

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MİKRO VE NANO HIZLI PROTOTİPLEME

Makina Müh. Güngör DOĞAN

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erhan ALTAN

İSTANBUL, 2007

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

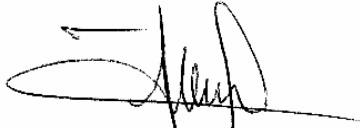
MİKRO VE NANO HIZLI PROTOTİPLEME

Makina Müh. Güngör DOĞAN

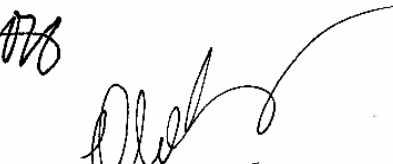
**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programı'nda
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erhan ALTAN


Prof. Dr. Mesut ÖZGÜRLER

Jüri Üyeleri


Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
2. MİKRO TEKNOLOJİ	2
2.1 Mikro Elektronik	5
2.2 Mikro Teknolojinin Uygulama Alanları	6
2.2.1 Enerji Santralleri.....	6
2.2.2 Tıbbi Uygulamalar.....	6
2.2.3 Mikro Fabrika Uygulamaları.....	7
2.2.3.1 Askeri Uygulamalar.....	7
2.3 MEMS Teknolojisi	9
2.3.1 Mikro Sensörler	10
2.3.2 Mikro Çalıştırıcılar	11
2.3.3 Mems Teknolojisinin Kullanım Alanları	11
2.4 Mini Mikro Robotlar İçin Piezo-Elektrik Ultrasonik motorlar	12
2.5 Mikro Kalıplama	15
2.5.1 Mikro Kalıp Üretiminde Kullanılan Teknolojiler	17
2.5.1.1 Mikro Frezeleme Yöntemi	17
2.5.1.2 EDM Yöntemi	17
2.5.1.3 UV-Litografi Yöntemi	17
2.5.1.4 Lazerle Aşındırma Yöntemi	18
3. NANO TEKNOLOJİ	19
3.1 Nano Teknolojinin Tarihçesi.....	21
3.2 Nano Malzeme	23
3.2.1 Karbon Nanoyapılar.....	24
3.2.2 Nanotüpler.....	25
3.3 Nano Teknolojinin Kullanım ve Uygulama Alanları	26
3.3.1 Endüstriyel Alan.....	28
3.3.2 Tıp ve Sağlık Alanı.....	28
3.3.3 Nanoteknolojinin Tekstilde Kullanımı	29
3.3.3.1 Nano Lifler	30
3.3.3.2 Polimer Esaslı Nanoliflerin Üretimi.....	30

3.3.3.3	Elektro-Üretim (Electrospinning) Yöntemi ile Nanolif Üretimi.....	31
3.3.3.4	Fibrilasyon ile Nanolif Üretimi	32
3.3.3.5	Meltblowing Yöntemi ile Nanolif Üretimi	32
3.3.3.6	Bikomponent Lif Üretim Yöntemi ile Nanolif Üretimi.....	33
3.4	Nano Teknolojide Genel Üretim Yöntemleri.....	34
3.5	Nano Teknolojide Kullanılan Mikroskoplar	36
3.6	Nanofabrikasyon.....	38
3.7	Nanokarakterizasyon	39
3.8	Dünyada Nanoteknoloji	40
3.8.1	Avrupa Birliği.....	40
3.8.2	A.B.D	42
3.8.3	Japonya	43
3.8.4	Türkiyede Nanoteknoloji	44
4.	HIZLI PROTOTİP TEKNOLOJİSİ	46
4.1	Ürün Geliştirme Süreci	46
4.2	Prototip Üretiminin Önemi ve Prototip Süreci.....	46
4.3	Hızlı Prototip Teknolojisi Prosesi	47
4.3.1	Üç Boyutlu Modelleme.....	48
4.3.2	Veri Transferi ve Çevrimi	48
4.3.3	Kontrol ve Hazırlama.....	49
4.3.3.1	Data Onarma	49
4.3.3.2	Oluşturulacak Parçanın Yönlendirilmesi	49
4.3.3.3	Destek Yapısı	51
4.3.3.4	Dilimleme.....	52
4.3.3.5	Hareket Kontrol Vektörleri	53
4.3.4	İnşa Etme.....	54
4.3.5	Son İşlem Uygulama.....	54
4.4	Hızlı Prototipleme Sistemleri	54
4.4.1	Stereolitografi (SLA)	56
4.4.2	Ergitilmiş Malzeme Yığma (FDM)	62
4.4.3	Çok Jetli Modelleme (MDM).....	64
4.4.4	Tabakalı Cisim İmalatı (LOM).....	65
4.4.4.1	Yapıştır + Kes Tekniği.....	66
4.4.4.2	Kes + Yapıştır Tekniği.....	68
4.4.5	Seçici Lazer Sinterlemesi (SLS).....	70
4.4.6	Katı Tabaka Kurutma (SGC).....	72
4.4.7	Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi (3D Printing)	75
5.	MİKRO HIZLI PROTOTİPLEME	79
5.1	Biçimsel Malzeme Yığılması (SDM)	80
5.1.1	Mikro Toz Besleyici	81
5.2	Mikro Stereolitografi	85
5.2.1	Maskeli İnşa İşlemi.....	86
5.2.1.1	Veri Girişi.....	88
5.2.1.2	Kurulum İşleminin Kararlılığı.....	89
5.2.2	Katman Yığma İşlemi.....	90
5.2.2.1	Sistem Gereksinimleri.....	92
5.2.2.2	Uzaysal Işık Modülatörü Uygulamaları.....	93
5.3	Mikrostereolitografi ile İlişkili Diğer Mikroüretim İşlemleri	93
5.3.1	Seramik Materyallerin Mikrostereolitografisi.....	93

5.3.2	Gözden Kaybolan Dalgalarla Polimerizasyon	93
5.4	Mikro Toz Püskürtme ile Hızlı Prototipleme	94
5.4.1	İşleme Koşulları	96
5.4.2	Kanal Yan Duvarlarının Yüzey Pürüzlülüğü	98
5.5	Mikrolitografi	100
5.6	Elektrokimyasal Biriktirme	103
5.6.1	Elektrobiriktirmeye Atomik Bakış Açısı	108
5.6.2	Basamak Sınır İyon-Transfer Mekanizması	109
5.6.3	Sıra İyon Transfer Mekanizması	110
5.6.4	Elektrokimyasal Biriktirmeyi Etkileyen Parametreler	111
5.6.5	Elektrokimyasal Üretim (EFAB)	111
6.	NANO HIZLI PROTOTİPLEME	118
6.1	Nanolitografi	118
6.1.1	Polimetilmetakrilitin (PMMA) Sınırları	120
6.1.2	Yüksek Çözünürlüklü Silikon Dioksit Direnci	121
6.1.3	STM Destekli Litografi	122
6.2	Dip-Pen Nanolitografi (DPN)	123
6.3	Daldırma Litografisi (İL)	125
6.4	Avrupa’da Nanolitografi	131
6.4.1	Ekstrem UV litografisi	131
6.4.2	Nanobaskı	131
7.	Deneyisel Çalışma	133
7.1	Genel Prensip	133
7.2	Deney Sistemi	133
7.2.1	Cu Metali ve Özellikleri	135
7.2.2	CuSO ₄ ve Özellikleri	136
7.3	Deneyin Yapılışı ve Prensibi	137
7.4	Birikim Oluşumu	140
8.	SONUÇLAR	147
9.	ÖZGEÇMİŞ	153

SİMGE LİSTESİ

I	Serbest Yüzeydeki Yoğunluk
D_p	Penetrasyon derinliği
E_c	ışık Enerjisi
D_g	Jelleşme Derinliği
θ	Alttaş ev Dik Yüzey Arasındaki Aç
Λ	Eşdeğer İletkenlik
E	Elektrot Potansiyeli
T	Sıcaklık
F	Faraday Sabiti
R	İdeal Gaz Sabiti
a_{red}	İndirgenmiş Türün Aktivitesi
c_{red}	İndirgenmiş Türün Konsantrasyonu
f^{red}	İndirgenmiş Türün Aktivite Katsayısı
c_{ox}	Yükseltgenmiş Türün Konsantrasyonu
f_{ox}	Yükseltgenmiş Türün Aktivite Katsayısı
E_{uyg}	Hücre Voltajı
R_s	Elektrotlar Arasında Çözelti Direnci
q	Yük Miktarı
N	Biriktirilen Maddenin Mol Sayısı
γ	Kontrast

KISALTMA LİSTESİ

MEMS	Mikro Elektronik Mekanik Sistem
MST	Mikro Sistem Teknolojisi
EDM	Data Modelleme Girişi
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
SHPM	Taramalı Hail aygıtı Mikroskobu
NT	Nano Teknoloji
BSK	Bilgisayar Sayısal Kontrollü
BDT	Bilgisayar Destekli Tasarım
STL	Stereolitografi
FDM	Erimiş Briikim modelleme
RP	Hızlı Prototipleme
MDM	Çok Jetli Modelleme
LOM	Tabakalı Cisim imalatı
CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım
SLS	Seçici Lazer Sinterlemesi
SGC	Katı Tabaka Kurutma
SFF	Katı Bağımsız Biçim Üretimi
EFAB	Elektrokimyasal Yapım
SDM	Biçimsel Malzeme Yığılması
SLM	Uzaysal Işık Modülatörü
µTAS	Mikro Toplam Analiz Sistemi
3d	3 Boyutlu
SEP	Standart Elektrot Potansiyeli
SHE	Standart Hidrojen Elektrotu
EBDW	Direkt Elektron Işınları ile Yazma Litografisi
EUV	Aşırı Ultraviyole Litografisi
NIL	Nano Damgalama Litografisi
DPN	Dip Pen Nano Litografisi
IL	Daldırma Litografisi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Bilgi, iletişim ve bilgisayar teknolojilerindeki değişim	2
Şekil 2.2 Yeni temel teknolojiler	4
Şekil 2.3 Endoskopide kullanılan bir mini robot	7
Şekil 2.4 Sandia robot	8
Şekil 2.5 Karınca robotlar	8
Şekil 2.6 Alice robot	9
Şekil 2.7 MEMS teknolojisi boyutları	10
Şekil 2.8 MEMS teknolojisi ile üretilen mikro duyucular	11
Şekil 2.9 Mems teknolojisi ile üretilen mikro çalıştırma üniteleri	11
Şekil 2.10 Barın eğilme yönündeki titreşimlerini kullanarak çalışan piezoelektrik motorun statoru	13
Şekil 2.11 Piezoelektrik bir halkanın kullanıldığı yürüyen dalga tipi bir motorun elektrot yapısı ve oluşan titreşim	14
Şekil 2.12 Seiko tarafından üretilen mini motorlar	14
Şekil 2.13 Mikro-motor	15
Şekil 2.14 Mikro su motoru dişli kutusu	16
Şekil 2.15 Mikro dişli sistemi, plastik malzeme granürü	16
Şekil 2.16 Mikro kalıplama yöntemi ile üretilmiş parça	16
Şekil 2.17. UV-Litografi teknolojisi ile üretilmiş kalıp çukuru	18
Şekil 3.1 Nanoteknolojinin boyutsal konumu	20
Şekil 3.2 Karbon nanoyapılar	24
Şekil 3.3 Nanotüp	25
Şekil 3.4 Nanoliflerin mikroskop altındaki görünüşleri	31
Şekil 3.5 Meltblowing işlemi ile oluşturulan nanolifler	33
Şekil 3.6 İki adet birbiriyle uyumlu nano parçacığı	35
Şekil 3.7 İki adet birbiriyle uyumsuz nano parçacığı, bu parçacıklar birbirlerine spesifik bağlayıcı moleküllerle bağlanırlar	36
Şekil 3.8 Birbiriyle uyumlu nano parçacıkların bağlanması	36
Şekil 3.9 İki değerli bağlayıcı nano malzemenin yüzeyini doğrudan tanır	36
Şekil 3.10 Alan etki transistorleri oluşturmak için kullanılan küçük organik moleküller	38
Şekil 3.11 Dünyada nanoteknoloji yatırımlarının yıllara göre durumu	44
Şekil 3.12 Nanoteknoloji araştırmalarında ülkemizin durumu	45
Şekil 4.1 Hızlı Prototip ve Üretim Sistemlerinin Proses Zinciri	47
Şekil 4.2 Merdiven Yapısı Etkisi	50
Şekil 4.3 Burns'e göre hızlı prototipleme teknikleri	56
Şekil 4.4 Hull'un stereolitografi tasarımı	57
Şekil 4.5 SLA 190 modeli	57
Şekil 4.6 Stereolitografi prosesi	58
Şekil 4.7 FDM çalışma prensibi	62
Şekil 4.8 MDM çalışma prensibi	64
Şekil 4.9 Pürüzlü yüzeyin düzeltilmesi	65
Şekil 4.10 Termojet yöntemiyle elde edilmiş model ve bu modelin harcanması sonucuyla hassas döküm ile elde edilmiş parça	65
Şekil 4.11 Yapıştır + kes sisteminin çalışma prensibi	67
Şekil 4.12 Yapıştır + kes sistemiyle üretim sonrası	68
Şekil 4.13 CL 100 üretim makinası	69
Şekil 4.14 CAM-LEM Prosesi	70
Şekil 4.15 (a) Sinterstation 2500, (b) Sinsterstation 2500 plus	70
Şekil 4.16 SLS sisteminin çalışma prensibi	71
Şekil 4.17 SGC sisteminin çalışma prensibi	74

Şekil 4.18 SGC 5600 modeli	74
Şekil 4.19 SGC teknolojisi ile üretilmiş 12 dişliden oluşan mekanizma	74
Şekil 4.20 Üç boyutlu yazıcı sisteminin çalışma prensibi.....	75
Şekil 4.21 Üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş parçalar.....	77
Şekil 4.22 Extrude hone sisteminin çalışma prensibi	78
Şekil 5.1 Katı yüzeyi oluşturma prosesi.....	79
Şekil 5.2 Lazer kaynaklı micro SDM sistemi.....	82
Şekil 5.3 Heterojen MEMS üretimi için işlem sırası.....	82
Şekil 5.4 Mikro besleme ve görüntüleme sistemi.....	83
Şekil 5.5 PZT plakaya uygulanan voltaja karşı akış oranı	84
Şekil 5.6 Kuru tozla oluşturulmuş biriktirme çizgileri	85
Şekil 5.7 Maskeli hızlı prototipleme prosesi	87
Şekil 5.8 Katman oluşturma prosesi	87
Şekil 5.9 Prosesteki 3 önemli basamak.....	89
Şekil 5.10 Katman yığma sistemin genel şematik görünüşü.....	91
Şekil 5.11 Mikro toz püskürtme prosesi	95
Şekil 5.12 Cam ve maske aşınma miktarının Au partikülleriyle taranmasına göre değişimi	96
Şekil 5.13 Desen genişliğindeki büyümenin maske kalınlığına göre değişimi	97
Şekil 5.14 lazer demetiyle desenlenen çizgi derinliğinin, maske kalınlığına değişimi	97
Şekil 5.15 Kanal yan duvarlarında oluşan marfolojik yapı.....	98
Şekil 5.16 pürüzlülük ve $\sin\theta$ 'nın tarama sayısına göre değişimi	99
Şekil 5.17 Cam yonga	99
Şekil 5.18 Mikrolitografi işleminin prosesi.....	100
Şekil 5.19 Foto-maske.....	102
Şekil 5.20 5 katmanlı litografi	103
Şekil 5.21 Biriktirme olayı	107
Şekil 5.22 Düşük indeksli kristal yüzeyinde bazı basit kusurlar	109
Şekil 5.23 Metal birikiminin ilk ve son durumu.....	109
Şekil 5.24 Basamak sınır iyon transfer mekanizması	110
Şekil 5.25 Sıra sitelerindeki iyon transferi, yüzey dağılımı ve kıvrım sitelerinde birleşme ..	110
Şekil 5.26 Model elektrot geometrileri	113
Şekil 5.27 (a) Disk çapı (d) ve uygulanan potansiyel (v) sonucu elektrik alan büyüklüğü, (b) pt disk ve pt tel elektrod ile oluşan çökeltme profili.....	114
Şekil 5.28 Elektrolit jet ile elektrobiriktirme sistemi.....	115
Şekil 5.29 Deneysel Kurulum.....	115
Şekil 5.30 Elektrodpozisyon ile üretilen parçanın laplama öncesi ve sonrası durumu.....	116
Şekil 5.31 Elektrodpozisyon ile katman katman yığılarak oluşturulan parçanın kesit görünüşü	116
Şekil 5.32 Çizgilerin oluşum mekanizması.....	117
Şekil 5.33 Elektrodpozisyon ile üretilen parça biçimi	117
Şekil 6.1 Pozitif (a) ve negatif (b) doz eğrilerine karşı log pozlama	119
Şekil 6.2 SiO ₂ için pozlama dozu oyma oranı ilişkisi	121
Şekil 6.3 COSi çizgileri.....	122
Şekil 6.4. Cr filminin oksidasyonu sonucu oluşturulan desen	123
Şekil 6.5 Dip-pen nanolitografi prosesi	124
Şekil 6.6 Daldırma litografisi prosesi	126
Şekil 6.7 Lens, daldırma ortamı ve fotodirençte oluşan ışının izlediği yol	127
Şekil 6.8 Daldırma suyunda 14C-RCS'nin radyoaktivitesi ve daldırma süresi	128
Şekil 6.9 Daldırma suyunda 14C-PAG'ın radyoaktivitesi ve daldırma süresi.....	128
Şekil 6.10 Daldırma suyunda ve saf suda 14C-PAG'ın radyoaktivitesi ve daldırma süresi..	129
Şekil 6.11 Sulu klorür tuzlu çözeltileri ve dalgaboyu.....	130
Şekil 6.12 Sulu sodyum tuzlu çözeltileri ve dalgaboyu.....	130

Şekil 7.1 Elektrodepozisyon ile hızlı prototiplemenin genel sistemi	133
Şekil 7.2 Benchman CNC tezgahı	134
Şekil 7.3 Benchman CNC yazılımının arayüzü.....	134
Şekil 7.4 Çalışma parçasının bağlandığı kestamit taban.....	135
Şekil 7.5 Bakırsülfatın molekül yapısı.....	136
Şekil 7.6 Deneysel kurulum	137
Şekil 7.7 OGP ölçüm cihazı	139
Şekil 7.8 Profil projektör cihazının görüntüsü	140
Şekil 7.9 Nozul yüksekliği ve akım arasındaki ilişki.....	140
Şekil 7.10 Elektrobiriktirme ile biriken bakırın zaman ile yüksekliğinin değişimi ($h=2\text{mm}$, $A=3\text{mA}$)	141
Şekil 7.11 Biriktirilen bakır yüksekliğinin süre ile olan değişimi ($h= 2\text{mm}$, $A=3\text{mA}$,).....	141
Şekil 7.12 Biriktirilen bakırın alt ve üst çapının süre ile değişimi ($h= 2\text{mm}$, $A=3\text{mA}$,)	142
Şekil 7.13 Biriktirilen bakırın yüksekliğinin süre ile olan değişimi ($h=3\text{mm}$, $A=2,8 \text{ mA}$) ...	142
Şekil 7.14 Biriktirilen bakırın alt ve üst çapının süre ile değişimi ($h=3\text{mm}$, $A=2,8 \text{ mA}$)	143
Şekil 7.15 nozul çapı ve biriken parçanın çapı ($h=3\text{mm}$, $A=2,8 \text{ mA}$, $t=20\text{dak}$)	143
Şekil 7.16 Biriktirilen bakır yüksekliğinin nozul yükseliği olan değişimi	144
Şekil 7.17 Biriktirilen bakırın alt ve üst çapının nozul yükseliği ile olan değişimi.....	144
Şekil 7.18 Biriktirilmiş bakırın kesit görüntüsü $A=3 \text{ mA}$, $h=2\text{mm}$, $t=50\text{dak}$	145
Şekil 7.19 $A=3 \text{ mA}$, $h=2\text{mm}$, $t=30\text{dak}$. şartlarında birikmiş bakırın üstten görünümü.....	145
Şekil 7.20 $A=3 \text{ mA}$, $h=2\text{mm}$, $t=25\text{dak}$. şartlarında biriktirilmiş bakırın üstten görünümü ...	146
Şekil 7.21 $A=3 \text{ mA}$, $h=2\text{mm}$, $t=15\text{dak}$. şartlarında biriktirilmiş bakır	146

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 ABD Hükümetinin nanoteknolojiye ayırdığı bütçe ve seneler dağılımı	42
Çizelge 4.1 Stereolitografi cihazları	58
Çizelge 4.2 Vinileter esaslı bazı fotopolimerlerin özellikleri.....	60
Çizelge 4.3 Sıvı ve katı durumdaki reçinelerin özellikleri.....	61
Çizelge 7.1 Bakır sülfatın kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	137

ÖNSÖZ

Hızlı prototipleme teknolojisi ticari olarak ilk kez 1986 yılında geliştirilmiş ve o zamandan beri sürekli gelişim göstermektedir. Günümüzde artık büyük parçaların yanı sıra mikro ve nano boyutta hızlı prototipleme sistemleri geliştirilmiştir. Mikro ve nano hızlı prototipleme sistemlerinde; parça üretim zamanı, karmaşık şekilli parçaların üretim kolaylığı, daha az maliyet, daha geniş malzeme seçeneği, daha kısa sürede üretim gibi kriterler göz önünde tutularak günümüzde geliştirme süreçleri devam etmektedir.

Hızlı prototipleme yöntemlerinden elektro biriktirme ile mikro boyutta parça üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde; kullanılan malzeme, üretim biçimi, elektrik alan değeri parametreleriyle üretimde değişiklik görülmektedir. Bu konuda parça üretimi ve parça biçimi ile ilgili çalışmalar halen devam etmektedir.

Bu çalışmanın hazırlanması esnasında desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Sn. Erhan ALTAN'a, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Y. Doç. Dr. Sn. Murat KIYAK'a, Arş. Gör. Dr. Sn. İbrahim ŞAHİN'e, bugüne kadar hep yanımda olan aileme, anneme, babama ve Burcu'ya teşekkür ederim.

Güngör DOĞAN

ÖZET

Günümüzde hızlı prototip teknolojisi, bir parçanın tasarım aşamasından üretim aşamasına geçişteki en önemli basamaklardan biri konumuna gelmiştir. Bu tasarlanan parçanın en az maliyetle ve en az hatayla üretilmesini sağlar.

Teknolojinin sınırları genişledikçe, üretilen parçaların boyutlarında da küçülmeler olmuştur. Günümüz teknolojisindeki gelişmeler; bu küçülmeleri mikro ve nano boyutlara ulaştırmıştır. Bu teknoloji hayatımızda iletişim, elektronik sağlık v.b birçok alanda karşımıza çıkmaktadır ve gün geçtikçe artan gelişmeler sayesinde daha da sık karşılaşmaya devam edeceğiz.

Bu tez çalışmasında mikro ve nanoteknoloji hakkında genel bilgi verdikten sonra, hızlı prototip sisteminin üç boyutlu tasarımdan üretim işlemine olan süreç anlatılmıştır. Daha sonra yaygın olarak kullanılan hızlı prototipleme sistemleri, bu sistemlerin özellikleri, üretim aşamaları, birbirilerine olan üstünlükleri incelenmiştir.

Mikro hızlı prototipleme teknolojisi ile ilgili yöntemler incelendikten sonra, bu yöntemlerden biri olan elektro biriktirme sistemi ile ilgili uygulama çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada mikro boyutta bakır malzeme biriktirilmiş ve bu biriktirme sürecini etkileyen parametreler deneysel ortamda incelenmiştir. Bu teknolojinin gelecekteki yeri ve önemi belirtilmiştir.

Günümüzde yeni sayılan nano hızlı prototipleme teknolojisi ile ilgili yöntemler incelenmiştir ve bu teknolojinin Avrupa'daki durumu belirtilmiştir. Bu teknoloji henüz gelişim aşamasında olup, gelecek bu teknolojinin temelleri üzerine atılacaktır.

Anahtar kelimeler: Hızlı Prototipleme, Mikro Hızlı Prototipleme, Nano Hızlı Prototipleme, Elektro Biriktirme

ABSTRACT

Rapid Prototyping technology which is the between design process and manufacturing process, has became one of the most important position. It makes the designed part which is being manufactured with least cost and least mistakes.

When the technologies boundry extends, the manufacturing part's size started to decrease. Today's technologies development carry these decreasing to micro and nano sizes. We see this technology in many spaces that communication, electronic, medical v.s. and as time goes on we will see this more often beacuse of the devolepment of the technology.

At this study, after giving general info about microtechnology and nanotechnology, it has been described of the part which is between 3D design and manufacturing. After that, most commen rapid prototyping systems, their speices and the advanteges to each other, has been examined.

After the examination, experimental working about the electrodeposition system has been done. At this study; micro sized copper part is deposited and the parameters which affect the deposition process has been examined at the experimental medium. The position and importance of these tchnology in the future has been declared.

Today, the new techonolgy nano rapid prototyping heas been examined. And it's place at the euurope has been declared. This technology is on the development stage and future will be on this technolgy.

Keywords: Rapid Prototyping, Micro Rapid Prototyping, Nano Rapid Prototyping, Electrodeposition

1. GİRİŞ

Bir ürünün dizayn aşamasında oluşacak hataları önceden görmek için, üretimden önce imal edilip, sonuçların değerlendirilmesi işi hızlı prototiplemedir. Hızlı prototipleme günümüzde imalatın daha kolay biçimde olmasını sağlamaktadır. Çünkü üretilecek parçanın somut olarak incelenebilir olması, o parçanın özellikleri hakkında fikir edinmemizi sağlar.

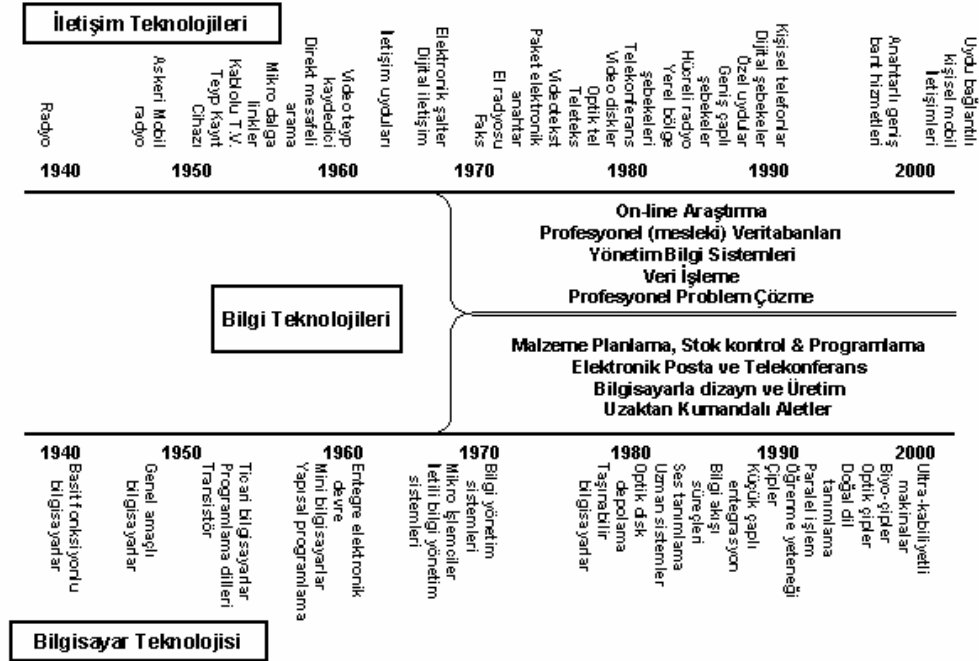
Günümüzde birçok hızlı prototipleme teknolojisi bulunmaktadır. Bunların hepsinin kendine göre üretim avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlara göre gerekli yöntem seçimi yapılır ve üretim öncesi değerlendirme yoluna gidilir.

Artık günümüzde bu teknoloji mikro ve nano boyutta parçaların hızlı prototiplemesine de izin vermektedir. Bu küçülme dizayn ve üretim teknolojisinde ise çok büyük adımların atılmasını sağlamıştır ve günümüzde de bu konuda çalışmalar hızla sürmektedir.

Bu çalışmada; mikro hızlı prototipleme, nano hızlı prototipleme yöntemleri incelenmiştir. Ayrıca bir mikro hızlı prototipleme tekniği olan elektro biriktirme yöntemiyle mikro boyutta parça üretim çalışması yapılmıştır.

2. MİKRO TEKNOLOJİ

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında hız kazanmıştır. İletişim teknolojileri alanında radyo ve televizyon ile başlayan süreç günümüze kadar çok önemli mesafeler almıştır. Bilgisayar teknolojileri alanında ise 1940'lı yıllarda geliştirilen basit fonksiyonlu bilgisayarlardan günümüzün ultra-bilgisayarlarına doğru ilerlemeler kaydedilmiştir. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1 Bilgi, iletişim ve bilgisayar teknolojilerindeki değişim [1]

Bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeleri sadece bilgi ve iletişim teknolojileri ile sınırlı tutmak doğru olmaz. “Yeni temel teknolojiler”, bilgi ve iletişim teknolojilerini de kapsayan çok daha kapsamlı bir kavramdır. [1]

Dünyadaki başlıca yeni temel teknolojiler “bilgi teknolojisi” ve “jenerik teknoloji” alanındaki yenilikleri kapsamaktadır. Bilgi teknolojisi, elektronik bilgi işlem sistemleri (bilgisayar) ve iletişim (telekomünikasyon) teknolojilerini kapsamaktadır (Şekil 2.1). Bilgi teknolojisinin başlıca bileşenleri şunlardır;

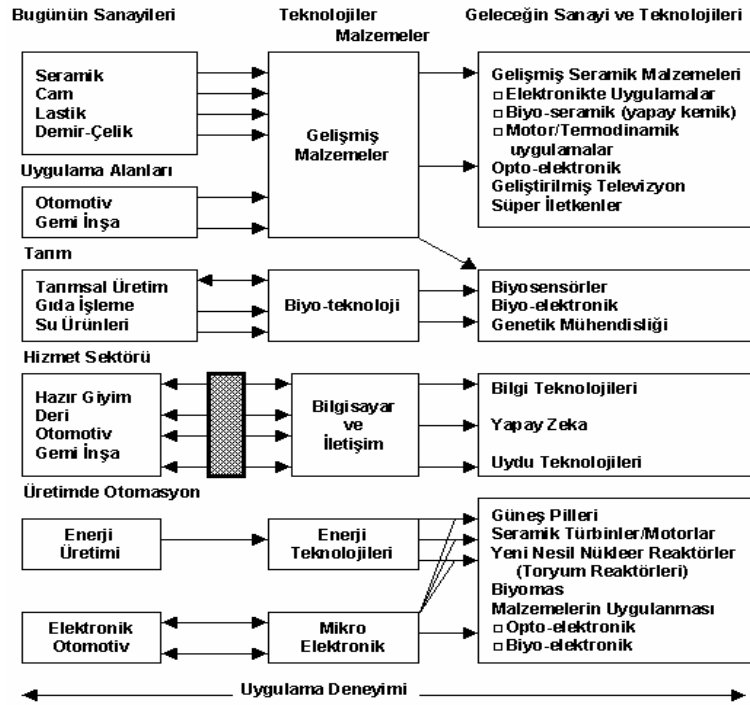
- Bilgi işlem teknolojisi (bilişim teknolojisi); bilgi işlemede yazılım ve donanım teknolojilerinin kullanımı
- Uydu teknolojisi; uydular aracılığı ile bilgi aktarımı.

- Mikro- elektronik teknolojisi; daha hızlı ve hassas işlem birimlerinin geliştirilmesine yönelik bilim ve teknolojiler.
- Telekomünikasyon teknolojisi; iletişim alanında geliştirilmiş yeni teknolojiler (dijital teknoloji, fiber optik teknolojisi, lazer teknolojisi, akıllı terminal, internet, tele işlem, videotex, telekonferans, fax, CD-Rom ve video-disk.)
- Esnek otomasyon teknolojileri.

Yeni temel teknolojiler kapsamında yer alan jenerik teknolojiler ise gelişmiş malzeme teknolojileri, biyoteknoloji ve enerji teknolojileri, nükleer enerji, uzay ve havacılık teknolojilerinden oluşmaktadır:

- Yeni gelişmiş malzeme teknolojileri; yüksek moleküllü polimerler, süper iletkenler ve seramik gibi yeni malzemelerin işlevsel özellikleri bu kategoriye dahil edilebilir.
- Biyoteknoloji ve gen mühendisliği; yeni ürünlerin geliştirilmesi ve verimin artırılması için fermentasyon ve genetik mühendisliği teknikleri gibi biyolojik yöntemlerin kullanılması.
- Enerji teknolojileri; doğal kaynakları enerjiye dönüştürebilen bilim ve teknolojiler. (Örneğin güneş pilleri.)
- Nükleer enerji.
- Uzay ve havacılık teknolojisi

Özellikle mikro-elektronik ve bilgi teknolojileri başta gelmek üzere yeni teknolojiler (mikro-elektronik, nanoteknoloji ve mikro-nano teknoloji) tüketime sunulan elektronik ürünlerde bir dizi önemli gelişmeye yol açmıştır. Bunun yanında yeni araç ve ekipmanların imal edilmesine ve ileri imalat ekipmanlarının üretilmesine de neden olmuştur. İleri imalat ekipmanları imalat süreci üzerinde rekabet gücünü önemli ölçüde etkileyen birçok yeni niteliğin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Üretilen ürün ve üretim ekipmanlarının hacimce küçük olması, üretim süreci ve ürünlere güvenilirliğin artması, uyumlu olma, modüler olma, bölünebilirlik, işlem hızı ve düşük enerji tüketimi bu tip niteliklerdendir. Fiziki hacmin küçük olması, yerden tasarruf edilmesine ve üretim süreci ve ürünlerin üretiminde tercih olanaklarının fazla olmasına yol açmakta ve büyük miktarlarda bilginin işlenmesi ve depolanmasına imkan tanımaktadır.



Şekil 2.2 Yeni temel teknolojiler [1]

Yeni ürün ve ekipmanların üretimi ve dizaynı, hepsi bir araya getirildiğinde bir bütünün (sistemin) parçalarını oluşturan çok fazla sayıdaki modül, program veya birim tarafından üretilebildiği için tüketicilerin farklı ve karmaşık taleplerine küçük partiler halinde büyük miktarlarda üretimde bulunmak suretiyle cevap vermeyi (esnek üretim modeli) kolaylaştırmaktadır.

Yeni teknolojiler donanımdaki bu tip değişikliklerin yanı sıra bilgi ve iletişim akımlarını iyileştirmeyi ve firma içindeki işçi ve yöneticilerin karar alma, koordinasyon ve işbirliği kapasitesini arttırmayı amaçlayan örgütsel değişiklik ve yeniliklere de yol açmaktadır. Bu değişiklikler talepteki hızlı değişiklikler ve ürün kalitesinin arttırılmasına daha fazla duyarlı olan değişikliklerdir. Eski seri üretim sistemine kıyasla yeni teknolojiler daha farklı idare ve kontrol yapısına ve rekabet stratejisine sahiptir. Bürokratik niteliği fazla olan merkezi kumanda ve kontrol sistemleri daha az hiyerarşik olan ve katılımcı karar alma esasına dayanan kontrol mekanizmaları ile yer değiştirmektedir. Birbirinden ayrı işlevsel bölümler, standart rutinler ve prosedürler ve kişisel meslek tanımlarının yerini karşılıklı işbirliği ve ilişki bağlantıları ile uygulanabilir prosedürler aldı. Yeni teknolojiler üretim sürecinin esnekliğini arttırdığından; başka bir ifadeyle, yeni teknolojiler daha az zamanda piyasaya daha fazla yeni ürün sürülmesine ve tüketici tercih ve taleplerine uygun olarak mevcut ürünlerin kalitesini arttırmaya imkan tanıdığı için rekabet gücünün arttırılması yalnızca maliyetleri azaltmaya

değil; bunun yanı sıra, sürekli yenilik ve icatta bulunma ve tüketici talep ve tercihlerine hızlı bir şekilde cevap vermeye bağlı bir hale gelmiştir.

Mikro mühendislik mini ve mikro boyutlarda ürünlerin tasarım ve üretimini sağlayan teknoloji, yöntem ve yaklaşımları geliştiren ve uygulayan mühendislik dalı olarak tanımlanmaktadır. Genelde mikro mühendislik, özelde ise mikro mekatronik ürünlerin tasarım ve üretimi, alışılmış yöntem ve yaklaşımlarla mümkün değildir. Bu konularda yeni yöntem ve yaklaşımları geliştirmek ve uygulamak teknolojik bir zorunluluk ve akademik bir ilgi alanı olarak görülmektedir. Son on yılda yaşanan gelişmeler ile günümüzde ulaşılan teknolojik düzeyde mikro elektronik endüstrisinin sağladığı olanaklar ve hassas işleme yöntemlerinin uygulaması ile mini ve mikro düzeyde üç boyutlu mekanik ve elektromekanik elemanların üretilmesi mümkün olmuştur. Böylece bu tür mikro elemanların (mekanizmalar, motorlar, duyucular ve piller) üretilmesi ve kullanıma başlanması sonucu bütünleşik sistemler ve mini/mikro makineler yaygınlaşmış ve yeni bir mini/mikro teknoloji dünyası yaratılmıştır. Çağdaş bir mini/mikro makine; mekanizma teknolojisini, eyleyicileri, duyucuları, denetim elemanlarını, enerji kaynağını küçük boyutlu bir paket içine sığdırabilen bütünleşik yapılaşmayı olanaklı yapan mikro mekatronik bir sistemdir.

2.1 Mikro Elektronik

Yarı iletken materyaller üzerinde işlem, depolama ve karşılaştırma yapan fonksiyonların tek bir birim üzerinde entegre edilmesidir. Mikro elektronik, işlem fonksiyonu ile birlikte duyargaları (sensör) içeren mikro teknolojiye dayalı minyatür sistemleri kullanır. Mikro teknoloji, milimetre boyutundaki araç ve yapıların mikron ($1/1000$ mm) ve nanometre ($1/10^6$ milimetre) büyüklüğünde imal ve dizayn edilmesidir. Mikro elektronik, günümüz sanayisinde ve özellikle bilgisayar ve bilgi teknolojilerinde yaygın olarak kullanılan ve boyutların hızla küçülmesi sonucu nano teknolojiye yol açan bir alandır. Bilginin işlenmesi ve yayılmasının yanı sıra makinelerin kontrolünde mikro-elektronik belirleyici bir konumdadır. Bu alandaki gelişmeler daha fazla bilginin depolanması ve işlenmesine yol açarak daha düşük maliyetle daha hızlı ve kaliteli üretim ve üretim süreçlerinin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Süper iletkenler bilgisayar ve mikro-chip teknolojisinde yeni gelişmelere olanak tanımakta ve mikro-elektronik üretim ve üretim süreçlerinin bilgisayar destekli ve bilgisayar kontrolünde yapılmasını sağlayarak verimliliği artırmakta ve bu teknolojileri kullanan firma ve ülkelerin rekabet gücüne olumlu katkıda bulunmaktadır. Yeni temel teknolojilerdeki hızlı ilerleme yeni ekonominin süratle ‘ağırlıksız ekonomi’ (weightless economy) olmasına neden olmaktadır.

2.2 Mikro Teknolojinin Uygulama Alanları

2.2.1 Enerji Santralleri

Güç santralleri ve benzeri enerji üretim tesislerinde ve insan yaşamı için tehlikeli ortamların bulunduğu fabrikalarda arama, izleme, bakım ve tamir görevleri için mini robotlar geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu robotlar özellikle insan için olumsuz olan çalışma koşullarında veya insanın ulaşamayacağı boyutlardaki ortamlarda çalışmaktadırlar. Karmaşık boru sistemlerinin arasında dolaşabilmekte, gözlem, bakım ve tamir işleri yapabilmektedir. Özellikle boru içlerinde dolaşan robotlar, boru iç çeperlerinde gözlem yaparak olası hasarları ve arızaları önceden sezme olanağı sağlamaktadır. Boru içlerinde dolaşan bir mini makine genellikle bir kapsül içine yerleştirilmiş makine, gözlem ve ölçüm cihazları ve boru üzerinde işlem yapabilen birimlerden oluşmaktadır. Mitsubishi Electric Corp., Sumitomo Electric Ind. Ltd. ve Matsushita Research Inst. Inc. tarafından ortaklaşa geliştirilen mini robot boyutları 5X9X6.5 mm' lik kutu şeklindedir.

Robotun ağırlığı 0.42 g, ilerleme hızı ise 2 mm/s' dir. Bu mini robotlar küçük çaplı borular arasında dolaşabilmekte ve yük taşıyabilmektedir. Robotlar arasında işbirliği sağlanabilmesi için robotların birbirlerini tutabilecekleri özel düzenekler de bulunmaktadır.

Bu alandaki diğer bir çarpıcı örnek ise, Ukrayna'daki Çernobil nükleer santraline gönderilen mini robottur. Bu robot, insan için nükleer tehlike taşıyan santralin içinde bulunan her şeyin üç boyutlu gerçek fotoğraflarını araştırmacılara göndermektedir.

2.2.2 Tıbbi Uygulamalar

Özellikle büyük hassaslık ve önem gerektiren insan vücudunun karmaşık sistemlerinde kullanılmak üzere mikro robotlar geliştirilmiştir. Çok hassas ve kesin hareket yetenekleri olan ve karmaşık yapılar içeren bu robotlar, kalp ameliyatlarında ve kalp hastalıklarının tedavisinde, kanserli bölgelerin algılanması ve tedavisinde, endoskopi uygulamalarında, her türlü kimyasal ve biyolojik sıvı içeren kültür ortamlarının incelenmesinde kullanılırlar. Bu alanda yapılan çarpıcı örneklerden biri "İsveçli Mikro Robotlar"dır.

İsveçli mikro robotlar, özel olarak geliştirilmiş plastik kasları ile çok küçük cam tanelerini bulundukları ortamdan alma ve başka bir yere taşıma özelliğine sahiptirler. Robotların boyu 0.5 mm' den biraz fazla, genişliği ise 0.25 mm' den daha azdır. İsveçli mikro robotlar diğer robot örneklerinden farklı olarak kan, üre ve kültür hücrelerinin üretilebileceği özel kimyasal ve biyolojik sıvılar gibi çok farklı ortamlar içerisinde çalışabilirler. Bu nedenle biyologlar,

mikro robotların bu tür özelliklerinin kendi çalışmalarında çok faydalı olacağını düşünmektedirler.

Bu alanda yapılan diğer bir çalışma ise Japonların geliştirdiği mini robotlardır. Bu robotlar radyo kontrollü olup, görüntü almak için üzerlerinde kamera taşımaktadırlar. Robotların boyu 5 cm' den, eni ise 2.5 cm' den daha küçüktür. Bu robotlar, bağırsaklarda ülser arama çalışmalarında kullanılmıştır. Endoskopi & Enstrümantasyon için geliştirilmiş, organlar içinde hareketli, teşhis ve tedavi amaçlı robotlar da bulunmaktadır.



Şekil 2.3 Endoskopide kullanılan bir mini robot [2]

2.2.3 Mikro Fabrika Uygulamaları

Elektronik uygulamalarda, saat ve kamera gibi hassas sistemlerin üretilmesinde kullanılan çok küçük parçaların insan eli ile veya büyük makine hatları ile yapılması mümkün değildir. Bu tür sistemlerin üretiminde çok hassas ve kesin hareket yeteneği olan minyatür araç ve gereçlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özelliklere sahip olan mini/mikro robotlar bu araç ve gereçlerin yaptığı görevleri başarı ile yapabilmektedirler. Mikro fabrika alanında yapılan çalışmalara verilebilecek örneklerden bazıları şunlardır.

2.2.3.1 Askeri Uygulamalar

Diğer bütün alanlarda olduğu gibi askeri amaçlı olarak da mini/mikro robotlar kullanılmaktadır. Askeri mini robotlar mayın tespit ve imhası görevlerinde, casusluk amacı ile kara, deniz ve hava aracı olarak, kimyasal ve biyolojik madde analiz ve tespit görevlerinde kullanılırlar.

Sandia laboratuvarlarının geliştirdiği mini robot dünyanın en küçük otomatik robotudur. Bu robot, 4 cm³ hacminde ve 28 gram'dan daha az ağırlıktadır.

Robotun yapısında bir mikro işlemci, tank benzeri paletleri sürmek için iki motor, üç adet saat pili ve bir tane sıcaklık duyucusu vardır.

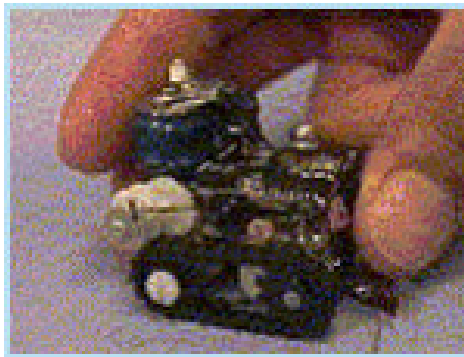


Şekil 2.4 Sandia robot [2]

Bu robot mikro minyatürleşmiş otomatik araçların birçok farklı alanda başarı ile kullanılabileceğini göstermek için tasarlanmış ve üretilmiştir. Bu alanlardan bir kaç şöyle sıralanabilir: Kara mayınlarının tespiti; kimyasal ve biyolojik silahların yerinin bulunması; boru, delik gibi çok küçük ve dar yerlerden bina içlerine sızma; gözlem ve bilgi toplama bu robotların yapabileceği görevlerin sadece bazılarıdır.

Sandia Laboratuvarı robotların sayısını çoğaltarak bu robotların üzerine radyo haberleşme sistemleri koymak için çalışmalar yürütmektedir. Böylece, robotlar hem bir görevi birlikte yapabilmek için kendi aralarında haberleşebilecekler, hem de topladıkları verileri insan gözlemcilere bu yolla geri gönderebileceklerdir. Laboratuar yakında, iki yönlü iletişim için kablosuz kızılötesi veya radyo alıcıları, video ve kızılötesi kameraları, mikrofon ve kimyasal duyucu zincirleri bu robotların üzerine eklenecektir.

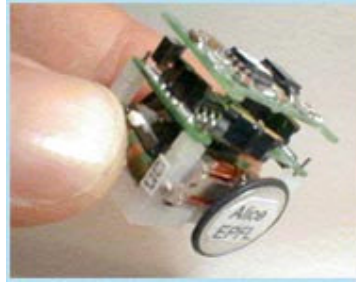
Patlayıcı imha karınca robotları MIT Yapay Zekâ Laboratuarları tarafından geliştirilen ve karıncalar adı verilen robotlar, patlayıcı imha projesi kapsamında ve yapay zekâ çalışmalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir.



Şekil 2.5 Karınca robotlar [2]

Bu amaçları gerçekleştirmek için patlayıcısız fakat çeşitli cisimlerin dağınık bir şekilde belli bir alana yayılması ile oluşan yapay bir mayın tarlası modeli hazırlanmıştır. Karınca Robot topluluğunun bu mayın tarlasındaki mayınları etkili bir şekilde temizlemesi (yerlerini saptaması ve yapay olarak patlatması) hedeflenmiştir. Doğadaki karınca kolonilerinden esinlenerek yapılan karınca robotlardan herhangi biri mayın bulduğunda, tıpkı karıncalarda olduğu gibi diğerlerine sinyal göndermektedir. Bu robotların yapımında bir çok özel duyucu ve işlemci kullanılmıştır. Robot boyutları sadece 25 mm kadardır.

Karınca robotlar aynı zamanda MIT'de yapay zeka çalışmalarında eğitim için de kullanılmıştır. Bu robotlardan gerçeğe çok benzeyen bir karınca kolonisi oluşturulmuş ve bu karıncalara çeşitli oyunlar oynatılmış, görev paylaşımli işler verilmiştir. Karıncalar arasındaki iletişim ağı kullanılarak besin arama ve bulma, çevre ortamını algılama gibi gerçek bir karıncanın yapabileceği tüm görevler yapay zeka sistemi sayesinde başarılmıştır.



Şekil 2.6 Alice robot [2]

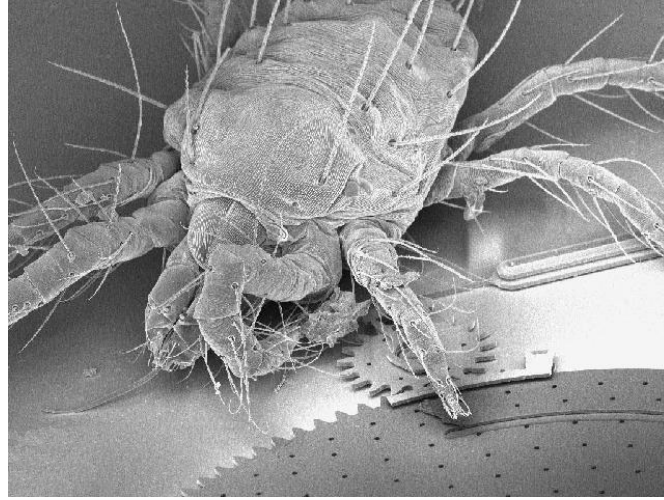
Yapay zeka çalışmalarına verilebilecek diğer bir örnek ise İsveç Federal Enstitüsü EPFL ve LAMI' nin ortak olarak geliştirdiği Alice adlı mini robottur. Alice, oldukça küçük boyutlara sahiptir. Boyutları 22x20x19 mm' dir. Robotun üzerinde kızıl ötesi ve radyo alıcıları bulunmakta ve kendisi ile aynı yapıda diğer robotlar ile iletişim kurabilmektedir. Bu robotlar üzerinde yapılan bir çalışma ile robot bir futbol takımı oluşturma ve bu amaca uygun yapay zeka geliştirme hedeflenmektedir.[2]

2.3 MEMS Teknolojisi

Silikon dünyada yaygın olarak en çok kullanım alanı bulan ikinci element olup yüzyıllar boyunca insanlığa oksitlenmiş formda (cam) hizmet etmiştir. 1947 yılında silikonun elektriksel özelliklerinin anlaşılması ile dünya yeni bir çağa girdi. Bu teknolojinin uygulama alanı öncelikle bilgisayarlar oldu ve 50 yıl öncesinin hantal bilgisayarlarının yerini yüksek performanslı küçük sistemler aldı. Bu gelişmeler ile birlikte duyucu, bütünleşik (entegre)

devre, işlemci gibi yeni elemanlar çevremizdeki cihazların ve makinelerin ayrılmaz bir parçası oldu. Silikon işleme tekniklerinin sürekli gelişmesi ve bu tür çalışmalara olan ilginin artması ile mikro elektromekanik sistem (MEMS) teknolojisi adı verilen yepyeni bir alan ortaya çıktı. Bu teknoloji Amerika'da mikro elektromekanik sistem (MEMS), Avrupa'da ise mikro sistem teknolojisi (MST) ismiyle anılıyor.

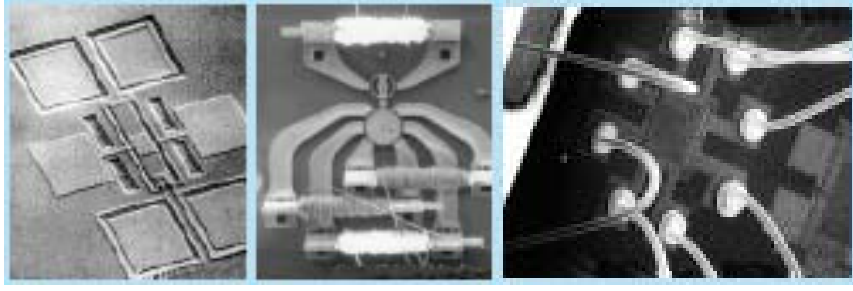
MEMS teknolojisinin tercih edilmesinin en büyük nedeni MEMS ürünlerinin fiziksel boyutlarının çok küçük olmasıdır. Mikro sensör (microsensor) ve Mikro çalıştırıcı (microactuators) MEMS teknolojisinin başlıca çalışma konularıdır.



Şekil 2.7 MEMS teknolojisi boyutları [3]

2.3.1 Mikro Sensörler

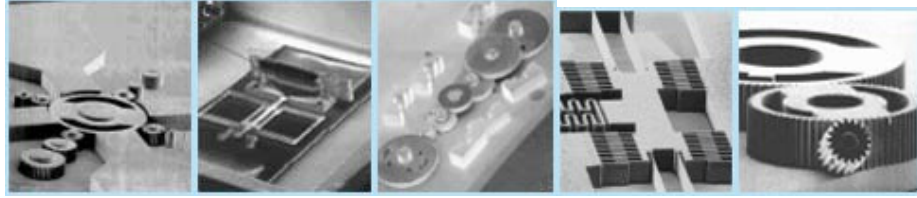
MEMS'in günümüzde en yaygın uygulama alanı, sensör sistemleri ve bu sistemlerin sağladığı verileri işleyerek, yararlı sonuçlar üreten tümleşik sistemlerdir. Son zamanlarda otomotiv sektörü için üretilen ve kaza anında hava yastığını devreye sokan sistem, bunun en güzel örneğidir. Mikro basınç duyucuları, sıcaklık, titreşim, akustik duyucular, ivme ve dönüş duyucuları, yakınlık mesafe duyucuları, gerilme duyucuları ve diğerleri MEMS teknolojisi ile üretilen mikro duyucular sınıfını oluşturur. Duyucular her türlü cihazın en çok korunması gereken, en hassas ve en önemli parçalarının başında gelir. MEMS teknolojisi ile üretilen duyucuların boyutlarının çok küçük olması, hem çevreden gelebilecek her türlü zararlı etkiden korunmalarını hem de kullanım alanından tasarruf edilmesini sağlar. Duyucuların çevre şartlarından etkilenmeleri mikro duyucular ile minimuma indirilmiş ve böylece mikro duyucular ile çok hassas, doğru, kesin ölçümler yapılmış olur.



Şekil 2.8 MEMS teknolojisi ile üretilen mikro duyucular [3]

2.3.2 Mikro Çalıştırıcılar

MEMS teknolojisi kullanılarak üretilen mikro eyleyicilerin içeriğinde röleler, optik fiber butonlar, mikro konumlayıcılar, mikro motorlar ve mikro aktarma sistemleri vardır. Bu birimler duyucuların hareketli elemanları olarak da kullanılabilirler. Mikro eyleyicilerin boyutlarının çok küçük olması enerji kullanımını azaltırken yapılan işin çok hassas, kesin ve doğru olmasını sağlar. Çevreye hiç bir zararı olmayan bu mikro eyleyicilerin sisteme verdiği hareket yeteneği çok hassas ve kesin olduğundan diğer alanlar ile birlikte tipik olarak tıbbi-cerrahi alanında da bu tür sistemler sıklıkla kullanılır.



Şekil 2.9 Mems teknolojisi ile üretilen mikro çalıştırma üniteleri [3]

2.3.3 Mems Teknolojisinin Kullanım Alanları

Çok küçük yerlere sığdırılabilen MEMS ürünlerinden özellikle mikro sensörlerin ve mikro çalıştırıcıların birçok uygulama alanı vardır. Günümüzde MEMS birçok değişik araştırma alanına girmiştir. Bunlar; optik esaslı bilgi depolama, disk sürücüsü, mürekkep püskürtmeli yazıcılar; bilgisayar teknolojisinde, DNA analizi, mikro-cerrahi aletler, minyatür biyokimyasal analitik cihazlar, kimyasal duyucular; Tıbbi ve Biyolojik uygulamalarda, Gelişmiş mikroskop uygulamaları, mikro ölçekli sıcaklık ölçüm uygulamaları Fizik ve laboratuvar cihazlarında, Radyo frekansı devre ve süzgeç uygulamaları, Haberleşmede, Sürüklenme direncinin kontrolü, minyatür hava araçları, mikro uydulardır.

tümleşik optik sistemleri, optik anahtarlama, sayısal ışık işleme, düz panel görüntüleme yöntemleri; havacılık ve uzay sanayinde, taşıt güdüm teknolojisi de otomotivde sektöründe kullanılan bazı MEMS cihazlarıdır ve bunların yanında daha birçok yeni uygulama alanlarıda ortaya çıkmaktadır.

2.4 Mini Mikro Robotlar İçin Piezo-Elektrik Ultrasonik motorlar

Son yıllardan üzerinde büyük çalışmalar yapılan mini-mikro robotlar, çok küçük boyutlara sığdırılmış, gelişmiş ve fonksiyonel yapıları ile zor görevleri kolaylıkla gerçekleştirebilen, uygulamada geniş kullanım alanları bulan sistemler haline gelmişlerdir. Bu mini-mikro robotların yetenek ve boyutlarını belirleyen en önemli parçalardan biriside hareket mekanizmalarını sağlayan motorlardır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan elektro-manyetik motorlar, elektromanyetik gürültüleri, düşük verimleri, genellikle 10 mm' den daha büyük olmaları ya da küçük boyutlu olanların yüksek devirde dönme gereğinden dolayı dişli mekanizmalarına gereksinim duymaları nedeni ile, yüksek teknolojinin ihtiyaç duyduğu küçük boyutlu cihazlarda kullanılmaya uygun değildir.

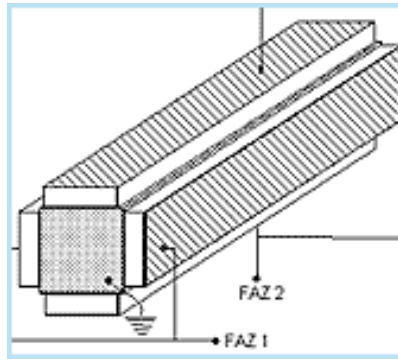
Bir piezo-elektrik seramik parça üzerine uygulanan alternatif gerilim sonucunda elde edilen titreşimin hareketli parçaya sürtünme kuvvetiyle aktararak çalışan motorlara "Piezoelektrik Ultrasonik Motorlar" denir. Buradaki ultrasonik kelimesi bu motorların 20 kHz üzerindeki frekanslarda (ultrasonik frekans bölgesinde) çalışmasından dolayı kullanılmaktadır.

Piezoelektrik etki basit olarak, üzerine mekanik bir basınç uygulanan bazı kristal ve seramik malzemelerde bir elektriksel yük ya da gerilim oluşması olarak tanımlanabilir. Karşılıklı yüzeyleri arasına bir gerilim uygulandığında aynı tip kristallerde veya seramiklerde ters piezoelektrik etkiden dolayı şekil değişikliği meydana gelir. Piezoelektrik malzeme alternatif bir gerilime maruz bırakılırsa malzemenin şekline bağlı olarak farklı biçimlerde titreme meydana gelmektedir.

Genelde, piezoelektrik ultrasonik motorlar, stator ve rotor diye adlandırılan temel iki parçadan oluşmaktadır. Bu motorların statorları; piezoelektrik ve elastik malzemenin değişik şekillerde kullanıldığı kompozit bir yapıdadır. Kompozit statorun dik iki mekanik rezonans frekansı bir yada birden çok alternatif (değişken) sinyalle elektriksel olarak uyarılması, stator yüzeyinde her noktanın mikroskobik düzeyde eliptik bir hareket yapmasını sağlamaktadır. Stator yüzeyinde oluşan bu hareket, stator yüzeyine temas eden rotorun sürtünme yardımıyla dönmesine veya doğrusal hareketine neden olmaktadır. Her ne kadar piezo-elektrik ultrasonik

motorlarla ilgili ayrıntılı inceleme 1980'li yıllarda yarı-iletken teknolojisinde hassas konumlandırıcılara duyulan ihtiyaç sebebiyle başlamışsa da; titreşim ve sürtünme kuvvetiyle çalışan motor düşüncesi ilk defa 1942 yılında Williams ve Brown tarafından ortaya atılmıştır.

Kare kesitli bir elastik çubuğun dört kenarına Şekil 2.10'da görüldüğü gibi piezoelektrik levhalar yapıştırılmıştır. Karşılıklı olarak piezoelektrik levhalar aralarında faz farkı bulunan iki farklı yüksek frekanslı sinyalle uyarıldığı zaman, kare kesitli çubuğun kafa sallama (wobbling) hareket yapması sağlanmaktadır. Bu motorun çalışma frekansı iki işaretin faz farkı 90 dereceye eşitlendiği zaman günümüzde kullanılan yürüyen dalga tipi motorların çalışma prensibiyle aynıdır.



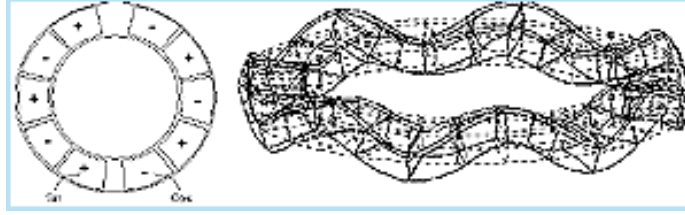
Şekil 2.10 Barın eğilme yönündeki titreşimlerini kullanarak çalışan piezoelektrik motorun statoru [3]

Bu motorların çalışma mekanizması 50 yılı aşkın bir süredir bilinmesine rağmen yüksek performanslı piezoelektrik malzemelerin olmayışı bu motorların gelişimini (60'lı ve 70'li yıllarda Sovyetlerdeki bazı çalışmaların dışında) 80'li yıllara ertelemiştir. 80'li yıllardaki yarı-iletken teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak hassas konumlandırıcılara duyulan ihtiyaç ve yüksek performanslı piezoelektrik malzeme teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak, özellikle 1982 yılında Sashida tarafından geliştirilen yürüyen dalga tipi motordan sonra birçok yeni piezoelektrik motor geliştirilmiştir. Özellikle Japonya da Canon, Shinsei, Seiko ve Matsushita gibi şirketler bu motorların kullanıldığı ürünler geliştirmişlerdir.

1982 yılında Sashida tarafından geliştirilen motorda kullanılan disk ya da halka şeklindeki piezoelektrik malzemenin yüzeyi, şekil 2.11'de görüldüğü gibi dilimli şekilde metal elektrotla kaplanmıştır. Dilimlenmiş elektrotları bulunan piezoelektrik halka (veya disk) aralarında 90 derece faz farkı olan iki alternatif sinyal ile uyarılmaktadır.

Bu uyarım sonucunda şekil 2.11'de görülen yürüyen dalga oluşmaktadır. Yürüyen dalga

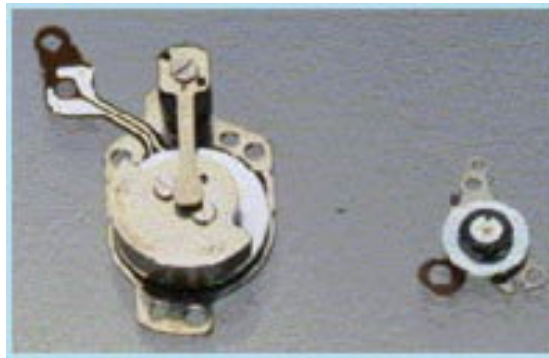
tipindeki bu motorların değişik sürümleri Canon Fotoğraf makinesinde otomatik odaklama mekanizmasında kullanılmıştır. Allied Signal firması yine aynı mekanizmayla çalışan motorları füze ateşleme mekanizmasında (sürtünmeden dolayı uyarılmadığı zaman bulunduğu konumu korumasından dolayı) mekanik anahtar olarak kullanılmıştır. Aynı yöntemle çalışan motor Seiko firması tarafından 10 mm çapında üretilmiş ve kol saatlerinde sessiz alarm olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.11 Piezoelektrik bir halkanın kullanıldığı yürüyen dalga tipi bir motorun elektrot yapısı ve oluşan titreşim [3]

Yüksek tutma momenti, sessiz çalışması, elektromanyetik parazitlerden etkilenmemesi ve sürtünmeden dolayı uyarılmadığı zaman bulunduğu konumu koruması gibi özellikler bu motorların Avrupa ve Amerikan şirketleri tarafından fark edilmelerini ve endüstriyel, robotik ve uzay teknolojisinde kullanılmaya başlamalarını sağlamıştır.

Şekil 2.12’de Seiko firması tarafından 4.5 mm çap ve 2.5 mm uzunluğunda üretilmiş ve kol saatlerinin sessiz alarm ve tarih ayarını yapan mekanizmalarında kullanılan mini motorlar görölmektedir.



Şekil 2.12 Seiko tarafından üretilen mini motorlar [3]

Şekil 2.13’te 1.6 mm çapında ve 4 mm uzunluğunda statorun kullanıldığı motor görölmektedir. 100 Volt, 240 kHz de çalışan bu motor 0.2 mNm’ lik bir (tork) döndürme kuvveti üretebilmektedir.



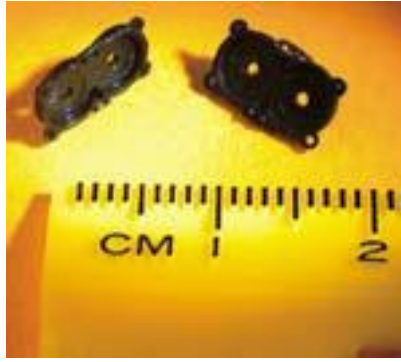
Şekil 2.13 Mikro-motor [3]

Piezoelektrik ultrasonik motorlar; uzay araçlarının iç kısımlarında yerden tasarruf sağlayan makine ve robot donanımında, ulaşamayan ve görülemeyen yerlerden veri ve bilgi temininde, boru ve tüp sistemlerinin iç kısmının hasar tespiti ve onarımında, nükleer enerji santralleri, mayın tespit ve imhası görevleri gibi tehlikeli yerlerde kullanılan mini/mikro-robotların hareket mekanizmalarında; taşınabilir iletişim cihazlarında ve diğer robotik uygulamalarda kullanılmaya uygun olup bu motorların teknolojiye yeni gelişmelerle birlikte kullanım alanları da genişlemektedir. Bunların dışında, özellikle büyük bir avantaj olan mikro düzeydeki boyutları sebebiyle asıl uygulama alanı tıbbi alanda bulacağı sanılmaktadır. Mikrocerrahide, endoskopi ve laparoskopi gibi tıbbi cihazlarda kalp ve damar hastalıklarının tedavisinde, zararlı yapıların teşhisinde ve vücuttan çıkarılmasında kullanılabileceği düşünülmektedir.

2.5 Mikro Kalıplama

Günümüzde mikro kalıplamadan söz edilmesine rağmen bir ürünün mikro ürün olma sınırı tam olarak belirlenmemiştir. Geleneksel kalıplama teknolojisinin yetersiz kaldığı noktadan sonrası artık mikro kalıplama teknolojisine girer. Artık yeter denebilecek alt limit ise, tamamen teknolojik gelişmelere paralel olarak küçülmektedir. Şu anki teknoloji ile kalıplanabilirliğin alt limiti; ağırlık olarak 0,00013g, cidar kalınlığı olarak 0,01mm olduğu söylenebilir. [4]

Mikro ürünlere örnek verecek olursak; mikro dişliler, mikro dişli kutuları, ısıtma cihazları, medikal cihazlar, mikro motorlar, saat parçaları, elektronik açma kapama anahtarları, mikro sensörler, lensler, fiber optik malzemeler vb. Mikro ürünlerde; federler, delikler, çıkıntılar, kanallar, klipsler gibi kritik elemanlar bulunmaktadır. Şekil 2.14 'te boyutları 3x1x0,5mm kütlesi 0,325g. Malzemesi Nylon olan mikro su motoru dişlisi görülmektedir.



Şekil 2.14 Mikro su motoru dişli kutusu [4]

Şekil 2.15’te ise mikro dişli sistemi ve sağında malzemesi asetal kütlesi 0,004 mg olan plastik malzeme granürü görülmektedir.



Şekil 2.15 Mikro dişli sistemi, plastik malzeme granürü [4]

Şekil 2.16’da mikro kalıplama ile üretilmiş 1,3 mm boyunda parça görülmektedir. Çekirdek maça çapları; 0,63-0,13 mm , yolluk giriş çapı 0,076 mm’ dir.



Şekil 2.16 Mikro kalıplama yöntemi ile üretilmiş parça [4]

Mikro kalıplama teknolojisi geleneksel kalıplama teknolojisine göre birçok zorlaştırıcı durum içermektedir. Örneğin kalıp ayrıntıları öylesine küçüktür ki imalatçı görebilmek için büyüteç

kullanmak zorunda kalabilir. Ayrıca eriyik plastiği dar kalıp kesitlerinde ilerletebilmek için enjeksiyon parametrelerinin iyi tasarlanması gerekir.

2.5.1 Mikro Kalıp Üretiminde Kullanılan Teknolojiler

2.5.1.1 Mikro Frezeleme Yöntemi

Mikro frezelerin geleneksel frezelere göre farkı boyutlarının küçük olması ve işleme hassasiyetinin yüksek olmasıdır. Hassas servo motorlar ve hareket elemanları kullanılarak tezgah eksen hareketlerinin kararlılığı sağlanmış olur. Geleneksel CNC freze tezgahının işleme hassasiyeti 1-3 mikron olabilmekteyken, CNC mikro freze tezgahının işleme hassasiyeti 30 nanometreye kadar inmektedir. Hareket hassasiyetini sağlayabilmek için hava taşımalı yataklar kullanılmaktadır. Ayrıca henüz deney aşamasında olan hidro-dinamik akışkan destekli yataklama da bu amaçla kullanılacaktır.

Mikro frezelerde elmas kesiciler kullanılmaktadır. 200 mikrona kadar küçük çaplı elmas kesiciler üretilmektedir. Bu kesicilerle son derece küçük detaylar ve pürüzsüz yüzeyler elde edilebilmektedir. Ayrıca elmas kesiciye ultrasonik titreşim hareketi yaptırarak ta kalıp yarımları işlenmektedir. Elmas kesicilerin en büyük dezavantajı çelik malzemeleri işleyememeleridir. Çelik yerine nikel, alüminyum veya bakır kalıp takımları işlenmektedir. Çelik kalıp takımları için karbür kesiciler üretilmektedir. Karbür kesicilerde ise 125 mikron çapa kadar kesiciler üretilmektedir. Böylece daha küçük detaylar elde edilebilmektedir. Fakat elmas kesici kadar pürüzsüz ve düzgün yüzeyler elde edilememektedir.

2.5.1.2 EDM Yöntemi

CNC EDM tezgahları sayesinde 1,5 mikron dalma hassasiyeti ile kompleks parçaların kalıp çekirdekleri kolaylıkla üretilebilmektedir. Tezgâh eksen hassasiyeti ± 2 mikron olduğundan maksimum ölçü tamlığı sağlanmış olur. Elektro-tel erozyon teknolojisi kullanılarak ta kalıp imalatı yapılmaktadır. Küçük profilleri oluşturabilmek için 0,025 mm çapındaki tel ile kesim yapılmaktadır.

2.5.1.3 UV-Litografi Yöntemi

Kalıp ve prototip üretiminde yepyeni bir yaklaşım olan UV-Litografi teknolojisi mikro kalıp üretiminde de kullanılmaktadır. Üretim süreci cam veya silikon tabanlı bir yüzeyden başlar. Dilimler halinde bölünen ürün geometrisi her firmanın kendine has ürettiği teknoloji ile katman katman inşa edilir. En alt geometriden başlanarak her katman inşa edilerek kalıp

çekirdeği oluşturulmuş olur. Bu kalıp çekirdekleri daha sonra nikel veya nikel alaşımları ile kaplanır. Böylece elde edilen kalıp yüzeyi EDM ve mikro-frezeleme ile elde edilenden çok daha pürüzsüz ve düzgün olur. Şekil 2.17’de bu yöntem ile üretilmiş kalıp çukuru basılan naylon plastik malzeme görülmektedir. Burada dişli çapı; 0,48 mm, ürün cidar kalınlığı; 0,066 mm’dir.



Şekil 2.17. UV-Litografi teknolojisi ile üretilmiş kalıp çukuru [4]

UV-Litografi yöntemi ile 10 mikrona kadar girinti ve detaylar kolaylıkla oluşturulabilir. EDM ve mikro-frezeleme teknolojisinde bu değerin 100 mikron olduğu düşünülürse oldukça mükemmel bir hassasiyet ortaya çıkmaktadır. Parça ölçüsünde ise ± 2 mikrona kadar ölçü toleransı sağlanır. Ayrıca bu yöntemle üretilen çok gözlü kalıplarda çekirdeklerin birbirini karşılamama sorunu ortadan kaldırılır. Bu yöntemle bir kalıp 6-8 hafta arasında yapılabilmekte olup her göz için 5 milyon baskı yapılabilmektedir. Fakat bu yöntemin henüz giderilmemiş sorunları vardır. Kalıp üretimi pahalıdır, kalıp sadece x ve y eksenlerinde inşa edildiği için kalıp çekirdeği tasarlanırken üretim kalitesi de göz önünde bulundurulmalıdır.

2.5.1.4 Lazerle Aşındırma Yöntemi

Mikro kalıp üretiminde kullanılan bir diğer yöntem ise lazerle aşındırma teknolojisidir. 5 mikron genişliğindeki lazer ışık demetinin 10–100 nanosaniyelik atımlarla kalıp çeliği üzerine yönlendirilmesidir. Böylece çelik aşındırılarak kalıp çekirdeği oluşturulmuş olur. Işık demetinin genişliği 355 nm' ye kadar düşürülebilir. Küçük ışık demetleri yüzey kalitesinin yüksek olduğu durumlarda kullanılır. Her ne kadar aşındırıcı lazer ışınının genişliği bu kadar küçültülebilse de kullanılan tezgâhın eksen hassasiyetine bağlı bir tolerans sınırının olduğu da unutulmamalıdır. Uzun süreli lazer atımları malzeme üzerinde ısısal yığılmalara sebep olur. Bu durum kalıp yüzey kalitesini olumsuz etkilenmektedir.

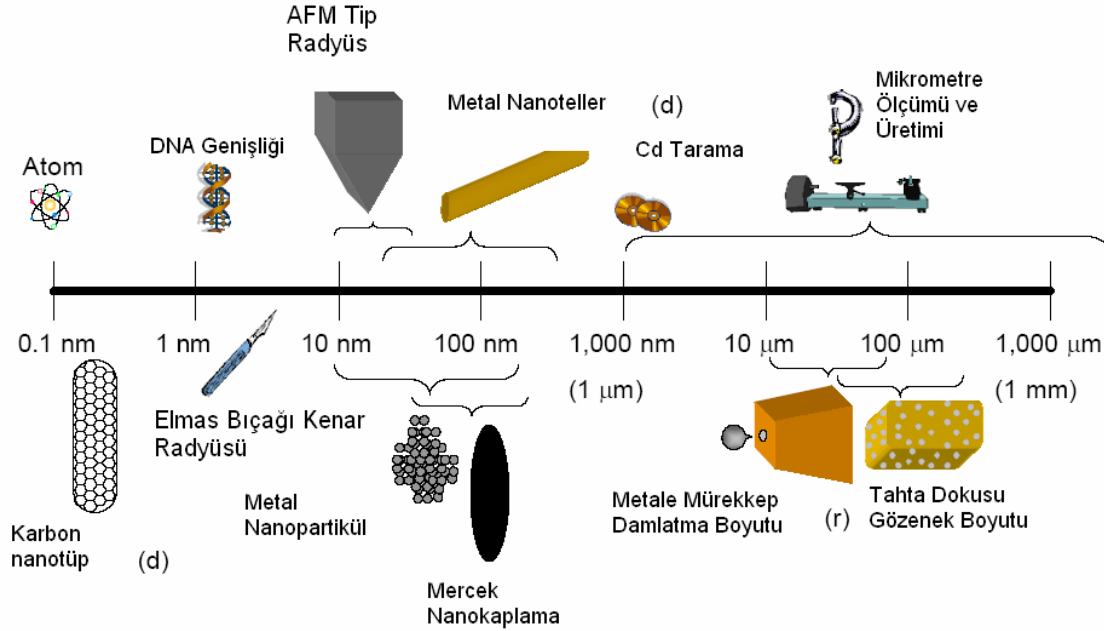
3. NANO TEKNOLOJİ

21. yüzyıl teknolojisi olarak kabul edilen ve bu alanda tüm dünyada yatırımların giderek arttığı nanoteknoloji hiç şüphe yoktur ki insanoğluna sınırsız çözümler sunmaktadır. Nanoteknolojiyi, atomik-moleküler boyutta maddenin mühendisliğinin yapılarak yepyeni özelliklerinin açığa çıkartılması olarak tanımlamak mümkündür. Yunanca' da 'cüce' anlamına gelir. Nanometre bir uzunluk birimi; ölçek olarak metrenin milyarda birini, milimetrenin ise milyonda birini ifade eder. İnsan saç kılının 80.000 nm kalınlığında, kırmızı kan hücrelerinin 7.000 nm çapında olduğu düşünülürse 1 nm' nin boyutu daha iyi anlaşılacaktır.

Nanoteknolojide atomlar veya moleküller tek tek alınıp hassas şekilde birleştirilerek istenen ürün elde edilir. Bilindiği gibi bütün maddeler atomlardan oluşmuştur. Özelliklerini de atomlarının dizilişlerinden alırlar. Atomları hareket ettirebilecek boyutlarda aletler geliştirilebildiği takdirde, doğadaki atomik dizilim taklit edilerek her şey kopyalanabilir. Çünkü maddeleri farklı kılan; en küçük birim olan atomların dizilişlerindeki çeşitliliktir. Atomları hareket ettirebilecek bir teknoloji de bu çeşitliliğe bir ölçüde ulaşabilir. Sözgelimi kömür moleküllerindeki atomları düzenleyebilirsek aynı moleküllerin farklı bir dizilimi olan elmas elde edebiliriz. [5]

Maddeler nano boyutlara indirgendiğinde, makro boyutlardan çok daha farklı fiziksel, kimyasal veya biyolojik özellikler kazanmaktadır. Malzemeler daha kuvvetli, daha hafif veya daha farklı şekillerde ısı ve elektrik iletme özelliklerine sahip olabilmekte, magnetik ve optik özelliklerinde önemli ölçüde artma veya azalma olabilmekte ve hatta renkleri bile (altının, nano boyutlara indikçe renginin mavi veya kırmızı olması gibi) değişebilmektedir. [6]

Ayrıca gelişen vakum sistemleri ve malzeme karakterizasyon teknikleri mühendisliğe ve bilime bu sayede çalışma yapılabilirliği artan oranlarda sağlamaktadır. Bu sayede ise nano seviyelerde görüntüleme, mekanik kuvvetler uygulayabilme ve mekanik özellik tayini, nano saniyelerde başlayıp biten çeşitli işlemlerin yakalanabilmesi ve izlenmesi, nano ölçeklerde kimyasal analiz gibi analitik incelemeler mümkün olmakta; sonucunda ise hafıza elemanlarında, sensörlerde ve tıpta etkili yeni cihazların ortaya çıkması gibi ilerlemeler kaydedilmektedir.



Şekil 3.1 Nanoteknolojinin boyutsal konumu [7]

Günümüzde kullanılan üretim teknikleri, moleküler anlamda çok kaba tekniklerdir. Döküm, taşlama, tornalama vs. atomların büyük kitleler halindeki hareketlerine dayanır. Yapı taşları olan atomlar tek tek alınıp istenildiği gibi, üstelik de ucuza mal olacak şekilde birleştirilebilir. Bu gelişme özellikle bilgisayar sektöründe önümüzdeki yıllarda kullanıldığında tümüyle daha temiz, daha dayanıklı, daha hafif ve daha hassas ürünlerin üretilmesi mümkün olacaktır. Nanoteknolojiyle ilgili iki kavram daha vardır; mikro montaj ve kendi kendine çoğalma. Mikro montaja olan ihtiyaç moleküler robot sanayine olan ilgiyi artırıyor. Bu şekilde moleküler boyutlarda ve hassasiyette robotlar üretilmesi söz konusu olabilecektir. Bu nano makineler aslında günlük hayatta kullanılan aletlerin ve sistemlerin çok küçük birer kopyaları olacaktır. Nano makinelere en iyi örnek tüm canlıların hücrelerinde bulunan ve hemen hemen her çeşit proteini üretebilen ribozomlardır.

Ribozomlar oldukça küçük organellerdir (sadece birkaç mikro metre küp boyutunda) ve amino asitleri hassas çizgisel bir sırayla arka arkaya dize eder ve proteinleri oluştururlar. Bu işlem için ribozomun belirli bir amino asidi seçebilme tekniği vardır. Bunu özel bir tür transfer RNA molekülünün yardımıyla yapar. Ribozomun bu işlemde izleyeceği sıra ona haberci RNA (mRNA) tarafından bildirilir. İşte ribozomların bu işleyiş prensibi, mühendislik alanında uygulanabildiğinde nanoteknoloji hayatımızın her yönüne hitap edecektir. Nanoteknoloji, benzeri görülmemiş özelliklerdeki yeni aygıtları üretmek için atomların ve

moleküllerin bilinen özelliklerini kullanacaktır. Nanoteknoloji ile üretim yapabilmek için bilim adamlarının üzerinde çalıştığı üç temel adım vardır.

- Bilim adamlarının bağımsız atomları tek tek kontrol edebilmeleri için tek bir atomu tutup istenen noktaya getirebilmeyi sağlayacak bir tekniğin geliştirilmesi.
- İkinci adım nano ölçekli gözlem yapabilen, atomları ve molekülleri isteğe göre kontrol etmeye programlanabilen iş makineleri, yani "derleyici"ler üretmektir. Uygun bir zaman çerçevesinde eşya üretebilmek için trilyonlarca derleyicinin kullanılması.
- Üçüncü adım olarak ise, yeterli sayıda derleyiciyi elde etmek için var olanı sayısız kez "çoğaltmaya", "kopyalamaya" programlanabilecek "çoğaltıcı"ları geliştirmesi. Otomatik bir şekilde belirli bir ürünü üretmek için bu nano makinelerin trilyonlarcası bir arada çalışarak alışılmış üretim kalıplarını değiştirecek, üretim maliyetini neredeyse sıfıra indirgeyebilecek, bol üretim yapılabilecek ve ürünler hiç olmadıkları kadar ucuz ve sağlam olabilecektir.
- Atomları ve molekülleri taşıyacak, yerleştirecek küçüklükteki ilk robot kolun yapılmasıyla nanoteknolojinin ilk aşaması gerçekleşmiş olacaktır. Böyle bir minyatür robot kolun ürettiği robot kollar da kendi benzerlerini ve diğer nano ölçekli aygıtları yapacaklardır. Sayıları trilyonlara ulaştığında da süper nano bilgisayarlar tarafından kontrol edilen bu sürü ile nesneler üretilebilecektir. Tüm insanlık için kökten değişim ve dönüşümleri beraberinde getirecek bu gelişmelerin olası sonuçları üzerinde herkesin düşünmesi gerekmektedir. Nano gelecekte herkes kendi bilgisayarına temel tüketim maddelerini üretmesi için emir verebilecektir. Evin bir köşesinde çalışan nano robot sürüleri de istediğiniz malzemeyi, etrafımızda serbestçe dolaşmakta olan atomları toplayıp işleyerek üreteceklerdir.

3.1 Nano Teknolojinin Tarihçesi

60'lar-Richard Feynman

Nanoteknoloji vizyonunun ortaya çıkışını, 1959 yılında fizikçi Richard Feynman'ın malzeme ve cihazların moleküler boyutlarda üretilmesi ile başarılabilecekler üzerine yapmış olduğu ünlü konuşmasına kadar dayandırabiliriz. Bu konuşmasında Feynman minyatürize edilmiş enstrümanlar ile nano yapıların ölçülebileceği ve yeni amaçlar doğrultusunda kullanılabileceğinin altını çizmiştir.

80'ler-Uygun Mikroskopların Geliştirilmesi

Araştırmacıların daha küçük boyutlarda çalışmaya başlamasıyla birlikte birçok problem de ortaya çıkmaya başlamıştır. Boyutlar küçüldükçe, yapılan çalışmaları izlemek zorlaşmıştır. 1981 yılında IBM tarafından yeni bir mikroskop türü “Scanning Tunneling Microscope” (STM) geliştirildi. Bu önemli ilerlemede pay sahibi olan araştırmacılar bu buluşları ile 1986’da Nobel Fizik ödülünü aldılar. Aynı zamanlarda STM mikroskopunun bir türeği olan “Atomic Force Microscope” (AFM) geliştirildi. Feynman’ın bahsetmiş olduğu cihazların (scanning electron microscope, atomic force microscope, near field microscope vb.) 1980’lerde geliştirilmesi ve eşzamanlı olarak gelişen bilgisayar kapasiteleri ile nano skalasında ölçüm ve modelleme yapılması mümkün olmuştur.

90’lar –Fullerene-Karbon Nanotüpler-Drexler

1990’ların başında Rice Üniversitesinde Richard Smalley öncülüğündeki araştırmacılar 60 karbon atomunun simetrik biçimde sıralanmasıyla elde edilen futbol topu şeklindeki “fullerene” molekülleri geliştirildi. Elde edilen molekül 1 nanometre büyüklüğünde ve çelikten daha güçlü, plastikten daha hafif, elektrik ve ısı geçirgen bir yapıya sahipti. Bu araştırmacılar 1996 yılında Nobel Kimya ödülünü aldılar. 1991 yılında Japon NEC firması araştırmacılarından birinin, Sumio Iijima’nın, karbon nano tüpleri bulunduğunu duyurdu. Karbon nano tüpler, fullerene molekülünün esnetilmiş bir şekli olup benzer şekilde önemli özelliklere sahipti; çelikten 100 kat daha güçlü ve ağırlığı çeliğin ağırlığının 6’da 1’i kadardı.

90’larda ayrıca Feynman’ın fikirleri Eric Drexler tarafından yazılan kitapta (“Engines of Creation”) geliştirildi. Drexler’in fikirleri şüpheyle karşılanmasına karşın 1992 yılında yayınlamış olduğu kitabında (“Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation”) genel kavram ve düşüncelerini detaylı analiz ve tasarımlar ile ayrıntılı olarak anlatmıştır.

2000’ler – Yarış Başlıyor

1999 yılında ABD’de Bill Clinton hükümeti nanoteknoloji alanında yürütülen araştırma, geliştirme ve ticarileştirme faaliyetlerinin hızını artırma amacını taşıyan ilk resmi hükümet programını, Ulusal Nanoteknoloji Adımını (National Nanotechnology Initiative) başlattı. 2001 yılında Avrupa Birliği, Çerçeve Programına Nanoteknoloji çalışmalarını öncelikli alan olarak dahil etti. Japonya, Tayvan, Singapur, Çin, İsrail ve İsviçre benzer programlar başlatarak 21. yüzyılın ilk küresel teknoloji yarışında önlerde yer almak için çalışmalarına hız verdi. [8]

3.2 Nano Malzeme

Nano malzemeler ve dolayısıyla nano yapılar, fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki yolla meydana gelir. Bir başka deyişle nano malzemeler, insan yapımı (sentetik) veya doğal olabilmektedir. Örneğin nano parçalar bitkiler, algler ve volkanik aktivitelerle doğal olarak üretilebilmekte, binlerce yıldır pişme ve yanma sonucunda elde edilebilmekte ve hatta bunun yanında araç eksozlarından da oluşabilmektedir.

Laboratuvarlarda nano yapı elde etme işleminde ise basit ve ucuz bir teknik olması nedeniyle genellikle fiziksel yöntemlerden olan Vapour Liquid Solid (VLS) tekniği kullanılmaktadır. (VLS 'nin basamakları; Çekirdeklenme, Çökelme ve Biriktirme olarak sayılabilir)

Nano yapıların oluşturulmasında kullanılan teknikler ve bu tekniklerde kullanılan parametrelerin değişimi ile nanotel, nano çubuk, nanotetrapod, nanotüp, nanofırça, nanohalka, nanokıl gibi pek çok farklı şekilde yapı elde etmek mümkündür.

Nano üretimde kullanılan parametrelerin kullanılan malzeme miktarı ve saflığı hazırlanış şartları, hazırlama basıncı, uygulama süresi, taşıyıcı gaz özellikleri ve sıcaklık olduğu bilinmektedir. Elde edilmiş tek tek tip nano yapının birkaç parametresinin değişimi ile boyutlar üzerinde oynama yapmayı olanaklı kılmaktadır.

Büyük nesnelere bağlanan / bağlanan nano malzemeler çevreye yayılmadıkları için sağlık ve emniyet açısından bir risk oluşturmazlar

Ancak nano parçaların ve nano tüplerin üretimi esnasında oluşan malzeme, malzeme üzerine bağlanmadığından serbesttir ve etrafa yayılabilir; bu nedenle de zararlı olabilmektedir. Nano parçaların yenmesi, solunması veya deri yoluyla vücuda girmesi hücrelere zarar verebilir. Nano tüpler de yapısal olarak asbest liflere benzerler, bu nedenle uzun süre fazla miktarda bulunduğu solunum rahatsızlıklarına yol açabilir. Bu nedenledir ki nano malzeme üretilen yerlerde nano – partikül maruziyeti mutlaka gözlenmelidir.

Nano malzemeler, metal, seramik, organik moleküler topluluk, polimerik ya da kompozit malzemeler olabilir. Nano malzemeler, yalnızca minyatürizasyonda yeni bir aşama olarak düşünülmemelidir, tümüyle yeni bir alandır. Nanodünya, atomik ve kuantum fenomenleri ile hacimsel malzeme ölçeğinin arasında yer almaktadır. Geleceğin teknolojilerinin atom, molekül ve nano küme boyutlarında, malzemenin ve yüzeylerin tasarlanması-işlenmesi üzerine inşa edileceği öngörülmektedir.

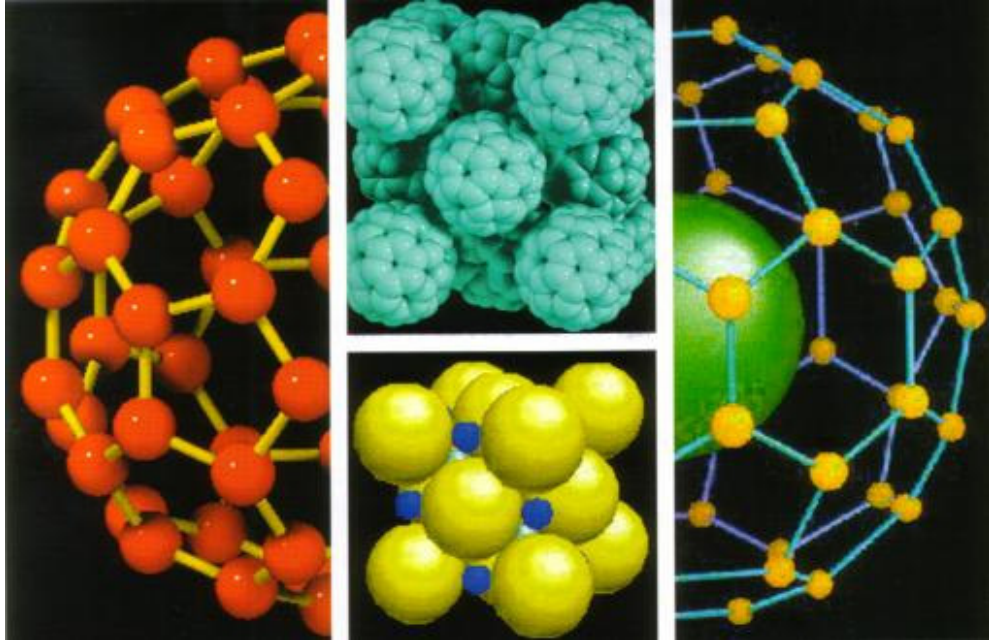
Nano malzemeler boyutlarından dolayı, elektronik, fotonik, manyetik, yapısal ve mekanik

niteliklerinde olumlu yönde farklılık gösterirler. Bu farklılığın nedenleri ise, yüksek yüzey-hacim oranları, hacimsel davranışlar ortaya çıkmadan sınırlı sayıda atom ya da molekül arasında kooperatif fenomenler ve nano-boyutlu yapılarda ortaya çıkan kuantum etkileridir. [9]

3.2.1 Karbon Nanoyapılar

Karbon elementi canlıların temel taşıdır. Nano teknoloji çağının başlamasında önemli bir rol oynayan karbon nano yapılar da nano makinelerin, nano robotların vazgeçilmez elemanları olacaktır. Karbon nano yapılar, bu tür nano sistemlerin yapılmasında şimdilik tek aday durumundadır. Nano teknolojide, uygun malzeme ve onu işleyebilecek teknik düzenek olmak üzere iki önemli unsur vardır.

Karbon; üç boyutlu yarı iletken elmas yapıdan, iki boyutlu yarı metalik grafitte, bir boyutlu iletken ve yarı iletken nano tüplere kadar farklı yapıların oluşumuna uygun bir elementtir. Karbonun bir boyutlu yapıları nanometre düzeyinde oldukları için, bu sistemlere nano tüpler denilmektedir. [10]



Şekil 3.2 Karbon nanoyapılar [10]

3.2.2 Nanotüpler

Temel olarak, bir karbon nanotüpü tüpün içine girecek şekilde kıvrılmış karbon atomlarından oluşur. İki değişik biçimde bulunur. Tek duvarlı nanotüp, tek bükümlü karbonlar, çoklu duvar bir tüpün başka bir tüpün içinde olduğu yapı. Günümüzde araştırmalar tek duvarlı tüpler üstünde yoğunlaşmaktadır.

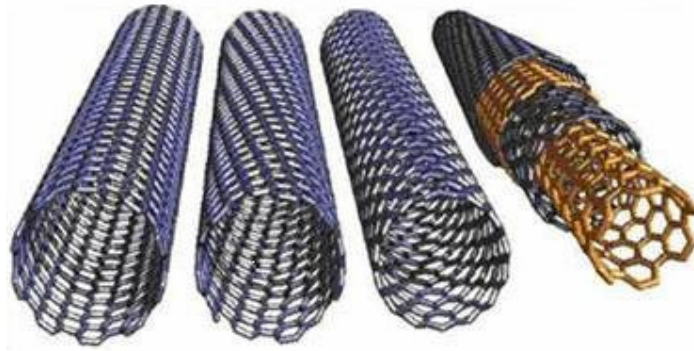
Tüplerin özellikleri 2 faktörden dolayı dikkat çekicidir. Birincisi onları tek boyutlu bir nesne durumuna getiren boyutları, ikincisi karbonun sıra dışı özellikleridir. Euclid bakış açısına göre dünyada tüm nesneler, nanotüpler dâhil, 3 boyutludur. X eksenini yatay, Y eksenini düşey, Z eksenini derinlik boyutudur. Bilim adamları bunun geçersiz olduğu durumlar göstermişlerdir (örn: film negatifleri). Negatifler Z eksenine sahiptirler fakat bu kullanılmaz.

Tek boyutlu nanotüplerde yükseklik ve genişlik yoktur. Bunun sonucu, elektronlar bir yörüngede hareket ederler. Malzemedeki yarıklarda, bozuk alanlarda dağılmaz ve kaybolmazlar.

Bu tek boyutluluk nanotüplerin, ısıyı şu ana kadar bilinen, elmas dahil, tüm malzemelere göre daha iyi iletmesini sağlar. Bunun sonucu evlerde ve enerji santralleri arasındaki enerjiyi iletmede eşsiz bir yoldur. Fiber optiklerde de ışığı taşımakta benzersizdir.

Bağlamak nanotüpleri çekici kılan başka bir özellikleridir. Karbon atomları birbirine sınıksız bağlıdır ve sabit altıgenler oluştururlar. Nanotüpler ayrılan atomun yerine başka bir atom kaydırarak kendilerini onarırlar

Karbon, aynı zamanda farklı atomların anlık birleşmesine neden olan van der Waals kuvvetlerinin oluşmasında da kullanılır. Van der Waals kuvvetlerinin yeni bellek yongalarında kullanılması düşünülmektedir. Böylece nanotüpler yeni bir alanda kullanılacaktır. [11]



Şekil 3.3 Nanotüp [12]

3.3 Nano Teknolojinin Kullanım ve Uygulama Alanları

Nanoteknoloji birçok bilim dalını kapsamasına karşın tıp alanında oldukça çarpıcı gelişmelere imkan tanıyacağı düşünülmektedir. Uzmanların görüşüne göre; gelecekte mikroskobik robotlar vücudun dolaşım sistemine girerek hücre seviyesinde onarım yapıp hastalıkları iyileştirebilecektir. Nano algılayıcılar insan vücudundaki hastalıkları çok önceden saptayarak erken tedavi olanağı tanıyacaktır. Dahası ameliyat esnasında vücudun sadece hastalıklı bölgesine inen mikroskobik cihazlar; yiyecekleri saran ve bakteriyel bozulma olduğunda rengi değişen alüminyum folyo gibi ürünler elde edilebilecektir. Bu teknolojiyle üretilen minik aygıtlar adeta minik birer denizaltı gibi damarlarımızda dolaşabilecek, yönlendirdiğimiz hücreye alıcıları vasıtasıyla yapışabilecek ve mikro makaslarıyla adeta bir cerrah gibi hücredeki aksaklıkları giderebilecek, hatta DNA üzerinde değişiklikler yapabilecekler. Bu konuda en çok gelecek vaat eden ise nano materyallerdir. Çok hafif ve dayanıklı olacak olan bu materyallerden yapılacak araba, uçak ve uzay araçları ile çok az enerji tüketimiyle daha uzun ve güvenli yolculuklar yapılabilecektir. Ayrıca doğada mevcut olan birçok teknoloji hayata geçirilebilecek örneğin; lotus çiçeği yaprağının hiç ıslanmaması ve kirlenmemesi özelliğinden yararlanılarak kirlenmeyen, ıslanmayan kaşıklar, çatallar, tabaklar, elbiseler üretililebilecektir.

Nanoteknolojinin günümüzde tipik uygulama örnekleri;

- Karbon nanotüp ve nano litografi
- Karbon lifler üreterek hidrojen bataryası olarak kullanma
- Nano kütüphaneler
- Veri bilgi depolama (Noval data storage system)
- Hücre onarım robotları (Cell repair units)
- Coca-Cola plastik şişelerin monolayer silisyum dioksitle kaplayarak cam ve plastiğin üstün özelliklerinin birleştirilmesi
- Polietilen üretiminde zincir yapısı değişimi ile çelikten sağlam taşıyıcı halat üretimi (Kevlar)
- n ve p tipi transistör ve elektronik devrelerin imali
- Femto saniye-nanoteknoloji ile moleküllerde birçok kimyasal ve fiziksel özelliğin

ölçülmesi. [13]

Yukarıda belirtilen temel yöntemler tam anlamıyla hayata geçirildiğinde aşağıdaki ürünlerin geliştirilebileceği öngörülmektedir:

- Çok işlevli nanokompozit malzemeler: Sensör, katalizör, yakıt hücreleri ve elektrotlar, polimerik nanokompozitler, yüksek kapasiteli veri depolama sistemleri için manyetik nanokompozitler; otomotiv, cam, ambalaj ve beyaz eşya sanayi için nano-kaplamalar, boyalar ve akıllı tekstil ürünleri.
- Biyoesinli malzemeler ve katalizörler: Yapay enzimler, moleküler aygıtlar, yapay fotosentetik sistemler
- Kendiliğinden düzenlenme (self-assembly) yöntemleri ile nano-elektronik ve nanomekanik aygıtlar. [9,13]

Bu teknolojinin uzun vadede kullanılacağı alanlar şunlardır:

- Mikroskobik moleküler bilgisayarlar, enformasyon teknolojisi dünyasında bir devrim yaratacaklardır. Moleküler bilgisayarlar sadece hesap ve işlem yapmayacaklar, aynı zamanda kendilerini de çoğaltabilecekler.
- Bütün eşyalar atomlarına kadar ayrılıp tekrar daha yararlı malzemelerin üretilmesinde kullanılabileceğinden mükemmel bir geri dönüşüm sağlanmış olacak.
- Dünyadaki çevre kirlenmesinin önünün alınması ve mevcut kirlenmiş kaynakların otomatik olarak temizlenmesi mümkün olabilecektir.
- Medikal Nanoteknoloji alanında sanal olarak hastalıkların önüne geçilmesi ve yaşlanmanın yavaşlatılması mümkün olabilir. Bir süper bilgisayar tarafından kontrol edilen ve vücudumuzun yapay bağışıklık sistemini oluşturacak nanorobot ordularının üretilmesi; moleküler seviyede hücrelerin tamir edilmesi, DNA'yı işleyebilecek hatta yaşlanmayı durdurabilecek robotların üretilmesi teorik olarak mümkündür.
- Vücuda gönderilecek programlanabilir makinelerin kullanımları çok geniş olabilir. Hatta vücuda ek bir bağışıklık sistemi de kazandırabilirler. Hedef hücrelerin özellikleri programlandığında, örmeğin grip virüslerine saldırabilir ve bünye hastalanmadan virüs istilasını durdurabilirler. Aynı zamanda vücuttaki her bulguyu rapor edip doktorluk da yapabilirler.
- Asfalt yerine yüksek etkinlikli ve kendini türetebilecek solar hücrelerden oluşan yollar dünyadaki enerji üretimini dörde katlayabilir.

- Moleküler gıda sentezi ile kıtlık ve açlığın önlenmesi mümkün olabilir.
- Nanoteknoloji çevre konusunda da kullanılabilir. Temiz su kaynaklarını kirleten maddeler ayrıştırılabilir. Denize dökülen petrol çözülerek temizlenebilir.
- Atom seviyesinde üretim yapılacağından çevreye verilecek zarar en aza indirilebilir.

3.3.1 Endüstriyel Alan

Mikro makineler, mikro pompalar, mikro sensörler geliştirme, optoelektronik elemanların imali, bir araya getirilmesi, nano boyutlu kaplamalar, monolayer katalizörlerle tepkimelerin kontrolü, nano boyutlu elemanlar arası bağlantılar, chip ve cd üretimi endüstriyel alan faaliyetleridir.

3.3.2 Tıp ve Sağlık Alanı

Mikro-nano cerrahi (özellikle göz ve beyin cerrahi), diyagnostik kitler, Hücre, doku ve moleküler (DNA gibi) hasar belirlenmesi ve onarımı. Nano teknoloji; sadece üç adet atomdan oluşan küçük bir su molekülünden, hemoglobin gibi oksijen taşıyan bir protein molekülüne ya da DNA zincirine kadar çok geniş bir alanı kapsayan yeni bir teknolojidir.

Nano teknoloji ürünleri, beyin damarlarının içerisine, dışın içine, vb. insan vücudu içerisinde her yere yerleştirilebilir. Nano teknoloji ürünü chipler ve özel donanımlar ile canlı organizmalar uzaktan kontrol edilebilir. İnsan saçı içerisine sığabilen özel kablolarla özel bir iletişim sistemi de kurulabilir.

Nano teknoloji sayesinde, çok küçük boyutlarda üretilebilen nano robotlar yapılabilecektir. Günümüzde, nano boyutta fonksiyonel olabilen bu robotları insan kanına verip insan vücudu içerisinde hasarlı organı onarabilecek nano robot teknolojileri ile ilgili proje çalışmaları yapılmaktadır. Beynin kılcal damarları tıkanığında, nano tüpler ile bu tıkanmalar giderilebilecektir. İnsan beyni, içerisinde kimyasallar ve elektronlar bulunan bir yapıda olup beyin hücreleri arasındaki iletişim nano seviyededir. Beyin damarları içerisinde kan ile hareket eden nano tüpler vasıtasıyla hatasız teşhis ve tedavi yapılabilecektir. Bir tür sinirsel iletişim eksikliğinden kaynaklanan ve genel adı felç olan hastalığa, nano teknolojiyle üretilen yapay kılcal damarlar ile çare bulunacaktır.

Nano teknoloji, ilaç sektöründe de kullanılmaktadır. Vücuda alınan ilaçlar, normalde vücudun her yerine dağılmakta ve gerçek hedefe gitme olasılığı azalmaktadır. Halbuki nano partiküller ile ilacı doğrudan doğruya gitmesini istediğimiz gerçek hedefe gönderebiliriz. Bunu, hedefi vuran nano kurşuna benzetebiliriz. Böylece ilaç doğrudan doğruya hasta bölgeye veya hasta

dokuya gönderilebilecektir. Nano tabancalar ile doğrudan hücreye müdahale edilebilecektir. Mevcut yöntemlerle ilaç alımında, vücudun küçük bir bölgesini tedavi etmek için vücudun başka bir yerini zehirlemek gibi bir risk bulunmaktadır ve bu verimsiz bir yöntemdir. Klasik yöntemle ilaç kullanımında, vücudun kritik iç organları, beyin, karaciğer, böbrek vb. zarar görebilmektedir. Halbuki nano teknoloji ile yapılan tedavide, ilaç nano kapsüllere yükleniyor ve bu nano kapsüller şırınga ile sadece hasta bölgeye veriliyor. Sonra da bu nano kapsüller patlatılıyor ve sadece gerekli yerlere ilaç verildikten sonra da bu zararsız nano kapsüller vücuttan dışarı atılıyor.

Gelecekte nano biyolojik ürünler gündeme gelecek, suni organ yapımında nano parçalar kullanılacak, anında teşhis koyabilen sağlık tarama araçları yapılabilecektir. [8,13]

3.3.3 Nanoteknolojinin Tekstilde Kullanımı

Nano teknoloji kavramı, tekstil sektöründe, kumaşın yüzeyindeki hava molekülünün emilmesi ve yüzeyde ince bir örtü oluşturularak, bu örtünün, kumaşı dış etmenlerden koruması temelinden hareketle kullanılmaktadır.

Örneğin, nano teknoloji ve özel bir kimyasal işlem sayesinde bir inçin (2,54 santimetre) yüz binde biri uzunluğunda milyonlarca lifle donatılan kumaş leke tutmaz hale getirilir. Bu buluş Amerika'da, maddelerin moleküler yapılarında değişiklik yaratan bir süreç olduğu için, mikro teknolojinin yeni bir akımı olarak değerlendiriliyor. Nano teknoloji, ürüne, kullanım süreci içerisinde anlaşılabilecek yeni özellikler katması ve her tip kumaşa uygulanabilmesi açılarından tekstil sektöründe büyük avantajlar sağlamaktadır.

Ayrıca insanların nano teknoloji kullanılan ürünlerin dayanıklılığını bilmeleri de, daha pahalı olmasına rağmen bu ürünleri tercih etmelerini ve dolayısıyla üreticilerin ciddi bir kar marjına sahip olmasını sağlar.

Nano ürünleri (yastık, yorgan ve battaniye) özel, yumuşak ve hafif bir maddeden imal edilir.

Masaj yapma, anti bakteriyellik, metabolizmayı canlandırma ve kan dolaşımını düzenleme gibi işlevleri vardır.

Doğal maden filizinden elde edilen özel bir hammadde, uzak kızılötesi ışıını yayma özelliğine sahiptir. Foto katalitik malzemelerle birleştirilen bu hammaddeler yastık, yorgan ve battaniye gibi ürünlere eklenebilir.

Isı koruyucu özelliğe sahiptir.

Kan dolaşımını düzenler, metabolizmayı harekete geçirir, vücut hücrelerini aktif hale getirir ve rahat bir uyku sağlar.

Yastık ve yorgan içindeki foto katalitik malzemelerin ayrıca koku giderici ve anti bakteriyel özellikleri de vardır.

Yapılan deneylerde, denek kişinin battaniyenin üzerine 10 dakika uzanmasından sonra, ten ısı derecesinde artış, kan dolaşımında hızlanma ve kan akışında artış gözlemlenmiştir.

Nano ürünleri kullanıldığında, vücut uzak kızılötesi ışıdan ve rezonans etkilerinden çıkan muazzam bir enerjiye maruz kalır. Pijama ile yataktan çıkıldığında dahi vücut soğuğa karşı hassasiyet göstermez.

İnsan hayatının üçte birinin uykuda geçtiği düşünüldüğünde, uyku esnasında, sağlıklı vücut şartlarını koruduğu saptanan Nano ürünlerinin kullanımıyla insan sağlığı günlük yaşamda en iyi şekilde korunmaktadır.

3.3.3.1 Nano Lifler

Nanolifler tekstil dünyasına çok yeni girmiş bir gelişmedir. Daha önceden duymuş olduğumuz nano tüpler, nano materyaller, nano makineler şimdi nano lifler eklenmiştir.

Nano lif terimi de tanımı çok kesin de olsa kimi zaman belirsizlik olmaktadır. Bunun sebebi mukavemeti çeliğin 15 katını bulan düzenli sıralı karbon atomları olan karbon nano tüpleridir. Bu tüpler veya lifler genellikle grafit veya karbon nano lifleri olarak da bilinmektedir. [14]

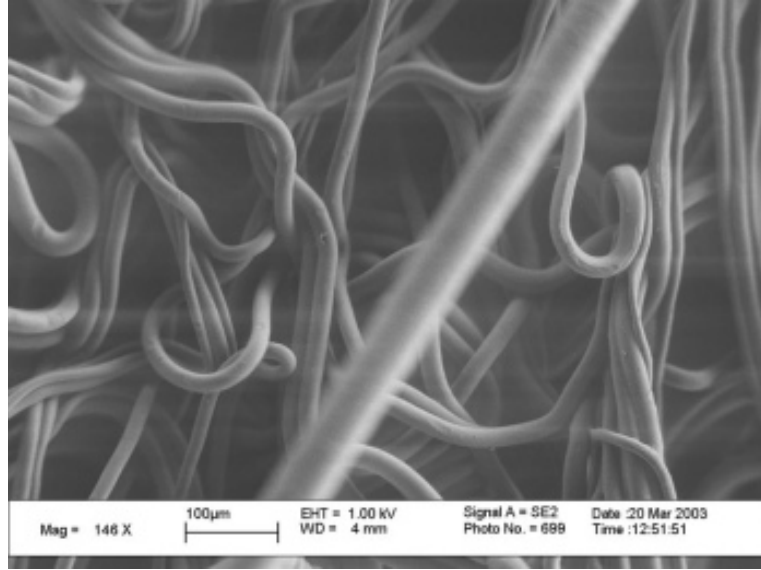
3.3.3.2 Polimer Esaslı Nanoliflerin Üretimi

Hem fonksiyonel hem de moda uygun yeni kumaşlar ve akıllı materyallerle şu özellikler bir araya getiriliyor: Su geçirmezlik, lekelerle daha çok dayanıklılık, kırışmazlık. Bunların yanı sıra yeni materyaller daha çok nefes alma imkanı sunarken, alev almazlık, koku tutmazlık özelliklerini taşır. Hatta mikrop öldürücü ve nemlendirici özellikleri de vardır.

Genel anlamda lifler söz konusu olduğunda 'nano' lif çapının büyüklüğü hakkında bilgi verir. Ancak, bir lifi nano diye tanımlarken farklı endüstri kolları birbirinden farklı fakat çok önemli terimler kullanır. Bazıları çapı bir mikronun altındaki liflere nanolif derken, diğer bazıları ise nanolif için çapı 0,3 mikron veya daha az olan lifler tanımını uygun görmüşlerdir.

Günümüzde, mevcut lif üretim teknikleriyle çapı bir mikron ve altında lif üretilemediğinden dolayı, nanolif için "çapı bir mikron ve altındaki lifler" tanımı daha uygundur. Burada

incelenen konu, bu küçük lifleri üretmek için en son teknoloji olarak geliştirilen çeşitli tekniklerin günümüzdeki durumudur.



Şekil 3.4 Nanoliflerin mikroskop altındaki görünüşleri [14]

Polimerik nanolifler için birçok piyasanın incelenmesine rağmen kullanım değeri ve satış hacmi konusunda bir öngöründe bulunabilmek henüz çok erken ve oldukça zordur. Genelde, birçok uygulama gösteriyor ki, inceleme konusu lifler nanolifler olunca daha alınacak pek çok mesafe vardır.

3.3.3.3 Elektro-Üretim (Electrospinning) Yöntemi ile Nanolif Üretimi

Genelde, polimer esaslı nanoliflerin üretimi ile ilişkisi olan imalat tekniği elektro-üretimdir (electrospinning). Bu teknikte, polimer uygun bir çözücüde çözülür veya ısı ile eritilir, bir ucu kapalı ve daralan öbür ucunda küçük bir delik bulunan cam bir pipetin içine yerleştirilir. Daha sonra polimer çözeltisi/eriyiği ve pipetin açık ucunun yakınındaki bir toplayıcı levhaya 50 kv'a kadar gerilim uygulanır. Toplayıcı levhada oluşan ağımsı yüzeyde çapları 30 nm'den 1 mikronun üzerindeki değerlere kadar değişen lifler bulunmasına rağmen, bu işlem çapı 50 nanometre boyutunda nanoliflerin üretimine imkan verir. Bu işlemin üretim verimi, genelde birim saatte birim düze deliğinden geçen polimerin gram cinsinden miktarı ile ölçülür ve lif mukavemetinin (gram/denye) çok düşük olduğu tahmin edilmekle beraber ölçülmesi de oldukça zordur.

Şu anda, birçok şirket bu tekniği kullanarak filtreleme ürünleri imal ediyorlar. Diğerlerine

nazaran daha çok tanınmış olan The Donaldson Co. üretim ve ticari alanlarda halen lider konumdadır. Şirketin verdiği bilgilere göre ince bir nanolif tabakasının bir spunbond taşıyıcı veya meltblown kumaşının üzerine kaplandığı bir teknik kullanılarak, günde yaklaşık 10.000 m²'lik filtre malzemesi üretiliyor. Üretim ve kaplama tekniği tam olarak bilinmemesine rağmen, Kore'deki Nano Technics firması da benzer bir kumaş üretmiştir. Ancak, Nanolif ağların taşıyıcı yüzeye bağlanma sorunu ve geniş yüzey alanı ve nanolif katmandan kaynaklanan elektrostatik kuvvetler, dışardan kuvvetlere maruz kaldığında kumaşın kolayca sıyrılabilen bir yapıya sahip olması ciddi endişeler olarak paylaşılmaktadır. [14]

3.3.3.4 Fibrilasyon ile Nanolif Üretimi

Nanoliflerin üretiminde oldukça ilginç bir başka yaklaşım da, selüloz gibi lineer hücresel yapıya sahip liflerin nano boyutlu daha ince lifçikler haline fibrilasyonudur. KX Industries bu konuda kolayca fibrile edilebilen lyocell liflerinin nanolif ağlarına dönüştürüldüğü işlemleri içeren pek çok çalışma sonuçlarını ortaya koymuştur. Bu teknikle üretilen lifler orta düzeyde mukavemet özelliklerine sahip olmalarına rağmen, boyut ve oluşumda büyük değişiklikler gösterirler. Lyocell liflerinin üretim koşullarının son derece kritik olmasından dolayı, bu teknikte başarılı olma olasılığı son derece azdır ve beklenildiği gibi başka uygulamalarda fibrile olmayacak iyi lyocell lifleri üretmek için gerekli üretim şartlarıyla zıtlık arz etmektedir.

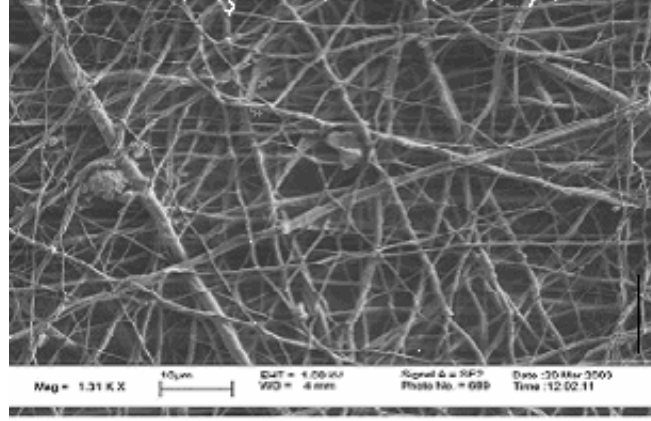
3.3.3.5 Meltblowing Yöntemi ile Nanolif Üretimi

Günümüzde, çok miktarlarda küçük çaplı lif üretmek için kullanılan en yaygın üretim tekniği meltblowing tekniğidir. Ancak, bu teknikle üretilen liflerin çapları genellikle 2 mikron veya daha fazladır. Ayrıca bu metotla üretilen liflerin mukavemetleri düşük olmakla birlikte, üretildikleri haliyle, lif çapları lif boyunca ve lifler arasında büyük değişiklikler gösterir.

Eriyikten lif üretiminin, çok miktarlarda lif üretimine elverişli olması nedeniyle, nanoliflerin doğrudan eriyikten üretim tekniği ile üretilmesini mümkün kılmak için bu işlemin değiştirilmesi doğrultusunda pek çok araştırma ve geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir. Bu araştırmaların çoğunluğu sadece araştırmacıların bilgisi dahilinde olan "gizli" araştırmalardır ve bu yüzden de detaylar kapsamlı bir şekilde henüz açıklanmamıştır. Büyük bir olasılıkla Korea'deki Nano Tecnic's'in nanolif filtre materyali, elektro üretimden daha ziyade değiştirilmiş bir meltblowing işlemiyle üretilmektedir.

Değiştirilmiş bir meltblowing işlemi geliştirmek için çalışan şirketlerden bir diğeri de Aberdeen'deki Nanofibers Technology Inc.'dir. Bu şirketin projesine göre nanolifler, modüler

bir düzen kullanarak meltblowing işlemi ile oluşturulurlar. Üretilen lifler mikron ve mikrondan daha ince boyutlardaki liflerin bir karışımıdır. Bu teknik, termoplastik polimerlerin kullanımına imkan veren ucuz bir üretim yöntemidir. Sözkonusu teknik, kilogram başına 10 \$' dan daha az bir maliyetle yüksek miktarlarda polimer esaslı nanolifleri üretebilme potansiyeline sahip gözükmetedir. Her ne kadar meltblowing işlemi olarak tanımlanmasa da, Neumag (Almanya) tarafından lisansı alınan, eriyik haldeki polimer akıntısına hava-jeti ile çarparak küçük filamentlere ayırmak için geliştirilmiştir.



Şekil 3.5 Meltblowing işlemi ile oluşturulan nanolifler [14]

Hills Inc. ince dağıtım plakası teknolojisini kullanarak meltblowing işlemine başka bir yaklaşımda bulunmuştur. Kullandıkları yeni düzeneklerle inç başına düşen delik sayısı 100 ve üstüne çıkarken delik başına düşen polimer debisi azalmıştır. Ancak, düze paketlerinin birim uzunluğuna düşen toplam üretim miktarı standart meltblowing ile aynıdır. Bu düze teknolojisi yardımıyla düze deliklerinin L/D oranı 10'un üzerine çıkarken sonuç olarak ortaya çıkan basınç düşüşü standart 40 psi' den bir kaç yüz psi ve üstüne çıkmıştır.

Sonuç olarak lif boyutlarının değişim aralığı ile birlikte ortalama meltblown lif boyutu da büyük ölçüde azaltıldı. Bu teknikte düze delik çapları 0,10 ile 0,15 mm arasında değiştiği için polimer 1000 veya üzerinde MFI'ye sahip olmalı ve ayrıca da son derece temiz olmalıdır. Bu düzeyle uzun vadeli üretim işlemi halen geliştirme aşamasındadır.

3.3.3.6 Bikomponent Lif Üretim Yöntemi ile Nanolif Üretimi

Nanoliflerin üretimi için, dördüncü bir yöntem olarak, ayrıştırılabilen veya çözülebilen bikomponent lifleri kullanmaktır. Nanoliflerin üretiminde bu teknolojinin kullanımı için birçok yaklaşım ileri sürülmüştür. Üzerinde en çok çalışılan yaklaşım ise standart bir üretim-

çekim işlemi ile deniz-adacık tipi bikomponent liflerin üretimidir.

Bu teknik kullanılarak elde edilen filament iplikler, özellikle Asya'da, yaklaşık 20 yılı aşkın süredir üretilmekte ve adacık adedi 1000'in üzerinde olan bu lifler halen hem ticari olarak hem de deneme tesislerinde düzenli bir şekilde üretilmektedir.

Tipik 'adacık' polimerleri; poliamid, poliester, tipik deniz polimerleri ise PVA, EVOH ve kolayca hidrolize olabilen poliesterdir. Son zamanlarda Hills bu tekniği spunbond işlemine uygulamıştır. Hills ve North Carolina State University laboratuvarlarında 0,5 m genişliğindeki spunbond kumaşında hem poliamid hem de PP 'adacık' lifleri üretilmiştir.

EVOH ve Eastman AQ polimerleri 'deniz' olarak kullanılmıştır. 25 adet 'adacık' kullanılarak üretilen kumaş yaklaşık 2 mikron gibi aşırı derecede küçük boyut değişim aralığına sahip liflerden oluşur. Lifler çözüldükten sonra incelendiğinde, standart eriyikten üretilmiş liflerle aynı temel mukavemet özelliklerine sahip oldukları gözlemlenir.

Ayrıca 36 adet 'adacık'lı kumaşlar da üretilmiştir ve 360 adet 'adacık'a sahip olabilen spunbond kumaşlar üretmek için spunbond düze paketleri hazırlanmış ve çok yakında yaklaşık 500 nanometre boyutlu liflere sahip spunbond ürünleri elde etmek için kullanılacaklar.

Benzer bir teknik, bir spunbond işleminde dilimli pasta şeklindeki lifleri elde etmek için de kullanılabilir. Spunbond kumaş, daha sonra liflerin ayrıştırıldığı ve sağlamlaştırıldığı su-jeti ile nonwoven üretim makinesine beslenir.

Bu teknikte, elde edilen lifler nanoliflere ait çap alanına girmez, ancak, eğer buna benzer bir teknik meltblowing işlemi ile beraber kullanılmış olsaydı, ortaya çıkan kumaş esas itibarıyla nanolifleri de kapsayacaktı.

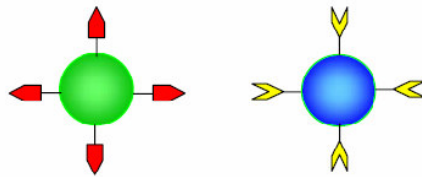
3.4 Nano Teknolojide Genel Üretim Yöntemleri

Nanoteknolojide iki farklı yaklaşımdan söz edilebilir:

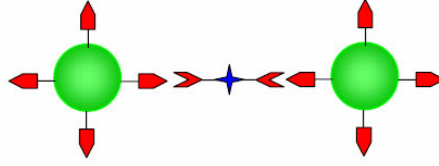
- Yukarıdan-aşağıya (top-down): Bu yaklaşımda ağırlıklı olarak litografik yöntemler kullanılmaktadır. Yarı iletkenleri, minyatürleştirme teknolojisi ve daha ince mekanik üretim ile 10 nm boyutunda yapıların üretimi, yukarıdan aşağı (Top-down) yaklaşımın sonucudur. Litografide, asitle oyulma (etching) ile veya elmas tornası gibi kesim aletleri (precise cutting tools) kullanılarak, yığın malzemeler ve kalın film tabakalarından nanoyapılar üretilmektedir. Litografide boyutlar 10–100 nm arasında

değişim göstermektedir. İlk mikro-üretim cihazı 10–100 μm boyuta sahipken, son zamanlarda üretilen nano-üretim aletler 100 nm boyuta sahiptirler.

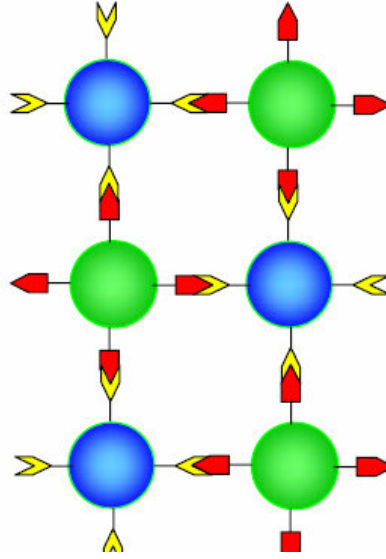
- Aşağıdan-yukarıya (bottom-up) yaklaşımında ise, moleküler-atomik birimleri bir araya getirmek için süpramoleküler kimyadan yararlanılacaktır. Süpramoleküler kimya, moleküllerin, fonksiyonel moleküler ya da molekül toplulukları oluşturmak üzere bir araya getirilmesinin ya da kendiliğinden bir araya gelmesinin (self-assembly) kurallarını inceler. Bu özelliği ile "aşağıdan-yukarıya" nanoteknoloji yaklaşımının moleküler yapısını oluşturmaktadır. Tarama tünelleme mikroskop (scanning tunnelling microscope)'unda şekillenen atomlar, bu yaklaşıma bir örnektir. 100-1000nm yarıçaplı parçacıklar; lazer ışının odaklanmasıyla oluşturulan optik baskı ile üretilmektedir. Lazer cımbız (tweezer) olarak adlandırılan bu teknikle, moleküller istenilen formda düzenlenebilmektedir. Moleküler ışına epitaksi ile kalın katmanların atomik düzeyde kontrolü yapılmaktadır. Kendi kendine düzenlenen atom ve moleküller aşağıdan yukarı (bottom-up) yaklaşımın temelini oluşturmaktadır. Bu yaklaşım ile her bir element için ayrı bir işleme tekniği gerekmemektedir. Kimyasal reaksiyonlarla gerçekleştirilen molekül sentezi bu kategoriye dahildir. Üç boyutlu yapıların karşılıklı genlerinden sentezlenen protein, aşağıdan yukarı (bottom-up) yaklaşıma bir örnektir. [15] Kolloid ve sol-jel yöntemleri de bu gruba dâhildir. Nanotüpler, nanoteller ya da benzeri nano-bileşenler, süpramoleküler kimya aracılığı ile fonksiyonel moleküler aygıtlara dönüştürülecektir. Kimyasal tepkimelerin kontrolü, kinetiği, akıllı moleküllerle kimyasal tepkimelerin yönlendirilmesi, biyokatalitik (enzimatik) olayların yönlendirilmesi, kristal düzeni, kristal yapı hataları ve bunlardan yararlanma, yüzey kimyası ve yüzeyin araştırılması, bu tekniklere uygun analiz ve kontrol tekniklerinin geliştirilmesi çağımız kimyacılarını, özellikle analitik kimyacıları nanoteknolojiye de yönelmeye zorlamıştır. [5] Süpramoleküler bir tasarım, pek çok kez canlılar dünyasındaki örneklerden esinlenerek elde edilecektir. Bunlara örnek olarak, yapay enzimler, yapay fotosentez sistemleri, yapay biyoesinli motorlar ya da "de novo" tasarlanmış proteinler düşünülebilir.



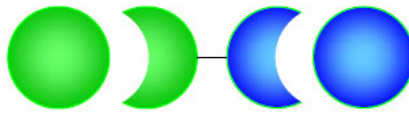
Şekil 3.6 İki adet birbiriyle uyumlu nano parçacığı [16]



Şekil 3.7 İki adet birbiriyle uyumsuz nano parçacığı, bu parçacıklar birbirlerine spesifik bağlayıcı moleküllerle bağlanırlar [16]



Şekil 3.8 Birbiriyle uyumlu nano parçacıkların bağlanması [16]



Şekil 3.9 İki değerli bağlayıcı nano malzemenin yüzeyini doğrudan tanır [16]

3.5 Nano Teknolojide Kullanılan Mikroskoplar

Nano teknolojinin araştırılmasında, ürünlerin ve sistemlerin kontrolünde kullanılan en önemli araçları taramalı prob mikroskopları, özellikle atomik kuvvet mikroskobu ve taramalı tünelleme mikroskobudur. Nano teknolojideki gelişim, prob mikroskoplarının gelişimini hızlandırdığı, kullanımını yaygınlaştırdığı gibi, bu cihazları nanomanipatör olarak

(mikrorobot) kullanarak nano teknolojinin uygulanmasını arttırıcı etki yapmıştır. Bu yönde özellikle biyolojik ve bilimsel uygulamalar yaygınlaşmaktadır.

Teknolojideki yeni gelişmeler sonucu elektron- iyon spektroskopisi gibi yüzey analiz teknikleri, optik mikroskop yerine elektron mikroskopisi, tünel elektron mikroskopisi, atomik kuvvet ve iş fonksiyon spektroskopisi gibi moleküler büyüklüklerin görüntülenmesine imkan veren görüntüleme teknikleri, optik sensörler, laser ve fiber optik, nano ve hatta femto saniyede ölçüm yapan yarıiletken dedektörlü ölçü sistemleri ileri teknoloji laboratuvarlarının vazgeçilmez araçları olmuştur.

Çok değişik tür ve sayıda analitik mikroskop ortaya çıkmıştır. Bunlar:

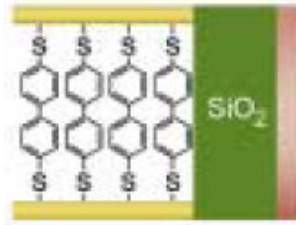
- Geçirgen ve yansımali optik mikroskop, faz kontras ve UV mikroskop
- Geçirgen, yansımali, taramali, elektron emisyon, alan elektron emisyon mikroskopları (TEM, REM, SEM, EEM, FEM)
- İyon mikroskopları: geçirgen iyon, taramali iyon, alan iyon mikroskopları (TIM, SIM, FIM)
- Diğer mikroskoplar: Tünelleme, taramali tünelleme, atomik kuvvet, iş fonksiyon, manyetik kuvvet, yakın alan optik taramali, balistik elektron emisyon mikroskopları (TUEM-TM, STM, AFM, WFM, MFM, NSOM, BEEM) gibi onlarca mikroskobik teknik değişik amaçlarla nanoteknolojide kullanılmaktadır.

Elektronik ve Bilgisayar Endüstri kollarında özellikle ultra saf silisyum ve germanyum gibi yarı iletkenlerin saflık kontrolünde katı örneklerde safsızlıkların analizinde kullanılan kombine kütle spektroskopisi teknikleri (GF-ICP-MS, SS-MS, Laser-MS, ESCA-MS gibi) ile bu yarı iletkenlere dote edilen veya bunlar üzerine kaplanan diğer metallerin (Li, As, Ga, Co, Au, Ag gibi) tayinlerinde ESCA, SİMS, NPMS, TXRF ve değişik elektron mikroskopisi başta olmak başta olmak üzere yüzey analiz ve derinliğine profil analizi teknikleri nanoteknolojide de en çok kullanılan analiz teknikleridir.

Harvard Üniversitesi Kimya ve Kimyasal Biyoloji bölümünden Hu Yuang ve ekibiye, "YA DA" ile "VE" mantık kapıları için yalnızca diyoüardan yararlanmışlar, ancak öteki devreleri yapabilmek için nanotel Alan Etki Transistörleri kullanmak zorunda kalmışlar. Bachtold ekibininkiler gibi Harvard'lı araştırmacıların Alan Etki Transistörleri de ince yalıtkanlı yerel kapı kontaklarına sahip. Böylece kolaylıkla transistor devrelerine bağlanabiliyorlar. Hu Yuang ve ekibinin geliştirdiği yöntemin iki önemli özelliği, çapraz geometride yerleştirilen nanotellerin kesişme noktalarının da gerçekten nanoölçekli olması ve böylece tüm düzeneğin gerçekten

nanometre ölçeğine kadar küçültülebileceğinin işaretini vermesi (her iki deneyde kullanılan cipler hâlâ mikrometre boyutlu). İkinci önemli özellik, kontaklar dışında nanotel devrelerin litografi gibi "yukarıdan aşağı" yöntemlerle değil, mikro akışkanlar kullanımı yoluyla, çok sayıda parçacığın paralel olarak aynı anda üretilmesine olanak veren "aşağıdan yukarı inşa" tekniğiyle yapılmış olması.

İki yöntem, hem tasarım, hem de kullanılan nano ölçekli yapılar bakımından birbirinden ayrılıyor ve böylece nano bilgisayarlar yapımı için farklı yolların varlığını gösteriyor. Ancak ikisi de devrelerin çeşitliliği ve karmaşıklığı açısından, daha önce farklı araç ve yöntemler kullanılarak geliştirilmiş nano devre düzeneklerinden çok ileri. Daha önce V. Derycke ve ekibi, bir silikon taban üzerinde, kimyasal işlemlerle güçlendirilmiş nano tüpler yerleştirerek bir "HAYIR" mantık kapısı (invertör) gerçekleştirmişti. J.H. Schön ve ekibiye, bir taban üzerine organik moleküllerden tek bir katmana, hatta tek moleküllere dayalı Alan Etki Transistörlerinden kurulu, çalışan bir invertör yapmayı başarmıştı. [17]



Şekil 3.10 Alan etki transistorleri oluşturmak için kullanılan küçük organik moleküller [17]

3.6 Nanofabrikasyon

Bilindiği gibi nanoteknoloji adı verilen tüm teknolojilerde kullanılan boyutlar 100 nm ve daha altındadır. Geleneksel silikon teknolojisinde kullanılan optik litografi yöntemleri bu boyutları içeren aygıtları yapmakta yetersiz kalacaktır. Bu durumda nanoyapıları üretmek için yeni fabrikasyon teknolojilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Optik litografi temelli silikon teknolojisinin 10-15 yıl içerisinde yetersiz kalması ile nanoyapılar içeren nanoelektronik temelli tümleşik entegre devrelerin yapımında elektron demet nanolitografi sistemleri kullanılacaktır. Elektron demet litografisi yöntemi günümüzde nanoyapıların üretiminde en yaygın olarak kullanılan teknolojidir ve ilerde hızla gelişmesi beklenmektedir. Elektron dalga boyunun 0.1-1nm mertebesinde olması sayesinde elektron demetlerini 1nm boyutlarında odaklamak teorik olarak mümkündür. Bu şekilde odaklanmış elektron demeti ile uygun fotorezist malzemeleri kullanarak nanoyapılar yapmak mümkün olmaktadır. Elektron

demet nanolitografi sistemleri nanoelektronik devrelerin üretimi yanında nanofotonik, nanomanyetizma ve diğer şekillendirilmiş nanoyapılar gerektiren tüm nanoteknolojilerde önemli bir temel teknoloji olacaktır. Bu nedenle bu tür temel bir teknolojinin ülkemizde yer alması çok önem taşımaktadır.

Elektron demet nanolitografi teknolojisi, aynı anda tek bir noktayı yazması nedeni ile tümleşik devre yapma konusunda hızı yetersiz kalmaktadır. Bu duruma çare olarak paralel olarak çalışan birçok elektron demetinin kullanılması öngörülmektedir. Elektron demet litografisinin yavaşlığına çözüm olarak nanobaskı teknolojisi önemli bir hız avantajına sahip olacaktır. Bu teknolojiye master denilen ve elektron demet litografisi ve reaktif aşındırma yöntemleri ile oluşturulan bir mekanik maske kullanılacaktır. Bu master daha sonra polimer bir yüzeye bastırılmak yöntemi ile master maskede yazılı bulunan tüm ayrıntılar kopya edilecektir. Bu şekilde master maske üzerinde bulunan bütün nanoyapılar hızlı bir şekilde kopyalanacak ve tümleşik devre yapımı çok hızlanmış olacaktır.

Bu nanofabrikasyon teknolojileri ile nanoyapılara sahip robotlar veya nanorobotlar yapmak mümkündür. Nanorobotlar belirli bir işlemi veya işlemleri çok hassas olarak tekrar edebilen nanomakinelerdir. Daha büyük boyutlarda olan robotlar gibi nanorobotlar da ikiye ayrılabilir: bağımsız ve böcek nanorobotlar. Bağımsız nanorobotların üzerinde kendi nanobilgisayarları olduğu için kendi başına hareket etme özelliği vardır. Böcek nanorobot ise merkezi bir bilgisayar tarafından kontrol edilen bir nanorobot sürüsünün tek bir elemanıdır. Nanorobotların özellikle tıpta önemli uygulamaları olacaktır. Örneğin kendini yenileyebilen bir grup böcek nanorobot bir hastalığın aşısı olarak davranabilir. Hastalığı oluşturan mikroorganizmaları tanıyıp yok etmek ile görevli bu nanorobotlar ile daha önce tedavisi olmayan hastalıklara çözüm bulunması beklenmektedir.

3.7 Nanokarakterizasyon

Nanoteknolojide malzemelerin nano ve atomik ölçekte görüntülenmesi, ayrıca fiziksel özelliklerinin ölçülmesi hayati bir öneme sahiptir. Taramalı Uç Mikroskopları (Scanning Probe Microscopy) bir iğne ile yüzey arasındaki fiziksel etkileşimleri atomik/nano seviyede ölçerek malzemelerin görüntülerini elde edebilen yeni ve güçlü tekniklerin genel adı olup, nanoteknoloji devrimini ateşleyen en önemli buluştur. Bu ölçüm metotları içinde Atomik Kuvvet Mikroskobu (AKM, Atomic Force Microscope, AFM), Taramalı Tünelleme Mikroskobu (Scanning Tunnelling Microscope, STM), Manyetik Kuvvet Mikroskobu (MFM), Taramalı Hail Aygıtı Mikroskobu (SHPM) gibi malzemelerin değişik özelliklerini değişik hassasiyetlerde ölçebilen

yöntemler vardır. Bu mikroskoplar vakumda, yüksek basınç altında, sıvıda, havada, düşük ve yüksek sıcaklıklarda bile çalışabilmekte; TEM ve SEM gibi mikroskoplara göre büyük avantajlar sağlamaktadırlar.

Ayrıca bu yöntemler atomik seviyede görüntü vermelerinin yanında, atomik seviyede bile fabrikasyon yapmamıza imkan vermektedir. Bu mikroskoplar gen manipülasyonundan, atomik transistörlere kadar geniş bir yelpazede geniş fırsatlar sunmaktadır. Henüz başarılammakla beraber yüzeydeki atomların hangi elementlerden oluştuğunu da Atomik Kuvvet Mikroskopları ile ölçmek yakın gelecekte mümkün olabilecektir.

Atomik Kuvvet Mikroskopları henüz sıvıda atomik çözünürlükle çalışmamaktadırlar. Bu mikroskopun sıvı içinde atomik çözünürlükle çalıştırılabilmesi, nanobiyoteknoloji ve diğer nanobilim alanlarında büyük bir devrim yaratacaktır. 1-5 nm seviyesinde SPM litografi geçtiğimiz yıllarda laboratuvar şartlarında gösterilmiştir. Bu yöntemin geliştirilerek e-demet litografisine bir alternatif olması da incelenmektedir.

3.8 Dünyada Nanoteknoloji

Nanoteknoloji alanında başlatılan araştırmalar; daha çok AB, ABD, Japonya, Çin ve G. Kore eksenli olarak yoğunlaşmıştır. Avrupa Birliği ülkelerinden Almanya, İngiltere, Fransa, İsveç ve Hollanda'daki araştırma yatırım planlarının öteki AB ülkelere göre daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca İsrail, Tayvan, Kanada, Rusya ve Singapur'da da bu alanda değişik ölçekli araştırmalar sürdürülmektedir. Önümüzdeki yıllarda bugünkü yarış ve rekabetin daha da hızlanacağı anlaşılmaktadır. Daha önceki ileri teknoloji alanlarının doğuşunda birkaç öncü ülkeyi arkadan izleyen bazı ülkeler, NT trenini kaçırmak istemediklerinden, bu alandaki gelişmeleri; ya eşzamanlı veya en fazla 6-12 ay gibi kısa sürelerle arkadan izleyebilmenin planlarını yapmaktadırlar. Tayvan gibi toprak büyüklüğü itibarıyla küçük bir ülke bile 2010 yılında küresel nanoteknoloji pazarından % 3' lük pay alma hazırlığındadır. [18]

3.8.1 Avrupa Birliği

Avrupa Birliği, ABD ve Japonya karşısında ekonomik ve teknolojik açıdan rekabet gücünün tesisi amacıyla yaklaşık yirmi yıldır yürüttüğü Çerçeve Programları'nı yürürlüğe sokarak çok önemli bir Ar-Ge havuzu oluşturmuştur. Bunlardan 6. Çerçeve Programı; 2002-2006 yılları arasını kapsamakta olup, toplam bütçesi 17.3 milyar Euro'dur. Avrupa Araştırma Alanı(ERA) kapsamında yürütülen bu programın "Tematik Öncelikler" kapsamında yer alan 7 öncelikli alandan biri de nanoteknolojidir. Bu alan için ayrılan kaynak miktarı 1.3 milyar

Euro'dur. Değınilen kaynak yanı sıra, her ülkenin kamu fonlarından ve özel sektör btçelerinden ayrılan kaynakların tümü dikkate alındığında AB lkelerinin tamamında nanoteknoloji alanı ile ilgili olarak yılda en az 4-5 milyar Euro'luk Ar-Ge harcama ve üretim yatırımı potansiyeli ortaya çıkmaktadır. Mevcut değerlendirmelere göre AB lkeleri içinde Almanya, toplam Avrupa nanoteknoloji harcamalarının yaklaşık olarak yarısını gerçekleştirmekte ve her geçen yıl bu alana yapılan yatırım ve desteklerin arttığı gözlenmektedir.

Almanya, her alanda başlattığı Ar-Ge yatırım atağının en önemli bileşeni haline gelen nanoteknoloji alanı ile ilgili olarak ürettiği stratejileri uygulamaya sokarak kimya, ilaç, otomobil üretimi, bilgi teknolojileri ve optik gibi önemli endüstri sahalarında geleceğin rekabet edebilir ürünlerini tasarlanmakta ve az sayıda da olsa bazı üretim alanlarına girilmiş bulunmaktadır (BMBF, 2002). Almanya'nın birçok kuruluşu gibi Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı (BMBF), ülkenin üretimde daha ileri noktalara taşınmasını sağlamak üzere nanoteknolojide Ar-Ge ve onların kullanım alanlarına odaklanmış ve "Güçlülerin En Güçlüsü" stratejisini uygulamaya koymuştur. Bakanlık; geleceğin yeni ürünleri yoluyla Almanya'nın mevcut uluslararası üretim ve ihracat konumunu nanoteknoloji ile pekiştirmeyi hedeflemektedir. Bilim ve ekonomide yenilik üreten aktörlerin bağlarını güçlendirerek uluslararası rekabeti pekiştirmek amacıyla "Nanoteknoloji Araştırma Merkezleri" kurulmuştur. NT'nin en önemli alanlarında bölgesel kümeler yaratacak altyapılar oluşturulmakta, yenilikçi Alman KOBİ'lerinin bu alana yönelimlerini sağlayacak teşvik araçları denenmektedir. Konunun kamuoyuna tanıtımı ve benimsetilmesi doğrultusunda bu teknolojinin şansı, perspektifi ve riskleri üzerine çok yönlü tartışmalar başlatılmıştır.

NT alanı, Avrupa'nın en önemli sorunlarından biri haline gelmesi beklenen yaşlanan nüfusa hizmet bağlamında da beklentiler yaratmaktadır. Nitekim, hastalıkların tanı ve tedavilerinde vücut içinde nanoyapılı biyoipler, nanosondalar, akıllı ilaç depoları, organizmaları bütünleyici mikrosistemler veya doku implantları için temel yapay malzemelerin; yaşlanan toplum bireylerinin tedavisinde belirleyici rol oynayacağı düşünülmektedir.

Farklı sektörlerde irili ufaklı birçok şirketin Ar-Ge yaptığı AB ülkelerine ait çok sayıda büyük boy şirketin büyük bir bölümü Almanya'ya aittir. Bunların arasında en fazla göze arpan Philips, Siemens, Bayer, Henkel, Dogussa, Thompson CSF, Air Liquide, Omicron Nanotechnologies GmbH, Infineon, Daimler-Chrysler, Schott, Carl Zeiss, Osrom ve BASF gibi şirketlerin hemen hemen tamamına yakını; Kobi hviyetli firmalarına endüstriyel Ar-Ge projelerini yrttrmektedir.

3.8.2 A.B.D

Diğer uç teknolojilerde olduğu gibi nanoteknoloji alanında da en fazla Ar-Ge ve yatırım kaynağı ayıran ve uzun vadeli stratejiler hazırlayan bir ülkedir. Yaklaşık on yıldır prestijli üniversiteleri, gelişmiş milli ve öteki laboratuvarların başlattıkları araştırmalarla önemli mesafeler alınmıştır. Gelecekte dev katma değer yaratılması çerçevesinde, NT araştırmalarına küçümsenmeyecek boyutlarda kamu destekleri verilmektedir. Geniş halk kitlelerinin ilgilerini NT alanına çekmek üzere kurulan Ulusal Nanoteknoloji Girişimi (National Nanotechnology Initiative) (NNI) ile önemli bir odak noktası oluşturulmuştur. ABD hükümeti bu organizasyona her yıl toplam miktarı giderek artan bütçe imkanları sağlamaktadır. NNI fonuna tahsis edilen bütçenin yıllar itibariyle dağılımı çizelge 3.1’deki gibidir:

Çizelge 3.1 ABD Hükümetinin nanoteknolojiye ayırdığı bütçe ve seneler dağılımı [18]

YIL	BÜTÇE (milyon dolar)
1997	116
2000	270
2001	422
2002	697
2003	744
2004	849

Yukarıda gösterilen rakamlar görünür rakamlardır. ABD Senatosu, 2003 yılı Aralık ayında, “21. Yüzyılda NT Ar-Ge Kanununu” onaylayarak 3.7 milyar dolarlık bütçe tahsis etmiştir. Bir savunma Ar-Ge kuruluşu olan DARPA ve Uzay ve Havacılık Ajansı olan NASA da bu alanda fonları bulunan kuruluşlar arasında yer almaktadır. Örtülü araştırmalar ve özel sektör şirketlerinin harcamaları da düşünülürse, ABD’nin toplam nanoteknoloji Ar-Ge harcamaları tutarının, bugünkü bilinen rakamların ötesinde 4-5 milyar doları aşabileceği tahmin edilmektedir.

ABD Milli Bilim Vakfı olan NSF, NT’ yi öncelikli yatırım alanı olarak ilan etmiştir. Risk sermaye(Venture Capital) yatırımları da artmakta olup, 2002 yılı itibariyle 60’ dan fazla risk

sermaye firması NT ile ilgili firmalara yatırım yapmıştır. 2003 yılında bu sayı adeta katlanarak artmıştır.

ABD’de çok sayıda üniversite, araştırma kurumu, enstitü ve özel şirket; bu alanda araştırmalarını sürdürmektedir. Çağın bu jenerik teknolojisi ile ilgili uzmanlaşma imkanı verilmesi için üniversitelerde yeni yapılanmalar gündemdedir. Bu bağlamda, yakın bir gelecekte “Nanoteknoloji Mühendisliği” unvanının verileceği bölümlerin yaygınlaşması beklenmektedir.

Nanoteknoloji üzerine çalışan tanınmış ABD şirketleri şunlardır: HP, IBM, General Motors, General Electrics, İntel, Texas Instruments, Mobil, Chevron, Du Pont, Dow Chemical, Lucent Technologies, Nanosys ve Motorola. Bunların içinde en fazla Ar-Ge harcaması yapan şirketlerin, araştırma bütçelerinin yaklaşık üçte birini NT’ye ayırmaları dikkati çekmektedir.

3.8.3 Japonya

Japon hükümeti, NT alanına uzun yıllardır önemli destekler vermekte, teknoloji tabanlı şirketlerin hemen hemen yarısı da, bu alanda Ar-Ge çalışmaları yapmaktadır. Bunların arasında NT Ar-Ge’ si yapan tanınmış şirketler şunlardır: HP Japan, Mitsubishi, Sony, Fuji, Hitachi ve NEC. Batılı araştırmacılara göre bugün durgun bir seyir izleyen Japon ekonomisinin canlanabilmesi, üretilecek NT tabanlı ürünlerin rekabet gücüne bağlı olacaktır.

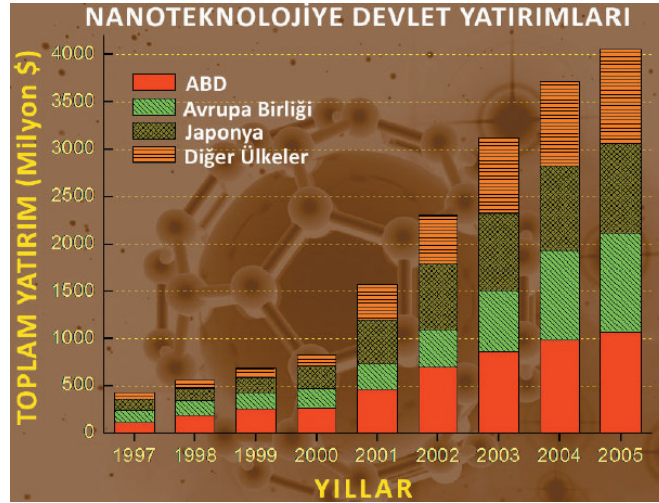
Japon Ekonomik Örgütler Federasyonu Keidanren, Japon şirketlerini Ar-Ge faaliyetlerine odaklanılması ve ticarete NT’ nin tüm alanlarının kullanımını sağlayacak çalışmaların yapılması için aktif rol almaya çağırıştır. Keidanren tarafından 2000 yılında kurulan “Nanoteknoloji Uzman Grubu” tarafından hazırlanan raporun başlığı dikkat çekicidir; “NT 21. Yüzyılın öncüsüdür, geleceğin toplulukları NT ile kurulacaktır”

Japonlar ilgili teknolojilerde küresel bir konum kazanabilmek için 3 sektöre odaklanmışlardır(Japanies Nanotechnologies, 2001):

- Gelecek nesil yarı iletken teknolojisi (yeni kablolama teknolojileri, yeni malzeme ve yapıları, 1nm kalınlıkta cihazlar)
- Terabit düzey bilgi depolama teknolojileri
- Süper geniş bant elektronik cihazlar

Belirtilen ana alanlar yanı sıra, hedeflenen diğer alanlar şunlardır; Nanoproses ve malzemeler, biyolojik nanosistemler, nanocihazlar, nanoölçüm, nanoimalat ve nanosimülasyon. Japonya’da “Asuka Projesi” adı altında bir konsorsiyum kurularak 70-100 nm boyutlu çip

üretimi hedeflenmektedir.



Şekil 3.11 Dünyada nanoteknoloji yatırımlarının yıllara göre durumu [19]

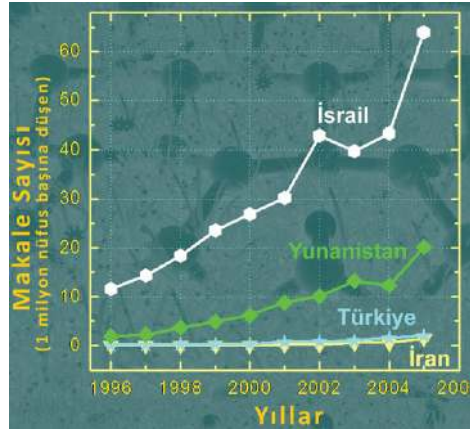
3.8.4 Türkiyede Nanoteknoloji

Ülkemiz nanoteknoloji devrimine ne kadar hazır? Bu sorunun cevabını, nanoteknoloji politikamıza, aktardığımız kaynakların miktarına, cihaz altyapısına ve şimdiye kadar ülkemizde yapılan bilimsel araştırmalara bakarak karar verelim. ABD'de doğrudan Başkana bağlı olarak yürütülen nanoteknoloji araştırmaları, ülkemizde son birkaç yıldır devletimiz tarafından desteklenmeye başlanmıştır. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) 2005 yılında, Bilkent Üniversitesi'nde ulusal bir nanoteknoloji mükemmeliyet merkezinin kurulmasına karar vermiş ve ilk etapta 11 milyon YTL kaynak aktarmıştır. DPT, aktarılabacak yeni kaynaklarla Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi'ni en kısa sürede faaliyete geçirip, nanoteknoloji araştırmalarının ivmelenmesini planlamaktadır. Nanoteknoloji araştırmalarının pahalı olması gelişmiş ülkelerde kaynakların bir yerde toplanıp ortak projelerle ulusal kullanıma açılmasına sebep olmuştur.

Ülkemizde nanoteknoloji araştırmalarında kullanılan cihazlar hem kalite hem de sayı açısından oldukça yetersizdir. Cihaz altyapısı tamamlanmadan nanoteknoloji araştırmaları her zaman cılız kalacaktır. Son birkaç yıldır, TÜBİTAK ve DPT kaynaklarıyla temin edilen cihazlarda bir artış gözlenmektedir. UNAM' da cihaz altyapısını tamamlama çalışmaları hızla devam etmektedir. Kaynakların durumuna göre 2007 yılı sonuna kadar nanoteknoloji araştırmaları için gerekli ekipmanların temin edilmesi beklenmektedir.

Ülkemizde nanoteknoloji araştırmaları çeşitlilik göstermesine karşın, belirli konularda dünya

çapında otorite olabilecek bir gruplaşma gözükmemektedir. Ülke genelinde benzer konularda çalışan bilim adamlarımızın UNAM'da müşterek çalışmalarıyla kritik değere sahip bazı alanlarda dünyaya liderlik yapması mümkün olacaktır. Kaynakların yetersiz olması belirli konuların öne çıkarılmasını gerektirmektedir. Son 10 yıl iç erişinde uluslararası bilimsel dergilerde yayımlanan (SCI dergilerinde) Türkiye adresli nanoteknoloji makaleleri incelendiğinde karşımıza çıkan tablo çok iyimser değildir. 21. yüzyıl için kritik bir bilim alanı olacağı tahmin edilen bu alanda, gelişmiş ülkelerle olan fark gittikçe açılmaktadır. Çevre ülkelerden İsrail ve Yunanistan yıllardır nanoteknolojiye yaptıkları yatırımın meyvelerini toplamaya başlamışlardır. Bir milyon nüfus başına düşen makale sayısına bakıldığında Türkiye, komşumuz Yunanistan'dan 12 ve İsrail'den 45 kat daha düşüktür. İran'da 2005 yılında Ulusal Nanoteknoloji Enstitüsü kurulmuştur ve yatırımlar hızla devam etmektedir. Uluslararası dergilerde çıkan makalelerin sayısından ziyade, çalışmaların ne kadar etki yaptığı daha önemli bir faktördür. Bir çalışmanın uluslararası camiada etkinliğini, önemini, gösteren faktörlerden birisi h-indistir. Bu indise göre kıyaslandığında 6 milyon nüfusa sahip İsrail, bizden onlarca kez daha etkin araştırmalar yapmaktadır. Türkiye'nin h-indisinin yarıya yakını UNAM direktörü Prof. Dr. Salim Çıracı ve grubuna aittir.



Şekil 3.12 Nanoteknoloji araştırmalarında ülkemizin durumu [19]

Geçen yüzyılın ortalarında başlayan mikroelettronik devriminde türkiye fazla boy gösteremedi, şimdi en kritik ihtiyaçlarımızda bile dışa bağımlı durumdadır. Nanoteknoloji ülkemiz için bir yükselme rampasıdır; bu nedenle yapılması gerekenler zamanında yapılmalıdır. Türkiye Nanoteknoloji yarışında biraz geridedir. Bu konuda ilerlemek için gerekli altyapının kısa süre içerisinde tamamlanıp, 20 yılda ihtiyacı olacak insan gücü yetiştirilmelidir. O zaman Türkiye nanoteknoloji yarışında gelişmiş ülkelerle rekabet edebilir durumda olur.

4. HIZLI PROTOTİP TEKNOLOJİSİ

4.1 Ürün Geliştirme Süreci

Bilgisayarlı Bütünleşik İmalat (BBİ) felsefesi çerçevesinde düşünüldüğünde bir üretim prosesi baştan sona bütün birimlerin birbirleriyle eşgüdümlü bir şekilde çalışmasıyla her alanda maksimum iyileşme gözlenebilir. Bu iyileşme alanları zaman, maliyet, kalite, işlevsellik, estetiklik ve esneklik gibi kriterler olabilir.

Bilindiği gibi bir ürünün baştan tasarlanarak üretilmesi için bir takım proseslerden geçmesi gerekmektedir. Yukarıda belirtilen BBİ felsefesi ve bu felsefenin uygulanması ile daha fazla anlam kazanmış olan çeşitli üretim ve yönetim stratejileri sayesinde bu süreçlerde belirtilen kriterlerde bir takım iyileştirmeler gözlemlenmektedir. Bu süreçlerden bir tanesi ve en önemlilerinden biri ise ürün geliştirme sürecidir.

Bir ürün, ürün geliştirme sürecinde bir çok procesten geçmektedir. Bir üretim prosesinde ürün geliştirme sürecini önemli ölçüde etkileyen ve ürünün nihai tasarımı için en doğru hedefe ulaşma çabası bakımından bilgisayar destekli mühendislik (BDM) uygulamalarıyla paralel bir uygulama alanı bulan önemli proseslerden bir tanesi de prototip üretimidir.

4.2 Prototip Üretiminin Önemi ve Prototip Süreci

Prototip, kelime anlamı olarak geliştirilen veya yenileştirilen bir modelin ilk veya orijinal bir örneğidir. Yeni tasarlanan bir ürünün üretiminden önce mutlaka o ürünün prototipinin üretilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimin belli başlı iki önemli sebebi vardır:

- Tasarımın doğruluğunun, estetikliğinin ve işlevsel yönden yeterliliğinin değerlendirilmesi
- Tasarlanan modelin üretilirliği, montaj edilebilme ve sökülebilme olanaklarının değerlendirilebilmesi

Çoğu tasarımcı tasarlanan ürünün fiziksel bir nesne olarak hızlı bir şekilde elde edilmesini ürünün orijinal bir tasarıma sahip olması açısından önemli bir kriter olarak görmüşlerdir. Çünkü ürün geliştirme birimindeki bir tasarımcı tasarımının nasıl görüldüğünü nasıl bir şekle sahip olduğunu en iyi 3 boyutlu gerçek bir ortamda onu gözlemleyerek, ona dokunarak, üzerinde bir takım ölçüler alarak ve ölçüsel büyüklükler arasında çeşitli karşılaştırmalar ve değerlendirmeler yaparak anlayabilir ve tasarımını ona göre yönlendirerek başarıyla tamamlayabilir.

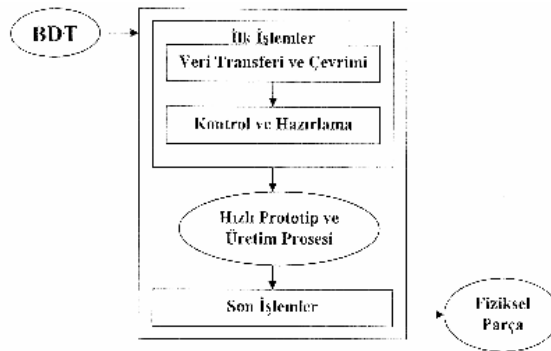
Diğer yandan, artık ülkemizde de kullanılmaya başlayan ve özellikle son yıllarda ortaya atılan Üretim İçin Tasarım, Montaj İçin Tasarım ve Sökmek İçin Tasarım felsefesi uygulamaları için de imkan tanımaktadır.

Bilgisayar üzerinde tasarlanan modelin sadece tasarlanması ve göze hitap etmesi ve üretildiğinde işlevini görmesi yeterli değildir. Tasarım süreci bittikten sonra üretimine başlanacak parçanın uygulanması gereken üretim yöntemine göre üretilebilirliğinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu süreç daha önce bahsedilen Eşzamanlı Mühendislik felsefesi çerçevesinde tasarımcıların üretim elemanlarıyla sürekli eşgüdümlü bir şekilde çalışmasıyla verimli bir şekilde geçilebilir. Fakat modelin karmaşıklığına bağlı olarak, çok karmaşık yapıli modellerde özellikle malzeme çıkarmalı işleme yöntemlerinin kullanılacağı modelin üretilebilirliği bilgisayar ekranından bakılarak anlaşılması zordur. Öyle tasarımlar olacaktır ki üretim elemanının mutlaka o modeli katı olarak eline alması ve dokunarak veya işleyecek olan kesici takımı gerçek yüzeyler üzerinde gezdirerek üretilebilirliğine karar vermesi gereken zorluktaki tasarımlar olabilecektir.

Diğer yandan üretimi gerçekleştirilen montaj parçalarının montajının kolaylıkla yapılip sökülebilmesi de çok önemlidir. Yine bu tür işlemlerin testleri de katı modeli ele almadan bu işlemleri gerçekleştirmeden yapılabilmesi imkansızdır. [20]

4.3 Hızlı Prototip Teknolojisi Prosesi

Şu anda çok çeşitli Hızlı Prototip ve Üretim teknolojisi mevcuttur. Bu teknolojilerin hepsinde katmanlı üretim tekniği kullanılmasına rağmen kullanılan malzeme, donanım ve özellikle proses farklılığı bakımından birbirlerinden çok farklı teknolojilerdir.



Şekil 4.1 Hızlı Prototip ve Üretim Sistemlerinin Proses Zinciri [20]

Buna rağmen genel olarak bakıldığında bütün sistemler hemen hemen aynı proses zincirine sahiptir. Bu proses zinciri Şekil 4.1'de görülmektedir.

Genelde proseste toplam 5 adım vardır;

- Üç boyutlu modelleme
- Veri transferi ve çevrimi
- Kontrol ve hazırlama
- İnşa etme
- Son işlem uygulama

4.3.1 Üç Boyutlu Modelleme

Günümüzde üretici olan her kuruluşta artık hemen hemen bir üç boyutlu modelleme sistemi kullanılmaktadır. Üç boyutlu modelleme sistemleri sadece ürünün tasarımını yapıp ekranda ürünün canlı bir görüntüsünü almanın yanında daha başka amaçlar için de zorunlu hale gelmiştir. Sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı çeşitli statik ve dinamik mukavemet analizleri ve diğer analiz sistemleri, çeşitli simülasyon sistemleri, detay teknik resim çıkarma sistemleri, üretim planlaması sistemleri ve Bilgisayar Sayısal Kontrollü (BSK) tezgahlar için programlama sistemleri gibi teknolojiler üç boyutlu tasarım bilgisini zorunlu kılmaktadır.

Hızlı prototip sistemleri de 3 boyutlu modelleme sistemlerini zorunlu kılan teknolojilerden birisidir. Hızlı prototip sistemlerinde üretilecek parçalar herhangi bir 3 boyutlu (Bilgisayar Destekli Tasarım) BDT tabanlı bilgisayar programlarında tasarlanmalıdır. Burada dikkat edilmesi gerekli bir nokta var ki o da diğer bazı uygulamalarda geçerli olabilecek açık hacme sahip bilgisayar modelleri Hızlı Prototip sistemlerinde geçerli değildir.

Hızlı prototip sistemlerinde kullanılacak BDT modeli katı model veya her tarafı kapalı yüzey modelleme sistemleriyle yapılmış modeller olmak zorundadır. Elde edilen modelde herhangi bir açıklık bulunmamalıdır, böyle bir model üzerinden Hızlı Prototip için gerekli verilerin elde edilebilmesi mümkün değildir. Çünkü parça içindeki görülemeyen cidarlar, küçük delikler her zaman için gözden kaçan ve parça üzerinde destekleyicilere ihtiyaç duyan bölümlerdir.

4.3.2 Veri Transferi ve Çevrimi

Katı veya yüzey modelleme sistemleriyle tasarlanmış olan modeller hızlı prototip sistemleri için bir endüstri standardı olan STereoLithography (STL) dosya formatına çevrilir. STereoLithography (STL) dosya formatı, katı veya her tarafı tamamen kapalı bir şekilde

tasarlanmış yüzey modelin bütün dış kısma bakan yüzeyleri üzerinde çok küçük üçgen yüzeylerin örülmesi ile elde edilir. [21]

Hemen hemen şu anki mevcut bütün 3 boyutlu modelleme sistemleri oluşturulan modelleri kendi ara yüzlerinde STereoLithography (STL) dosya; formatına çevirebilmektedir.

Herhangi bir BDT programında tasarlanmış olan katı veya her tarafı tamamen kapalı yüzey model üzerinde barındırdığı karmaşık yapıları bir takım unsurların etkisiyle STereoLithography (STL) dosya formatına çevrilen modelde bir takım kopukluklar oluşabilmektedir.

Diğer yandan katı modelden oluşturulan STL dosyanın hassasiyeti üçgen yüzeylerinin hassasiyetinin artırılmasıyla mümkün olabilir. Ancak bu durumda üçgen yüzeylerin sayısının çok fazla olmasından dolayı STL dosyanın boyutu aşırı oranda büyüyecek bu da işlem zamanım ve rahat çalışma olanağını büyük oranda etkileyecektir. STL dosya formatının da yapısından kaynaklanan bazı dezavantajlardan dolayı hızlı prototip üreticileri ve araştırmacılar daha başka formatlar üzerinde durmaktadırlar.

4.3.3 Kontrol ve Hazırlama

Hızlı Prototip ve Üretim sistemleri için data kontrol, hazırlama ve proses hazırlama adımı birinden çok işlem yapılmaktadır. Bunlar bütün hızlı prototip ve üretim sistemlerinde de uygulanması gereken işlemlerdir.

4.3.3.1 Data Onarma

Üç boyutlu modelleme programlarında modellenerek STL dosya formatına Çevrilen model üzerinde parçanın karmaşıklığına da bağlı olarak bir takım hatalar meydana gelebilmektedir. Bu hatalar data onarma olarak geçen yardımcı programlar yardımıyla düzeltilebilmektedir. Sadece STL dosyayı onarmak için yapılmış olan bir çok programın yanı sıra hızlı prototip ve üretim sistemleri için data hazırlayan programlar da bu işlemi birinci basamak olarak gerçekleştirebilmektedirler.

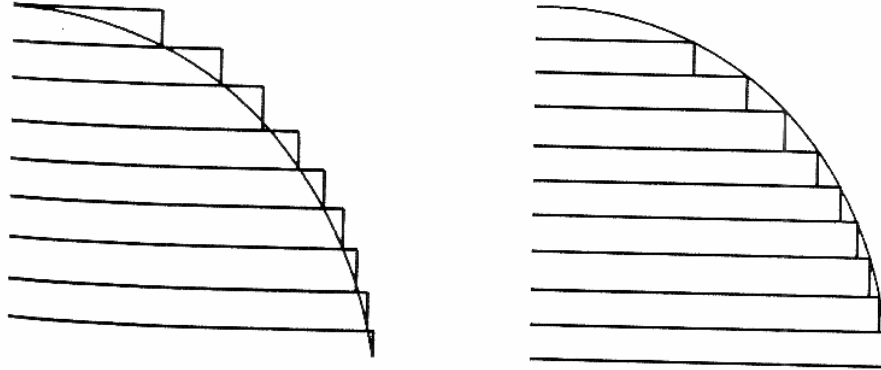
4.3.3.2 Oluşturulacak Parçanın Yönlendirilmesi

Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinde üretilecek olan parçanın konumlandırılması ve yönlendirilmesi çok önemlidir. Zira aynı modelin farklı konumlarda yönlendirmesi bir çok

parametreyi etkilemektedir. Bunlar incelenecek olursa;

a)Ölçüsel doğruluk: Hızlı Prototip ve Üretim Sistemlerinden en önemli problemlerinden birisi malzeme eklemeli bir üretim şekli olduğundan dolayı parçanın ölçüsel doğruluğudur. Özellikle bu problem eğimli bölgelerde çok rahatsız edici boyuttadır. İşlem kademe kademe gerçekleştiğinden dolayı ne kadar da kademe yüksekliği minimum düzeyde tutulsa da özellikle eğimli bölgelerde merdiven yapısı kaçınılmazdır. Bir basamak yüksekliği bir katman kalınlığı kadardır. Eğimli bir yapıya sahip cismin katmanlı üretim sistemiyle üretilmesi sonucu maruz kalınan merdiven yapısı hatası Şekil 4.2'de görülmektedir.

Bunun sonucu olarak da eğri yüzeyin gerçek geometrisini oluşturan yörüngenin tam olarak oluşturulamayıp pozitif veya negatif kısımların oluşması kaçınılmaz olmaktadır. Bu da parçanın ölçüsel doğruluğunu olumsuz şekilde etkileyen çok önemli bir unsurdur. Bu hatayı en aza indirmek için parça yönünü parçada bulunan yüzeylerin geometrik özelliklerine göre tayin etmek gerekmektedir.



Şekil 4.2 Merdiven Yapısı Etkisi [20]

b)Yüzey Kalitesi: Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinin diğer önemli bir problemi ise yüzey kalitesi problemidir. Yine bu problem parçaların üretim şeklinin katmanlı tip metotla üretilmesi sonucu oluşmaktadır. Özellikle ölçüsel doğruluk problemindeki gibi eğri yüzeylerde görülen merdiven yapısı oluşumu bu problemin de en önemli nedenlerinden biridir.Yine bu hatayı en aza indirmek için ölçüsel doğrulukta izlenen strateji uygulanabilir.

c)Üretim Zamanı: Her ne kadar Hızlı Prototip ve Üretim teknolojileri geleneksel imalat yöntemlerinden çok daha hızlı bir şekilde bir modelin

üretilebilmesini sağlasa bile genel rekabet şartları üreticiyi bu teknolojileri daha hızlı kullanmaya sevk ederek maksimum verim alınmasını sağlamaktadır. Bu çerçevede, kullanılacak sistem de göz önünde bulundurularak, bir modelin daha hızlı üretilebilmesi iki şekilde mümkün olabilir.

Birinci olarak, modelin oluşturulma hassasiyeti düşük tutularak model hızlıca üretilebilir. Örnek olarak, katman kalınlığı normalden daha yüksek tutularak parçanın üretilmesinde daha az sayıda katman kullanılır. Bu da dolayısıyla parçanın daha hızlı üretilmesini sağlayacaktır. Fakat bir üretici için hızlı üretimin yanı sıra kaliteli üretim de önemli ise bu uygulama pek yer tutan bir uygulama olmayacaktır.

İkinci çözüm olarak, modelin geometrik şekli dikkate alınarak parça oluşturulma yönünün tayin edilmesidir. Bunun için ana kriter parça oluşturulma yönünü gösteren parça yüksekliğinin en düşük düzeyde tutulması ve dolaylı olarak büyük kesit alana sahip olan kısmın parça oluşturulma yönüne dik olan yatay düzlemde yer almasıdır. Böylece aynı hassasiyet değerlerine sahip olsa bile bu şekilde üretilen parçada katman sayısı minimum düzeyde tutulacaktır. Bu strateji çerçevesinde oluşturulan bir parçanın üretim süresi bu noktalara ters bir düşünceyle üretilen parçanın üretim süresinden daha düşük olacaktır.

4.3.3.3 Destek Yapısı

Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinde üretilmekte olan bir modelin herhangi bir katmanının alt tarafı boş olan kısımlarının dengede tutulabilmesi ve herhangi bir çöküntü nedeniyle bu kısımlarda bozukluk olmaması için destek görevi görecektir bir yapının bulunması gerekmektedir.

Diğer yandan hızlı prototip ve üretim ile üretilen parçalar malzeme parçacıklarının kademe kademe birbirine eklenmesi metoduyla üretildiği için herhangi bir fikstür aparatı kullanılamayacağından dolayı destek yapıları modelin sabitlenmesi görevini de üstlenmektedir. Sonuçta her modelin gereksinimine göre hazırlanan destek yapısı her modelin kendi özel fikstürü olmak durumundadır. Ek olarak, destek yapısı zorunlu olan sistemlerde belli bir platform üzerinde oluşturulacak olan parçanın platforma temas etmemesi için ilk olarak destek yapısı örülür. Bu şekilde parçanın oluşturulmasından sonra parçanın platformdan kolay bir şekilde çıkarılması destek yapılarının kırılmaları ile kolayca sağlanmış olur.

Destek yapısı olarak adlandırılan bu yapının bazı sistemlerde ek bir işlem yapılarak

oluşturulması gerekirken bazı sistemlerde ise ek bir yapı oluşturulması gerekmemektedir. Destek yapısının oluşturulmasının zorunlu olduğu sistemler özellikle kullanılan malzemenin sıvı halde olduğu stereolitografi sistemlerinde ve katı malzemelerin eritilerek bir nozuldan fışkırtılması suretiyle modelin üretildiği sistemlerdir. Toz malzeme ve levha halindeki malzeme kullanılan sistemlerde ise bir katmandaki kullanılmayan artık malzemeler bir üstteki katman için doğal destek görevi gördüklerinden dolayı bu tür sistemlerde ek bir destek yapısının oluşturulmasına gerek yoktur.

Parçanın üretimi tamamlandıktan sonra oluşturulan destek yapısı asıl parçadan ayrılır. Destek yapılarının ana parçadan çıkarılması yine her sistemde farklılık arz etmektedir. Bazılarında çok kolay bir şekilde elle çıkarılabilirse bile bazı sistemlerde ise bir takım el aletlerinin kullanılması zorunlu olabilmektedir. Bundan dolayı destek yapısı pek istenmeyen bir durumdur. Hem hazırlık zamanı da dahil proses zamanını uzatır hem de destek yapısının çıkarıldığı yüzeylerde izler kalır. Bu da o yüzeylerdeki yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler.

4.3.3.4 Dilimleme

Hızlı prototipleme teknolojisinde dilimle genellikle 3D yapıların oluşturulmasında kullanılır. Genel yöntem yukarıdan aşağı doğru dilimlemedir. BDT programlarında tasarlanarak STL dosya formatına çevrilen model hızlı prototip sistemlerinin kendi özel bilgisayar programlama veya çeşitli hızlı prototip sistemlerine veri hazırlayabilen özel programlara aktarılır. STL dosya formatına çevrilirken oluşabilecek hatalar kontrol edildikten sonra makinenin özelliğine bağımlı kalarak ve istenilen hassasiyette model dilimlere bölünür. Her dilim, modelin ilgili kesit alanını temsil etmektedir. Dolayısıyla bir dilim kalınlığı iki kesit alan arası mesafe kadardır. [22]

Destek yapısı kullanılması zorunlu olan sistemlerde dilimleme işleminin destek yapısının oluşturulmasından sonra yapılması gerekmektedir. Zira, destek yapıları da asıl modelin oluşturulduğu gibi oluşturulmaktadır. Yani destek yapıları da katman katman oluşturulmaktadır. Oluşturulan bir katmanda bir kısımda asıl modeli oluşturacak yerlerin olmasının yanı sıra modelin durumuna göre başka bir kısımda ise destek yapısını oluşturacak kesitler de olabilir. Dilimleme işlemi destek yapısının oluşturulmasından sonra asıl model ile birleştirilen destek yapılarını da işleme katar, ve sonuçta destek yapılarıyla birleştirilmiş parça bütün olarak dilimleme işleminden geçer.

Diğer yandan bazı Hızlı Prototip ve Üretim sistemleri bir platform içerisinde birden çok parçanın oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Hatta birbirleriyle kesişmemek kaydıyla

platformda hiç boş yer kalmayacak şekilde çok sayıda parça üretilebilir. Bu gibi durumlarda diğer parçalara ait destek yapılarının hesaplanmasının ardından yapılacak olan dilimleme işlemine bütün parçalar bir bütün olarak dahil edilir. Yani ilgili katmana ait XY düzlemindeki kesit alanda belli bir kesiti olan bütün parçalar dikkate alınır. Bunların bir arada cihaz içerisinde üretilmesi ise yine aynı mantıkla gerçekleştirilir. İlgili katmanda hangi parçaların geometrik bilgisi varsa o kısımlarda da mutlaka işlem yapılır.

4.3.3.5 Hareket Kontrol Vektörleri

Belirtildiği şekilde belirli aralıklarda birbirine paralel düzlemlerde modelin bölünmesi ile elde edilen dilimler ilgili kesit alanın şeklini almaktadır. Bu kesit alanlar birbirlerinden bağımsız olarak fakat ardışık bir şekilde ele alınarak çeşitli tarama yöntemleri kullanılarak tarama yolları hesaplanır.

Çok çeşitli şekillerde tarama yöntemleri mevcuttur. Belirli bir eksene veya modelin herhangi bir kenarına paralel veya açılı bir şekilde birbirine paralel hatlardan oluşan veya modelin dış konturları referans alınarak merkez noktasına doğru spiral bir şekil takip eden hatlardan oluşan tarama şekilleri vardır. Bunun dışında daha özel tarama metotları uygulanabilmektedir. Fakat genelde hepsinin bulunduğu nokta, dış konturu takip eden bir hatla çevrelendikten sonra arada kalan boşluğun istenilen tarama metoduyla taranmasıdır. Çünkü sadece arada kalacak dilimler ele alındığında dış konturun nasıl tarandığı yüzey pürüzlülüğünü ve ölçüsel tamlığı birebir etkileyen bir kriterdir. Dahası, başka bir dilim tarafından üzeri kapatılmamış olan dilimlerin sadece dış konturları değil dilimin bütün alanın nasıl tarandığı bu belirtilen parametreleri etkileyen önemli bir kriterdir.

Yüzey pürüzlülüğü ve ölçüsel tamlığının yanı sıra tarama metodu, her sisteme göre değişiklik arz edecek olan yoğunluk, çekilme payı, dayanım gibi parametreleri de etkileyen bir kriterdir.

Tarama hatları belirlenirken bir takım değişkenler mevcuttur. Bunlar tarama genişliği ve her hat arasındaki tarama boşluğudur. Tarama hatları arasındaki boşluk tarama genişliğine bağlı bir değişkendir.

Hemen hemen bütün Hızlı Prototip ve Üretim sistemlerinde birbirlerinden farklı tarama yöntemleri kullanılabildiği gibi belirtilen bazı parametreler ve kullanım alanları da göz önüne alınarak aynı sistemler için bile farklı tarama yöntemleri kullanılabilmektedir.

Yine bilgisayar üzerinde belirtilen tarama metoduna göre hareket kontrol vektörleri elde edildikten sonra bu vektörler sayısal değerlere dönüştürülür. Bu işlemde yine Hızlı Prototip

ve Üretim sistemlerinde standart haline gelmiş bazı bilgisayar formatları kullanılır.

4.3.4 İnşa Etme

Bu aşama Hızlı prototip sistemlerinin ana işlevini oluşturmaktadır. 3 boyutlu fiziksel modelin şekil kazandığı, ortaya çıktığı, modelin üretildiği aşamadır.

4.3.5 Son İşlem Uygulama

Bu aşama artık 3 boyutlu nesne üretiminin bitmiş olduğu ve uygulanan sisteme göre son işlemlerin uygulandığı aşamadır. Bu işlemle kullanılan sisteme göre farklılık gösterecektir. Bu konuyla ilgili ayrıntılar ileride bahsedilecektir.

4.4 Hızlı Prototipleme Sistemleri

Hızlı prototip ve üretim sistemlerinin sınıflandırılması çok çeşitli olabilir. Bu sınıflandırmalar; işlem benzerliğine, şekil oluşumuna, kullanılan ana teknolojiye ve kullanılan malzeme doğasına göre yapılabilir.

Şekil oluşumuna göre sınıflandırma : Şeklin doğrudan 3 boyutlu olarak üretilmesi mümkündür. Ancak önemli teknikler 2 boyutlu katmanları birbirinin üzerine koyarak üretim yoluna gitmektedir. Parçanın CAD modeli alınarak ilk dilim oluşturulur. Üretimde , bütün alt katmanlar üzerine gelecek katman oluşturulmadan önce oluşturulmalıdır. Basit katmanlar bir kerede yaratılabilir. Çoğu proseslerde taramayla bir katı katman yaratılır ve bundan sonra nokta nokta oluşturulur.Bu tarama işlemi sürekli ya da süreksiz bir şekilde yapılabilir. Direkt 3 boyutlu tasarımdan üretim teknikleri, parça üretilmeden önce ürünün alt parçasının tamamen yaratılmış olmasını gerektirmez. Bu sebeple erimiş birikim modelleme (FDM) ve diğer prosesler teorikte doğrudan 3 boyut üzerinden, pratikte ise 2 boyutlu katmanlarla çalışır. Bu CAM yazılımındaki kolaylık proses hızını arttırır ve programlamayı kolaylaştırır. 3 boyutlu tekniklerdeki fark ise, öncelikli olarak bir 3 boyutlu yüzeyin oluşturularak üretimin noktadan noktaya prensibinde sürekli ya da kesikli olarak üretilmesidir.

Malzemeye göre sınıflandırma: RP sistemlerinde ham malzeme katı, sıvı ve toz olmak üzere üç farklı halde kullanılabilmektedir. Sıvı durumdaki malzemenin katılaştırılmasından ibaret prosesler de iki gruba ayrılabilir. Bunlar temel malzeme olarak sıvı materyal kullanılan ve katılaştırmanın ışık, lazer ya da ısıyla (temel polimerizasyon) yapıldığı proses ve malzemenin

eritilmesi, çökeltilmesi veya çözünmesi temeline dayanan prosestir. Bu proses plastik ve reçineler de kullanıldığı gibi metallerde de kullanılabilir.

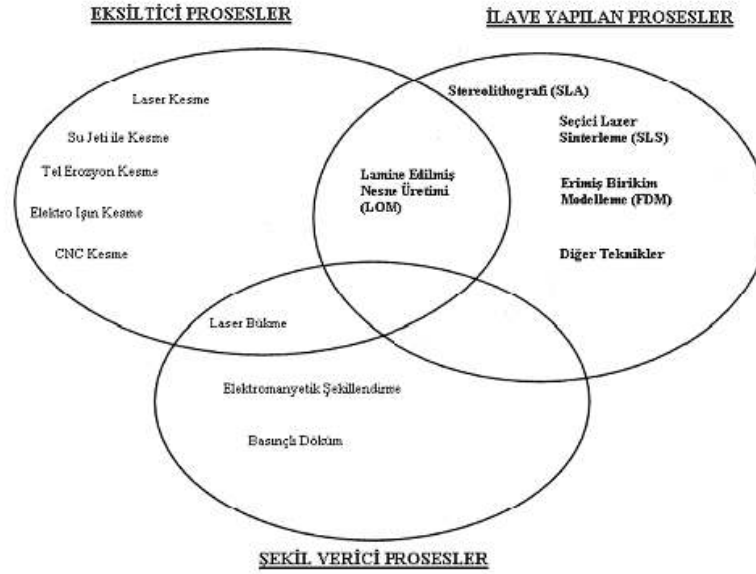
Toz malzeme kullanılan proseslerde ise taneciklerin birbirine bağlanması ara yüzeydeki taneciklerin kontakt alanlarının eritilmesiyle ya da bir bağlayıcı veya yapıştırıcının eklenmesiyle elde edilir. Gelecekte bir alternatif olarak iki ayrı malzemenin de kullanılabilirdiği bir proses oluşturulabilir.

Diğer birkaç proseste ise çoğunlukla ince folyolardan oluşan katı malzeme kullanılır. Birçok proses bu folyoları kaynak ya da yapıştırıcıyla birbirinin üstüne ekleyerek istenen şekli oluşturur. Bu prosesin diğer bir uygulaması ise polimerize plastik folyoların ileri foto Polimerizasyonla birbirine bağlandığı yöntemdir.[23]

Hızlı prototipleme tekniklerinin hemen hemen tamamı bilgisayar kontrolü altında yapılmaktadır. Burns'e [24] göre hızlı prototipleme bir otomasyon üretimdir. Burns bu üretimde beş önemli kriterden bahsetmektedir.

- Proses madde biçimi belli olmayan blok, akışkan, üç boyulu obje üretebilecek katı malzemelerden boyutları belli olan parça üretmelidir.
- Bu üretim gerçekleştirilirken bilgisayar kontrolü altında yapılmalıdır.
- Proses üç boyulu geometrik ölçülerde biçim vererek üretim yapılmalıdır. Bu kriter ekstrüzyon, delme veya kesme yöntemiyle üretilen basit tüp, çubuk yapımını elimine etmektedir.
- Proses her farklı şekli oluştururken farklı üretim araçları kullanmamalıdır.
- Proses bir montaj ve/veya birleştirme işlemi değil tek bir parça üretmelidir.

Bu kriterler göz önüne alındığında Burns'e göre hızlı prototipleme tekniği şekil 4.3'te görüldüğü gibidir.



Şekil 4.3 Burns'e göre hızlı prototipleme teknikleri [24]

Hızlı prototipleme teknolojileri Katman inşa tekniğine göre 4 sınıfta toplanır:

- Işıklı kür
- Toz bağlama
- Harç yığma
- Tabaka yığma

Aşağıda hızlı prototipleme sistemlerinden günümüzde teknolojik, verimlilik, kalite açısından en önemli olanları anlatılmıştır.

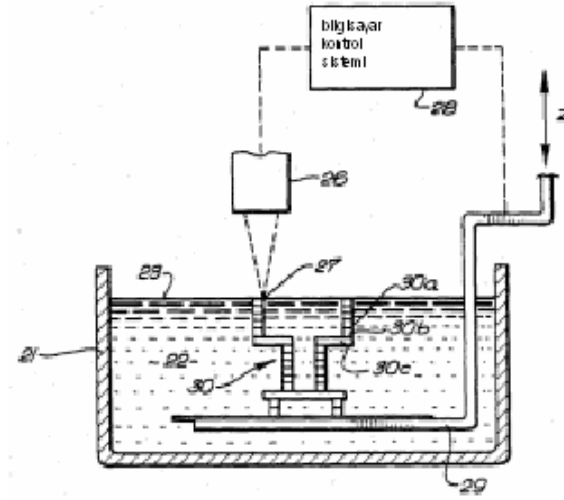
4.4.1 Stereolitografi (SLA)

Stereolitografi, adından da anlaşılacağı üzere matbaacılıkta yıllardan beri iki boyutlu baskılar için kullanılan litografi tekniğinin üç boyuta "stereo" aktarılmış şeklidir. Her ne kadar bu isim öncelikle 3D Systems firması tarafından kullanılsa da, tescil ettirdiği bir markası olmadığı için rakip firmalar da kendi teknolojilerini aynı isimle adlandırmışlardır.

İlk olmasının da etkisiyle 3D Systems firmasının Stereolitografi sistemi Prototip ve Üretim sistemleri arasında en popüler sistemlerden biri durumundadır. Bu yönüyle bir A.B.D. firması olan 3D Systems önderliğinde Stereolitografi sistemlerinin hem dünyadaki Hızlı Prototip ve Üretim teknolojilerinin popülerlik kazanmasına ve hem de bir pazar oluşturmaya katkısı olmuştur. Diğer yandan Stereolitografi sistemi için geliştirilen bir çok bilgisayar formatı ve

çeşitli bilgisayar programları diğer sistemler için standart kabul edilmiştir.

Şekil 4.4 Charles Hull tarafından konuyla ilgili alınmış ilk patente aittir. "Stereolitografi ile üç boyutlu objelerin üretimi" (Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography) başlıklı, 11 Mart 1986 tarih ve 4,575,330 numaralı bu ABD patentini almak için Hull, 8 Ağustos 1984'de başvuru yapmıştır. Başvuru sırasında henüz 3D Systems kurulmamış olduğu için patent sahibi firma olarak UVP, Inc. (San Gabriel, CA) gözükmektedir. [25]



Şekil 4.4 Hull'un stereolitografi tasarımı [26]

3D Systems, ilk olarak, şimdi üretimden kaldırılmış olan SLA 190 modelini piyasaya çıkarmıştı.



Şekil 4.5 SLA 190 modeli [26]

SLA, "StereoLithography Apparatus" yani "stereolitografi cihazı" anlamına gelmektedir.

Diğer modeller, piyasaya çıkma sırasına göre aşağıdaki tabloda sıralanmıştır;

Çizelge 4.1 Stereolitografi cihazları [26]

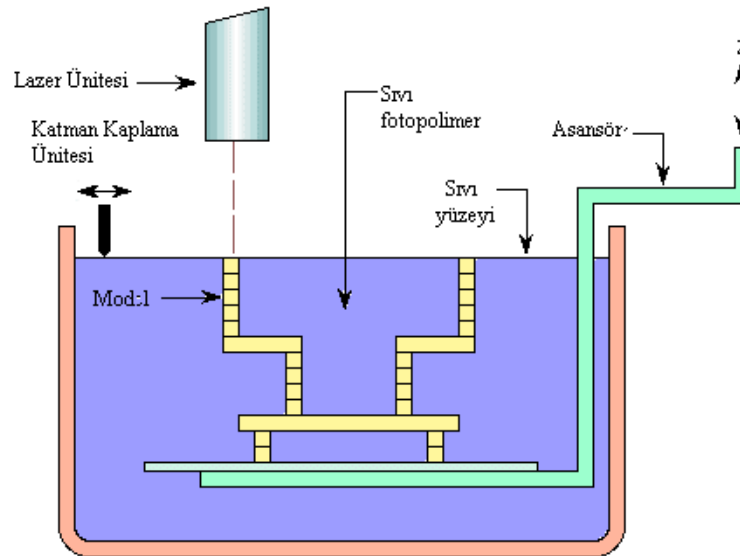
Model	En büyük inşa hacmi (X,Y,Z mm)
SLA 190	190 x 190 x 190
SLA 250	254 x 254 x 254
SLA 500	508 x 508 x 603
SLA 350	350 x 350 x 400
SLA 3500	350 x 350 x 400
SLA 5000	508 x 508 x 584
SLA 7000	508 x 508 x 600
Viper si2	250 x 250 x 250
Viper Pro	1500 x 750 x 500

Kırmızı renkli gösterilen modeller artık (2006 itibariyle) üretilmiyor. 250, 350 ve 500 modelleri için sadece malzeme ve teknik destek veriliyor.

Stereolitografi Prosesinde 3D yapı 3 basamakta inşa edilir;

- Yazılım aşaması
- İnşa aşaması
- Son proses

Şekil 4.6’da görülen Stereolitografi prosesi şu şekilde gerçekleşmektedir.



Şekil 4.6 Stereolitografi prosesi [22]

- Belirli bir miktar sıvı fotopolimer malzeme kabı içerisine doldurularak platform seviyesi üzerinde bir katman kalınlığında film tabakası oluşturulacak şekilde süpürücü ile sıvı fotopolimer malzemenin üzeri düzlenir. [27]
- Bilgisayardan alınan veriye göre ultraviyole lazer oluşturulan film tabakanın en üst yüzeyine tarama sistemi vasıtasıyla odaklanarak tarama işlemine başlar. Lazerin gezdiği kısımlardaki sıvı fotopolimer malzeme kür edilerek katılır. Lazerin gezmediği ve dokunmadığı bölgeler ise sıvı olarak kalır. Böylece oluşturulan katman model üzerindeki ilgili kesit alanın şeklini alır.
- Daha sonra platformun bağlı bulunduğu asansör bir katman kalınlığı aşağı indirilir ve yeni film tabakası oluşturulur. Yeni film tabakası 'zephyr recoating process' diye adlandırılan bir prosesle oluşturulur.
- Yeni film tabakasının bir katman kalınlığında kaplanması ile yeni katmanın katılaştırılması işlemi tekrarlanır.
- Bu işlem modelin en üst seviyesindeki katmanın katılaştırılması bitinceye kadar devam eder. Modelde bulunan bütün katmanların katılaştırılmasından sonra sıvı fotopolimer malzemesi ile dolu kap içerisine daldırılmış durumda bulunan parça platformun asansör vasıtasıyla kaldırılmasıyla fotopolimer dolu kaptan çıkarılır. Katılaştırılmış kısmın etrafını çevrelemiş durumda olan lazere maruz kalmamış olan sıvı fotopolimer malzemesi, modelin kabın dışarısına çıkarılmasıyla süzülür.
- Katmanların tek tek lazerle oluşturulması esnasında lazerle katılaştırılan yerler işlem esnasında tam olarak katılmış, mukavemeti sağlamış durumda değildir. Bundan dolayı modelin bütün katmanlarının oluşturularak parçanın bitirilmesinden sonra son işlem uygulamalarından olan son kür etme (post curing) işlemi gerçekleştirilir. Ultraviyole ışığa maruz bırakılarak gerçekleştirilen bu işlemde sonra tam olarak katılaştırılmamış olan kısımların da tanı olarak katılmasıyla parça gerçek mukavemetini sağlamaktadır.
- Son kür etme işlemi uygulaması ile katılaştırma işlemi tamamlanmış olan parça üzerindeki destek yapıları da elle kırılarak çıkarıldıktan sonra 3 boyutlu modelleme sistemleri ile modellenmiş olan parça gerçek ölçülerinde bir katı model olarak tamamlanmış olmaktadır. [28]

SLA ve diğer bazı hızlı prototipleme sistemlerinde sıvı polimer reçineler kullanılmaktadır. Sıvı fotopolimerler, belirli bir genişlikteki dalga boylarına sahip mor ötesi ışınlar kullanılarak

elektromanyetik radyasyonla katılaştırılmaktadır. Katılma olayının esası; moleküllerin (monomerlerin) zincir formunda birleşip daha büyük olan molekülleri, polimerleri mor ötesi ışın altında katılaştırarak oluşturmasıdır. Bu egzotermik reaksiyona fotopolimerizasyon denmektedir.

Fotopolimerler epoksi, vinileter ve akrilat esaslı olmak üzere üç ana gruptan oluşmaktadır. Kimyasal bağları ve içeriklerine göre farklılık göstermektedir.

Akrilat Esaslı Fotopolimerler

İlk fotopolimer türü, akrilat esaslı (A) olanlardır, istenilen özelliklere göre bir çok akrilat esaslı fotopolimer reçineden seçim yapılabilir. Bu tür fotopolimerlerde foto hız yüksek olmaktadır.

Vinileter Esaslı Fotopolimerler

Vinileter esaslı (VE) fotopolimerler SLA-190 ve SLA-250 sistemlerinde 325 nm dalga boylarında He-Cd lazerleriyle kullanılmaktadır. Bu türlerin düşük viskoziteli olanları, diğerlerine göre parça üzerinden daha kolay temizlenmektedir. Düşük foto hızlara sahip olmaları dezavantaj iken avantaj olarak, bu tür reçineden oluşturulmuş parçada büzülme olayı düşük olmaktadır. Vinileter esaslı fotopolimerlerin özellikleri Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Vinileter esaslı bazı fotopolimerlerin özellikleri [29]

Fotopolimer ismi	İzafi foto hız	Büzülme faktörü (%)	Dp(mm)	Viskozite [cP] (30 °C' de)
Exactomer 220 1	1.0	<1	0.18	205
Exactomer 2202 SF	2.9	<3	0.17	230

Epoksi Esaslı Fotopolimerler

Epoksi esaslı (E) fotopolimerler ilk defa "3D. Systems" firması tarafından Cibatool SL 5170 adıyla Temmuz 1993' de geliştirilmiştir. (Bu reçine SLA-190 ve SLA-250 sistemlerinde kullanılmakta ve 325 nm dalga boylarında He - Cd lazerle katılaştırılmaktadır. 1994 yılında SLA-500 sistemi için yine epoksi esaslı SL 5180 fotopolimeri geliştirilmiştir. Bu malzeme özellikle 351 nm dalga boylarında, Argon iyon lazer tabanlı sistemlerde kullanılmaktadır. SL 5170 ve 5180 reçinelerden imal edilen SL parçalarda efektif lineer çekme düşürülmüş, büzülme değeri azaltılmış ve diğer bazı mekanik iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir.

Böylelikle daha doğru SL parçalar elde edilebilmektedir. SL Prototipinde, epoksi esaslı fotopolimer malzeme kullanımı ile bazı olumlu iyileştirmeler yapılmış olmasına rağmen yine de fonksiyonel testlere uygun prototiplerde olması gereken özellikler sağlanamamaktadır.

Epoksi monomer parçaların tek bağlı pozisyonlarının yeniden düzenlenmesini sağlar. Akrilat esaslı monomerlerde durum bunun tersidir. Akrilat esaslı monomerler çoklu C bağımlı tekli bağlara kırarak bağ yapısını değiştirirler ve biçim verilen reçinedeki molekül ağırlığını yükseltirler.[30]

Daha uygun prototipler elde etmek amacıyla ikincil işlemler (hassas döküm, kum kalıba döküm ve silikon kalıplama gibi) kullanılmaktadır. Bu şekilde çok daha uygun ve imal edilecek gerçek parçanın malzemesine en yakın malzemeden prototipler elde edilmiştir. Sıvı ve katı durumdaki bazı stereolitografi reçinelerin 25°C' deki karakteristikleri Çizelge 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Sıvı ve katı durumdaki reçinelerin özellikleri [29]

Reçineler	SL 5149	SL 5081 - 1	SL 5170	SL 5180
Türü	Uretan akrilat	Akrilat	Epoksi	Epoksi
Sıvı (gr/cm ³)	1.12	1.14	1.14	1.15
Katı(gr/cm ³)	1.20	1.21	1.22	1.22
Hacimsel kendini çekme (%)	6.1	7.1	7.0	6.1
Efektif lineer çekme (%)	0.7	0.9	0.05	-0.2ve0.2(işleme türüne bağlı)
Büzülme faktörü	10	10	1-2 (işleme türüne bağlı)	6-3.5(işleme türüne bağlı)

Çizelge 4.3' de görüldüğü gibi epoksi esaslı fotopolimer hacimsel çekme, efektif lineer çekme ve büzülme olaylarına göre daha iyi özelliklere sahip olmaktadır.

SL reçinelerde görülen % (5-6) hacimsel çekme epoksi esaslı olanlarda da engellenememiştir. Bu değer diğer türlere daha düşük olmaktadır. Efektif lineer çekme % 1 seviyelerinden daha düşük değerlere çekilmiştir.

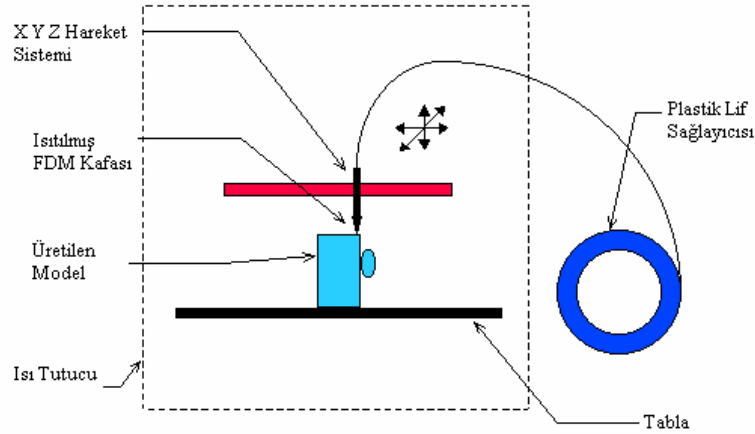
Katı sıvı geçişi nedeniyle meydana gelen çekmenin yanında büzülme olayı da fotopolimer reçinelerde ortak bir problem olmaktadır. Büzülme faktörü değeri akrilat esaslı olanlarda %10 seviyelerinde iken epoksi esaslı olanlarda bu değer % (5-6) değerinde olmaktadır.

4.4.2 Ergitilmiş Malzeme Yığma (FDM)

Bu yöntemde, akışkan halde olan malzeme bilgisayar kontrollü bir veya birden fazla meme yardımıyla damlacıklar halinde yüzeye püskürtülerek katmanlar inşa edilir. Çoğunlukla (memeden çıkış öncesi veya sonrası) sıcaklıkla eritilerek sıvı hale getirilmiş bir inşa malzemesi kullanılır ve sertleşme soğuma ile gerçekleşir. 1988 yılında, küçük çocuğunun renkli macunlarla oynamasından aldığı ilhamla geliştirdiği FDM teknolojisini sanayide uygulamak için Scott Crump tarafından kurulan Stratasys firması, 1991 yılında ilk ticari cihazını üretmiştir.

SL yönteminde olduğu gibi öncelikle bir CAD programında parça tasarlanmakta ve STL formatına dönüştürülmektedir. Daha sonra da STL formatındaki parça FDM makinesinin ünitesine aktarılmaktadır. Bundan sonraki işlemler ise FDM makinasının parça oluşturma donanımının otomatik olarak çalışmasıyla gerçekleşmektedir.

Tabaka malzemesi, bir ruloya sarılmış olan plastik lif halinde ısıtılmış FDM kafasına doğru beslenmektedir. (Şekil 3.16). Ekstrüzyon memesi, FDM makinasının bilgisayarından CAD dosyasından parça ile ilgili bilgileri almakta ve aldığı bilgiye göre tabakaları üst üste oluşturmaya başlamaktadır, işlem parça tamamlanıncaya kadar devam etmektedir. Her tabakanın kalınlığı malzemenin fiziksel özelliklerine, hareketli kafa hızına, ekstrüzyon basıncına ve meme çıkış çaplarına göre tanımlanmaktadır. Tabaka kalınlığı tipik olarak 0.1 mm ile 0.5 mm arasında, hareketli FDM kafasına göre değişmektedir.



Şekil 4.7 FDM çalışma prensibi [31]

Rulolara sarılı termoplastik malzeme yaklaşık 1.78 mm çapındadır. FDM işleminde termoplastik malzeme katılma noktasının biraz üzerindeki bir sıcaklıkta olmaktadır. Bu sıcaklık ve ekstrüzyon memesine malzemenin pompalanması kontrol edilmekte ve her tabaka bir önceki tabakaya ısıtılarak yapıştırılmaktadır. Plastik liflerin beslenme hızları monitörden izlenebilmekte, herhangi bir andaki ekstrüzyon edilmiş malzeme miktarı kontrol edilebilmektedir.

İlk FDM modellerinde inşa ve destek amacıyla aynı malzeme kullanılıyor ve inşa sonrası bu yapı elle kırılarak alınıyordu. Sonraki modellere ise farklı bir destek malzemesi kullanabilmek amacıyla ikinci bir meme ilave edilerek daha kolay ayırma işlemi için iki farklı malzeme geliştirilmiştir

BASS (Break Away Support System, Kolay kırılabilir destek sistemi): Bu destek malzemesi, inşa sonrasında elle kolayca ayrılacak bir kimyasal yapıya sahiptir. *Water Works* isimli bir destek malzemesi, su tabanlı bir sıvı içinde bir süre bekletilip çözülerek (elle ulaşılması zor veya imkansız) dar aralıklardan kolayca çıkarılabilir. Ayırışmanın daha kolay ve hızlı olması için çözme işlemi ultrasonik titreşimli bir tankın içinde yapılır. Bu sayede, çok parçalı ve hareketli mekanizmalar da dahil birçok karmaşık parçanın imalatı mümkün olabilmektedir.

Malzeme olarak, ABS, hassas döküm mumu ve termoplastik elastomerler gibi zehirsiz modelleme plastik lifleri kullanılmaktadır. ABS malzemeden elde edilen prototipler dökümle elde edilmiş parçaya yakın dayanıma sahip olmaktadır. Bu nedenle markalama, kumlama ve delme işlemleri yapılabilmektedir.

İşlenebilir mum, mavi ve gri renklerde olmakta ve enjeksiyon kalıplama işleri için kullanılmaktadır. Hassas döküm mumu, kırmızı ve akua renklerde olmakta ve direkt hassas döküm için model üretiminde kullanılmaktadır. Naylon benzeri plastikler beyaz renkte olup boyutsal uygunluk ve fonksiyonel test modellerinde kullanılmaktadır.

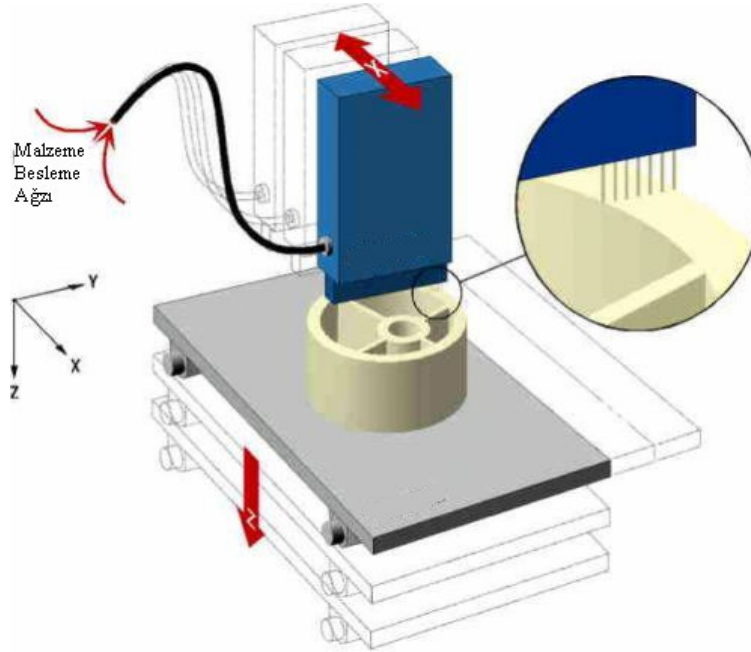
FDM teknolojisinin üstünlüklerini şöyle sıralayabiliriz;

- Modellerin kısa zaman dilimlerinde hızlıca yapılabilmesi
- Doğruluğun sağlanabilmesi
- Bir ofis ortamında çalışabilmesi, güvenli olması, zehirli olmayan maddelerin kullanılması. Özel parça ve ek aparata ihtiyaç duyulmaması
- Son kurutma işleminin gerekli olmaması

- İşlenebilir mum, hassas döküm mumu ve naylon benzeri plastik malzemelerden seçim yapılabilme olanağı sağlanması
- Düşük işletme maliyeti.

4.4.3 Çok Jetli Modelleme (MDM)

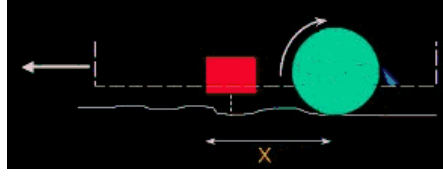
MDM (Multi Jet Modelling) tekniğinde ısıtılarak püskürtülen mürekkep püskürtmeli yazıcılarda kullanılan "hot melt ink-jet printing" teknolojisi uyarlanarak geliştirilmiştir. Şekil 4.8' de MDM çalışma prensibi görülmektedir. Bu teknikte, yazıcı kafaya bir pompa ile beslenen, sıcaklıkla eritilmiş inşa malzemesi, piezo-elektrik anahtarlama ile çalışan birçok memeden püskürtülerek katmanlar oluşturulur. İnşa malzemesi olarak parafin içeren, mum benzeri bir tür termopolimer kullanılır. Yazıcı kafa X ekseninde hareket ederken, tabla da Y ve Z ekseninde hareket eder. Y eksenini, kafanın yaptığı 8 geçişle tamamlanır. 352 memeden bir veya birkaçının tıkanması durumunda, inşa edilen parçanın hep aynı bölgesinin artan bir hataya maruz kalmaması için Y ekseninde hareket, her yeni katman inşasında şaşırtmalı olarak yapılır.



Şekil 4.6 MDM çalışma prensibi [26]

Her katmanın inşası sırasında yüzeyde oluşan pürüzleri düzeltmek ve Z eksenindeki büyümeyi (katman kalınlığını) hassas bir şekilde kontrol altına almak için 600rpm hızında dönen, 130°C sıcaklığa kadar ısıtılmış, üzeri pürüzlü, düzeltici bir merdane kullanılır. Merdane üzerinde biriken inşa malzemesi, bir kanatçık (mavi renkli) ile merdaneden silinerek

vakumla oluşturulan hava akımıyla temizlenir.



Şekil 4.7 Pürüzlü yüzeyin düzeltilmesi [26]

Thermo Jet cihazında, destek olarak farklı bir malzeme kullanılmaz; destek olunacak yüzeyin altına inşa edilen sık ve ince destek çubukları inşa sonrasında bir fırça ile kırılarak manuel olarak temizlenir. Destek çubuklarının daha kırılabilir hale getirilerek kolay temizlenebilmesi için inşa sonrasında modellerin (buzdolabında bekletilerek veya diğer yöntemlerle) 10 °C'nin altında bir sıcaklığa düşecek şekilde soğutulması gerekir. Şekil 4.8' de Termo Jet ile gri renkli inşa malzemesi kullanılarak inşa edilmiş bir model ve bu modelin harcanmasıyla hassas döküm ile elde edilmiş alüminyum parça görülmektedir.



Şekil 4.8 Termojet yöntemiyle elde edilmiş model ve bu modelin harcanması sonucuyla hassas döküm ile elde edilmiş parça [26]

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir.

- Yöntem temiz, basit ve verimlidir.
- Her yerde uygulanabilir.
- Ucuz ve kolay temin edilebilen termopolimerler kullanılır.

4.4.4 Tabakalı Cisim İmalatı (LOM)

Bu teknolojiye katmanlar, (istenilen inşa hassasiyetine ve hızına bağlı olarak) yeterince ince tabakalar halinde olan katı haldeki bir malzeme ile inşa edilir. Tabaka halindeki bu malzemenin çeperlerinin gerektiği gibi kesilmesi ve bir önceki katmana yapıştırılmasındaki sıralamaya bağlı olarak ise iki farklı gruplandırma yapılabilir:

Yapıştır + Kes tekniğinde, her tabaka, bir önce inşa edilmiş olan katmana yapıştırdıktan sonra çeperleri kesilir. Kes + yapıştır tekniğinde ise, tabakalar önce gerektiği gibi çeperlerinden kesilir ve sonra da, bir önceki katmana yapıştırılır. Yapıştırma için genellikle katmanlar arasında farklı bir yapıştırıcı malzeme kullanılır.

Yapıştır + kes tekniğinde, kullanılmayan malzeme inşa sırasında destek rolü üstlenir fakat inşa sonrasında ayırmak güç olmasın diye inşa sırasında bu kısımların küçük parçalara bölünmesi gerekir. Kes + yapıştır tekniği ise destekleme için, ayırması kolay, farklı malzemeler kullanmaya daha müsaittir.

Tabaka malzemesi olarak, kağıt, plastik, köpük, metal kullanılabileceği gibi, sinterleme sonrası tam yoğunluk elde edilebilecek, seramik veya metal tozu emdirilmiş malzemeler de kullanılabilir. [26]

4.4.4.1 Yapıştır + Kes Tekniği

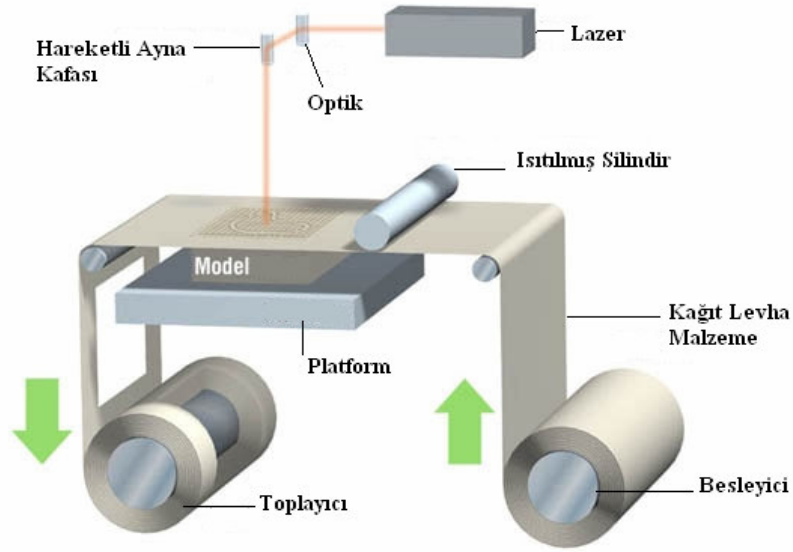
Yapıştır + Kes tekniğinde her tabaka, bir önce inşa edilmiş olan katmana yapıştırıldıktan sonra çeperleri lazer veya bıçakla kesilir. Parçanın inşasında kullanılmayan hammadde ise destek işlevi görür. Bu sayede özel bir destek yapısına ihtiyaç duyulmaz fakat inşa sırasında bu kısımların küçük parçalara bölünmesi gerekir. Aksi halde inşa sonrasında parçayı blok içinden çıkarmak mümkün olmaz. Bu tekniğin uygulamalarında inşa malzemesi olarak çoğunlukla kağıt kullanılır.

Helisy kuruluşu üç boyutlu modelleme kabiliyetini endüstrinin geniş bir kısmına yaymak amacıyla 1985 yılında kurulmuştur. 1991 yılında ilk ticari cihazını üretmiştir. Helisys firmasının 2000 yılında kapanmasının ardından, önceden satılmış sistemlerin bakım ve desteği ile malzeme tedariki Cubic Technologies Inc. tarafından sağlanmaktadır.

Helisys bu tekniğe ait iki tip model üretmektedir. Bunlar LOM1015 ve LOM2030'dur. Her iki sistem de CO₂ lazeri kullanmakta ve LOM 1015'de lazer gücü 25W, diğerinde ise 50W'dır. Üç aynadan oluşan optik sistem sayesinde CO₂ lazer ışını parçanın üst yüzeyine yansıtılır ve aynı zamanda odaklayıcı lens ışını yaklaşık 0,25 mm odaklar. Kesme işlemi süresince lazer kontrolü bir XY pozisyonlu tabla ile sağlanır.

Katman üretim teknolojileri son zamanlarda sık sık dizayn edilmiş modellerin üç boyutlu Çıktısı olarak göze alınmaktadır. Bu uygulama çok yeni olmasına rağmen üretim zamanı ve bedeli diğer katman üretim teknolojileri ile karşılaştırıldığında geniş bir alanda mekanik ve yapısal metal bileşenlere uygulamada büyük bir potansiyeldir.

Bu yöntem bilgisayar destekli tasarım programı yardımıyla 3 boyutlu parçaların kesitler halinde katmanlaştırılarak üretilmesidir. Öncelikle birçok yöntemde olduğu gibi üretilecek parçanın CAD türevli STL dosyaları çıkarılmalıdır. Bu bölüm hazırlık safhasını oluşturmaktadır. Tüm bunlar yapıştır + kes sistemiyle beraber gelen yazılımla otomatik olarak hesaplanabilmekte ve kontrol edilebilmektedir. İmalat safhasında ise 'LOM Slice' yazılımı ile 3 boyutlu parçanın tam ebatları tayin edilir, enine katmanlar çıkarılır. Parça ince levhaların üst üste yapıştırılarak lazer ile her katta gerekli miktarın çevresel olarak bir seferde kesilmesi ile üretileceğinden, bilgisayar ilgili katı kesecek yeterli ve gerekli lazer ışını ayarlaması yapar. Parçanın katmanlarını oluşturan levha rulo halinde bir taraftan diğer tarafa gerekli miktarı kesilmiş olarak geçmekte ve tekrar sarılmaktadır. İmalat sonrası safhasında ise üretilmiş blok cihazdan sökölür sonra parça çevresindeki kesilmiş parçalar, bir ahşap oyucu ile itina ile parçadan ayrılır. Boyama, cilalama gibi bitirme işlemleri uygulanabilir ve hatta gerekiyorsa rutubet kapmasını önlemek için epoksi ya da silikon sprey kullanımı söz konusu olabilir. Şekil 4.9' da Yapıştır + kes sisteminin çalışma prensibi görölmektedir.



Şekil 4.9 Yapıştır + kes sisteminin çalışma prensibi [32]

Şekil 4.10'da üretim sonrası destek kısımlarının elle çıkarılması görölmektedir.



Şekil 4.10 Yapıştır + kes sistemiyle üretim sonrası [26]

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir;

LOM yönteminde , levha şeklindeki her malzeme kullanılabilir. Kağıt, plastik, metal, kompozit malzeme ve seramikler sık kullanılanlardır. Malzemenin kolay ve ucuz temin edilebilirliği, ürün yelpazesini her açıdan çeşitlendirmektedir. Levha malzemeler, fiziksel ve kimyasal değişimlere maruz kalmadığından, bitirilmiş parçalarda, iç gerilmeler ya da fiziksel deformasyonlar söz konusu olmaz.

Yöntemde kullanılan cihazların hassasiyeti 0,25mm'den iyidir. Tasarım ve belli parametrelerin doğru seçimiyle, her boyutta yüksek hassasiyete sahip değerler elde edilebilir.

Yöntemde, tüm yüzeyin taranmasından ziyade çevresel işlem yapıldığından hacimli ve kalın parçalar bile yüksek süratle işlenebilmektedir.

4.4.4.2 Kes + Yapıştır Tekniği

Bu teknikte, önce tabakalar çeperlerinden kesilir ve sonra bir önceki katmana yapıştırılır. Kes + Yapıştır tekniği, mimari maketlerin zemininde bulunan topografik (dağ, tepe gibi yeryüzü şekilleri) modellerin tabakalar halinde kesilip birbiri üstüne yapıştırılarak yapılmasına çok benzerlik gösterir.

Bu yöntemin diğer tabaka yığma yönteminden avantajı, destek malzemesi olarak ayrı bir

tabaka malzemesinin kullanılmasına imkan vermesidir. Bu sayede desteklerin sonradan kaldırılması kolay olabilir. Bu tekniğin dezavantajı ise, kesilen katmanların inşa halindeki yüzeye hassas bir şekilde konumlandırılarak yapıştırılabilmesindeki güçlüğüdür. Bu tekniği kullanan uygulamaların çoğunda, otomatik olarak kesilen tabakaların yapıştırılması manuel olarak gerçekleştirilir.

CAM-LEM Ekim 1994 tarihinde ABD Ordusu'ndan aldığı maddi destekle kurulmuş ve Ar-Ge çalışmalarını Case Western Reserve University ve diğer bazı üniversite ve araştırma kuruluşlarıyla ortak yapmıştır. CAM-LEM, geliştirdiği hızlı prototipleme cihazını kullanarak Şubat 2000'den itibaren seramik ve metal parça imalat hizmetleri vermeye başlamıştır.

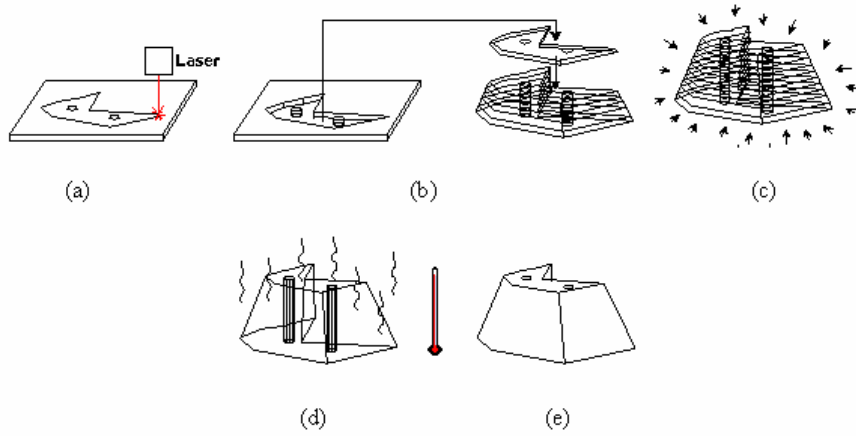
Ürettikleri CL-100 modeli otomasyon cihazı 150x150x150mm üretim hacmine sahiptir. CL-100 makinesi tek bir otomatik çevriminde 5 farklı tip (kimyasal özellik veya kalınlık olarak) malzemeyi kullanabilir. Destek yapısı olarak ise sinterleme sırasında yanarak bünyeden atılabilen "fugitive" malzemeler kullanılır. Bu sayede üretilen parçalarda iç boşluklar ve kanallar oluşturulabilir. Üretim sırasında 0.1-0.6 mm veya daha kalın katmanlar kullanılır. Sinterleme sırasında, malzemeye göre %12-18 arasında değişen çekmeyi kompanse edecek şekilde parçalar biraz büyük şekilde üretilir.



Şekil 4.11 CL 100 üretim makinası [26]

CAM-LEM sistemi prosesinde ilk önce lazer ile, bilgisayar kontrollü olarak seramik veya metal toz karışımlı ham katmanlar kesilir (Şekil 4.12a). Daha sonra Kesilen katmanlar vakumlu robotik manipulatörlerle otomatik olarak üst üste eklenir. Aynı katmanda birden çok farklı malzeme kullanılabilir. Destek amacıyla sinterleme sırasında yanabilen uçucu malzemeler kullanılır (şekil 4.12b). Green state ismi verilen pişmemiş haldeki ham parçaya sıcak ortamda basınç uygulanarak katmanlar arası yapışma sağlanır. Buna laminasyon ismi verilir (şekil 4.12c). Parça, sıcaklık kontrollü bir fırında tam yoğunluk sağlanana kadar sinterlenir. Bu esnada %12-18 çekme olur (şekil 4.12d). Sinterleme sonrası parça %100

yoğunluğa ve yüksek mukavemete erişir (şekil 4.12e).



Şekil 4.12 CAM-LEM Prosesi [26]

4.4.5 Seçici Lazer Sinterlemesi (SLS)

SLS (Selective Laser Sintering/ Seçmeli Lazer Sinterlemesi) teknolojisi ilk olarak Texas Üniversitesi'nden Carl Deckard tarafından bir doktora çalışması olarak geliştirilmiş, 1 Aralık 1987'de, önceleri Nova Automation ismiyle kurulan DTM Corp. tarafından ise 1992 yılında ticari hale getirilmiştir. Eylül 2001 tarihinde DTM firmasını satın almasıyla ise, SLS sistemleri, 3D Systems firmasının ürün yelpazesine dahil olmuştur. [33]

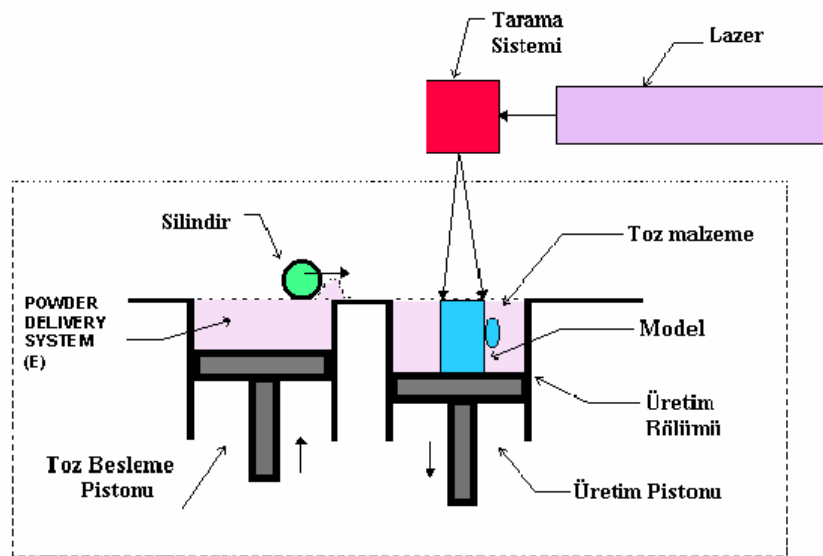
Şekil 4.13 (a)' da, Sinterstation 2000 modelini izleyen ve Temmuz 1996'da üretilen Sinterstation 2500, 4.13 (b)' de ise sonraki modeli Sinterstation 2500 PLUS görülmektedir.



Şekil 4.13 (a) Sinterstation 2500, (b) Sinterstation 2500 plus [26]

Bu yöntemde CAD verileri yardımıyla, toz halindeki malzemeden CO₂ lazeri kullanarak 3 boyutlu model elde edilir. Bilgisayar destekli tasarımla hazırlanmış STL dosyaları önce istasyona gönderilir. Burada parça şekli sistem bilgisayarınca dilimlendikten sonra, uygulama

başlar. Şekil 4.14’ de görüldüğü gibi önce parçanın imal edildiği tablaya ısıyla ergiyen toz malzemeden ince bir tabaka sürülür. CO₂ lazeri toz tabakanın üzerine parçanın o bölgesinin şeklini çizer. Lazerin ürettiği Işının yüzeye çarptığı noktalarda oluşan sıcaklıkla toz malzeme kısmen eriyerek ve/veya sinterlenerek temas halinde olduğu diğer toz taneleri ile kaynaşarak istenen katı parça geometrisinin oluşmasına sebep olur. Parçanın o seviyedeki kısmı lazer ile katılaştırıldıktan sonra üretim pistonu bir katman kalınlığı kadar aşağı çekilir, bu tabakanın üzerinde yeni bir toz tabakası oluşturulur ve CO₂ lazeri tekrardan işleme başlar. Parça tamamlanana kadar bu işlemler sırasıyla devam eder. Üretim süresince doğal bir destek görevi üstlenmiş olan serbest tozlar fırça veya vakum emici ile manuel olarak temizlenerek üretilen parça(lar) alınır.



Şekil 4.14 SLS sisteminin çalışma prensibi [34]

SLS yönteminde kullanılan malzemenin çeşitliliği yöntemin avantajıdır. Termoplastikler, kompozit malzemeler, seramik ve metaller kullanılabilir. Prototipleme için kullanılan parçalara bu yöntemle esneklik kazandırılabilir. Bu yöntemde kullanılan malzemeye laserit adı verilir ve aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir;

- Mum : Döküm sanayinde balmumu model yaratmak için kullanılan klasik malzemedir.
- Polikarbonatlar: Dayanıklı ve sağlamdır. Bunlarla, çabuk ve seri imalat yapılabilir, prototipler ve ince yapılı parçalar için idealdir.
- Naylon: Sanayide kullanılan en dayanıklı prototipleme malzemesidir. Isıl ve kimyasal dayanım sağlar.
- İyi kalite naylon: Isıl ve kimyasal dayanım gerektiren fonksiyonel prototipler için

idealdir.

Yöntemin avantajları aşağıdaki gibidir;

- SLS yönteminin iş/zaman oranı oldukça yüksektir. Toz malzeme oldukça kolay ve hassas bir şekilde işlenebildiğinden yöntem verimlidir.
- SLS yöntemi malzeme olarak naylon, polikarbonatlar ve metallerin de dahil olduğu geniş bir yelpaze sunar.
- SLS yöntemi ile imal edilmiş model için gerekli bitirme işlemleri minimum seviyededir.

4.4.6 Katı Tabaka Kurutma (SGC)

SGC sisteminde elektrofotografi yöntemi ile cam üzerine toner ile maske oluşturur. Mum destek malzemesi kullanır.Scitex Corporation Ltd. firmasında başlayan Ar-Ge çalışmalarının bir sonucu olarak 1987 yılında kurulan Cubital firması, 1991 yılından itibaren 14 farklı ülkeye sistem satışının ardından 2000 yılında kapanmıştır. Cihazın çok kompleks, bakımı zor ve pahalı olması, 3D Systems gibi rakiplerinin daha üstün olması buna sebep vermiştir. Mayıs 2001 tarihinde, Cubital'in 1987'den bu yana aldığı patentlerin tüm hakları Objet Geometries Ltd. tarafından devralınmıştır.

SGC sisteminde sırasıyla aşağıdaki işlemlerin gerçekleştirilmesiyle meydana gelir;

Veri hazırlama: Prototipi yapılacak parçanın CAD modeli yapılarak elde edilen tasarım maske yapımıcısına gönderilmektedir.

Maske hazırlama: Maske yapımıcısı veriyi aldıktan sonra tablanın üstünde ionografik bir yöntemle elektrostatik renklendiriciyi kullanarak görüntüyü oluşturmaktadır. Cihazın başka bir kısmında lazer yazıcı teknolojisine benzer bir yöntemle, cam bir plaka üzerine maske oluşturulur. Işığı bloke etmek amacıyla siyah fotokopi toneri kullanılır. Her kesit için ayrı bir maske hazırlanır ve kullanılan toner bir sonraki maskede tekrar kullanılır (çünkü normal yazıcılarda veya fotokopi cihazlarında olduğu gibi toner, sıcak merdane ile eritilmez, toz halinde kalır)

Model yapımı: İlk aşamada işlenecek yüzeye ince bir tabaka fotopolimer sürülmekte, maske yapıcının yaptığı fotomaske, iş parçasının üstüne ve UV lambanın altına yerleştirilmektedir. UV ışığına maruz kalan reçine katılaşır, sertleşmektedir (Şekil 4.15). Genellikle anılan bu yöntemle imal edilen prototipler arzu edilenden daha sert yapılmaktadır, böylece parça daha sonra yapılabilecek olan delme işlemlerine dayanım

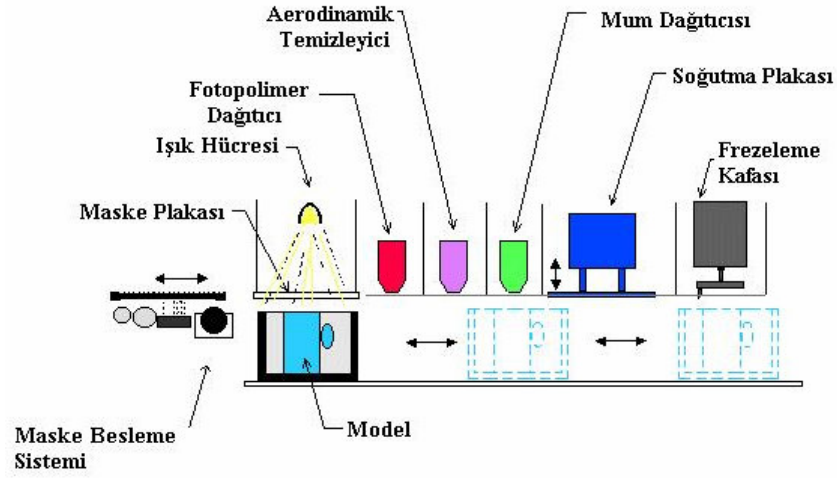
gösterebilmektedir. Tüm bu işlemlerden sonra, iş parçasından katılaşmamış reçinenin çıkartılması için vakumla emme işlemi devreye girmektedir. Bu aşamayı takiben, sıvı reçinenin boşalttığı yerlere sıvı balmumu sürülmektedir. Balmumu soğuyunca, katı bir tabaka oluşturulup, arzu edilen inceliğe indirilebilmektedir.

Maske oluşturulurken, çalışma platformu ince sıvı fotopolimer malzeme ile kaplanmaktadır. Daha sonra çalışma bölümüne konumlandırılmaktadır. Optik maske, platform üzerine hassas bir şekilde getirilmektedir. Kapağın açılması ile iş parçası 3 sn ile 2 W güçteki mor ötesi ışığa maruz kalmaktadır. İş parçası aerodinamik silecek altından geçmekte ve yalnızca katılaşmış kısmın arkasında kalmaktadır.

Maske levhası, maske çiziciye dönmekte, boşaltma ve silme işlemleri ile ilk tabaka maskesini gelecek tabakaya hazırlamaktadır. İş parçası şimdi gelecek istasyona hareket etmektedir. Burada ergitilmiş mum, ince tabaka yüzeyine yayılmakta, tüm boşluklar ve işlenmemiş sıvının giderilmesinden sonra, kalan çukurlar doldurulmaktadır. İş parçası, tabaka kalınlığını daha önceden tanımlanan değere indiren bir freze takımının altına geçmektedir. Böylelikle gelecek olan tabaka için düz ve iyi bir yüzey hazırlanmış olmaktadır. Tüm bu işlemler parça tamamlanıncaya kadar devam etmektedir. Son tabaka tamamlandığında, model veya mum, bloğa gömülmüş durumda olmaktadır. Mum bir mikrodalga fırınında ergitilebilmektedir. Mumu eritmek için uygulanan başka bir yöntem de, sıcak bir hava tabancası veya 60 °C sıcak su kullanmaktır . Şekil 4.15’de SGC sisteminin çalışma prensibi görülmektedir.

Modellerde doğruluğun eldesi, modelin tam kurutulması ve her tabakanın işleme esnasında desteklenmesi ile sağlanmaktadır. X-Y düzlemlerindeki maskenin doğruluğu, her tabakanın Z düzleminde istenilen kalınlığa getirilmesini sağlamaktadır.

Şekil 4.16’da SGC 5600 modeli görülmektedir. Bu, dünyadaki diğer hızlı prototipleme cihazlarının içinde en karmaşık olan ve en fazla hacim kaplayanıdır. Ortadaki yüksek kısım, morötesi lambanın bulunduğu maske ile kür etme bölümüdür. Bu cihazın bir alt modeline ise SGC 4600 ismi verilmiştir.

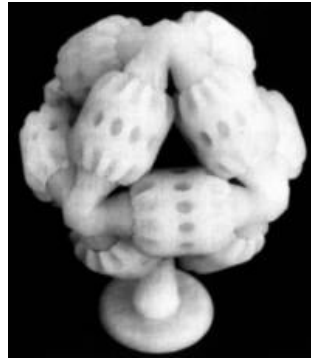


Şekil 4.15 SGC sisteminin çalışma prensibi [35]

Şekil 4.17’de, Cubital SGC teknolojisi ile inşa edilmiş, 12 dişliden oluşan bir mekanizma görülmektedir, dişlilerden herhangi birisi döndürüldüğünde diğerleri de buna bağlı olarak dönmektedir. İnşa sırasında şaft ile dişli arasındaki boşluklar dahil tüm boşluklara mum doldurulur. İnşa sonrasında mekanizma bulaşık makinesi gibi bir cihazda basınçlı sıcak suya maruz bırakılır. Böylelikle arada kalan tüm mum ykanır ve dişliler dönmeye başlar



Şekil 4.16 SGC 5600 modeli [26]



Şekil 4.17 SGC teknolojisi ile üretilmiş 12 dişliden oluşan mekanizma [26]

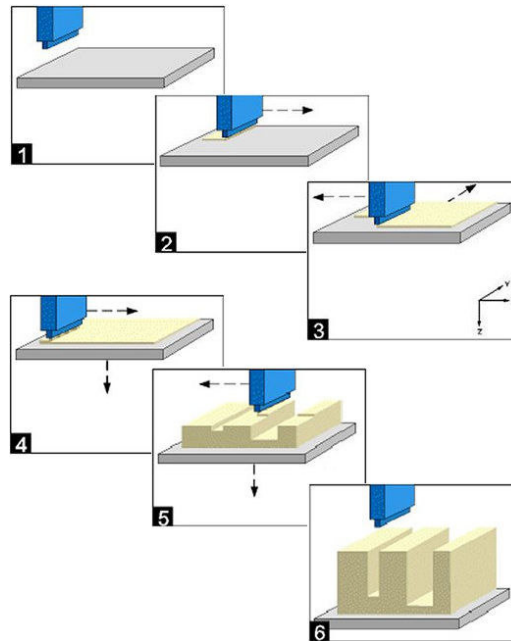
SGC yönteminin üstünlükleri şöyledir;

- İnce kısımlarda çekme ve çarpılmaların minimuma indirilmesi
- Son kurutmaya gerek duyulmaması
- Destek oluşturmak için yazılıma gerek duyulmaması
- Kullanılan polimerlerden dolayı, iç gerilmelerin minimum seviyede olması ve böylelikle model dayanımının ve dengesinin yüksek olması, modellerin düşük gevrekliğe sahip olması
- Geometrik sınırların olmaması

4.4.7 Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojisi (3D Printing)

Orijinal olarak ABD'nde Massachussets Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT, Massachussets Institute of Technology) geliştirilen 3DP (3 Dimensional Printing) 3 boyutlu yazıcı prosesinde inşa hammaddesi olarak plastik, metal, seramik, veya herhangi başka bir toz kullanılabilir. Çok ağızlı bir memeden yapıştırıcı püskürtülerek tozlar birbirine bağlanır. Bir merdane ile yeni bir katman toz yayılır. İnşa bittikten sonra, parçayı çevreleyen ve aynı zamanda destek malzemesi görevi görmüş olan tozlar temizlenir (vakum temizleyici ve/veya fırçayla). Kullanılan malzeme ve uygulamaya göre, infiltrasyon ve sinterleme gibi değişik ek işlemler de yapılabilir.

Üç boyutlu yazıcı teknolojisi aşağıdaki gibidir;



Şekil 4.16 Üç boyutlu yazıcı sisteminin çalışma prensibi [36]

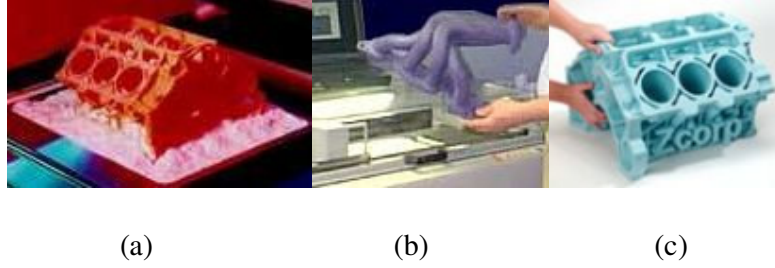
- Platform üzerine bir katman kalınlığında olacak şekilde toz malzeme bir silindir yardımıyla serilir.
- Bir katman kalınlığındaki toz malzeme, sıvı yapıştırıcı malzeme püskürten bir yazıcı kafa tarafından ilgili kesit alanın şeklini alacak şekilde taranır. Tarama şekli birbirini paralel takip eden hatlar şeklinde olur. Toz malzeme üzerine püskürtülen yapıştırıcı sayesinde toz malzemeler birbirlerine yapışırlar.
- Platform bir miktar aşağı indirilerek bir sonraki kesit alanının oluşturulabilmesi için bir katman kalınlığında toz malzeme tekrar serilir.
- Yeni katman da aynı şekilde yapıştırıcı püskürtülen yazıcı kafa tarafından taranarak hem toz malzemeyi birbirine hem de yeni oluşan katmanı bir önceki , katmana yapıştırmış olur.
- Yapıştırıcı maddenin temas etmediği kısımlar katılaşmazlar. Bu kısımdaki artık toz malzemeler parçanın üst kısımları için doğal destek yapısı görevi görürler.
- Bütün katmanların aynı şekilde katılaştırılarak bitirilmesi ile bütün bir parçanın üretimi tamamlanmış olur ve parça platformdan çıkarılır.
- Katı modelin etrafını çevreleyen artık toz malzemeler vakum yoluyla temizlenerek parça gerekiyorsa son işlemlere tabi tutulur.

MIT, farklı sektörlerle hitaben verdiği 3DP teknolojisi lisanslarıyla, Z Corp., Extrude Hone/ProMetal, Soligen, SpecificSurface ve Therics isimli, 5 yeni firmanın kurulmasına öncülük etmiştir. Bu firmaların her birine sadece belli bir toz malzemelerin kullanımı için lisans verilmesine rağmen seramik konusunda birçok firmaya birden üretim hakkı verilmiştir.

Z Corporation

1994 yılında MIT'den Dr. Walter Bornhorst ve Marina I. Hatsopoulos tarafından kurulan Z Corp., MIT'den aldığı 3DP lisansı ile ürettiği cihazı ilk kez Şubat 1997'de basına duyurmuştur. İlk ticari cihaz, nişasta tozu üzerine su tabanlı yapıştırıcı bir sıvıyı 125 adet meme vasıtasıyla püskürtüyordu. Üretilen parçalara erimiş mum, üretan veya "cynoacrylate" tabanlı yapıştırıcılar (genellikle japon yapıştırıcı diye adlandırılır) emdirilerek mukavemeti artırılabilir. Mum emdirilmiş parçalar hassas döküm modeli olarak, esnek üretan emdirilen parçalar ise lastik parça prototipleri olarak kullanılabilirler. Nişasta (starch) tabanlı tozlara ek olarak sonraları alçı (plaster) ve kompozit alçı tabanlı tozlar da kullanıma sokulmuş ve daha mukavemetli parçaların inşası mümkün kılınmıştır. ZCast ticari ismi verilen bir teknik de alçı-seramik karışımı toz kullanılarak direkt metal döküm kalıbı da inşa edilebilmektedir.

Z Corp., Dünya'daki ilk ticari 3 boyutlu ve çok renkli model inşasını mümkün kılan makineleri üretmiştir. Bu sistemlerde 2001 yılının ilk yarısında HP firmasının standart renkli ink-jet printer kartuşları kullanılmaya başlanmıştır. İnşa edilecek parçaya ait STL formatındaki 3D geometri verisinin istenildiği gibi reklendirilebilmesi için ise Belçika menşeli Materialise yazılım firması tarafından "Magics Z" isimli özel bir CAD yazılımı geliştirilmiştir.



Şekil 4.17 Üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş parçalar [26]

Şekil 4.17 (a)'da, 400 ile yapılmış bir motor bloğu modeli. Şekil 4.17 (b)'de, Wescast Industries tarafından inşa edilmiş bir egzost manifoldu modeli. Şekil 4.17 (c)'de ZT810 ile inşa edilmiş 457 x 483 x 330 mm ebadında, 1:1 ölçekli bir motor bloğu modeli görülmektedir.

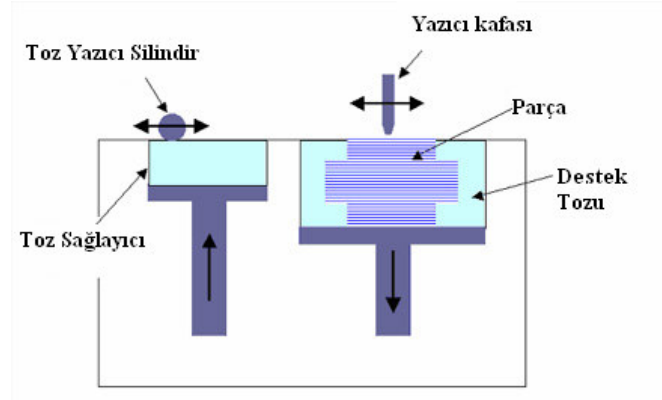
Extrude Hone (ProMetal 3DP)

MIT'de geliştirilen 3DP teknolojisinin metal toz malzeme kullanımı konusundaki lisans hakkını Extrude Hone (ABD) firması almıştır. Extrude Hone, seramik toz kullanımı konusunda da birçok lisansörden birisidir ve bu lisansa bağlı olarak 2003 yılında kum döküme yönelik RCT sistemini geliştirmiştir.

ProMetal, ABD'nde yeni imalat teknikleri (non-traditional machining) konusunda teknolojiler geliştirme konusunda köklü bir geçmişe sahip olan Extrude Hone firmasının bir girişimi ve markasıdır.

Şekil 4.18'de sistemin prosesi görülmektedir. Bir merdane (metal powder spreader) ile inşa yüzeyine yayılan metal tozları yazıcı kafasından (print head) yapıştırıcı püskürtülerek birbirine bağlanır. Ardından kızılötesi ışıma veren bir ampul ile yüzey kurutulur ve inşa platformunun altındaki pistonun (build piston) bir katman kalınlığı kadar aşağı çekilmesinin ardından yeni bir toz tabakası serilir. Bu işlemlerin tekrarı sonucu kalıp veya parça sinterleme fırınına konulur. Sinterleme sonrasında kalan boşluklara yine fırın içinde bronz emdirilir. Sonuçta %60 çelik ve %40 bronzdan oluşan bir parça veya kalıp elde edilmiş olur.

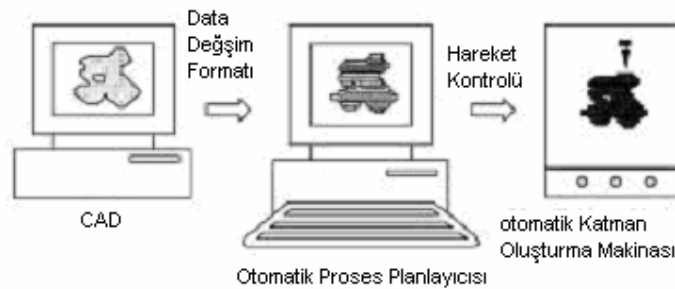
Daha önceleri elindeki otoinşa sistemiyle sadece dışarı servis veren ProMetal, 2002 son yarısında ticari olarak R serisi yeni 3 hızlı prototipleme cihazını duyurmuştur. Daha sonra R4 serisinin üretimine devam edilmemiştir. 2004 başı itibariyle ticari halde bulunan ProMetal R2 ve R10 sistemlerinin üretimi başlamıştır.



Şekil 4.18 Extrude hone sisteminin çalışma prensibi [37]

5. MİKRO HIZLI PROTOTİPLEME

Silikonlu mikro-elektro- mekanik sistem (MEMS) teknikleri; mikro sensörlerin, eyleyici ve bileşenlerin üretimi için oldukça popülerdir. MEMS teknikleri çoklu basmaklarla 2 boyutlu işlemlerdir ve karmaşık işlem süreçleri gerektirir. Bu tekniklerle sadece sınırlı sayıda materyaller işlenebilir. 2 boyutlu süreçlerle, istenilen bir şeklin ekteki hacmini ve mikromontaj kullanmayan bir bileşen üretmek imkansız olmasa da çok zordur. Ayrıca MEMS'in performans kadar, güvenilirliğini de arttıran bütünleşmiş mikro sistemlerin kullanımı dolayısıyla, daha fazla dikkat gerektirir. Güvenilir mekanik özellikleri olan bileşenlere sahip olmak; emniyet açısından ve bu karmaşık MEMSlerin işleyebilmesi için kritiktir. MEMSler sadece 3 boyutlu (3D) oluşturulmamalıdır. Alaşımları, polimerleri, seramikleri, ve heterojen materyalleri içeren geniş bir malzeme seçeneği kullanılmalıdır. Yüksek en boy oranlı mikro bileşenler, karmaşık geometriler ve karmaşık mikro yapılar bir çok uygulamada önemlidir ve yeni nesil işlevselliği ve performansı verebilir. Bununla birlikte; işlevsel ve geometrik olarak karmaşık heterojen mikro yapıların üretimi için gerekli etkin mikro imalat tekniklerini başarıyla elde etmek için, birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. MEMS'in geliştirilmesine eş zamanlı olarak; birikimli ürün yaratımı için, katı bağımsız biçim üretimi (SFF) (aynı zamanda 'katlı üretim' ve ya 'hızlı prototipleme' olarak adlandırılır) son on yılda popüler bir imalat tekniği olarak doğmuştur. Şekil 5.1'de genel sistem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Katı yüzeyi oluşturma prosesi [38]

Fixturing ya da geleneksel süreçte istenen insan müdahalesi olmadan direk bir CAD modelden SFF için katman katman kurulum yapılır. Bu yeni üretim teknolojisi; karmaşık şekilleri ve materyallerinin çeşitlilik göstermesi sebebiyle geleneksel olarak imalatı imkansız olan kısımların oluşturulmasını sağlar. Çoklu materyal kısımları oluşturmak için farklı süreçler de kullanılmıştır. Kısımları yerel bileşim kontrolüyle kurmak için 3 boyutlu basım uygulanır. Bazı fiziksel özellikleri uyarlamak için LENS (laser engineered net shape)

kullanılırken; Çoklu materyal ve işlevsel materyaller kurmak için seçici lazer sinterlemesi (SLS) kullanılır.

Araştırmalar 3D mikro ölçekli bileşenler yaratmak için çeşitli katmanlı imalat teknikleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Bunlardan, mikro stereolitografi üzerinde çalışılmış ve karmaşık 3D mikro yapıların üretilebileceği gösterilmiştir. 2- Fotonlu 3D mikro yapının kullanımıyla, mikron altı çözünürlükte, hareketli mikroyapılar yapılmıştır. EFAB (Elektro kimyasal yapım), elektro kaplama ile, yoğun mikro metal kısımların yapımında önemli yer tutar. Yine de bu mikro SFF işlemleri; materyallerin doğal durumunu değiştirmedeki sınırlı esneklikleri sebebiyle, 3D heterojen bileşenlerin yapımında uygun değildir. [38]

5.1 Biçimsel Malzeme Yığılması (SDM)

Lazer ışını destekli Shape Deposition Manufacturing (SDM), başlangıçta bir SFF işlemi, makro ölçek yapıların yapımı için geliştirilmiştir. Bu yöntem SFF sürecinden farklı olarak, SDM 3D yapılar oluşturmak için, sıralı katkı basamakları kullanır. MEMS ve SDM işlemleri, ekleme ve çıkarma işlemlerinden birlikte oluşur ve işlevsel yapılar elde etmek için, parça ve kurban materyaller kullanılır. SDM materyallerin yerleşimine ve 3D alandaki özelliklerin kontrolüne izin verir. SDM; dahili soğutma kanallarının sürekli değişen materyal özellikleriyle parçalar, mekanizmalar ve heterojen sensör ve devindirici de gömülü parçalar; karmaşık 3D makro biçimlerin kurulmasında kullanılmıştır. SDM metodu, mikro üretime uygulanırsa, hızlı bir şekilde, fonksiyonel ve geometrik olarak karmaşık heterojen mikro bileşenlerin yaratılması mümkün olur. Yine de, mikro SDM'nin kullanımıyla, 3D mikro bileşenlerin yapılması konusunda çalışmalar yapılmıştır. SDM sürecini, mikro dünyaya doğru ölçeklendirmek için; ekleme ve çıkarma işlemlerini mikro ölçekte birlikte gerçekleştirebilecek aletlerin kullanımının önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

SDM'de ısıtma, eritme ve çıkarma için, lazer ışını kullanılır. Lazerli mikro işleme ve mikro biriktirme alanında yapılan çalışmalarda lazerli mikro işlemenin çıkarma işlemine uygun olduğu görülmüştür. Lazerli mikro işleme, özellikle excimer bir lazerle, materyallerin (polimerler, seramikler, yarı metaller ve iletkenler) geniş bir alanında kullanımına olanak sağlamaktadır. Son yıllarda, farklı materyallerin mikro ilemesi için, 355 nm ve 266 nm dalga boylarında, sıklığı 3'e veya 4'e katlanan Nd:YAG lazerleri kullanılmaktadır. Lazerli mikro talaşlama eksiltici bir işlemken; lazerli mikro biriktirme ise artırıcı bir işlemdir. Reen tarafından geliştirilen Lazerli Parçacık Yol gösterimi (Laser Particle Guidance) (LPG), materyalleri 10 µm çizgi genişliğinde biriktirebilir. MAPLE DW, materyalleri (polimerler, seramikler ve metaller)

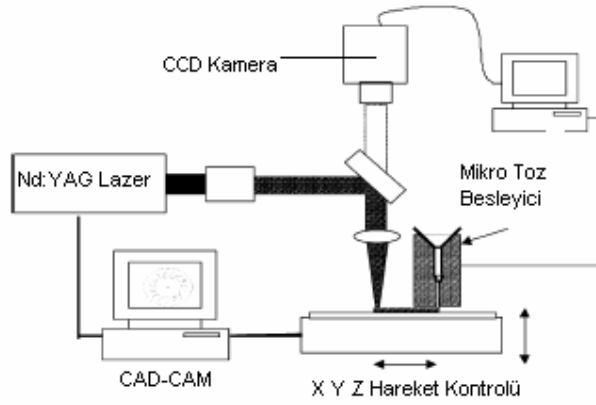
yaklaşık 10 µm çözünürlükte biriktirebilir. Bu sebeple, 3D heterojen mikro bileşenler oluşturmak için, lazer destekli mikro SDM işlemi, çıkarma ve ekleme işlemlerini bütünleştirmek için kullanılmaktadır. Lazerli ekleme çıkarma işlemleri; alt yüzeyle temassızlık, kimyasalsızlık, esnek öznetelik boyutu ve biçimi, yüksek duyarlılık, atmosfer ve oda sıcaklığında çalışabilirlik gibi birçok avantaj sağlar.

5.1.1 Mikro Toz Besleyici

Lazerli mikro işleme yöntemi, bir homojen materyaller spektrumundan. 2D ve basit 3D MEMS yaratabilir. Bununla birlikte, bir kaç mikro biriktirme işlemi; heterojen mikro yapıların üretiminde hayati olan yerel bileşim kontrolü yapma kapasitesine sahiptir. Bu konudaki en önemli sınırlama esas olarak; ekstra kimyasal karışımlar olmadan, çeşitli sub mikronano tozunun karıştırılması ve yollanmasında kullanılan mikro toz besleme sisteminin yokluğundan kaynaklanır. Bu sebeple etkili bir mikro toz besleme aletine gerek vardır. Kuru tozların ince örnekleri bir lazer ışını ile toparlanabilir veya kaplanabilir. Farklı materyaller farklı soğurma özelliği gösterdiğinden muhtemelen farklı lazer dalga boyları gerekecektir. Bu sebeple, çeşitli materyallerin mikro işleme ve mikro biriktirme için, farklı uyum modları ile darbeli bir Nd:YAG lazer (1064 nm, 532 nm, 355 nm and 266 nm) uyumlu olarak görülmektedir.

Bu konuda Xiaochun Li ve arkadaşları tarafından geliştirilen mikro imalat sistemi şekil 5.2' de gösterildiği gibidir. Sistemde bir darbeli Nd:YAG (4 harmonik modun tamamında 20Hz) lazer , spektra fizikten PRO-290-20-NRF model , bu mikro SDM sisteminde mikro ekleme ve çıkarma işlevi görür. Lazer yoğunluğunu kontrol etmek amacıyla, bir lazer zayıflatıcı bulunmaktadır. Ayrıca, 30-nm çözünürlükle ve 200 mm/s'ye kadar hızla, bilgisayar kontrollü 3 eksenli mikro hareket kontrolü sağlanmaktadır. CNC-2000 yazılımı; mikro-evrenin hareketlerini kontrol için, UNIGRAPHICS CAD/CAM software tarafından yaratılan G-kod u kabul eder. Darbeli lazer; kesin mikro-plakaj ve talaşlama elde etmek için, geçici olarak kontrol edilebilir.

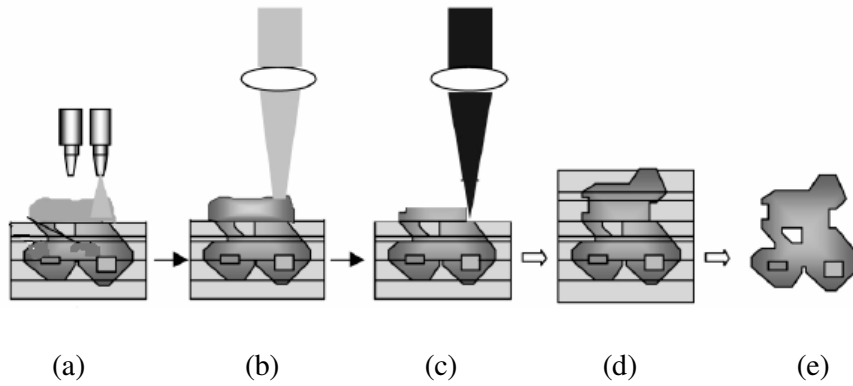
Sistemde Bulunan CCD kamera yardımıyla yapılan hızlı prototipleme işlemi prosesi izlenir. Bu kamera mikro toz besleyicinin bağlı olduğu sisteme bağlıdır. Mikro toz besleyicinin kontrolü bu kameradan sisteme gönderilen görüntüler doğrultusunda yapılır. Aynı zamanda CCD kamera yardımıyla, gelen ışının yansıtma açısı gibi özellikleride kontrol edilmektedir. Böylece sistemden en iyi düzeyde verim elde edilir.



Şekil 5.2 Lazer kaynaklı micro SDM sistemi [38]

Ayrıca, sesüstü mikro toz besleyici mekanizma da geliştirilmiştir. Bu sistem mikro nano toz biriktirmek için uygulanmıştır. Maksimum 3200 büyütme ile mikro üretim sürecini gözlemek için CCD kameralı ve monitorlü bir optik sistem kullanılmıştır.

Sistem tasarımına dayalı olarak, mikro-SDM işlemi için üretim döngüsü şekil 3’de gösterildiği gibidir. Şekil 3.(a) ve (b)’de mikro parçacıklar içeri gömülmüştür ve üzeri mikro tozla kaplanmıştır. Şekil 3 (c)’de UV dalgaboyuyla mikro-işleme gerçekleştirilmektedir. Şekil 3 (d)’de heterojen MEMS parçası destek yapısıyla birlikte görülmektedir. Şekil 3 (e)’ de destek malzemesi alınmıştır ve MEMS parçası üretilmiştir.

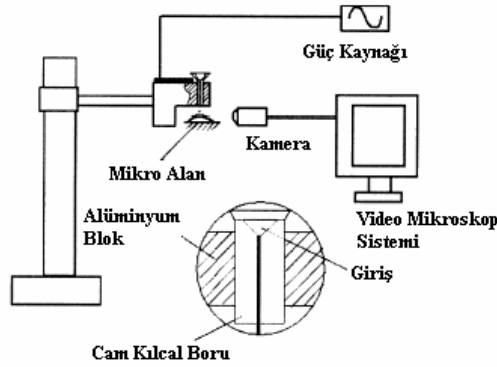


Şekil 5.3 Heterojen MEMS üretimi için işlem sırası [38]

Mevcut lazer destekli SDM, materyal bileşimini kontrol amacıyla, çeşitli tozların karışımı ile (normal olarak 50 μm den daha geniş), toz besleyici ve besleme başı (1 mm iç çapında) kullanılır. Linoya ve arkadaşları 100 μm ’den daha düşük boyutlardaki kuru tozların beslenmesi için titreşim sisteminin daha uygun olduğunu işaret ederler. Daha ince tozlar

(mesela, <1000 nm) kılcal boru boyunca sürekli beslemeyi engelleyecek yığılma oluşturabilmelidir. İnce tozların beslemesini desteklemek için, sesötesi titreşim araştırılması yapılmıştır. Mikronaltı tozları beslemek için saniye başına miligramlar oranında, yaklaşık 500- μm iç çaplı kılcal borular üzerinde çalışılmıştır. 20 kHz de; piezoelektrik güç dönüştürücü ile ultra ses titreşim yaratılmış ve kılcal borulara uygulanmıştır. Bunların sonucunda küresel tozların, düzensiz şekilli tozlardan daha iyi aktığı gözlenmiştir.

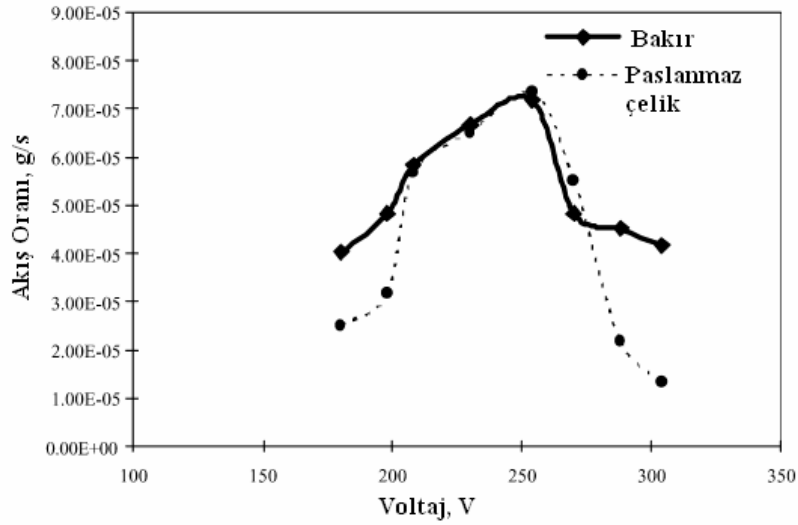
Şekil 5.4'te deneysel kurulumun şematini görülmektedir. İnce delikli bir mikro kılcal boru, küçük alüminyum bloğa bağlanmıştır. Piezo System Inc ten bir PZT levha, alüminyum bloğun üst yüzeyine yapıştırılmıştır. Bir fizibilite testi olarak, ticari olarak elde edilebilirliği dolayısıyla, düşük maliyetli, 125 μm iç çaplı ve 16 mm uzunluğunda mikro kılcal boru kullanılmıştır. İnce PZT levha ile yaratılan ultrasonik dalganın frekans ve genliğini kontrol edebilmek için bir fonksiyon jeneratörü ve güç amplifikatörü kullanılmıştır.



Şekil 5.4 Mikro besleme ve görüntüleme sistemi [38]

PZT levhanın rezonans frekansı 49 KHz'dir. Bu sebeple, kılcal boru boyunca, kuru tozları beslemek için 49 KHz ultrasonik bir dalga uygulanmıştır. Ultrasonik dalga, daha sıkı bir alüminyum bloktan cam bir kılcal boru ile etkin bir şekilde birleştirilmiştir. Kuru tozların mikro besleme yönetim mekanizmasının görüntülemek için bir video mikroskop sistemi kullanılmıştır.

Mikro biriktirme için; biriken toz çizgisinin devamlılığını, genişliğini ve kalınlığını etkileyebildiği için toz akış oranı önemlidir. Akış oranını; boşalmış tozların kütlelerini; hesaplayabilmek için yüksek duyarlılık elektrik dengesi gereklidir. Küresel bakır tozlar (3 μm nominal çapında) ve paslanmaz çelik tozlar (3 μm nominal çapında) için, uygulanan voltajın bir fonksiyonu olarak, akış hızları eğrisi Şekil 5.5' te görülmektedir.

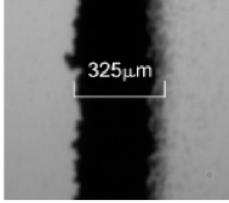
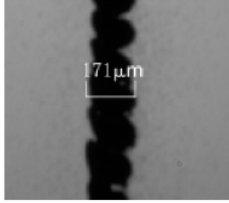
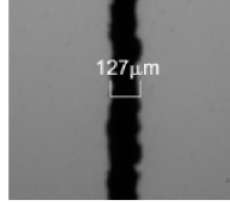
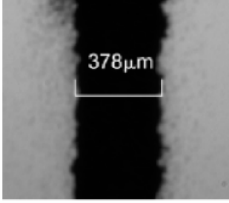
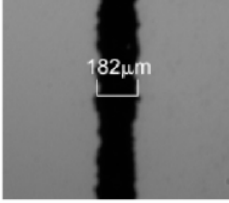
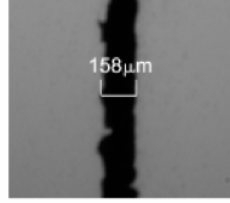
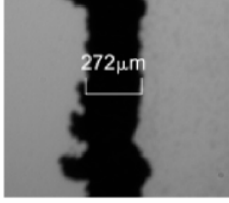
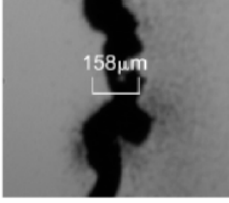
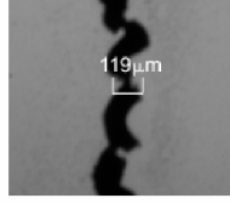


Şekil 5.5 PZT plakaya uygulanan voltaja karşı akış oranı [38]

Bakır ve paslanmaz çelik tozların sürekli boşalmasına yaklaşık 10^{-5} g/s akış hızında ulaşılmıştır. Şekil 5.5'te gösterildiği gibi akış hızları, voltaj yaklaşık 280 V'ye ulaşana kadar artar. Yine de, uygulanan voltaj 280 V'yi geçtiğinde akış hızları hızla düşer. Bu, yüksek gerilimde, PZT levhadaki sıcaklık ve doymadan kaynaklanıyor olabilir. Bakır ve paslanmaz çelik tozlarının akış hızları arasındaki fark ise özelliklerindeki farktan kaynaklanır.

Kuru tozların depolanmış ince örneklerinin yüksek kalitesi, mikro bileşenlerin hızlı mikro üretimi için önemlidir. Toz birikiminin kalitesini belirlemek için, bakır ve paslanmaz çelik tozlarının bir dizi çizgisi, silikon altlığa biriktirilmiştir. Burada PZT levhaya giriş gerilimi 280 Volt'tur. İnce, devamlı, ve pürüzsüz çizgilere ulaşmak için, (altlığın hareket hızı, ve besleyici uç ile altlık arasındaki açıklık) parametreler önemlidir. Şekil 5.6'da çeşitli aralıkların ve hızların kombinasyonları ile; bu biriktirilmiş çizgiler görülmektedir.

Şekil 5.6'da besleyici aygıtın; optimize edilmiş 85 mm aralık ve 4 mm/s hareket hızı kombinasyonları ile ince, sürekli bir toz çizgisi biriktirildiği görülmektedir. Burada Tozların kılcal tüpün besleme ucuna gidişi, yerçekimi kuvvetinden ziyade sürtünme ve yapışkan kuvvetlerce sağlanır.

Mikro Tozların Hareket Hızı (mm/s)	1	2.5	4
Aralık =85µm			
Aralık =127.5µm			
Aralık =170µm			

Şekil 5.6 Kuru tozla oluşturulmuş biriktirme çizgileri [38]

5.2 Mikro Stereolitografi

Stereolitografi işleminin temel prensibi bölüm 3’ te belirtildiği gibi; bir sıvının katıya geçişini yönlendiren lazer polimerizasyona dayanır. Kurulacak obje bir kez modellendiğinde; sayısal olarak bir dizi paralel yatay kesit parçalara ayrılır. Daha sonra, her bir parçayı tanımlayan sayısal veri, onları üretmek için sırayla makineye gönderilir.

Sistem; reçineden bir sisteme monte edilmiş bir kurma düzleminden ve UV lazer ışını saptıran galvanometreli aynalardan oluşur. Parçanın ilk katmanı, makineye yollanan sayısal verileri kullanan bir lazerle reçine yüzeyde oluşturulur. Katmanın konturu bir kez gözden geçirildiğinde ve içi kırıldığında yada iyice doldurulduğunda, düzlem daha sonra, parçayı yeni taze bir reçine katmanıyla kaplamak için hareket ettirilir. Böylelikle, model, alttan üste, katman katman kurulur. CAD modelden, fiziksel parçaya metamorfik dönüşüm, bir kaç saat alır. [39]

Bir SL teknik kullanılarak, 3 boyutlu mikro nesnelerin üretimi, ilk olarak üç boyutta 10 µm den daha düşük bir kesinlik elde etmek için; işlem kontrolünde, sıkı bir düzeltmeye ihtiyaç

duyar. Bu sebeple, mikro obje üretmek için SL işlemini dikkate alan 2 yeni yaklaşım vardır.

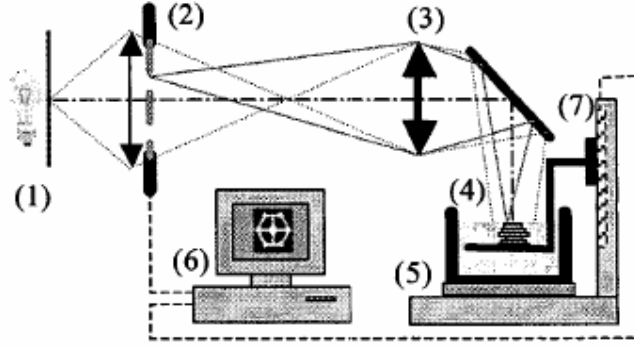
İlk yöntem, geleneksel SL işlemine yakındır. Tek fark; bir x-y konumlu objenin yapılmış olduğu reçine reaktörünü hareket ettirirken lazer ışınının odak noktası reçinenin yüzeyinde sabit kalır. Fakat; polimerizasyon basamağı süresince, sıvı reçine yüzeyinin istenen stabilitesini sağlamak için reaktör oldukça yavaş çevrilir. Bu sebeple, üretim süreci oldukça uzun olmadığı sürece, üretilen objenin dışsal boyutu sınırlı tutulmalıdır. Yine de, bu tip bir yöntemle; 20 µm kalınlıklı seramik mikro bileşenlerin üretimi dahil; bir çok mikro parça üretilir.

Son zamanlarda, fotopolimer reçine ile 3 boyutlu mikro üretim işlemine 2 foton soğurmayı uygulayan (two-photon absorption), farklı bir 3 boyutlu mikro üretim tekniği öne sürülmüştür. Fakat böyle bir işlem saydam reçinelerden üretim ile sınırlıdır, çünkü lazer ışını materyalin içine odaklanmayı gerektirir.

5.2.1 Maskeli İnşa İşlemi

Bugüne kadar yapılan çalışmaların bir çoğu; sıvı fotopolimerin tüm bir katmanını katılaştırmaya izin veren likit kristal maskeli SL tekniklerinden elde edilmiştir. 3 boyutlu nesne ise katman katman üretilir. Bu yöntemin en güçlü yanı, nesnenin yerleştirildiği atmosfer düzlemi, kurulumda hareket eden işleyen tek eleman olarak kalır. Bu, ardışık vulkanizasyon basamakları boyunca parılının uygun kararlılığını ifade eder. Maskeli işlemde; bütün bir katmanın ışınlanması eşzamanlı olarak ortaya çıktığından ve bir katman üretme zamanı örneğinden bağımsız olduğundan; klasik vektörel işlemde daha hızlı olabilmek potansiyeli de gösterir. Sıvı kristal göstergeler UV ışığına kötü bir iletim gösterir. Bu SL tekniklerinde kullanılan geleneksel radyasyondur. Bu sebeple; pozlama süresi oldukça uzun olmadığı sürece; UV vulkanizasyonu için optimize edilen endüstriyel SL reçineler kullanılamaz.

Şekil 5.7, maskeli inşa işleminin prosesini gösterir. Işın demeti yüksek basınçlı civa lambasından gelir. Ayarlanmış bir optik sistem; nesnenin boyutunu kontrol edebilmek için, değişken bir büyütme ile, reçine yüzeyindeki hareketli ikili maskeyi yansıtır. Hareketli maskenin kontrast oranı, kapayıcı olarak kullanılmak için de yeterlidir. Sıvı reçine sadece ışığın değdiği yerde katılır. İnce katmanlar; gerçek 3 boyutlu mikro parçalara öncülük eden, karmaşık 3 boyutlu biçimler yaratmak için, en alttan en üste sırayla katılaştırılır ve dizilirler.



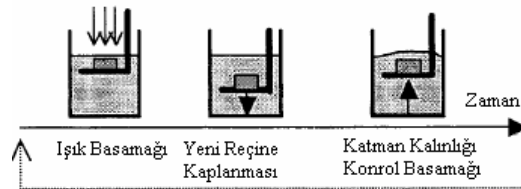
Şekil 5.7 Maskeli hızlı prototipleme prosesi [40]

(1) yüksek basınçlı civa lambası, (2) LCD, (3) yansıtıcı sistem, (4) fotoreaktör, (5) ısı ayarlayıcısı, (6) bilgisayar, (7) dikey hareket sistemini oluşturmaktadır.

Hareketli ikili maske; iki polarizer arasına yerleştirilen, sıvı kristallerin yoğunluk modülatörü gibi hareket etmesine imkan veren; sıvı kristal gösterge (LCD), uzaysal ışık modülatöründen (SLM) oluşur. SLM; $26 \times 26 \mu\text{m}^2$ görüntü kalitesi ile, 33mm köşegenli çoklu polisilikon TFT bükülmüş nematik LCD' dir. Aygıtın kontrast oranı 100:1 den daha iyidir.

SLM'nin bir kişisel bilgisayarın video adaptörü tarafından yürütülmesine izin veren arayüz; bilgisayar monitöründe gösterilenlerin tümünün replikasyonunu vermek için; XGA çözünürlük (1024 x 768 piksel) kurar ve 60 Hz. civarında çalışır. Sadece farklı ikili maskeler değil, gerçek zamanda, üretim ve kontrol parametrelerini de göstermek için, maskeleme bölgesi için, kısıtlanmış bir alan ayrılmıştır. Böylelikle etkin hareketli maske sadece 640 x 480 piksel sınırlı alanına denk düşer.

Fotokür edilebilir materyaller; reçinenin taze katmanlarını biriktirebilmek için; işleme uygun olarak, mümkün olduğunca en düşük akışkanlığa sahip olmalıdır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Katman oluşturma prosesi [40]

Bir kazıyıcı üretim süresince mikro nesneye zarar verebileceğinden, böyle bir alet kullanılamaz. Bu sebeple, pozlama basamağından sonra, parça tepkimeli ortamda daldırılır ve

sonra yukarıya doğru hareket ettirilir; öyle ki kür edilen son katman ile, yüzey arasında yeni bir taze reçine katmanı vardır. Sıvının taze katmanlarından homojen bir kalınlık elde etmeye imkan veren gevşeme süresi, esas olarak, reçinenin sıvı halindeki özelliklerine bağlıdır. Bu sebeple, üretim süresini ve katman kalınlığını düşürmek için; sadece düşük akışkanlıklı fotokür edilebilir reçineler kullanılmak zorundadır.

Dikey çeviri basamağı da üretim süresince önemli rol oynar. Konumu doğrulamak için; manyetik kodlayıcı ile donanmış 2 μm hassasiyetinde, ADC' li mikrometre kullanılır. Hız, ivme, yolculuğun uzaklığı, ayrı ayrı programlanır. [40]

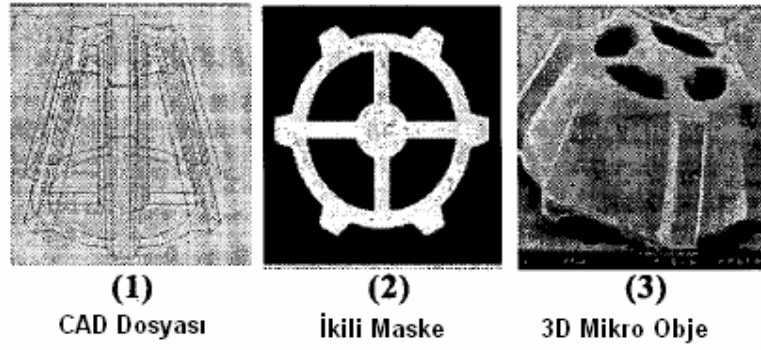
5.2.1.1 Veri Girişi

Geleneksel SL tekniklerinde olduğu gibi, mikrofabrikasyon sadece bilgisayarlar için komplike çıktı aygıtı olarak dikkate alınabilir.

Kurulacak nesne, genellikle bilgisayar destekli tasarım yöntemiyle tasarlanır. Nesnenin; katı, 3 boyutlu bir “modeller “ ile tasarımından sonra veri transferleri; SL aygıtları gibi ekleyici imalatçılar için standart veri transfer formatı olarak dikkate alınabilecek; ikili STL kod kullanılarak yapılır. Bu şekilde, ürün yüzeyleri; üçgenin hangi tarafının kütleyle içerdiğini göstermesi için köşeleri düzenlenmiş üçgen yüzeylerle uyumlandırılır. Düzlemsel olmayan bir yüzeyin doğruluğu; yüzeyi uyumlandırmak için kullanılan yüzeylerin sayısına bağlıdır.

STL dosyası, nesnelerin dış yüzeylerin sadece bir kesit gösterimidir. Parçayı kurmak için, 3 boyutlu şekli; topografik bir haritadaki konturlar gibi, bir dizi kesite dönüştürülür. Bu, nesnenin dilimleme algoritması ile, matematiksel olarak, bir dizi paralel yatay düzlemlere bölümlendiği anlamına gelir. Bundan sonra, özel bir program farklı kesitlere uygun gelen ikili maskelerin eksiksiz kümesini tanımlar. Son olarak, maskeler, nesneyi kurmak için sırayla otomatikleştirilmiş makinelere yollanır. Şekil 5.9; (CAD dosyasından, elde edilen 3 boyutlu mikro objenin tarama elektron mikroskobu görünümüne kadar olan) küresel mikroüretim işleminin 3 ana basamağını verir.

Mikrostereolitografi sisteminde maske bilgisayar tarafından gönderilen katman verileri doğrultusunda oluşturulan maske LCD ekrana yansıtılır ve maske bu ekran üzerinde oluşturulur. Daha sonra gelen ışınlar bu maskeden geçerek fotopolimer üzerinde polimerizasyon işlemini gerçekleştirir.



Şekil 5.9 Prosesteeki 3 önemli basamak [40]

CAD dosyasının istenen katmanlara dilimlenmesi süresince, hatanın yer değiştirmesi söz konusu olacaktır. Bir özniteliğin tepe ya da dip yüzeyi katmanla kesişmemelidir. Bir katmanın kalınlığı temsil edilebilsin diye yüzey yüksekliği uyarlanmalıdır. Sonra, dip ile tepe yüzey arasındaki birleştirilmiş yuvarlanmış hata bir katmanın kalınlığına eşit olabilir.

Başka bir açıdan, dilimleme işlemi; "stair stepping phenomenon" olarak adlandırılan, basamaklı bir etki de yaratır. Bu; her bir katmanın kendi kalınlığı içinden sürekli kesit olması gerçeğinden gelir. Sonuç olarak, kavisli yüzey içeren parçalar, dikey düzlemde beklenen CAD geometrisine kesin olarak uymayabilir.

5.2.1.2 Kurulum İşleminin Kararlılığı

Mikro nesne üretimi için kullanılan fotokür basamağı sebebiyle, işlemin genel kararlılığı; optik görüntüleme sisteminin kalitesinden ve aynı zamanda, fotokür edilebilir karışımın kimyasal ve fiziksel özelliklerinden gelir.

Saf polimer olduğu takdirde, işlemin yanal kararlılığı sadece görüntüleme sisteminin kararlılığına bağlı olarak dikkate alınabilir. İşlemin güvenilirliğini gösteren $2 \times 2 \mu m^2$ pikseli tek katmanlı nesneler üretilmiştir. Reçine üzerindeki görüntülenmiş maske, piksel boyutuyla aynı derecede nesnenin yanal kararlılığını tanımlayan reçinenin fotokür edilebilirliği, sadece aydınlatıldığı yerde gerçekleşir.

Diğer taraftan, dikey kararlılık sıkı şekilde; sıvıya doğru ilerledikçe ışığın soğurulmasından kaynaklı olarak; ışığa duyarlı materyalin aydınlatma koşullarına ve soğurma ve reaktivitesine de bağlıdır. Monokromatik ışık olması halinde basit bir örnek onun yoğunluğunu verebilir;

$$I(z) = I_0 \exp(-z/D_p) \quad (5.1)$$

I materyalin içindeki ışığın dikey yayılımına karşı sıvının serbest yüzeyindeki yoğunluğunu z

cinsinden ifade eder, I_0 gelen ışın demetinin yoğunluğu ve D_p materyalin penetrasyon derinliğidir. D_p reçinenin temel bir özelliğidir.

Fotokür ilerlemesi; gelen ışığın etkisi altındaki, sıvı reçinedeki bükülmezliğin gelişimince tanımlanır. Sıvı reçinenin; sağ dalga boyunun ışığının çarptığı herhangi bir bölgesi, vulkanizasyon olarak bilinen fotokimyasal polimerizasyon tepkimesine uğrar. Yine de bu, sadece bölgenin belirli önemli bir miktarda ışık enerjisi E_c aldıktan sonra; jelleşmeye başlar veya onun eşik katılığını ifade eden, bükülmezliğini kazanır.

Sonuç olarak, D_p ve E_c değerleri büyük öneme sahiptir. Gelen ışığın süresi ve yoğunluğuyla birlikte, jelleşme derinliğini D_g belirlerler. Reçinenin belirli bir pozlama altında katıya dönüştüğü etkin derinliğe karşılık gelir.

t' yi işlemdeki katman kalınlığı olarak alalım. Üretilen nesnenin katı doğasını sağlamak için ideal hal $D_g = 1.5 t$, dilimleme kesinliğini farkedilir şekilde kötüleştirmeden, iki ardışık katmanın bağlanmasını sağlar. Yukarıda tanımlandığı gibi, D_g 'nin böyle bir uyarlaması sadece gelen ışığın kritik enerjisinin E_c kontrolüyle mümkün olabilir. Yine de; katman kalınlığından t daha fazla olduğundan, materyalin penetrasyon derinliği de hesaba katılır. Bu; dikey eksenindeki boyutları etkileyen; parazit bir büyümeye yol açabilir. Ardışık katmanlar kür edildiğinde, ışın demeti katmanın altına doğru ekstra enerji açığa çıkarır. İstenmeyen bu enerji; ardışık aydınlatma basamakları boyunca biriktiğinde; üretilen parçanın herhangi bir sarkık bölgesinin şeklini değiştirebilecek olan alçak katmanın incelmesine neden olacaktır.

Yine de bu etkinin düşük akışkanlı ve üretilen parça ile yükseltme düzlemi arasında uygun destekleme yapıları ile, bir reçinenin kullanılmasıyla kısmen engellenmesi mümkündür. Böylelikle, taze reçine; herhangi bir ışığın soğurulmasının birikimini engelleyerek; bir katmandan diğerine iyileştirerek hareket eder.

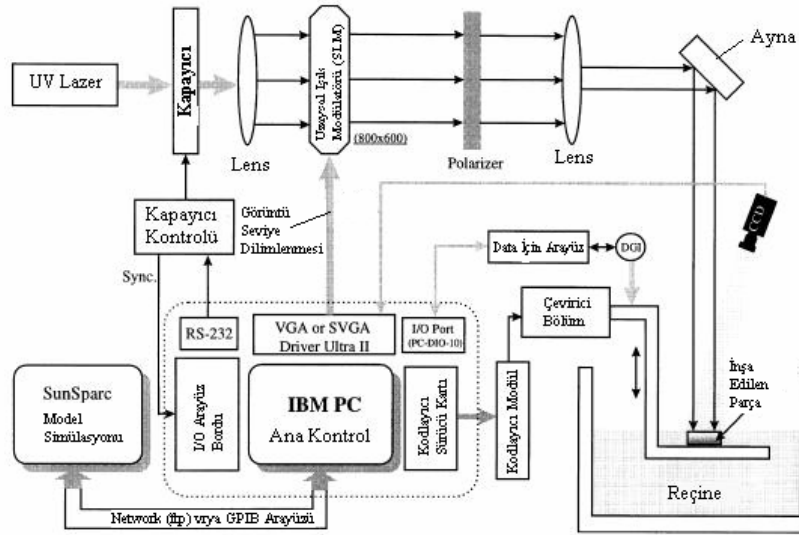
Üretilen nesnenin biçimine sıkı şekilde bağlı olduğundan ve aynı zamanda hammaddenin penetrasyon derinliğine de bağlı olduğundan; ona μSL işleminde dikey kararlılığı verecek olan tek bir değer vermek zordur. Mevcut çalışmalar; doğruluğu açısından işlemin tam bir tahminini vermede yardımcı olabilecek kaynak mikro parça sunmak için gelişim aşamasındadır.

5.2.2 Katman Yığılma İşlemi

S.Haung ve arkadaşları bu konuda belirli bir biçimde yeni bir stereolitografi tekniği ve onun içinde hareketli bir opto-elektronik maske, uzaysal ışık modülatörü; pozlamanın tamamen

planlayıcı (katman katman) bir işlemini kullanarak 3D bileşenler yaratmışlardır. Burada katmanlar eş zamanlı olarak; küçük artışlarla katmanın kendisinin kurulumuna karşıt olarak; tüm yüzey üzerinde kür edilmiştir. Bu; bir TV ekranındaki imgelerin içine inşa edilen çizgi tarama prosedürüne eşittir. Bu sebeple, bileşenleri kaba boyutlarda; 50 μm 'den 50 mm'ye (mikro dan küçük biçim faktörlerine) ve, özellik boyutları, 1 μm çözünürlükle 5 μm kadar küçüktür.

Bu amaç için kullanılan tüm opto-elektronik sistemi şekil 5.10'da gösterilmiştir. Bu optik sistem argon iyonlu lazerin 351/363 nm dalga boyunu kullanan ultraviyole içinde işlemektedir. Böyle bir kaynak güvenilir olarak guassian ışın demeti üretir ve bu dalga boylarında esnek operasyon sağlar. Sistemin esas fiziksel bileşenleri şunlardan oluşmuştur: çoklu-lens sistemi; ultraviyole lazer ışını kaynağı; uzaysal ışık modülatörü; yüksek çözünürlüklü öteleme devresi ve optik kapayıcı.



Şekil 5.10 Katman yığma sistemin genel şematik görünüşü [41]

S.Haung ve arkadaşları operasyonu genel olarak 6 basamakta özetlemişlerdir:

- katı veya yüzey modellerini destekleyen, uygun bilgisayar destekli bir tasarım ortamı kullanan bir parça tanımlanır.
- hedef parçanın düzenleyici dilimlerini yönlendirilir ve fotolitografik altsistemleri başlatılır.
- Hedef parçanın bir dilimini, bitmap imgesi olarak yeniden ele alınır ve opto-elektronik maskede sergilenir.
- Kapayıcı açılır ve zamanlayıcıyı; fotopolimer kür zamanı için geriye doğru sayma

başlatılır.

- Kapayıcı kapatılır ve reçinenin yeniden katmanlaştırılması işlemi başlatılır;
- Daha fazla dilim mevcutsa, 3. basamağa dönülür.

Uzaysal ışık modülatörü, parçanın elektronik ve fiziksel düzenlemesi arasında kritik arayüzdür. Katı veya yüzey modellerinden 3 boyutlu, bilgisayar destekli tasarım imgeleri yönlendirilir. Seçilen düzlem boyunca tekdüze artışlarla dilimlenir. Her bir dilim daha sonra, bitmap formata çevrilip ve uzaysal ışık modülatörünü yönlendirmek için kullanılır. Bu; bir koherent ışık kaynağının yoluna yerleştirilen bir optik maskedir ve burada kullanılan bir argon iyon lazeridir. Bileşenin oluşumu, bir reçine sıvısında meydana gelir. Belirli bir biçimde, reçine polimeri ve gelen ışık öyle seçilir ki; reçinenin seçici bölgesinin vulkanizasyonu başlar. Pozlama periyodu; hemen başlangıç lazer kaynağını takip ederek bir kapayıcı ile kontrol edilir. Bir katmanın vulkanizasyonu tamamlandığında, bileşen banyonun öyle derinine batırılır ki; sıvı reçinenin yeni katmanı vulkanize edilen yüzeyin üzerinde meydana gelir. Sonraki katman için işlem; bileşen tamamlanana kadar operasyonun aynı sırasıyla tekrar eder.

5.2.2.1 Sistem Gereksinimleri

Kontrol sisteminin; gerçek zamanda bir çok farklı format kullanan veriyi kullanabilecek kapasiteye sahip olması gereklidir.

Bir seferde 5 µm kadar küçük hedef parçasını yeniden ince tabakayla kaplamak için reçineye daldırmaktan sorumlu öteleme evresi, dinamik başlı kitaplık dosyalarıyla arayüzlenir. Ayrıca, vulkanizasyon işleminin görsel kapalı çevrim kontrolü için bir yol sağlandığı yerde; imge yakalaması için de bir gereksinim mevcuttur. Uzaysal ışık modülatörüne sağlanan maske, diğeri için uygulanmadan evvel; mevcut katmanın kısmi vulkanizasyonunu düzeltmek için dinamik olarak değiştirilebilir. Bu sebeple; herhangi bir gelişim sistemi için ana gereksinimler; çoklu-video kanalları; Windows NT ortamı kullanan iyi giriş çıkış (I/O) dağıtımıdır.

Her iki ışık modülatörü standart VGA veya SVGA arayüzlerinden sağlanır ; bu sebeple, bu, ana bilgisayarın standart video çıkışı kullanılarak kolaylıkla sağlanabilir. Yine de; bilgisayar monitörüne ve uzaysal ışık modülatörüne eş zamanlı erişimi desteklemek için ekstra bir görüntü kartı vardır.

5.2.2.2 Uzaysal Işık Modülatörü Uygulamaları

Bu arayüzün amacı; bileşenin CAD gösteriminde tanımlandığı gibi; seviye dilimleme datalarının (bitmap formatı) belirli bir sıralamasını uzaysal ışık modülatörüne yollamaktır. Uzaysal ışık modülatörü bir maske sergiler; bunun imgesi, mikro-bileşenin bir katmanını kurmak için reçinenin banyo yüzeyinde görünür. Çoklu bitmap dosya formatları mevcutken program evrensel olarak okuma ve çeşitli bitmap dosya formatlarının şifre çözümünü yapabilmelidir. Bu; aktarım başlatılmadan evvel; ilgili bitmap başlık dosyasından bilgilerin okunmasıyla başlar. [41]

5.3 Mikrostereolitografi ile İlişkili Diğer Mikroüretim İşlemleri

Bu bölümde, mikrostereolitografi ile ilişkili 2 yöntemden bahsedilmiştir. Materyaller yönünden, sadece polimerlerde değil, bileşik materyallerde seramik veya metallerde de yaratmak amacı ile materyal sayısını genişletmek, mikro stereolitografi işleminin geliştirilmesinde kesinlikle önemli bir konudur.

5.3.1 Seramik Materyallerin Mikrostereolitografisi

Farklı araştırma takımları; fotopolimerizasyon edilebilir ortamlarda; geleneksel stereolitografi için kullanılabilecek seramik tozların gömülmesini çalışmışlardır. Zhang ve arkadaşları; serbest yüzey tekniğine dayanan vektörel mikrostereolitografi işlemi ile sulu ve susuz alüminyum oksit asıltıdan seramik nesnelerin üretimine çalışmışlardır. Oldukça gözenekli seramik bileşenler üretmek için %16 büzülme ile sinterlenmiş bileşik nesnelerin doğrudan üretimi için, 33%'ü katı olan asıltılar kullanılmıştır. Daha yüksek katı yüklemeleri sinterlenmiş nesnelerin özelliklerinin daha iyi olmasına sebep olabilir, fakat aynı zamanda, yeni bir katman üretirken, seramik asıltının akışkanlığını ve reaktif ortam yayılımının zorluğunu artırır. Reaktif ortam da ışık saçılımı aynı zamanda; eş koşullarda polimerik materyallerde üretilen nesnelerin çözünürlüğüne kıyasla, nesnelerin düşük çözünürlüğünden de sorumludur.

5.3.2 Gözden Kaybolan Dalgalarla Polimerizasyon

Fransa da ENSCMu-CNRS'de Loughnot ve arkadaşları , ışığa duyarlı bir reçineyi polimerize etmek için gözden kaybolan dalgaların kullanımına dayanan bir mikro üretim işlemi geliştirmişlerdir. Bu işlem katmanları; stereolitografi ve mikro stereo litografi işlemlerindeki gibi üst üste koymaya izin vermez, fakat, çok düzeyli yapılar doğrudan elde edilebilir. Bir lazer ışını yüksek kırılma indisli bir ortamda çoğaltıldığında, düşük kırılma indisli ortamın

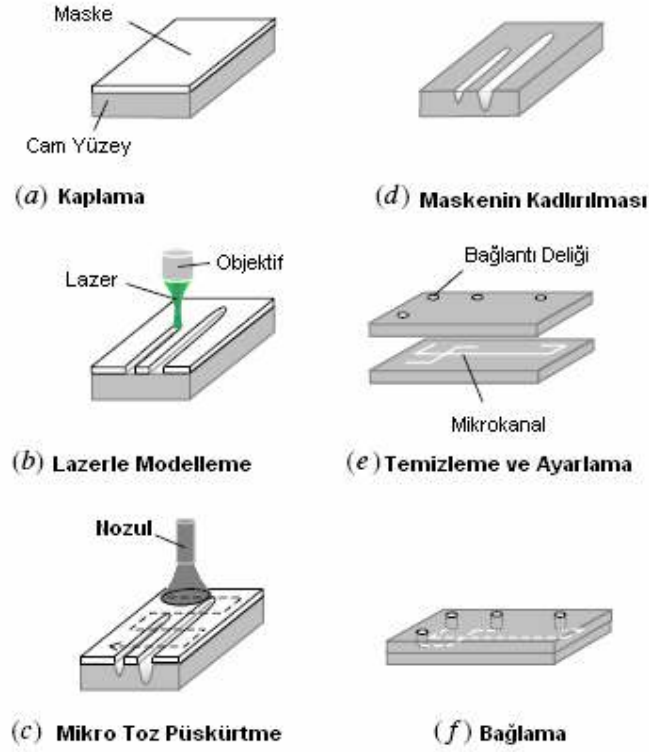
arayüzünde yansıdığında; arayüzdeki ışın demetinin geliş açısı, kritik değerden daha büyük ise, toplam yansıma oluşabilir. Bu durumda, ışın demeti ikinci ortam boyunca çoğaltılmaz fakat, gözden kaybolan bir dalga yaratılır. Arayüz yakınında, elektromanyetik alan sıfırdan farklıdır, fakat, bozulmuş üssel olarak sıfırdır. Gözden kaybolan alanın nüfuz derinliği, aktif ışığın sınırlandığı katmanın kalınlığı olarak yorumlanabilir. Gözden kaybolan dalgalar, bir polimerizasyon tepkimesinin başlatımı için kullanılabilir. 30nm ve 1.5mm arasında polimerize edilmiş kalınlık elde edilebilir, fakat bu yöntemle elde edilen nesneler cam altlıkları sıyıramayabilirler. Fresnel lensleri ve ızgaraları gibi ikili kurtarma 2D nesneler üretilmiştir. Gözden kaybolan dalgalarla polimerizasyon çeşitli gri seviyeli; yerel yükseklikte mikro prizmalar ve çok düzeyli yapılar gibi bir modülasyon sunan polimerize nesnelerle sonuçlanan örneklerle uygulanabilir. [42]

5.4 Mikro Toz Püskürtme ile Hızlı Prototipleme

Cam üzerindeki aygıtlar; kimyasallara karşı yüksek dirençleri ve saydamlıkları sebebiyle mikroakışkanlar için önemlidir. Aygıtların gelişim basamağında; uygulama için optimize aygıt yapılarını belirlemek için basit, düşük maliyet ve etkin zaman kullanımlı prototipleme teknikleri için güçlü bir talep vardır. Hiromasa Yagyu ve arkadaşları mikro toz püskürtme sistemini geliştirmişlerdir. Bu teknik; cam, seramik ve silikon gibi kırılma katsayısı yüksek materyallerde mikroüretim için oldukça ümit vericidir ve diğer mikroüretim işlemlerinden daha hızlı ve ucuzdur.

Şekil 5.11, μ TAS (mikro toplam analiz sistemi) için bir cam yonga hızlı prototipleme sistemini gösterir. Hiromasa Yagyu ve arkadaşları AuPU4 materyalini yüksek en boy oranlı mikro kanal üretmek için maske materyali olarak seçmiştir. Çünkü AuPU4 aşınmaya karşı yüksek direnç gösterir. Au nanopartiküllerinin dağılmış poliüretanla yapışması polimer çözünmüş çözgenin ve Au nanopartiküllerinin karıştırılması ile hazırlanmıştır. Bu polimer , kayan mikroskop camına ($75 \times 75 \times 1$ mm) kaplanmıştır. (şekil 5.11(a)).

Daha sonra mikroskop camına kaplanan polimer malzemenin modellenmesi işlemine geçilir. Modelle işleminde belirlenen şartlarda maske hazırlama işlemi gerçekleştirilir. Hazırlanan bu maskeden sonra diğer parça diğer işlemler için hazır duruma gelecektir.



Şekil 5.11 Mikro toz püskürtme prosesi [43]

Maske; Au nanopartiküllerin tepe plasmon rezonans absorpsiyonu civarında bir dalga boyuna sahip, Nd:YVO4-SHG lazer kullanılarak modellenmiştir. Desenler polimer maskeye, programlanabilir hareketli X-Y basamakları ile, ışın demetinin pozisyonu kontrol edilerek doğrudan çizilmiştir. Hiromasa Yagyu ve arkadaşları odaklanmış lazer demetinin spotunun çapının, gereken çizgi genişliğine kıyasla küçük olması gerçeği sebebiyle; X-Y basamağının 2 μm derece hareketiyle, 100 μm genişlikli maske deseni üretmişlerdir. (şekil 5.11(b)).

Ortalama 20 μm çapıyla, SiC mikropartikülleri 8 mm çaplı bir memeden, yüksek basınçlı (0.3 MPa) hava akımı ve 90° geniş açısıyla örneğe doğru hızlandırılmıştır. Cam alttaşın tüm yüzeyini işlemek için, taban X-Y basamağı ile 50 mm s^{-1} sabit hızla ve 5mm hareket basamağı ile tekrar tekrar taranmıştır. (tarama sayısı, “geçiş” sayısını ifade eder.) (şekil 5.11(c)).

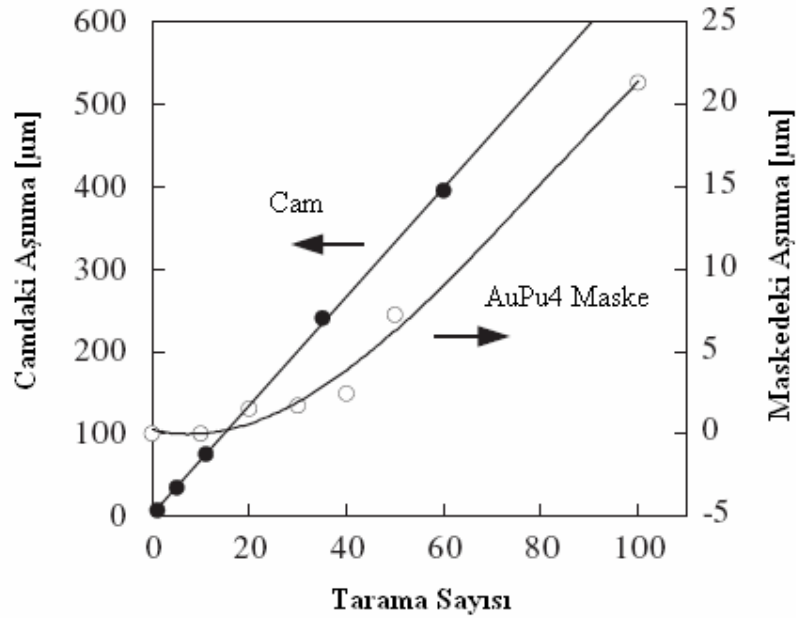
Cam taban , modellenmiş polimer maskeyle kaplandığında SiC mikropartikülleri tarafından aşınmaya başlar. Polimer maskenin açık alanlarında talaşlanmıştır. İşleme tabi tutulan cam taban; mikrotöz püskürtmeden sonra, maskeyi yerinden oynatmak için suya daldırıldı (şekil 5.11 (d)). Üretilen cam yonga, maske yerinden oynatıcı çözücü (su) ile yerinden oynatıldıktan

sonra temizlendiğinden, kanalda Au nanopartikülleri ve SiC mikropartikülleri kalmaz.

Deliksiz bir kanal oluşturmak için, iki cam alttaş, seyreltik $\text{NH}_4\text{OH}/\text{H}_2\text{O}_2$ solüsyonuna ($\text{NH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 1:1:5$) 24 saatliğine daldırılıp ve fırında 560°C sıcaklıkta 8 saat 3.7 kPa basınç altında termal olarak bağlanmıştır. (şekil 1 (e), (f)). Cam yüzeyi pürüzsüz tutmak için, iki istiflenmiş cam levha, cilalanmış iki alüminyum levha ile sıkıştırılmıştır.

5.4.1 İşleme Koşulları

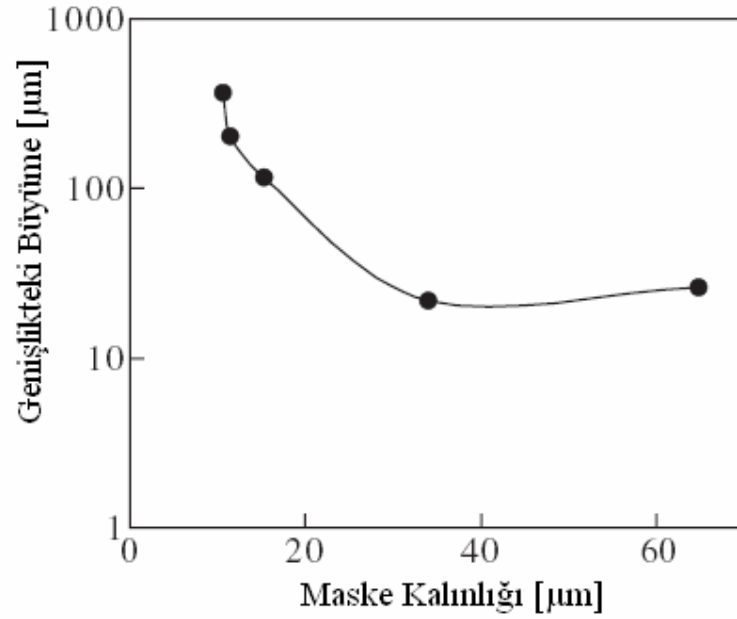
Şekil 5.12; AuPU4 aşınmasının taramaların sayısına tabi olduğunu gösterir. Aşınma bir profil sayacı ile ölçülmüştür. Aşınmanın başlangıcında, maskenin kalınlığı artmamıştır. 40 geçişten sonra, kararlı hal aşınması başlamış ve 30 geçişte maskenin aşınan kalınlığı camın yaklaşık %0.6'sı olmuştur.



Şekil 5.12 Cam ve maske aşınma miktarının Au partikülleriyle taranmasına göre değişimi [43]

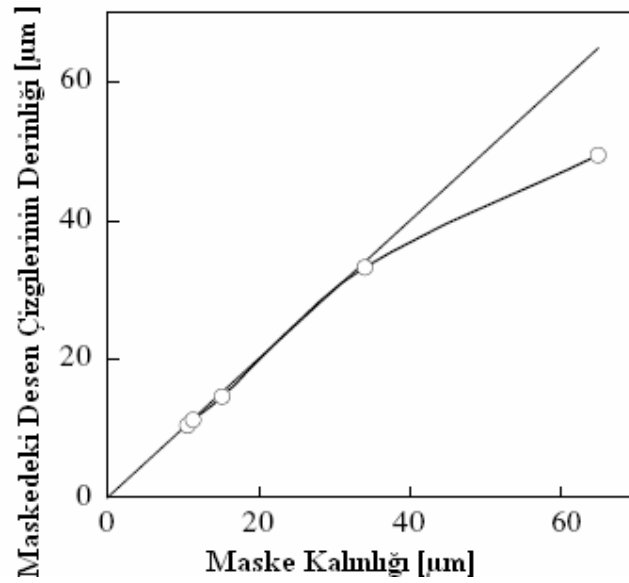
Optimum maske kalınlığını belirlemek için 17 wt% Au derişimli ve kalınlığı 10 dan $65\text{ }\mu\text{m}$ ye kadar olan maske kullanılarak $100\text{ }\mu\text{m}$ genişlikli çizgi modeli işleme tabi tutmuşlardır. Daha sonra, maskenin genişliğinin büyümesi; mikrotöz püskürtmenin 10 kez geçişinden sonra ölçülmüştür. Şekil 5.13; maske desen genişliğinin büyümesinin maske kalınlığına bağlılığını gösterir. Maske deseninin genişliğindeki büyüme; maske kalınlığının $30\text{ }\mu\text{m}$ 'ye kadar arttırılması ile azalır, ve $30\text{ }\mu\text{m}$ 'nin üzerinde sabit kalır. Bu sebeple, desen genişliğindeki büyümenin engellenmesi ve bir camda yüksek en-boy oranlı kanalın elde

edilmesi için , maske olarak, 30 μm 'den daha kalın bir polimere gereksinim vardır.



Şekil 5.13 Desen genişliğindeki büyümenin maske kalınlığına göre değişimi [43]

Şekil 5.14; maskedeki lazer demetiyle desenlenen çizgi derinliğinin, maske kalınlığına değişimini gösterir. Desenli çizgi derinliği, 30 μm 'nin üzerinde olduğunda, maske kalınlığından daha küçük olmuştur.. Bu sonuçlardan, optimum maske kalınlığının 30 μm olmasına karar verilmiştir.

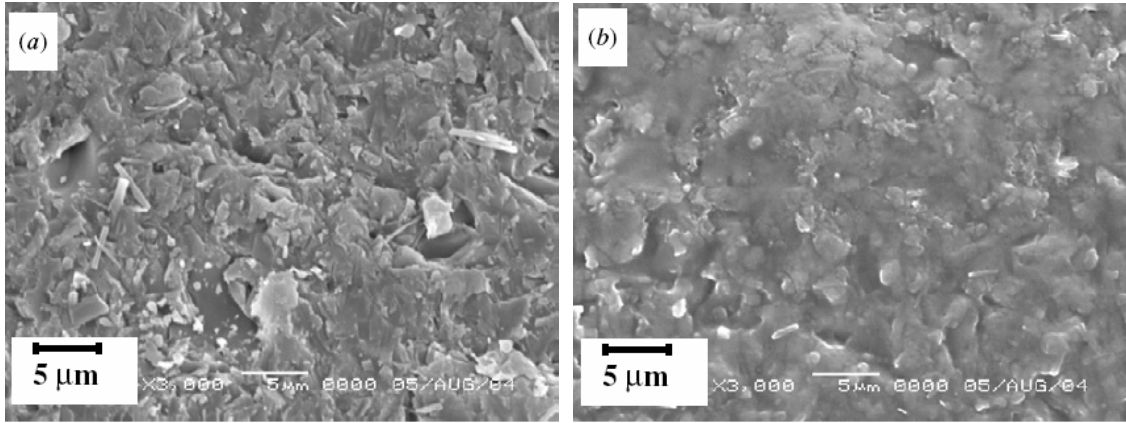


Şekil 5.14 lazer demetiyle desenlenen çizgi derinliğinin, maske kalınlığına değişimi [43]

5.4.2 Kanal Yan Duvarlarının Yüzey Pürüzlülüğü

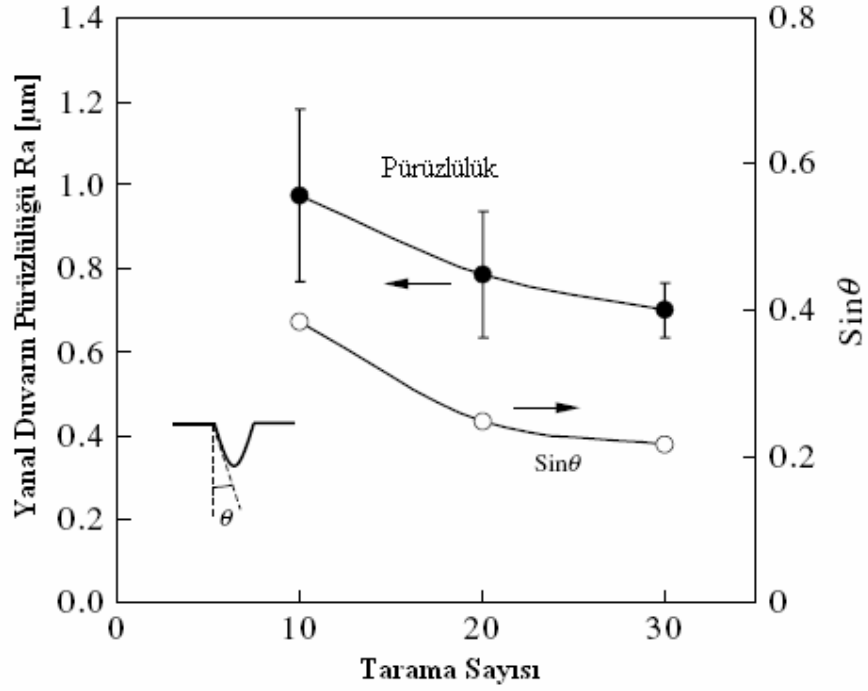
μ TAS uygulamasında, kanal yüzeyindeki pürüzlülük, analiz sonuçlarını etkiler. Bu sebeple, toz püskürtülmüş kanalın yüzey pürüzlülüğünün minimize edilmesi önemlidir. Kanaldaki pürüzlülüğün geliştirilmesi; toz püskürtmede, daha küçük mikrotarzların ya da daha düşük hava akımı basıncı kullanılması ile sağlanabilir. Bir camı işlemek için, 5 μ m çaplı mikrotarz kullanıldığında elde edilen kanal pürüzlülüğü; 0.1 μ m Ra'dır. Yine de, boyutu azalan mikrotarzlarla, işlem hızı daha düşük olduğundan ve 5 μ m çaplı mikrotarz yeniden işlemenden geçirilemediğinden; bu yüksek işleme maliyete neden olmaktadır. Bu nedenle Hiromasa Yagyu ve arkadaşları yüksek işleme hızı ile kullanılabilir, tekrar işlemenden geçirilebilir 20 μ m çaplı mikrotarz kullanmışlardır.

Camdaki kanal yan duvarlarına geçiş sonrası oluşan morfolojik oluşum şekil 5.15'de görülmektedir. Şekil 5.15 (a) 10 geçiş sonrasını, şekil 5.14 (b) 30 geçiş sonrasını göstermektedir.



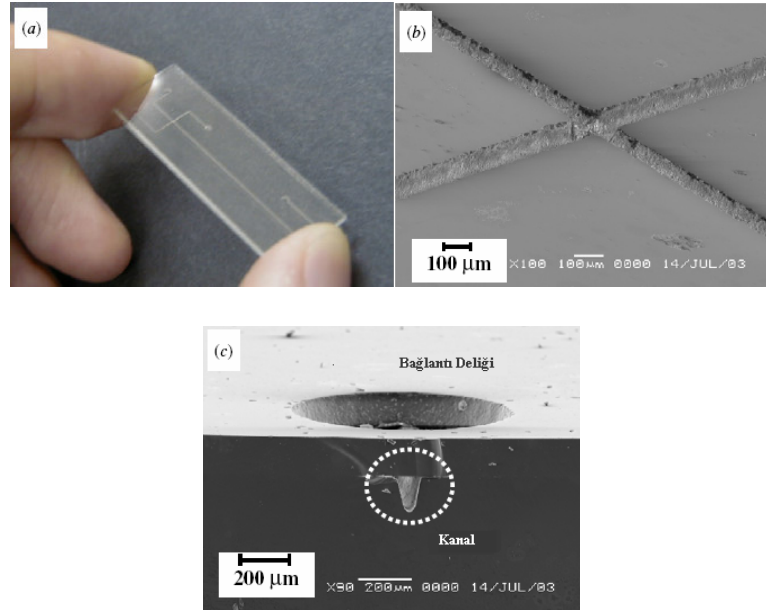
Şekil 5.15 Kanal yan duvarlarında oluşan morfolojik yapı [43]

Tarama sayısının artırılmasıyla, pürüzsüz bir yüzeyin elde edilebilmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün, tarama sayısına bağımlılık mekanizması, mikropartikül vasıtasıyla, çarpışma açısının bir etkisi olarak değerlendirilmelidir. Camın toz püskürtmesinde, parçacık çarpışmasının, plastik deformasyona ve camda yanal çatlaklara yol açtığı bilinmektedir. Materyal; deformasyon ve çatlaklar sebebiyle hareket eder. Çatlak boyutu, kinetik enerjideki azalışla azaldığından, pürüzlülük yüzeye dikey enerjiye bağlıdır. Parçacığın yüzeye dik kinetik enerji bileşeni, kanal yanal duvarı ile bir alttaşın yüzeyine dik doğrultu arasındaki açıya, θ , bağlıdır, bu şekil 5.16'daki planda gösterilir. Kanal yanal duvarının ölçülen bağımlılığı ve tarama sayısının $\sin\theta$ 'sı şekil 5.16'da gösterilir.



Şekil 5.16 pürüzlülük ve $\sin\theta$ 'nın tarama sayısına göre değişimi [43]

Dağıtılmış nanopartiküllü polimer maske ile, mikrotöz püskürtme kullanılarak üretilen cam yongayı şekil 5.17'de görülmektedir. Kanal 100 μm genişliğinde ve 150 μm derinliğindedir. [43]

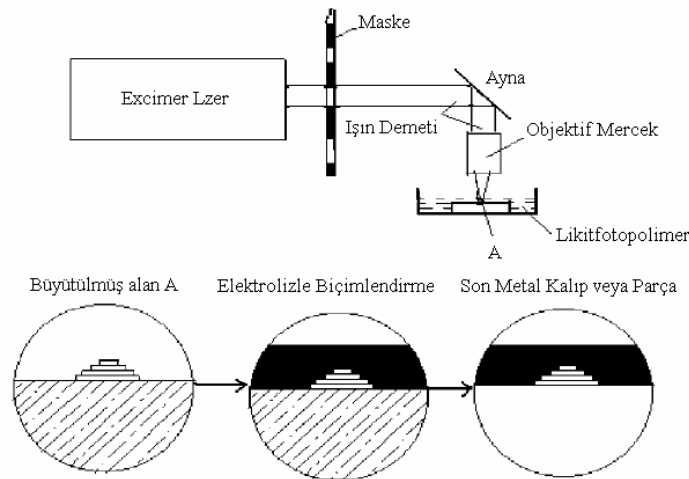


Şekil 5.17 Cam yonga [43]

5.5 Mikrolitografi

Mikrolitografi ilk kez Maruo tarafından geliştirilmiştir. Her bir katman, foto-litografideki gibi, likit polimerin fotopolimerizasyonu ile oluşturulur. Bununla birlikte, foto-litografideki fotoreçinenin aksine; fotopolimer pozlamadan evvel katı bir filmde önfirinlanmaya gerek yoktur. Katılaştırılmış 3D mikro parça, doğrudan likid fotopolimerden oluşturulur. İnce yapıların oluşturulması için, ışık kaynağı olarak bir excimer lazer, (248 nm) kullanılır. 3D parçadan dilimlenen tüm iki boyutlu desenler, hiza işaretli maskenin tek bir parçasında kurulur. Foto-maskesinin hareket ettirilmesi, ve desenlerin birer birer sıraya konmasıyla bir dizi 2D desen sıvı likit polimer üzerinde pozlanır. Böylelikle, bir 3D yapı katman katman kurulur.

Mikrolitografi işleminin prosesi şekil 5.18’de görülmektedir. Bu sistemde, likit polimerin fotopolimerizasyonu için, (katılaştırmak, vulkanize etmek ve ya sertleştirmek için) enerji kaynağı olarak excimer lazer kullanılır. Daha kısa dalga boyları ışın demetinin daha küçük spotlara odaklanmasına izin verir ve böylelikle, excimer lazerler yüksek çözünürlüklü materyal işleme ve yüzey modifikasyonunda da kullanılır. Işın demeti, foto-maske boyunca geçtiğinde, özel bir biçimde düzenlenir ve objektif merceğinin kullanımıyla, biçimin boyutu daha küçük bir ölçeğe düşürülür. Lazerin bir pozlamasıyla biçimlenen lazer demetinin spotu, likit fotopolimerin yüzeyinde hareket eder ve likit fotopolimerin katmanını tasarlanan biçimde katılaştırılır ve tabana saplanır, daha sonra, maskenin hareketiyle, bir dizi ikili biçimler yaratılır ve denetimli derinlikle katman katman tabana saplanır.



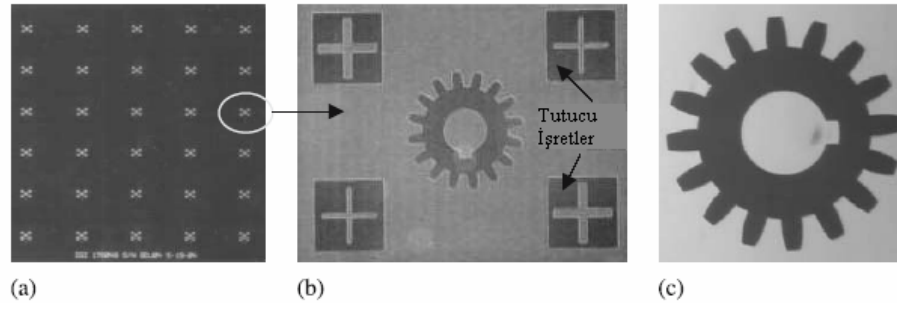
Şekil 5.18 Mikrolitografi işleminin prosesi [44]

Katı bir 3D parça, alttaşıta yaratılabilir. 3D polimerden yapılma desen; nikel ve ya bakır materyallerden herhangi birinin kullanımıyla, elektrolizle biçimlendirilerek, desenin kopyası alınır. Son bir metal kalıp veya parça , bu sebeple, polimer desenin eritilmesiyle elde edilir.

Mikrolitografinin diğer işlemlere göre avantajları şöyledir;

- excimer lazerin kullanımıyla, ekstra ince yapılar üretilebilir. Excimer lazer, yüksek ışın demeti kalitesine (TEM00) (ve oldukça kısa devam süresine (nanosaniye)) sahiptir. Aynı zamanda Excimer lazer fotopolimeri nanometre veya submicron ölçekte katılaştırabilir. Bu lazer ışını genellikle, kesinlik talaşlaması için, görsel olarak ısıdan etkilenmemiş bölge ile 40 nm ye kadar çözünürlüklü özellikler üretmek için kullanılır.
- Lazer pozlamasını düzenlemek için, foto-maske ile üretim, gerçekten oldukça küçük spotta olur. Yüksek bir sayısal açıklık (NA) ile birlikte, üretim yüzeyinde, oldukça küçük bir ölçekte, maskeden ışın demetiyle gelen deseni azaltacak olan objektif mercektir.
- Gerçek 3D mikro yapılar katmanlı üretim mekanizması ile üretilebilir. Bu, normal RP teknikleri ile kanıtlandı.
- Mikro ölçek metal parçalar yüksek en boy oranlı (50 den daha fazla) elektrolizle biçimlendirme yoluyla üretilebilir. Bu toplu üretim için mikro kalıplamaya da uygulanabilir.

S.C.H Thian ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; Lambda Physik COMPex 205 multigas (KrF) excimer lazer kullanmışlardır. Kullandıkları maske şekil 5.19'da görülmektedir. Şekil 5.19 (a) kare foto-maskeyi gösteriyor. Tüm foto-maske 5 sıra, 6 sütundan oluşur ve 30 desen içerir. Bir desenin genişletilmiş görünümü şekil 5.19 (b)'de gösterilir. Desen 16 dişle 1 mm çaplı (dişten dişe ölçülen), ve köşelerinde 4 hiza işareti olan bir çarktır. Hiza işaretleri, bir önceki tabakanın hizalarını destek içindir. Her bir dişin ölçülen genişliği, 60 μm 'dir. Bu aslında 3D mikro dişli için bir desendir. Şekil 5.19 (c)'de gösterilen Merkezi dişli için, ikinci katmandan ilk katmana 0.5 derecelik bir dönüş açısı vardır. Bu sebeple tüm dişli 3D yapı içinde 30 katman için toplam 15 derece dönüş açısına sahiptir.



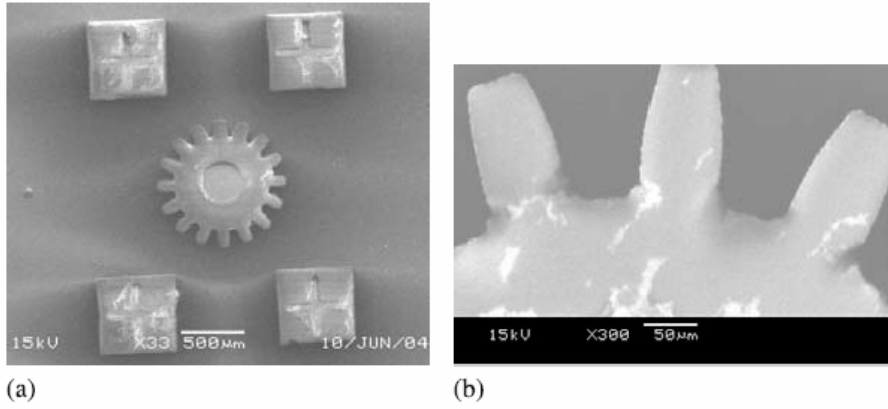
Şekil 5.19 Foto-maske [44]

Foto-maske için, soda kireç camı yerine; derin UV aralığı için sadece kuvarz yüksek iletme sahip olduğundan, daha pahalı olmasına rağmen; kromla kaplı kuvarzdan yapmışlardır. Temel kuvarz materyali, lazer ışınının geçmesi ve lazer ışınının foto-maskedeki desen biçiminde düzenlenmesine izin vererek, krom filmin lazer ışınını yansıtması içindir. Fotomaskenin kalitesi ve kesinliği; geliştirilmiş desenin boyutlarını etkilediğinden; son derece önemlidir.

S.C.H Thian ve arkadaşları yaptıkları deneyde Norland optik yapışkan olan Vantico SL5510 malzemesini denemişlerdir. Sıvı fotopolimerler normal bir dikdörtgenel mikroskobun cam kısmına kaplanmış (taban gibi hareket etmek için), ve yaklaşık 1 μm kalınlıklı ince bir katman, excimer lazere maruz kaldığında katılaşmıştır. Katman katılaştıktan sonra, cam kısım, gelişimi için, alkole batırılmıştır. Böylelikle; katılaşmış desen cam kısma yapışmış şekilde kalmış ve katılaşmamış likit fotopolimer, alkolde çözünmüştür. [44]

Çoklu katmanların litografisini için deneyler, tek katmanlı deneylerin sonucuna dayandırmışlardır. Cam kısım, tekrar, optimum parametreler kullanılarak, excimer lazer ile pozlanmasını takip ederek, fotopolimerin ilk katmanı ile dönerek kaplanmıştır. Fotopolimerin ilk katmanın iyi şekilde katılaşmasının ve cam kısma yapışmasının sağlanmasından sonra, alttaş tekrar, bu evrede geliştirmeksizin sıvı fotopolimerin ikinci katmanı ile dönerek kaplanmıştır. Alttaş, sonra lazer ışınıyla pozlanmış ve ikinci katılaşmış katmanı elde etmişlerdir.

SL 5510 için yapılan 5 katmanlı litografi işleminden sonra sonuç şekil 5.20'de görülmektedir. Dikdörtgenel mikroskobun cam kısmı SL 5510 fotopolimerin ilk katmanı ile dönerek kaplanmış ve daha sonra, foto-maskenin altına yerleştirilmiş ve pozlanmıştır. Şekil 5.20 (a)'da üstten görünüş, 5.20 (b)'de ise çark dişlisinin büyütülmüş hali görülmektedir.



Şekil 5.20 5 katmanlı litografi [44]

5.6 Elektrokimyasal Biriktirme

Elektrokimya, elektriksel ve kimyasal enerjilerin birbirine dönüşmesi sonucunda elektrokimyasal hücrenin elektrotlarında meydana gelen kimyasal reaksiyonları inceleyen bilim dalıdır. Elektrokimyasal hücre en az iki tane elektrot ve bu elektrotların arasındaki iletimi sağlayacak olan bir elektrolitten oluşur ve elektrotlar dış devreyle bağlantılı olmalıdır. Bu durumda elektrokimyasal hücre tamamlanmış olur. Elektrokimyasal hücre içerisine koyulan elektrolitler elektrik akımını iletme özelliğine sahip olan çözeltilerdir. Elektrolitler içlerindeki maddelerin iyonlarına ayrışmasına bağlı olarak kuvvetli ve zayıf elektrolitler olarak iki gruba ayrılırlar. Kuvvetli elektrolitler neredeyse tamamı iyonlarına ayrışabilen elektrolitlerken zayıf elektrolitler az miktarda iyonlarına ayrışan elektrolitlerdir. elektrolitlerin iletkenliği Denklem (5.2) ile verilmektedir.

$$\Lambda = KV \quad (5.2)$$

Bu bağıntıda V, eşdeğer katı içeren çözeltinin cm^3 cinsinden hacmi Λ eşdeğer iletkenlik, K da özgül iletkenliktir.

Bir elektrokimyasal hücrede indirgenme reaksiyonun olduğu elektroda katot yükseltgenmenin meydana geldiği elektrota da anot denir. Elektrokimyasal hücreler genel olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar galvanik elektrokimyasal hücreler ve elektrolitik elektrokimyasal hücreler olarak adlandırılır. Bu iki elektrokimyasal hücre çeşidini birbirinden ayıran en önemli özellik enerji ile aralarındaki ilişkidir.

Galvanik hücrede kimyasal reaksiyonlar dışarıdan bir enerji verilme gereği duyulmadan kendiliğinden gerçekleşir ancak elektrolitik hücrede ise kendiliğinden bir kimyasal reaksiyon

gerçekleşmez. Kimyasal bir reaksiyon gerçekleşebilmesi için dışarıdan sisteme enerji verilmesi zorunludur. Galvanik hücrede katot potansiyeli anoda göre daha pozitif, elektrolitik hücrede katot potansiyeli anoda göre daha negatiftir [45].

Bir metalin elektrokimyasal biriktirme işlemi metal iyonlarını içeren elektrokimyasal bir hücrenin metallerin indirgenmesiyle meydana gelmektedir. Bu metal iyonlarını indirgenmesi sonucunda katot da meydana gelen reaksiyon aşağıdaki gibidir,



M^{n+} , metal iyonlarını, M, metal atomunu, e^- , bir elektronu ve n atom başına aktarılan atom sayısını temsil etmektedir. Her metalin çözeltideki konsantrasyonuna bağlı olarak bir indirgenme potansiyeli vardır. Elektrotta oluşan indirgenme işlemi konsantrasyon 1 molar, olduğu durumda referans elektroda göre ölçülür. Ölçülen büyüklük standart elektrot potansiyeli (SEP)'dir. Referans birim etkinliği 1 molar, standart elektrot potansiyeli sıfır olarak kabul edilen Standart Hidrojen elektrotu (SHE) ya da Normal Hidrojen Elektrotu (SHE)'dur. [26]

Kullanımda ideal sayılabilecek bir referans elektrot, bilinen bir çözelti bileşiminden etkilenmeyen bir potansiyele sahip olmalı ve kolay hazırlanır olmalıdır. SHE'de elektrot yüzeyinin hazırlanmasında ve tepkimeye giren maddelerin aktivitelerinin kontrolünde karşılaşılan zorluklar bu elektrotun yeteri kadar pratik olmadığını göstermektedir. Bu tip referans elektrotlar yerine daha çok doymuş kalomel elektrotlar (saturated calomel electrode, DKE) ve gümüş/gümüş klorür elektrotlar kullanılmaktadır. Doymuş kalomel elektrot (DKE), kalomel (Hg_2Cl_2) ve Hg'dan oluşturulmuş bir karışım ile metalik Hg ve KCl çözeltisinden yapılır.

DKE'nin potansiyeli 25°C'de NHE'na göre 0.242V'tur. Gümüş/ Gümüş klorür elektrot DKE'ye benzer bir yapıdadır. Gümüş elektrot hem gümüş klorür hem de potasyum klorür yönünden doymuş bir çözeltiye daldırılır. Bu elekerotun elektrot potansiyeli 25 °C'de 0.199 V'tur. Co ve Fe elementleri için DKE'ye göre depozisyon potansiyelleri Co; -0.5215 V iken, Fe; -0.6505 V'tur.

Standart elektrot potansiyeli daha pozitif olan metallere soy metal denir. Soy metaller kendilerinden daha az soy olan metallerden daha fazla birikirler. Bu yüzden soy metallerin çözelti içindeki miktarları azda olsa film içindeki miktarı daha fazla olabilmektedir. Fakat demir grubu metallerinin üçünden birini (Ni, Co, Fe) veya daha fazlasını içeren çözeltilerde

genellikle anormal birlikte depozisyon gözlenir. Anormal birlikte biriktirme daha az soy olan metalin birikmesinin tercih edilmesidir. Bu olay Fe-Ni, Co-Ni, Ni-Zn, Fe-Co ve Co-Zn gibi çeşitli alaşım biriktirme sistemlerinde görülebilir. Anormal birlikte biriktirme bazı alaşımlarda gözlenme derecesi sırasıyla $\text{CoNi} > \text{NiFe} > \text{CoFe}$ olacak şekilde azalmaktadır. Örneğin Fe-Ni elektrobiriktirmesi Ni, Fe 'den daha çok soydur ve biriktirmede tercih edileceği beklenir ama tam tersi davranış gözlenir. Böylece depozitteki Ni'in Fe'e göre konsantrasyon oranı çözeltide olduğundan daha düşük olur. Anormal birlikte biriktirmeyi açıklamak için Dahms ve Croll tarafından 1965'te geliştirilen bir modelde, elektrot yüzeyi yakınında pH deki bölgesel yükselme depozisyon sırasındaki hidrojen çıkışına bağlı olarak meydana gelir ve daha az soy metalin hidroksiti elektrotun çevresinde adsorblanır. Buda daha soy metalin depozisyonunun engellenmesi ama daha az soy olan metalinkine izin verilmesi şeklindedir

İncelenen Bir metalin denge elektrot potansiyeli, çözeltideki iyonların konsantrasyonuna göre değişebilir. Elektrot potansiyeli ile çözelti derişimi arasındaki bu ilişki Nernst denklemiyle verilir.

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{red}}{a_{ox}} \quad (5.4)$$

Burada E^0 standart elektrot potansiyelini, T sıcaklığı, n alınıp verilen elektron sayısını, F Faraday sabitini (Bir coulomb, 1,11800 mg gümüş ayıran elektrik miktarı olduğuna göre, 1 atom gram gümüş ayırmak için gerekli elektrik miktarına ($107,880/0,0011180=96496$ coulomb) denk olduğu saptanmıştır. Bu miktara bir Faraday denir ve F ile gösterilir., R ideal gaz sabitini (8,314 J/mol. K) a_{red} indirgenmiş türün aktifliğini simgeler. Nenst eşitliği, daha genel haliyle aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E = E^0 - \frac{0.0592}{n} \log \frac{C_{red} f_{red}}{C_{ox} f_{ox}} \quad (5.5)$$

Bu eşitlikte C_{red} indirgenmiş türün konsantrasyonu, f_{red} indirgenmiş türün aktiflik katsayısı, C_{ox} yükseltgenmiş türün konsantrasyonu, f_{ox} yükseltgenmiş türün aktiflik katsayısıdır. Net bir akım gözlemek için elektotda onun denge değerinden farklı bir potansiyel uygulamak gereklidir. Eğer, elektrot potansiyeli denge potansiyelinden daha negatif yapılırsa katodik akım geçer ve biriktirme meydana gelir. Bunun tersi olarak eğer elektrot potansiyeli denge potansiyelinden daha pozitif ise anodik akım geçer. Hücre voltajı (E_{uyg});

$$E_{uyg} = E_{den} + \eta + iR_s \quad (5.6)$$

Denklem 5.6 ile verilir. Burada η , aşırı potansiyel, iR_s , çözeltideki potansiyel düşmesi (ohmik polarizasyon)'dır. Elektrokimyasal hücreler metalik iletkenler de olduğu gibi yük akışına karşı direnç gösterirler. Burada R_s elektrotlar arasında çözelti direncidir. Aşırı potansiyel, elektrot potansiyelinin denge değerinden sapması ve elektrotun polarizasyon derecesi olarak tanımlanır. Aşırı potansiyel, elektrottaki elektron aktarımı tepkimelerinin yavaş olması, (yük aktarımı aşırı gerilim, η_{ya}), elektroda ulaşması gereken maddelerin yeterince hızlı gelmemesi (kütle aktarımı aşırı gerilim, η_{ka}), ve elektrotta tepkimeye girecek maddenin bazen yavaş bir çözelti tepkimesi ile üretilmesi (kimyasal tepkime aşırı gerilim, η_{kt}) nedenleriyle ortaya çıkar. Burada bahsetmekte olduğumuz polarizasyonda çözelti içindeki durumlara bağlı olarak 3 grupta toplamak mümkündür. Bunlar;

- Difüzyon polarizasyonu
- Kinetik polarizasyon
- Kristalleşme polarizasyonu

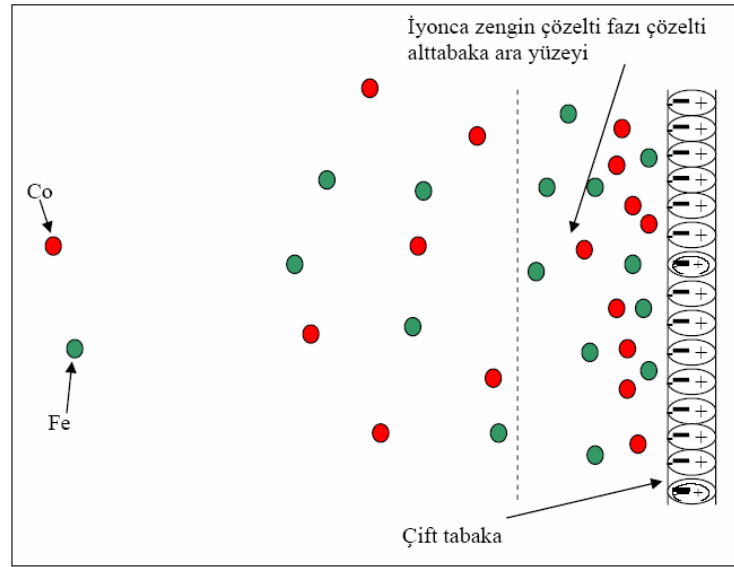
olarak sayılabilir. Buradaki difüzyon polaritesi çözelti ile çalışma elektrotu ara yüzeyinde gerçekleşen bir olaydır. Bu bölgede madde miktarı hiçbir zaman homojen değildir. Bu bölgede bulunan atomlar biriktirme işlemine katılmaktadır. Bu çözelti ile çalışma elektrotu ara yüzeyindeki bölgenin dışında bulunan bölgede atomlar homojen olarak dağılmışlardır. Çözelti ile çalışma elektrotu arasında atom yoğunluğu azaldığında bu bölgeye çözelti içinden bir geçiş olur işte çözelti içindeki değişik bölgelerdeki atomları bu bölgeye sürüklemek için ek bir enerji verilmelidir. Bu difüzyon polaritesine sebep olmaktadır. İkinci polarizasyon çeşidi ise kinetik polarizasyondur. Bu çeşit polarizasyonda ise çözelti içinde bulunan değişik maddelerin birbirleriyle olan etkileşmelerinden kaynaklanır. Burada çözelti içindeki maddeler tepkimeye uğruyorlarsa bu durumda biriktirme yapılacak olan bu maddelerin düzgün bir şekilde çalışma elektrotuna gönderilebilmesi için verilmesi gereken enerjiden kaynaklanır. Son olarak ise çalışma elektrotunda biriktirme işlemi yapılırken biriken maddelerin alt tabakaya ve birbirlerine daha iyi tutunabilmesi için verilmesi gereken ek enerjiden kaynaklanmaktadır. Denklem (5.7)'de kullanılan η bütün bunların toplamına eşittir.

$$\eta = \eta_{ya} + \eta_{ka} + \eta_{kt} \quad (5.7)$$

Metallerin biriktirme işleminde ikili elektrot sistemleri kullanılmasının yanı sıra daha çok üçlü elektrotlu sistemler kullanılmaktadır. Üçlü elektrot sistemleri anot (yardımcı elektrot),

katot (çalışma elektrotu) ve referans elektrodundan oluşmaktadır. Burada kullanılan referans elektrot, R_s çözelti direncini azaltmak amacıyla çalışma elektrotuna oldukça yakın konulmaya çalışılır.

Referans elektrottan çok küçük bir akım geçtiğinden diğer elektrotlardan geçen akım değişse bile bu elektrot deney süresince değişmeyen sabit bir potansiyel sağlar. Bu metotta akım, çalışma elektrotu ile yardımcı elektrot arasından geçer. Potentiostat çalışma ve yardımcı elektrotlar arasındaki potansiyeli değiştirerek çalışma ve referans elektrotlar arasındaki potansiyeli kontrol etmek için kullanılır.



Şekil 5.21 Biriktirme olayı [45]

Şekil 5.21'de elektrobiriktirme olayı gösterilmektedir. Çözelti içerisinde Co ve Fe iyonları homojen şekilde dağılmıştır. Akım uygulanmadan önce çözelti ile elektrot ara yüzeyi arasında bir elektriksel çift tabaka oluşur. Bu yapı kondansatöre benzetilebilir ve ilk başta verilen akım, nasıl kondansatörle devrelerde ilk olarak kondansatör yükleniyorsa biriktirme olayında da çift tabaka yüklenir. Bu aşamada biriktirme gerçekleşmez. Elektrota daha fazla potansiyel uygulandığı zaman elektrot negatif yüklenir ve burada çözelti ile elektrot ara yüzeyine doğru pozitif yüklü Co ve Fe iyonlarını çekmeye başlar bu sayede biriktirme işlemi uygulanan akım ile başlamış olur.

Elektrobiriktirme sırasında depozit edilen madde miktarı Faraday yasasından yararlanılarak bulunabilir. Elektrotlardan ayrılan madde miktarı devreden geçen akım miktarı ile doğru orantılıdır.

$$q = nF \quad (5.8)$$

şeklinde verilir. Burada q devreden geçen yük miktarı, N depozit edilen maddenin mol sayısı, n metalin değeriği ve F Faraday sabitidir. Depozit edilen metalin mol sayısı, kütle (m) ve bağıl atomik kütle (M_a) ile ifade edilerek film kalınlığı bulunabilir. Buna göre kalınlık (t) ifadesi:

$$t = \frac{qM_a}{A\rho Fn} \quad (5.9)$$

Bağıntısı ile verilebilir. Burada A filmin yüzey alanı, ρ depozit edilen metalin yoğunluğudur.

5.6.1 Elektrobiriktirmeye Atomik Bakış Açısı

Metallerin elektrodpozisyonuna bakıldığında depozisyon işlemi esnasında çözelti içindeki M^{n+} metal iyonlarının iyonik metal birim hücre içine transferleri anlaşılmaktadır. Bu durum Denklem (5.10)'da en basit şekli ile gösterilmektedir.

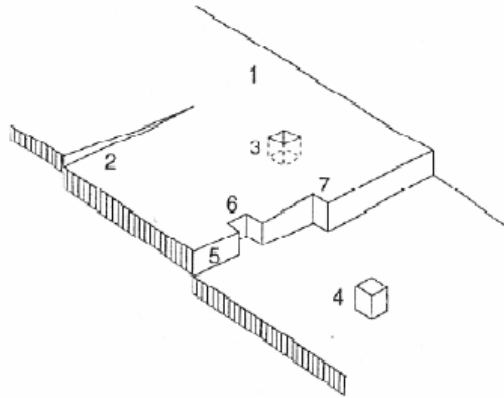


Bu reaksiyonda M metalindeki elektron gazının kaynağı olan n elektronlarının transferi söz konusudur. Atomik boyutta elektrobiriktirme süreci yukarıdaki denklemle verilebilmektedir. Burada asıl düşünülmesi gerekli olan şey metalin basit karakteristik açıdan hacim ve yüzey yapısının özellikleridir.

Yüzey ideal ve gerçek olmak üzere ikiye ayrılır. İdeal yüzeylerde kafes kusurları yoktur. Gerçek yüzeylerde çeşitli kusurlar vardır. Örneğin bir metaldeki boşlukların yoğunluğu 10^8 cm^{-2} iken bu metaldeki atomların yoğunluğu 10^{15} cm^{-2} dir. Gerçek yüzey yapıları pürüzlü yüzeyler olmalarından dolayı ideal yüzeylerden farklıdır. İdeal yüzeyler atomik olarak düzeltilmişlerken gerçek yüzeylerde kusurlar, basamaklar, kıvrımlar, boşluklar, kümeler yok sayılır. (Şekil 5.22)

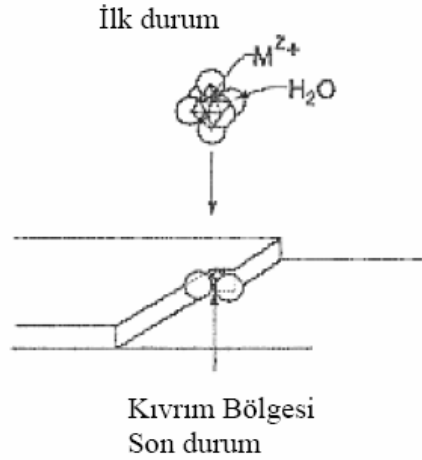
Atomik süreçte elektrobiriktirme Denklem (5.10)'daki gibidir. Buradaki sürecin M^{n+} (çözelti) ile başladığı ve M^{n+} (kafes) ile tamamlandığı düşünülmektedir. Sulu çözeltideki metal iyonları Denklem (5.10)'daki ilk durumdaki yapının su ile birleştirilmiş hale gelmesini $[M(H_2O)_x]^{n+}$ sağlanmaktadır. Kristal yapı içindeki kıvrımlara yerleşmekte olan bir M iyonu Şekil 5.23'de görüldüğü gibi su molekülü ile çevrelenmiş şekilde bulunmaktadır. Bu kıvrımlara temas etme denklem (5.10)'un tamamında bakıldığında iki mekanizma ile

gerçekleşir; (1) basamak sınır iyon- transfer mekanizması, (2) Set iyon-transfer mekanizması.



Şekil 5.22 Düşük indeksli kristal yüzeyinde bazı basit kusurlar [45]

1, kusursuz yüzey, sıralı; 2, çatlaklardan ortaya çıkan boşluk kusurları; 3, dizilişteki boşluklar; 4, dizilişteki iyonlar; 5, yüzeydeki basamak kaymaları, çıkıntı; 6, çıkıntılardaki boşluklar; 7, çıkıntı basamaklarındaki kıvrımları göstermektedir.

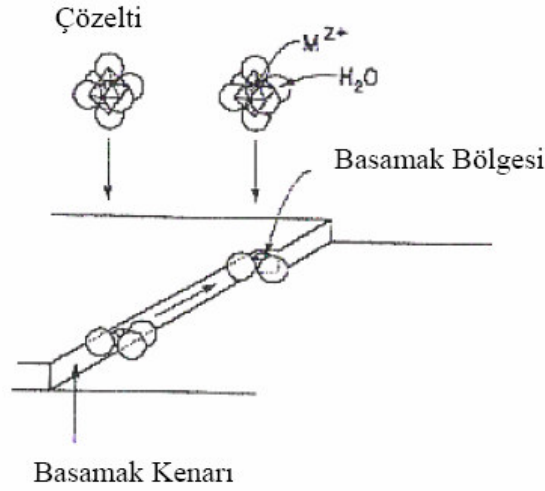


Şekil 5.23 Metal birikiminin ilk ve son durumu [45]

5.6.2 Basamak Sınır İyon-Transfer Mekanizması

Basamak sınır iyon-transferi veya direkt transfer mekanizması Şekil 5.24'de gösterilmektedir. Şekil 5.24'de gösterilen çözeltideki iyon transfer mekanizması basamak sınırları veya diğer basamak sınırlarında kıvrım sitelerine yerleşmektedir. Her iki durumda da M^{n+} iyonu metal kristal kafesinin içinde olur. Doğrudan transfer durumunda adım sınır sitelerindeki kıvrımlarda metal iyonları, kıvrımları buluncaya kadar basamak sınırları boyunca difüze edilirler.

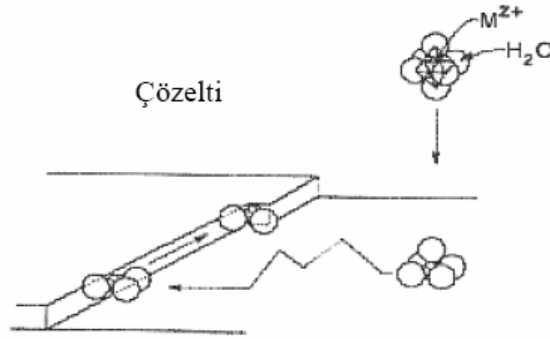
Böylece iki farklı basamak sınır transfer mekanizması meydana gelmiş olur: 1) Kıvrım bölgelerine direkt transfer ve 2) Basamak sınır difüzyonu.



Şekil 5.24 Basamak sınır iyon transfer mekanizması [45]

5.6.3 Sıra İyon Transfer Mekanizması

Sıralı iyon transfer mekanizmasında metal iyonları çözültiden sıralı bölgelerin düz yüzeylerine transfer edilmektedir. Bu durumda metal iyonları su molekülleri ile daha sıkı çevrelenmişlerdir. Böylece kristale daha zayıf bağlanırlar. Bu konumda yüzeyde daha düşük enerji konumları artarken yayılırlar. Son konumda kıvrım bölgelerindedirler.



Şekil 5.25 Sıra sitelerindeki iyon transferi, yüzey dağılımı ve kıvrım sitelerinde birleşme [45]

5.6.4 Elektrokimyasal Biriktirmeyi Etkileyen Parametreler

Elektrokimyasal biriktirme (elektrodepozisyon) tekniğinde oluşan ince filmin kalitesini etkileyen bazı parametreler vardır. Bu parametreleri değiştirerek aranan özelliklere göre manyetik ince film üretmek mümkündür. Elektrobiriktirmeyi etkileyen parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Depozisyon potansiyeli
- Çözelti pH'ı
- Akım yoğunluğu
- Elektrolit sıcaklığı
- Çözelti içine katılan kimyasal maddeler

Depozisyon potansiyeli: iyi ince film üretebilmek için depozisyon potansiyeli önemli rol oynamaktadır. Burada uygulanacak olan potansiyel aralığı dönüşümlü voltametre ile belirlenebilir. Bu uygulanan potansiyel film kalitesi ve parlaklığı için önemlidir.

Çözelti pH'ı: Depozisyonu etkileyen faktörlerden biri olan elektrolit pH'ı çözelti içindeki hidrojen iyonlarının bir ölçüsüdür ve

$$Ph = -\log_{10} a_{H^+} \quad (5.11)$$

ifadesi ile verilir. Çözeltideki pH değerinin değişmesi çözelti içindeki H iyonlarının konsantrasyonunun artması veya azalması anlamına gelmektedir. H iyonlarının çıkması sonucunda da film kalitesi etkilenir ve akım verimliliği değişir.

Akım yoğunluğu: Elektrobiriktirmeyi etkileyen faktörlerden biride akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğu elektrot yüzeyinin birim alanı başına geçen akım olarak tanımlanır. Bu özellik yüzey morfolojisini ve filmin kristal yapısını etkileyebilir. Kaliteli ince film üretmek için düşük akım yoğunlukları tercih edilir.

Kimyasal katkı maddeleri: Biriktirme işleminde kullanılan çözelti içine bazen katkı maddeleri katmak gerekmektedir. Burada katkı maddeleri ince film kalitesini arttırmak bazen de oluşmasına yardımcı olmak için kullanılır.

5.6.5 Elektrokimyasal Üretim (EFAB)

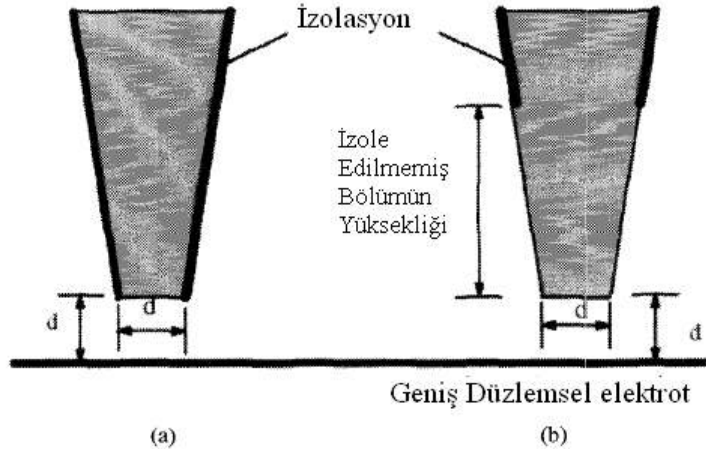
EFAB, Elektrokimyasal Üretim için bir kısaltmadır. Hızlı prototipleme alanında iyi bilinen Adam Cohen öncülüğündeki bir araştırma grubu, bu yeni mikro üretim yöntemini geliştirmişlerdir. EFAB işlemi, ön üretim kullanan elektro kaplama ve sınırlanmamış

mikroüretim maskeleri yoluyla doğal modellemeye dayanan katman katman üretim işlemidir. Bu sistem, çok katmanlı küçük boyutlu metalik yapıların üretimine izin verir. EFAB işleminde, hızlı prototipleme teknolojilerinde olduğu gibi, çoklu kesitlere bölümlenmiş bir STL dosyası yaratmak için, CAD basamağı kullanılır. Bu kesitler daha sonra, düz bakır anotlarda yalıtım malzemesini biriktiren fotolitografi işlemi yoluyla, bir dizi maskelerin üretimi için kullanılır. EFAB da, maske kurulum bsamağı, parça kurulum işleminden ayrılmıştır ve tüm maskeler, parçaların üretiminden önce yapılır.

Bir EFAB katmanı kurmak için, kurulacak nesnenin kesitini temsil eden bir maske, alttaşa zıt yönde yerleştirilir. Daha sonra bakır (destek materyali); alttaşa, yalıtıcı maskenin bloklanmadığı her yerde; elektrik yüklenir. Katmanı tamamlamak için, maske yer değiştirilir ve nikel (kurulum materyali) önceden serilen bakırın solunda açıklıkta elektrik yüklenir. Nikel ve bakır birikiminden sonra, katmanın yüzeyi “planarize edilir”. Kurulum ve destek materyallerinin ikisi de elektrik iletken olduğundan, yeni katmanlar, sınırlama olmadan, önceden yaratılan katmanların üzerinde biriktirilebilir. Parçanın tüm katmanları bir kez biriktirildiğinde, bakır asit oyma ile yer değiştirir.

John D. Madden ve Ian W. Hunter Mikro [46] elektrot geometrisini incelemişlerdir. Elektrotlarda oyulmuş uçlar genellikle, şekil 5.26’ da gösterildiği gibi, yaklaşık olarak disk şekline veya yarıküresel noktaya yakınsayan konik şekle sahiptir. Şekil 5.26 (a); sadece disk şeklindeki ucu korunmasız bırakan elektrot boyunca yalıtımlı ve 5.26 (b) ise diskin üzerindeki konik biçimli parçanın bir kısmı yalıtımsız bırakan iki elektrot kurulumu modellenmiştir. Dağlanan uçlardaki koni açılarını temsil üzere seçilen değer koni açısı 28° dir. Model disk elektrotunun; tüm kurulumlar için daha geniş düzlemsel elektrotun, yukarı paralelindeki bir disk çapına oturduğu farz edilir. Mikro elektrottaki akım; geniş düzlemsel yüzeyin bir disk çapına yaklaştığında yığın değerinden yükselmeye başlar. Bu ucun ileri bir güdümü için geri besleme mekanizması olduğunu gösterir. Mikro elektrot ve düzlem arasında bir potansiyel farkı uygulanır.

Yapılan deneylerde kullanılan elektrot farklılığına göre biriken parça boyutlarındaki değişiklikler incelenmiştir. Bunun yanında kullanılan elektrot farklılığına göre oluşan akım kuvvet değerindeki değişimde incelenmiş ve bunların birbirleriyle olan karşılaştırmaları verilmiştir. Bu parametreler doğrultusunda yapılan deneyler ve bu deneyler sonucunda elde edilen veriler belirtilmiştir.



Şekil 5.26 Model elektrot geometrileri [46]

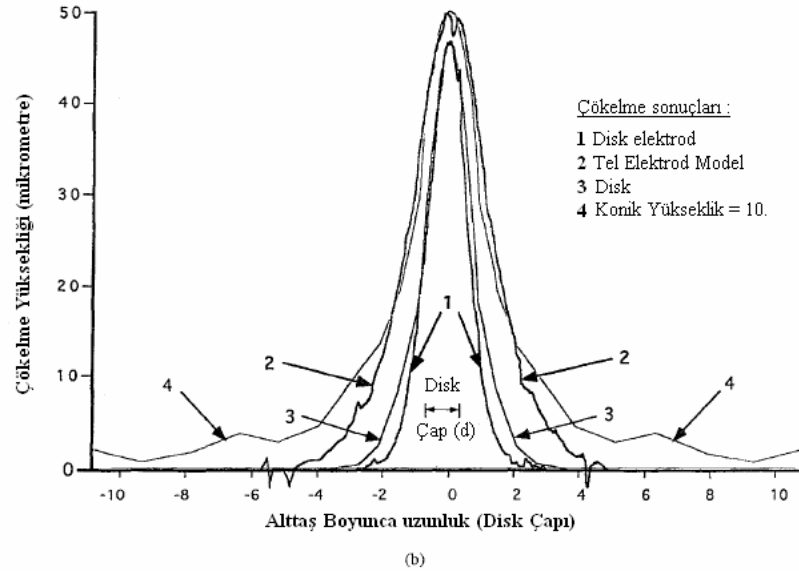
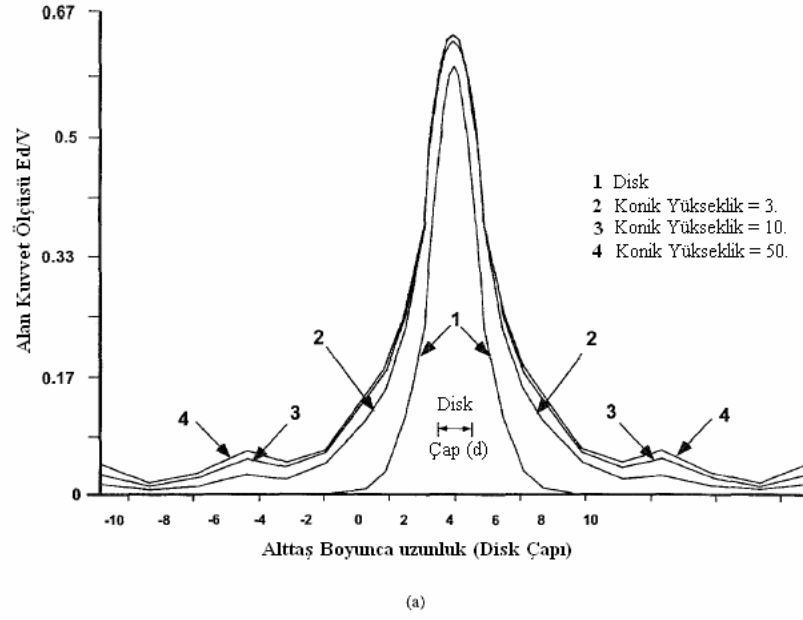
Şekil 5.27 (a)' da, 3, 10 ve 50x disk çaplı konik yükseklikleri için düzlem yüzeyi boyunca, alan güç profili görülmektedir. Maksimum rezonans genişliği, sadece disk için; 1.6x disk çaplı ve alanın modelleme koşulları altında etkin şekilde sınırlandırıldığını gösteren, 10x ve 50x koniler için $-2.3 \sim x$ arasında bulunur. Bundan başka; direncin arttığı veriliyken; alan çizgilerinin yayılımı ve elektrot elemanları alttaştan uzağa yerleşirken, profil genişletme, konik yüksekliği arttıkça, yakınsar gözükmektedir. Keskin yalıtıksız elektrotlar sınırlandırmasında etkindir.

John D. Madden ve Ian W. Hunter Şekil 5.27 (b); gözlemlenen çöküntü profilini, şekil 5.27 (a)'daki modelin sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. 500- μm çaplı bir platinyum tel, cilalanmış ve yalıtılmıştır. Daha sonra elektrot bir bakır alttaşın üzerinde bir disk çapı üzerine yerleştirilmiş, elektrot ve alttaş arasına bir sulfamete nikel kaplama solüsyonu boyunca gerilim uygulanmış ve şekil 5.27 (b)'de ki , profil 1 oluşturulmuştur.. Yumuşatılmış çöküntü enjeksiyonundan, zorunlu (kuvvet) konveksiyon, çöküntü alanından hareketli kabarcıklar şekil 5.27 (b)'de gösterilen profil 2 dir. Balmumuyla kaplama dışında aynı koşullar altında; solüsyona-6 mm daldırılmış çıplak tel ile yapılmıştır. Profiller bir profilemetre kullanılarak elde edilmiştir.

Gözlemlenen profil bir parça daha ince olmakla birlikte; modellenen biçim ve gözlemlenen disk elektrot çöküntü profilleri uyusurlar. Model, düz alttaş olarak varsayılırken, materyal çöküntü ilerledikçe, artan şekilde kavislenen yüzeyde, biriktirilmiş (yoğunlaştırılmış) alan çizgilerinde başarılıca biriktirilir, ve bu sebeple muhtemelen profil zayıflatıcıdır.

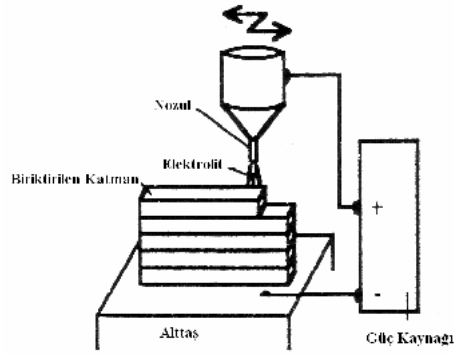
Şekil 5.27 (b)'de, eğri 2; tel elektrotun harekete geçirilmiş profilinin, disk profilinden daha yüksek olduğu, telin daha fazla elektrot yüzey alanı sunduğu görülmektedir. Tabanında;

gösterilen modellenmiş konik elektrot profilden daha dardır, konik grafiklerin, dışarıya doğru olduğu verili olduğunda; yine beklendiği gibi yanal yayılımı artırır. [46]



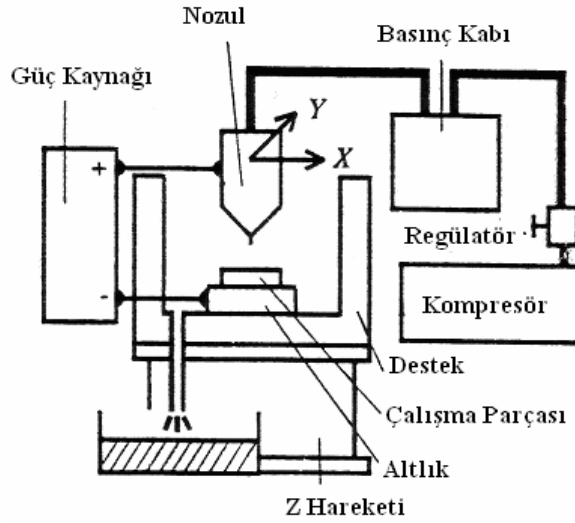
Şekil 5.27 (a) Disk çapı (d) ve uygulanan potansiyel (v) sonucu elektrik alan büyüklüğü, (b) pt disk ve pt tel elektrod ile oluşan çökelme profili [46]

Masonari ve arkadaşları ise elektrolit jet sistemi kullanarak elektrobiriktirme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları hızlı prototipleme sistemi şekil 5.28’de görüldüğü gibidir.



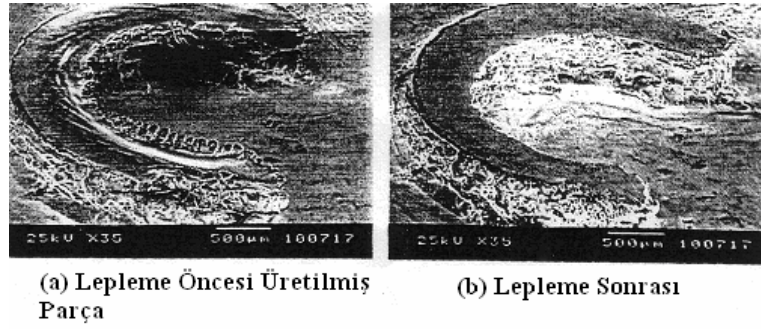
Şekil 5.28 Elektrolit jet ile elektrobiriktirme sistemi [47]

Bu işlemde elektrolit nozul ucundan püskürtülerek parçanın biriktirileceği yüzey taranır. Elektrolitteki metal iyonları, çalışma parçası üzerinde yani katot yüzeyinde birikir. Yaptıkları deneylerde kullandıkları nozul seramikten yapılmış olup, elektrolitin aktığı uç kısım ise paslanmaz çelikten yapılmıştır ve çapı 0,53 mm.'dir. Elektrolitin püskürtme basıncıda 57 kPa. Değerindedir. Kurulan deneysel sistem ise şekil 5.29 'da gösterilmiştir.



Şekil 5.29 Deneysel Kurulum [47]

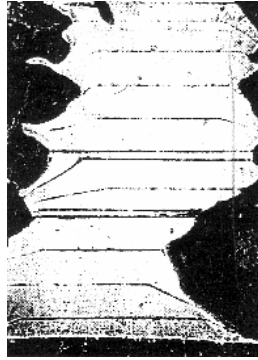
Katman oluşturma esnasında biriktirme işleminin yapılacağı yüzeyde oluşan pürüzlerin elektrik alanında değişimler oluşturacağı için her katmandan sonra lepleme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Çünkü biriktirme sırasında oluşan bazı çıkıntılar elektrik alanının değişmesine neden olmaktadır. Şekil 5.30'da lepleme öncesi ve lepleme sonrası oluşan yapı görülmektedir.



Şekil 5.30 Elektrodepozisyon ile üretilen parçanın laplama öncesi ve sonrası durumu [47]

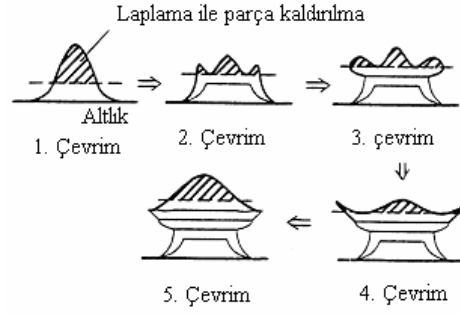
Yapılan çalışmalar sonucunda artan katman sayısı ile oluşan yapının üst kısımlarına çıktıkça daha incelendiği ve sivri bir yapı halini aldığını görmüşlerdir. Tepedeki sivri form; nozulun ucundan daha büyük bir çapa denk gelene laplanarak daha düz bir yüzey elde edilir. Yapılan çalışmalar sonrasında 150 μm 'lik biriktirmeden sonra 100 μm 'lik bir yüksekliğe leplemenin uygun olduğu görülmüştür. [47]

Şekil 5.31'de biriktirilmiş parçanın kesit alınmış hali görülmektedir. Buradan da görüleceği üzere parçanın katman katman oluşturulmuştur. Bu parça 10 mm/s hızla, alttaş ve nozul arasında 5 mm aralık bırakılarak yapılmıştır ve deney yaklaşık 20 saat kadar sürmüştür. Burada her çizgi bir katman kalınlığını göstermektedir. Böylece lepleme yapılan yüzeyler kolayca anlaşılabilir.



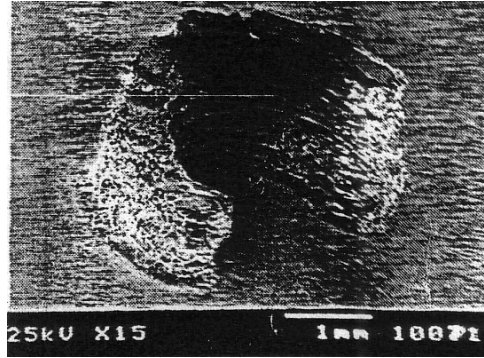
Şekil 5.31 Elektrodepozisyon ile katman katman yığılarak oluşturulan parçanın kesit görünüşü [47]

Şekil 5.32 çizgilerin oluşumu mekanizmasını açıklamaktadır. Biriktirme işleminden sonra belli bir bölge lepleme ile kaldırılır. Daha sonra ikinci çevrime geçilir ve yeni yüzeyden parça kaldırılır ve aynı işlemlere tekrar tekrar devam edilir.



Şekil 5.32 Çizgilerin oluşum mekanizması [47]

Elektrolit sıcaklığındaki artış ise daha düzgün yüzeylerin oluşunu sağlamaktadır. Şekil 5.33’de ise nozul ve alttaş arasında 2 mm boşluk bırakılarak üretilen parçanın biçimi görülmektedir. Masonari ve arkadaşları bu çalışmaların sonucunda mikroparça üretmeyi başarmışlardır.



Şekil 5.33 Elektrobiriktirme ile üretilen parça biçimi [47]

6. NANO HIZLI PROTOTİPLEME

Günümüzde nanometre büyüklükte mikronesneleri işlememiz için büyük bir talep vardır. Bu talep nano işlem ve nano dünyasının incelenmesi için olduğu kadar entegre bir sistemin üretimi için de anahtar bir teknolojidir. Örneğin nano boyutta parçalarının kurulumu ve bakımı için, nano hızlı protoipleme gün geçtikçe teknolojiye yerini genişletmektedir. Sistem tasarım ve kontrol yöntemleri nesnenin boyutuna ve manipülasyon ortamına bağlı olarak tamamen farklıdır. [48]

6.1 Nanolitografi

Nanolitografi; elektronik aygıtlarda veya fizikte yeni deneylerde kullanım için 0.1 µm altı yapıların üretiminde kullanılan teknolojidir. Yaklaşık 40 yıl evvel, tümleşik devrelerin tanıtımından beri, tek devre yonga üzerindeki tek transistörlerin yoğunluğu her üç yılda bir yaklaşık ikiye katlandı, ve bugün ise minimum çizgi genişliği ise 0.07 µm civarındadır.

Litografik işlem daha öncede bahsedildiği gibi, 3 adımdan oluşur. Bunlar;

- Bir direnç materyalinin pozlanması,
- direnç materyalinin geliştirilmesi,
- örnek transferi.

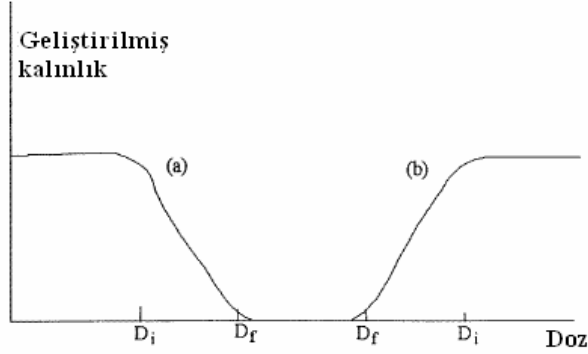
Bu üç adım birbirinden bağımsız olarak tek başlarına ele alınamaz. Mesela, verili bir dirençte birinin ulaşabileceği çözünürlük sadece, direnç materyalinin doğasında olan çözünürlüğe bağlı değildir (polimer boyutu vs.), fakat aynı zamanda, kullanılan gerçek pozlama, gelişim prosedürü, ve deseni dirence sabitlemek için kullanılan kimyaya da bağlıdır. Son olarak örnek desen transferi, tepkimeli iyon aşındırmadan kaldırmaya kadar çok farklı işlemlerle değişebilen işlem kimyasına olan sağlamlılığına bağlıdır.

Bir direncin çözünürlüğünü tanımlarken, en genel gösterim kontrast γ' dir, ki şu şekilde tanımlanır:

$$\gamma = \left| \ln(D_f / D_i) \right|^{-1} \quad (6.1)$$

burda, pozitif (negatif) bir direnç için, D_i değişmez geliştirilmiş direnç kalınlığı için maksimum (minimum) doz, ve D_f geliştiricinin direnci tamamen kaldırabileceği minimum (maksimum) dozdur. Pozitif dirençler için $D_f > D_i$ iken; Negatif dirençler için $D_f < D_i$ olduğundan büyüklük işareti ortaya çıkar: Geliştirici tarafından pozitif dirençlerde pozlanmış alanlar kaldırılırken negatif dirençte, pozlanmamış bölgeler kaldırılır. Fark şekil 6.1'de

gösterilir. Bir çok direnç, ideal eğriye sahip olmadığından, γ pozlama eğrisine karşı dozun maksimum eğiminden alınır. Az boyutlu sistemler için, çoğu yüksek çözünürlüklü e-demeti litografi, seçim direnci gibi ışığa duyarlı polimetilmetakrilit (PMMA) dan yararlanılır.



Şekil 6.1 Pozitif (a) ve negatif (b) doz eğrilerine karşı log pozlama [49]

Nanolitografi yöntemlerinden X-ışını litografisi; aydınlatma için 1nm'lik kısa dalga boylarının kullanılarak 15nm'lik görsel sonuçların elde edilmesi olarak genişletilebilir. Bu en yakın baskı tekniği kullanılarak yapılır. Bu teknik dizi oluşturma işlemi için geliştirilmiştir. Bu dizi oluşturma işleminin büyüklüğü Fresnel Kırınım'daki yakın saha X-ışınlarına bağlıdır: Maske, 'Kritik Durum'a yakın silikon bir tabakaya olan yakınlığıyla manyetizmadan etkilenmeyecek hale getirilir. 'Kritik Durum', 'maske' ile ince silikon tabaka arasındaki yakınlığı belirler, bu aynı zamanda maskenin ve dalga boylarının büyüklüğüne de bağlıdır. Bu yöntem oldukça basittir; çünkü mercek gerektirmez.

Sonucu geliştirmenin bir yöntemi de, daha kabul edilebilir bir yöntem olan iki kopya çıkarmaktır. Bu teknik aynı katmanın üzerine yeni bileşenler ekleyerek öz kütleinin artmasına neden olur. Bu esnek bir yöntemdir; çünkü her türlü inşa ve kopyalama tekniğine uyarlanabilir. Yapının boyutu oyma gibi litografik olmayan yöntemlerle küçültülebilir.

Asıl önemli olan ise maskesiz litografi cihazıdır. Bu cihaz, müdahaleci bir maskeye ihtiyaç duymadan yansıyan ışığı direkt olarak yönlendirmek için dijital bir mikro ayna dizilişi kullanır. Üretilen iş doğal olarak azdır; ama maske bağlantılı üretim maliyetinin çıkarılması, bu maliyetler her teknolojik devirde düzenli olarak artmaktadır, daha küçük sahalarda (üretilen iş hakkında endişelerin olmadığı araştırma laboratuvarları gibi...) üretilen küçük üretimlerin yaptığından, maliyet açısından çok daha büyük bir etki yaratabilir.

En yaygın nanolitografi yöntemi Direkt Elektron Işınları ile Yazma Litografisi (EBDW)'dir. Kopyaları yaratmak için elektron ışınlarının kullanılması kavramıdır.

Aşırı Ultraviyole Litografisi (Extreme Ultraviolet Lithography) (EUV) ultra kısa dalga boyları (13,5nm) kullanılarak oluşturulan bir görsel litografi formudur. En çok kullanılan NGL tekniğidir.

Charged Particle Lithography (Yüklü Tanecik Litografisi), iyon yada elektron gösterimi litografisi (PREVAIL, SCALPEL, LEEPL), kopyalamada çok yüksek kalitede sonuçlar elde edilmesini sağlarlar.

Nanoimprint Lithography (Nano-damgalama Litografisi/NIL), kademeli ve ani damgalama litografisi gibi değişik biçimleri, LISA ve LADI nano-desen yinelenme teknolojisini vaat ediyorlar. Bu teknik temasla baskılama tekniği ile kombine edilebilir.

Scanning Probe Lithographies (İnceleme-Araştırma Litografileri/SPL), derin ve karmaşık nano-metre ölçülerinde kopyalama için araçlar vaat ediyor. Örneğin; bağımsız atomlar Scanning Tunneling Microscope (STM/İnceleme Tünel Mikroskobu)'nun bir tavsiyesiyle yönlendirilebilir. Dip-Pen Nanolitografisi(DPN), atomik güç mikroskopisi üzerine kurulu ve ticari kar amaçlı kullanılabilen ilk SPN teknolojisidir.

En gelişmiş NGL, yakın sahada demagnetize edilerek 15nm'ye kadar uzatılabilen X-ışını litografisi sağlıyor.

Chemomechanical Surface Patterning (Kimyasal-Mekanik Yüzey Kopyalama) yöntemini kullanan atomik güç mikroskopisinde bir başka litografi çeşididir. [50]

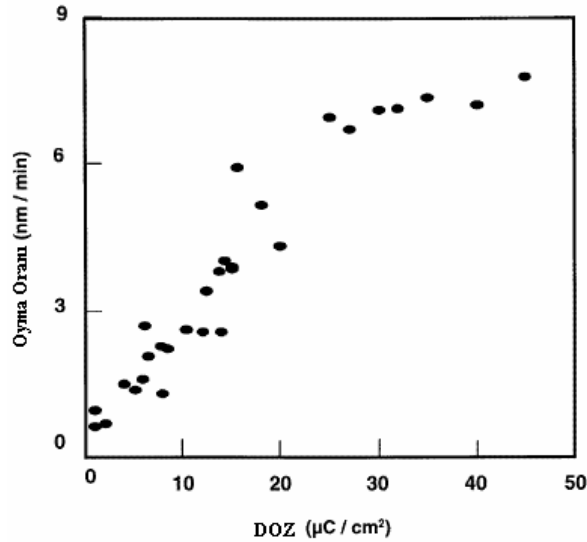
6.1.1 Akrilik (PMMA) Sınırları

Uzun yıllar, yüksek çözünürlüklü elektron demeti litografisinde seçimin yüksek çözünürlüklü direnci mevcutken, polimerik materyal PMMA kullanıldı. E-demeti ışınlaması boyunca, PMMA'nın uzun zincirleri küçük zincirlere parçalandı. Bunlar daha sonra çözgenin içinde çözülür. Yüksek çözünürlüklü bir direncin değerlendirilmesinde bir çok faktör vardır. Birisi; direncin ve geliştiricinin özellikleri. Çözünürlükte başarılı ikinci faktör; pozlama demetinin özellikleridir. Burada, ışın demetinin çapı kısıtlayıcı faktör değil, daha çok katının elektron etkileşimi, örneğin, pozlamaya katkıda bulunan ileri ve geri yayılmış elektronlardır. Bir çok organik bileşik 5 eV enerji aralığındaki elektronlardan etkilendiğinden, ikincil elektronların etkisi önemlidir.

6.1.2 Yüksek Çözünürlüklü Silikon Dioksit Direnci

Silikon dioksit, Cambridge'deki araştırmacılar tarafından direnç olarak kullanılmıştır. Fakat, yoğun dozaj gerektiren bu kullanılan elektron demeti direnci pozlamaya zarar verir. Aksine, yüksek sıcaklıkta HF buharının kullanımı devindirici gibi oyar. PMMA'ya kıyasla, yüksek çözünürlük direnci olarak SiO_2 'nin duyarlılıkla kullanımı mümkündür. Yüzey hidrokarbonlarının hazır bulunuşu, ve yüksek sıcaklıklı HF buharı; gelişim işlemi için, katalizör gibi zenginleştirilmiş aşındırma sağlar. SiO_2 nin pozlaması; elektron demeti ışınlaması yahut STM pozlaması tarafından tamamlanır. Bu desenli filmler, sonraki işleme ve desen transferi için, maskeler gibi kullanılabilir.

Bir elektron demeti ile pozlama, pozlama bölgesinde karbonların sabitlenmesi ile sonuçlandırılır ve bu işlem, 20nm kadar ince çizgilerle, pozitif direnç üretebilir. STM'nin pozlama için kullanımı, SiO_2 direnci boyunca RIE tarafından geliştirilen, 5nm kadar küçük özelliklerle, daha yüksek çözünürlük göstermiştir. Bu sonuçlar sadece, elektron demeti tarafından yaratılan hidrokarbon deseninden kaynaklanır. Şekil 6.2'de, verili bir pozlama dozu için, SiO_2 nin aşındırma hızı 40kV pozlama için çizilmiştir.

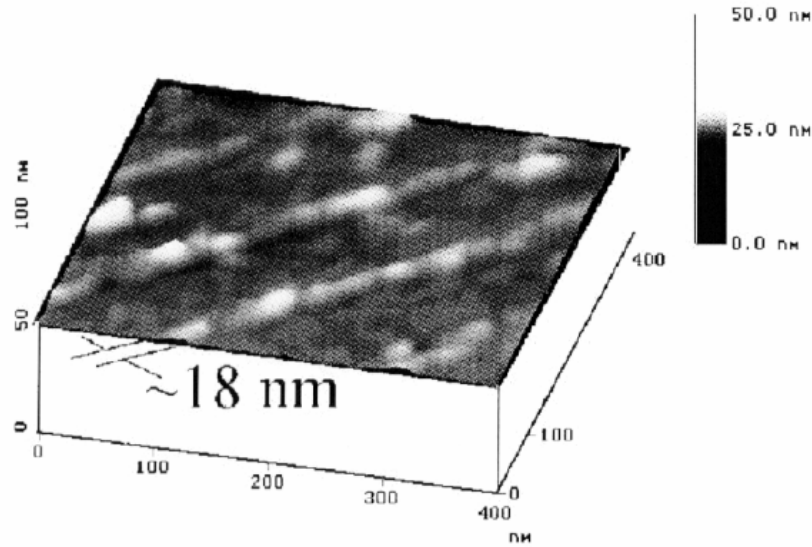


Şekil 6.2 SiO_2 için pozlama dozu oyma oranı ilişkisi [49]

Aşındırma hızı; doz hızına ve elektron demeti enerjisinin ikisine de duyarlıdır. Bir 20 nm Au çizgi, havalandırma yoluyla üretilmiştir. Şekil 6.3'de, pozlama, Co film çöküntüsü, hızlı termal işleme yolu ile ve sonra kalan Co ve SiO_2 nin yerdeğişimiyle silicidation ile üretilen CoSi_2 çizgileri gösterilir. Bireysel özellik boyutları daha küçük elde edilebilir olsa da bu yöntemle 12-15 nm genişlikli sürekli çizgiler üretilmiştir. Son zamanlarda, C türleri için

kaynak olarak monomoleküler katman Langmuir-Blodgett filmlerin kullanımı araştırılmıştır.

Pozlama süresince, daha güçlü karbon kaynağı kullanılırken; SiO_2 ince filmlerin yüzeyinde kendi kendine toplanan *n*-octadecyltrichlorosilane, heksadekanol, myristic asit, undecylenic asit monomoleküler katmanlarıda kullanılmıştır. Bu monomoleküler katmanların kızılötesi analizi; asit hydroxyl grubun yüzey SiOH bağlarına hidrojen bağlamasının düzenlemesi yoluyla; kendi kendine kurulum işleminde; karboksilik asit formasyonunu destekler. Bu materyallerle ve doğrudan carboxylic asitlerle kaplanan ve $\text{SiC}>2$ filmlerin aşındırma davranışlarını karşılaştıran deneyler bu sonuçları destekler. Aşındırmanın, bu filmlerin omurga karbon tarafından değil fakat arayüzeyle ilgili karbonlar tarafından başlatıldığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu filmler, e-demetindeki ya da STM desenindeki direnç için SiO_2 filmler kullanılırken ilave kontrol katmanı sağlar.

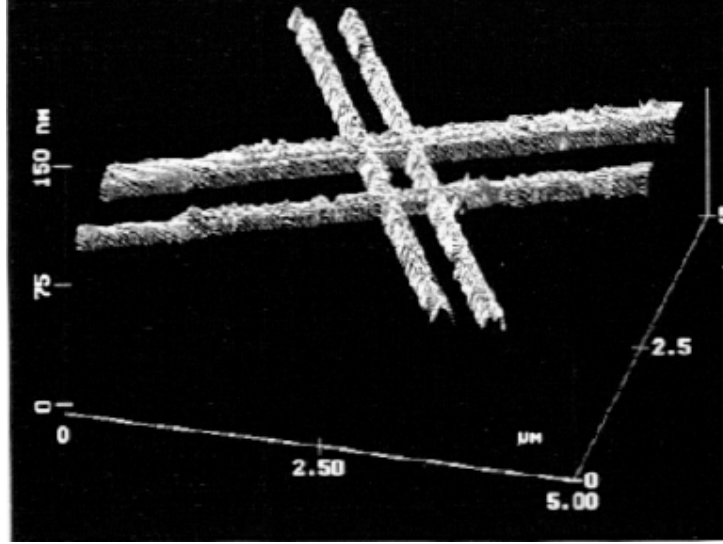


Şekil 6.3 COSi çizgileri [49]

6.1.3 STM Destekli Litografi

Tarama-tünelleme mikroskobunun gelişiminin erken dönemlerinde, elde edilen atomik mikrograflar yüksek çözünürlüklü litografi de başarılı olabilir göstermiştir. Şaşırtıcı şekilde, operasyon gerilimi daha küçükken (40 kV a karşı 5 V), STM litografideki demet akımları normal elektron demeti kaynağınınkinden daha büyük düzendeler ve STM bu alanda geniş çaplı kullanılmıştır. ASU da, dirençleri pozlamak için ve Si_3N_4 kadar; Si ve Cr yapılarının ikisinin birlikte seçici alan oksidasyonunu harekete geçirmek için STM kullanılmıştır.

Cr'nin oksidasyon deneyleri, genelde yüksek vakumlu ortamda, temiz Si yüzeylerinde, Cr çöküntüsü ile başlar. Cr; kanallama elektronları için iletken patika sağladığı gibi, belgeli oksidasyon özelliğinden dolayı seçilmiştir. Cr yüzeyi, STM deseni ile değiştirilmiştir. Desenli yüzey daha sonra, STM ucu tarafından Cr'ye yollanan doza bağlı olarak, negatif veya pozitif desen üretmek için seçici olarak aşındırılabilir (şekil 6.4). Bunun; yüksek doz negatif desen oluştururken, düşük dozun genelde, pozitif desen oluşturacağı anlamına geldiği bulunmuştur. Kırmızı renk ve yüksek dozla oluşturulan negatif desenlerin suyla çözünürlüğü Cr'nin yüksek bir oksidasyon durumuna, olasılıkla CrO_3 , oksitlendiğini ifade eder. Düşük dozla değiştirilen bölgeler için, güçlü kimyasal ve fiziksel özellikler, göreceli olarak Cr nin düşük oksidasyon durumunun, olasılıkla Cr_2O_3 , oluştuğunu gösterir. Değiştirilmiş bölgelerin Auger elektron spektroskopisi bu sonuçları destekler. Şekil 6.4'de Cr filmin yüksek dozla oksidasyonu ile oluşturulan bir desen gösterilir.



Şekil 6.4. Cr filminin oksidasyonu sonucu oluşturulan desen [49]

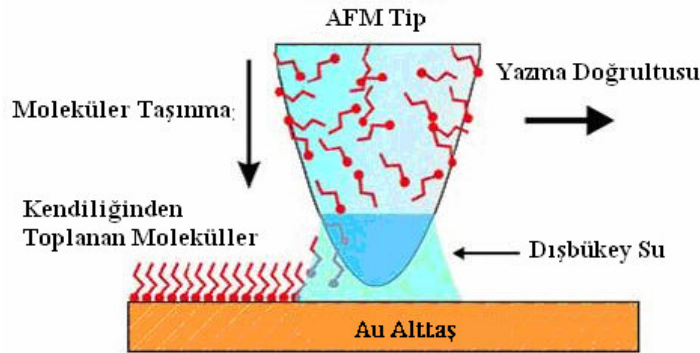
6.2 Dip-Pen Nanolitografi (DPN)

Litografik yöntemler, modern zamanların mikroüretiminde, nanoteknolojide, ve moleküler elektronikte merkezde yer alır. Bu yöntemler sık sık; tabanın kimyasal aşındırmasını takip eden dirençsel bir filmin desenine yöneliktirler. Keskin bir nesnedeki mürekkebin kılcal kuvvetlerle, kağıttan bir tabana taşındığı Dip-Pen teknolojisi, yaklaşık olarak 4000 yıllıktır ve moleküllerin makro ölçek boyutlarda taşınmasında tarih boyunca geniş ölçüde kullanılmıştır. DPN atomik mikroskop ucunu, bir “kalem ucu ” olarak; katı hal alttaşını “kağıt” olarak ve katı hal alttaşı için kimyasal molekülleri, “mürekkep” olarak kullanır. DPN de,

submikrometre boyutlarda moleküllerin görece küçük derleminden oluşan desenlerin doğrudan “yazımı” için; moleküllerin AFM uçtan katı altaşa kılcal taşınması kullanılır.

DPN, moleküllerin, pozitif baskı modunda, ilgili tabana direk taşınmasına izin veren tek yöntem değildir. Örneğin, elastomer pul kullanan, thiol-functionalized moleküllerin desenini, doğrudan Au altaşlara biriktirebilen mikrobeğlantı baskısıdır. Bu yöntem, bir basamakta tüm desenin veya dizi desenlerin ilgili tabana biriktirilmesine izin veren paralel bir tekniktir. Bu bir dizi teknik üzerinde bir avantajdır. DPN; belirli tipte bir nanoyapı içinde belirli bir yerde, farklı tipte moleküllerin seçici şekilde yerleştirilmeye çalışılması bu avantajı bozmaktadır. Bu itibarla, DPN, mikrobeğlantılı baskıyı ve diğer bir çok mikro ve nanoüretimin mevcut yöntemini tamamlar. Kendi kendine toplanmış monomoleküler tabaka (SAMs) ve sonraki işlemeden veya soğurma evresinden materyali oynatmak için; direnç katmanları gibi diğer organik materyalleri kullanarak; sonda tarama aygıtlarına, elektron demetine, veya desen tabanın moleküller demetine, itimat eden bir çok negatif baskı yöntemi vardır. [51]

Bu yöntem için ilham, AFM nin bulunuşundan beri onu rahatsız eden bir problemten gelmiştir. AFM uç ve örneklem arasında biçimlenen dar kılcal; havada bir deney yürütüldüğünde, suyu çevreden yoğunlaştırır ve büyük ölçüde imgeleme deneylerini etkiler. Richard D. Piner ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada; bu dinamik bir problem ve bağlı neme ve taban ıslanma özelliklerine bağlı su, tabandan uca taşınacaktır ya da belirtilenin tersine bir durum oluşacaktır. Daha sonraki durumda, yarı kararlı nanometre-uzunluk-ölçekli desenler, AFM ucundan biriktirilen suyun oldukça ince katmanlarından oluşacaktır. Taşınan moleküller kemisorpsiyon (kimyasal tutunma) ile kendini tabana sıkıca bağlayabildiğinde, yeni tipte bir nanolitografi DPN, ile sonuçlanan, stabil yüzey yapıları oluşturulduğunu göstermişlerdir (şekil 6.5).



Şekil 6.5 Dip-pen nanolitografi prosesi [51]

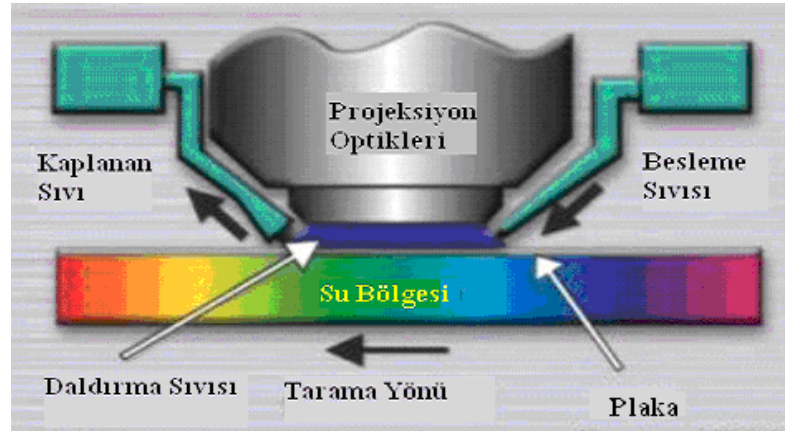
Bu sistemde octadecanethiol (ODT) in Au yüzeylere taşınmıştır. Bu kısmen kararlı-hava molekülü, Au da hareketsizleştirildiğinde; yanal kuvvet mikroskopu (LFM) vasıtasıyla; modifiye edilmemiş Au dan kolaylıkla ayrılabilir. AFM ucu ODT ile kaplandığında örneklem yüzeyiyle ilişkiye sokulmaktadır ve ODT uçtan örnekleme kılcal etki vasıtasıyla akar. Koyu iç alan, aşağı yanal kuvvet bölgesi, ODT nin biriktirilmiş monomoleküler tabakasıdır ve dış açık alan, çıplak Au'dur ve buda ODT nin uçtan alttaşa taşındığını gösterir.

6.3 Daldırma Litografisi (İL)

Mikrolitografi; tümleşik devre (IC) üretimi için geçmiş birkaç onyılıda başlıca işlemi. Temel litografik işlem, birkaç onyıdır görece değişmemiş kalsa da, litografi ile küçük özelliklerin baskısında ilerlemeler yaşanmıştır. Geleneksel olarak, bu ilerlemeler, küçük dalga boylarının yeni UV ışınım kaynaklarının bulunmasından kaynaklanır. Dalga boyunda her bir aşağı basamakla, yeni optik sistemler ve direnç materyalleri geliştirilmek zorundaydı. Üretimde bu tip gelişmeler ve uygulamalar için şimdiye kadar ki artan maliyetler sebebiyle, alternatif bir litografik işlem geliştirilmiştir. Daldırma litografisi (immersion lithography) olarak bilinen bu işlem, ilk olarak 1980'lerde önerildi ve son zamanlarda canlandı. Daldırma litografisi şu an, 193 nm optik litografi ile 65 nm özellik basımı için, en iyi yöntemlerden biridir.

Daldırma litografisi, sıvı bir ortamı havadan daha ağır bir kırılma katsayısı (RI) ile; bir pozlama aletinin sonda gelen mercek ögesiyle kaplanmış fotodirenç özelliği olan silikon yonga plakası arasındaki boşlukta birleştirir. Bu işlem şekil 6.6'da görülmektedir. Yüksek çözünürlükteki kuru fotolitografi tarayıcıları kırılan ışık ışınlarını 90° çevirerek sıralamaktadır. Kararlılığın kırınım ile mümkün olmadığı durumda, dalgaboyu azaltılması, lens ve yonga plakası arasına daldırma ortamı eklemekle mümkün olmaktadır. Dalga boyu ortamın kırıcı indeksine denk bir faktör olarak azalmaktadır. Mesela su için bu 193 nm dalgaboyudur.

Daldırma litografisinde oluşan kararlılıktaki artış kullanılan materyale bağlı olarak daha önce 30-40 % civarındaydı. Odaklanmanın derinliği veya plaka yongasının düzlüğü, aynı kararlılıkta kuru litografi ile karşılaştırıldığında 40-70 % daha iyidir. Daldırma litografisindeki bu başarı sadece kararlılığın genişletilmesi ve odaklanmanın derinliğindeki, özelliğiyle sınırlı değildir.



Şekil 6.6 Daldırma litografisi prosesi [52]

Endüstride kullanılan 65nm ve 45nm nodlar ile daldırma litografisi olmadan ikili kopyalama teknolojisini kullanılacaktı ve bu teknikle çok küçük boyutlarda parça üretimi oldukça zordur. Maske maliyeti ve verimlilik kayıpları çok yüksek değerlere çıkacaktı.

Daldırma litografi sistemlerinin adaptasyonunda ana engel oluşan hatalar ve diğer kaynaklardaki verimlilik kayıplarıdır. Yapılan önceki çalışmalar; daldırma sırasındaki kabarcıkların eliminasyonu, daldırma sıvısındaki sıcaklık ve değişken basınç ve daldırma sıvısının ışığa duyarlı malzeme tarafından emilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

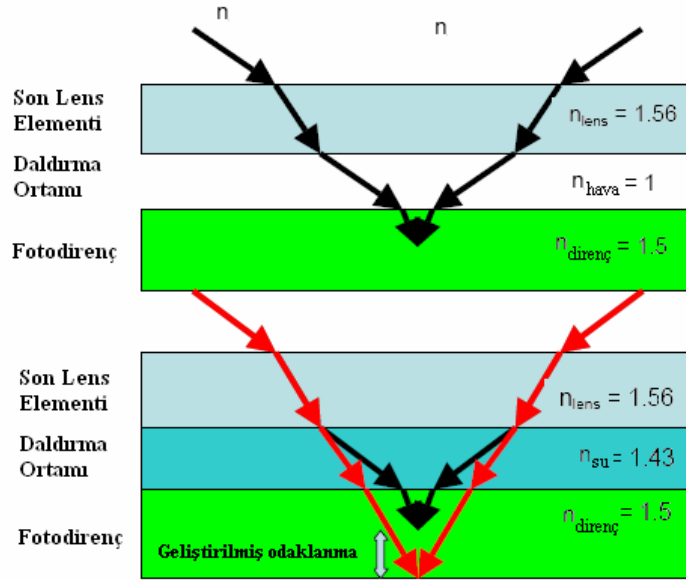
Akışkanın gazdan arındırılması, sıvı termodinamiğinin sınırlandırılması ve ışığa duyarlı malzemenin en üst katman işlemi, daldırma litografisinin tamamlanması için bir anahtar niteliğindedir. Daldırma litografisinde indirgenme partiküllerin üretilmesi, su dağıtım ünitesinden dolayı hata oranını azalttığı görülmüştür. Su aynı zamanda asitin ışığa duyarlı malzemedan çıkarıldığını göstermektedir. Spesifik olarak fotoasit üreticileri (PAGs) suyun içine karışırlar ve ışığı tutan asit ışınımını oluştururlar. Bu; lensin asit tarafından aşınmasını önler ve ışığa duyarlı malzeme kimyasal olarak değişime uğramaz.

Bu anlatılanlar doğrultusunda; ışığa duyarlı malzemenin üstüne koryuyucu katman oluşturulması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu üst koruyucu katman Sıvı ortamı ve ışığa duyarlı malzeme arasında bir bariyer görevi görecektir. [53]

193 nm litografi ile daldırma akışkanı için; yüksek RI ve düşük soğurumu sebebiyle saf su en iyi araçtır. Günümüzde 45 nm'nin altında ölçüler başarılmıştır. Yüksek RI' lı sıvı ; Snell' in yasasına göre, pozlama ışınımının fotodirenç özellikli malzemeye daha iyi odaklanmasına etki eder; denklem 6.2 ve şekil 6.5. Mevcut sistemlerdeki odaklamadaki ilerlemelere ek olarak, daldırma litografisi, kuru 193 nm litografisi ile mümkün olandan daha iyi

çözünürlüklü mercek sistemlerinin geliştirilmesinde de sözkonusudur.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3 \quad (6.2)$$



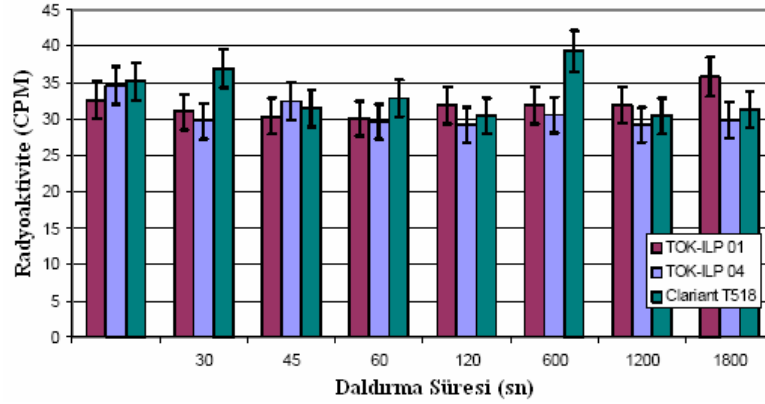
Şekil 6.7 Lens, daldırma ortamı ve fotodirençte oluşan ışınının izlediği yol [53]

j. Christopher ve arkadaşları; Mercek, su ve fotodirenç arasındaki ilişkide, daldırma suyu yoluyla filminden süzülen temel küçük molekülü bileşenlerin (artık kalıp çözücü (residual casting solvent) (RCS) ; PAGs ve gidericiler) arttığını düşünmüşlerdir. Bu merceklerin kirlenmesine ve/veya direnç performansının bozulmasına neden olabilir. Bu konuyu ele almak için, beklenen ekstraksiyonun küçük miktarını ölçmek için son derece duyarlı hesaplama tekniklerine gerek duyulmuştur. Bu sebeple, yüksek duyarlılığı, kesinliği ve seçiciliği sağlamak için, bir radiochemical analiz geliştirilmiştir. Bu analiz için, tipik bir kalıp çözücü ve PAG, işaretli karbon-14 ile sentezlenmiştir. Sonuçlanan radiolabeled direnç bileşenleri, TOK (japon) ve AZ Clariant (Somerville, NJ) direnç satıcıları ile sağlanan 193 nm direnç formülasyonlu modelde birleştirilmiştir. Bu dirençlerin filmleri; 30 saniyeden 30 dakikaya kadar, Si yongalara atılmış ve deiyonize suya daldırılmıştır.

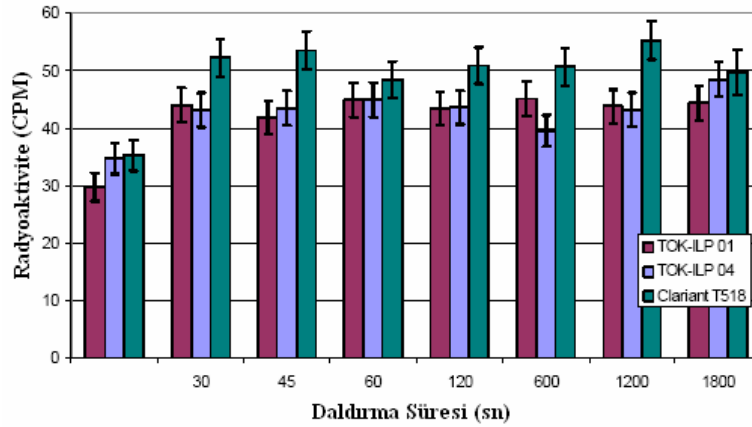
Daldırma suyundan sonra, çıkarılan her bir bileşenin miktarını belirlemek için, sıvı sintilasyon sayması kullanılarak hesaplanmıştır. Gürültü düzeyini belirlemek için boş bir örnek de hesaplanmıştır. Bu ölçümlerin sonucu, dakikada ki (CPM) sayma hızı olarak gösterilir, şekil 6.8 ve 6.9.

Etiketlenen kalıp çözücüyü içeren direnç filmlerinde yerleştirilen daldırma suyunun ölçümleri, RCS'nin arka planın üzerinde sayısal olarak algılanamayan miktarının 30 dakikada

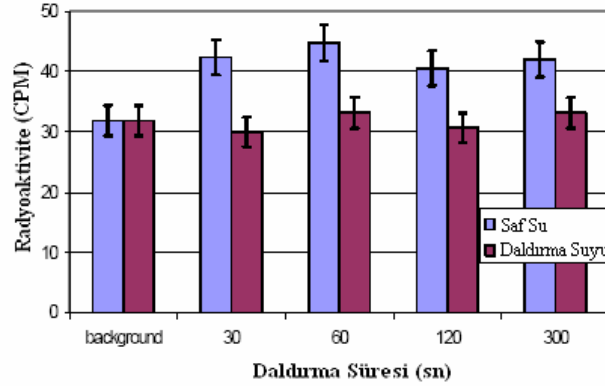
çıkarıldığını gösterir. Yine de, ^{14}C -PAG deneylerindeki sonuçlar küçük fakat algılanabilir miktarda PAG'ın çıkarıldığını gösterir. Deneyin 30. saniyesinden sonra, çıkarılan miktarın daldırma zamanıyla birlikte artmadığı görülmüştür. Bunu doğrulamak için, deney daldırmadan evvel 30 saniye süresince tekrarlanmıştır. Şekil 6.10 saf suyun, şekil 6.9'da gösterilen miktarına kıyasla, algılanabilir miktarda ^{14}C -PAG içerdiğini gösterir ve daldırma suyu sayısal olarak algılanabilir miktarda PAG içermediği görülmüştür. Daldırılan direncin yüzey alanına dayanan, çıkarılan PAG miktarı yaklaşık $40\text{ng}/\text{cm}^2$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.8 Daldırma suyunda ^{14}C -RCS'nin radyoaktivitesi ve daldırma süresi [53]



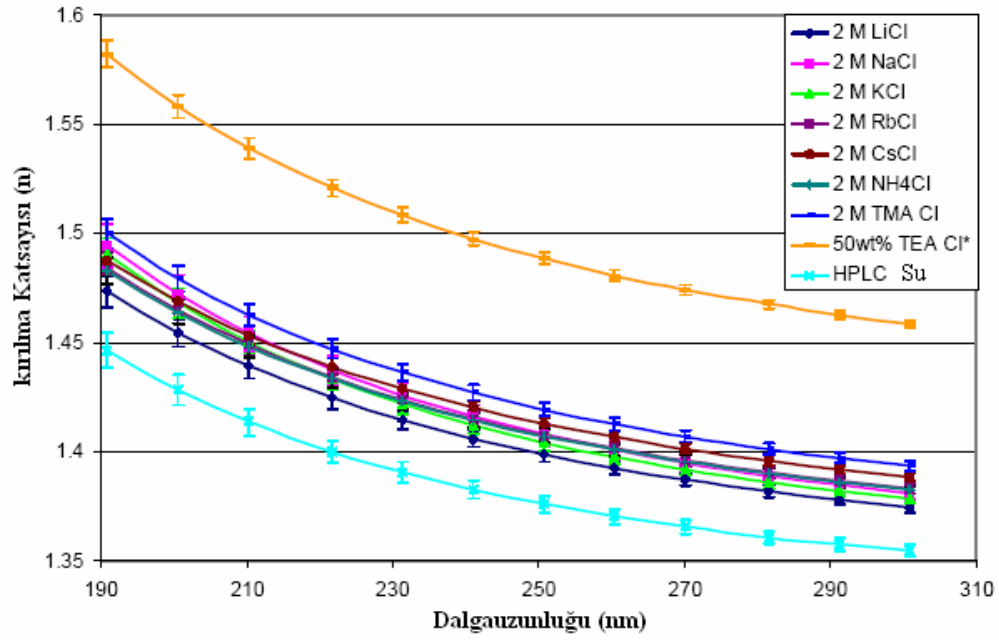
Şekil 6.9 Daldırma suyunda ^{14}C -PAG'ın radyoaktivitesi ve daldırma süresi [53]



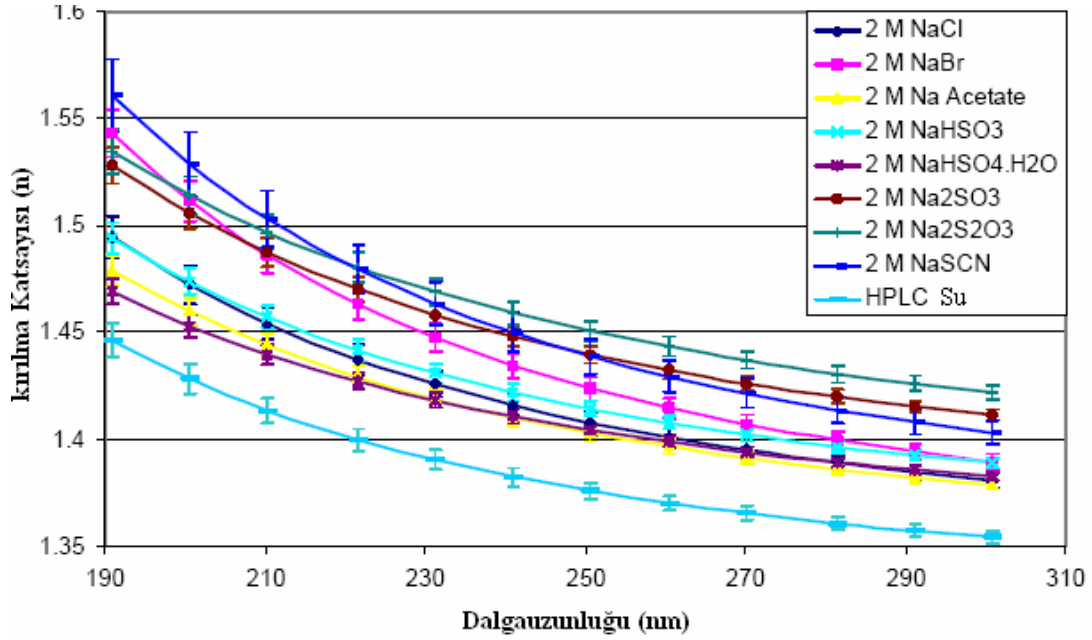
Şekil 6.10 Daldırma suyunda ve saf suda ^{14}C -PAG'ın radyoaktivitesi ve daldırma süresi [53]

j. Christopher ve arkadaşları Su ve ışığa duyarlı malzeme arasındaki ilişkinin çalışılmasına ek olarak, daldırma litografisinin potansiyeli keşfetmişlerdir. Solid-C®, Sigma-C GmbH (Münih, Almanya), litografi simülasyon programını kullanarak, kuru ve daldırma koşullarının ikisi için de 90 nm özellikli maksimum işlem penceresi belirlenmiştir. Suyla daldırma ile ulaşılan odak derinliğindeki artışı gözlemlemişlerdir. Daha başka işlem penceresi simülasyonları; sudan daha yüksek RI li akışkanların odak derinliğinde daha büyük gelişmelerle sonuçlandığını göstermiştir.

Bir ortamın kırılma katsayısı materyal özellik olduğundan, suyun RI sini değiştirme aracı olarak katkı maddeleri düşünülmüştür. İnorganik tuz çözeltileri yapılmış ve bunların RI si spektroskopik ellipsometry kullanılarak ölçülmüştür. Şekil 6.11 ve 6.12 organik tuzlu sulu çözeltilerin, suyun kırılma katsayısını büyük ölçüde yükselttiğini gösterir. Şekil 6.11 tuzun değişen katyon sonuçlarını gösterir. Yüksek katyon kullanımı, RI de küçük bir artışla sonuçlanırken; önemli bir değişim elde etmek için, yüksek katyon kullanılır; yüksek yoğunlukta tetraethylammonium (TEA), - %50 wt TEA yaklaşık 3M. Yine de Şekil 6.12, anyonun RI üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu gösterir. Bromür, sülfat , thiosulfate gibi anyon çözeltileri hemen hemen aynı kırılma katsayısına sahiptir. Bu sonuçlar, daldırma litografisinin saf suyla beklenenin ötesinde, potansiyelini geliştirecek sulu çözelti yapmamın mümkün olduğunu ifade eder.



Şekil 6.11 Sulu klorür tuzlu çözeltileri ve dalgaboyu [53]



Şekil 6.12 Sulu sodyum tuzlu çözeltileri ve dalgaboyu [53]

2007'de IBM, UMC, Toshiba, TI gibi birçok firma 45 nm nodlu daldırma litografi teknolojisini kullanmaktadır. AMD firması ise 45 nm nodlu daldırma litografi teknolojisini 2008'de kullanmayı planlıyor. 32 nm nodlu teknolojiyi ise Intel firması 2009 yılında kullanmayı planlıyor.

6.4 Avrupa’da Nanolitografi

Avrupa; önde gelen ASM-L faaliyetlerine dayanan “optik” litografi gelişiminde çokça içerilir. Elektron demeti ;

Elektron demeti litografisi; 70’lerde ve 90’larda büyük takımları destekleyen Philips ve Thomson gibi ana elektronik şirketlerinde Avrupada güçlü bir tarihe sahiptir. Diğer şirketler de teçhizat sağlayıcısı Cambridge veya evvelki Doğu Almanya Jenoptiki gibi güçlü şekilde aktifti. Tüm bu zemin/arka plan şu an; iki esas teknolojiye dayanan; Gaussian demetiyle yüksek çözünürlüklü/kararlı doğrudan yazma ve biçimlendirilmiş ışık demeti kullanan yüksek çıktı, elektron demeti teçhizatı sağlayan LEICA mikro sistem şirketinin etrafındadır.

6.4.1 Ekstrem UV litografisi

EUV litografisi; kaynaklar, optikler, direnler, bugün mevcut olanlardan oldukça farklı maskeler ve bugün de mevcut derin-UV-kırıcı (deep-UV-refractive) adımılayıcısı gibi teknolojiler gerektirir. Avrupa’da bu alanların etrafında geniş bir arka plan/zemin geliştirildi, biri Fransa’da diğeri Hollanda ve Almanya arasındadır. İkisi de; X-ışını lazerlerindeki ve yansıtıcı optikteki mevcut bilginin yeniden kullanımı ve geliştirilmesini amaçladılar. 2002 de, hem ulusal hem de EC nin finanse ettiği bu inisiyatifler iki pan-Avrupalı projelere katılacak gibiydi. Biri teçhizat gibi ilk örnek kurmayı ve diğeri daha egzotik ve uzun-dönemde kararlı birine bakmayı amaçladı.

6.4.2 Nanobaskı

Bu teknoloji ilk Avrupa’da desteklendi ve R&D ve üretim için modeller öneren teçhizat sayılayıcısı 3’den az değildi. Avrupa’da; üniversiteler ağı sayesinde, bu teknoloji üzerine büyük bir uzmanlık kazanıldı ki Avrupa bu uygun maaliyetli çözümü araştırma uygulamaları için kullanmaya karar vermiştir. [54]

Avrupa’nın nanoteknoloji alanındaki imgesi daha ziyade düşüktür, fakat bu gerçeği yansıtmaz, örneğin bu, moleküler elektronik alanındaki sonuçlarla kanıtlanmıştır. Ulusal ve EC destekli bir çok program devam ediyor; fakat, aynı çalışma EURO nun kurulması için de yapıldı ve “Avrupa Nanoteknoloji İnisiyatifi” olarak NNI yi başlatmak amacıyla tek bir kaynak olarak yapılmaya da devam ediyor.

Avrupa’daki nanoteknoloji araştırma labaratuvarlarından teçhizat yapıcılara (kadar) bazı anahtar oyuncular içerir. Doğrudan yazma elektron demeti ve ekstrem –UV ve nano-baskı

daki özel güçlü uzmanlıklarla; Avrupa’da geliştirilen nanolitografi’nin geleceği için ITRS de listelendi .

Nanoteknoloji gelişimi için Avrupa modeli gücünü çok-kültürlü yaklaşımından ve araştırma ve geliştirme için daha bütünleşmiş bir yaklaşım doğrultusundaki politik istekten almaktadır. Avrupa nanoteknolojide etkin ve açık bir işbirliği için kesinlikle bir temeldir.

Ayrıca, Avrupa Üniversitelerinin nanoteknoloji eğitiminde sürekli ve güçlü şekilde bulunması, geniş bilgi temelini mevcudiyetini garanti eder, Avrupalı ve başarılı nanoteknoloji sanayisinin geliştirilmesini zorunlu kılar.

Avrupa ASML aracılığıyla 193 ve 157nm yarışlarında güçlü şekilde bulundu. Avrupada labaratuarlar ve şirketler "post-optical litho" üzerine güçlü bir arka plan/zemin geliştirdiler.

7. Deneysel Çalışma

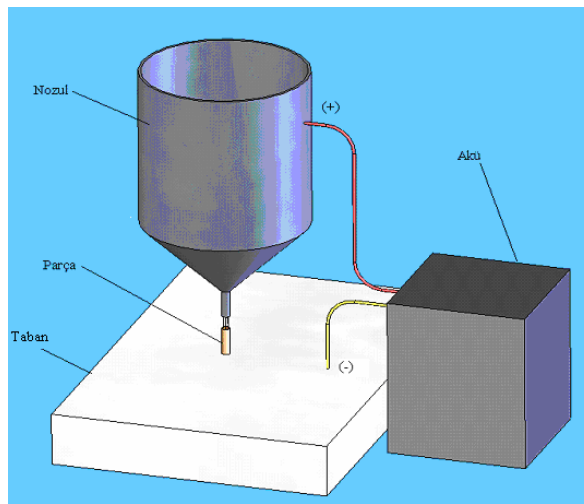
Bu çalışmada hızlı prototipleme tekniği olan elektrobiriktirme yöntemi kullanılmıştır. Bu deneyde elektrolit jetten geçen bakırsülfat çözeltisi, sistemde oluşturulan elektrik alanı ile bir elektroliz işlemi ve bunun sonucunda mikro boyutta metal parça üretimi gerçekleştirilmiştir.

7.1 Genel Prensip

Bu deneyde elektrobiriktirme ile hızlı prototipleme sistemi genel haliyle şekil 7.1’de görülmektedir. Burada; elektrobiriktirme işlemini gerçekleştirecek olan elektrolit sıvısı içinde dağılmış olan metal iyonları, elektrolitik jet nozulun ucundan katot yüzeye doğru akar. Elektrolit jetin altında oluşan elektrik alanı, sıvının katot yüzeyine çarptığı bölgede elektrobiriktirme işleminin gerçekleştirilmesini sağlar. Eğer sistemin polaritesi değiştirilirse, nozulun polaritesi çalışma parçasına göre negatif yüklenirse, bu sistem parça kaldırma işlemi olarak kullanılabilir. Mori ve arkadaşları bu yöntemi kullanarak; elektrobiriktirme ile biçim verilmiş parçadan parça kaldırma işlemi ile komplike parçalar üretmişlerdir. Bu işleme aynı zamanda elektrokimyasal işleme adı verilir.

7.2 Deney Sistemi

Bu çalışmada kurulan sistem şekil 7.1’de gösterilmiştir. Burada x,y,z eksenlerindeki hareket BENCHMAN VMC-4000 CNC tezgahında (Şekil 7.2) gerçekleştirilmiştir. Nozul ve alttaş arasındaki mesafe z ekseninin kontrolüyle ölçülendirilmiştir.

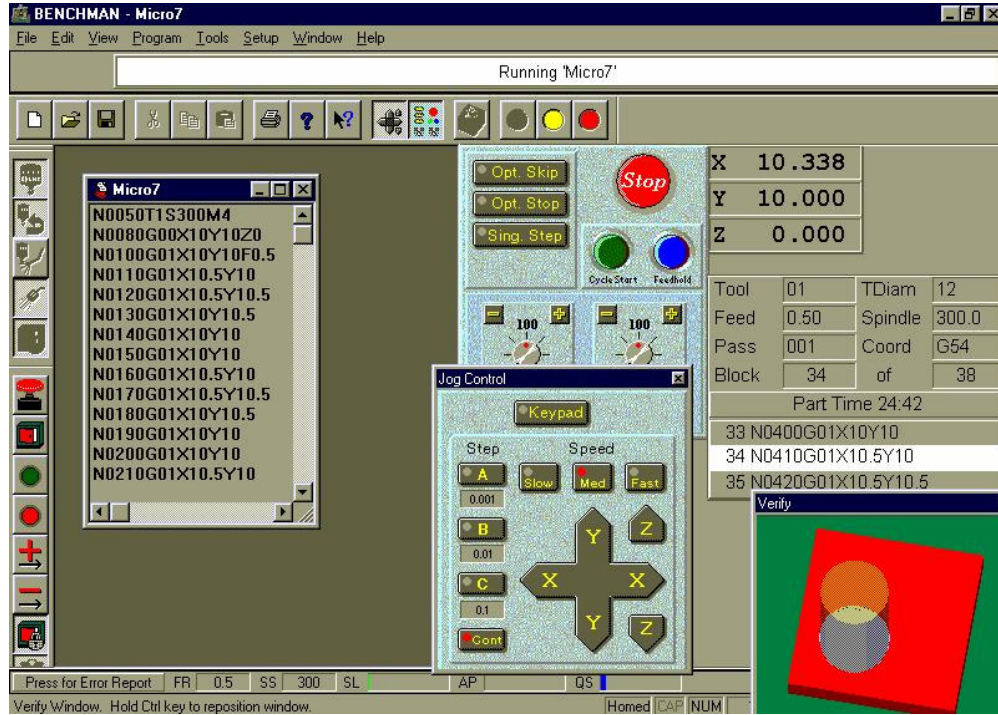


Şekil 7.1 Elektrodpozisyon ile hızlı prototiplemenin genel sistemi



Şekil 7.2 Benchman CNC tezgahı

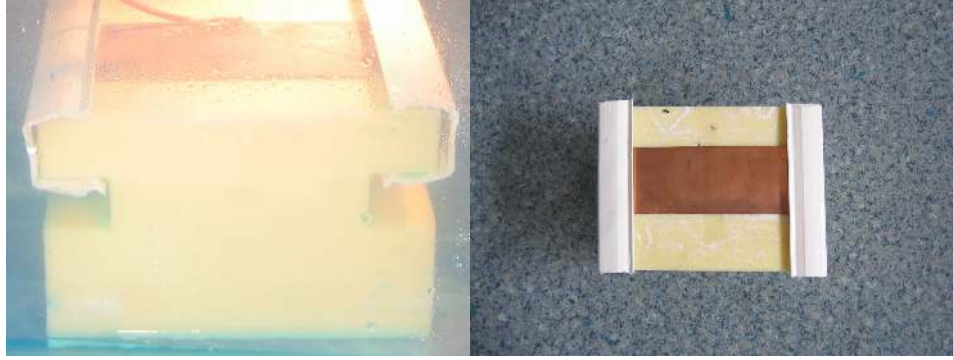
BU CNC tezgahı kendi cam programını kullanır ve yapılacak işlemler için G kodlarını kabul eder. Kontrol paneli şekil 7.3’de görülmektedir.



Şekil 7.3 Benchman CNC yazılımının arayüzü

Akım kaynağı için 6V’luk akü kullanılmıştır. Sistemden geçen akımın ölçülmesi için ise YX-

360TR multitester ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu ölçü cihazı sisteme seri olarak bağlanmıştır. Sistemde sıvının sürekli dönüşümü SIEMENS marka bir pompa ile sağlanmıştır. Nozul plastikten yapılmıştır fakat sıvının aktığı uç kısım paslanmaz çelikten imal edilmiş olup iç çapı 0,4 mm'dir. Üzerinde çalışma parçasının bulunduğu ve biriktirme işleminin gerçekleştiği taban kestamit malzemeden yapılmış ve iş parçasının sabit bir şekilde bağlanması için yan duvarlara kanal açılmıştır.(Şekil 7.4).



Şekil 7.4 Çalışma parçasının bağlandığı kestamit taban

Bu deneyde kullanılan iş parçası 1mm kalınlığında 40x110mm boyutlarında bakır malzemeden yapılmış plakadır. Bu plakaya akü kaynağından çıkan (-) uç bağlanmıştır. Sistemde elektrolit malzemesi olarak CuSO_4 (bakırsülfat) kullanılmıştır; harcanan elektrolit pompa yardımıyla tekrar sisteme gönderilmektedir. Sistemde elektrik akımının verilmesi için nozul içinden bir bakır elektrot geçirilmiştir ve bu elektrotta (+) uç bağlanmıştır. Bu durumda elektrot anot, çalışma parçası ise katot görevi görmektedir.

7.2.1 Cu Metali ve Özellikleri

Bakır, çeşitli piro, hidro ve elektrometalurjik metotların kullanılmasıyla cevherlerinden saf olarak üretilmektedir. Pirometalurjik metotlar, sülfürlü, oksitli ve nabit bakır cevherlerine, hidrometalurjik metotlar ise düşük tenörlü oksitli bakır cevherlerine uygulanır. Elektrometalurji metotları da yukarıdaki yöntemlerin son kademesi olarak her ikisine de uygulanır. Böylece, pirometalurji metotlarıyla elde edilen saf olmayan bakır, elektrolitik arıtmaya tabi tutularak saf katot bakıra çevrilir. Benzer şekilde hidrometalurjik yollarla sulu çözeltiye alınan bakır, elektrokazanım yoluyla katotta saf olarak toplanabilmektedir. Dünya bakır üretiminin %80'i sülfürlü cevherlerden yapılır.

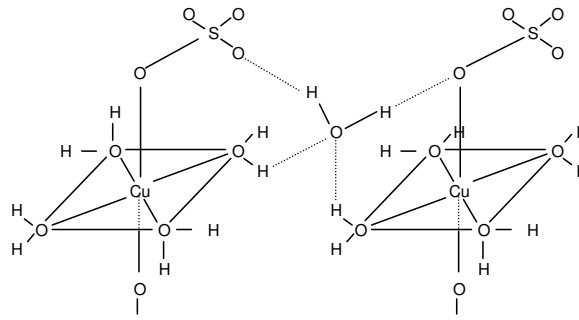
Bakırın simgesi; Cu, Yoğunluğu: 8.93 gr/cm³ Ergime noktası: 1 083 °C, Kaynama noktası:

2300 °C, Ergime ısısı: 43 kcal (1 kg'ının ergimesi için gerekli ısı) Elektrik iletme özelliği: %99.95 değerindedir.

Bu çalışmada bakır metalinin biriktirilmesi işlemi bakır plaka üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bakır plaka ile işleme başlamadan önce zımpara ile yüzey parlatılmaktadır. Böylece daha temiz bir yüzeyle çalışma imkanı ortaya çıkmaktadır.

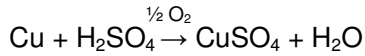
7.2.2 CuSO₄ ve Özellikleri

Bakır sülfat mavi kristaller, granüle veya açık mavi toz halinde olabilen, kimyasal formülü CuSO₄.5H₂O olan bir maddedir. Bakır sülfat CuO ile H₂SO₄ ün birebir reaksiyonu ile elde edilir. Bakır sülfatın molekül yapısı şekil 7.5'de görülmektedir.



Şekil 7.5 Bakır sülfatın molekül yapısı

Bakır sülfat CuO ile H₂SO₄'ün birebir reaksiyonu ile elde edilir. Reaksiyon aşağıda verilmiştir.



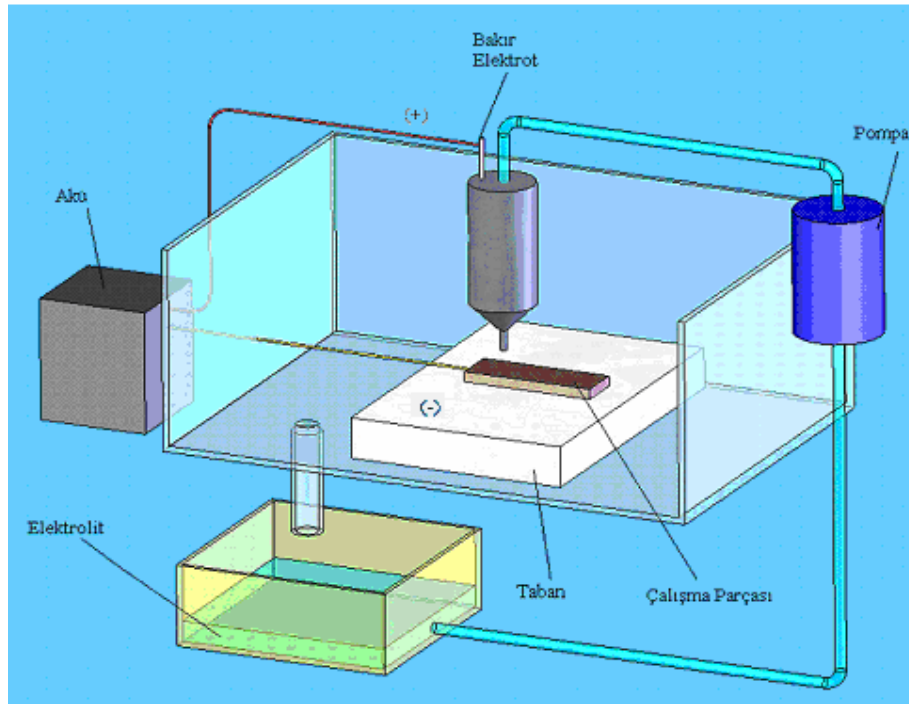
Saf bakır sülfat ve teknik bakır sülfat olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Teknik bakır sülfatta kullanım alanına göre Tip1: sanayide kullanılan ve Tip2: tarımda kullanılan olmak üzere iki gruba ayrılır. Bakır sülfatın Kimyasal ve fiziksel özellikleri çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Bakır sülfatın kimyasal ve fiziksel özellikleri

Özellik	Değer		
	Sınıf 1	Sınıf 2	
		Tip 1	Tip 2
Bakır sülfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ olarak) % (m/m), en az	98,5	98	98
Suda çözünmeyen madde % (m/m), en çok	0,05	0,20	0,20
Çözünbilen demir ve alüminyum bileşikleri (Fe olarak) % (m/m), en çok	0,15	0,30	0,30
Asitlik (H_2SO_4 olarak)	-	Deneye uygun	Deneye uygun
Klorür (Cl olarak) % (m/m), en çok	0,02	-	-
Arsenik (As) % (m/m), en çok	0,0015	-	0,0008
Kadmiyum (Cd) % (m/m) en çok	-	-	0,0008
Kurşun (Pb) % (m/m), en çok	-	-	0,0040
Kurşun ve çinko	Deneyi negatif	-	-
pH, en az	3,5	-	3,5

7.3 Deneyin Yapılışı ve Prensibi

Şekil 7.6’da deney sistemi görülmektedir. Deneye başlamadan önce gerekli hazırlıklar şu şekilde yapılır. İlk önce elektrolit olarak sulu bakır sülfat çözeltisi hazırlanır. Yapılan deneylerde 92 gr. bakır sülfat katısı, 1 lt. sıvı içerisinde çözünmüştür. Sisteme 6V’luk akü ile doğru akım verilmiştir. Burada (+) yükün bağlandığı elektrot 0,7 mm çapında bakır tel elektrottur ve anot görevi görür. Taban üzerine ise birikmenin gerçekleştirileceği bakır plaka yerleştirilmiştir ve bu plakaya da (-) yük bağlanmıştır ve katot görevi görür.



Şekil 7.6 Deneyel kurulum

Pompa yardımıyla sıvı 0,4 mm'lik nozul ucundan bakır tabana doğru akmaya başlar ve sıvının tabana değdiği noktada bir elektrik alanı meydana gelir. Bu bölgede; bir elektrolit ile temas halinde bulunan elektrotlara dışardan bir elektromotor kuvvet uygulayarak kimyasal bir reaksiyonun gerçekleştirilmesi şeklinde tanımlanan elektroliz olayı meydana gelir. Burada elektrik enerjisi yardımıyla kimyasal reaksiyonlar gerçekleştirilir.

Burada bir rafinasyon elektroliz olayı gerçekleşmektedir. Rafinasyon elektrolizi çözünebilir anotlarla yapılan elektroliz işlemidir. Rafinasyon elektrolizinde anot ve katot aynı metalden oluştukları için parçalanma voltajı teorik olarak sıfırdır. Uygulanan hücre voltajı bu nedenle sadece elektrolitin direncinin biraz üstünde olmalıdır.

Sistemde elektrolit olarak bakır sülfat (CuSO_4) kullanıldığı için devreden akımın geçtiği görülür. Elektrolit elektrik akımı ile iyonlarına ayrışır.

Bir cismin elektrolit olması için içinde serbestçe hareket eden iyonlarının bulunması gerekir. Elektrolitlerin içinde, ait oldukları cismin moleküllerinin çözülmesinden meydana gelen meydana gelen pozitif ve negatif yüklü iyonlar bulunur. CuSO_4 elektroliti;

Cu^{++} ve SO_4^{--} iyonlarına ayrışır.

Bu iyonlar, elektrotların arasında meydana gelen elektrik alanının içinde, kendilerine etki eden elektrik kuvvetlerin tesirinde hareket ederler. Bu sebepten dolayı artı(+) yüklü iyonlar, eksi(-) potansiyel taşıyan katoda, eksi(-) yüklü iyonlar da anoda doğru giderler. Bu iyonlar elektrotlara dokununca nötrleşirler ve iyon halinden çıkarak cisim özelliği kazanırlar. Pozitif yük taşıyan bakır (Cu^{++}) iyonu katoda, değince elektron alarak nötrleşir.

Sistemde oluşan kimyasal reaksiyon özetle şöyledir;

Bakır sülfatın(CuSO_4) sudaki çözeltisinin elektrolizinde anoda SO_4 iyonu, katoda da Cu iyonu gider. Anoda giden SO_4 kökü,elektroda etki eder ve

$\text{Cu}^{++} + \text{SO}_4^{--} \rightarrow \text{CuSO}_4$ tepkimesi oluşturur ve bakır sülfat meydana getirir.

Bu nedenle anot gittikçe aşınır. Fakat elektrolitin içinde ayrıışan bakır sülfat molekülü yerine yeniden bir bakır sülfat molekülü meydana gelir, elektrolit içindeki CuSO_4 'ün miktarı değişmez, katoda giden Cu^{++} iyonu ise katodun üzerine kaplanır. Bu suretle anottaki eksilme kadar katotta artış meydana gelir. Katottaki bakır, anoda taşınmış gibi olur. Bu şekilde nozulun ucundan akan bakırsülfat çözeltisi, bakır plakanın üzerinde bakır metal parçaları olarak birikmeye başlar.

Bir elektroliz olayında kullanılan elektrik enerjisi ile yapılan kimyasal iş arasındaki ilişkiler Faraday Kanunu ile belirlenir.

$$m = \frac{A \cdot I \cdot h \cdot t}{z \cdot 96500}$$

Denklem 7.1

m : biriktirilen metal miktarı (g).

A : biriktirilen metalin mol ağırlığı.

I : devreden geçen akım (A).

t : zaman (s).

h : akım verimi (%).

z : elektron sayısı.

96500 : Faraday sabiti

Yapılan deneyler sonucunda oluşturulan parçaların boyut ölçümü ve fotoğraflarının alınması wide measuring microscope system “OGP” cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.7



Şekil 7.7 OGP ölçüm cihazı

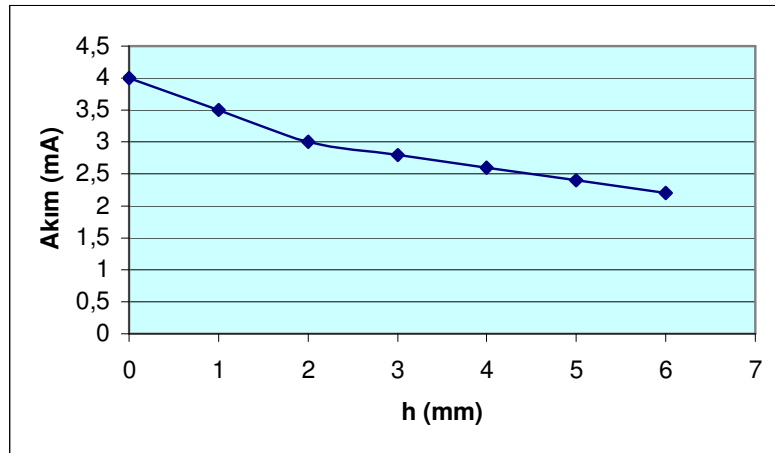
Ayrıca birikimden sonra MITUTOYO PJ-A3000 profil projektör cihazında da ölçümler yapılmıştır. Bu cihazın görüntüsü şekil 7.8’de verilmiştir.



Şekil 7.8 Profil projektör cihazının görüntüsü

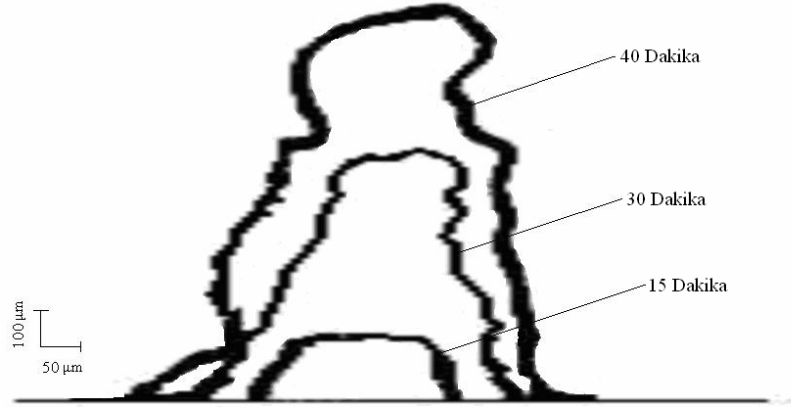
7.4 Birikim Oluşumu

Şekil 7.9'da nozul ucu ve çalışma parçası arasındaki mesafe ile sistemden çekilen akım arasındaki ilişki görülmektedir. Burada nozulun çalışma parçasına olan mesafe arttıkça, akımda ters orantılı olarak azalmaktadır.



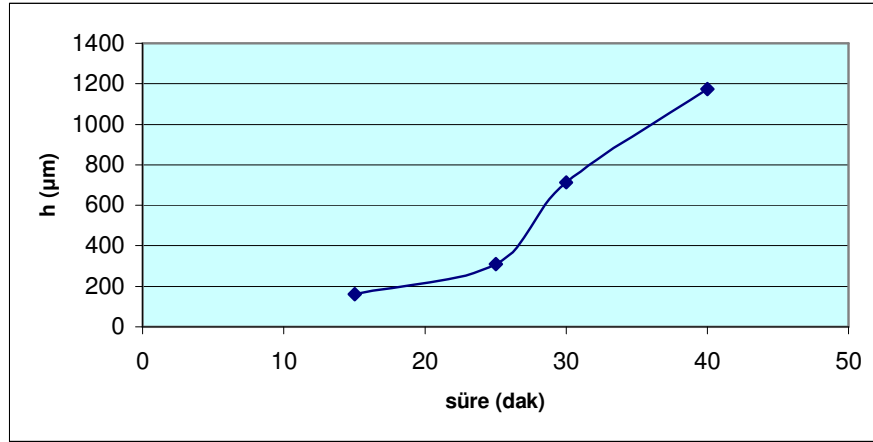
Şekil 7.9 Nozul yüksekliği ve akım arasındaki ilişki

Şekil 7.10 biriktirme işlemi yapılan parçanın yüksekliğindeki ve çapındaki değişimin zamanla olan ilişkisi göstermektedir. Burada nozul ile taban arasındaki yükseklik $h=2$ mm olarak ayarlanmıştır. Sistemdeki akım 3 mA'dir. Burada görülmektedir ki zamandaki artış oluşturulan parçanın yüksekliğinin artmasına neden olmaktadır.



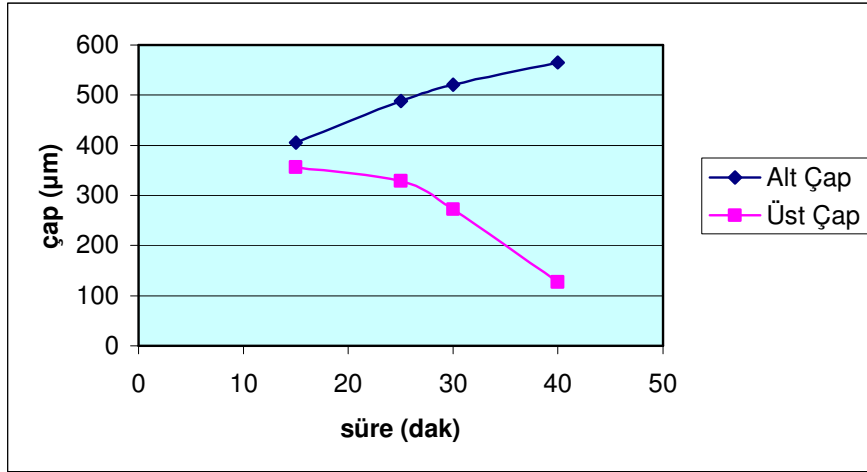
Şekil 7.10 Elektrobiriktirme ile biriken bakırın zaman ile yüksekliğinin değişimi ($h=2$ mm, $A=3$ mA)

Şekil 7.11 'de grafik parça yüksekliğinin zamanla oluşan değişimini göstermektedir.



Şekil 7.11 Biriktirilen bakır yüksekliğinin süre ile olan değişimi ($h= 2$ mm, $A=3$ mA,)

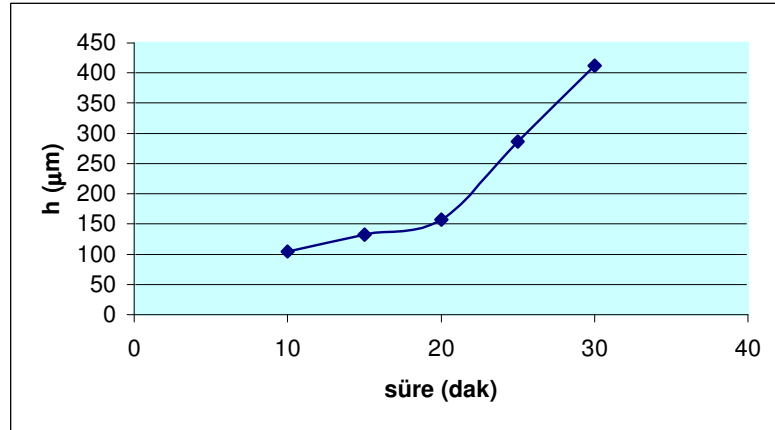
Şekil 7.12'de ise biriktirilen metalde alt tabandaki çapın ve en üst kısımdaki çapın zamanla değişim eğrisi görülmektedir. Zaman arttıkça alt çapın büyüdüğünü ve üst çapın ise bununla ters orantılı olarak küçüldüğünü gösterir. Parça biriktirme sırasında oluşan girüntü çıkımtı şeklindeki pürüzler akım değerinin düşmesine neden olmaktadır ve bu düşüş alt çaptaki birikimin azalmasına neden olmuştur.



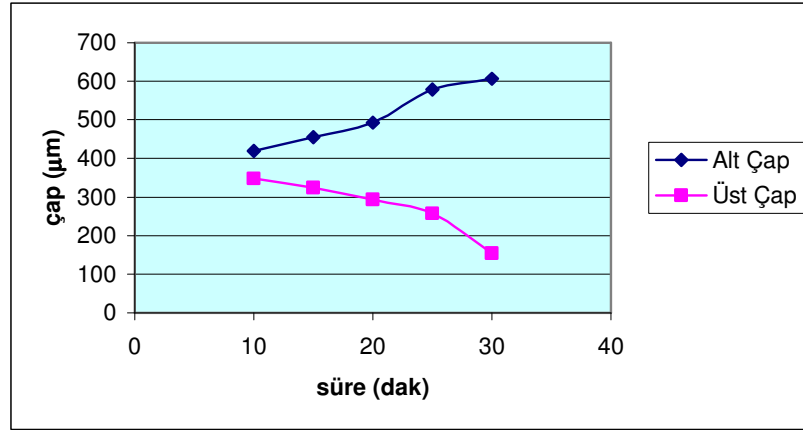
Şekil 7.12 Biriktirilen bakırın alt ve üst çapının süre ile değişimi ($h=2\text{mm}$, $A=3\text{mA}$.)

Şekil 7.13'de ise nozul ile taban arasındaki yükseklik $h=3\text{ mm}$ olarak ayarlanmıştır. Sistemdeki akım $2,8\text{ mA}$ 'dır. Burada da görülmektedir ki zamandaki artış biriktirilen bakırın yüksekliğinin artmasına neden olmaktadır.

Şekil 7.14'te ise biriktirilen bakır alt tabandaki çapının ve en üst kısımdaki çapının zamanla değişim eğrisi görülmektedir. Burada da; zaman arttıkça alt çapın büyüdüğünü ve üst çapın ise bununla ters orantılı olarak küçüldüğünü gösterir ($h=3\text{mm}$ için).



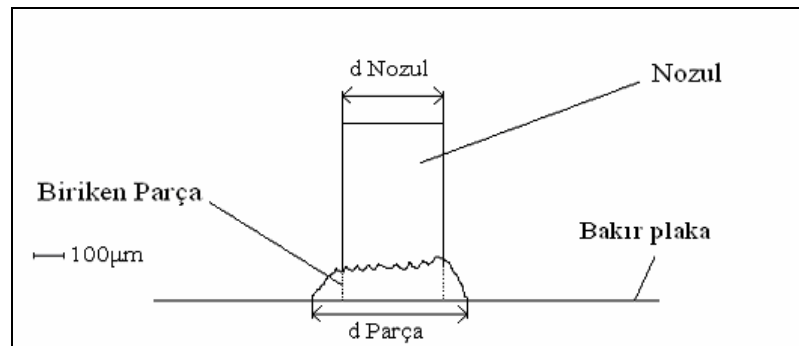
Şekil 7.13 Biriktirilen bakırın yüksekliğinin süre ile olan değişimi ($h=3\text{mm}$, $A=2,8\text{ mA}$)



Şekil 7.14 Biriktirilen bakırın alt ve üst çapının süre ile değişimi ($h=3\text{mm}$, $A=2,8\text{ mA}$)

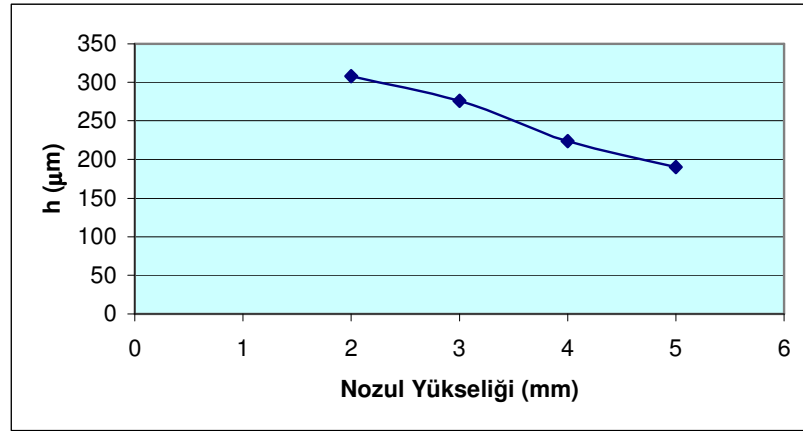
Biriktirme işlemi sırasında biriktirilen parçanın yüksekliği zamanla artacağından nozulun ucuna yaklaşmış olacaktır. Parça yaklaştıkça sıvının en üst yüzeyden geçiş hızı artacak ve böylelikle daha az biriktirme gerçekleşecektir bu nedenle parçanın üst çapı zamanla azalmaktadır.

Elektrokimyasal biriktirme işlemi sırasında biriktirilen bakırın çalışma parçasının tabanında oluşturduğu çap nozulun çapından daha büyük olmaktadır. Bu biriktirme işleminin gerçekleştiği çalışma parçasına elektrolitin değdikten sonra nozul çapından daha büyük bir alanda yayılmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 7.15'te nozul ve biriken parçanın çapı arasındaki ilişki görülmektedir. Burada çalışma parçası ve nozul arasındaki mesafe 3mm , sistemden geçen akım $2,8\text{mA}$ ve biriktirme süresi 20 dk. 'dır.

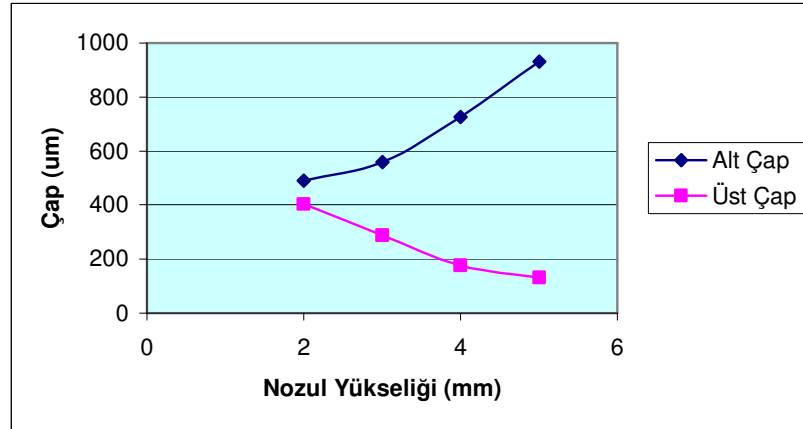


Şekil 7.15 nozul çapı ve biriken parçanın çapı ($h=3\text{mm}$, $A=2,8\text{ mA}$, $t=20\text{dak}$)

Nozul ucu ve bakır plaka arasındaki mesafe arttıkça biriken parçanın boyutları da birbirinden farklı olmaktadır. Bu sistemde her bir yükseklik için 25 dk. süreyle biriktirme yapılmıştır. Şekil 7.16 bakır plaka ve nozul arasındaki yükseklik farkları; $h_1=2\text{mm}$, $h_2=3\text{mm}$, $h_3=4\text{mm}$ ve $h_4=5\text{mm}$ değerleri için biriktirilen bakırın boy değişimini vermektedir. Şekil 8 ise; $h_1=2\text{mm}$, $h_2=3\text{mm}$, $h_3=4\text{mm}$ ve $h_4=5\text{mm}$ değerleri için biriktirilen bakırın alt çap ve üst çap değişimini vermektedir.



Şekil 7.16 Biriktirilen bakır yüksekliğinin nozul yükseliği olan değişimi



Şekil 7.17 Biriktirilen bakırın alt ve üst çapının nozul yükseliği ile olan değişimi

Şekil 7.16'daki grafik incelenecek olursa; nozul yüksekliği arttıkça biriktirilen bakırın boyunda azalma meydana gelmektedir. Nozul yüksekliği arttıkça sistemden geçen akım miktarında azalma meydana gelmektedir. Faraday yasasına göre değerlendirirsek düşen akım daha az miktarda metal parçanın birikmesine neden olacaktır ve bu nedenle nozulun bakır plakadan olan yüksekliği arttıkça, biriktirilen bakırın boyu azalmış olacaktır.

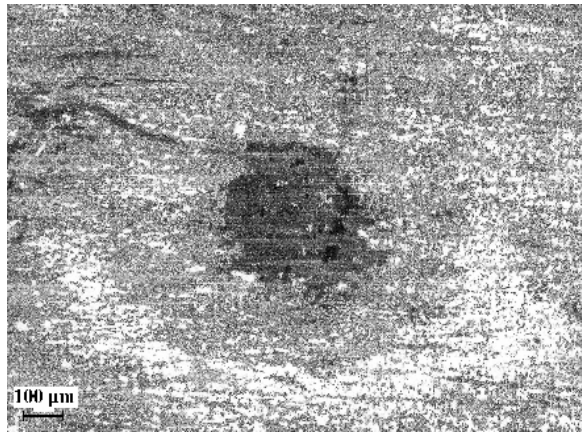
Şekil 7.17'deki grafik incelenecek olursa; nozul yüksekliğinin artmasıyla alt çap arasında doğru orantılı bir ilişki görülmektedir. Bu yukarıdan düşen elektrolit sıvı damlacıklarının hızının artması ve çalışma parçasına çarptığında daha fazla alana yayılarak çapın artmasına neden olmaktadır. Üst çaptaki azalma ise akımın nozul yükseliği arttıkça azalmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 7.18'de elektrobiriktirme ile oluşturulmuş bakırın kesiti görülmektedir. Akım = 3 mA, $t = 50$ dak. taban ve nozul arasında ki yükseklik; $h = 2$ mm'dir.



Şekil 7.18 Biriktirilmiş bakırın kesit görüntüsü $A = 3$ mA., $h = 2$ mm, $t = 50$ dak.

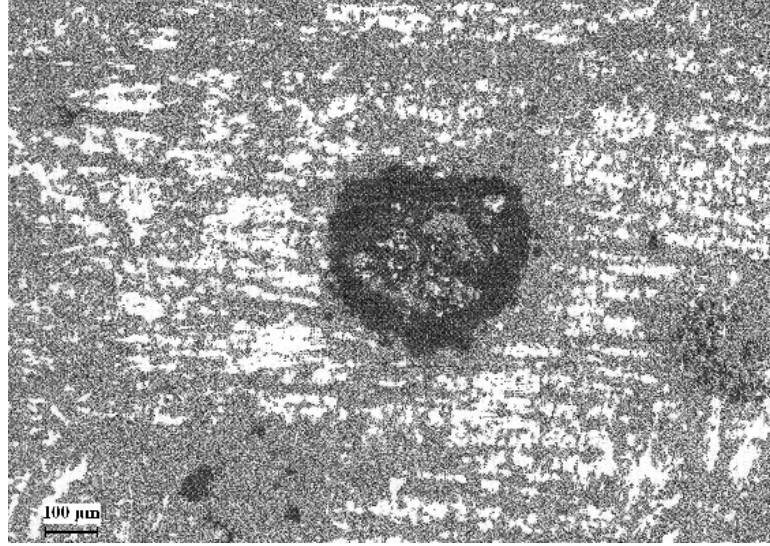
Şekil 7.19'da elektrobiriktirme ile oluşturulmuş bakırın üstten görünüşü görülmektedir. Bu parça 30 dakikalık süre sonucunda biriktirilmiştir. Akım = 3 mA, taban ve nozul arasında ki yükseklik; $h = 2$ mm'dir



Şekil 7.19 $A = 3$ mA., $h = 2$ mm, $t = 30$ dak. şartlarında birikmiş bakırın üstten görünümü

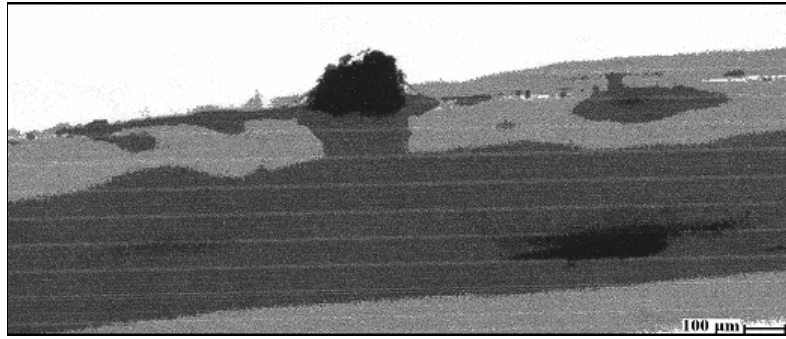
Şekil 7.20'de elektrobiriktirme ile oluşturulmuş parça görülmektedir. Bu parça 25 dakikalık

süre sonucunda biriktirilmiştir. Akım = 3 mA, taban ve nozul arasında ki yükseklik; $h=2\text{mm}$ 'dir.



Şekil 7.20 $A=3\text{ mA}$., $h=2\text{mm}$, $t=25\text{dak.}$ şartlarında biriktirilmiş bakırın üstten görünümü

Şekil 7.21'de ise 15 dakikalık süre sonucunda oluşturulmuş parça profilden görülmektedir. Akım = 3 mA, taban ve nozul arasında ki yükseklik; $h=2\text{mm}$ 'dir.



Şekil 7.21 $A=3\text{ mA}$., $h=2\text{mm}$, $t=15\text{dak.}$ şartlarında biriktirilmiş bakır

8. SONUÇLAR

Mikro ve nano teknolojinin; son yıllarda üretim sektörü için önemi çok büyüktür. Üretimin artık mikro ve nano boyuta sıçraması, geleceğin üretimi açısından bu teknolojilerin çok stratejik bir konumda yer almasını sağlamaktadır. Mikro ve nano teknolojinin gelişim süreci ele alınmış, üretim biçimleri araştırılmış ve bunların çeşitli sektörlerdeki uygulama alanları tanıtılmıştır. Dünyanın mikro ve nano teknolojiye bakış açısı, ülkelerin bu konudaki yatırımları, bu teknolojilerin geleceğin dünyasının temel üretim sistemleri olacağının bir göstergesidir.

Hızlı prototip ve üretim teknolojisinin temel prosesi ve ürün geliştirme sürecindeki önemi araştırılmıştır. Hızlı prototipleme yöntemleri ve bunların üretim teknolojisindeki yerleri belirtilmiştir. Bu sistemlerin belirli kriterlere göre birbirlerine olan avantaj ve dezavantajları sunulmuştur.

Gelişen hızlı prototipleme teknolojisi, mikro boyutta üretime adapte olmuş ve bu mikro teknolojinin gelişimi için çok önemli bir adım olmuştur.

Mikro hızlı prototiplme teknolojilerinden biçimsel malzeme yığılması, karmaşık şekillerinden veya materyallerdeki çeşitliliklerinden dolayı geleneksel olarak üretimi imkansız olan kısımların yapımına imkan vermektedir.

Mikrostereolitografi, hızlı prototipleme endüstrisinden gelişen yeni bir mikro üretim işlemidir. Bu teknolojiye ilk gelişmeler, 1993'te başladı ve dünyanın çevresinde farklı çalışma grupları o zamandan beri mikrostereolitografi makinaları geliştirdiler. Hepsi parçaların ışık, endüksiyon katman, yığma tekniği ile üretimine dayanır. Mikro stereolitografi; mikrorobotik, mikrokanallar ve mikrosistem alanlarında yararlı olacak, gerçek 3D biçimli karmaşık mikro nesnelerin üretilmesini mümkün kılmaktadır.

1985'ten beri, mikrostereolitografi tekniklerini ve ilişkili teknolojileri araştıran araştırma ekipleri, nesnenin yüzeyde katman katman üretiminin dışında; doğrudan reaktif ortam içinde üretimine çalışmaktadırlar. Tabi ki, katmanları eklemekten nesneyi doğrudan reçinede yaratmanın bir çok avantajı vardır. Destekleyici parçalara ihtiyaç yoktur, üretilen parçanın üzerinde sıvıyı yaymak için zaman gerekmez, bu potansiyel olarak önemli derecede işlemi hızlandırabilir. Bu tip işlemler geliştirmek için bir çok araştırma yapıldı, fakat günümüzde bu konuda tam bir gelişme henüz sağlanamamıştır.

Nano hızlı prototipleme günümüzde en yeni teknolojilerden bir tanesidir. Bu sistem ile nanoboyutta prototipleme yapmak mümkün hale gelmiştir. Bu çalışmada nano hızlı prototipleme sistemleri araştırılmıştır.

Nano hızlı prototipleme çeşitli yaklaşımlarla, 10 nm nin aşağısında, ultra küçük yapılarda, kritik boyutların tanımlanmasında kullanılabilir. Bu teknolojiye; uygun yaklaşım pozlama aleti, direnç, gelişim ve desen transferi teknikleri sinerjik bir yöntemle birleştirilirse, mikro aygıtların üretiminde yeni yaklaşımlar yaratılabilir.

Mikro hızlı prototipleme sistemi olan elektrokimyasal biriktirme yöntemi gelişen mühendislikte metalik parçaların üretimi için çok önemlidir. Booker ve Sticker 1962 yılında dar elektrolit jetiyle geniş yarı iletken yüzeyleri tarayarak kimyasal olarak parlatmışlardır. O zamandan günümüze bu konuda büyük gelişmeler olmuştur. Masonari ve arkadaşları ise 1998 yılında, elektro jet ile biriktirme yaparak mikro boyutta parça üretmişlerdir. 2004 yılında yapılan çalışmalarda ise çok karmaşık biçimde olmamakla beraber mikroboyutta 3 boyutlu parçalar üretilmiştir. Günümüzde çalışmalar devam etmektedir.

Bu çalışmada yaptığım uygulamada elektro biriktirme yöntemini kullanarak biriktirilen bakır parçaların oluşum şekilleri, şartları ve boyutlarına göre incelenmiştir.

Yapılan deneyler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Bakırsülfat çözeltisini, 0,4 mm'lik uçtan bakır levhaya doğru akıttığımızda ve sisteme doğru akım vererek elektrokimyasal tepkimeye soktuğumuzda mikroyapıda parçaların üretilmesi mümkün olmaktadır.
- nozulun tabandan olan mesafesinin artmasıyla; sistemden geçen akım miktarında azalma olduğu saptanmıştır.
- Oluşturulan mikroparça yüksekliğinin artan zamanla birlikte arttığı gözlemlenmiştir.
- Oluşturulan mikroparçanın alt çapının artan süreyle arttığı gözlemlenmiştir.
- Oluşturulan mikroparçanın üst çapının ise artan süreyle azaldığı gözlemlenmiştir.
- Oluşturulan mikroparçanın altçapının daima nozul çapından büyük olduğu gözlemlenmiştir.
- Oluşturulan mikroparçanın yükseliğinin nozulun tabandan olan mesafesinin artmasıyla azaldığı gözlemlenmiştir.
- Oluşturulan mikroparçanın yükseliğinin nozulun tabandan olan mesafesinin artmasıyla; altçapın azaldığı, üstçapın ise arttığı gözlemlenmiştir.

Günümüzde elektrobiriktirme teknolojisinin diğer teknolojilere göre çok daha az maliyetli olması, ona çok büyük bir üstünlük kazandırmaktadır. Uygun elektrolit seçimi, uygun biriktirme ortamının hazırlanması, uygun elektrot seçimi ve doğru elektriksel alan kontrolünün yapılmasıyla çok daha karmaşık 3 boyutlu yapıların elde edilebileceği yaklaşımlar oluşturulabilir.

KAYNAKALAR

- [1] www.canaktan.org/yeni-trendler/bilgi-toplumu/yeni_temel_teknolojiler.htm
- [2] Prof. Dr. Abdülkadir Erden, “Robotikte Bilim ve Tkenoloji”, Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı 453
- [3] www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/robotik/mems1.html
- [4] www.turkcadcamlam.net/rapor/mikro-kaliplama
- [5] www.geleceginindunyasi.com/nanoteknoloji.htm
- [6] www.makineihtisas.com
- [7] www.tfi-ltd.co.uk
- [8] www.nano.org
- [9] Prof. Dr. Salim ıracı, “Nanobilim ve Nanoteknoloji Stratejileri”, Vizyon 2023 projesi, Ağustos 2004, Ankara
- [10] www.sks.kou.edu.tr/koumat
- [11] www.dergi.tbd.org.tr/yazarlar/05012004/coskun-telciler.htm
- [12] www.nano-arage.com.tr/html/o-yeni.htm
- [13] <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~dogan/51.html>
- [14] Atangüç, G. ve Demir, A. G., (2005), “Nanoteknoloji ve Uygulama Alanları”, Bitirme Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği
- [15] Fujita, H., “Micromachining Tools for nanosystem”, Tokyo, 2000
- [16] Cengiz S. Özkan, “Nanocarbon Materials for Active Electronics and Bio-Nanotechnology”, Micro and Nanotechnology Workshop, Koç University, Haziran 29, 2004
- [17] Raşit Gürdilek, “Nanobilgisayara Doğru”, Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık, 2001
- [18] www.teknogirisim.com.tr/default.asp?yazid=11&id=10
- [19] www.nano.org.tr
- [20] Ermurat, M., “Hızlı Prototip ve Üretim Teknolojilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002
- [21] Chung, P., “Rapid Prototyping, Reverse Engineering and Their Application for a Track Design and Devolopment”, Yüksek Lisans Tezi, Uzay ve Makine Mühendisliği Bilimleri Bölümü, California State Üniversitesi, 2005
- [22] Liao, Y., S., Chiu, Y., Y., “A New Slicing Procedure for Rapid Prototyping Systems”, Journal of Advenced Manufacturing Technology, Cilt 18, 2001, 579-585
- [23] Onuh, S., O, Hon,K., K., B., Hon, “Integration of rapid prototyping technology into FMS for agile manufacturing”, journal of Integrated Manufacturing Systems, Cilt 12, 2001, 179-186
- [24] Onuh, S., S., Yusuf, Y., Y., “Rapid prototyping technology: applications and benefits for

rapid product development”, Journal of Intelligent Manufacturing, Cilt 10, 1999, 301-311

[25] Yan, X., Gu, P., “A Review of Rapid Prototyping Technologies and Systems”, Journal of Computer Aided and design, Cilt 28, 1996, 307-318

[26] www.turkcadcam.net

[27] Li, F., “Automated cost Estimaton for 3-Axis CNC Milling and stereolithography Rapid Prototyping”, Yüksek Lisans Tezi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Manitoba Üniversitesi, 2005

[28] www.people.bath.ac.uk/en0frb/3dp/Assignment1b.htm

[29] Ekşi, M., “Kalıplı İmalatta Hızlı Prototipleme Teknolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001

[30] Lozoya, O., A., “Development and Demonstration of a Multiple Material Stereolithography System”, Yüksek Lisans Tezi, Makine ve Endüstri Mühendisliği Bölümü, Texas Üniversitesi, 2006

[31] www.people.moreheadstate.edu/students/rxpati02/images/fused.gif

[32] www.rtc-germany.com/dia_lom02.jpg

[33] Goedert, J., Bonsell, J., Samura, F., “Integrating Laser Scanning and Rapid prototyping to Enhance Construction Modelling”, Journal of Architectural Engineering, Cilt 11, 2005 , 71-74

[34] www.people.moreheadstate.edu/students/rxpati02/images/selective%20laser%20sintering.gif

[35] www.home.att.net/~castleisland/sgc.gif

[36] www.warwick.ac.uk/atc/rpt/Techniques/Photos/3Dprocess.jpg

[37] www.xpress3d.com/images/3dp_process.jpg

[38] Li, X., Choi, H., Yang, Y., “Micro Rapid Prototyping System for Micro Components”, Journal of Thin Solid Films, Cilt 420-421, 2002, 515-523

[39] Yoshimoto, T., Miyaki, I., Yaze, H., Maruka, Y., Ri, N., teramoto, T., Morohoshi, K., Koyagi, Y., “Micro-Stereo-lithography-System”, journal of SPIE, Cilt 6151, 2006

[40] Monneret, S., Provin, C., Le Gall, H., “Micro Scale Rapid prototyping by stereolithography”, Emerging Technologies and Factory Automation, Cilt 2, 2001, 299-304

[41] Huang, S., Heywood M., I., Young, R., C., D., Farsari M., Chatwin, C., R., “Systems control for a micro-stereolithography prototype”, Microprocessors and Microsystems, Cilt 22, 1988, 67-77

[42] Bertsch, A., Bernhard, P., Renaud, P., “Microstereolithography: Concepts and applications”, 8th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 2001

[43] Yagyu, H., Sugano, K., hayashi, S., Tabata, O., “Micropowder Blasting with Nano Particles dispersed polymer mask for rapid prototyping of glass chip”, the journal of Micromechanics and Microengineering, Cilt 15, 2005, 1236-1241

- [44] Thian, S., Tang, Y., Fuh, J., Wong, Y., Lu, L., Loh, H., “Micro-rapid-prototyping via multi-layered photo-lithography”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Cilt 29, 2006, 1026-1032
- [45] Şahin, T., “Elektrodepozisyon Tekniği ile Üretilen Co ve CoFe Filmlerin, Yapısal ve Manyetodirenç özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, 2006
- [46] John, D., Hunter, W., “Three-Dimensional Microfabrication by Localized Electrochemical deposition”, The Journal of Microelectromechanical Systems, Cilt 5, 1996, 24-32
- [47] Kunieda, M., Katoh, R., Mori, Y., “Rapid prototyping by Selective Electrodeposition Using Electrolyte Jet”, Annals of the CIRP, Cilt 47, 1998, 161-164
- [48] Fukuda, T., Arai, F., “prototyping Design and Automation of Micro-Nano Manipulation System”, International Conference on Robotics and Automation” San Francisco, 2000
- [49] Ferry, K., Khoury, M., Pivin, D., Connolly, K., Whidden, T., Kozicki, M., Allee, D., “Nanolithography”, Semicond. Sci. Technol, Cilt 11, 1996, 1552-1557
- [50] www.tr.wikipedia.org/wiki/Nanolithografi
- [51] Piner, R., Zhu, J., Xu, F., Hong, S., Mirkin, C., “Dip-Pen Nanolithography”, The Journal of Science, Cilt 283, 1999, 661-663
- [52] www.fabtech.org/images/stories/news/AAnews_LtoZ/Micron/immersion%20litho%20diagram%20nikon.jpg
- [53] Taylor, J., Chambers, C., Shayib, R., Suer, R., Conley, W., Willson, G., “Immersion Lithography Moving Microlithography to Nanolithography”, <http://www.nt.ntnu.no/users/skoge/prost/proceedings/aiche-2004/pdf/papers/051e.pdf>
- [54] Guibart, J., Leti, M., “Nanotechnologies and Nanolithography in Europe”, Proc. SPIE, Cilt 4688, 2002

9. ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 21.07.1981

Doğum yeri İstanbul

Lise 1995-1999 Kadir Has Anadolu Lisesi

Lisans 2000-2004 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2006-halen DOKA Endüstri