

**SÜPERİLETKEN LİNEER HIZLANDIRICIDAN ELDE EDİLEN
SERBEST ELEKTRON LAZERİNE DAYALI
TOPLAM FREKANS JENERASYONU SPEKTROSKOPİSİ VE
UYGULAMALARI**

Selin ERDOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2012
ANKARA**

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Selin ERDOĞAN

Selin ERDOĞAN tarafından hazırlanan “SÜPERİLETKEN LİNEER HIZLANDIRICIDAN ELDE EDİLEN SERBEST ELEKTRON LAZERİNE DAYALI TOPLAM FREKANS JENERASYONU SPEKTROSKOPİSİ VE UYGULAMALARI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Pervin ARIKAN

Tez Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ömer YAVAŞ

Fizik Mühendisliği, Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Pervin ARIKAN

Fizik, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Metin YILMAZ

Fizik, Gazi Üniversitesi

Tarih: 14/06/2012

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**SÜPERİLETKEN LİNEER HIZLANDIRICIDAN ELDE EDİLEN
SERBEST ELEKTRON LAZERİNE DAYALI
TOPLAM FREKANS JENERASYONU SPEKTROSKOPİSİ VE
UYGULAMALARI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Selin ERDOĞAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2012

ÖZET

Bu çalışmada süperiletken doğrusal elektron hızlandırıcısından elde edilen kızılötesi serbest elektron lazerinin (IR-SEL) çalışma prensibi genel olarak tanımlanmıştır. Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde Gazi Üniversitesi'nin de dahil olduğu 11 üniversitenin işbirliği ve Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) desteği ile kurulum çalışmaları sürdürülen Türk Hızlandırıcı Merkezi Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri (THM TARLA) tesisinde kurulması planlanan deney istasyonlarından biri doğrusal olmayan optik laboratuvarıdır. Bu laboratuvarında 2,5-250 μm arasında ayarlanabilir dalgaboylu SEL kullanılarak uygulanacak olan Toplam Frekans Jenerasyonu tekniğinin fiziği ve bu teknikle yapılabilecek olan deneyler anlatılmıştır.

THM TARLA'da kurulacak olan doğrusal olmayan optik laboratuvarlarının tasarımı, laboratuvar ortamının gereksinimleri ve burada yapılacak deneylerde kullanılabilecek deney aletleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Dünyada doğrusal hızlandırıcıdan elde edilen IR SEL ile toplam frekans jenerasyonu tekniğini kullanarak çalışmalar yapan CLIO (Fransa), FELIX

(Hollanda) araştırma merkezleri ve bu merkezlerde toplam frekans jenerasyonu tekniği kullanılarak yapılan çalışmalar araştırılmıştır.

Bilim Kodu : 202.1.008
Anahtar Kelimeler : Süperiletken lineer hızlandırıcı, SEL, Toplam frekans jenerasyonu spektroskopisi, Malzeme ve yarıiletken araştırmaları, Türk Hızl. Merkezi(THM), TARLA Tesisi
Sayfa Adedi : 72
Tez Yöneticisi : Prof.Dr.Pervin Arıkan

**INVESTIGATION OF SUM-FREQUENCY GENERATION
SPECTROSCOPY AND ITS APPLICATIONS BASED ON FREE
ELECTRON LASER PRODUCED BY SUPERCONDUCTING LINEAR
ACCELERATOR
(M.Sc. Thesis)**

Selin ERDOĞAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2012**

ABSTRACT

In this study, primarily defining the general principle of infrared free electron laser (IR-FEL) produced by superconducting linear accelerator. Then sum frequency generation technique, its physics and the applications, at TARLA facility, are described to employ in non-linear optic laboratory (one of the experiment laboratories), will be set in the facility called Turkish Accelerator Center (TAC) Infrared Free Electron Laser that is still being set up with the support of the State Planning Organisation and is coordinated by the University of Ankara. TAC Collaboration is an inter-university collaboration including Gazi University.

The design and requirements of non-linear optic laboratories to be establish in TAC-TARLA facility and the experimental tools that can be used in experiments to be done here is described in detail.

Finally, the accelerator facilities that do researches with IR FEL obtained from

linear accelerator by using sum frequency generation technique “CLIO (France), FELIX (Netherlands)” are examined. The researches made by using sum frequency generation technique in these centers are summarized.

Science Code : 202.1.008
Key Words : Superconducting linear accelerator, FEL, Sum-Frequency spectroscopy, Material and semiconductor researchs, Turkish Accelerator Center(TAC), TARLA Facility
Page Number : 72
Adviser : Prof.Dr.Pervin Arıkan

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli bilgi, deneyim ve katkılarıyla beni yönlendiren kıymetli Hocam Prof. Dr. Pervin ARIKAN'a, her türlü yardımını ve desteğini aldığım Ankara Üniversitesi Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü Müdürü Prof. Dr. Ömer YAVAŞ'a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım ODTÜ Kimya Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Okan ESENTÜRK'e ve ODTÜ Fizik Bölümünden Doç. Dr. Hakan ALTAN'a, maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. Elektromanyetik Spektrum ve Kızılötesi Bölge.....	3
2.2. SEL'in Elde Edilmesi.....	4
2.2.1. Elektron tabancası.....	5
2.2.2. Paketleyici.....	7
2.2.3. Hızlandırıcı.....	8
2.2.4. Salındırıcı Magnet.....	11
2.2.5. Optik kavite.....	12
2.3. Serbest Elektron Lazeri.....	14
2.3.1. SEL çeşitleri.....	15
3. TÜRK HIZLANDIRICI MERKEZİ TARLA TESİSİ VE DENEY İSTASYONLARI.....	18
3.1. THM TARLA Tesisi.....	18
3.2. TARLA Deney İstasyonları.....	20

Sayfa

4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	24
4.1. Toplam Frekans Jenerasyonu Fiziği.....	24
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	28
5.1. TARLA Doğrusal Olmayan Optik Laboratuvarının Tasarımı.....	28
5.2. TARLA Doğrusal Olmayan Optik Laboratuvarında Kullanılması Planlanmış Cihazlar.....	30
5.2.1. Nd:YAG lazer.....	31
5.2.2. Optik parametrik jeneratör.....	32
5.2.3. Optik parametrik yükseltici.....	33
5.2.4. Demet ayırıcı.....	34
5.2.5. Gecikme hattı.....	36
5.2.6. Monokromatör.....	37
5.2.7. Fotodedektör.....	38
5.2.8. CCD kamera.....	40
5.2.9. Kristaller.....	42
5.2.10. Doğrusal olmayan kristaller.....	43
6. DÜNYADAKİ IR SEL LABORATUARLARI VE TOPLAM FREKANS JENERASYONU TEKNİĞİ İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	45
6.1. CLIO Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı.....	46
6.2. FELIX Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı.....	57
7. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	64
KAYNAKLAR.....	66
EKLER.....	70
EK-1 TARLA Deney İstasyonları A, B, C, D, E ve Temiz Oda Planı.....	71

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ.....	72
---------------	----

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 Süperiletken kavitenin avantajları ve dezavantajları.....	9
Çizelge 3.1. Beklenen elektron demeti parametreleri.....	19
Çizelge 3.2. Beklenen SEL parametreleri.....	19
Çizelge 5.1. Nd:YAG lazerin dalgaboyuna göre puls enerjileri.....	32
Çizelge 5.2. Çeşitli OPG örnekleri için sinyal ve idlerin ayarlanabilir dalgaboyu aralıkları.....	33
Çizelge 5.3. Çeşitli OPA örnekleri için sinyal ve idlerin ayarlanabilir dalgaboyu aralıkları.....	34
Çizelge 5.4. Çeşitli monokromatör modelleri için dalgaboyu aralığı.....	38
Çizelge 5.5. Çeşitli dedektör tipleri için spektral aralık ve dalga sayısı.....	39
Çizelge 5.6. Çeşitli dedektör tipleri dalgaboyu aralığı, dedektör boyutu ve band genişliği.....	40
Çizelge 5.7. Çeşitli dedektör tipleri dalgaboyu aralığı, dedektör boyutu ve band genişliği.....	40
Çizelge 5.8. Çeşitli kristallerin fiziksel ve optiksel özellikleri.....	44
Çizelge 6.1. CLIO SEL'e ait önemli parametreler.....	46
Çizelge 6.2. FELIX'e ait parametreler.....	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum.....	3
Şekil 2.2. SEL'in elde edilmesi.....	5
Şekil 2.3. Termiyonik tabanca düzeneği.....	6
Şekil 2.4. Mikrodalga içinde hareket eden elektronlar.....	8
Şekil 2.5. Wideroe doğrusal hızlandırıcısının şematik yapısı.....	10
Şekil 2.6. Salındırıcı (undulator) magnetin şematik görünümü.....	11
Şekil 2.7. Salındırıcı magnet içerisindeki parçacık yörüngesi.....	12
Şekil 2.8. Saçılan radyasyon ile elektronun paketlenmesi.....	13
Şekil 2.9. SEL elde edilmesi.....	14
Şekil 2.10. Osilator SEL oluşumu.....	15
Şekil 2.11. Yükselteç SEL oluşumu.....	16
Şekil 2.12. SASE SEL oluşumu.....	16
Şekil 3.1. THM TARLA tesisinin şematik gösterimi.....	19
Şekil 4.1. SFG uygulanan ara yüzün açısı ve ışın yayılımlarının şematik gösterim.....	27
Şekil 5.1. TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarı yerleşim planı.....	29
Şekil 5.2. TARLA pompa sonda/SFG (doğrusal olmayan optik) laboratuvarı ölçüleri.....	30
Şekil 5.3. SFG deneylerinde kullanılan örnek bir düzenek.....	30
Şekil 5.4. Nd:YAG lazer yapısı.....	32
Şekil 5.5. OPG'nin şematik gösterimi.....	33
Şekil 5.6. OPA'nın şematik gösterimi.....	33

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. Demet ayırıcı olarak kullanılan yansıtıcı ayna.....	34
Şekil 5.8. Polarize ve polarize olmayan demetlerin kübik demet ayırıcıdan geçişi.....	34
Şekil 5.9. Kübik demet ayırıcı (Eksma Optics).....	34
Şekil 5.10. Gecikme hattı (Eksma Optics).....	36
Şekil 5.11. Monokromatör örneği.....	37
Şekil 5.12. Fotodedektör örneği (Thorlabs).....	39
Şekil 5.13. CCD kamera örneği (Thorlabs).....	40
Şekil 5.14. Doğrusal olmayan kristaller.....	43
Şekil 6.1. CLIO SEL'in şematik görünümü.....	46
Şekil 6.2. CLIO'nun birbirinden bağımsız iki adet eş salındırıcılı magnetleri.....	47
Şekil 6.3. SFG çalışmaları için kullanılan deney odası.....	47
Şekil 6.4. CLIO FEL tesisi içindeki SFG düzeneği. Üst kısım ayarlanabilir görünür ve kızılötesi ışınları alt kısım ise düzeneği göstermektedir.....	48
Şekil 6.5. Piridin halka bölgesinde farklı potansiyellerde ölçüm alındığında oluşan pikler.....	50
Şekil 6.6. 2050 ve 2250 cm^{-1} arasında, etkileşim özelliklerinin kırıldığı potansiyel alanlarında alınmış 3 spektrum.....	50
Şekil 6.7. Silisyum alt tabakasına çift iyon demeti tarafından püskürtülerek birikmiş olarak hazırlanan $[Ag(1nm)/Si_3N_4(9nm)]$ nin 9 adet iki katmanlı yapısından oluşan bir küme.....	51
Şekil 6.8. SFG sinyalinin IR ve VIS sinyallere göre değişimi.....	52
Şekil 6.9. Elektrot potansiyeli -0,5 V da elektrolit 7 pH da iken SFG sinyali.....	55
Şekil 6.10. VIS 441,6 nm de sabit tutularak elektrot potansiyeli 0,05-1,2V arasında değiştirildiğinde SFG sinyali.....	55

Şekil	Sayfa
Şekil 6.11. Nötr (7pH) Elektrolitler; nitrile gerilmesinde SFG sinyali.....	56
Şekil 6.12. 3 pH Elektrolitler; nitrile gerilmesinde SFG sinyali.....	56
Şekil 6.13. 0,5 pH Elektrolitler; nitrile gerilmesinde SFG sinyali.....	57
Şekil 6.14. FELIX'in yapısı.....	58
Şekil 6.15. SFG deneyinin şeması.....	60
Şekil 6.16. Farklı kalınlıklardaki bakır phthalocyanine filmlerin SFG spektrumu...61	
Şekil 6.17. 2, 5 ve 10 nm kalın fullerene filmlerin 20 µm spektral bölgedeki SFG spektrumu.....	61
Şekil 6.18. SFG deney kurulumunun şematığı.....	62
Şekil 6.19. 10, 14 ve 24 µm'de kaydedilen SF spektrumu.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ve birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Amper
$\text{\AA}$	Angstrom
Ag	Gümüş
Au	Altın
AgGaS₂	Gümüş galyum sülfür
AgGaSe₂	Gümüş galyum selenid
Al₂O₃	Safir
B	Manyetik alan
B₀	Richardson-Dushman sabiti
BaF₂	Baryum florid
bg	Parlaklık
c	Işık hızı
CaF₂	Kalsiyum florid
cm	Santimetre
CO₂	Karbondioksit
Cu	Bakır
Cu₃₂H₁₃N₃	Bakır phthalocyanine
DC	Doğru akım
e	Elektronun yükü

Simgeler	Açıklama
E	Enerji
E_{SEL}	Foton enerjisi
eV	Elektron volt
f	Mikro paketçik tekrarlama frekansı
fps	Saniye başına görüntü
fs	Femtosaniye
Ge	Germanyum
GHz	Giga hertz
h	Planck sabiti
He	Helyum
HgCdTe	Civa kadmiyum tellür
Ho:YLF	Holmiyum yitrium lityum florid
Hz	Hertz
J	Joule
J	Akım yoğunluğu
K^0	Kelvin
k	Boltzmann Sabiti
InSb	İndiyum antimon
InAs	İndiyum arsenid
InGaAs	İndiyum galyum arsenid
K	Şiddet çarpanı
kg	Kilogram

Simgeler	Açıklama
kW	Kilo watt
keV	Kilo elektron volt
kVA	Kilo volt amper
$l_{1,...,n}$	Sürüklenme tüpünün uzunluğu
Li F	Lityum florid
m	Metre
m	Elektronun kütlesi
mA	Miliamper
MeV	Mega elektron volt
MHz	Mega hertz
mJ	Milijoule
mm	Milimetre
mrad	Miliradyan
ms	Milisaniye
MV	Mega volt
MW	Mega watt
MeV	Mega elektron volt
N_2	Azot
Nd:YAG	Neodyum yitrium alüminyum garnet
Nd:YLF	Neodyum yitrium lityum florid
Ne	Neon
nm	Nanometre

Simgeler	Açıklama
P	Malzemede indüklenen kutuplaşma
PbS	Kurşun sülfür
PbSe	Kurşun selenid
ns	Nanosaniye
pC	Pikocoulomb
ps	Pikosaniye
P_{dis}	RF güç kaybı
R_s	Kavite yüzey direnci
s	Saniye
Si	Silisyum
Si_3N_4	Silisyum nitrür
T	Metalin sıcaklığı
T	Paketçik aralığı
THz	Tera Hertz
Ti:Safir	Titanyum safir
V	Volt
W	Watt
$Y_2Al_5O_{12}$	Yitriyum Alüminyum Garnet
$ZnGeP_2$	Çinko germanyum difosfat
ZnSe	Çinko selenid
λ	Dalgaboyu
λ_u	Salındırıcı magnet periyodu

Simgeler	Açıklama
Φ	İş fonksiyonu
μJ	Mikro joule
μm	Mikro metre
μs	Mikro saniye
ν	Frekans
σ	İletkenlik katsayısı
μ_0	Statik dipol
μ	İndüklenmiş dipol
Π	Pi sayısı
f_{RF}	RF frekansı
θ_w	Parçacığın ideal yörüngede aldığı yol
L_C	Rezonatör uzunluğu
v	Elektron demetinin hızı
λ_{lazer}	Demet dalga boyu
γ_e	Elektron demetinin Lorentz faktörü
θ	Elektron geliş açısı
α	Moleküler elektronların kutuplanabilirliği
β	Birinci dereceden yüksek kutuplanabilirlik
γ	İkinci dereceden yüksek kutuplanabilirlik
$^{\circ}C$	Santigrad
χ	Lineer duyarlılık
ϵ_0	Elektriksel geçirgenlik

Kısaltmalar	Açıklama
AR-GE	Araştırma ve Geliştirme
CCD	Çiftlenmiş Yük Cihazı (Charge Coupled Device)
CLIO	Fransa Orsay'daki Kızılötesi Lazer Merkezi
DAQ	Data Acquisition
DC	Doğrusal Akım
DFG	Fark Frekans Üretimi (Difference Frequency Generation)
DFT	Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DR	Çift Rezonans
DR-SFG	Çift Rezonans Toplam Frekans Jenerasyonu
FEL	Serbest Elektron Lazeri
FEL-PAS	Photoacoustic Spectroscopy
FELICE	Kavite İçi Deneyler için Serbest Elektron Lazeri
FELIX	Kızılötesi Çalışmalar için Serbest Elektron Lazeri
FIR	Uzak Kızılötesi
FTICR	Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance
FTIR	Fourier Dönüştürücü Kızılötesi
IR	Kızılötesi
IR-MALDI	Infrared Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization

Kısaltmalar**Açıklama****IR-MAPLE**Infrared Matrix Assisted Pulsed Laser
Evaporation**IR OPO**

Infrared Optical Parametric Oscillator

IR-REMPIInfrared Resonance Enhanced Multiphoton
Ionization**IR-SEL**

Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri

MIR

Orta Kızılötesi

MPD-ICR

Multifoton Dağılımı / İon-Siklotron Rezonans

NIR

Yakın Kızılötesi

Nİ

Normal İletken

OPA

Optical Parametric Amplifiers

PPT

Pump-Probe Technique

RBS

Rutherford Backscattering Spectrometry

RF

Radyo Frekans

S-SNOM

Yakın Alan Mikroskopisi

SASE

Kendiliğinden Genlik Artımlı Yayınım

SEL

Serbest Elektron Lazeri

SF

Toplam Frekans

SFG

Toplam Frekans Jenerasyonu

SHG

Second Harmonic Generation

Sİ

Süperiletken

SPR

Yüzey Plazmon Rezonansı

TARLATurkish Accelerator And Radiation Laboratory
at Ankara

Kısaltmalar**Açıklama****TAC**

Turkish Accelerator Center

THM

Türk Hızlandırıcı Merkezi

USB

Universal Serial Bus

USA

Amerika Birleşik Devletleri

UPS

Uninterruptible Power Supply

UV

Ultraviyole

VIS

Görünür Işık

YUUP

Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Proje

2C-SFG

İki Renkli Toplam Frekans Jenerasyonu

1. GİRİŞ

21. yüzyıla yön veren jenerik teknolojiden biri olan parçacık hızlandırıcıları, yüklü temel parçacık (elektron, proton, pozitron, antiproton, müon v.b.) demetlerini istenen kalitede ve hedeflenen enerjilere hızlandıran donanımlardır. Parçacık hızlandırıcıları doğrusal ve dairesel olmak üzere iki çeşittir. Dairesel hızlandırıcıların mikrotron, betatron, siklotron ve sinkrotron olarak bilinen tipleri vardır. Hızlandırılmış parçacık demetleri çarpışan demet veya sabit hedef deneylerinde kullanıldıktan sonra parçacık dedektörleri aracılığı ile toplanan veriler deneysel sonuçlara ulaşmak için analiz edilmektedir. Yüklü parçacık demetlerinin özel yapılı çok kutuplu magnetlerden geçirilmesi ile sinkrotron ışıınımı ve serbest elektron lazeri olarak adlandırılan ışıınımlar elde edilir. Bu ışıınımlar çok geniş bir spektrumda araştırma ve uygulamada kullanılmaktadır [1,6].

Parçacık hızlandırıcıları temel parçacık fiziği, nükleer fizik ve yüksek enerji fiziği deneylerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra malzeme fiziğinden yüzey fiziğine, x-ışıınlarından nötron terapisine, proton terapısından iyon implantasyonuna, gıda sterilizasyonundan izotop üretimine, nükleer atıkların temizlenmesinden toryuma dayalı nükleer santrallere, biyoteknolojiden nanoteknolojiye, gen biliminden savunmaya, ağır iyon füzyonlarından plazma ısıtılmasına kadar yüzlerce kullanım alanı bulunmaktadır [1,38].

Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde 11 üniversitenin (Ankara Üni., Gazi Üni., İstanbul Üni., Boğaziçi Üni., Doğu Üni., Uludağ Üni., Osmangazi Üni., Dumlupınar Üni., Erciyes Üni., Niğde Üni. ve S.Demirel Üniversitelerinin) katkı ve çalışmaları ile yürütölen, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen YUUP (Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Proje) projesi kapsamında kurulumu devam eden Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) IR SEL tesisi süperiletken doğrusal hızlandırıcıya dayalı ışıınım kaynağı olarak ölkemizde bir ilk olacaktır. Bu laboratuarda biyoteknoloji, medikal fizik, malzeme bilimi, atom ve moleköl fiziği, nanoteknoloji, yarıiletkenler ve kuantum kuyuları ile foto-kimyasal süreçlerin incelenmesi gibi bir çok alanda araştırma yapılması planlanmaktadır [9].

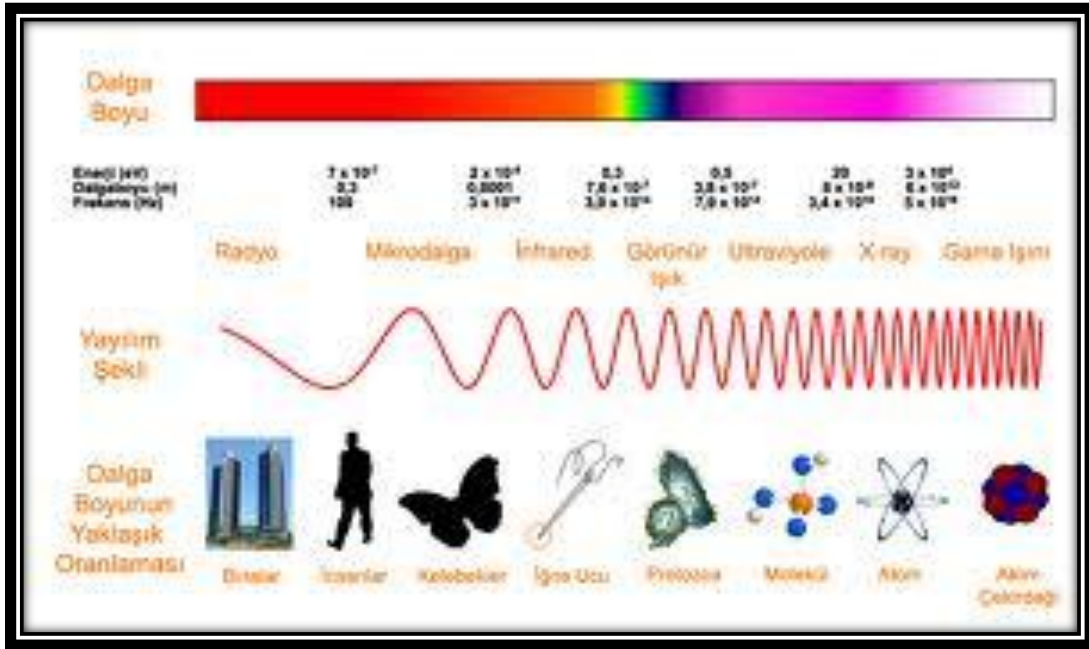
Bu tez çalışması kapsamında; süperiletken doğrusal elektron hızlandırıcısından elde edilen kızılötesi serbest elektron lazerinin (IR SEL) çalışma prensibi genel olarak tanımlanmıştır. Ankara Üniversitesi Gölbaşı kampüsünde kurulumu devam eden TARLA tesisi deney istasyonlarında 2,5-250 μm arasında ayarlanabilir dalga boylu SEL kullanılarak uygulanacak olan Toplam Frekans Jenerasyonu tekniği ve bu teknikle yapılabilecek olan deneyler anlatılmaktadır.

TARLA'da kurulacak deney istasyonlarından biri olan doğrusal olmayan optik laboratuvarlarının tasarımı, laboratuvar ortamının gereksinimleri belirlenmiş ve burada araştırmacılar tarafından gerçekleştirilecek deneylerde kullanılacak deney aletleri ve diğer optik malzemeler araştırılmıştır.

Dünyada doğrusal hızlandırıcıdan elde edilen IR SEL kullanarak çalışmalar yapan CLIO (Fransa), FELIX (Hollanda) araştırma merkezleri ve bu merkezlerde toplam frekans jenerasyonu tekniği kullanılarak yapılan çalışmalar araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Elektromanyetik Spektrum ve Kızılötesi Bölge



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik dalgalar, çok uzun dalgalılarına sahip radyo dalgalarından, atomun boyutundan daha küçük olan kısa dalgalılarına sahip gama ışınlarına kadar değişmektedir.

Elektromanyetik dalgalar, dalgalılarına, frekans ve enerjilerine göre tanımlanmaktadır. Bu üç nicelik Eş. 2.1 ile birbirlerine bağlıdır.

$$E=h\nu=hc/\lambda \quad (2.1)$$

E=enerji (J)

h (Planck sabiti)= $6,626 \times 10^{-34}$ (J.s)

ν =frekans (s^{-1})

c (ışık hızı)= 3×10^8 (m/s)

λ =dalga boyu (nm, $\mu\text{m}..$)

Bir elektromanyetik spektrum en uzun dalgaboyundan en kısa dalgaboyuna sırasıyla ifade edilirse, radyo dalgaları, mikrodalga, kızılötesi, görünür bölge, morötesi, x-ışınları ve gama ışınları şeklinde sıralanmaktadır. Şekil 2.1’de elektromanyetik spektrumdaki ışınımın dalga boyları, frekansları ve enerjileri görülmektedir [3].

1-1000 μm arası kızılötesi bölge olarak adlandırılır.

Yakın IR bölgesi: 1- 2,5 μm . Titreşim üst ton ve kombinasyon bandlarının bulunduğu bölge olup titreşimle ilgili çok fazla bilgi vermez. Reaksiyon izlemede kullanılabilir.

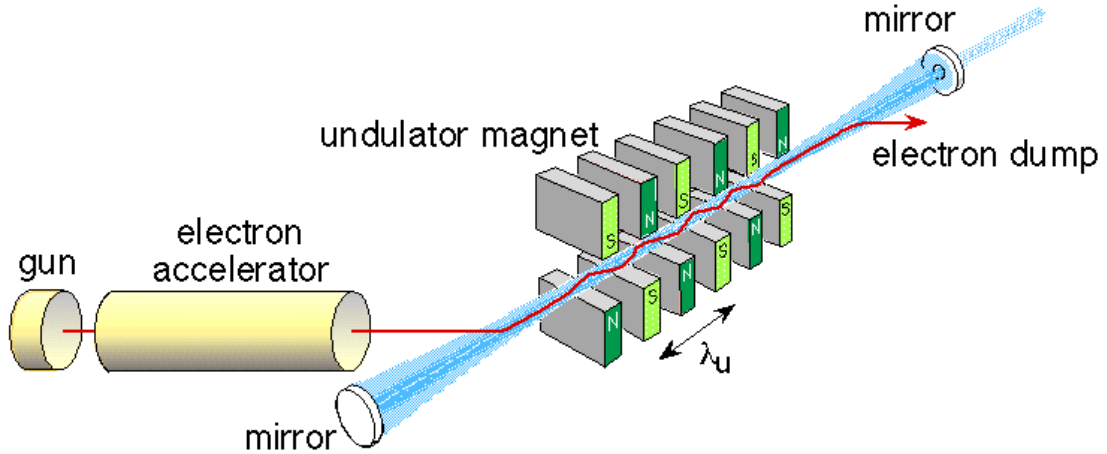
Orta IR bölgesi: 2,5- 50 μm . Bu bölge titreşim spektroskopisinde en yoğun kullanılan bölge olup parmak izi bölgesi olarak adlandırılır.

Uzak IR bölgesi: 50-1000 μm . Bu bölge metal ametal bağlarını içeren anorganik bileşiklerin yapılarının aydınlatılması açısından önemlidir. Metal-metal bağı gibi kuvvetli bandlar da gözlemlenebilir [2].

2.2. SEL’in Elde Edilmesi

Elektron tabancasından çıkan rölativistik hızlarda serbest olarak hareket eden bir elektron demetinin, kutupları arasında sinüzoidal bir manyetik alan bulunan, salındırıcı mıknatıstan geçerken kinetik enerjisinin bir kısmını elektromanyetik ışıma yoluyla optik alana aktarması sonucu ayarlanabilir dalga boylu, yüksek akı ve parlaklık değerlerine sahip monokromatik lazer ışınımı oluşur. Bu şekilde oluşan lazerlere, Serbest Elektron Lazerleri (SEL) denir.

Serbest elektron lazerinin elde edilmesinde sırasıyla elektron tabancası, paketleyici, hızlandırıcı, salındırıcı ve optik kavite kullanılmaktadır [3].



Şekil 2.2. SEL'in elde edilmesi

2.2.1. Elektron tabancası

Kaynağı filament(katot) olan elektron demetleri elektron kaynakları tarafından üretilir. Parçacık hızlandırıcıları için elektron demeti üreten bu kaynaklardan biri olan elektron kaynakları üretim mekanizmasına göre sınıflandırılabilirler.

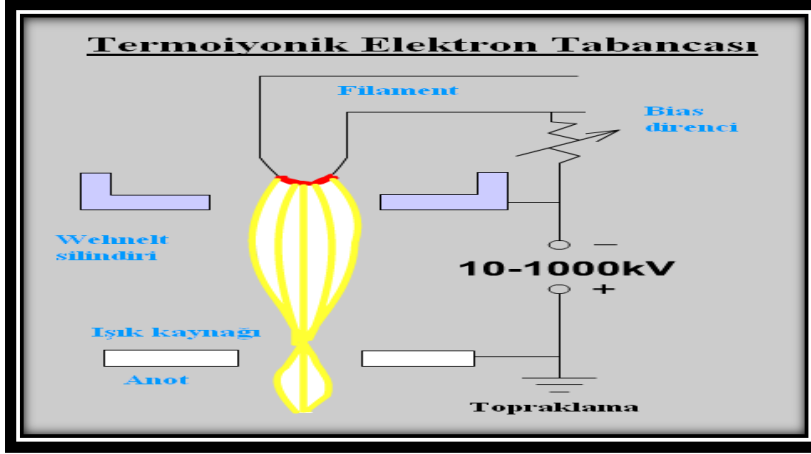
Elektron kaynak çeşitleri:

- Termoionik emisyon
- Yüksek alan emisyonu
- Fotoelektrik emisyonu

Termoionik emisyon

Yüksek erime noktası ve düşük iş fonksiyonuna sahip malzemeden yapılan filament elektron akışı gerçekleşene kadar ısıtılır. Wehnelt silindrine birkaç yüz voltluk negatif bir potansiyel uygulanırken, anota pozitif bir elektriksel potansiyel uygulanır. Elektronlar anota doğru hareket ederken, katot tarafında yayılan elektronların bir kısmı Wehnelt silindiri tarafından geri itilirler. Elektronlar pozitif potansiyel ile aşağı doğru hızlandırılıp anot üzerindeki delikten çıkarlar (Şekil 2.3).

Flament akımı, flament sıcaklığı ile birlikte yayınlanan elektronların sayısını kontrol eder. Flamentin küçük bir bölgesinden elektronların yayınlanması istenilir. Demet akımının yükselmeyeceği noktaya gelene kadar flament akımı artırılır. Bias potansiyeli flamentte elektronların yayınlanacağı bölgeyi kontrol etmektedir.



Şekil 2.3. Termiyonik tabanca düzeneği

Uygulanan herhangi bir $T(K^0)$ sıcaklığında yüzeyden yayınlanan elektronların maksimum akım yoğunluğu Richardson-Dushman denklemi ile verilir :

$$J = B_0 \cdot T^2 \cdot e^{(-\Phi / kT)} \text{ [Amper/cm}^2\text{]} \quad (2.2)$$

J = Akım yoğunluğu (Amper/cm²)

B_0 (Richardson-Dushman Sabiti) = 120 A cm⁻² K⁻²

k (Boltzmann Sabiti) = 1,371 x 10⁻²³ Joule /Kelvin

Φ = İş fonksiyonu (eV)

T = Metalin sıcaklığı (Kelvin)

Eş. 2.2 'de önemli olan iki parametre iş fonksiyonu ve metalin sıcaklığıdır. İş fonksiyonu mümkün olduğu kadar düşük, metalin sıcaklığı ise yüksek tercih edilmelidir.

Yüksek alan emisyonu

Alan emisyonlu elektron kaynaklarında, metal filamentten elektronları çıkarmak için 10^9 Vm^{-1} mertebesinde çok güçlü elektrik alanlar kullanılır. Sıcaklık termiyonik emisyonlu kaynaklara oranla daha düşüktür. Ancak kaynak parlaklığı olarak ifade edilen katı aç başına akım yoğunluğu termiyonik emisyondan daha yüksek olup yüksek vakum gerektirmektedir.

Fotoelektrik emisyon

Bir malzemenin iş fonksiyonundan daha yüksek enerjili bir foton, malzeme yüzeyine çarptığında elektronun emisyonuna sebep olur. Emisyonu sağlayacak maksimum foton dalga boyu $\lambda = 1240/\Phi$ olup burada Φ iş fonksiyonu ve λ nanometre mertebesinde dir. Fotondan gelen fazla enerji elektrona kinetik enerji olarak aktarılır. Gelen foton başına yayınlanan elektronların oranı kuantum verimliliği olarak adlandırılır. Katodun kontamine olması veya hasarlanması durumunda kuantum verimliliği azalacaktır.

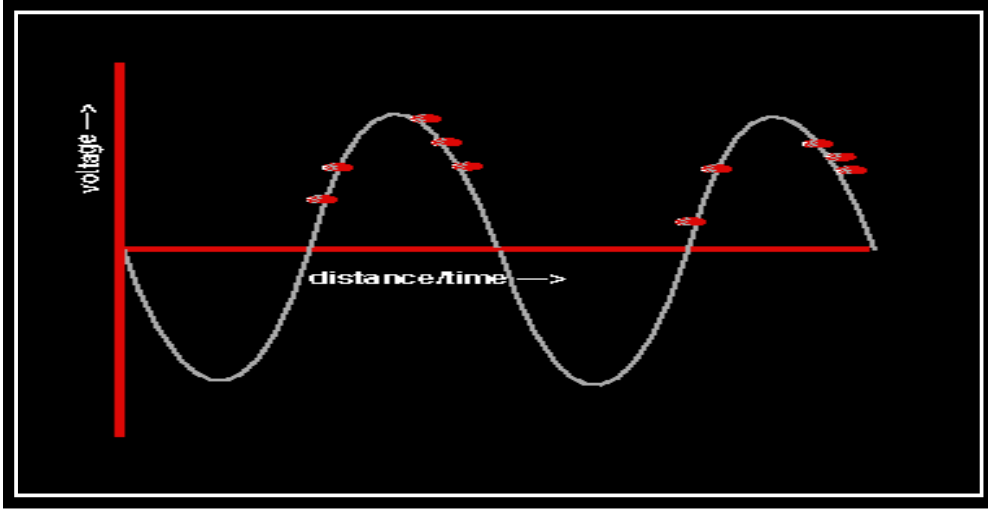
Çoğu metalden elektron koparmak için yeterli olan minimum foton enerjisi $\sim 6 \text{ eV}$ dir [4].

2.2.2. Paketleyici

Paketleyici, elektron kaynağından çıkan elektron demetini paketleyerek demetin frekans değerini arttırıp dalga boyunu azaltarak hızlandırmada kullanılır. Kaynaktan gelen elektron öncelikle alt harmonik paketleyiciye aktarılır. Elektron demetini yüksek hızlara çıkmak için kullanılan elektromanyetik alan da B manyetik alan bileşeni enine, E elektrik alan bileşeni boyuna elde edilir. Elektromanyetik alanın salınım frekansı radyo dalgası mertebesinde olduğundan bu yapılar RF oyuklar olarak da adlandırılır.

Şekil 2.4' de gösterildiği gibi ,mikrodalganın tepesinde iken dalgadan daha fazla enerji alıp daha fazla hızlanan elektronlar daha alçakta yavaş ilerleyen elektronlara yetişirler.

Dalganın alçak seviyelerinde bulunan elektronlar ise, yukardaki elektronların aksine hızlarını yavaşlatırlar ve böylece elektron paketçisine geri çekilerek paketçikler biçimlenmeye başlar.



Şekilde 2.4. Mikrodalga içinde hareket eden elektronlar

Alt harmonik paketleyicide biçimlenen elektron paketçiklerinin frekans değerleri lineer hızlandırıcıya girmek için yeterli olmadığından daha yüksek frekans değerlerine çıkmak için çalışma sistemi alt harmonik paketleyici ile benzer olan ana paketleyiciye girerler.

Ana paketleyici, daha yüksek RF frekansına sahip olup elektron demetlerinin yayınımlarını daha da küçülterek paketçisi sıkıştırmaya çalışır. Sıkışan paketçiklerin hızları bir miktar daha artar ve hızları artan elektronlar lineer hızlandırıcıya sokulurlar [5,39].

2.2.3. Hızlandırıcı

Ana paketleyiciden çıkan elektron paketçikleri doğrusal hızlandırıcılarda hızlandırılıp rölativistik hızlara çıkarıldıktan sonra optik kaviteye giriş yapar.

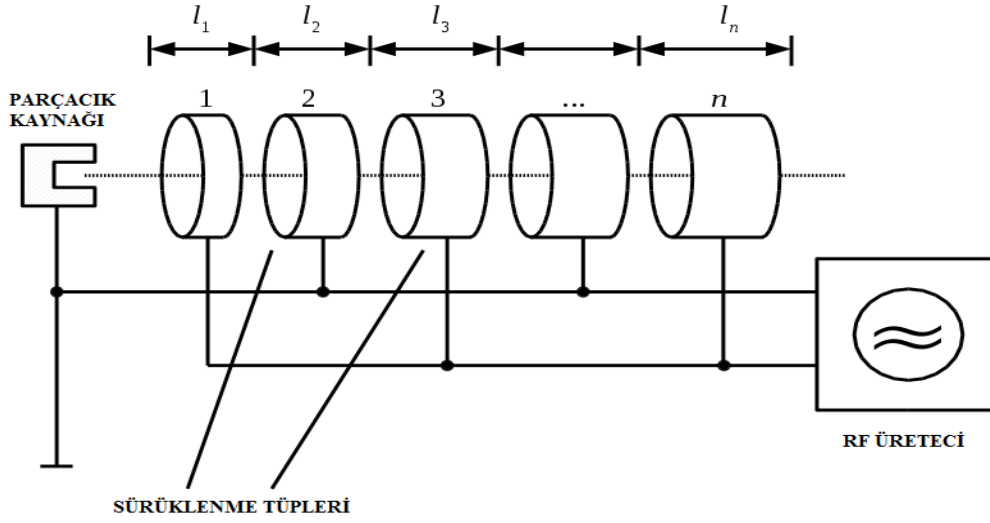
Lineer hızlandırıcılarda kullanılan kavite süperiletken (Sİ) ve normal iletken (Nİ) olmak üzere 2 çeşittir. Son derece iyi iletken olan bakır, gümüş ve altın süperiletkenlik göstermektedir [5,40].

Çizelge 2.1. Süperiletken kavitenin avantajları ve dezavantajları

SÜPERİLETKEN KAVİTENİN AVANTAJLARI	SÜPERİLETKEN KAVİTENİN DEZAVANTAJLARI
Hızlandırıcının büyüklüğünü azaltır.	Süperiletken magnetler diğer magnetlere göre çok daha pahalıdır. Ayrıca ekstra soğutma masrafları da vardır.
Güç tüketimini azaltır.	Eğer sadece önemli tasarruf varsa kullanılmalıdırlar, çünkü karmaşıklığı da beraberinde getirirler. (magnet koruması, soğutma sistemi vb.)
Etkileşme bölgelerinde yüksek alan ve yüksek alan kaliteli magnetler hızlandırıcının ışık şiddetini önemli ölçüde zenginleştirir.	Çok yüksek enerjili çarpıştırıcılarda ve depolama halkalarında sinkrotron radyasyonu da dikkate alınmalıdır.
Bu durumda magnetin maliyeti büyük olabilir fakat bunun deneycilere dönüşümü yüksektir.	

Süperiletken kavitelerde yüzey direnci düşük olduğundan dolayı RF güç kayıpları çok düşüktür ve sürekli mikro paketçikler oluşturabilirler. Mikro paketler 1,3 GHz oranına kadar sıkıştırılabilirler yani 1,3GHz’de yaklaşık 43 elektron paketi sıkıştırılabilir.

Normal iletken hızlandırıcıların çalışma prensibi RF salınımlı alanlara ve sürüklenme tüplerine dayanır lineer hızlandırıcılarda parçacıklar doğrusal yörüngeler boyunca hızlandırılırlar. Hızlanmanın gerçekleşebilmesi için parçacığın RF alan ile aynı yönde ivme kazanması gerekir. Negatif yönlü ivmelendirmeyi engellemek için, alanın ters işaretli yarı periyodu boyunca parçacık demeti bulunmamalıdır. Bu durum, demet yolunun metalik sürüklenme tüpleriyle çevrelenmesiyle sağlanır.



Şekil 2.5. Wideroe doğrusal hızlandırıcısının şematik yapısı

RF alanı kullanan Sİ hızlandırıcılarda, ortalama akım yüksek iken düşük değerli pik akımına sahiptir. Ortalama güç normal iletken hızlandırıcılardan elde edilen lazerden yaklaşık 100 kat daha fazladır.

Hızlandırıcılarda, kavite direncinden dolayı oluşacak RF güç kayıpları

$$P_{dis} = \int_{kavite} R_s |H(r, \theta, z)|^2 dz \quad (2.3)$$

eşitliği ile verilir. Burada $H(r, \theta, z)$ kavite içinde salınan RF alanının magnetik alan bileşeni, R_s kavite yüzey direncidir.

Nİ hızlandırıcılarındaki kavite yüzey direnci ise,

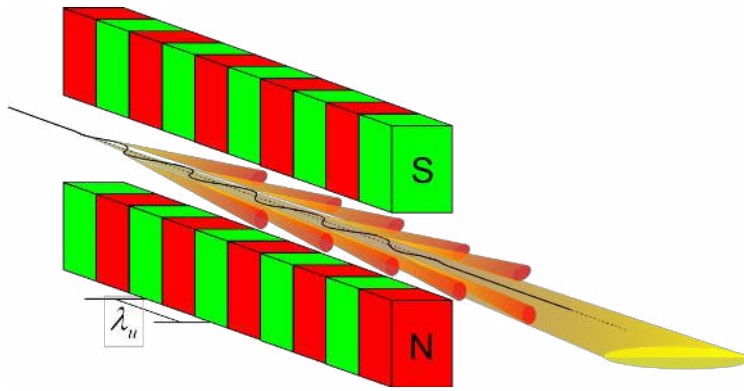
$$R_s = \sqrt{\mu_0 \Pi f_{RF} / \sigma} \quad (2.4)$$

olarak ifade edilir.

Burada, σ iletkenlik katsayısıdır[5-6].

2.2.4. Salındırııcı (Undulator) Magnet

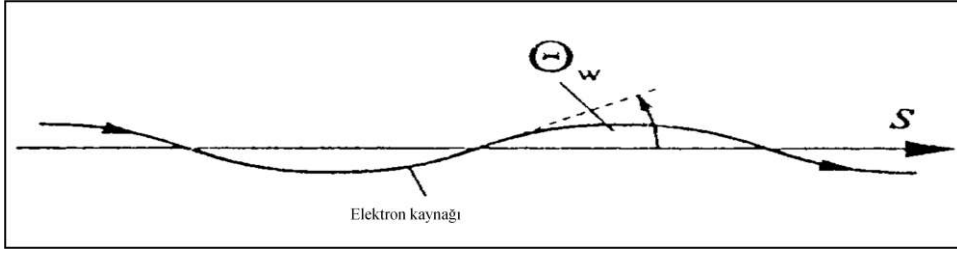
Işınının yoğun ve olabildiğince koni özelliğinde oluşması için zigzaglayıcı (wiggler) ve salındırııcı magnetler kullanılır. Hızlandırııcıdan çıkan yüklü parçacıklar bu magnetler sayesinde yüksek güç ve parlaklığa sahip tek enerjili ve koharent foton demetleri haline gelir.



Şekil 2.6. Salındırııcı (undulator) magnetin şematik görünümü

Salındırııcılar, elektron demetini zıt kutuplu magnetlerden geçirerek sinüsel hareket yapmasını sağlar. Salındırııcı içerisindeki magnetler eksen boyunca her biri zıt kutuplu olarak karşılıklı dizilir ve g gap aralığı ile birbirlerinden ayrılırlar.

Salındırııcının en önemli faktörü magnetik alandır. Bir salındırııcı magnetik alanı λ_u periyot uzunluğunda ve demet eksenı boyunca periyodiktir. Elektronlar salındırııcı magnette s eksenı boyunca yol alırken yatay salınım hareketini indükleyen $B_z(s)$ alanı ile karşılaşılır. Bu manyetik alan boyuna hız bileşeninde periyodik değişime neden olur. Bu durum parçacığın s eksenı boyunca olan hız bileşeni ile birleştiğinde yatay eksen yönünde eğilmeler meydana gelir. Parçacığı ideal yörüngesinde tutacak olan maksimum açı ; θ_w 'dir.



Şekil

2.7. Salındırııcı magnet içerisindeki parçacık yörüngesi

$$\theta_w = x'_{max} = \frac{K}{\gamma} \quad (2.6)$$

$$K = \frac{\lambda_u e B}{2\pi m c} \quad (2.7)$$

K: salındırııcı kuvvet parametresi

B : magnetik alan

e : elektronun yükü

m : elektronun kütlesi

c : ışık hızı

λ_u : salındırııcı periyodu

Burada $K=1$ olan bir zigzaglayıcı ya da salındırııcı magnet içerisinde $\theta_w=1/\gamma$ 'dır. Bu aslında sinkrotron ışınımının doğal yayılma açısıdır.

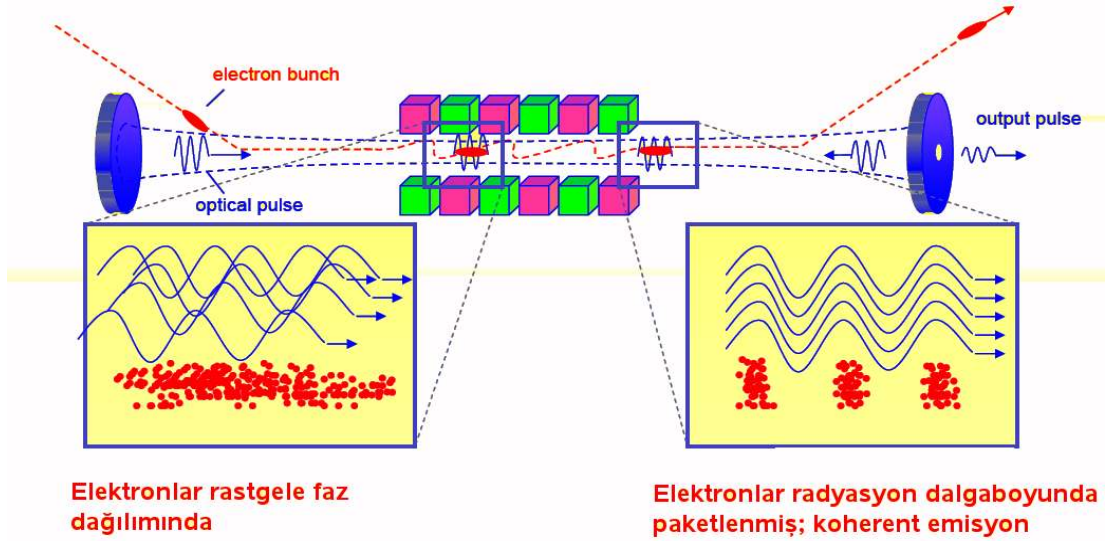
K' nin çok küçük değerleri için s eksenı boyunca olan hareket çok küçük olup, yatay eksen yönünde basit salınımlar yapar. K değeri arttıkça yatay genlik lineer olarak artarken boyuna hareket değişimi, değişimin karesi olarak artar.

Salındırııcı magnetlerde eğicilik çok zayıftır, bu sebeple çok küçük bir yayılma açısı ile bütün ışımaya neredeyse paralel olmaktadır. Zigzaglayıcı magnetler daha kuvvetlidir ve geniş bir spektrumda ışımaya yaparlar [6].

2.2.5. Optik kavite

Rölativistik hızlardaki elektron demeti salındırııcıya girdiğinde, sinüsel değişen salındırııcı manyetik alanını kendisine doğru yaklaşan fotonlar olarak algılar ve elektronların durgun çerçevesinde elektronlarla çarpan bu sanal fotonlar saçılarak

gerçek foton oluşturlar. Her bir salındırıcı kutbunda oluşan bu fotonlar iki ayna arasına hapsedilir ve salındırıcıya giren yeni elektronlar ile etkileşmeye devam ederler. Belli bir noktada doyuma ulaşan fotonlar aynalardan birinden dışarı alınır. Bu iki aynanın oluşturduğu sisteme optik kavite adı verilir.



Şekil 2.8. Saçılan radyasyon ile elektronun paketlenmesi

SEL verimi, kararlılığı ve çiftlenmiş çıkış sinyalinin demet kalitesini maksimize etmek için mod kontrollü optik bir kaviteye sahip olmak gerekir.

Yansıtıcılık ve geçirgenlik özelliklerini istenilen değerlerde elde edebilmek için hem ayna malzemesi hem de kaplaması önem taşımaktadır. Ayna malzemesi genelde altın veya gümüş ile kaplanmış bakır veya silisyum olabilir.

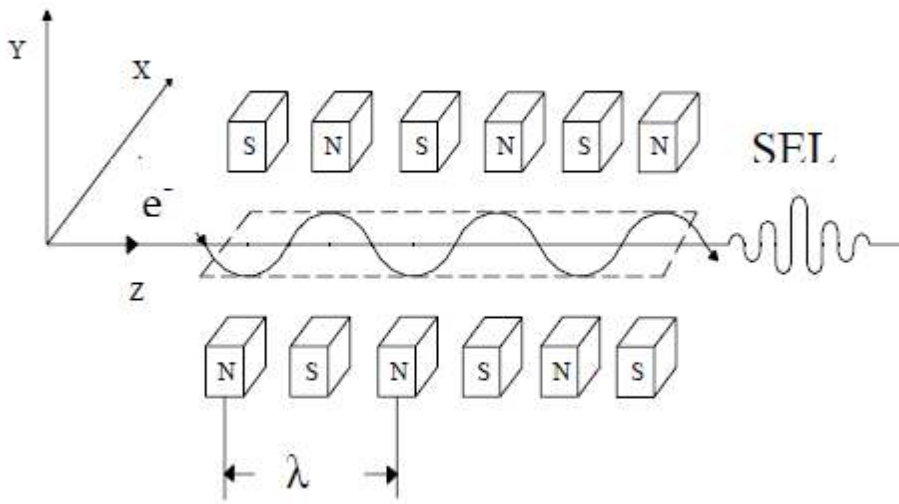
Optik kavitenin en önemli parametresi, aynalar arası mesafe olan rezonatör uzunluğu,

$$L_c = \frac{vT}{2} = \frac{v}{2f} \quad (2.8)$$

olarak tanımlanır. Burada, T paketçik aralığı; f mikro paketçik tekrarlama frekansı ; v elektron demetinin hızıdır [7-8].

2.3. Serbest Elektron Lazeri (SEL)

Serbest elektron lazeri (SEL), lineer hızlandırıcı veya sinkrotronlardan elde edilen rölativistik elektron demetlerinin çok kutuplu olan ve kutupları arasına sinüsel bir magnetik alanın uygulandığı salındırıcı magnetlerden geçirilmesi yoluyla elde edilen monokromatik, dalga boyu ayarlanabilir, yüksek akı ve parlaklık değerlerine sahip 4. nesil ışınım kaynaklarıdır [3,7].



Şekil 2.9. SEL'in elde edilmesi

Serbest elektron lazerinin elde edililişinin şematik gösterimi Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Elde edilen foton demetinin dalga boyu elektron demetinin enerjisine ve undulatörün kutup periyoduna bağlıdır. Bir düzlem undulatörden elde edilen SEL için foton demetinin dalga boyu,

$$\lambda_{lazer} = \frac{\lambda_u}{2\gamma_e^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} + \gamma_e^2 \theta^2 \right) \quad (2.9)$$

şeklindedir. Burada, λ_u düzlemsel undulatörün periyot uzunluğu, γ_e elektron demetinin Lorentz faktörü, θ elektronun geliş açısı ile gözlem açısı arasındaki açıdır.

Diğer önemli SEL parametreleri; Eş. 2.7 ile verilen salındırıcı kuvvet parametresi ve foton enerjisi;

$$E_{SEL}(eV) = 950 \frac{E^2(GeV)}{\lambda_u(cm) \left(1 + \frac{K^2}{2}\right)} \quad (2.10)$$

dir [7].

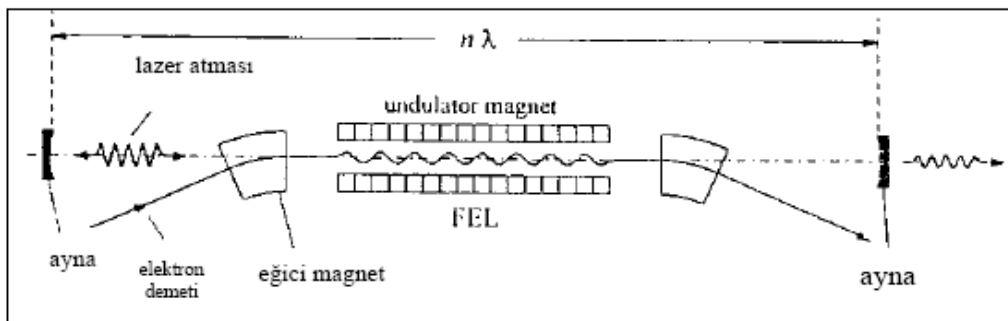
SEL'in geleneksel lazere göre avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Ayarlanabilir dalgaboyu
- Geniş dalgaboyu aralığı: NIR' dan FIR bölgesine kadar
- Atma yapısı: ps mertebesinde
- Ortalama parlaklığı: $\sim 10^{16}$ (foton / (mrad² mm² % 0,1bg))
- Yüksek pik gücü: MW mertebesinde
- Ortalama güç: $\sim W$ mertebesinde [2]

2.3.1 SEL Çeşitleri

Serbest elektron lazeri oluşumlarına göre 3 çeşittir.

Osilatör SEL

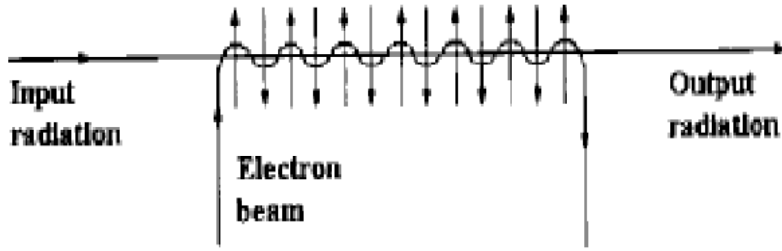


Şekil 2.10. Osilatör SEL oluşumu

Aynalar ile kuşatılmış salındırıcı içerisindeki radyasyon, aynalar ile ileri geri yansıtılırsa, SEL'in çalışma şekli Osilatör SEL olarak adlandırılır.

THM projesi kapsamında elde edilecek serbest elektron lazeri osilatör modda işletilmek üzere tasarlanmıştır.

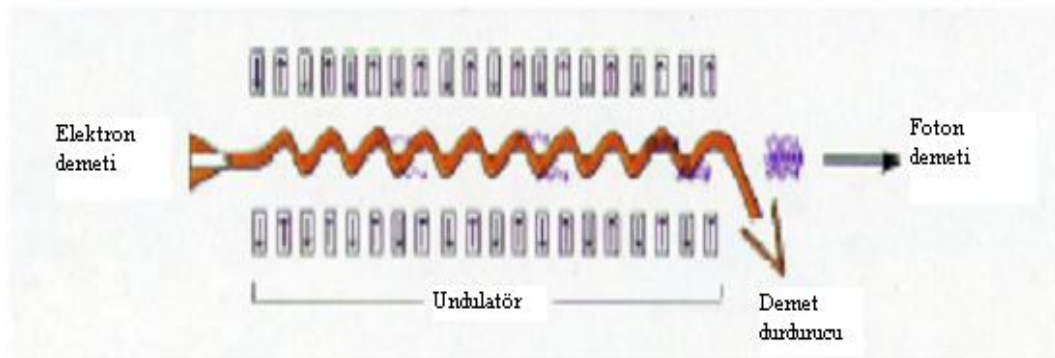
Yükselteç SEL



Şekil 2.11. Yükselteç SEL oluşumu

Burada dıştan bir ışınım uygulanır ve bu ışınım elektron demetleri ile etkileşime girerek SEL'i daha güçlü hale getirir.

Kendiliğinden Genlik Artırmalı SEL (SASE SEL)



Şekil 2.12. SASE SEL oluşumu

Elektron demeti optik kavitesiz uzun bir salıdırıcıdan geçerse, geçiş sırasında lazer alanla etkileşmesi sonucunda ışınlm üretir. Bu işlemdede, kendiliğinden genlik artırımı yayını (SASE) olarak adlandırılır [5,8].

3. TÜRK HIZLANDIRICI MERKEZİ TARLA TESİSİ VE DENEY İSTASYONLARI

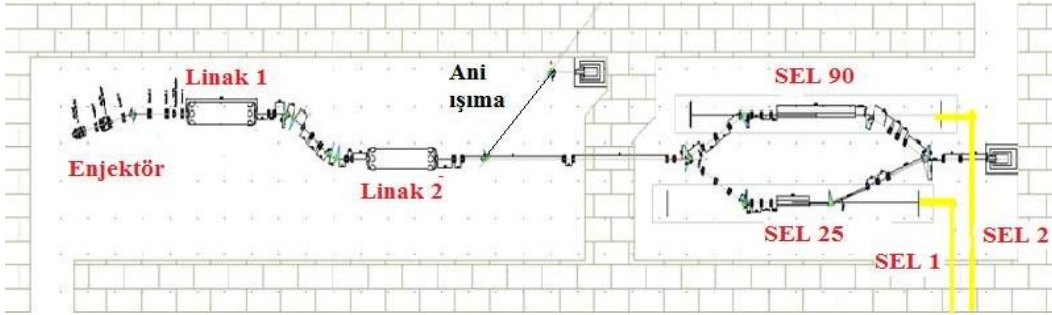
3.1. THM TARLA Tesisi

Devlet planlama teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen, Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde, aralarında Gazi Üniversitesinde yer aldığı 11 Türk Üniversitenin katkı ve çalışmalarıyla yürütülen YUUP projesi kapsamında kurulumu süren, TARLA (Turkish Accelerator and Radiation Laboratory at Ankara) tesisi süperiletken doğrusal hızlandırıcıya dayalı ışınım kaynağı olarak ülkemizde bir ilk olacaktır.

Ülkemizin ilk Ar-Ge amaçlı elektron hızlandırıcısı ve serbest elektron lazeri (SEL) ve frenleme ışınımı tesisinin kurulum çalışmaları devam etmektedir. TARLA adıyla anılmaya başlanan bu tesis herbiri 20 MeV/m gradyenli süperiletken lineer hızlandırıcı modülleri kullanarak elektronların 40MeV'e ulaştırılması ve 2,5 cm ve 9,0 cm periyotlu iki farklı salındırıcı magnet ve rezonatör hattından geçirerek 2,5-250 μm lazer elde edilmesi planlanmaktadır.

Işınım için, Ostim, Ankara'da kurulumu tamamlanan, yüksek ortalama akıma sahip, elektronları maksimum 300 keV' lik enerjiye hızlandıracak olan DC termiyonik bir elektron kaynağı kullanılacaktır. Hızlandırıcı yapı olarak, DESY tarafından üretilen her birinde dokuz hücreli iki adet TESLA oyuğu olan, iki adet süper iletken modül kullanılması planlanmıştır. Periyot uzunlukları 2,5 cm and 9 cm olan, salındırıcı magnet sistemlerinde aynalar arası uzaklık 11,53 metredir.

2,5–250 mikron dalga boyu bölgesinde, yani; yakın, orta ve uzak kızılötesi bölgesinde lazer üretmeyi amaçlayan, TARLA Serbest Elektron Lazeri'nin ana parametreleri aşağıdaki tablolarda verilmektedir [9-11].



Şekil 3.1. THM TARLA tesisinin şematik gösterimi

Çizelge 3.1. Beklenen elektron demeti parametreleri [10]

Parametre	Birim	Değer
Elektron demet enerjisi	MeV	15-40
Maks. Ort. Elektron Demeti Akımı	mA	1
Maks. paketçik yükü	pC	77
Mikro atma (puls) tekrarlama frekansı	MHz	13
Mikro Atma (puls) uzunluğu	ps	0,5-10
Enine emittans	mm.mrad	< 13
Boyuna emittans	keV.ps	< 50
Makro atma (puls) uzunluğu	µs	40 – CW
Makro atma (puls) frekansı	Hz	10- CW

Çizelge 3.2. Beklenen SEL parametreleri [10]

Undulatörler	U1	U2
Dalga boyu[µm]	2-25	18-250
Puls tekrarlama frekansı [MHz]	13	13
Maks Pik Gücü [MW]*	~5	~2,5
Ortalama Güç [W]*	0,1-40	0,1-30
Maks. Atma (Puls) Enerjisi [µJ]*	~10	~8
Atma (puls) uzunluğu [ps]*	1-10	1-10

* SEL 'in dalga boyuna bağlı olacaktır.

3.2. TARLA Deney İstasyonları

Kızılötesi dalga boyuna sahip Serbest Elektron Lazeri'nin ayarlanabilirlik, yüksek güç ve kısa puls özelliklerinden yararlanılarak yapılması planlanan araştırma ve uygulamalar için 5 deney odası bulunacaktır.

- 1 foton diagnostik laboratuvarı
- 4 deney istasyonu

İki undulatörden elde edilecek olan lazer demeti 5 deney istasyonuna optik demet transport sistemleri ile ulaştırılacaktır. IR-SEL sisteminin kurulması ile birlikte başlayacak test işlemleri sırasında, diagnostik odasında lazer demetinin bilimsel kalitesi üzerinde ölçümler yapılacaktır. SEL'in zaman yapısı, şiddeti, spektroskopik band genişliği ve diğer özellikleri sürekli olarak izlenecektir. İkinci laboratuvar toplam frekans jenerasyonu (SFG) ve pompa sonda (PPT) çalışmalarının yapılacağı doğrusal olmayan optik laboratuvarı, üçüncü laboratuvar ise genel IR SEL Spektroskopisi ile malzeme karakterizasyonu ve lazer malzeme işleme konularında çalışmalar yapılacak olan laboratuvar olarak planlanmaktadır. Kalan deney istasyonları Türkiye ve çevre ülkelerdeki kullanıcı potansiyeline göre ele alınacaktır.

5 deney odasında kurulması öngörülen laboratuvarlarda yapılacak çalışmaları şu ana başlıklar altında sıralanabilir:

- Foton Bilimi
- Malzeme Fiziği
- Yarıiletken Çalışmaları
- Biyoteknoloji ve Medikal Araştırmalar
- Doğrusal Olmayan Optik Çalışmaları
- Nanoteknoloji
- Fotokimya Çalışmaları [9,12-13].

İlk laboratuvar olan foton diagnostik elde edilen foton demetinin ayarlanabilmesini, karakterize edilebilmesini ve deneycilere ihtiyaç duydukları temel demet parametreleri bilgisini sağlar.

Demetin bilinmesi gereken parametreleri;

- spektral dağılımı
- şiddeti
- istatistiksel özellikleri
- konumu
- varış zamanı
- puls aralığı
- koherentliğidir

Ölçülecek demet parametreleri çok çeşitlidir. Aynı parametreler farklı aygıtlar tarafından belirlenebilir. Diğer taraftan birkaç parametre de tek bir aygıt ile belirlenebilir.

Elde edilen foton demeti önce demet hatları üzerinde ölçülür, sonra detaylı ölçümleri yapılmak üzere kullanıcı laboratuvarlarından önce kurulan foton diagnostik istasyonuna taşınır.

Demet hatları, foton demetinin lineer polarizasyonunu koruyup, hava tarafından soğurulmaya uğramadan taşınmasını sağlayan yüksek vakumlu borulardır. Foton demeti, demet hatları içerisinde mercekler tarafından odaklanır ve aynalar yardımı ile diagnostik ve deney istasyonlarına taşınır [13].

İkinci laboratuvar, SEL in yüksek pik gücü, kolay ayarlanabilirliği ve ps zamanlı olma özellikleri kullanılarak özellikle yarıiletken ve malzeme biliminde araştırmalar yapılacaktır.

Bu deney istasyonunda genel olarak bulunacak sistemleri sıralarsak:

Optik masa, aynalar, lensler, mikroskop, FTIR spektrometresi, dedektörler, 6 tesla dan büyük magneto-cryostate, lazerler; ayarlanabilir Ti:Safir lazer ps/fs modda çalıştırılabilen düzeltici yükselteçler gibi sistemlerdir.

Bu laboraturda doğrusal olmayan optik çalışmaları gerçekleştirebilmek için SFG ve PPT kullanılması düşünülmektedir.

Yapılacak deneyler şu şekilde sıralanabilir:

- Katılma fiziğinde lineer olmayan metotlar üzerinde çalışılması.
- Yarıiletkenlerin elektriksel ve optik özelliklerinin incelenmesi.
- Malzemenin yapı analizi, kimyasal yapılar ve yüzey çalışmaları.
- Time-resolved spectroscopy deneyleri [12].

Bu deney istasyonunda ayrıca SEL foton sinyalinin görünür sinyal sayesinde zamanlamasının ölçülmesi ve senkronizasyonun da yapılması düşünülmektedir. Bu ölçümler Ti:safir lazer gibi klasik lazerin de kullanılacağı PPT ve SFG çalışmalarının yapılacağı doğrusal olmayan optik laboratuvarı için oldukça önemli olmaktadır. Çünkü bu çalışmaları gerçekleştirmek için klasik lazer ile SEL'nin birbirine tamamen uyumlu olması gerekmektedir. Bunun için TARLA'da kullanılacak tüm sinyal frekanslarını üretecek fiber lazer gibi bir merkez osilatör sisteminin elektron tabancası yakınına kurulması düşünülmektedir. Bu fiber lazer zamanlama ve senkronizasyon için gerekli olmaktadır. Fotodedeksiyon kullanılarak RF'e dönüştürülen optik sinyallerin fiber optik kablolar yardımıyla gerekli yerlere taşınması planlanmaktadır. Bu sistemin tek dezavantajı sistemin maliyetinin çok yüksek olması ve sistemin karmaşıklığı olmaktadır [14].

Üçüncü laboratuvar, genel kullanıcı laboratuvarı olarak planlanmıştır, IR bölgede her türlü spektroskopi deneyinin yapılabilmesi için gerekli donanım bulunacaktır.

Bu laboratuarda yapılabilecek deneyler, Titreşim Spektroskopisi, Raman Spektroskopisi çalışmalarıdır.

Çevremizde bulunan katı, sıvı ve gaz halindeki maddeler bu laboratuvar ortamında spektroskopik ölçümler ile araştırılabilir [12].

THM IR SEL laboratuvarlarının planı EK-1’de verilmektedir.

IR SEL kullanılarak bazı tekniklerle de uygulamalar yapılmaktadır. Bu teknikleri sıralarsak:

- Sum Frequency Generation (SFG -Toplam Frekans Üretimi)
- Photon Echo Experiment (Foton Yansıma Deneyleri)
- Photoacoustic Spectroscopy (FEL-PAS -Foto Akustik Spektroskopi)
- Pump-Probe Experiments (PPT -Pompa Sonda Deneyleri)
- Infrared Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization (IR-MALDI -Matriks Destekli Kızılötesi Lazer Dezorpsiyon İyonizasyonu)
- Infrared Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation (IR-MAPLE - Matriks Destekli Kızılötesi Atmalı Lazer Buharlaştırma)
- Infrared Resonance Enhanced Multiphoton Ionization (IR-REMPI - Kızılötesi Rezonans Geliştirilmiş Çoklu Foton İyonizasyonu)
- Near Field Microscopy (Yakın Alan Mikroskopisi)
- Distribution of Multifoton-Ion-Cyclotron Resonance (MPD-ICR -Çoklu Foton Dağılımı / İyon-Siklotron Rezonans)
- Mass Spectrometry (MS-Kütle Spektrometresi)
- Vibrational Spectroscopy (Titreşim Spektroskopisi)
- Gas-Phase IR Spectroscopy (Kızılötesi Gaz-Fazı Spektroskopisi)

THM TARLA tesisinde bu tekniklerden Toplam Frekans Jenerasyonu (SFG) ve Pompa Sonda Tekniği (PPT) ile gerekli çalışmaların yapılması planlanmaktadır [9].

4. MATERYAL ve YÖNTEM

Doğrusal olmayan optik; iletişim, optiksel depolama, tıp, optiksel görüntüleme, anahtarlama gibi uygulama alanları olan bir bilim dalıdır. Malzemelerin bu uygulamalarda kullanılabilmesi için doğrusal olmayan optiksel tepkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Doğrusal olmayan optik tepkiler ikinci, üçüncü ve daha yüksek derecelere sahiptirler. Bunlardan ikinci ve üçüncü dereceden olanları günümüzdeki deneysel yöntemlerle belirlenebilmektedir [41].

Toplam Frekans Jenerasyonu tekniğinin özelliklerinden bazıları aşağıda verilmiştir;;

- 6 cm^{-1} ‘den daha büyük spektral çözünürlük
- Maliyet-verim pikosaniye sistem yaklaşımı
- Komple bilgisayar kontrolü
- Yüzey dinamiği izlenmesi
- Yatay bileşende tarama
- 10, 20 ve 50 Hz’de atma tekrarlama oranı [16].

4.1. Toplam Frekans Jenerasyonu Fiziği

Toplam frekans jenerasyonu(SFG), iki demet enerjilerinin toplamına eşit üçüncü bir alan enerjisi üretmek için demetleri ara yüzünde çakıştıran koherent iki optik alanı kullanır. Tipik olarak demetlerden birisi görünür frekansta iken diğeri ayarlanabilir kızılötesidir.

Kızılötesi frekans değiştirilerek üretilen toplam frekans, moleküllerin titreşim yüzeylerindeki spektrumlarını kaydeder. SFG yayılım göstermeyen ve iyi boyutsal,zamansal ve spektral çözünürlüğe sahip bir tekniktir.

Doğrusal olmayan SF tepkinin kökeni bir dipol içeren uygulanan güçlü elektromanyetik alan E dir. İndüklenmiş dipol Taylor açılımı ile tanımlanabilir:

$$\mu = \mu_0 + \alpha E + \beta E^2 + \gamma E^3 + \dots \quad (4.1)$$

μ_0 malzemenin statik dipolü, α moleküler elektronların kutuplanabilirliği, β ve γ sırayla birinci ve ikinci dereceden yüksek kutuplanabilirliktir. Yoğunlaştırılmış bir aşamada dikkate uygun miktarda makroskopik kutuplaşma vardır. Malzemede indüklenen kutuplaşma (polarizasyon) şöyle tanımlanır.

$$P = \epsilon_0(\chi^{(1)}E + \chi^{(2)}E^2 + \chi^{(3)}E^3 + \dots) \quad (4.2)$$

$$P = P^{(1)} + P^{(2)} + P^{(3)} + \dots \quad (4.3)$$

$\chi^{(1)}$ birinci lineer duyarlılık, $\chi^{(2)}$ ve $\chi^{(3)}$ ikinci ve üçüncü dereceden duyarlılıktır. $\chi^{(1)}$, $\chi^{(2)}$ ve $\chi^{(3)}$ sırasıyla α , β ve γ nın makroskopik ortalamasıdır. $\chi^{(1)}$, $\chi^{(2)}$ ve $\chi^{(3)}$ den daha büyüktür. Böylece, sadece uygulanan alan ile molekülde elektronlar tarafından hissedilen alan karşılaştırıldığında, polarizasyon için doğrusal olmayan katkı etkili olur. Böyle güçlü bir alan genellikle sadece lazerler ile başarılabılır. İkinci dereceden kutuplanabilirliği, $P^{(2)}$, ya ikinci dereceden harmonik jenerasyon (SHG) ya da etkilenen alanların frekansına bağlı olan SFG meydana getirir. Eğer alanlar eşit enerjide ise o zaman sonuç SHG olur. Eğer alanlar iki farklı frekanstan oluşuyorsa o zaman sonuç SHG ve SFG olur. SHG veya SFG süreci aşağıda açıklanmıştır:

İndüklenen kutuplaşmalar hakkında çoğu tartışmalar madde ışık etkileşimi için bir elektrik dipol yaklaşımı varsayılır. Bu yaklaşım içinde optik manyetik alan ve çok kutup etkisinin yanı sıra komşu indüklenmiş dipollerin dipolar alanlarından gelen katkılar göz ardı edilir.

Yayınlanan teoriksel ve deneysel SF çalışmalarının çoğunluğu bu etkileri göz ardı etmiş ve bu varsayımların geçerliliğini göstermiştir. Salınımlı bir dalga olarak uygulanan alanın tanımlanması;

$$E = E_1 \cos \omega t \quad (4.4)$$

ω , alanın frekansıdır. İndüklenen polarizasyondan (4.2) denklemi tekrar yazılırsa;

$$P = \varepsilon_0(\chi^{(1)}(E_1 \cos \omega t) + \chi^{(2)}(E_1 \cos \omega t)^2 + \chi^{(3)}(E_1 \cos \omega t)^3 + \dots \quad (4.5)$$

Bazı trigonometrik basitleştirmeler ile tekrar düzenlenirse;

$$P = \varepsilon_0(\chi^{(1)}E_1 \cos \omega t + \frac{\chi^{(2)}}{2}E_1^2(1 + \cos 2\omega t) + \frac{\chi^{(3)}}{4}E_1^3(3\cos \omega t + \cos 3\omega t) + \dots \quad (4.6)$$

Denklem indüklenmiş polarizasyonu, ve dolayısıyla yayılan ışığı, iki veya daha fazla kez orijinal alanın, E, frekansını salındıran terimlerini içerdiğini göstermektedir.

Eğer $P^{(2)}$ düşünülürse;

$$P^{(2)} = \frac{\varepsilon_0\chi^{(2)}}{2}E_1^2(1 + \cos 2\omega t) \quad (4.7)$$

$P^{(2)}$, iki terimden meydana gelir;

$$P^{(2)} = \frac{\varepsilon_0\chi^{(2)}}{2}E_1^2 + \frac{\varepsilon_0\chi^{(2)}}{2}E_1^2 \cos 2\omega t \quad (4.8)$$

DC Alan SHG

Bu nedenle tek bir elektromanyetik alan altında $P^{(2)}$ terimi optik düzeltme olarak bilinen DC alan ve orijinal frekansın iki katı enerjisine eşit bir frekans ile SHG yi oluşturur. Benzer analiz biri görünür diğeri infrared olarak adlandırılan iki alan uygulandığında da yapılabilir. Yüzey elektrik alanı E, iki titreşimli lazer demetlerinin toplamı olarak tanımlanabilir.

$$E = E_1 \cos \omega_{vis}t + E_2 \cos \omega_{ir}t \quad (4.9)$$

Bu durumda ikinci dereceden polarizasyon;

$$P^{(2)} = \varepsilon_0\chi^{(2)}\{(E_1^2 + E_2^2) + E_1^2 \cos 2\omega_{vis}t + E_2^2 \cos 2\omega_{ir}t + \frac{1}{2}E_1E_2 \cos(\omega_{vis} - \omega_{ir})t + \frac{1}{2}E_1E_2 \cos(\omega_{vis} + \omega_{ir})t\} \quad (4.10)$$

Böylece, iki demet bir DC alan meydana getirir. Hem ω_{vis} hem de ω_{ir} için SHG, ω_{vis} ve ω_{ir} arasındaki frekansa eşit bir frekans ile DFG (fark frekans jenerasyonu), ω_{vis} ve ω_{ir} nin toplamına eşit bir frekans SFG etkidir.

İndüklenen ikinci dereceden polarizasyonu alanların doğal salınımı olmadan basitçe açıklayabiliriz;

$$P^{(2)} = \epsilon_0 \chi^{(2)} E_{vis} E_{ir} \quad (4.11)$$

Burada $\chi^{(2)}$, uygulanan iki alan vektörü ile sonuç vektörü $P^{(2)}$ arasındaki ilişkiyi tanımlayan üçüncü dereceden tensördür.

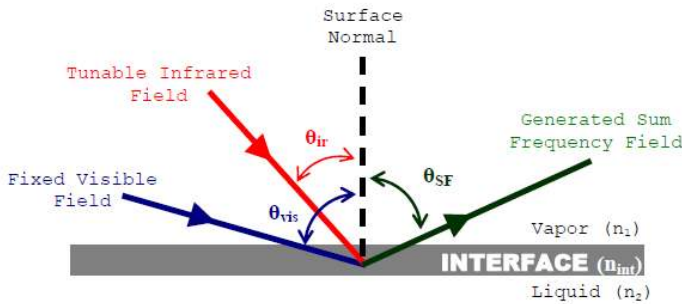
Lineer olmayan duyarlılık $\chi^{(2)}$, non-resonant terim $\chi_{NR}^{(2)}$ ve resonant terim $\chi_R^{(2)}$ nin toplamı olarak tanımlanabilir.

$$\chi^{(2)} = \chi_{NR}^{(2)} + \chi_R^{(2)} \quad (4.12)$$

$\chi_{NR}^{(2)}$, arayüzeyin herhangi bir yerinde malzemelerin özelliğidir ve onun tensöre katkısı yalıtkan sistemler için oldukça küçüktür.

$$n_{SF} \omega_{SF} \theta_{SF} = n_{vis} \omega_{vis} \theta_{vis} + n_{ir} \omega_{ir} \theta_{ir} \quad (4.13)$$

n , ara yüzün kırılma indisine bağlı dalga boyudur. Açıları ve ışın yayılımları Şekil 4.1. 'de verilmiştir [15].



Şekil 4.1. SFG uygulanan ara yüzün açı ve ışın yayılımlarının şematik gösterimi [15]

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. TARLA Doğrusal Olmayan Optik Laboratuvarının Tasarımı

TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarında SFG ve pompa sonda teknikleri kullanılarak çalışmaların yapılması planlanmaktadır.

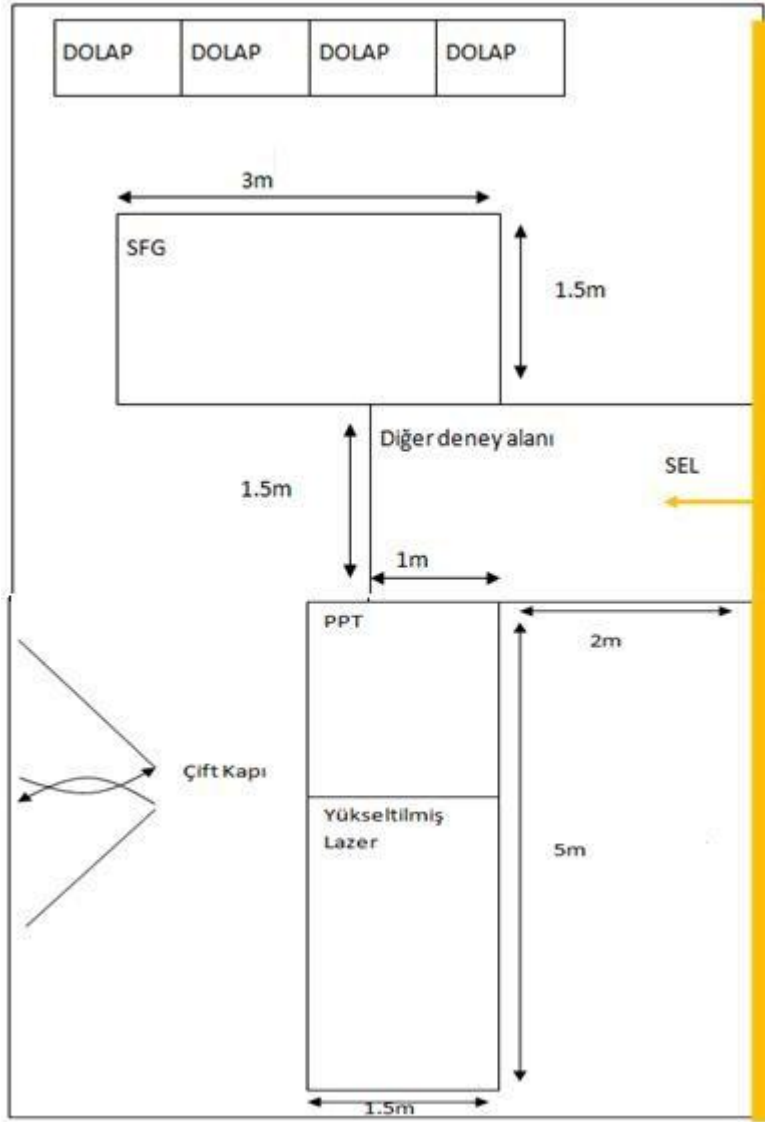
Doğrusal olmayan optik laboratuvarında gerekli malzemeleri sıralarsak:

- Yükseltilmiş özel tekrarlama oranlı lazer sistemi
- Senkronize edilmesi için gerekli elektronik ve optik sistemler
- UV-20mikron arası dalga boyu dönüştürücü sistemi (OPA)
- Optik Masalar
- Optik sarf malzemeler (aynalar, mercekler, tutucular)
- Kızak sistemler ve sürücü motorları
- Optiksel/Elektriksel ölçüm cihazları (spektrum analizör, osiloskop, lock-in, gate box integrator, spektrometreler)
- Fotodetektörler
- Mekanik alt tutucu rack sistemleri ve tavandan asma mekanik sistemler
- SFG/PPT deneyleri için vakum altında özel optik deneyleri barındıracak odacık sistemleri
- Bilgisayar sistemleri ve ölçüm DAQ kartları

Doğrusal olmayan optik laboratuvarının ortam gereksinimlerini sıralarsak:

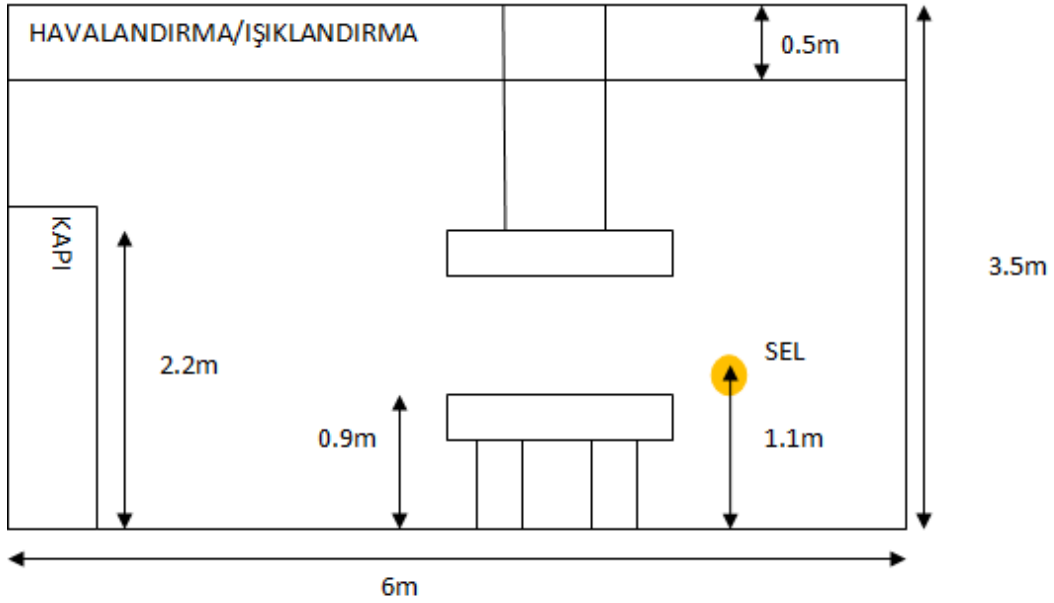
- Sıcaklık : ($21,0 \pm 0,5$ °C)
- Nem : % 45 ± 5
- Basınçlı temiz oda
- Soğutucu su (soğuk chiller tercih edilir.)
- Basınçlı kuru hava(Kuru Nitrojen)
- UPS gereksinimi havalandırma hariç: üç faz 20kVA
- 210V ve 400V / 50 A elektrik hattı

- Gaz ve sıvı Azot ile Helyum
- Elektriksel (220/240V, tek faz ve üç faz) [17]



Şekil 5.1. TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarı yerleşim planı [17]

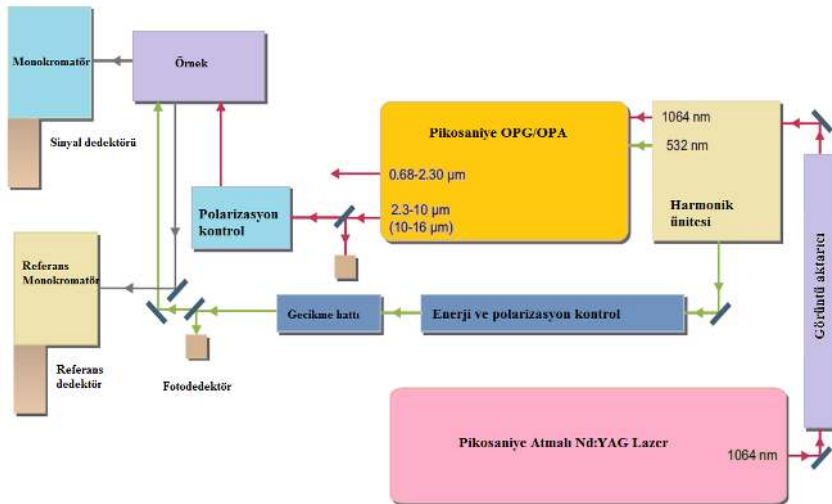
TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarının ebatları 6m x 10m x 3,5m olarak planlanmıştır.



Şekil 5.2. TARLA pompa sonda/SFG (doğrusal olmayan optik) laboratuvarı Ölçüleri [17]

5.2. TARLA Doğrusal Olmayan Optik Laboratuvarında Kullanılması Planlanmış Cihazlar

Toplam frekans jenerasyonu deneylerinde kullanılan örnek bir deney düzeneği aşağıda verilmiştir:



Şekil 5.3. SFG deneylerinde kullanılan örnek bir düzenek [16]

TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarında yapılacak toplam frekans jenerasyonu deneylerinde kullanılacak aletler şu şekilde sıralanabilir:

- Nd:YAG lazer
- Optik parametrik jeneratör (OPG)
- Optik parametrik yükseltici (OPA)
- Demet ayırıcı
- Gecikme hattı
- Monokromatör
- Fotodedektör
- CCD kamera
- Kristaller
- Doğrusal olmayan kristaller [42]

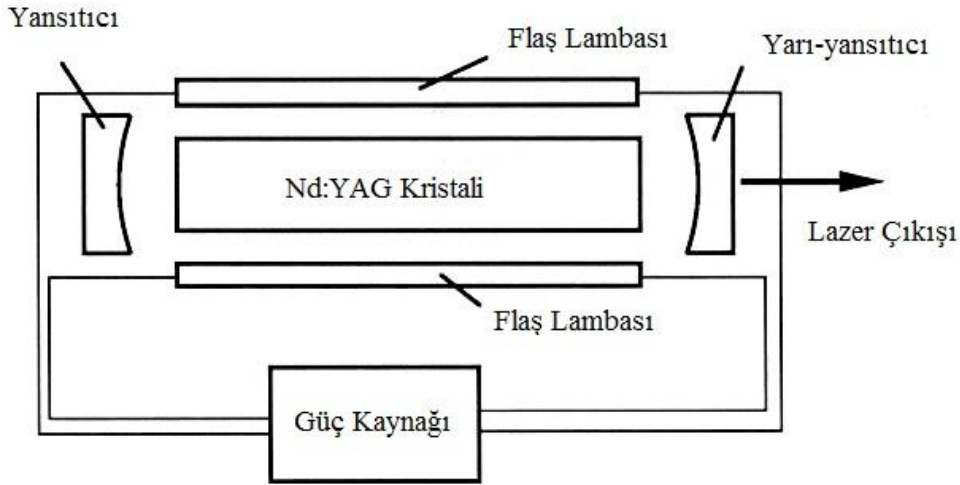
5.2.1. Nd:YAG Lazer

Nd:YAG lazer, Neodyum katkılı Yitrium Aliminium Garnet ($Y_2Al_5O_{12}$) ortama sahip bir katı hal lazeridir. Flaş lambası veya diyotlar ile uyarılır. Lazer ışığının dalga boyu $1,06 \mu m$ (kızılötesi bölge)dir ve oluşan demet optik fiber kullanılarak istenilen noktaya taşınır.

DC ark lambaları ile uyarılan Nd:YAG lazerler, 5 kW'a kadar güce sahip sürekli dalga boylu lazer ışığı üretebilir. Flaş lambaları ile uyarılan atmalı Nd:YAG lazerler ortalama gücü yaklaşık 600 W olan ve atım süresi 1 ms ile 50 ms arasında değişen lazer atmaları üretebilir [18].

Bir malzeme yüksek şiddetteki ışına maruz bırakıldığında gelen ışına doğrusal olmayan tepki verir. Gelen foton soğurulduğunda atomdaki elektron, sanal seviye denen bir üst seviyeye çıkar. Ardından gelen foton bu seviyedeki elektronu bir sonraki sanal seviyeye çıkarır. Bu elektron temel duruma döndüğünde, frekansı gelen fotonun iki katına eşit olan yeni bir foton yayınlar. Bu süre çok kısa olduğundan dolayı ikinci harmonik üretimi anlık gerçekleşen bir olaydır.

Nd:YAG emisyonunun harmonikleri 1064, 532, 355 ve 266 nm dalgaboylarında elde edilebilmektedir [18].



Şekil 5.4. Nd:YAG lazer yapısı

Çizelge 5.1. Nd:YAG lazerin dalgaboyuna göre puls enerjileri [19].

Dalgaboyu (nm)	Puls Enerjisi (mJ)
1064	1-100
532	0,45-50
355	0,3-30
266	0,15-12

5.2.2. Optik parametrik jeneratör (OPG)

Işığın yayılması, doğrusal olmayan optik ilkesine dayanır. Gelen lazer fotonu doğrusal olmayan optik kristal tarafından iki fotona bölünür. Bu iki fotonun enerjilerinin toplamı gelen fotonun enerjisine eşittir. Üretilen iki lazerin dalgaboyları gelen lazer ışını ve kristalin optik eksenleri arasındaki açıya bağlıdır. Böylece bu dalgaboyları değişebilen eş faz koşulu tarafından ayarlanabilir. Bu süreç optik parametrik jeneratör olarak adlandırılır.

Oluşan lazer ışınlarından biri sinyal, diğeri idler olarak adlandırılır [20].



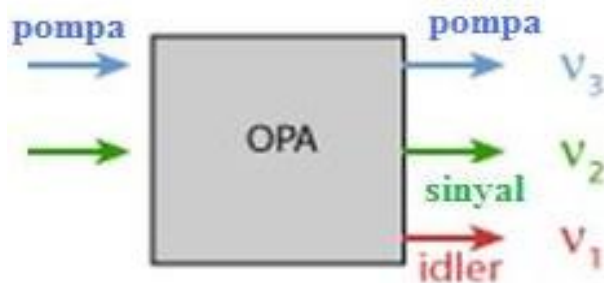
Şekil 5.5. OPG'nin şematik gösterimi

Çizelge 5.2. Çeşitli OPG örnekleri için sinyal ve idlerin ayarlanabilir dalgaboyu aralıkları [16].

	PG401	PG501	PG601	PG701
Sinyal	420-680 nm	680-1063 nm	320-500 nm	1395-2100 nm
İdler	740-2300 nm	1065-2300 nm	580-1580 nm	2200-4500 nm

5.2.3. Optik parametrik yükseltici (OPA)

Kristal malzemeler doğrusal olmayan ters simetri sergileyebilir. Kristal tarafından kısa dalgaboylarındaki pompa demeti ile birlikte sinyal demeti üretilir. Pompa dalgasının fotonları OPA'dan geçtikten sonra düşük enerjili sinyal fotonlarına ve aynı sayıda ,foton enerjisi pompa ile sinyal fotonlarının enerjilerinin farkına eşit olan idler fotonlarına dönüşür.



Şekil 5.6. OPA'nın şematik gösterimi

Genel olarak sinyal ve idler dalgalarının fiziksel olarak ayrılması dejenere olmayan durumda meydana gelir. Fakat, OPA'dan geçerken aynı frekans ve polarizasyona sahip sinyal ve idler dalgalarında dejenerasyon oluşur [19].

Çizelge 5.3. Çeşitli OPA örnekleri için sinyal ve idlerin ayarlanabilir dolgaboyu aralıkları [20].

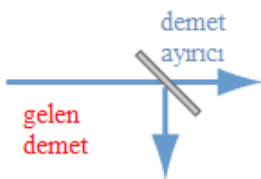
	Çıkış	Spektral Aralık	Sinyal Enerjisi (pik başına)	Polarizasyon
OPA-800CP	Sinyal	1,1 μm –1,6 μm	60 μJ	Dikey
	İdler	1,6 μm –3,0 μm	25 μJ	Dikey
OPA-800CF	Sinyal	1,1 μm –1,6 μm	100 μJ	Dikey
	İdler	1,6 μm –3,0 μm	50 μJ	Dikey
OPA-800CUSF	Sinyal	1,1 μm –1,6 μm	50 μJ	Dikey
	İdler	1,6 μm –3,0 μm	25 μJ	Dikey

OPA morötesi bölgeden MIR'a kadar sinyal ve idler dalgası üretir.

5.2.4. Demet ayırıcı (Beam splitter)

Demet ayırıcı, gelen ışık demetini aynı ya da farklı optik güce sahip olan iki veya daha fazla demetlere ayırabilen optik bir araçtır. Bu ayrımı genel olarak demetin p-polarize veya s-polarize olmasına göre yapar. Düzleme paralel polarize olan demet p-polarizasyonunda, düzleme dik olan ise s-polarizasyonundadır. Farklı amaçlar için kullanılan çeşitli demet ayırıcıları bulunmaktadır.

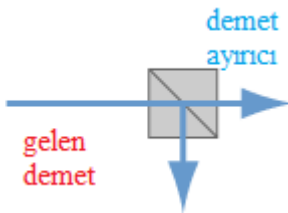
- Yalıtkan aynalar



Şekil 5.7. Demet ayırıcı olarak kullanılan yansıtıcı ayna

Lazer teknolojilerinde demet ayırıcı olarak yansıtıcı aynalardan ziyade yalıtkan aynalar kullanılır. Gelen demet, demet ayırıcının karakterine bağlı olarak 45° açıyla ya da başka açı değerlerinde çıkış demetlerine ayrılabilir. Genel olarak iki renkli aynanın yansıtıcılığı demetlerin polarizasyon durumlarına bağlıdır. Örneğin demet belli bir polarizasyon durumunda aynadan tamamen yansırken, başka bir polarizasyon durumunda demetin büyük çoğunluğu aynadan geçer.

- Kübik demet ayırıcı



Şekil 5.8. Polarize ve polarize olmayan demetlerin kübik demet ayırıcıdan geçişi

Kübik formdaki birçok demet ayırıcıda, demet ayırımı küpün arayüzünde meydana gelir. Bu küpler iki tane üç açılı cam prizmalardan yapılır. Cam yerine çift kırınımlı kristal ortam da kullanılabilir. Kristal ortam ile çıkan iki demetin arasındaki açı 15° ile 45° arasındadır. Kübik demet ayırıcı sadece tek ışık demeti için değil aynı zamanda çeşitli kamera ve projektörlerden görüntü taşımada da kullanılabilir.



Şekil 5.9. Kübik demet ayırıcı

Diğer demet ayırıcı çeşitleri;

-Fiber-optik demet ayırıcı

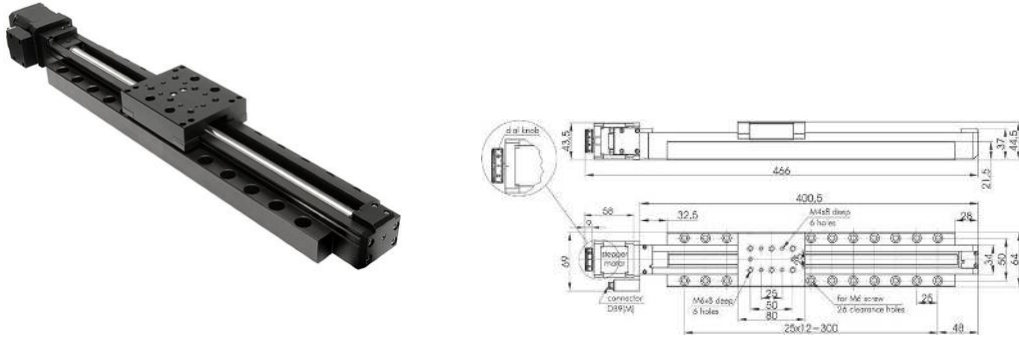
-Metalik(yarı gümüş) aynalar

- İnce film tabakaları
- Mikro-optik demet ayırıcı
- Dalga kılavuzu demet ayırıcı

Demet ayırıcı çeşitlerine göre optik kayıplar farklılık gösterir. Örneğin metalik maddeden yapılmış demet ayırıcıda yüksek kayıp gözlenirken, iki renkli aynalarda kayıplar önemsizmeyecek kadar küçüktür [19-20].

5.2.5. Gecikme hattı(Delay line)

Gecikme hattı, kızılötesi demet ile görünür demetin aldıkları yolun eş olması için görünür demetin ilerleyeceği yol üzerine kurulur. Böylece iki frekansın aynı anda örnek üzerinde çakışması sağlanır. Çakışan demetler arayüzde SF frekansını üretir. Burdan monokromatöre aktarılır [19].



Şekil 5.10. Gecikme hattı (Eksma Optics)

- Hareket aralığı 300 mm
- Tam bir aşamada 2,5 μm çözünürlük (1/8 aşama başına 0,31 μm)
- Dengeli ve sabit çelik ray dizaynı.
- Motoru tek seferde 200 devir çalışmasını sağlar.
- Maksimum hız 8 mm/s
- Yatay yük kapasitesi 10 kg

- Dikey yük kapasitesi 3 kg
- Çalışma voltajı - 36 V [19-20].

5.2.6. Monokromatör

Monokromatör, ışık kaynağından gelen çok enerjili ışıktan tek bir dalga boyunda tek enerjili ışık elde edilmesini gerçekleştiren düzeneklerdir. Malzemelerin optiksel karakterlerini incelemeye tek renkli ışık önemlidir. Sert X-ışınları ve nötron optiğinde kristal monokromatörler kullanılır. Monokromatörlerde kullanılan malzeme genel olarak alüminyum ve altın kaplamadır. Monokromatör, filtreli fotometrelerde ışık filtresidir; spektrofotometrelerde ise ışık prizmasıdır.

Işık filtreleri, camdan yapılmış ve uygun boyalarla boyanmış filtrelerdir. Portatif olup kullanıcı istediği zaman uygun dalga boyundaki filtreyi cihaza takar. Filtrelerin üzerinde geçirdikleri dalga boyu yazılıdır. Filtrenin rengi, ölçüm yapılacak çözeltinin rengine göre seçilir; örneğin, mavi ışığı tutan (sarı) bir maddenin ölçümünde sadece mavi ışığı geçiren filtre kullanılır [21,43]

Işık prizmaları, cam veya kuartz olabilir. Özellikle düşük UV ışınları iyi geçirmediğinden cam prizma görünür bölge için uygundur. Kuartz prizmalar ise hem UV ışınlarını iyi geçirir, hem de görünür ışık ve IR'e yakın bölgelerde çalışmaya elverişlidir. Kuartz prizmalar pahalı spektrofotometrelerde bulunur [21].



Şekil 5.11. Monokromatör örneği

NIR bölgesinde kullanılabilecek altın kaplama malzemeden üretilmiş bazı monokromatör çeşitlerinin dalgaboyu aralıkları Çizelge 5.4’de verilmiştir [22].

Çizelge 5.4. Çeşitli monokromatör modelleri için dalgaboyu aralığı

	Model	Dalgaboyu aralığı
Standart model	MC1-04	500 nm – 1,2 μ
	MC1-05	750 nm – 1,7 μ
	MC1-06	850 nm – 2,2 μ
	MC1-05G	750 nm – 1,7 μ
	MC1-06G	850 nm – 2,2 μ
Dijital model	DMC1-04	500 nm – 1,2 μ
	DMC1-05	750 nm – 1,7 μ
	DMC1-05G	750 nm – 1,7 μ
Tarayıcı model	SMC1-04	500 nm – 1,2 μ
	SMC1-05	750 nm – 1,7 μ
	SMC1-06	850 nm – 2,2 μ
	SMC1-05G	750 nm – 1,7 μ
	SMC1-06G	850 nm – 2,2 μ
Dijital tarayıcı model	SDMC1-04	500 nm – 1,2 μ
	SDMC1-05	750 nm – 1,7 μ
	SDMC1-05G	750 nm – 1,7 μ
	SDMC1-06	850 nm – 2,2 μ
	SDMC1-06G	850 nm – 2,2 μ

5.2.7. Fotodedektör

Fotodedektör, ışık ve diğer elektromanyetik enerjileri algılayan optik bir cihazdır.

Fotodedektörlerin çeşitlerinden bazıları;

-Aktif piksel algılayıcıları; ışık sensörü ve aktif yüzselteç içeren piksel görüntü sensörlerin bir dizi halinde sıralandığı entegre bir devredir. Cep telefonu ve bilgisayar kameralarında yaygın olarak kullanılır.

-Kriyojenik dedektörleri; X-ışınları, görünür ve kızılötesi fotonların enerjisini hassas olarak ölçmede kullanılır.

-Optiksel dedektörler; her fotonun ayrı bir etki oluşturduğu araçlardır.

-CCD; astronomi, dijital fotoğrafçılık ve dijital sinemada görüntü kaydetmek amacı ile sıklıkla kullanılır. Çalışma prensibi bir sonraki bölümde anlatılacaktır.

Kızılötesi bölgede kullanılan bazı dedektör tipleri ve spektral aralıkları Çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Çeşitli dedektör tipleri için spektral aralık ve dalga sayısı

	Dedektör tipi	Spektral aralık(μm)	Dalga sayısı(cm^{-1})
İndiyum galyum arsenid(InGaAs)	Fotodiyot	0,7-2,6	14300-3800
Germanyum	Fotodiyot	0,8-1,7	12500-5900
Kurşun sülfür(PbS)	Fotoiletken	1,0-3,2	10000-3100
Kurşun selenid(PbSe)	Fotoiletken	1,5-5,2	6700-1900
İndiyum antimon(InSb)	Fotoiletken	1,0-6,7	10000-1500
İndiyum antimon(InSb)	Fotodiyot	1,0-5,5	10000-1800
Civa kadmiyum tellür(MCT, HgCdTe)	Fotoiletken	0,8-25	12500-400
İndiyum arsenid(InAs)	foto kimyasal elektrik	1,0-3,8	10000-2600



Şekil 5.12. Fotodedektör örneği (Thorlabs)

NIR bölgesi için kullanılabilecek dedektör tiplerinden bazıları Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Çeşitli dedektör tipleri dalgaboyu aralığı, dedektör boyutu ve band genişliği

Element	<u>InGaAs</u>	<u>InGaAs</u>	<u>InGaAs</u>	<u>InGaAs</u>	<u>InGaAs</u>
Dalgaboyu aralığı	800 - 1700 nm	700 - 1800 nm	700 - 1800 nm	800 - 1700 nm	1200 - 2600 nm
Dedektör boyutu	Ø2,0 mm	Ø0,5 mm	Ø1,0 mm	Ø0,5 mm	Ø1,0 mm
Band genişliği	DC - 5 MHz	DC - 150 MHz	DC - 17 MHz	DC - 25 Hz	DC - 15 MHz

NIR-MIR bölgesi için kullanılabilecek dedektör tiplerinden bazıları Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Çeşitli dedektör tipleri dalgaboyu aralığı, dedektör boyutu ve band genişliği [23].

Element	<u>PbS</u>	<u>PbSe</u>
Dalgaboyu aralığı	1,0 – 2,9 µm	1,5 – 4,8 µm
Dedektör boyutu	3 mm x 3 mm	2 mm x 2 mm
Band genişliği	0,2 - 1 kHz	0,2 - 10 kHz

5.2.8. CCD kamera

CCD(Charge-Coupled Device) iki-boyutlu ızgaralar ile yarıiletken kapasitörler arasında yük transferi yapabilen bir çeşit fotodedektördür. CCD fotolitografi tekniği kullanılarak yarıiletken malzemeden yapılır.

CCD kameralarda yükler kapasitörler yoluyla ızgaralara aktarılır. Gelen ışık fotonları kapasitörlere her çarpışlarında küçük yükler oluştururlar. Oluşan toplam yük, gelen fotonların yoğunluğu ile orantılıdır. CCD kamera renk ölçümü yapmaz sadece yoğunluğunu ölçer. Pozlama süresi bittiğinde yüklerin ızgaralara transferi başlar. CCD kamerada analog kayıtlar dijitale dönüştürülür. Kapasitörün bir kenar dizisinde, her yük kapasitörün köşesine ulaşana kadar her kapasitörü dolaşır. Voltaj ölçülür ve analogtan dijitale çevrilerek hafızaya alınır. Bu değişim süreci giriş sürücüsü ve hız ölçer sinyal tarafından kontrol edilir [24].



Şekil 5.13. CCD kamera örneği (Thorlabs)

Şekil 5.13’de gösterilen CCD kameranın özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- 1024 x 768 ya da 1280 x 1024 piksel çözünürlük
- 1/3" ya da 1/2" dörtgen pikseller ile görüntü algılama
- 30 fps ya da 15 fps seçenek olanağı
- Taşınabilir IR filtresi
- Dijital çıkış
- USB bağlantısı ile veri aktarımı [23].

5.2.9. Kristaller

-Lityum florid (LiF); iletim aralığı 150 nm den 6 μm ye kadar olup morötesi, görünür ve kızılötesi bölgede ayna, lens ve cam olarak kullanılabilir. Kübik yapıya sahip olup örgü sabiti 4,026 Å dur. Kırılma indisi (n) 1 μm de 1,387 dir. Cam amaçlı kullanılmak istendiğinde 25,4 mm, 38,1 mm ve 50,8 mm çap seçenekleri olan kristalin diyafram açıklığı çapının %90 ı kadardır. Kalınlıkları 3mm, 4mm ve 6 mm olabilir.

-Kalsiyum florid (CaF₂); iletim aralığı 200 nm den 8 μm ye kadar olan kristal morötesi ve kızılötesi bölgede lens ve cam olarak kullanılabilir. Kübik yapıya sahip olup örgü sabiti 5,462 Å dur. Kırılma indisi 1 μm de 1,4289 dur. Cam olarak kullanılmak istendiğinde 25,4- 70 mm arasında değişen çap seçenekleri olan kristalin diyafram açıklığı çapının %90 ı kadardır. Kalınlıkları 3-10 mm arasında değişir.

-Baryum florid (BaF₂); iletim aralığı 265 nm den 10 μm ye kadar olan kristal morötesi bölgeden kızılötesi bölgeye kadar optiksel cam, prizma ve lens olarak kullanılabilir. Kübik yapıya sahip olup kırılma indisi 265 nm de 1,51217 ve 10,3 μm de 1,39636 dır. Cam olarak kullanılmak istendiğinde 25,4 mm ve 44,6 mm çap seçenekleri olan kristalin diyafram açıklığı çapının %90 ı kadardır. Kalınlıkları 3 mm ve 3,5 mm dir.

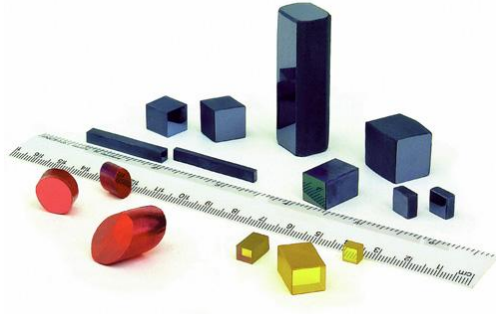
Lens olarak kullanılmak istendiğinde 12,7 mm ve 25,4 mm çap seçenekleri olan kristalin diyafram açıklığı çapının %90 ı kadardır. İç bükey ve dış bükey lenslerin odak uzaklıkları 25-1000 mm arasındadır.

-Safir (Al₂O₃); cam olarak kullanılmak için iyi fiziksel, kimyasal ve optiksel özelliklere sahip tek kristaldır. İletim aralığı 150 nm den 6 μm ye kadardır. Hegzagonal yapıya sahip olup kırılma indisi 0,3 μm de 1,814 ve 5 μm de 1,623 dür. 12,7-50 mm arasında değişen çap seçenekleri olan kristalin diyafram açıklığı çapının %80 i kadardır. Kalınlıkları 1, 2, 3 mm olabilir.

-Çinko selenid (ZnSe); iletim aralığı 0,6-22 μm arasında olan kristal yüksek güçlü kızılötesi lazerler ile optik cam, ayna ve lens olarak kullanılmaya uygundur. Kübik yapıya sahip olup kırılma indisi 8-13 μm aralığında 2,417-2,385 olarak değişir. Cam olarak kullanılmak istendiğinde yansımayı engelleyen kaplamalı ve kaplamasız çeşitleri olan kristalin 12,7-76,2 mm arasında değişen çap seçenekleri olup diyafram açıklığı çapının %90 ı kadardır. Kalınlıkları 2-6,4 mm aralığında değişir.

-Germanyum (Ge); kızılötesi uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kristal, yüzey yansıtıcılığı yüksek olduğu için yansımayı engelleyen kaplama yapılarak kullanılır. Lazer ve optik sistemlerde kızılötesi uygulamalar için cam ve lens olarak kullanılmaya uygundur. Kübik yapıya sahip olup örgü sabiti 5,657 Å dur. Kırılma indisi 10,6 μm de 4,0034 dir.

- 5.2.10. Doğrusal olmayan kristaller



Şekil 5.14. Kızılötesi bölgede kullanılan doğrusal olmayan kristaller

Geniş spektral, açısıl aralığa ve geniş geçirgenlik aralığına sahip bu kristaller MIR ve FIR uygulamalarda sıklıkla kullanılır.

-Çinko germanyum difosfat (ZnGeP₂); iletim aralığı 1,9-10,6 μm arasında olup en büyük doğrusal olmayan optik katsayıya sahiptir. SFG ve SHG uygulamalarında CO₂ lazer ile birlikte NIR bölgesinde kullanılır.

-Gümüş galyum selenid (AgGaSe₂); 0,73'den 18 μm 'ye kadar band aralığına sahip olup 0,9-16 μm 'de kullanışlı bir iletim aralığı bulunmaktadır. 2,05 μm 'de Ho:YLF

lazer (Holmium) ile pompalandığında 2,5-12 μm arasında ayarlanabilir bir dalgaboyu elde edilebilmektedir. 1,4-1,55 μm 'de pompalanınca 1,9-5,5 μm arasında dalgaboyu elde edilebilmektedir.

-Gümüş galyum sülfür (AgGaS_2); iletim aralığı 0,53-12 μm arasındadır. 550 nm'de Nd:YAG, Ti:Safir ve IR boya lazerler ile pompalandığında 3-12 μm arasında dalgaboyu elde edilebilmektedir [25].

Çizelge 5.8. Çeşitli kristallerin fiziksel ve optiksel özellikler

Kristal	ZnGeP_2	AgGaSe_2	AgGaS_2
Fiziksel Özellikler			
Kristal simetrisi	Dörtgen	Dörtgen	Dörtgen
Örgü sabiti, a, Å	5,465	5,990	5,757
Örgü sabiti, c, Å	10,771	10,882	10,305
Optiksel Özellikler			
İletim Aralığı, μm	0,74-12	0,73-18	0,53-12
10.6 μm de kırılma indisi	3,072	2,591	2,346
5.3 μm de kırılma indisi	3,114	2,614	2,395
1.06 μm de kırılma indisi	3,232	2,700	2,450

6. DÜNYADAKİ IR SEL LABORATUARLARI VE TOPLAM FREKANS JENERASYONU TEKNİĞİ İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

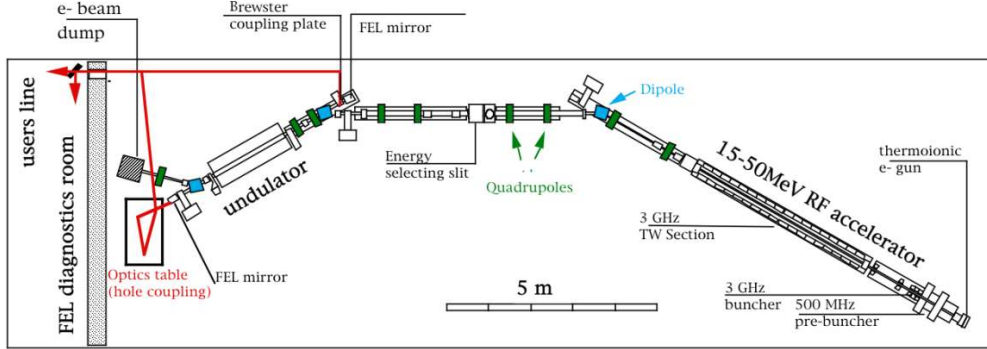
Toplam frekans jenerasyonu kullanılarak yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir:

- Sıvı yüzeyler.
- Sıvı kristal arayüzler (sıvı kristal göstergeler).
- Polimer arayüzler.
- Metallerde, yarı iletkenlerde ve yalıtkanlarda absorpsiyon mekanizma çalışmaları.
- Yüzey aktif maddelerin yüzeyde yarattığı değişimlerin gözlenmesi.
- Epitaksiyel büyüme, elektrokimya çalışmaları.
- Yüzey mıknatıslanması.
- Atmosferde yüzey reaksiyonları çalışmaları.
- Tek katman faz geçişleri çalışmaları.
- Çok kısa yüzey dinamikleri.
- Yüzey mikroskopisi.

Yüzey çalışmaları için dalga boyu aralığı 2,5-10 μm , malzeme çalışmaları için 9 – 55 μm dir [26].

Dünyada IR bölgede SEL ile çalışan merkezleri ve bu merkezlerde SFG ile yapılan çalışmaları sıralarsak:

6.1. CLIO Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı (Orsay, Fransa)



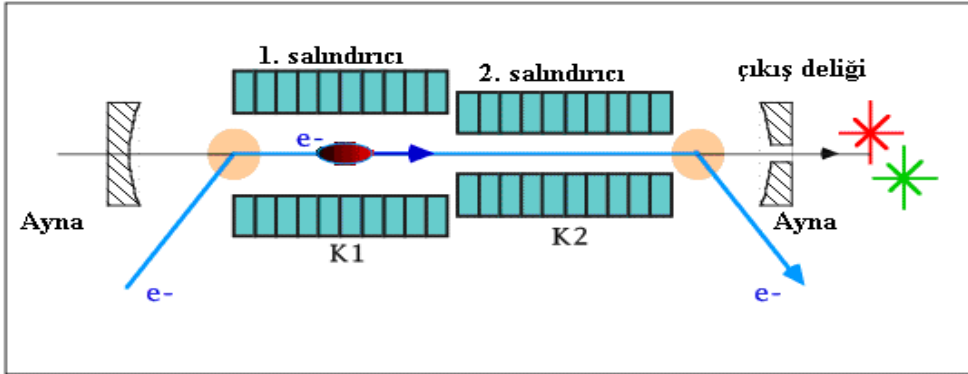
Şekil 6.1. CLIO SEL'in şematik görünümü

Çizelge 6.1. CLIO SEL'e ait önemli parametreler

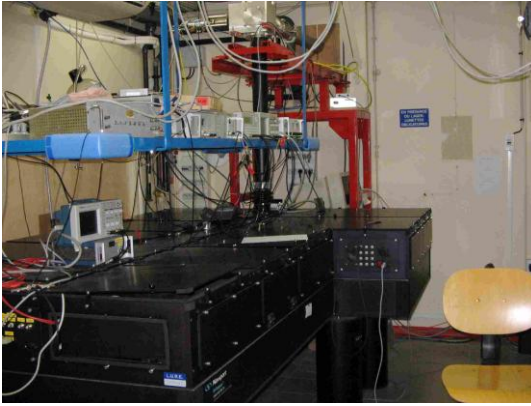
Enerji	8-50MeV
Makro atma	10 μ s
Tekrarlama oranı	6,25-25Hz
Mikro atma	10ps
Emittans (rms)	40 π mm.mrad
Spektral aralık	3-150 μ m
Maksimum ortalama güç	1W
Maksimum pik gücü	100MW
Lazer atma uzunluğu	0,5-6ps
Periyot uzunluğu	5,04cm

CLIO SEL, yüksek tepe gücüne sahip MIR ve FIR bölgesinde ayarlanabilir dalga boyunda lazer ışını üretir. SEL kullanılarak gerçekleştirilen çeşitli alanlardaki deneyler için 5 deney odası bulunmaktadır: Yüzey spektroskopisi, moleküler fizik, yakın alan kızılötesi mikroskopi, kuantum kuyuları...

CLIO SEL'de , 19 periyotlu iki bağımsız salındırıcı bulunmaktadır. Bu salındırıcılar ayarlanabilir dalga boylarında iki farklı ve eş zamanlı lazer salınımı sağlar.



Şekil 6.2. CLIO'nun birbirinden bağımsız iki adet eş salındırıcı magnetleri



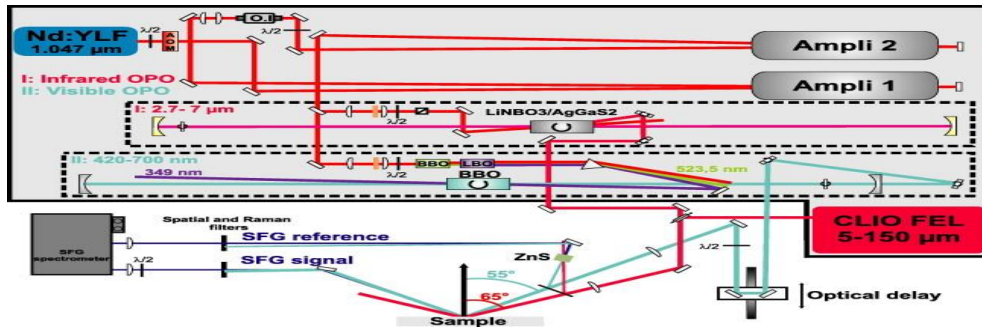
Şekil 6.3. SFG çalışmaları için kullanılan deney odası

SFG Tekniğinin kullanıldığı deney odaları E3 ve E6 dır.

E3 : SEL' e ek olarak bir katıhal lazer tarafından pompalanan, görünür ve IR OPO dayanan SFG spektroskopisi bulunuyor. SFG deneyleri ile yüzey fiziği çalışılır. Bu deney ile bir çözücü içerisindeki elektrodun yüzeyinde meydana gelen olaylar tanımlanmaktadır. Çalışmalarda yüzeyin kirlenmesini engellemek için çok yüksek vakum kullanılır.

E6: SEL kullanılmadan, Nd:YAG Laser tarafından pompalanan, IR OPO ve görünür demet (532nm) SFG spektroskopisi bulunuyor.

1992'den beri CLIO' da uygulanan projelerin dağılımı; 30 % SFG ile yüzey çalışmaları, 22 % SFG ile elektrokimya çalışmalarıdır [27].



Şekil 6.4. CLIO FEL tesisi içindeki SFG düzeneği. Üst kısım ayarlanabilir görünür ve kızılötesi ışınları alt kısım ise düzeneği göstermektedir.

CLIO SEL laboratuvarında SFG tekniği kullanılarak yapılan çalışmalara örnek verirek:

Study of the adsorption of 4-Cyanopyridine on Au(111) using sum frequency generation nonlinear spectroscopy (1999) (CLIO SEL-Fransa)

SFG doğrusal olmayan spektroskopi kullanılarak Au(111) üzerinde 4- Cyanopyridine tutunması çalışıldı. Elektrokimyasal reaksiyon bir metal elektrot ve elektrolitten yapılmış bir arayüzde görülür ise, ana aşama metal üzerinde moleküllerin tutunmasıdır. Bu arayüzün yapısı elektron transferinin temel özelliklerini düzenler. Elektron transferi ya da tutunması gibi süreçler elektrot ve çözelti arasında uygulanan potansiyel tarafından kontrol edilir. Arayüz üzerinden akan elektrik akımına karşı potansiyel izlenerek gerçek süreç hakkında birkaç bilgi alınabilir. Bu tür eğrilere dairesel voltammograms denir.

Bu çalışmanın amacı, molekülün arayüz özelliklerini ve elektrot üzerinde tutunmuş çeşitli konfigürasyonları göstermektir.

4- CP nin 2 spektroskopik bölgesi ile ilgili 2 deney seti kuruldu. 2200 cm^{-1} bölgesi siyanür titreşimlerinin bir pompası iken 1000 cm^{-1} bölgesi piridin (katrandan elde edilen antiseptik bir madde) halka deformasyonu hakkında bilgi verdi.

İlk durumda, table lazer (OPO-AgGaS₂ lineer olmayan kristal) tarafından üretilen IR demet, ikinci durumda, CLIO FEL kullanıldı (10-12 μm arasında ayarlanabilir). Görünür demet olarak iki durumda da Nd:YAG lazer (532 nm) kullanıldı.

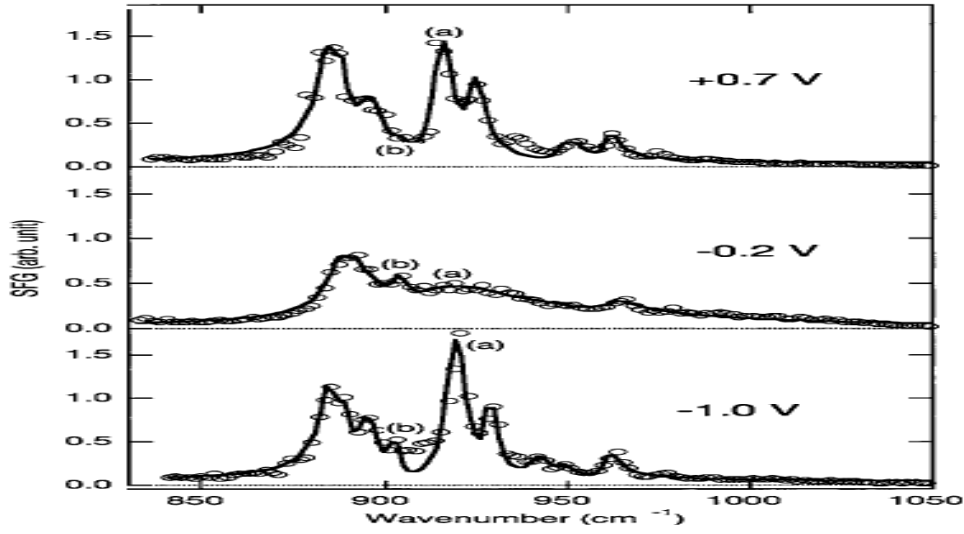
Nd:YAG kullanılmadan önce hem IR demet hem de görünür lazerler senkronize edildi ve şiddet spektral ve boyutsal olarak süzöldükten sonra SFG foton (475-509 nm arasında) fotoçoğaltıcı tarafından toplandı. Bütün lazer demet pulsları pikosaniye mertebesinde.

Piridin halka bölgesinde (1000 cm^{-1}) farklı potansiyellerde ölçüm alındı. 830-1050 cm^{-1} spektral aralığında her 100 mV da bir spektrum alındı. -1, -0,2 ve -0,7 V da 3 spektrum kaydı var bu spektrumlardan çıkarılabilecek birkaç sonuç;

Piridin halkasının güçlü titreşim modu -1 V ve 0,7 V potansiyeller arasında 4-CP nin bütün bu aralıklarda soğurulduğunu göstermiştir. Böylece dairesel voltammogram üzerinde tanımlanan çeşitli yük transferleri yüzeyde 4-CP nin absorblanmasında meydana gelen geçişler ile ilişkilendirilmiştir. Şekil 6.5. deki pik (a) tabakadaki titreşim modu 918 cm^{-1} ile ilgili iken, pik (b) katman dışında 905 cm^{-1} dir.

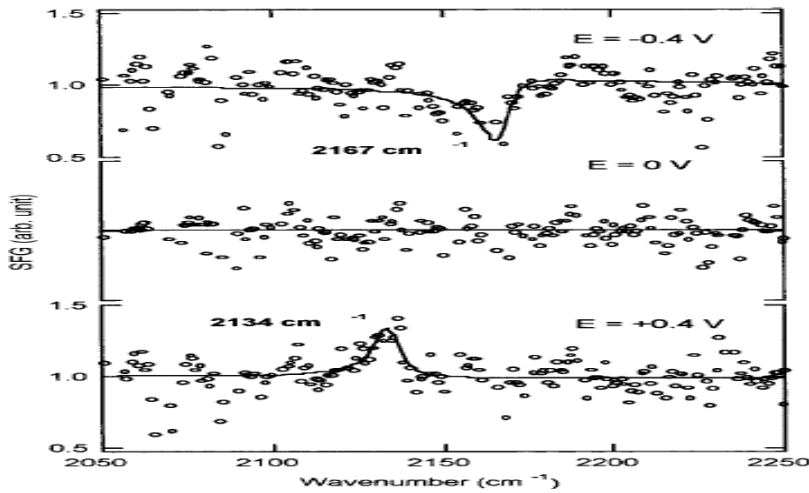
Pikler 2 farklı çeşide ayrılabilir. Bunların birçoğu düşük ve yüksek potansiyellerde Şekil 6.5. pik (a) da sunulmuştur ve orta potansiyellerde çok zayıf olmuştur. Tersine birkaç pik aksine davranışa sahiptir. Şekil 6.5. pik (b) de SFG spektroskopisi sadece dipolar bileşeni yüzeye dik iken algılayabilir, bu davranışı potansiyel ayarlı olduğunda düz bir yapıya dik gelen 4-CP nin tutunma geometrisinin değişikliği kanıtlar.

Örneğin 0 V civarında titreşim modu (a) arayüze paralel dipolar momente sahiptir ve orta potansiyellerde (a) pikin kaybolması ile sonuçlanarak SFG pasif hale gelir. Benzer bir açıklama düşük ve yüksek potansiyellerde kaybolan mod (b) için uygun olabilir. (a) tipi modlar iç yüzey için piridin halkası titreşim modları olarak belirlenir. Bu modlar çok yüksek potansiyellerde baskındır ve dikey bir geometri olduğunu kanıtlar. (b) tipi modlar dış yüzey titreşim modlarına benzerdir ve sadece molekül orta potansiyel durumunda yüzeyde düz yapıda olduğunda görülebilirler.



Şekil 6.5. Piridin halka bölgesinde farklı potansiyellerde ölçüm alındığında oluşan pikler.

Şekil 6.6. , 2050 ve 2250 cm^{-1} arasında, etkileşim özelliklerinin kırıldığı potansiyel alanlarında alınmış 3 spektrumu gösterir. Bu değişim elektrot potansiyeli negatif değerden pozitif değere arttığında meydana gelir. Bu, yüzey tarafından tanımlanan normal vektörüne göreceli olarak molekülün dipolar momentinin işaretinin değişimi ile ilgilidir [28].

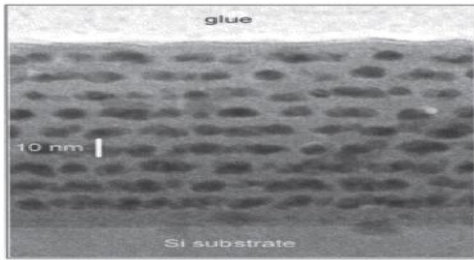


Şekil 6.6. 2050 ve 2250 cm^{-1} arasında, etkileşim özelliklerinin kırıldığı potansiyel alanlarında alınmış 3 spektrum

Nonlinear optical properties of Ag nanoparticles embedded in Si_3N_4 (2008) (CLIO SEL-Fransa)

İki-renk SFG spektroskopisi deneyi silisyum nitrid ana maddesi içine gömülü Ag nano parçacıklarının monte edilmesi üzerinde yürütüldü. Sabit görünür demet, SPR (yüzey plazmon rezonansı) içinde 441,6nm, SPR dışında 632,8nm de idi. IR demet, IR yansıma absorpsiyon spektroskopisinde dedekte edilen absorpsiyon sinyalinin spektral alanı olan 1100 cm^{-1} civarında taranırken SFG sinyal dedekte edildi.

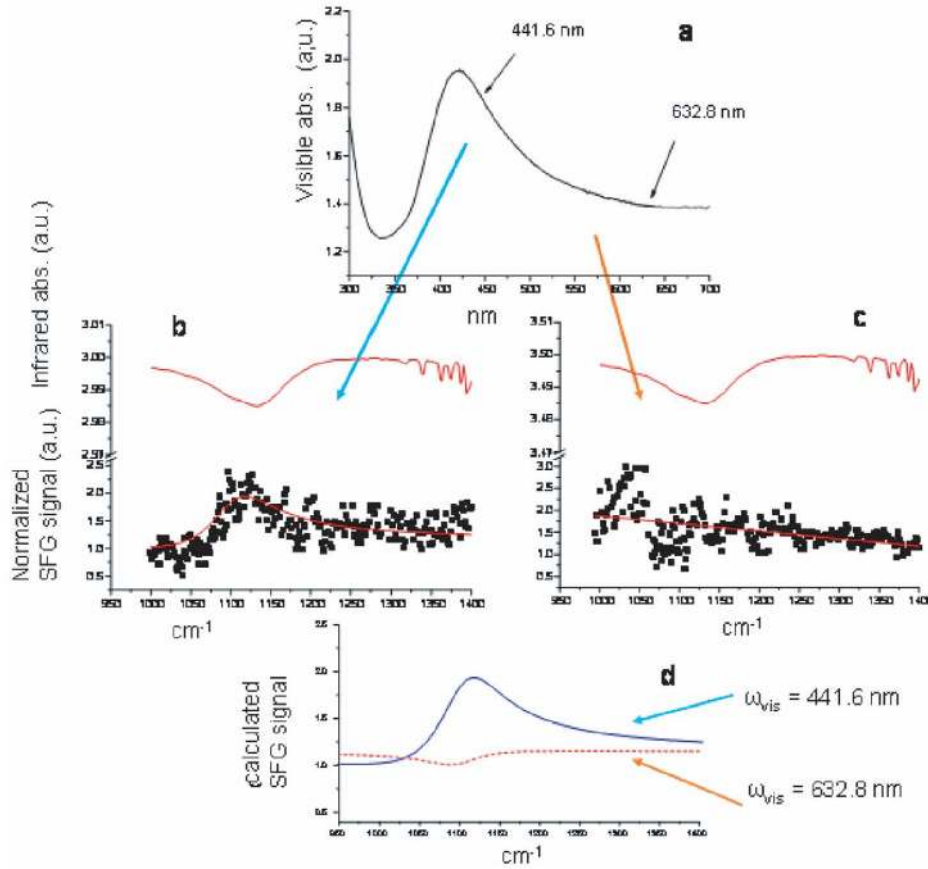
Bu araştırmanın amacı parçacık-ana madde arayüzünde meydana gelen gözlenen rezonans pikini elektronik süreçler açısından tartışmaktır. Örnek, silisyum alt tabakasına çift iyon demeti tarafından püskürtülerek birikmiş olarak hazırlanan $[Ag(1nm)/Si_3N_4(9nm)]$ nin 9 adet iki katmanlı yapısından oluşan bir kümedir. İnce gümüş tabakası sürekli değildir ve gümüş hafifçe çökelti boyunca ortalama $D=8\text{ nm}$ olan elipsoidal kümeler oluşturur.



Şekil 6.7. Silisyum alt tabakasına çift iyon demeti tarafından püskürtülerek birikmiş olarak hazırlanan $[Ag(1nm)/Si_3N_4(9nm)]$ nin 9 adet iki katmanlı yapısından oluşan bir küme

Gümüş atomlarının sayıları Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS) ile ölçülerek bulunmuştur ve toplam küme kalınlığı 90 nm dir. Bu örnekte, geniş SPR 421 nm de gözlenmiştir. Aynı örnekte, IR bölgede 1110 cm^{-1} bir sinyal gözlenmiştir.

CLIO lazer demeti 5-150 μm arasında ayarlanabilir. 25Hz tekrarlama hızında, 62,5MHz de 1ps de yaklaşık 600 puls içeren zamansal yapıya sahiptir. CLIO demet geçici olarak senkronize edilmiş ve boyutsal olarak örnek yüzeyi üzerinde 420 den 720 nm ye ayarlanabilir puls başına 4 μJ enerji sahip görünür optik parametrik osilatör (OPO) ile çakıştırılmıştır.



Şekil 6.8. SFG sinyalinin IR ve VIS sinyallere göre değişimi

OPO kurulumu Nd:YLF laser kaynağının üçüncü harmoniği tarafından pompalanmıştır. SFG deneyi ppp polarizasyonda (SFG, görünür, IR), birlikte yayılma geometrisinde, IR ve görünür sabit demet açıları sırasıyla yüzey normaline 65° ve 55° ile yürütülmüştür.

Öncelikle 441,6 nm de mavi lazer demeti, $1000\text{-}1400\text{ cm}^{-1}$ alanını tarayan IR demet ile birlikte örnek üzerinde karıştırılmıştır. İkinci olarak, 632,8 nm de kırmızı lazer demeti aynı deney için kullanılmıştır. Raman filtreleri ve monokromatör yoluyla boyutsal ve spektral olarak filtrelenen SFG fotonları ardından fotoçoğaltıcı tarafından kaydedilmiştir.

IR demet alanı tararken, SFG dalga boyu, $w_{vis} = 441,6\text{ nm}$ için 412 nm den 425 nm ye kadar ve $w_{vis} = 632,8\text{ nm}$ için 575 nm den 598 nm ye kadar değişir. Görünür ve

IR alanda absorpsiyon normalize edilmiş SFG sinyal ile birlikte çizilir (Şekil 6.8. a, b, c).

$w_{vis} = 441,6 \text{ nm}$ için SPR de, 1100 cm^{-1} de yer alan bir asimetrik rezonans gözlenmiştir (Şekil 6.8. b). $w_{vis} = 441,6 \text{ nm}$ için ise, SPR dışında, SFG sinyalinin lineer değişimi görülmektedir (Şekil 6.8. c) [29].

Chiral specificity of doubly resonant sum frequency generation in an anisotropic thin film (2008) (CLIO SEL- Fransa)

SFG nin chiral özelliği çift rezonans (DR) koşullar altında, Chiral supramoleküler yığınlardan oluşan bir anizotrop ince film gelen ve giden ışık polarizasyonlarının bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Chiral ikinci derece duyarlılık tensörünün kaybolmayan bileşenlerinin seçimine çift rezonans sürecinin yol açtığı görülmüş. Özellikle, bu süreçte chiral bileşenlerin achiral bileşenleri altta bıraktığı görülmüş. Bu sonuç, DR-SFG için model ve süreçte yer alan titreşim modları ve elektronik geçiş seçim kuralları ile bağlantılıdır [30].

Doubly resonant sum frequency generation spectroscopy of adsorbates at an electrochemical interface (2008) (CLIO SEL- Fransa)

Bu deneyde serbest elektron lazerinden elde edilen ayarlanabilir IR kaynak ve görünür Optik Parametrik Osilatör birlikte kullanılmıştır. SEL den gelen IR aralığı 7,69-9,09 μm dir. Görünür kaynaktan gelen dalga boyu 532 nm dir. SFG gruplarından belirleme Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT) çerçevesinde hesaplanan titreşim spektrumları yardımıyla gerçekleştirilmiştir [31].

Sum frequency generation as a vibrational and electronic probe of the electrochemical interface and thin films (2008) (CLIO SEL-Fransa)

Bu çalışmada 5-150 μm dalga boyu aralığında FEL kullanılmıştır. Standart titreşimsel SFG spektroskopisi elektrokimyasal cyanoacetylene araştırması için gerçekleştirilir. SFG metal yüzeyine dik olarak dışarı bakacak şekilde emilmiş moleküllere uygulandı.

CLIO serbest elektron lazeri ve görünür lazer kaynağı ile senkronize ilkesine dayanarak aynı anda Ag (1 1 1) arayüzü thiophenol bir titreşim ve elektronik parmak izi atması için kullanılan iki renkli 2C-SFG geliştirdi.

Kendi kendine soğurma tek tabaka üzerinde yapısal bilgi kanıtı thiophenol çözüm (24 saat ya da 5 gün) gümüş yüzey daldırma zamanının bir fonksiyonu olarak alındı. Uzun daldırma süresi ile moleküler ambalaj daha kaliteli ve daha kompakt oldu. Karbon halkaları daha az yüzey normaline göre hareket ettirildi.

Bu yeni deneysel kurulum optik parametrik osilatörler kızılötesi dalga boylarında kızılötesi yüksek güç enerjileri ile daha yüksek spektral ve zamansal çözünürlüğe sahip avantajlarını birleştirir [32].

Doubly resonant sum frequency generation spectroscopy of adsorbates at an electrochemical interface (2008) (CLIO SEL- Fransa)

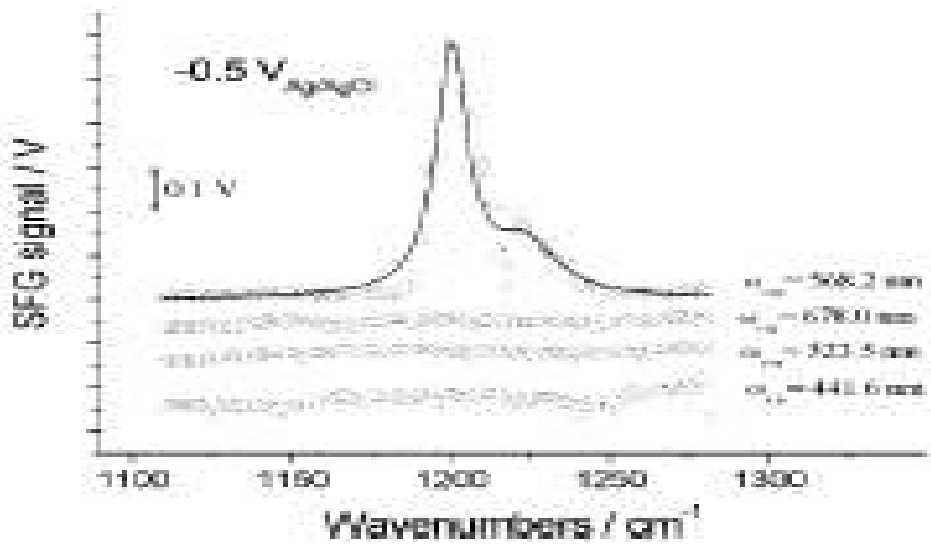
DR-SFG deneyinde, FEL-ayarlanabilir IR kaynak ve IR-VIS OPO birlikte kullanılmıştır. Quinoline boyanın tutunma ve reaksiyonu potansiyele bağlı olarak Cu(100) elektrodu üzerinde çalışılmıştır.

SFG spektrumu 0,05-1,2 V aralığındaki potansiyellerde kaydedildi. CLIO- SFG kurulumunda CLIO tarafından üretilen IR demet $1110\text{-}1280\text{ cm}^{-1}$ alanını taradı. Pikosaniye Nd:YLF-atmalı görünür OPO sistemi tarafından üretilen görünür radyasyon 441,6, 523,5, 568,2, 678,0 nm dalga boylarına sahiptir.

IR-OPO deneyi, $2040\text{-}2300\text{ cm}^{-1}$ alanını tarayan IR demet ve 532 nm de sabit tutulan double YAG lazer tarafından üretilen görünür radyasyondan meydana geldi.

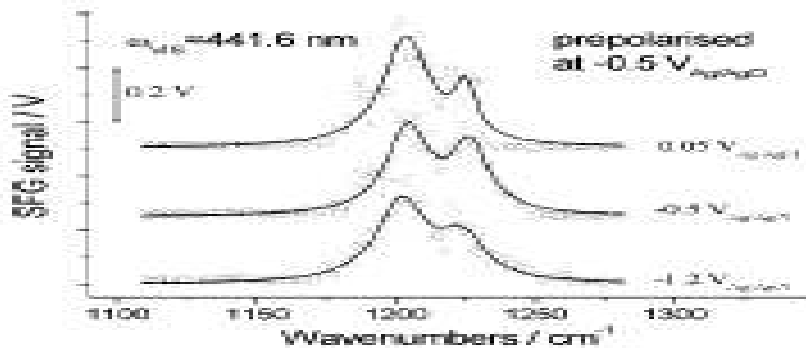
IR ve görünür lazer demetleri SFG üretmek için zamansal ve mekansal olarak elektrotların yüzeyi üzerinde çakıştırıldı. İki demette p polarizedir ve yüzeye gelme açıları VIS 55° ve IR 65° dir.

İlk deney, elektrot potansiyeli -0,5 V da elektrolit 7 pH da iken yürütüldü. 568,2 nm haricindeki, bütün görünür giriş dalga boyları ile fark edilebilir titreşimsel bandlar elde edilemedi.



Şekil 6.9. Elektrot potansiyeli -0,5 V da elektrolit 7 pH da iken SFG sinyali

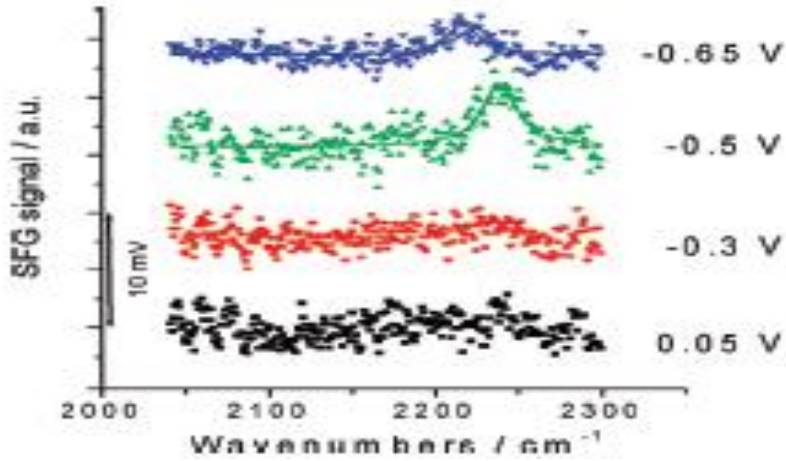
İkinci deneyde, VIS 441,6 nm de sabit tutularak aynı sistem yürütüldü. Ancak bu sefer elektrot potansiyeli 0,05-1,2V arasında değiştirildi. Konumu, yüksekliği ve genişliği potansiyele fark edilemeyecek kadar bağlı olan benzer çift pik bulundu.



Şekil 6.10. VIS 441,6 nm de sabit tutularak elektrot potansiyeli 0,05-1,2V arasında değiştirildiğinde SFG sinyali

Nötr (7pH) Elektrolitler; nitrile gerilmesi;

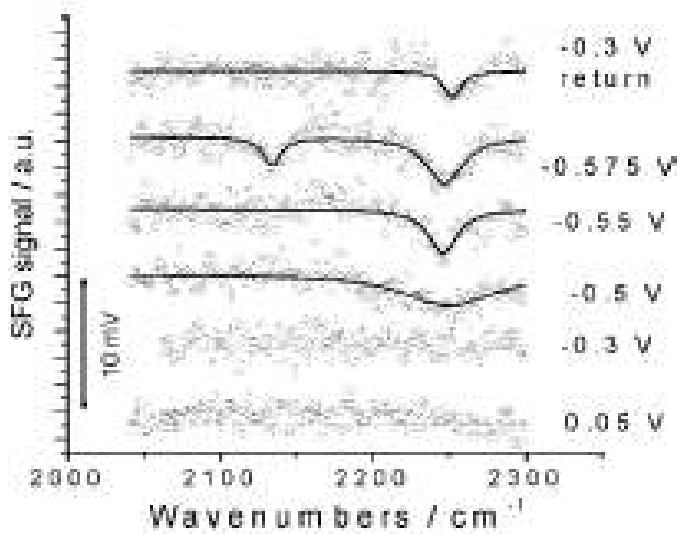
Nötr elektrolit ile etkileşime giren Cu elektrotun değişen potansiyellerdeki SFG spektrumları alınmıştır. -0,5 V dan daha az potansiyeller için göze çarpan pikler fark edilememiştir.



Şekil 6.11. Nötr (7pH) Elektrolitler; nitrile gerilmesinde SFG sinyali

3 pH Elektrolitler; nitrile gerilmesi;

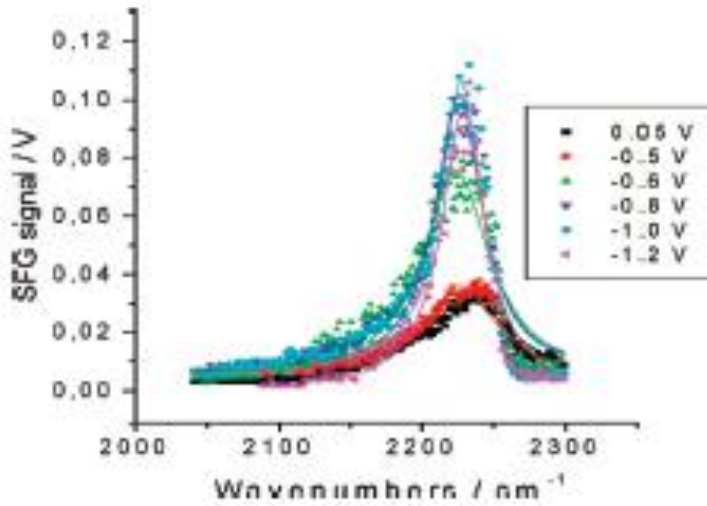
3 pH elektrolit ile etkileşime giren Cu elektrotun değişen potansiyellerdeki SFG spektrumları alınmıştır. -0,5V dan daha yüksek potansiyellerde SFG pikleri bulunmamıştır.



Şekil 6.12. 3 pH Elektrolitler; nitrile gerilmesinde SFG sinyali

0,5 pH Elektrolitler; nitrile gerilmesi;

0,5 pH elektrolit ile etkileşime giren Cu elektrotun değişen potansiyellerdeki SFG spektrumları alınmıştır. SFG spektrumu güçlü bir şekilde genişlemiştir. Bu deneyde diğer iki deneyden farklı olarak göze çarpan 2 sinyal fark edilir. -0,5 V dan yüksek potansiyel değerlerinde yoğunluğu ve konumu ($2240\text{-}2230\text{ cm}^{-1}$) fark edilebilir hızlı sıçramalar görülmektedir [33].



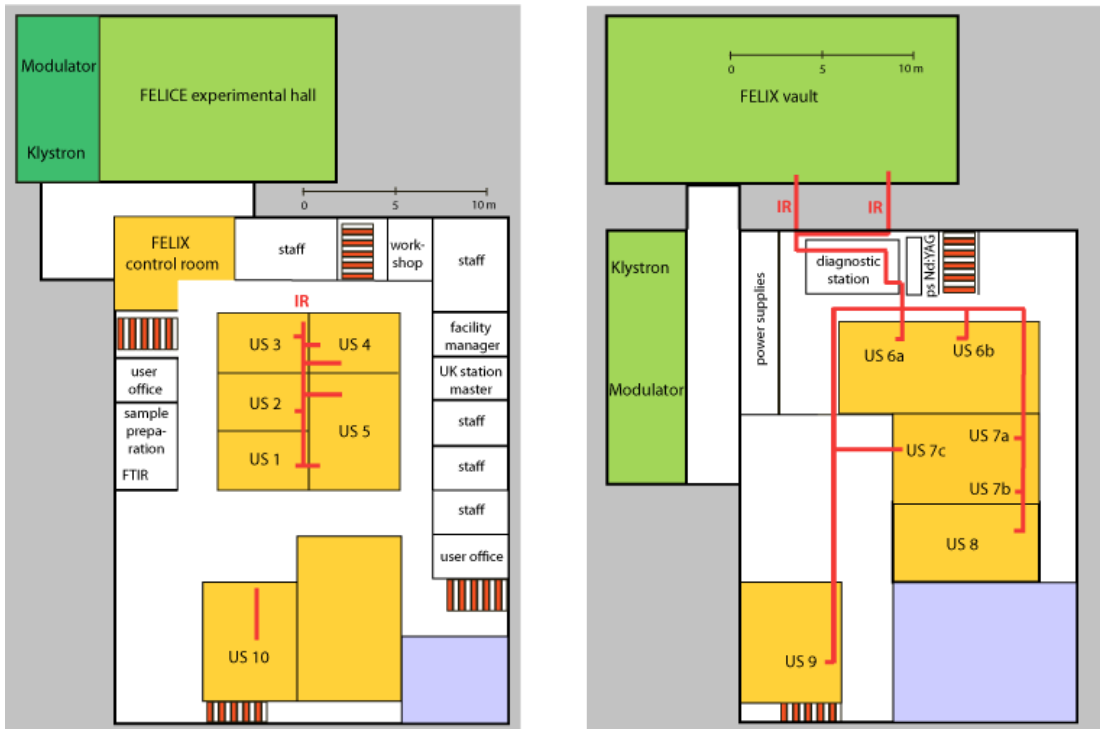
Şekil 6.13. 0,5 pH Elektrolitler; nitrile gerilmesinde SFG sinyali

6.2. FELIX Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı (Hollanda)

Kullanıcı tesisi 3 farklı demet hattından oluşmaktadır. 2 demet hattı, FEL1 ve FEL2, $2500\text{-}40\text{ cm}^{-1}$ ($3\text{-}250\text{ }\mu\text{m}$, $1,2\text{-}75\text{ THz}$) spektral aralığında ayarlanabilir sürekli bir ışınım olup tıp, biyokimya ve biyofizik alanında araştırmalarda kullanılmaktadır. 3. demet hattı ,FELICE, $2000\text{-}250\text{ cm}^{-1}$ ($5\text{-}40\text{ }\mu\text{m}$) spektral aralığında ayarlanabilirdir ve gaz fazındaki biyomolekül/iyon üzerinde araştırmalarda kullanılmaktadır.

Çizelge 6.2. FELIX'e ait parametreler

Dalgaboyu aralığı (μm)	3- 250
Paketçik uzunluğu (ps)	3
Max. ortalama güç (W)	0,5
Max. pik gücü (MW)	100
Tekrarlama hızı (kHz)	1



Şekil 6.14. FELIX'in yapısı

- *Kullanıcı laboratuvarı 1:* Lazer- moleküler yüzey salınımı demet kurulumu.
- *Kullanıcı laboratuvarı 2:* Kadrolu kullanıcı istasyonu.
- *Kullanıcı laboratuvarı 3:* Kadrolu kullanıcı istasyonu. Ayrıca Oxford'un 16 T lık DC süperiletken magneti bulunmaktadır.
- *Kullanıcı laboratuvarı 4:* Doğrusal olmayan optik laboratuvar. Bu kullanıcı istasyonunda, uzun dalga boylarında pompa-sonda ve 4 dalga boyunun karışımı

olan 15 μm de pompa-sonda/foton echo/ geçirgen ızgara deneyleri olmak üzere 2 ayrı sistem bulunmaktadır. Genel olarak bu iki kurulum birbirine benzer, fakat farklı özellikler için kullanıldıklarından dalgaboyları farklıdır.

- Kullanıcı laboratuvarı 5: SEL ile senkronize edilmiş 2 adet Ti:Safir lazer sistemi bulunmaktadır. Sistemlerden biri OPG/OPA sisteminin pompası için kullanılır.
- *Kullanıcı laboratuvarı 6a*: Kadrolu kullanıcı istasyonu.
- *Kullanıcı laboratuvarı 6b*: İyon terapi kurulumu.
- *Kullanıcı laboratuvarı 7c*: Cluster kurulumu.
- *Kullanıcı laboratuvarı 8*: Kadrolu kullanıcı istasyonu.
- *Kullanıcı laboratuvarı 9*: Kadrolu kullanıcı istasyonu.
- *Kullanıcı laboratuvarı 10*: Florida Üniversitesi (Gainsville, USA) ve Ulusal Yüksek Manyetik Alan Laboratuvarı (Tallahassee, USA) moleküler dinamik grupları tarafından yürütülen Fourier-Transform İyon Siklotron Rezonans Kütle Spektrometresi (FTICR) bulunmaktadır.

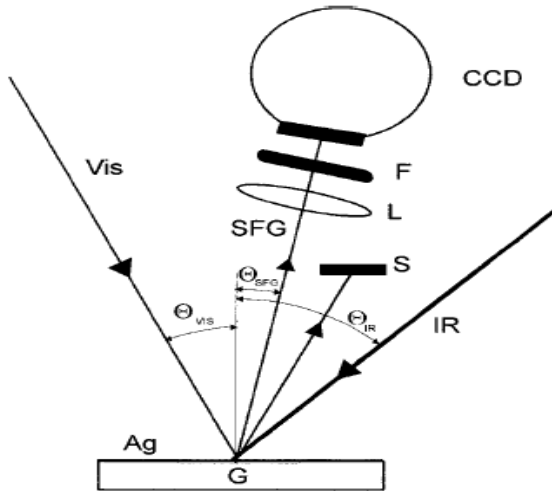
2005 e kadar FEL kullanılarak yapılan SFG Tekniği var fakat 2005 den sonra SFG ile ilgili yayınları bulunmamaktadır. 2005 e kadar yayınlanan makalelerde yüzey ve ara yüzey çalışmaları yoğunluktadır [35].

FELIX laboratuvarında SFG tekniği kullanılarak yapılan çalışmalara örnek verirsek:

Sum frequency generation spectra of thin organic films on silver enhanced due to surface plasmon excitation (1999) (FELIX-Hollanda)

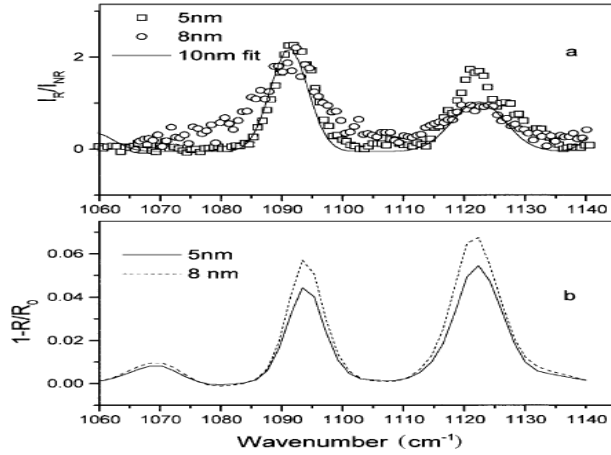
Geniş band aralıklı IR kaynağı olarak FELIX ve görünür radyasyon kaynağı olarak pulslu Nd:YLF lazer sistemi kullanıldı. Bu deneyde, bakır phthalocyanine ($\text{Cu}_{32}\text{H}_{13}\text{N}_3$) ince filmlerinin titreşimsel spektrumu ve farklı kalınlıklarda karbon kürecikleri (fullerene) gümüş üzerinde VIS-IR SFG ile çalışıldı. Gümüş üzerinde yüzey plasmonun uyarılması SFG sürecinin etkinliğinin artmasına izin verdi. Arayüzey tabakanın katkısı haricinde, SFG sinyalinin film kalınlığından bağımsız olduğu ispatlandı.

Şekilde 6.15 da SFG deneyinin şeması gösterilmiştir. 7 ps puls süresi ile 523,5 nm deki pulslu çift frekanslı Nd:YLF lazer sisteminin TM (p-polarize) radyasyonu örnek üzerinde olayın gerçekleşeceği yüzeydeki ızgara oluklarına dik olarak düşer. Görünür lazer demetinin gelme açısı ızgaradan minimum yansımaya sahip olacak şekilde seçilir. Görünür demet, örnek yüzeyinde FELIX ile yaklaşık 60° de boyutsal olarak çakıştırılır. İki lazer de geçici olarak ps de hatasız bir şekilde senkronize edilir. SF dalga yayılma açısı IR frekansın yüzey normaliyle ilişkisine bağlıdır ve momentum korumu yasasından hesaplanabilir. SF radyasyonu, odak uzaklığı 20 cm olan L lensi tarafından 512x512 öğeden oluşan yavaş-tarama CCD kameranın bir yongası üzerine odaklanır.



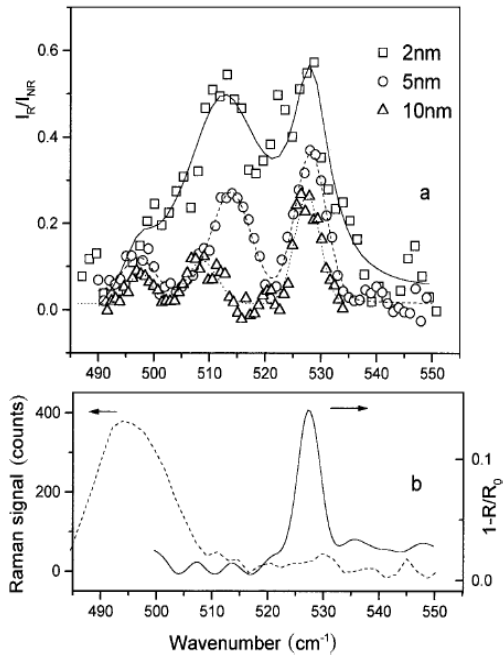
Şekil 6.15 SFG deneyinin şeması

Farklı kalınlıklardaki bakır phthalocyanine filmlerin SFG spektrumu gösterilmiştir. 10nm filmin spektrumu en iyi uyumu göstermektedir. Bu spektrumlar yansıma-absorbsiyon spektrumlarının bütün ana özelliklerini içerir (Şekil 6.16 b). SFG spektrumlarının band yoğunluğu filmin kalınlığına bağlı değildir. Bu, SFG sinyaline katkı filmin bütününden ziyade sadece arayüzdendir anlamına gelir.



Şekil 6.16 Farklı kalınlıklardaki bakır phthalocyanine filmlerin SFG spektrumu

Bu deneylerde, devamlı olmadıkları için daha ince bakır phthalocyanine filmleri kullanılmadı. 2 nm altında bile devamlı olan karbon kürecikleri (fullerene) kullanıldı. 2, 5 ve 10 nm kalın fullerene filmlerin 20 μm spektral bölgedeki SFG spektrumu Şekil 6.17 a da gösterilmiştir. 5 nm kalın filmin yansıma-absorbsiyon ve Raman spektrumları da gösteriliyor[36].

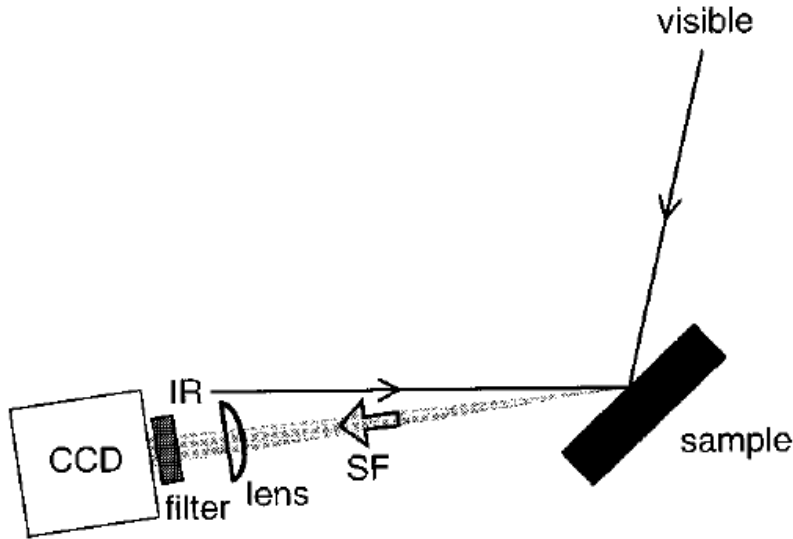


Şekil 6.17. 2, 5 ve 10 nm kalın fullerene filmlerin 20 μm spektral bölgedeki SFG spektrumu

Sum frequency generation from Thiophenol on silver in the mid and far IR (1999) (FELIX-Hollanda)

Uzun dalga boylu (9-55 μm) IR deneyleri için tasarlanmış koni şeklinde görünür ışık (523 nm, yaklaşık 2 mm çapında) içeren bir SF spektrometre ve zayıf odaklı IR demet (yaklaşık 1mm çapında) örnek yüzeyin üzerinde sayarak ilerleme prensibine göre üst üste bindirilir. Kullanılan (FELIX) FEL, iki farklı undulatorle birincisi 16-250 μm ve ikincisi 5-30 μm yi tarar. Nd:YLF lazerden elde edilen görünür ışık, IR ile benzer bir puls yapısına sahiptir. Makropulslar (yaklaşık 5 μs , 5 Hz) 250 MHz tekrarlama frekansı ve puls başına 8 mikrojoulelik enerji ile yaklaşık 7 ps'lik mikropulslar içermektedir. İki demeti örnek yüzeyinde bir ps zaman skalasında senkronize etmek için bir rf sistem kullanılır.

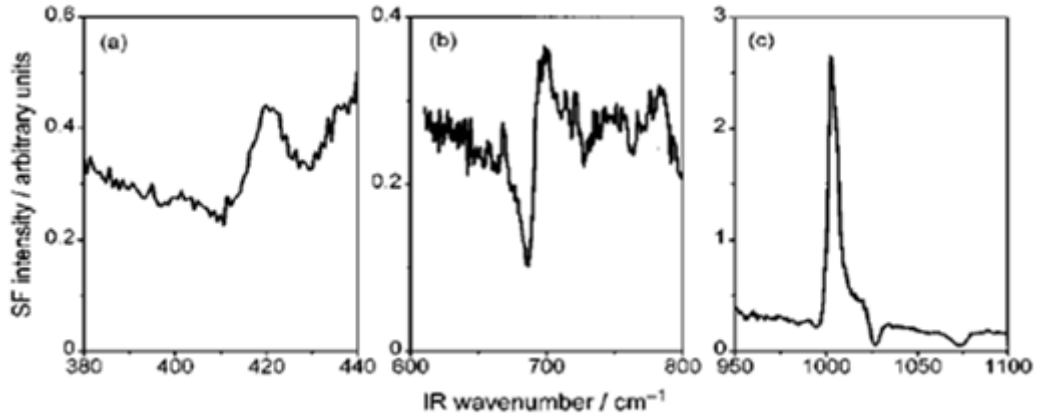
Görünür ışık demetinin geliş açısı 60° , IR için 45° , fakat bu değerler IR dalgaboyuna göre değiştirilebilir.



Şekil 6.18. SFG deney kurulumunun şematiği

Örnek üzerine gönderilen her iki demet de p polarizedir. Yayınlanan SF ışını N_2 soğutmalı bir CCD dedektör ile algılanır.

FELIX band aralığı, SF spektrumunun iki farklı metodunun algılanabileceği şekilde ayarlanabilir. Dar band modunda SF spektrumu, IR dalga boyu nokta nokta taranarak elde edilir. 10, 14 ve 24 μm 'de spektrum kaydedilmiştir. FELIX geniş bir dalga boyu bölgesinin taranması için yaklaşık 0,02 μm aralıklarla geniş band modunda taranmıştır. Geniş band spektrumun taranması genellikle 15-40 dk zaman almaktadır. FELIX'in darband modunda CCD pikseller IR dalga boyuna kalibre edilerek farklı dalga boyları için SF sinyallerinin pozisyonları kaydedilmiştir. 30-54 μm dalga boyları için her bir dalga boyu için 30 s'lik kazanım süresinde 3 okuma yapılarak dar band kazanım elde edilmiştir [37].



Şekil 6.19. Soldan sağ sırasıyla 24, 14 ve 10 μm 'de kaydedilen SF spektrumu

7. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında DPT tarafından desteklenen, Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde toplam 11 üniversitenin katılımı ile yürütülen, YUUP projesi kapsamında kurulumu Ankara Üniversitesi Gölbaşı Kampüsünde sürdürülen, THM TARLA tesisinde süperiletken doğrusal hızlandırıcıdan elde edilecek IR SEL'in kullanılacağı deney istasyonlarından biri olan doğrusal olmayan optik laboratuvarının tasarımı ve bu laboratuvarında uygulanacak tekniklerden biri olan Toplam Frekans Jenerasyonu Tekniği anlatılmaktadır.

Öncelikle elektromanyetik spektrum ve bu spektrumda yer alan kızılötesi bölgenin hangi aralıkta yer aldığı ve özellikleri anlatılmıştır. Daha sonra SEL'in, elektron tabancasından başlayarak doğrusal hızlandırıcının bütün yapılarının SEL'in oluşumunu nasıl sağladığı açıklanmıştır.

TARLA tesisinde her biri 20 MeV/m gradyenli, 9 hücreli süperiletken TESLA kaviteler kullanılarak elektronların 40 MeV'e ulaştırılması planlanmaktadır. Bu elektronlar 2,5 cm ve 9,0 cm periyotlu iki ayrı salındırıcı magnet ve rezonatör hattından geçirilerek 2,5-250 μ m aralığında ayarlanabilir lazer elde edilecektir. Elde edilen SEL'in ayarlanabilirlik, yüksek güç ve kısa atma özelliklerinden yararlanılarak malzeme bilimi, foton bilimi, yarıiletkenler, biyoteknoloji, medikal ve nanoteknoloji gibi konularda çalışma yapılması öngörülmektedir.

SFG yüzey ve arayüzleri analiz etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu teknikle incelenen yüzeyin yapısı yani yüzeydeki parçacıklar ve dağılımları hakkında bilgi sahibi olunur. Farklı renkte; yani farklı frekanslarda iki lazer demeti kullanılarak kristalde uygun boşluğun içinde üst üste bindirilir. Kristalin içinden geçtikten sonra, frekansı gelen ışınların frekanslarının toplamı olan üçüncü renk elde edilir. SFG yüzeye katkılanan türlerin spektroskopisini inceleyen bir tekniktir. Eğer alttaşı merkezi simetrikse prosese sadece yüzeyden katkı gelir ki yüzey kızılötesi dalga boyunu soğurarak rezonansa gelir. Bu sebeple prosesin doğrusal olmaması yüksek pik gücü

gerektirir. SEL, ayarlanabilir olduğu ve yüksek pik gücüne sahip olduğu için bu SFG deneylerinde kullanıma uygundur [44].

TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarının tasarımı, ortamın fiziksel gereksinimleri ve bu laboratuvarı uygulanan deneylerde kullanılacak cihazlar araştırılmış ve çalışma prensipleri, cihazların özellikleri açıklanmıştır.

Bu deney istasyonunda ayrıca SEL foton sinyalinin görünür sinyal sayesinde zamanlamasının ölçülmesi ve senkronizasyonun da yapılması düşünülmektedir. Bu ölçümler Ti:safir lazer gibi klasik lazerin de kullanılacağı PPT ve SFG çalışmalarının yapılacağı doğrusal olmayan optik laboratuvarı için oldukça önemli olmaktadır. Çünkü bu çalışmaları gerçekleştirmek için klasik lazer ile SEL'nin birbirine tamamen uyumlu olması gerekmektedir. Bunun için TARLA'da kullanılacak tüm sinyal frekanslarını üretecek fiber lazer gibi bir merkez osilatör sisteminin elektron tabancası yakınına kurulması düşünülmektedir. Bu fiber lazer zamanlama ve senkronizasyon için gerekli olmaktadır. Fotodedeksiyon kullanılarak RF'e dönüştürülen optik sinyallerin fiber optik kablolar yardımıyla gerekli yerlere taşınması planlanmaktadır. Bu sistemin tek dezavantajı sistemin maliyetinin çok yüksek olması ve sistemin karmaşıklığı olmaktadır [14].

Son olarak, dünyada doğrusal hızlandırıcıdan elde edilen IR SEL ile SFG tekniğini kullanarak çalışmalar yapan CLIO (Fransa), FELIX (Hollanda) araştırma merkezlerinin hızlandırıcı yapıları incelenerek SEL parametreleri belirtilmiştir. Bu merkezlerde hangi alanlarda çalışmalar yapıldığı kısaca açıklanmış ve yine bu merkezlerde SFG tekniği kullanılarak yapılan çalışmalar araştırılmıştır. İncelenen çalışmalarda, yüzey çalışmaları için dalga boyu aralığı 2,5-10 μm arasında ve malzeme çalışmaları için 9 – 55 μm arasında olduğu görülmüştür [45].

Hızlandırıcı teknolojileri ile tanışmak ve bu teknolojiyi AR-GE amaçlı kullanmak üzere ülkemizde bir IR-SEL tesisi kurulması yüksek teknolojiye dayalı malzeme, yarıiletken, medikal ve fotokimyasal araştırmalarının dünya ölçeğinde yapılmasına olanak sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Yavaş, Ö., “Hızlandırıcılara Dayalı Işınım Kaynakları Serbest Elektron Lazeri (SEL)”, **V. UPHDYO**, Bodrum, 37-50, (2009).
2. Tural, M., “IR SEL ile Mikroskopi ve Spektroskopi Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, **Ankara Üni. Fen Bil. Enstitüsü**, Ankara, 6, (2007).
3. İnternet : OMÜ Gözlemevi
<http://gozlemevi.omu.edu.tr/> (2012).
4. Şahin, L., “Hızlandırıcılarda Parçacık Kaynakları”, **VII. UPHDYO**, Bodrum, 4-13, (2011).
5. Gezgin, S.Y., “Serbest Elektron Lazeri Parametrelerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Süleyman Demirel Üni. Fizik Anabilim Dalı**, Isparta, 37-38, (2009).
6. Yavaş, Ö., “FZM 443 Parçacık Hızlandırıcıları Dersi Ders Notları”, **Ankara Üni**, 106-109, (2009).
7. Özkorucuklu, S., “Serbest Elektron Lazeri (SEL) Fiziği ”, **VII. UPHDYO**, Bodrum, 5-9, (2009).
8. Tekin, S., “ Osilatör SEL Sisteminde Optik Kavite Yapıları ve Lazer Kazanç Mekanizmaları”, Yüksek Lisans Tezi, **Ankara Üni. Fen Bilimleri Ens.**, 25, (2008).
9. Arıkan, P., “THM IR SEL Deney İstasyonları ve Kullanıcı Potansiyeli”, THM YUUP Projeleri için Gelişme Raporu”, Ankara, 36-58, (2010).
10. İnternet : Türk Hızlandırıcı Merkezi Projesi
<http://thm.ankara.edu.tr> (2012).
11. Özkorucuklu, S., “Türk Hızlandırıcı Merkezi Projesi Serbest Elektron Lazer Tesisi (TARLA)”, **İstanbul Üni. Fizik Bölümü Semineri**, İstanbul, 5-8, (2012).
12. Arıkan, P., “THM IR SEL Deney İstasyonları , Uygulama Alanları ve Kullanıcı Potansiyeli”, **Teknik Komiteler Ortak Toplantısı**, Ankara, 13-20, (2009).
13. Tapan, İ., “Foton Kontrol ve Diagnostik Teknikleri”, **IV. UPHDYO**, Bodrum, 4-6, (2008).
14. Uşun, A., “Süperiletken Doğrusal Hızlandırıcıdan Elde Edilen Serbest Elektron Lazerine Dayalı Pompa Sonda Tekniği ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üni. Fen Bilimleri Ens.**, Ankara, 19-20 , (2012).
15. Esentürk, O., “Molecular Structure and Surface Organization: A Study of Liquid/Vapor Interfaces Using Newly Developed Sum Frequency Methods”

Doctor of Philosophy, *College Park* , 12-21, (2004).

16. İnternet : Ekspla
<http://www.ekspla.com> (2012).
17. Altan, H., “*TARLA PPT Laboratuvarları Genel Bütçe Analizi Raporu*”, Ankara, 1-3, (2011).
18. “Lazerler” adlı sunum, *LATARUM, Kocaeli Üni.*, Kocaeli, 14-15, (2006).
19. İnternet : Eksmaoptics Company
<http://www.eksmaoptics.com> (2012).
20. İnternet : RP Photonics
<http://www.rp-photonics.com> (2012).
21. İnternet : Spectra Physics Company
<http://www.newport.com/spectra-physics> (2012).
22. İnternet : Optometrics
<http://www.optometrics.com> (2012).
23. İnternet : Thorlabs Company
<http://www.thorlabs.com> (2012).
24. İnternet : Tech-FAQ
<http://www.tech-faq.com> (2012).
25. “Laser Components” Kataloğu , *Eksma Optics*, Volume 22, (2011-2012).
26. Tural, M., “Türk Hızlandırıcı Merkezi Kızılötesi Serbest Elektron Lazerinin Uygulama Alanları”, *IV. YUUP Çalıştayı*, Ankara, 10-15, (2007).
27. İnternet : Centre Laser Infrarouge d’Orsay
<http://clio.lcp.u-psud.fr> (2012).
28. Pluchery, O., “Study of the Adsorption of 4-Cyanopyridine on Au(111) Using Sum Frequency Generation Nonlinear Spectroscopy”, *Phys. Stat. Sol.*, 145-151, (1999).
29. Traverse, A., “Nonlinear Optical Properties of Ag Nanoparticles Embedded in Si_3N_4 ”, *A Letters Journal Exploring the Frontiers of Physics*, 83:64004, (2008).
30. Busson, B., Tadjeddine, A., “Chiral Specificity of Doubly Resonant Sum-Frequency Generation in An Anisotropic Thin Film”, *France*, 112:11813, (2008).

31. Busson, B., Tadjeddine, A., “ Doubly Resonant Sum Frequency Generation Spectroscopy of Adsorbates at an Electrochemical Interface”, **France**, 112:11791, (2008).
32. Humbert, C., Busson, B., Six, C., Gayral, A., Gruselle, M., Villain, F., Tadjeddine, A., “Sum-Frequency Generation as a Vibrational and Electronic Probe of the Electrochemical Interface and Thin Films”, *Journal of Elektroanalytical Chemistry*, 621:314-321, (2008).
33. Bozzini, B., “Doubly Resonant Sum Frequency Generation Spectroscopy of Adsorbates at an Electrochemical Interface”, *J. Phys. Chem. C.*, 112:11791–11795, (2008).
34. İnternet : Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf
<http://www.hzdr.de> (2012).
35. İnternet : FOM Instituut voor Plasmapysica Rijnhuizen,
<http://www.differ.nl> (2012).
36. Alieva, E. V. “Sum-Frequency Generation Spectra of Thin Organic Films on Silver Enhanced Due to Surface Plasmon Excitation”, *Phys. Stat. Sol.*, 109-114, (1999).
37. Braun, R., Casson, B. D., Bain, C. D., Van Der Ham, E. W. M., Vreken, Q. H. F., Eliel, E. R., Briggs, A. M., Davies, P. B., “Sum-Frequency Generation from Thiophenol on Silver in the Mid and Far-IR”, **Netherlands**, 110:4634-4640, (1999).
38. İnternet : Ankara Üni. Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü
<http://hte.ankara.edu.tr> (2012).
39. Duran Yıldız, H., “Demet Optiği ve Uygulamaları”, **V.UPHDYO**, Bodrum, 1-3, (2009).
40. Ganioglu, E., “Hızlandırıcılarda Kullanılan Magnetler”, **V.UPHDYO**, Bodrum, 11-13, (2009).
41. Arslan, M., “ İkinci Harmonik Üretim Deneyinin Kurulması”, Yüksek Lisans Tezi, **Ankara Üni.Fen Bilimleri Ens.**, 6, (2008).
42. İnternet : Standart Analitik Teknikler
<http://www.mustafaaltinisik.org.uk/78-uzm-05.ppt> (2012).
43. Erdoğan, S., “Toplam Frekans Jenerasyonu (SFG) Tekniği ve Uygulamaları”, **IX. THM YUUP Çalıştayı**, Ankara Üni, Ankara, 3-9, (2010).

44. Erdoğan, S., “SEL’e Dayalı Toplam Frekans Jenerasyonu Tekniğı ve Uygulamaları”, *X. THM YUUP Çalıştayı, Ankara Üni HTE*, Ankara, 5-15, (2011).

EKLER

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERDOĞAN, Selin
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 07.01.1987 Kadıköy
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (530) 827 54 34
e-mail : seliner_87@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Fizik Bölümü	2009
Lise	Hacı Ömer Tarman Anadolu Lisesi	2005

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Yüzme, Sinema