

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜKSEK GÜÇLÜ YARI İLETKEN DİZGİ LAZER DİYOTLARIN TEST VE
KARAKTERİZASYONU**

İbrahim KILIÇ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2023

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜKSEK GÜÇLÜ YARI İLETKEN DİZGİ LAZER DİYOTLARIN TEST VE
KARAKTERİZASYONU**

İbrahim KILIÇ

DANIŞMAN
Doç. Dr. İlyas ÖZER

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2023

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Yüksek Güçlü Yarı İletken Dizgi Lazer Diyotların Test ve Karakterizasyonu**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 11/07/2023

İbrahim KILIÇ

ÖNSÖZ

Yarı iletken dizgi lazer diyotlar, çeşitli uygulamalarda kullanılan önemli optoelektronik bileşenlerdir. Son yıllarda teknolojinin hızlıca gelişmesi lazer diyotların kullanım alanlarının genişlemesine yol açmıştır. Kullanım alanlarına bağlı olarak farklı isterlerin oluşması yarı iletken lazer diyotların üretim ve test aşamalarında da farklı yöntemlerin gelişmesine neden olmuştur. Test ve karakterizasyon yöntemleri kullanıcının isterine bağlı olarak üretilen lazer diyotların optik ve elektriksel özelliklerini değerlendirmek ve kalite kontrolünü sağlamak amacıyla gerçekleştirilir.

Yarı iletken dizgi lazer diyotlar, kullanım amaçlarına göre farklı özelliklere sahip olabilirler. Bu diyotların çıkış gücü, dalga boyu, verimlilik ve sıcaklık toleransı gibi faktörler, spesifik uygulamalara uygun olarak optimize edilebilir.

Bu çalışmada tez danışmanlığımı üstlenerek konu seçiminde isteklerimi göz önünde bulunduran ve yürütme sürecinde bilimsel uyarı ve önerilerinden yararlandığım değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. İlyas ÖZER'e şükranlarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük emekleri olan yoğun çalışma temposunda benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, varlıkları ile birer motivasyon kaynağı olan annem Leycan, babam Cafer'e, kardeşimŞengül ve abim İsmail'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasında deneysel çalışmalar için laboratuvar imkanlarını kullanmama olanak sağlayan ERMAKSAN Optoelektronik Ar-Ge Merkezi yönetimine saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve deneyimleriyle tez çalışmama yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli ekip arkadaşlarım Enis IŞIK, Mustafa TURHAN, Murat BURCCU, Bahar ÖMER, Merve UZUN ve Bulut GEZER 'e çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hep desteklerini aldığım Aileme teşekkür ederim.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK GÜÇLÜ YARI İLETKEN DİZGİ LAZER DİYOTLARIN TEST VE KARAKTERİZASYONU

İbrahim KILIÇ

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İlyas ÖZER

TEMMUZ 2023, 51 sayfa

Yarı iletken teknolojisinin gelişmesi ile birlikte Lazer teknolojisi de yarı iletken teknolojisi ile beraber gelişmiş ve gelişmeye devam etmektedir. Özellikle yüksek güç gereksinimin olduğu hassas teknolojilerde Tıp, Savunma ve Görüntüleme gibi alanlarda gün geçtikçe daha fazla istekler gelmektedir. Bu istekler kullanım amaçlarına göre yüksek güç, özel dalga boyu, özel çalışma sıcaklığı gibi farklılıklar göstermektedir. Bu farklı istekler üreticilerin açısından olumlu karşılanıp aynı zamanda üretim açısından birçok problemi de yanında getirmektedir. Üretim aşamasındaki değişimler haricinde test ve karakterizasyon kısmında üretilen ürünün doğrulanması ve performans analizlerinin gerçekleştirilmesi için bu kısımda da birçok yöntem geliştir.

Bu çalışmada yüksek güçlü yarı iletken dizgi lazer diyotların test ve karakterizasyon aşamaları detaylı şekilde incelenmiş, optik masa üzerinde test sistemi kurularak lazer diyot test edilmiş, elde edilen veriler kayıt edilmiş, optik ve elektriksel özelliklerini değerlendirilerek kalite kontrolünü sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Yarı İletken Lazer Diyot, Optik Test, Lazer Diyot Karakterizasyon, Lazer Diyot Test Sistemleri.

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

TEST AND CHARACTERIZATION OF HIGH POWER SEMICONDUCTOR ARRAY LASER DIODES

İbrahim KILIÇ

**Bandırma Onyedi Eylül University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İlyas ÖZER

July 2023, 51 pages

With the development of semiconductor technology, laser technology has also developed with semiconductor technology and continues to progress. There is an increasing demand in areas such as Medicine, Defense, Imaging, especially in precision technologies that require high power. These demands vary according to the intended use, such as high power, specific wavelength and specific operating temperatures. Although these different requirements are welcomed by the manufacturers, they also bring many difficulties in terms of production. Apart from the changes in the production phase, various methods have been developed in the testing and characterization phase in order to verify the produced product and perform performance analysis. Installed system was investigated in terms of efficiency and motor performance if preferred in industry and agricultural irrigation, results were reviewed by using obtained system graphs, suggestions were presented for planning and system engineers.

In this study, testing and characterization stages of high-power semiconductor laser diode arrays were investigated in detail. To test the laser diodes, a test system was set up on an optical bench and the obtained data were recorded. Optical and electrical properties were evaluated to ensure quality control.

Keywords: SemiconductorLaserDiode, Optical Testing, LaserDiodeCharacterization, LaserDiode
Test Systems.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	I
ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİL LİSTESİ	VI
TABLOLİSTESİ.....	VII
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Lazer Tarihçesi.....	1
1.2. Lazer Çalışma Prensipleri	2
1.1.1 Lazer Işının Özellikleri	4
1.3. Yarı İletken Lazerler	5
1.3. Kenar Işımalı Yarı İletken Lazer Diyot.....	9
2. DİZGİ LAZER DİYOTLAR	11
2.1 Dizgi Lazer Diyot Yapısı	11
2.1.1 Lazer Diyot Bar Yapısı.....	13
2.1.2 Dizgi Lazer Diyot Çalışma Modları.....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1 Lazer Diyot Test Sistemleri.....	17
3.2 Yüksek Güçlü lazerler için Kullanılan Test Sistemleri	18
3.3 Yüksek Güçlü Yarı İletken Lazerlerin Test Edilmesi ve Karakterizasyonu.....	19
3.3.1 Lazer Diyot Sürücü	20
3.3.2. Entegre Optik Ölçüm Küresi.....	21
3.3.3 Optik Güç Ölçer.....	22

3.3.4	Spektrometre.....	23
3.3.5	Termoelektrik Soğutucu (Peltier).	24
3.4	Test Sisteminin Kurulması.....	25
3.5	Test ve Karakterizasyon.....	28
3.5.4	Optik Güç–Akım–Gerilim	28
3.5.5	Sıcaklığa Bağlı Dalga Boyu Kayması.....	30
3.5.6	Sıcaklığa Bağlı Eşik Akımı Kayması	30
3.5.7	Gülümseme (Smile) Testi	31
4.	BULGULAR.....	33
4.1	Optik Güç–Akım–Gerilim Test Bulguları.....	33
4.2	Dalga Boyu Kayması Testi Bulguları.	35
4.3	Sıcaklığa Bağlı Eşik Akım Kayması Bulguları.....	37
4.4	Gülümseme Testi Bulguları	39
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	43
6.	KAYNAKLAR	45
7.	EKLER	49

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. Lazerin tarihsel gelişimine öncülük eden bilim insanları.	1
Şekil 2. Yarı iletken Lazer Diyot katman yapısı.....	2
Şekil 3. Lazer Diyot P-N eklem yapısı.	3
Şekil 4. Lazer resonatör yapısı ve çalışma prensibi.	4
Şekil 5. Lazer resonatör yapısı ve çalışma prensibi.	5
Şekil 6. Farklı yarı iletken malzemelerin ışıma dalga boyları[7].....	8
Şekil 7. Kenar ışımalı lazer diyot yapısı.	10
Şekil 8. Dizgi Lazer Diyot Mekanik Yapısı ve Bileşenleri [1].	12
Şekil 9. Kenar ışımalı lazer diyot bar yapısı.	13
Şekil 10. Farklı türde iletken soğutmalı LDA paketleri[16].....	15
Şekil 11. Dizgi Lazer diyotun dizgi yapısının yan kısımdan görünüşü[17].....	16
Şekil 12. Dizgi Lazer Diyot Genel yapısı[29].	16
Şekil 13. Optik masa üzerinde örnek bir lazer diyot test sistemi.....	18
Şekil 14. Lazer diyot test sistem anatomisi.	19
Şekil 15. Lazer diyot sürücü.....	21
Şekil 16. Entegre Optik ölçüm küresi.....	22
Şekil 17. Optik güç ölçer.....	23
Şekil 18. Spektrometre.....	24
Şekil 19. Termoelektrik soğutucu peltier.	25
Şekil 20. Lazer diyot sürücü ile lazer diyot arası bakır bara bağlantısı.	26
Şekil 21. Peltier üzerinde lazer diyot montajı.....	27
Şekil 22. Lazer diyot güç ve osiloskop prob bağlantıları.....	27
Şekil 23. Lazer diyot üzerin akım ölçümü.	28
Şekil 24. Optik güç -Akım- Gerilim grafiği.	29
Şekil 25. Test sistemi şematik diyagramı.	29
Şekil 26. Dalga Boyu kayması testi şematik diyagramı.	30
Şekil 27. Gülümseme test sistem yapısı ve bileşenleri.....	32
Şekil 28. Lazer diyot test sonuçları.....	33
Şekil 29. Güç-Verim-Gerilim grafiği.....	33
Şekil 30. Güç-Akım grafiği.....	34
Şekil 31. Verim-Akım grafiği.	35
Şekil 32. Sıcaklığa bağlı dalga boyu kayması grafiği.....	36
Şekil 33. 50°C dalga boyu grafiği.....	37
Şekil 34. Dalga boyu kayması spektrum gösterimi.	37
Şekil 35. Sıcaklığa bağlı Eşik akım değişim grafiği.....	39
Şekil 36. Lazer diyot pasif halde ND filtresiz görüntüsü.....	40
Şekil 37. Eşik akımındaki ışıma yüzeyi görüntüsü.....	40
Şekil 38. 20 A değerinde ışıma yüzeyi görüntüsü.....	41
Şekil 39. 120 A değerinde ışıma yüzeyi görüntüsü.....	41

TABLOLİSTESİ

Tablo

Sayfa

Tablo 1-1:Yarı İletken Diyot Lazerlerin Kimyasal Birleşme Oranları Ve Yayımladıkları Işık Dalga Boyları (Alt İndisler Kimyasal Bileşenden Hangi Oranda Alındığını Belirtmektedir)	6
Tablo 4-1:Sıcaklığa Bağlı Dalga Boyu Kayması	32
Tablo 4-2:Sıcaklığa Bağlı Eşik Akımı Değişimi Değerleri	37



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

λ	: Dalga boyu
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat (Celcius)
μs	: Mikro saniye
I_{th}	: Eşik akımı (threshold)

Kisaltmalar

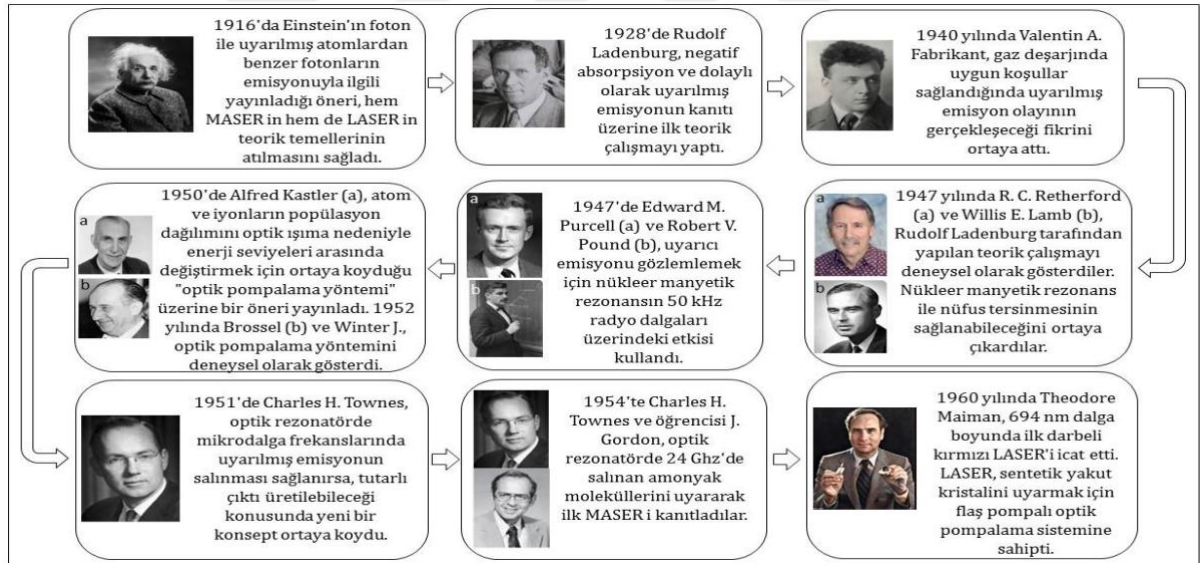
Açıklama

QW	: Quantum Well(Kuantum Kuyusu)
DFB	: Dağıtılmış Geri Besleme
DBR	: Dağıtılmış BraggReflektörleri
CW	: Sürekli Dalga
QCW	: Yarı Sürekli Dalga
PULSE	: Atımlı
LD	: Lazer Diyot
LDA	: Lazer Diyot Dizini
LIV	: LightPower- Current- Voltage(Işın Gücü- Akım- Gerilim)
OPM	: Optik Güç Ölçer
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
CTE	: Termal Genleşme Katsayısı
HPDLA	: High PowerDiode Lazer Array(Yüksek Güçlü Diyot Lazer Dizini)

1. GİRİŞ

1.1. Lazer Tarihçesi

"Lazer terimi, "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (Uyarılmış Yayılım ile Işının Kuvvetlendirilmesi) ifadesinin kısaltmasıdır. Bir lazer, atomik veya moleküler sistemlerde depolanan enerjinin, uyarılmış yayılım olayıyla elektromanyetik ışınım enerjisine dönüştürüldüğü bir cihazdır. Lazer, 1916'da Albert Einstein tarafından yapılan uygun koşullar altında atomların aşırı enerjiyi ışık olarak ya kendiliğinden ya da ışıkla uyarıldığında açığa çıkarabilecekleri yönündeki bir önermenin doğal bir ürünüdür. Alman fizikçi Rudolf Walther Ladenburg, uyarılmış emisyonu ilk kez 1928'de gözlemledi, ancak o zamanlar pratik bir kullanımı olmadığı gibi görünüyordu[1]. Şekil 1'de lazerin tarihsel gelişiminde etkili olan bilim insanları ve katkılarını anlatan detaylı olarak belirtilmiştir.



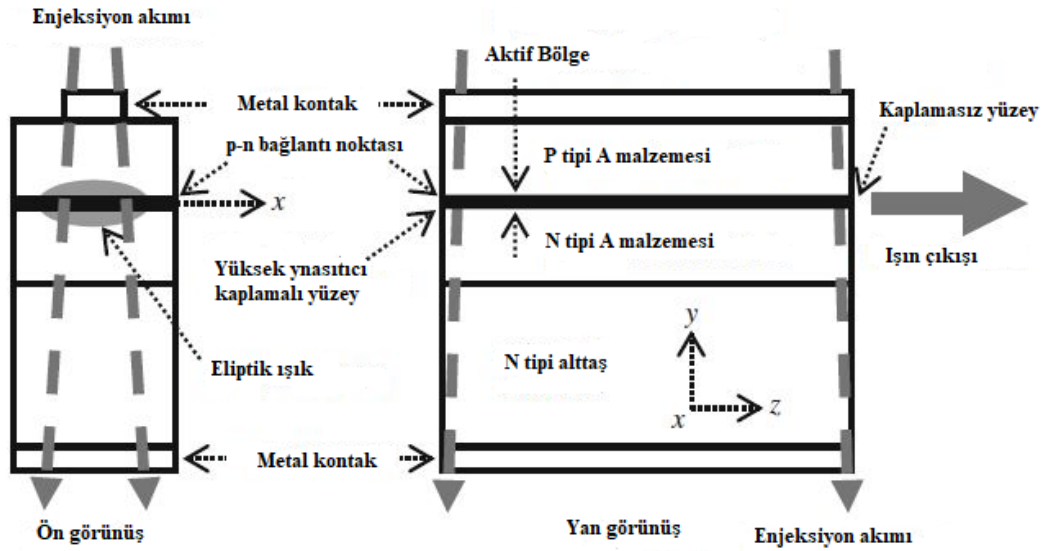
Şekil 1. Lazerin tarihsel gelişimine öncülük eden bilim insanları.

1951'de Charles H. Townes, o zamanlar New York City'deki Columbia Üniversitesi'nde, mikrodalga frekanslarında uyarılmış emisyon üretmenin bir yolunu düşündü. 1953'ün sonunda, "uyarılmış" (Enerji seviyeleri ve uyarılmış emisyonlar) amonyak moleküllerini, saf bir mikrodalga frekansı yaydıkları bir rezonans mikrodalga boşluğunda odaklayan çalışan bir cihaz gösterdi. Townes, cihaza "uyarılmış radyasyon emisyonu ile mikrodalga amplifikasyonu" anlamına gelen maser adını verdi. Aleksandr Mihayloviç Prokhorov ve Moskova'daki PN Lebedev Fizik

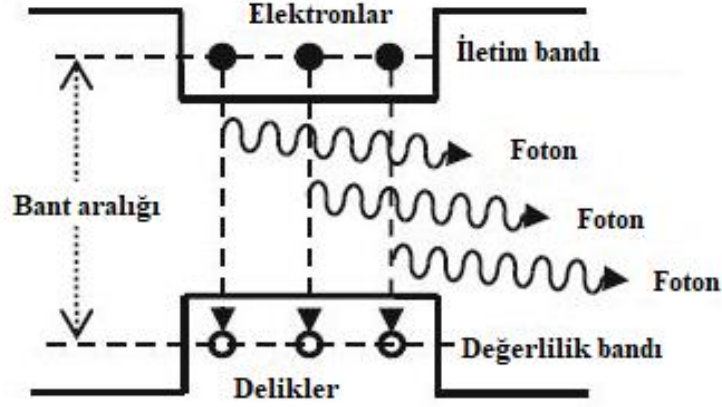
Enstitüsü'nden NikolayGennadiyevichBasov, maser operasyon teorisini bağımsız olarak tanımladı. Çalışmaları için üçü de 1964 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaştı[1][2].

1.2. LazerÇalışma Prensibi

Bir lazer diyotun ışını aktif bir katman içinde üretilir. En eski lazer diyotları, aktif katman olarak p-n tipi bir eş bağlantıya sahipti. p-n bağlantısı, Şekil 2'de gösterildiği gibi aynı malzemeden yapılmıştır. Aktif katman mikron altı bir kalınlığa sahiptir.Yarıiletken lazer diyotları p-n birleşimi kullanarak çalışır. Bu diyot yapısında aktif bölge olarak adlandırılan bir bölge bulunur ve bu bölge p ve n tipi katkılı tabalar arasına yerleştirilmiştir. Aktif bölgede elektronlar ve boşluklar rekombinasyon yaparak uyarılmış yayılım olayını gerçekleştirir ve lazer ışını yayarak optik enerji elde edilir. Bu yapıda çiftlenim sınırlama ve asimetrik çiftlenim sınırlama gibi tekniklerle lazer ışınının yayılması sınırlanır[2].



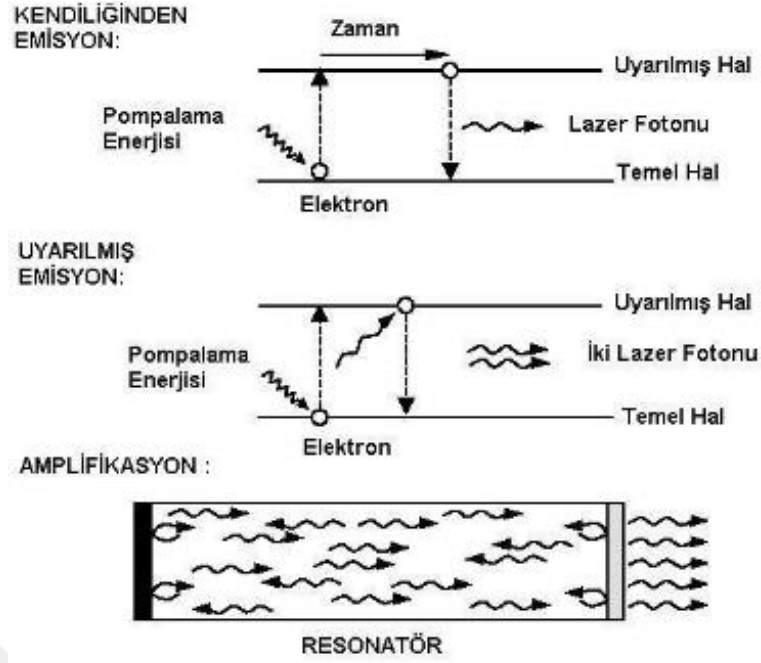
Şekil 2.Yarı iletken Lazer Diyot katman yapısı.



Şekil 3.Lazer Diyot P-N eklem yapısı.

Şekil 3'de gösterildiği gibi, p-n bağlantı noktasından bir elektrik akımı enjekte edildiğinde, elektronlar iletim bandındadır ve boşluklar değerlik bandındadır. İki bant arasında bir enerji boşluğu vardır. Daha yüksek enerji seviyesindeki elektronlar, daha düşük enerji seviyesindeki deliklerle yeniden birleşebilir ve fotonlar yayabilir. Fotonlar esas olarak aktif katman içinde tutulur ve aktif katman içinde yalnızca Şekil 3'de gösterilen z yönünde hareket edebilir. Bazı fotonlar, lazerin kayıp mekanizması olan hareket halindeyken aktif katmanın malzemesi tarafından emilir. Bazı fotonlar, aktif katman içinde seyahat ederken daha fazla elektron ve delik rekombinasyonu başlatır ve daha fazla foton üretir, bu lazerin kazanç mekanizmasıdır[3]. Aktif katmanın bir yüzü >%99 yansıtma sağlamak için yüksek yansıtma kaplamalıdır. Aktif katmanın başka bir yüzü, %30-40'lık bir doğal yansıtıcılıkla kaplanmamış. Fotonlar kaplanmamış yüze geldiğinde, fotonların bir kısmı yüzey boyunca iletilir ve çıkış lazer ışını olur, bu lazerin başka bir kayıp mekanizmasıdır. Fotonların geri kalan kısmı yüzey tarafından yansıtılır, aktif katman içinde geriye doğru hareket eder ve daha fazla elektron ve boşluk rekombinasyonu ve daha fazla foton emisyonunu indükler. Yeterli elektron ve delik arzı varsa bu işlem devam eder. Kazanç büyüklüğü, elektronların ve deliklerin arzı veya enjeksiyon akımı büyüklüğü ile orantılıdır[4].

Lazer amplifikasyonu, lazer ışığının gücünü artıran bir süreçtir. Bu işlem, optik sinyallerin iletimi, optik haberleşme ve bilimsel araştırmalarda kullanılan yüksek güçlü lazerlerin oluşturulması gibi birçok uygulamada önemli bir rol oynar. Lazer amplifikasyonu, genellikle lazer ortamlarında (aktif ortam) gerçekleştirilir ve bu ortamlar genellikle yarı iletken veya katı hal lazerlerinde bulunur. Şekil 4'de lazer amplifikasyonunu ve rasonatör yapısını detaylı biçimde kademeli olarak açıklayan görsel bulunmaktadır, görselde emisyon akımı ile oluşan foton salınımı, ardından fotonların uyartımı ve rasonatör kısımları belirtilmiştir.



Şekil 4.Lazer resonatör yapısı ve çalışma prensibi.

1.1.1 Lazer Işınının Özellikleri

Yoğunlaştırılmış: Lazer ışığı, içinden geçtiği bir ortamda yoğunlaştırılarak üretilir. Bu yoğunlaştırma, ışığın enerjisinin bir noktaya odaklanmasını sağlar. Bu nedenle lazer ışığı, genellikle normal ışık kaynaklarından daha yoğun bir ışık demeti üretir.

Koharent: Lazer ışığı, dalga boyu ve frekans açısından koharenstir. Bu, lazer ışığının tüm dalga boylarının aynı fazda olduğu ve bu nedenle dalga boyları arasında sabit bir faz ilişkisi olduğu anlamına gelir. Koharens, lazer ışığının genellikle keskin bir demet veya nokta oluşturmasını sağlar.

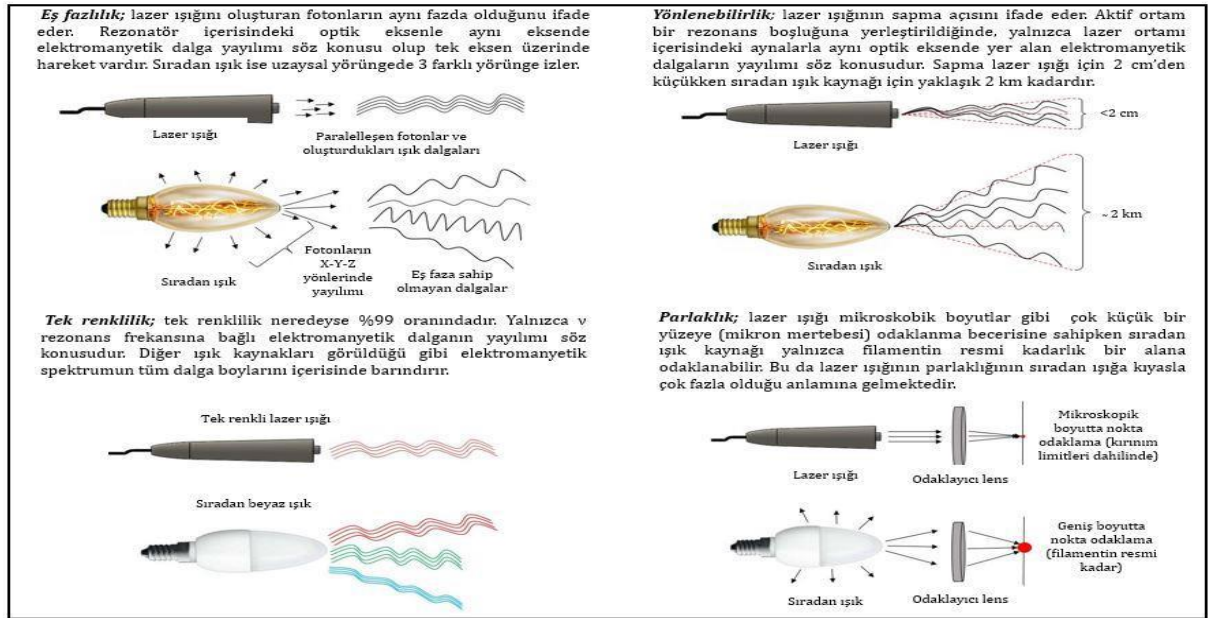
Monokromatik: Lazer ışığı, genellikle dar bir dalga boylu aralığında yayılır. Bu, lazerin tek bir renkte yoğunlaştırılmış bir ışık ürettiği anlamına gelir. Örneğin, bir lazerin yeşil renkte olduğu söylenebilir, bu da lazer ışığının çoğunlukla bu dalga boyunda yoğunlaştırıldığı anlamına gelir.

Yönlendirilebilir: Lazer ışığı, genellikle dar bir demet halinde yayılır ve bu demet kolayca yönlendirilebilir. Bu, lazerin istenilen hedefe odaklanması ve uzak mesafelere düzgün bir şekilde iletilebilmesi anlamına gelir.

Yüksek yoğunluklu enerji: Lazer ışığı, yoğunlaştırıldığı için genellikle yüksek yoğunluklu enerji taşır. Bu, lazer ışığının hassas işlemlerde kullanılmasına olanak sağlar, örneğin cerrahi

ameliyatlar, kesme ve kaynaklama işlemleri, bilgi iletimi, optik veri depolama ve daha birçok uygulama alanı.

Şekil 5’de lazer ışının özelliklerini ve doğal ışık kaynaklarından farkı detaylı biçimde anlatılmıştır.



Şekil 5.Lazer resonatör yapısı ve çalışma prensibi.

1.3. Yarı İletken Lazerler

Yarı iletken lazerlerden gelen optik emisyon, cihazın aktif alanındaki yük taşıyıcı çiftlerinin, yani elektronlar ve deliklerin ışınsal rekombinasyonundan kaynaklanır. İletim bandı elektronu, enerji farkını aynı anda ışık alana aktararak valans bandı boşluğunu doldurur. Bu nedenle, lazer ışığının frekansı, yarı iletken lazer malzemesinin bant aralığıyla belirlenir. Lazer elde etmek için, yeterli sayıda elektrona sahip olmak gerekmektedir, böylece ışık soğurma olasılığı, emisyon olasılığını telafi eder şekilde iletim bandında taşıyıcı inversiyonu oluşturulabilir.

Yarı iletken lazerler için çeşitli yarı iletken malzemelerin uygun olduğu gösterilmiştir. En önemli gerekliliklerden biri, malzemenin doğrudan bir bant aralığına sahip olmasıdır. Yani, değerlik bandının maksimum enerji seviyesi ile iletim bandının minimum enerji seviyesi, k-uzayında (Brillouin bölgesinin merkezinde) aynı konumda olmalıdır. Bu, elektronların doğrudan bir enerji farkıyla uyarılarak lazer ışığı üretebilmesini sağlar. Bu koşul, temel yarı iletkenler Silikon ve Germanyum'un yarı iletken lazerler için kullanılmasını hariç tutar[5].

Taşıyıcı inversiyonu elde etmek için yarı iletken lazeri pompalamak gereklidir. Bu, değerlik bandında bulunan yeterli miktarda elektronun uyarılarak iletim bandına geçmesini sağlar. Bu süreç, yarı iletken malzemeye uygun bir enerji kaynağı ile yapılan optik veya elektriksel bir uyarı ile gerçekleştirilebilir. Taşıyıcı inversiyonu sağlamak, daha sonra lazer emisyonunu başlatabilmek için yeterli sayıda uyarılmış elektronun oluşturulmasını içerir. Bu şekilde, lazerin aktif ortamında yayılan ışık emisyonu gerçekleştirilebilir. Yarı iletkenlerdeki bu pompalama, diğer katı hal lazer malzemelerinde olduğu gibi optik olarak yapılabilir yarı iletken lazerlerin büyük teknolojik etkisi, en azından kısmen, birkaç voltluk gerilimde birkaç on milli amper ile elektriksel pompalama olasılığından kaynaklanmaktadır[6].

Lazerin yapısı, GaAs tabanlı bir p-n bağlantısından oluşan ve ileri yönde eğimli olan bir yapıdır. Elektronlar n-bölgesinden, delikler ise p-bölgesinden enjekte edilir. P-N bağlantısının diyot özelliklerinden dolayı, yarı iletken lazerler genellikle lazer diyotları olarak da adlandırılır.

Çift heteroyapılı lazerlerin temel fikri, aktif malzemenin içinde elektronların ve deliklerin hapsedildiği potansiyel bir kuyu oluşturarak, aktif alanda yüksek taşıyıcı yoğunlukları elde etmektir. Aynı zamanda, çevreleyen yüksek bant aralıklı malzemenin daha küçük kırılma indisi, optik alandaki en yüksek inversiyon bölgesine odaklanmasına yardımcı olur.

Bu şekilde, çift heteroyapılı lazerlerde yüksek verimlilik ve daha iyi optik özellikler elde edilebilir. Aktif malzeme içindeki taşıyıcıların yoğunluğu arttıkça, taşıyıcı inversiyonu sağlanır ve lazer emisyonu gerçekleştirilir. Yani, elektronların ve deliklerin aktif alanda birleşerek ışık üretmesi sağlanır. Çoğu zaman, tam bir optik dalga kılavuzu oluşturmak için ek çıkıntı şeklindeki yanal yapı kullanılır.

Moleküler ışın epitaksisi (MBE) ve metal organik kimyasal buhar biriktirme (MOCVD) gibi modern kristal büyütme teknikleri, daha gelişmiş lazer yapılarının üretilmesini sağlamıştır. Bu teknikler, yetiştiricinin yarı iletkenlerin bileşimini hassas bir şekilde belirleyebilmesine ek olarak, şekillerini neredeyse atomik ölçekte tanımlayabilmesine olanak tanır[2].

Özellikle, kuantum kuyusu (Quantum Well- QW) adı verilen yapıların, birçok açıdan kütsel malzemelerden üstün olduğu bulunmuştur ve şu anda ticari yarı iletken lazerlerin çoğunda aktif ortam olarak kullanılmaktadır. QW lazer yapıları, bir veya daha fazla ince film tabakasından oluşan, birkaç atomik tabaka kalınlığına sahip bir kazanç ortamını içerir. Bu filmler, taşıyıcıları kuyulara hapsedmek için kullanılan daha geniş bant aralığına sahip bariyer malzemelerine gömülüdür[2].

QW'ler, taşıyıcıların termal dalga boylarına kıyasla kuyu kalınlığının çok küçük veya eşit olduğu durumlarda, taşıyıcı hareketini iki boyutta sınırlayan yapıların örnekleridir. Bu nedenle, bu

filmler "yarı iki boyutlu" (2D) yapılar olarak adlandırılır. Taşıyıcı enerji seviyeleri kuantumlanır, yani taşıyıcıların kinetik enerjilerinin sınırlı bir yöne bağlı kısmı için yalnızca belirli değerlere izin verilir.

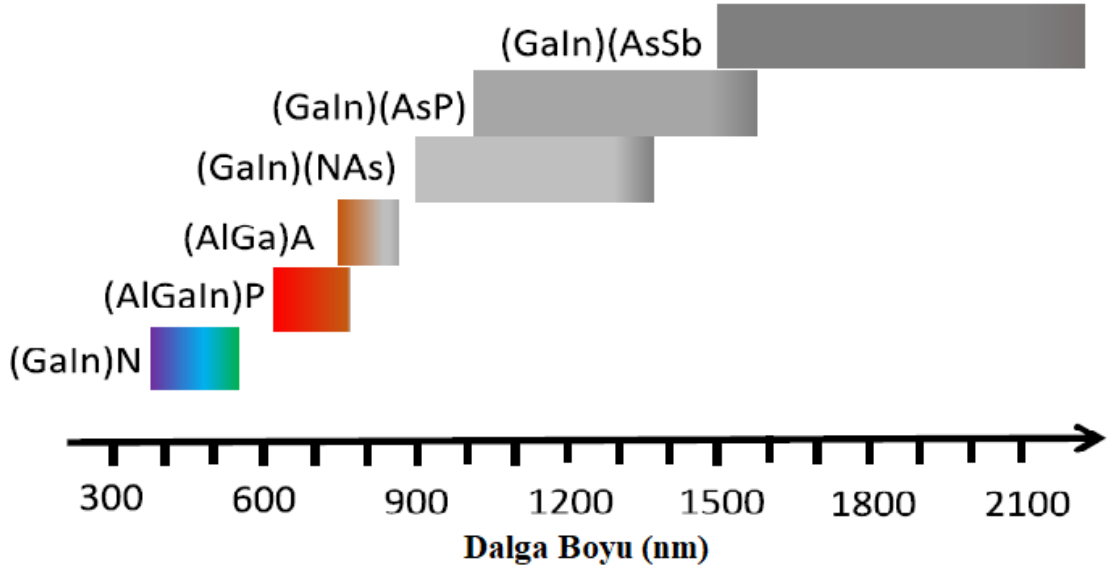
Bu kuantum hapsedme etkileri sadece bir boyutla sınırlı değildir. QW'lerde olduğu gibi iki boyutlu yapılar yanı sıra kuantum telleri ve kuantum noktaları gibi üç boyutlu yapılar da elde edilebilir. Tel ve nokta yapıları farklı derecelerde hassaslıkla yetiştirilebilir, ancak yarı iletken lazerlerde kullanımları hala gelişmekte olan bir alandır. Özellikle kuantum nokta yapıları, QW'ler için kullanılan benzer tekniklerle çok sayıda yetiştirilebildikleri için gelecek için büyük potansiyele sahiptir.

Bariyer malzemesi ile hafifçe farklı atomik kafes sabitine sahip bir zorlama durumu altında katman büyümesi gibi yöntemler, lazer kazanç ortamının istenilen emisyon dalga boyuna sahip olarak tasarlanabilmesini sağlar. Yarı iletken alaşımları, örneğin (GaIn) olarak veya (AlGa) olarak üreterek, bant aralığını ve dolayısıyla emisyonun spektral aralığını ayarlamak mümkündür[3].

Günümüzde çok çeşitli yarı iletken malzemeler bulunmaktadır ve bu malzemeler farklı dalga boylarında lazerlerin üretilmesine olanak sağlar. Örneğin, örtülü (AlGaInP) malzeme sistemi kırmızı, yeşil ve sarı dalga boylarında lazerlerin üretilmesinde kullanılırken, yakın kızılötesi dalga boylarında (AlGa)As ve (GaIn)As gibi malzemeler tercih edilir. Telekomünikasyon aralığında ise (GaIn)(AsP) malzeme sistemi sıklıkla kullanılır[6].

Son yıllarda malzeme büyütme tekniklerindeki ilerlemeler, (GaIn) malzeme sistemine dayalı yeşil lazer diyotlarının gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır. Ayrıca, kızılötesi dalga boylarında (GaIn)(AsSb) malzeme sistemi kullanılarak lazerler üretilir. Hatta mavi-ultraviyole aralığında da (GaIn)N malzeme sistemi kullanılarak lazerler geliştirilmektedir.

Bu geniş malzeme yelpazesi, farklı uygulama alanlarına yönelik lazerlerin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Malzeme büyütme tekniklerindeki ilerlemeler ve yeni malzeme sistemlerinin geliştirilmesi, lazer teknolojisinin sürekli olarak gelişmesine ve yeni uygulamalara yönelik potansiyelinin artmasına katkıda bulunmaktadır[3].



Şekil 6.Farklı yarı iletken malzemelerin ışıma dalga boyları[7].

Yarı iletken diyot lazerler aktif bölgelerine ve aktif bölgede bulunan elementlerin kimyasal birleşim oranlarına göre değişik dalga boylarında ve güçlerinde lazer ışığı yayımlarlar. Aktif bölge içerisinde yer alan elementlerin kimyasal birleşim oranları ve o oranlara bağlı yarı iletken diyot lazerlerin bazı türleri Tablo1’de verilmektedir.

Tablo 1-1.Yarı iletken diyot lazerlerin kimyasal birleşme oranları ve yayımladıkları ışık dalga boyları (Alt indisler kimyasal bileşenden hangi oranda alındığını belirtmektedir) [8].

Kimyasal Bileşimler	Dalga Boyu (nm)	Hakkında Notlar
AlGaInP	630 - 680	Uzun dalga boylu ışıklarda daha yüksek güç sağlar.
Ga _{0.5} In _{0.5} P	670	Aktif bölgenin arasında jonksiyon bölgesinde yer alan bu bileşimin oda koşullarındaki ömrü uzundur.
Ga _{1-x} Al _x As	320 - 895	X değeri 0-0.45 aralığında değiştiğinde 720 nm’den küçük dalga boyuna sahip olanlarında yaşama ömrü çok kısadır.
GaAs	904	GaAs alt katmanı üzerinde düzgün örgü yapısına sahip sıkı tabakadan oluşur.
In _{0.2} Ga _{0.8} As	980	GaAs alt katmanı üzerinde düzgün örgü yapısına sahip sıkı tabakadan oluşur.
In _{1-x} Ga _x As _y P _{1-y}	1100 - 1650	Alt katman InP’dir.

In _{0.73} Ga _{0.27} As _{0.58} P _{0.42}	1310	Çok büyük fiber haberleşme dalga boyuna sahiptir.
In _{0.58} Ga _{0.42} As _{0.9} P _{0.1}	1550	Çok büyük fiber haberleşme dalga boyuna sahiptir.
InGaAsSb	1700 - 4400	GaSb alt katmanı üzerinde, geliştirilebilir ve
PbEuSeTe	3300 - 5800	Kriyojenik sıcaklıklarda çalışır.
PbSSe	4200 - 8000	Kriyojenik sıcaklıklarda çalışır.
PbSnTe	6300 - 29000	Kriyojenik sıcaklıklarda çalışır.
PbSnSe	8000 - 29000	Kriyojenik sıcaklıklarda çalışır.

1.3. Kenar Işımalı Yarı İletken Lazer Diyot

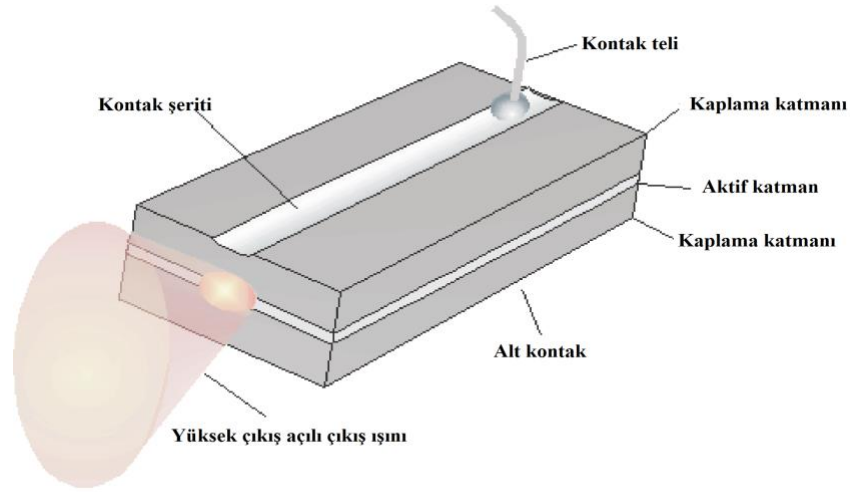
Şekil 7’de çizilen bir kenar ışımalı yarı iletken lazer, uzunlamasına uzantısı aktif katmanla çakışan dikdörtgen bir dalga kılavuzunda yayılır. Yarı iletken lazerlerin kenar ışımalı yapısı, genellikle yarı iletken gofreti üzerindeki bölünmüş yüzeylerin yansıtıcılığı sayesinde dış ayna gerektirmez. Ancak, bazı durumlarda istenen yansıtma özelliklerine ulaşmak için dielektrik malzemeler kullanılabilir.

Kenar ışımalı yarı iletken lazerlerde, tipik olarak boşluk uzunluğu (cavitylength) L yaklaşık 300 μm , yüzey yansıtması R yaklaşık 0.3 ve boylamsal mod frekans aralığı ($\Delta\nu_L$) yaklaşık 100 GHz düzeyindedir. Bu nedenle, çok sayıda boyuna mod lazer etkisine katılabilir.

Ancak, kenardan yayılan yarı iletken lazerlerin bazı kısıtlamaları vardır. Bunlar, iraksak ışınlar, eliptik ışın profilleri, çoklu modlu emisyon vb. olabilir. Bu nedenle, yarı iletken lazerlerin özelliklerini iyileştirmek için yeni yapılar geliştirilmiştir. Bunlardan biri, dağıtılmış geri besleme (DFB) lazerleridir. DFB lazerler, özel bir yapıya sahip difraksiyon kılavuzlarıyla yansıtma sağlar ve tek modlu çalışma için daha iyi kontrol sağlar. Bir diğer gelişme ise dağıtılmış Bragg reflektörleri (DBR) lazerleridir. DBR lazerlerinde yansıtıcı özelliklere sahip Bragg kılavuzları kullanılır ve tek modlu, yüksek verimli lazerler elde edilebilir[8].

Bu gelişmeler, kenar ışımalı yarı iletken lazerlerin performansını iyileştirmekte ve daha istenen özelliklere sahip lazerlerin üretimini sağlamaktadır. [10], bölünmüş bileşik kavite lazerleri [11] ve son zamanlarda mikro boşluk lazerleri [12]. Bir kenar ışımalı yarı iletken lazerdeki elektrik alanın polarizasyon yönü, elektrik veya manyetik alanın hetero eklem düzlemi boyunca doğrusal

olarak polarize olmasına bağı olarak enine elektrik (TE) veya enine manyetik (TM) olan yapı tarafından dayatılır[6].



Şekil 7. Kenar ışımalı lazer diyot yapısı.

Sürekli dalga (cw) çalışması için uygun bir lazer yapısı tasarımı önemlidir, özellikle oda sıcaklığında düşük eşik akımlarında istikrarlı çalışma sağlamak için. Hetero yapılar, optik modun sınırlandırılmasını sağlar ve bağlantı düzlemine dik olan optik modları sınırlar. Ancak, bağlantı düzlemi boyunca ek sınırlama gereklidir. Lazer yapıları, kazanç kılavuzlu ve indeks kılavuzlu olarak sınıflandırılabilir, çünkü sınırlandırma yöntemine bağı olarak optik modun davranışı farklılık gösterir. Kazanç kılavuzlu lazerlerde, optik mod bağlantı düzlemi boyunca kazancın uzamsal dağılımına bağıdır. Mod şekli ve boyutu, enjeksiyon akımının dağılımına bağıdır. Bu tür lazerlerde tipik eşik akımları yaklaşık 100 mA civarındadır. İndeks kılavuzlu lazerlerde ise optik modlar, kırılma indisinin uzamsal bir değişimiyle belirlenen dalga kılavuzları tarafından sınırlanır. Bu tür lazerlerde eşik akımları yaklaşık olarak 10 mA civarındadır[9][10].

Bu şekilde, uygun lazer yapısı tasarımıyla sürekli dalga (cw) çalışması elde edilebilir ve düşük eşik akımlarında istikrarlı bir şekilde çalışabilen lazerler üretilebilir. [9]. Akımın aktif bölge boyunca lokalizasyonu, cihaz özelliklerini geliştirir. Kazanç kılavuzlu yapılar, akımın akışını kısıtlayan yüksek dirençli bir bölge oluşturan proton implantasyonunu kullanır. Geniş alanlı lazerler, önemli çıkış güçleri elde eder, ancak herhangi bir akım sınırlama düzeni kullanmazlar ve yüksek eşik akım yoğunlukları ve optik profillerin filamanları sergilerler[10].

2. DİZGİ LAZER DİYOTLAR

Stack lazer diyotlar, birleştirilmiş birden fazla lazer diyotundan oluşan bir yapıdır. Bu yapı, yüksek güçlü ve yoğun ışık çıkışı elde etmek için tasarlanmıştır. Her bir lazer diyotu, aynı optik hedefe odaklanan bir dizi yarı iletken lazerden oluşur.

Stack lazer diyotların çalışma prensibi şu şekildedir:

Yüksek Güç Elde Etme: Tek başına bir lazer diyotunun üretebileceği ışık gücü, bazı uygulamalarda yetersiz olabilir. Ancak birden fazla lazer diyotunun gücü birleştirildiğinde, toplam güç önemli ölçüde artar.

Dizi Halinde Bağlama: Stack lazer diyotlar, birleştirme amacıyla yan yana sıralanır. Bu dizilimde, her bir lazer diyodu aynı optik hedefe yönlendirilir.

Kombine Işın: Her bir lazer diyotu aynı noktaya paralel ışınlar gönderir. Bu ışınlar, optik elemanlar kullanılarak aynı odak noktasına getirilir ve birleştirilir.

Yüksek Güçlü Işın Çıkışı: Işınların birleştirilmesi, tek bir lazer diyotunun çıkış gücünden daha yüksek bir ışık gücü elde edilmesini sağlar. Bu, endüstriyel işlemler, tıbbi cihazlar, bilimsel araştırmalar ve askeri uygulamalar gibi yüksek güçlü lazerler gerektiren çeşitli alanlarda kullanılır.

Stack lazer diyotlar, lazer teknolojisinin gücünü artırmak ve özellikle yüksek güçlü lazerlerin ihtiyaç duyulan alanlarda kullanımını sağlamak için önemli bir araçtır. Ancak bu yapılar, ısı yönetimi ve stabilite gibi teknik zorluklarla da karşılaşabilir, bu nedenle tasarım ve uygulama süreçleri dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.

2.1 Dizgi Lazer Diyot Yapısı

Dizgi lazer diyotların mekanik yapısı, yüksek güçlü lazer ışını üretmek için birleştirilmiş birden fazla lazer diyotundan oluşur. Her bir lazer diyotu, aynı optik hedefe odaklanacak şekilde birleştirilir. Aşağıda dizgi lazer diyotların temel bileşenlerini açıklıyorum:

Lazer Diyotlar: Temel yapı taşları olan lazer diyotları, yüksek güçlü ışık üretmek için kullanılan yarı iletken lazerlerdir. Her bir lazer diyotu, elektrik enerjisini ışığa dönüştürerek çalışır ve aktif lazer ortamında ışık emisyonunu gerçekleştirir.

Submount (Alt Taban): Lazer diyotlarının mekanik olarak monte edildiği ve soğutulduğu platformdur. Yüksek sıcaklıklarda çalışan lazer diyotlarından yayılan ısıyı emerek cihazın soğutulmasını sağlar. Submount, yüksek ısı iletkenliğine sahip malzemelerden yapılır.

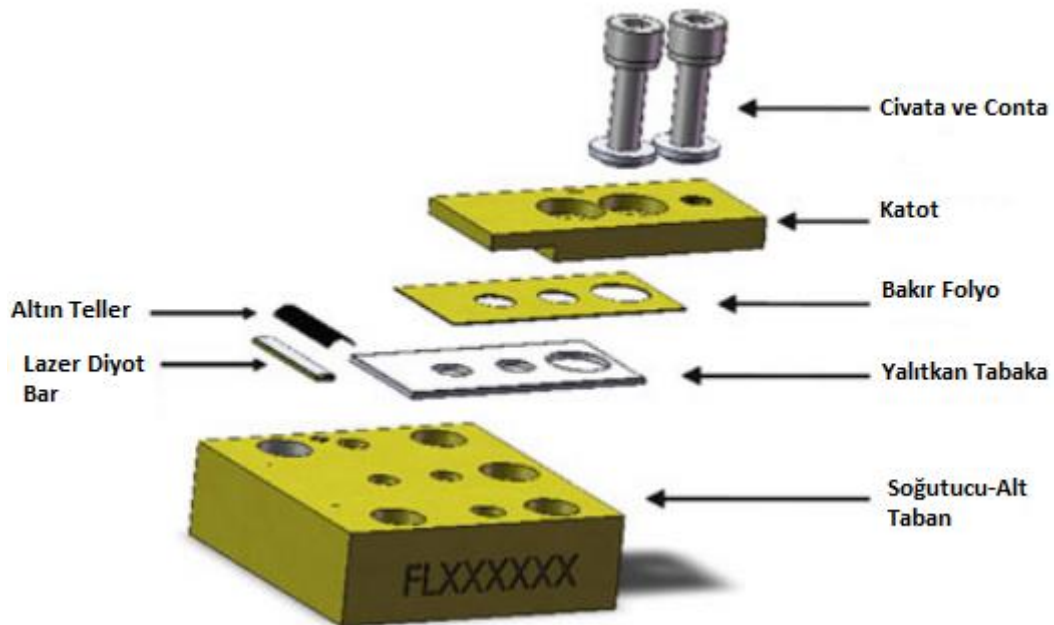
Optik Elemanlar: Dizgi lazer diyotlarda, her bir lazer diyotunun çıkış ışınları optik elemanlar kullanılarak birleştirilir. Bu elemanlar, ışınların aynı noktada birleştirilmesini sağlamak için prizmalar, lensler, aynalar ve optik fiberler gibi bileşenleri içerir.

Koruyucu Kaplama (Encapsulation): Dizgi lazer diyotların bileşenlerini korumak için kullanılan bir dış kaplamadır. Bu kaplama, lazer diyotları ve diğer optik elemanları çevresel etkilerden, tozdan, nemden ve mekanik hasarlardan korur.

Soğutma Sistemi: Yüksek güçlü lazerlerin çalışırken ortaya çıkardığı ısıyı kontrol etmek için bir soğutma sistemi kullanılır. Soğutma, lazer diyotlarından oluşan yapıyı belirli bir sıcaklık aralığında tutarak istikrarlı çalışmayı sağlar.

Dizgi lazer diyotların mekanik yapısı, yüksek güçlü lazerlerin ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılmasını sağlar. Bu yapılar, endüstriyel kesme, kaynak, lazer işaretleme, tıbbi cihazlar ve bilimsel araştırmalar gibi çeşitli alanlarda yüksek güçlü lazer ışığı gerektiren işlemlerde yaygın olarak kullanılır. Ancak bu tür lazerlerin tasarımı ve uygulanması, ısı yönetimi ve mekanik uyum gibi teknik zorluklarla birlikte gelir ve dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekir.

Şekil 8’de örnek bir dizgi lazer diyotun mekanik yapısı ve bileşenleri detaylı şekilde verilmiştir. Şekildeki patlak resimdeki contalar malzeme yapısı özel olarak seçilmektedir. Bu contalar elektriksel yalıtkan termal iletken bir malzeme yapısına sahiptirler.

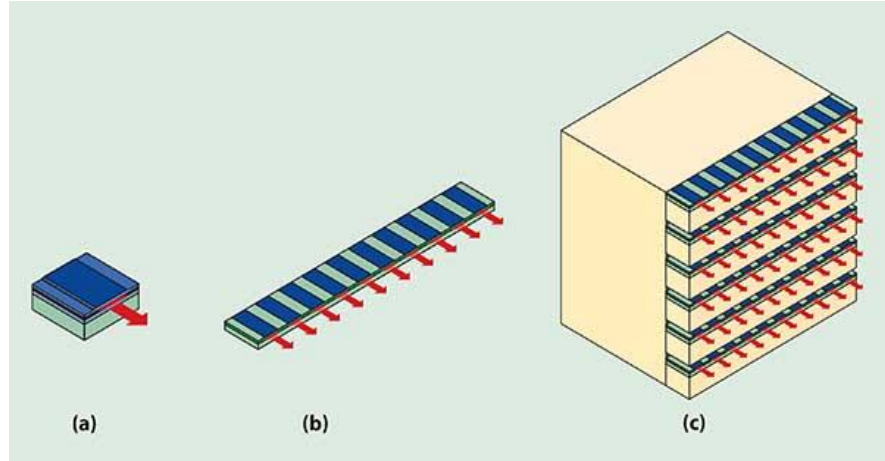


Şekil 8. Dizgi Lazer Diyot Mekanik Yapısı ve Bileşenleri [1].

2.1.1 Lazer Diyot Bar Yapısı

Yarı iletken lazer diyotları, bir yarı iletken levhanın yarılmış uç yüzleri tarafından oluşturulan boşluğun içinde üretilen uyarılmış emisyonla tutarlı ışık yayar. Boşluk, tek yayıcılar için herhangi bir boyutta tipik olarak bir milimetreden daha azdır. Diyot, metalik kontaklar yoluyla p-n bağlantısındaki akım enjeksiyonu ile pompalanır. 0,8 um ila 1,06 um aralığında yayan lazer diyotları, erbiyum katkılı fiber amplifikatörlerin pompalanması, çift kaplı fiber lazerler ve telekom, havacılık, askeri ve tıbbi ekipmanlarda kullanılan katı hal lazerleri dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Doğrudan uygulamalar arasında CD çalarlar, lazer yazıcılar ve diğer tüketici ve endüstriyel ürünler yer alır[1].

Lazer diyot çubukları, yaklaşık 0,5 mm x 10 mm boyutunda tek bir yarı iletken malzeme levhası üzerinde, yan yana düzenlenmiş ve yaklaşık 0,5 mm aralıklı birçok tek yayıcıya sahiptir. Bireysel yayıcılar paralel olarak bağlanır, bu da gerekli olan gerilimi ~2V'de düşük tutar ancak gerekli akımı ~50 A/bar'dan 100 A/bar'a yükseltir[11]. Bu lazer diyot çubuklarını 2 ila 20+ levha arasında istiflemek, birkaç yüz Watt yayabilen yüksek güçlü lazer diyot dizilerini (LDA'lar) verir. Elektriksel olarak çubuklar, toplam akımı ~50 A ila 100 A arasında tutarken gerilimi 2 V/bar artırarak seri olarak bağlanmıştır. Bu diziler, verimli, yüksek güçlü katı hal lazerleri için olanak sağlayan teknolojilerden biridir[12].



Şekil 9. Kenar ışımalı lazer diyot bar yapısı.

2.1.2 Dizgi Lazer Diyot Çalışma Modları

Geleneksel olarak bu diziler, $\sim 50 \mu s$ ila $200 \mu s$ darbe genişlikleri ve ~ 10 Hz ila 200 Hz tekrar oranları ile QCW (Yarı Sürekli Dalga) modunda çalıştırılır. QCW modunda, lazerin dalga boyu ve çıkış gücü sabit duruma ulaşır ancak sıcaklık ulaşmaz. QCW (Quasi-ContinuousWave) modu, CW modundan farklı bir çalışma modudur ve belirli bir darbe genişliği ve tekrar oranıyla çalışır. Bu modda, darbe genişliği genellikle $\sim 50 \mu s$ ila $200 \mu s$ arasında ve tekrar oranı ~ 10 Hz ila 200 Hz arasında değişir[13].

QCW modunda çalışmanın avantajları ve dezavantajları şunlar olabilir:

Avantajlar:

- Yüksek çıkış gücü: QCW modunda, darbe genişliği ve tekrar oranı optimize edildiğinde, CW moduna kıyasla daha yüksek çıkış güçleri elde edilebilir.
- Isıl sınırlamalar: QCW modunda, çıkış gücü cihazın dahili ısıtma ve ısı emici özellikleri tarafından sınırlanır. Bu, yüksek çıkış gücüne ulaşmanın bir avantajı olabilir.

Dezavantajlar:

- Termal stres: QCW modunda darbeler arasındaki hızlı ısınma ve soğuma döngüleri, cihaz bileşenlerinde termal genleşmeye ve mekanik streslere neden olabilir. Bu durum, cihazın dayanıklılığını etkileyebilir.
- Soğutma gereksinimi: QCW modunda yüksek güç yoğunluğu ve termal stres, etkili bir soğutma yöntemi gerektirir. Özellikle yüksek çıkış gücü gerektiren uygulamalarda, karmaşık soğutma sistemlerinin kullanılması gerekebilir.

Bu nedenle, QCW modunda çalışma avantajları ve dezavantajları arasında çıkış gücündeki artış ve termal stresin etkileri önemlidir. Uygulamanın gereksinimlerine ve cihaz tasarımına bağlı olarak en uygun çalışma modu seçilmelidir.[14].

Bir LDA (LaserDiodeArray) oluşturan tipik parçalar ve malzemeler şunları içerebilir:

- Diyot Kalıbı (Lazer Çubuğu): LDA'nın temelini oluşturan lazer diyotlarının yer aldığı bir kalıptır. Bu kalıp, lazer diyotlarının düzgün bir şekilde yerleştirilmesini sağlar ve elektriksel ve termal bağlantıları gerçekleştirir. Diyot kalıbı genellikle yüksek ısı iletkenliği olan malzemelerden yapılmıştır, örneğin bakır veya seramik.
- Paketleme Malzemeleri: LDA'nın paketlenmesi ve montajı için kullanılan malzemelerdir. Bu malzemeler, diyot kalıbını korumak, mekanik stabilite sağlamak ve ısıyı yönetmek için önemlidir. Genellikle metal veya alaşımlardan yapılan

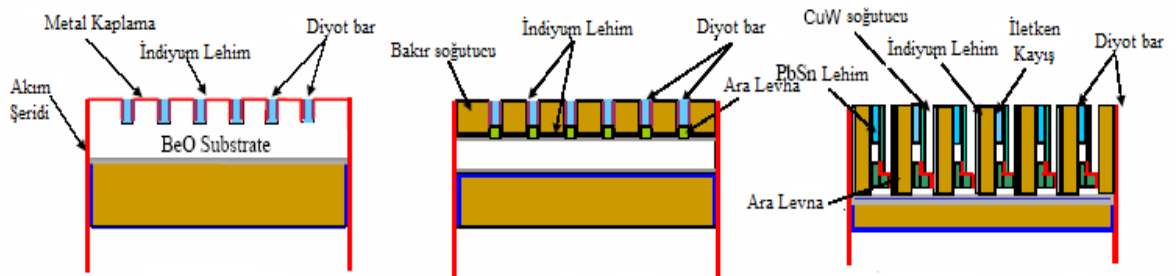
montaj plakaları, soğutma elemanları (ısı emici), termal arayüz malzemeleri (termal macun veya termal pedler), contalar ve bağlantı elemanları (vidalar, kelepçeler) bu kategoriye dahildir.

Ambalaj tasarımı ve malzemeleri, LDA'nın stabil bir şekilde çalışmasını sağlamak için önemlidir. Bu tasarımlar, aşağıdaki işlevleri yerine getirmelidir:

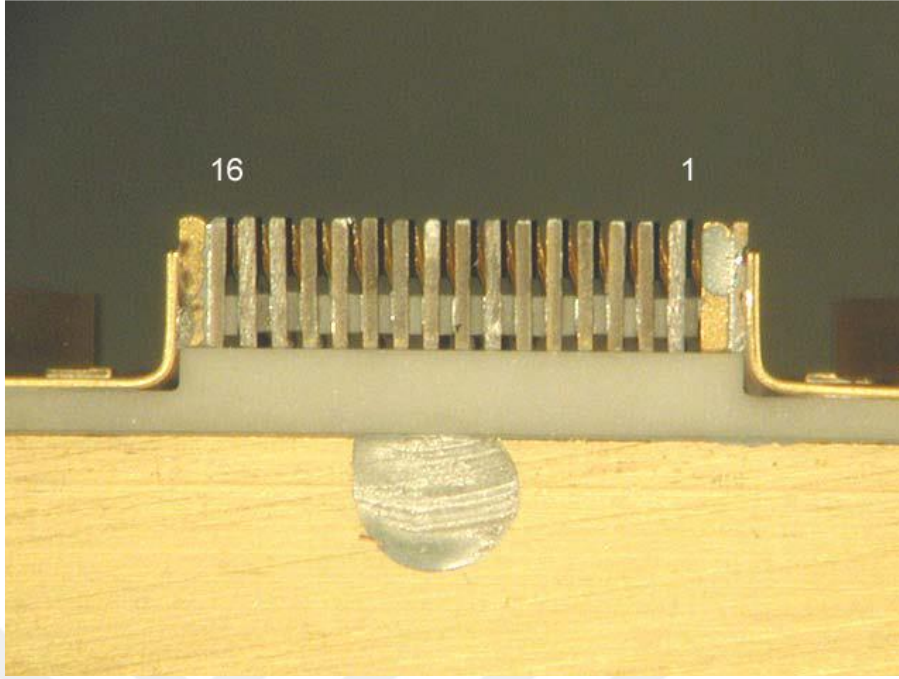
- LDA'nın lazer diyotlarını koruması ve düzgün bir şekilde yerleştirilmesi.
- Elektriksel bağlantıların sağlanması ve enerji beslemesinin gerçekleştirilmesi.
- Isının lazer diyotlarından uzaklaştırılması ve termal olarak stabilize edilmesi.
- Mekanik stabilite sağlanması ve cihazın hasarlara karşı korunması.
- Standart montaj arayüzü sunarak LDA'nın diğer bileşenlerle uyumlu olmasını sağlamak.
- Mümkün olduğunca kompakt bir yapıya sahip olmak.

Bu unsurlar, LDA'nın verimli bir şekilde çalışabilmesi ve uzun ömürlü olabilmesi için dikkate alınmalıdır. Malzeme seçimi ve ambalaj tasarımı, LDA'nın performansını etkileyebilir ve özellikle termal yönetim ve mekanik dayanıklılık açısından kritik öneme sahiptir.[14].

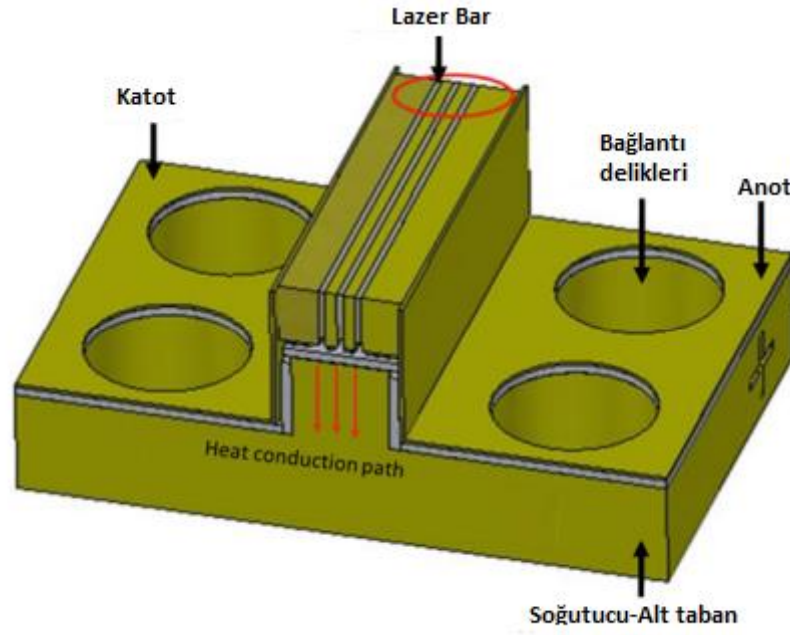
Şekil 9 ve Şekil 10'da en yaygın yüksek güçlü LDA'ların tipik malzemelerini ve genel yapısını göstermektedir. LDA'nın ısının üretildiği aktif bölgesi, çubuğun P tarafından yaklaşık 3 mikron uzaklıkta yer alan yalnızca yaklaşık 1 mikron genişliğindedir. Çubuklar yaklaşık 0.1 mm genişliğindedir ve tipik olarak birbirlerinden yaklaşık 0.5 mm aralıktır. Isı şeklindeki atık enerji, iletken olarak lehim malzemesine ve oradan da ısı alıcı malzemeye (tipik olarak BeO (BerilyumOksit) veya CuW (BakırTungsten)) mümkün olduğunca hızlı bir şekilde aktarılmalıdır. Tercih edilen lehim malzemesi, çubuğun ve soğutucunun sıcaklığa göre farklı oranlarda genişlemesine veya büzülmesine izin veren sünek özelliği nedeniyle yumuşak bir İndiyum alaşımıdır[15].



Şekil 10. Farklı türde iletken soğutmalı LDA paketleri[16].



Şekil 11. Dizgi Lazer diyotun dizgi yapısının yan kısımdan görünüşü[17].



Şekil 12. Dizgi Lazer Diyot Genel yapısı[29].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yüksek güçlü yarı iletken kenar yayan lazer diyotları, ticari açıdan önemli bileşenler haline gelmiştir. Bu lazerler, fiber optik amplifikatörlerin pompalama kaynaklarından ikinci harmonik üretimine kadar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılır. Yeni uygulamalar ortaya çıktıkça, bu lazerlerin uygun maliyetli bir şekilde üretilmesi zorlu bir konudur. Bu soruna etkili bir çözüm, lazerlerin hızlı, kapsamlı ve verimli bir şekilde test edilmesidir[21].

Kenar yayan lazerlerin üretim sürecinde, ilk aşama lazer çubuklarının oluşturulduğu zamandır. Bu aşamada lazerlerin elektriksel ve optik özelliklerinin karakterize edilmesi önemlidir. Bu aşamada spesifikasyonları karşılamayan lazerler, daha fazla işleme adımlarına girmeden önce tespit edilebilir. Bunun sayesinde paketleme ve ömür testi gibi daha emek yoğun veya zaman alıcı süreçlere harcanacak zaman ve kaynaklar tasarruf edilebilir. Yani, yalnızca iyi performans gösteren lazerler ileri işleme adımlarına geçer[21].

3.1 Lazer Diyot Test Sistemleri

Lazer diyot test sistemleri standart ürünler için hazır cihazlar ve makineler ile yapılmakla beraber ürünün mekanik, elektronik ve optik özelliklerine göre farklı yapılarda üretilebilir. Ayrıca laboratuvar ortamında araştırma ve geliştirme süreçlerinde test işlemi genellikle Şekil 11'deki gibi optik masa üzerine kurulan sistemler ile test edilirler.

Basit olarak, tek seferde binlerce diyot çıkması ve bir ticari başarı gerekliliği için test sistemleri oluşturulmuştur. Müşteri ihtiyaçları doğrultusunda, diyotların min. kullanım sürelerini ölçen, standart ve sistemler geliştirmiştir. Müşterilerin ihtiyaçları genel olarak uzun vadede üründen, yüksek miktarda kazanç sağlamaktır. Firmalar standartlar yardımı ile ürünlerinin rekabetçi yönlerini karşılaştırabilir ve müşterilerin ihtiyaçlarına cevap verebilir düzeye gelmiştir. Testler maliyet açısından ayrı bir bütçe gerektirdiği için testlerin bazıları, müşteri isteği doğrultusunda yapılabilir. Test sistemleri kullanılırken test koşul alt ve üst limitler, maliyete göre mümkün olduğunca dikkatli seçilmelidir[22].



Şekil 13. Optik masa üzerinde örnek bir lazer diyot test sistemi.

3.2 Yüksek Güçlü lazerler için Kullanılan Test Sistemleri

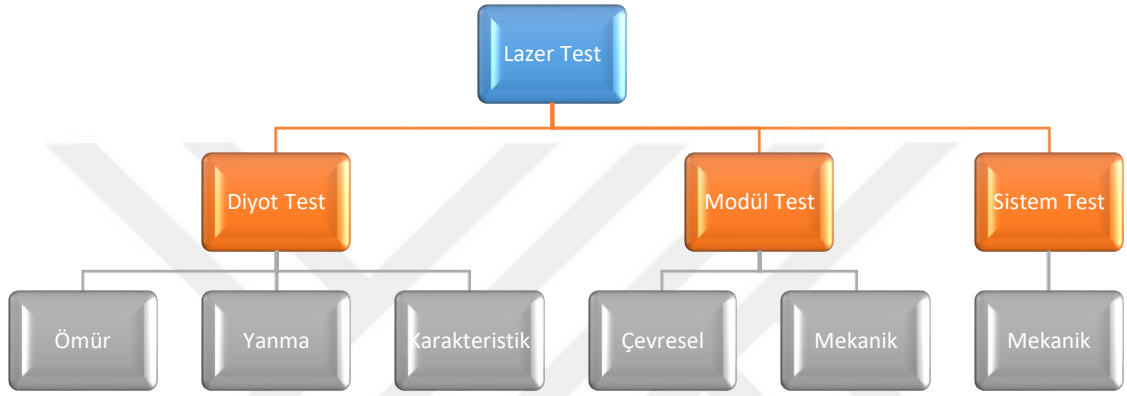
Lazer diyotunun maliyetinin yüksek bir yüzdesi, işlem verimlerinin sıkça düşük olduğu ve cihazların optik hizalaması da dahil olmak üzere pahalı paketlemeyi gerektiren test sistemleri, 3 temel adımda gerçekleşir[23].

Parametrik ve fonksiyonel (Characteristics) test sistemleri; Spektral özellikler, uzak/yakın alan ölçümleri, LIV grafiği, sıcaklık karakteristiği, başlangıç akımı gibi değerlerin ölçüldüğü adımdır. Yanma (Burn-In) sistemleri; tüm lazer diyotların başlangıç aşamasında olan hatalı üretimlerini ayıklamak için diyotların normal çalışma akımının 1,2 katı ve 100 saat boyunca 85 ° C'de sabit akım modunda çalışması ve daha önce ve sonra ölçülen lazer-akım-gerilim karakteristikleridir.[23] Üretim maliyeti ve çevrim süreleri nedeniyle genellikle 85°C üstünde 100 saat ve daha az olan burn-in testleri yaygındır[11]. Ömür testi(Lifetime) sistemleri; örnek alınan bir grup lazer diyotların kontrol edilebilen şartlar altında lazer ömrünü tahmin etmek için veriler elde etmeye yarayan testlerdir. Testin süresince diyotların çıkış gücü ve gerilimi takip edilir[24].

Lazer diyotlar modül yapısında ise 2 temel aşamada test edilir. Bu testler müşteri ihtiyaçlarına ve ürünlerin uygulanma alanlarına göre seçilir ve uygulanır.

- Mekanik testler; Mekanik şok, Titreşim, Termal şok, Fiber düz/yan çekme testi, fiber büküm testi.
- Çevresel testler; Sabit akım/güç-yaşlandırma testi, sıcaklık döngüsü, nemli ısı, düşük/yüksek sıcaklık depolama testleri.

Son aşamada, lazer diyotlar kapalı sistem(rezonatör) yapısında ise Mekaniksel testler yardımı ile tüm sistemin taşıma sırasında oluşabilecek sorunları öngörmemizi sağlar[25].



Şekil 14.Lazer diyot test sistem anatomisi.

3.3 Yüksek Güçlü Yarı İletken Lazerlerin Test Edilmesi ve Karakterizasyonu

Yüksek güçlü yarı iletken lazerler, kompakt ve hassas bir optoelektronik cihazdır. Çıkış gücü, dalga boyu ve spektrum gibi performans parametreleri önemlidir. Bu lazerlerin üretimi ve karakterizasyonu karmaşık bir süreçtir. Üretim sürecinde malzeme kalite kontrolü ve testler yapılır. Ayrıca, lazerlerin geliştirilmesi ve arıza analizi için özel karakterizasyonlar yapılır[18].

Uzamsal spektrum, gülümseme (smile) ve geçici termal empedans gibi bu özelliklerin karakterize edilmesiyle, bir kişi diyot lazerlerin davranışını derinlemesine anlayabilir, özelliklerin arkasındaki fiziği araştırabilir ve performansını ve özelliğini iyileştirecek bir çözüm bulabilir[19]. Yüksek güçlü yarı iletken lazerlerin karakterizasyonu, hem üretim sürecindeki kalite kontrolünü sağlamak hem de lazerlerin performansını değerlendirmek için önemlidir. Bu karakterizasyon süreci aşağıdaki adımları içerebilir:

- **Malzeme Kalite Kontrolü:** Yüksek güçlü yarı iletken lazerlerin üretim sürecinde kullanılan malzemelerin kalitesi önemlidir. Malzeme kalite kontrolü, kullanılan yarı iletken malzemelerin yapısal, elektriksel ve optik özelliklerini değerlendirmeyi içerir. Bu, lazerin istenilen performansı elde etmesi için önemlidir.
- **Üretim Süreci Testleri:** Yarı iletken lazer üretim sürecinin bir parçası olarak, lazerin imalatı sırasında çeşitli testler yapılır. Bu testler, lazerin elektriksel, optik ve termal özelliklerini kontrol etmeyi amaçlar. Örneğin, lazerin eşik akımı, çıkış gücü ve dalga boyu gibi parametrelerin doğruluğu test edilir.
- **Performans Karakterizasyonu:** Yarı iletken lazerin çıkış gücü, dalga boyu, spektral genişlik, mod şekli, verimlilik ve diğer performans özellikleri test edilir. Bu karakterizasyon testleri, lazerin belirli bir uygulama için uygunluğunu ve istenen performansı sağlayıp sağlamadığını değerlendirmeyi amaçlar.
- **Yaygın Olmayan Özelliklerin Karakterizasyonu:** Yüksek güçlü yarı iletken lazerlerin geliştirilmesi ve arıza analizi için yaygın olmayan bazı özelliklerin karakterizasyonu da önemlidir. Örneğin, lazerin termal direnci, termal olarak indüklenen mekanik stresin etkisi, modülasyon hızı, frekans kararlılığı gibi özelliklerin değerlendirilmesi bu kapsamda yer alır.

Yukarıda belirtilen testler ve karakterizasyonlar, yüksek güçlü yarı iletken lazerlerin performansını değerlendirmek, üretim sürecini kontrol etmek ve geliştirmek için kullanılan önemli araçlardır. Bu süreçler, lazerlerin güvenilirliğini, verimliliğini ve istenen performansı sağlamasını sağlar[20].

3.3.1 Lazer Diyot Sürücü

En ideal haliyle, bir lazer diyot sürücüsü, belirli bir uygulama için gereken lazer diyotuna tam olarak akımı sağlayan doğrusal, gürültüsüz ve doğru bir sabit akım kaynağıdır. Kullanıcı, lazer diyot veya fotodiyot akımını sabit tutmayı ve hangi seviyede tutmayı seçer. Daha sonra kontrol sistemi, akımı güvenli bir şekilde ve uygun seviyede lazer diyotuna yönlendirir[11].

Lazer diyot sürücüsünün önemli bir bileşeni lazer diyot akım kaynağıdır. Bu, ayarlanabilir akım kaynağı veya çıktı aşaması olarak da bilinir. Lazer diyotuna akım uygulayarak kontrol sistemi bölümüne yanıt verir. Blok diyagramda, lazer diyotu ile akım kaynağı arasında lazer diyotunu besleyen gerilim yer alır. Diğer lazer diyot sürücüleri ise lazer diyotunu akım kaynağı ile toprak arasına yerleştirir. Lazer diyotunun yapılandırmasına ve topraklama yöntemine bağlı

olarak, bir yaklaşımla diğerinden daha uygun olabilir. Bu bölüm, kullanıcının lazer diyotunu ve/veya fotodiyotunu devreye bağladığı yerdir [9].



Şekil 15. Lazer diyot sürücü.

3.3.2. Entegre Optik Ölçüm Küresi

Bütünleştirici küre olarak da adlandırılan entegre optik küre, iç kısmında dağınık beyaz yansıtıcı bir kaplama (BaSO_4) ve giriş ve çıkış portları için küçük delikler bulunan içi boş silindirik bir boşluktan oluşan optik bir bileşendir. Tekdüze bir saçılma veya yayılma etkisi, ilgili özelliğidir. Entegre bir küre sistemi, ışık akısını ve yayılan gücü kolayca ölçebilir ve ayrıca çeşitli aydınlatma ürünlerini test etmek için kullanılabilir[3].

Entegre optik ölçüm küreleri, entegre optik devrelerin tasarım sürecinde ve üretim kalitesinin kontrolünde önemli bir araç olarak kullanılır. Ayrıca, entegre optik devrelerin karakterizasyonu, kalibrasyonu ve testi için de yaygın olarak kullanılırlar[26].



Şekil 16. Entegre Optik ölçüm küresi.

3.3.3 Optik Güç Ölçer

Optik güç ölçer (OPM), fiber optik ekipmanın gücünü veya fiber kablodan geçen optik sinyalin gücünü doğru bir şekilde ölçmek için kullanılan bir test aracıdır. Aynı zamanda optik ortamda meydana gelen güç kaybını belirlemeye yardımcı olur. Bir optik güç ölçer, kalibre edilmiş bir sensörden ve amplifikatör devresi ile bir ekrandan oluşur. Sensör genellikle silikon (Si), germaniyum (Ge) veya indiyum galyum arsenit (InGaAs) tabanlı yarı iletken malzemeden oluşur. Ekran birimi, ölçülen optik gücü ve optik sinyalin karşılık gelen dalga boyunu gösterir[27].

Doğru bir ölçüm için optik güç ölçer, dalga boyunu kalibre eder ve optik sinyalin gücünü ölçer. Test öncesinde, dalga boyu manuel veya otomatik olarak ayarlanır. Güç seviyesinin doğru bir şekilde ölçülebilmesi için sinyal dalga boyunun doğru şekilde kalibre edilmesi önemlidir. Yanlış bir kalibrasyon, test sonuçlarında hatalı okumalara neden olabilir. Bu nedenle, güvenilir ve doğru sonuçlar elde etmek için doğru dalga boyu kalibrasyonunun sağlanması önemlidir[11].

OPM'lerde farklı sensör tipleri kullanılmaktadır ve bu sensörler farklı özelliklere sahiptir. Örneğin, Si (silikon) sensörleri düşük güç seviyelerinde doyma eğilimi gösterir ve sadece 850 nanometre bantlarında kullanılabilirken, Ge (germanyum) sensörleri yüksek güç seviyelerinde doyuma ulaşır ancak düşük güçte kötü performans gösterir [27].

Güç kaybını hesaplamak için, OPM önce bir fiber örgü aracılığıyla doğrudan bir optik iletim cihazına bağlanır ve sinyal gücü ölçülür. Daha sonra, fiber kablonun uzak ucundaki OPM aracılığıyla ölçümler yapılır. İki ölçüm arasındaki fark, sinyalin kabloya yayılırken maruz kaldığı

toplam optik kaybını gösterir. Farklı bölümlerde hesaplanan tüm kayıpların toplanması, sinyalde meydana gelen toplam kaybı verir [28].



Şekil 17. Optik güç ölçer.

3.3.4 Spektrometre

Optik spektrometreler, en yaygın kullanılan spektrometre türüdür. Işığı alır, dalga boyuna göre ayırır ve bu ayrı dalga boylarının göreceli yoğunluğunu gösteren bir spektrum oluşturur. Bu temel ilke, geniş bir uygulama ve kullanım alanına sahiptir [28].

Genel olarak, tüm optik spektrometreler, bir giriş yarığından, bir kırınım ızgarasından veya prizmasından, bir dedektörden ve yönlendirme optiğinden oluşur. Giriş yarığı, ışığın spektrometreye girmesine izin verir; burada bir aynalar veya mercekler sistemi ışığı önce bir kırınım ızgarasına veya prizmaya ve ardından dedektöre yönlendirir. Kırınım ızgarası veya prizma, ışığı oluşturan dalga boyu bileşenlerine ayırır ve dedektör, ışığın yoğunluğunu dalga boyunun bir fonksiyonu olarak kaydeder. Spektrometre, geniş bir spektral aralığa sahipse, daha yüksek dereceli ışığın dedektöre ulaşmasını engellemek için filtreler de içerebilir. Çoğu optik spektrometre, elektromanyetik spektrumun UV, görünür ve kızılötesi (veya yakın kızılötesi) bölgelerinde çalışır [19].



Şekil 18. Spektrometre.

3.3.5 Termoelektrik Soğutucu (Peltier).

Peltier, elektrik akımını kullanarak sıcaklık farkı oluşturabilen termodinamik bir etkiydi. Bu etki, Fransız bilim insanı Jean Charles Athanase Peltier tarafından keşfedilmiştir. Peltier etkisi, bir yarı iletken malzemenin iki ucuna farklı yönlü elektrik akımları uygulanmasından kaynaklanır. Bu uygulama sonucunda, bir uç soğurken, diğer uç ısınır ve bu da sıcaklık farkı yaratır. Bu etki, termoelektrik soğutucular ve ısıtıcılar gibi cihazların yapımında kullanılır. Termoelektrik cihazlar elektrik enerjisini sıcaklık farkına çevirerek soğutma veya ısıtma işlemleri yaparlar. Peltier etkisi, uzay araçlarındaki sıcaklık kontrol sistemlerinde, cihazların soğutulmasında ve laboratuvar ortamlarındaki deneysel çalışmalarda kullanılır[25].

Peltierler, elektrik enerjisi ile ısı enerjisi arasında dönüşüm sağlayan bir termoelektrik sistemdir. Termoelektrik modül, P ve N tipi yarı iletken malzemelerden oluşan termo elementler içerir ve Peltierleri de içerir. Bu termo elementler sistemde elektriksel olarak seri, termal olarak ise paralel şekilde bağlanarak farklı hedefler için farklı kapasitelerde termoelektrik modüller elde edilmesini sağlar.

Peltier etkisi, DC akım uygulandığında N-tipi ve P-tipi yarı iletken elemanlardan oluşan bir modülün çalışmasıyla ortaya çıkar. Bu etkiyle, elektronlar bir uçtan diğerine doğru itilir ve bir yüzeyde ısınma, diğer yüzeyde ise soğutma meydana gelir. Peltier modülü, sıcaklık farkı oluşturulduğunda elektrik enerjisi üreten bir DC akım kaynağı gibi davranır. Bu modül, bir yüzeyi ısıtan ve diğer yüzeyi soğutan bir yapıya sahiptir. Peltier etkisi, termoelektrik uygulamalarda kullanılır ve sıcaklık kontrolü, soğutma veya ısıtma gibi işlemlerde kullanılabilir [32].

Peltierlerin iç yapısında bulunan termoelektrik madde sayesinde bir yüzeydeki ısı, diğer yüzeye aktarılmaktadır. Peltier içinde bulunan P ve N tipi uçlar seri olarak bağlıdır [27].

Gerilim uygulandığında elektronlar soğuk taraftan sıcak tarafa doğru hareket eder. Bu elektronlar aracılığıyla ısı, soğuk taraftan sıcak tarafa taşınır. Peltierin sıcak tarafı ne kadar yüksek sıcaklıkta ise, soğuk tarafı da o kadar düşük sıcaklıkta çalışır ve ısıyı daha fazla soğurur [32].



Şekil 19. Termoelektrik soğutucu peltier.

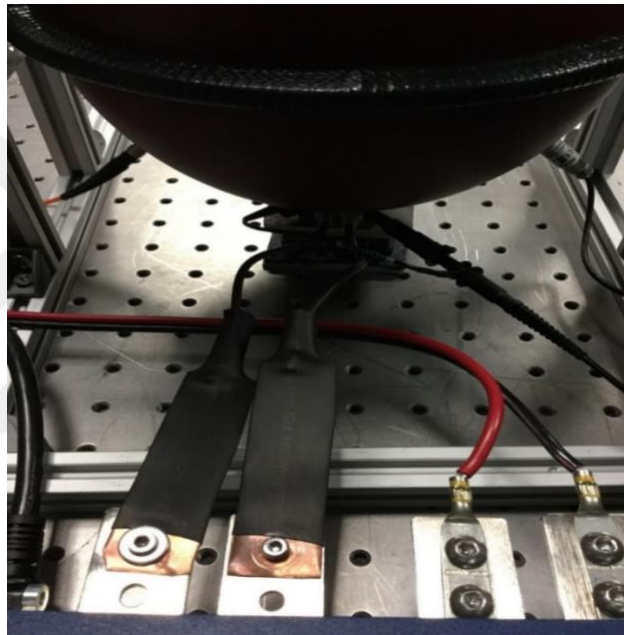
3.4 Test Sisteminin Kurulması

Test sistemi Şekil 11’de gösterildiği gibi optik masa üzerine kurulmuştur. Optik masanın en büyük özelliği vibrasyon emici körüklü ayaklarının olması nedeni ile test sistemin hassasiyetini koruması ve elektro statik olarak izole olmasıdır. Mekanik titreşimler ölçüm esnasında oluşabilecek yapılan ölçümleri olumsuz olarak etkileyecektir aynı zamanda optik masa üzerinde bulunan M6 vida yatakları cihazları ve diğer bileşenleri sabitleyerek sistemi statik olarak korumaya yardımcı olur[28].

Test sistem bileşenleri optik masa üzerine yapılacak olan teste göre seçilerek yerleştirilir ve vida yataklarına sabitlenir. Cihazlar yerleştirildikten sonra lazer diyot üzerinden gerilim okuması yapılması için osiloskoptan gelen proplar lazer diyotun + ve – kutuplarına bağlanır. Burada önemli olan noktalardan biri problemlerin lazer diyotun akım bağlantı uçlarına en yakın yerden ölçüm alınmasıdır. Çünkü diyot üzerindeki gerilim ölçülürken akım kaynağının ve bağlantı kabloların boyutları ve kalınlığı hesaba katıldığı zaman gerilim değeri beklenenden fazla çıkacaktır[29].

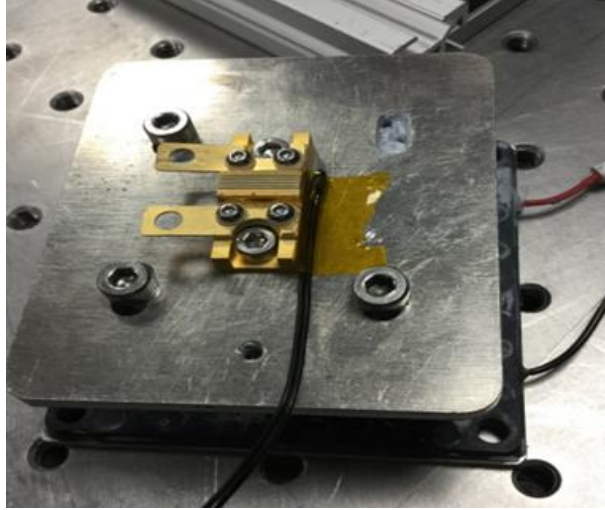
Başka bir önemli noktada lazer diyotun, lazer diyot sürücü ile arasındaki mesafenin kısa tutulmasıdır. Bağlantı kabloları ile lazer diyot arasındaki mesafe arttıkça akım kaynağından gelen

akımın kat ettiği mesafe artacağı için empedans uyumsuzluğu olacak ve gürültü miktarı artacaktır. Ayrıca bağlantı kablolarının üzerinden atımlı modda yaklaşık 120 A akım geçtiği için kablo kalınlığının dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Bu aşamada tamamen saf bakırdan oluşan bara olarak adlandırılan bakır plakaların kullanılması akım geçişinin sorunsuz yapılması istenmeyen gürültü ve empedans uyumsuzluklarının önüne geçecektir [30]. Bakır baraların kullanılmasının diğer bir avantajı yüzey alanının geniş olması nedeni ile bağlantı noktası ve kablo üzerinde oluşacak olan ısı miktarının azalmasına imkân sağlamaktadır. Bakır baraların yüzeylerinde herhangi bir yalıtım malzemesi olmadığı için yüzey makaron ile sarılarak yalıtım sağlanmıştır.



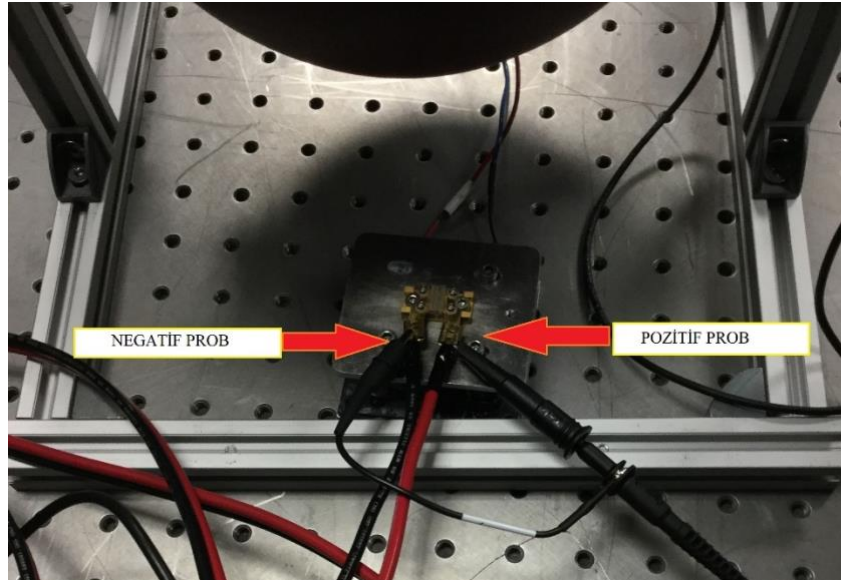
Şekil 20.Lazer diyot sürücüsü ile lazer diyot arası bakır bara bağlantısı.

Lazer diyot üzerinden ısı ölçümü birçok farklı metot ile ölçülebilmektedir. Isı ölçümü genel olarak lazer diyotun soğutucu ile arasındaki en yakın mesafeye ya da soğutucu plaka üzerinden alınır. Isı ölçümü için ürünün kullanım alanı, çalışma şartları, kullanılacak olan uygulama, sürüş parametreleri ve mekanik yapısı gibi birçok farklı etkiye göre değişik metotlarla ölçülebilir [26]. Bizim uygulamamızda ısı ölçümü, lazer diyot sürücüsünün ısı ölçüm özelliği kullanılarak sürücünün arka tarafında bulunan proplara bağlanan 10K NTC kullanılarak lazer diyotun soğutucu peltiere temas ettiği noktaya termal bant yardımı ile sabitlenerek ölçülmektedir [2] [3].

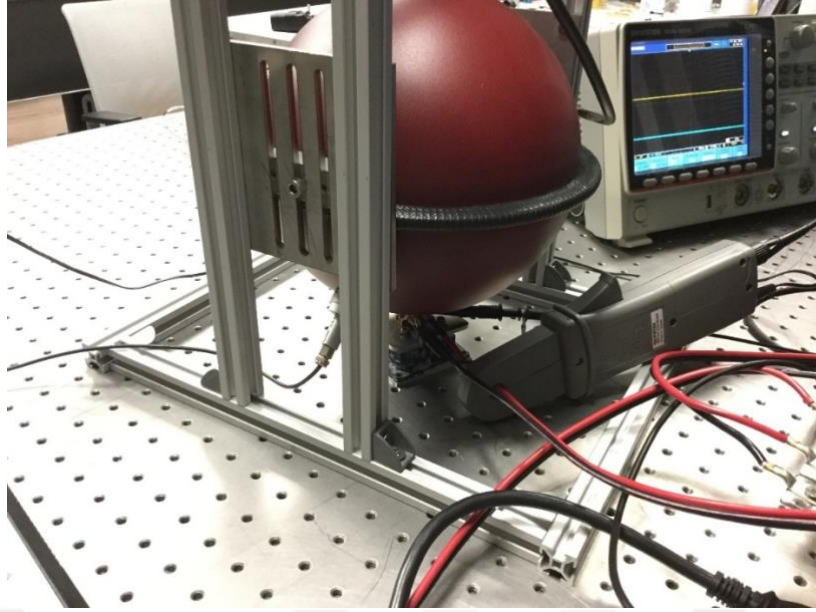


Şekil 21. Peltier üzerinde lazer diyot montajı.

Akım ölçümü atımlı modda çalışma esnasında sürücü tarafından verilen akımın diyot tarafında herhangi bir kayıp yaşamadan kare dalga formunun korunup korunmadığını belirlemek için akımölçer tarafından Şekil 20’deki gibi bağlanarak ölçülür. Akım ölçümünün önemi Kirchhoff akım kanununa göre giren akımın çıkan akıma eşit olup olmadığının belirlenmesi temelindedir[11]. Burada lazer diyot üzerinden geçen akımın herhangi bir kayba uğramadan lazerin çıkışında ölçülmesi lazer diyotun iletken yapısını koruduğunu ve devre içerisinde aktif direnç göstermediğini doğrulamış oluyoruz[4].



Şekil 22. Lazer diyot güç ve osiloskopprob bağlantıları.



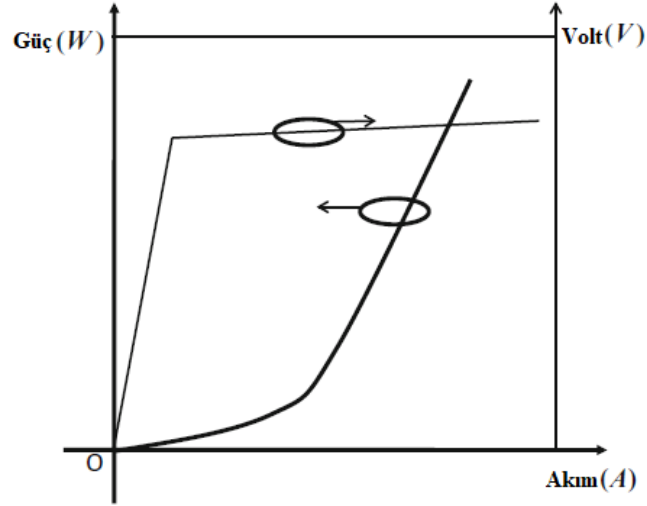
Şekil 23.Lazer diyot üzerin akım ölçümü.

3.5 Test ve Karakterizasyon

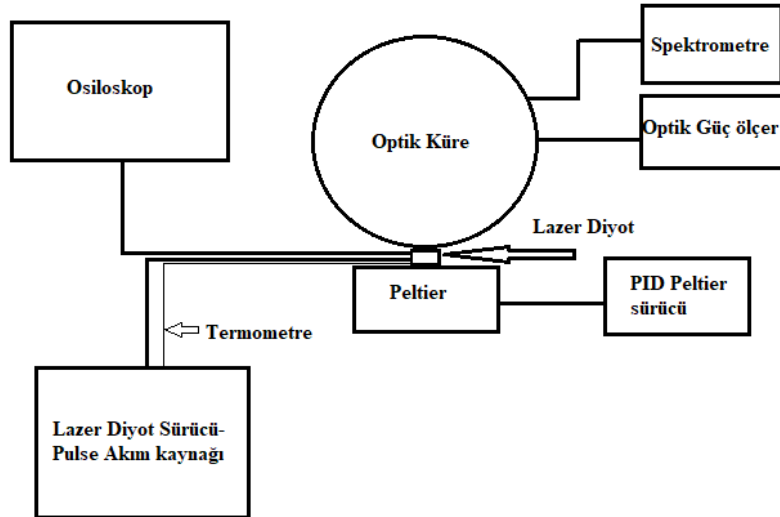
Bu bölümde, çıkış gücü, eşik akımı, eğim verimliliği, elektrik-optik dönüşüm verimliliği, seri direnç, dalga boyu ve spektrum, uzak alan, gülümseme (yakın alan doğrusallığı) ve ömür testi gibi yüksek güçlü yarı iletken lazerleri karakterize eden testler yapılacaktır [1].

3.5.4 Optik Güç–Akım–Gerilim

Optik Güç-akım-Gerilimolarak adlandırılan test İngilizce karşılığı olan LightPower-Current-Voltage(LIV) kısaca LIV testi olarak bilinmektedir,LIV eğrileri, Şekil 22’de [1] gösterildiği gibi, sürüş akımının bir fonksiyonu olarak çıkış ışıık gücü ve gerilimin ölçülmesiyle elde edilebilir.Çıkış gücü ve ileri gerilim doğrudan ölçülür ve LIV eğrisinden elde edilebilir. Eşik akımı, eğim verimliliği, seri direnç ve elektrik-optik dönüşüm verimliliği LIV eğrisinden hesaplanabilir[3].



Şekil 24. Optik güç -Akım- Gerilim grafiği.



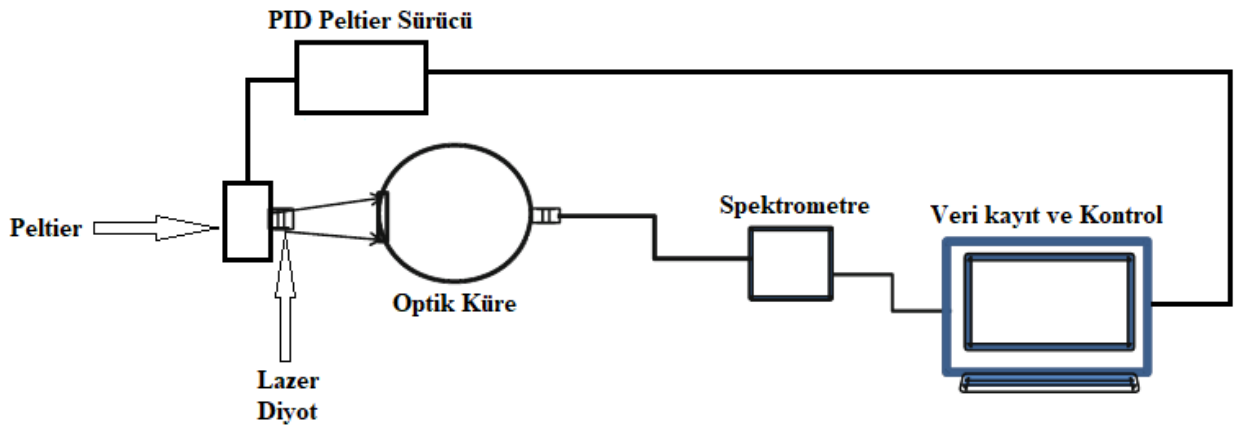
Şekil 25. Test sistemi şematik diyagramı.

Şekil 23’de diyot lazerin [2] LIV ölçümü için bir test düzeneğinin şematik diyagramını göstermektedir. Test kurulumu, küre detektörü, güç ölçer, spektrometre, akım sürücüsü, bilgisayar tarafından kontrol sistemi ve soğutucu sistemi, termometre ve mini soğutucu içeren soğutma sisteminden oluşur. LIV testinin verileri güç ölçerden, spektrometreden ve sürücüden örneklenir. Bilgisayar verileri analiz eder ve standart bir LIV raporu verir.

3.5.5 Sıcaklığa Bağlı Dalga Boyu Kayması

Bir yarı iletkenin emisyon dalga boyu, delik ve elektronun rekombinasyonu sırasında bir foton şeklinde salınan enerji miktarına bağlıdır, bu salınan enerji yarı iletkenin bant boşluk enerjisi olarak da bilinir[31]. Kalıcı dalga boyu emisyonu için ılıman sıcaklığın kontrolü çok önemlidir. Bir lazerin dalga boyu ayarı, diyot akımının değiştirilmesi, Peltier plakası kullanılarak soğutucu sıcaklığının değiştirilmesi ve son olarak manyetik alan uygulanması gibi birçok yolla yapılabilir. Bu yöntemler sırasında, yarı iletkendeki enjeksiyon akımı konsantrasyonunda, sonuçta boşluğun kırılma indisini değiştiren ve aynı zamanda tepe foton enerjisini değiştiren bir değişiklik olur[32][5].

Giriş akımı arttığında güç yoğunluğu arttığı içindalga boyunun daha yüksek dalga boylarına kaydığı görülebilir. Aynı şey, sabit bir giriş akımında sıcaklık arttığında da geçerlidir. Sıcaklık yükseldiğinde, bant aralığı azalır ve bu da tepe noktasının daha uzun dalga boylarına kaymasına neden olur. Giriş akımı artırıldığında, optik yol uzunluğu değişir ve bu da tepe kaymasına neden olur[32].



Şekil 26. Dalga Boyu kayması testi şematik diyagramı.

3.5.6 Sıcaklığa Bağlı Eşik Akımı Kayması

Atımlı lazer diyotlarında, sıcaklığın eşik akımı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Eşik akımı, bir lazer diyotunun çalışmaya başlaması için gereken minimum elektrik akımıdır. Sıcaklık arttıkça, eşik akımı genellikle artar[33].

Bu durum, birkaç farklı faktörden kaynaklanır. İlk olarak, sıcaklık arttıkça, iletkenlik bandındaki elektronların termal enerjileri de artar. Bu termal enerji, lazer diyotunun eşik akımının

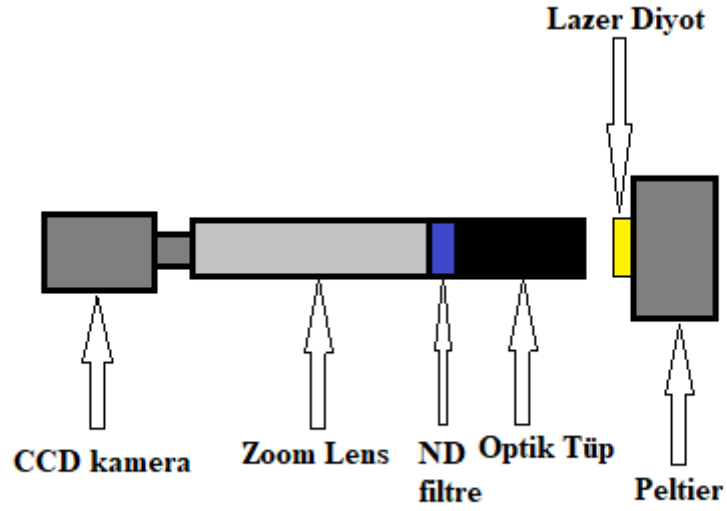
aşılabilmesi için daha fazla enerji sağlanması gerektiği anlamına gelir. İkinci olarak, sıcaklık artışı, lazer diyotunun iç direncini etkiler. Sıcaklık arttıkça, iç direnç genellikle artar. Buda, daha yüksek bir gerilimin uygulanmasını gerektirir ve dolayısıyla eşik akımının artmasına neden olur. Üçüncü olarak, sıcaklık değişiklikleri lazer diyotunun optik özelliklerini etkileyebilir. Sıcaklık artışı, lazer diyotunun rezonans frekansını ve çıkış spektrumunu değiştirebilir. Buda, eşik akımının değişmesine neden olabilir[14].

Sonuç olarak, sıcaklık arttıkça atımlı lazer diyotlarda eşik akımı genellikle artar. Bu nedenle, lazer diyotların sıcaklık kontrolü önemlidir, özellikle istikrarlı ve tekrarlanabilir bir performans elde etmek için.

3.5.7 Gülümseme (Smile) Testi

Lazer diyot dizilerindeki yayıcıların yakın alanının doğrusalılığı, optik birleştirme ve ışın şekillendirmede önemli zorluklar doğurur ve lazer dizilerinin daha geniş uygulamalardaki ana engellerinden biri haline gelmiştir [39]. Pompalanan bir lazer diyot dizisinin yakın alan doğrusalığının artırılması, lazer sistemi üreticisinin kompaktlık, optik birleştirme verimliliği, güç ve ışın kalitesini iyileştirmesine ve aynı zamanda üretim maliyetini düşürmesine olanak tanır. Bu nedenle, bir lazer diyot dizisinin yakın alan doğrusalılığı, lazer dizisi ürünlerinin temel özelliklerinden biridir ve üretim verimini artırmak, maliyeti düşürmek ve rekabet avantajı elde etmek için yakın alan performansını iyileştirmek özellikle önemlidir. Bu yazıda, yüksek güçlü diyot lazer dizilerinde "gülümseme" mekanizmasını inceleyecek ve düşük "gülümseme" elde etme stratejilerini ve yöntemlerini tartışacağız [40].

Yüksek güçlü diyot lazer dizilerinin (HPDLA'ların) münferit yayıcıları, çıplak bir çubuğun farklı katmanları arasındaki termal genleşme katsayısı (CTE) uyumsuzluğu, paketleme işlemi ve lazer çubuğu ile yapıştırma ısı emicisi arasındaki CTE uyumsuzluğu nedeniyle tam olarak hizalanamamıştır [37].



Şekil 27. Gülümseme test sistem yapısı ve bileşenleri.

Optik hizalama için gülümseme azaltma önemlidir ve gülümsemenin kaynağı, LD çubuğu ile soğutucu arasındaki termal genleşme katsayılarının farkıdır. Soğutucu malzemesi olarak genellikle bakır (Cu) kullanılır ve termal genleşme katsayısı $1,7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ olarak bilinir. LD çubuğunun ise genellikle GalliumArsenide (GaAs) gibi bir yarı iletken malzemesi vardır ve termal genleşme katsayısı $5,9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ olarak bilinir. LD çubuğu yüksek sıcaklıkta lehim ile soğutucu üzerine monte ettikten sonra, soğutucu oda sıcaklığına soğudukça LD çubuğuna göre daha yüksek oranda büzülür. Sonuç olarak, LD çubuğu, yüksek sıcaklıkta soğutucu üzerine lehimlendikten sonra, soğutucunun oda sıcaklığına soğumasıyla birlikte dışbükey bir şekilde büzülme gösterir. Bu durum gülümsemeye neden olur. Gülümsemeyi bastırmanın bir yolu, lehimleme sıcaklığını düşürmek ve yumuşak lehim kullanmaktır. Ancak yüksek güçlü çalışmalarda yumuşak lehimin sürünme veya bıyık büyümesi gibi sorunlara yol açabileceği unutulmamalıdır. Diğer bir yol ise, LD çubuğunun termal genleşme katsayısıyla uyumlu olan kompozit malzemeler kullanmaktır. Bu malzemeler, LD çubuğu ile soğutucu arasındaki termal genleşme farkını azaltarak gülümsemeyi kontrol altına almaya yardımcı olur. Bu şekilde, daha doğru optik hizalama elde edilir ve lazerin performansı iyileştirilir. Bu yöntemler, LD çubuğunun gülümsemesini azaltarak optik hizalama sürecini optimize etmeyi amaçlar. Doğru hizalama, yüksek güçlü lazer sistemlerinin verimliliğini artırır, güvenilirliğini sağlar ve uzun ömürlülüğünü destekler[34].

4. BULGULAR

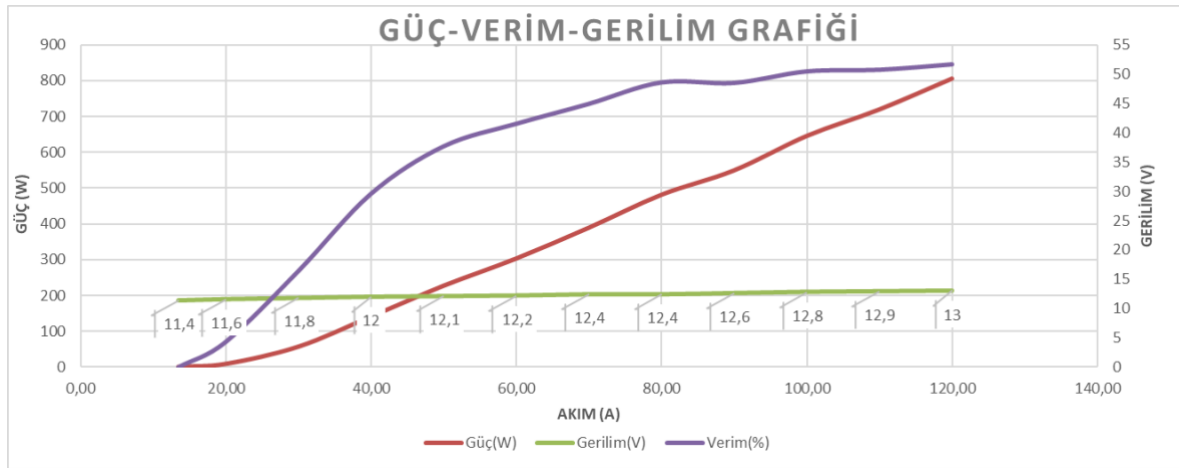
Tezin bu bölümde kurulan test ve karakterizasyon sistemlerinin çıktıları ele alınacaktır. Yapılan testlerden elde edilen veriler uygulamada kullanılan ürünlere göre farklı cihaz ve programlardan elde edilmektedir.

4.1 Optik Güç–Akım–Gerilim Test Bulguları

Yüksek güçlü dizgi lazer diyot testinde 50 °C sıcaklık altında eşik akımından başlanarak (13.5 A) 120 A seviyesine kadar akım belirli periyotlarla arttırılmıştır. 250 µs atım genişliği 20 Hz frekans ve 0.5 görev döngüsü(dutycycle) parametreleri ele alınarak sürülmüş ve değerler şekil 26’da gösterildiği gibi kayıt edilmiştir.

Tepe Akım(A)	Tepe Voltaj (V)	Alttaban sıcaklığı (°C)	Atım Genişliği (us)	Frekans (Hz)	Duty Cycle (%)	Ortalama Güç(W)	Max Güç(W)	Tepe Güç (W)	Slope (W/A)	Verim (%)
13,5	11,4	48,3	250	20	0,5	0,01	0,01	2	0,15	1,30
20	11,6	49	250	20	0,5	0,04	0,05	10	0,50	4,31
30	11,8	49,8	250	20	0,5	0,27	0,29	58	1,93	16,38
40	12	49,8	250	20	0,5	0,66	0,71	142	3,55	29,58
50	12,1	49,8	250	20	0,5	1,05	1,14	228	4,56	37,69
60	12,2	50	250	20	0,5	1,45	1,52	304	5,07	41,53
70	12,4	50,2	250	20	0,5	1,84	1,95	390	5,57	44,93
80	12,4	50,1	250	20	0,5	2,24	2,41	482	6,03	48,59
90	12,6	49,8	250	20	0,5	2,57	2,75	550	6,11	48,50
100	12,8	49,7	250	20	0,5	3,02	3,23	646	6,46	50,47
110	12,9	49,8	250	20	0,5	3,39	3,6	720	6,55	50,74
120	13	49,9	250	20	0,5	3,77	4,03	806	6,72	51,67

Şekil 28.Lazer diyot test sonuçları.



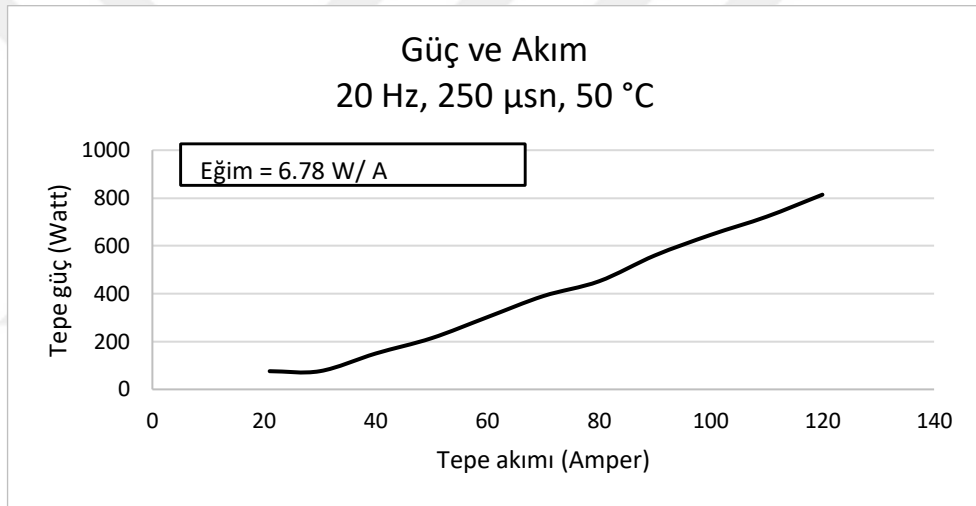
Şekil 29. Güç-Verim-Gerilim grafiği..

Şekil 26’daki test sonuçları ele alındığında gerilim değerinin eşik akımında 11.4 V olarak ölçülmüş, 120 A akımda 13 V olarak ölçülmüştür. Test edilen lazer diyotta toplam 7 adet bar

bulunmaktadır. Gerilim değeri bar başına yaklaşık 1,7 V olarak katalog değerlerinde belirtilmektedir, yapmış olduğumuz ölçümlerde toplam gerilimi bar sayısına bölersek yaklaşık 1.85 V bir değer elde edilmektedir. Elde edilen gerilim değerinin 1.7 V değerinden yüksek çıkması barların haricinde lazer diyotun mekanik yapısını oluşturan materyallerin ve barların birbirine ve gövdeye sabitlenmesi için kullanılan lehim ve diğer ürünlerin oluşturduğu elektrik direncinin etkilerinden kaynaklanmaktadır. Elde edilen ölçüm sonucu lazer diyot karakterizasyonu için beklenen bir sonuçtur[11][35].

Elde ettiğimiz değerler ele alınarak lazer darbe enerjisi (Joule) hesaplanabilir, Lazer darbe enerjisi bir lazer ışınının bir yüzeye uyguladığı yoğun ve odaklanmış enerji miktarını ifade eder.

Darbe Enerjisi (Joule) = Ortalama Güç (Watt) / Tekrarlama Hızı (Hertz)



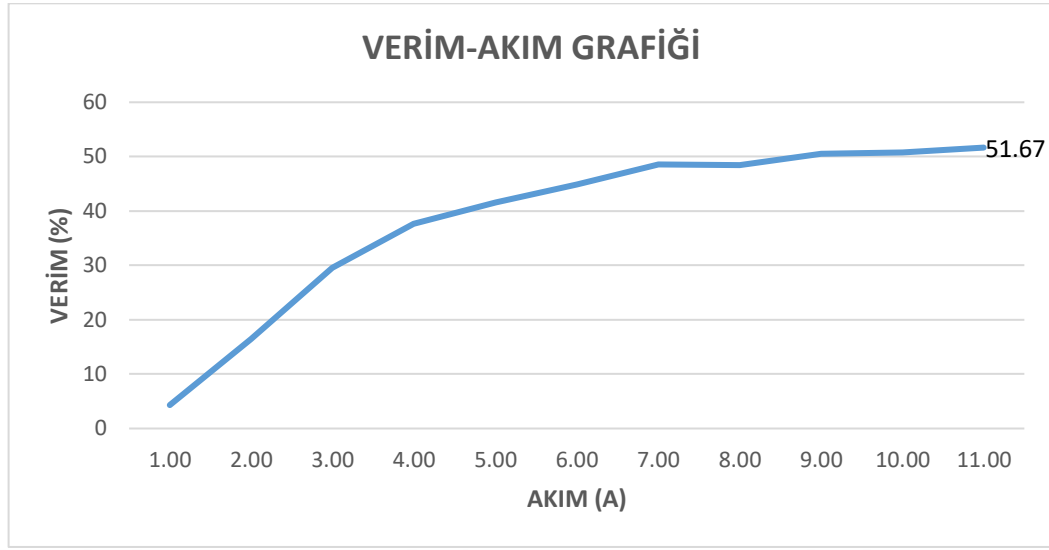
Şekil 30.Güç-Akım grafiği.

Lazer optik verimi, lazer sisteminden çıkan optik gücün, kullanılan elektriksel güce oranını temsil eder. Optik verim, genellikle yüzde (%) olarak ifade edilir. Optik verimi hesaplamak için aşağıdaki formülü kullanabilirsiniz:

$$\text{Optik Verim} = (\text{Çıkan Optik Güç} / \text{Giriş Elektrik Gücü}) \times 100$$

Bu formülde, çıkan optik güç lazer sisteminden elde edilen optik gücü, giriş elektrik gücü ise lazer sisteminin beslendiği elektriksel gücü temsil eder.

$$\text{Optik verim} = \frac{806}{(13 \times 120)} \times 100 = \%51,67 \quad (1)$$



Şekil 31. Verim-Akım grafiği.

4.2 Dalga Boyu Kayması Testi Bulguları.

Dalga boyu kayması testi 250 µs atım genişliği 20 Hz frekans ve 0.5 görev döngüsü parametreleri ele alınarak 120 A atımlı akım değerinde başlangıç sıcaklığından (28°C) başlayarak spektrometre ile kayıt alınarak 1'er derece ısıtılarak 50 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Yapılan test boyunca sıcaklık değeri her arttırıldığında sıcaklık değerinin oturması ve sağlıklı bir veri alınması için belirli bir süre beklenmiş ve elde edilen veriler kayıt edilerek Tablo 2'deki gibi kayıt edilmiştir.

Dalga boyu kayması ortalaması alınması için en yüksek sıcaklık değerindeki dalga boyu ele alınarak başlangıç sıcaklığındaki dalga boyu ile çıkartılarak toplam sıcaklık farkına bölünür. Elde edilen sonuç 1°C sıcaklık farkına bağlı olarak dalga boyunda oluşan kaymayı verecektir.

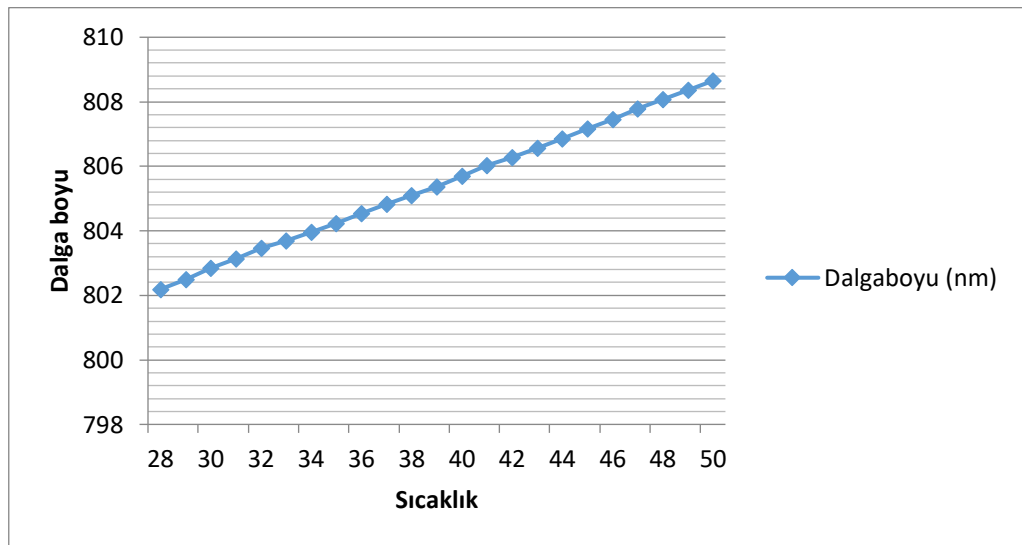
$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta T} = \frac{808,65 \text{ nm} - 802,19 \text{ nm}}{50^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}} = 0.29363 \frac{\text{nm}}{^\circ\text{C}} \cong 0.3 \text{ nm}/^\circ\text{C} \quad (2)$$

Tablo 4-1. Sıcaklığa bağlı dalga boyu kayması.

Sıcaklık (°C)	Dalga boyu (nm)
28	802,19
29	802,49
30	802,84
31	803,13

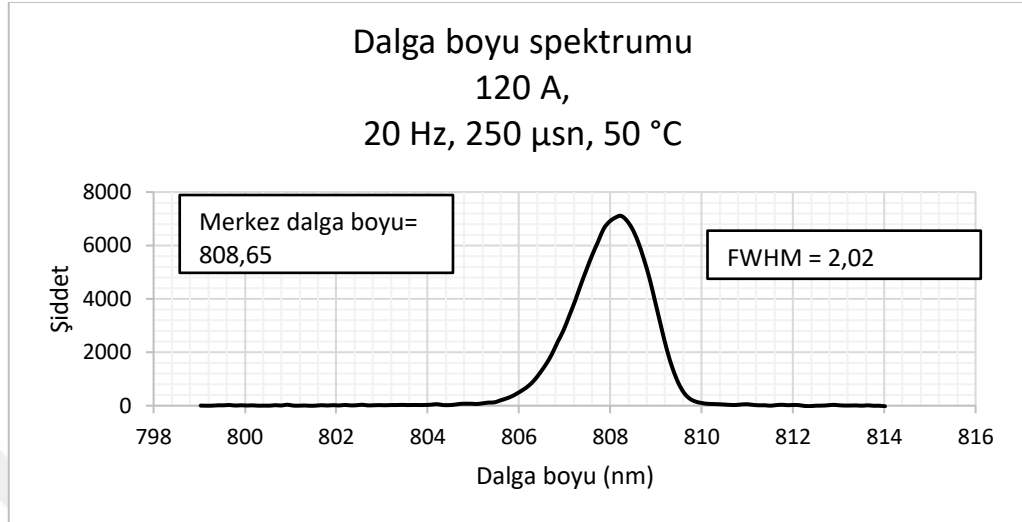
32	803,46
33	803,69
34	803,97
35	804,23
36	804,53
37	804,82
38	805,09
39	805,37
40	805,7
41	806,02
42	806,28
43	806,56
44	806,85
45	807,16
46	807,46
47	807,78
48	808,08
49	808,36
50	808,65
Dalga boyu kayması = 0,293636364	

Dalga boyu Şekil 30’da görüldüğü gibi 802 nm seviyesinden başlayarak her bir derece sıcaklık artışı için yaklaşık 0.3 nm değerinde kademeli olarak artarak Şekil 30’daki gibi lineer bir grafik elde edilmiştir. Bu grafiğe bakarak lazer diyotun sıcaklık artışına karşın herhangi bir bozulma göstermeden stabil bir şekilde çalıştığını sonucu da vermektedir.

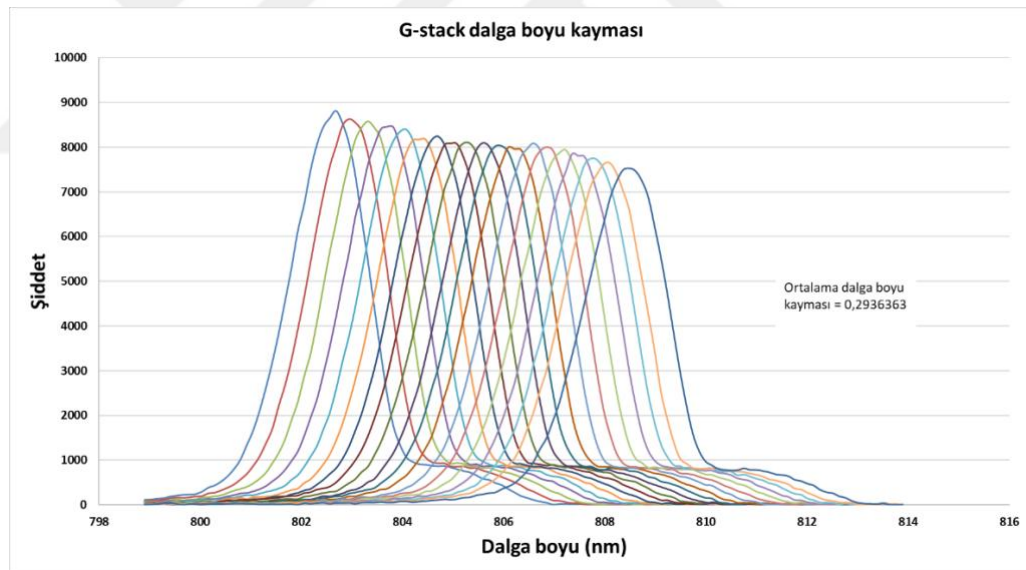


Şekil 32.Sıcaklığa bağlı dalga boyu kayması grafiği.

Lazer diyotlar test aşamaları bittikten sonra katalog değerleri girilerek bazı grafikler kataloğa işlenir aşağıdaki Şekil 31'deki gibi sürüş parametreleri eklenerek elde edilen dalga boyu ve değerleri yazılarak kullanıcıya belirtilir.



Şekil 33. 50°C dalga boyu grafiği.



Şekil 34. Dalga boyu kayması spektrum gösterimi.

4.3 Sıcaklığa Bağlı Eşik Akım Kayması Bulguları

Sıcaklığa bağlı dalga boyu kaymasının yanı sıra eşik akımında sıcaklığa bağlı kaydığı ve test düzeneği değiştirilmeden yine oda sıcaklığından başlayarak sıcaklık değeri 1'er °C arttırılarak eşik akımındaki değişim Tablo 4'deki gibi kayıt edilmiştir.

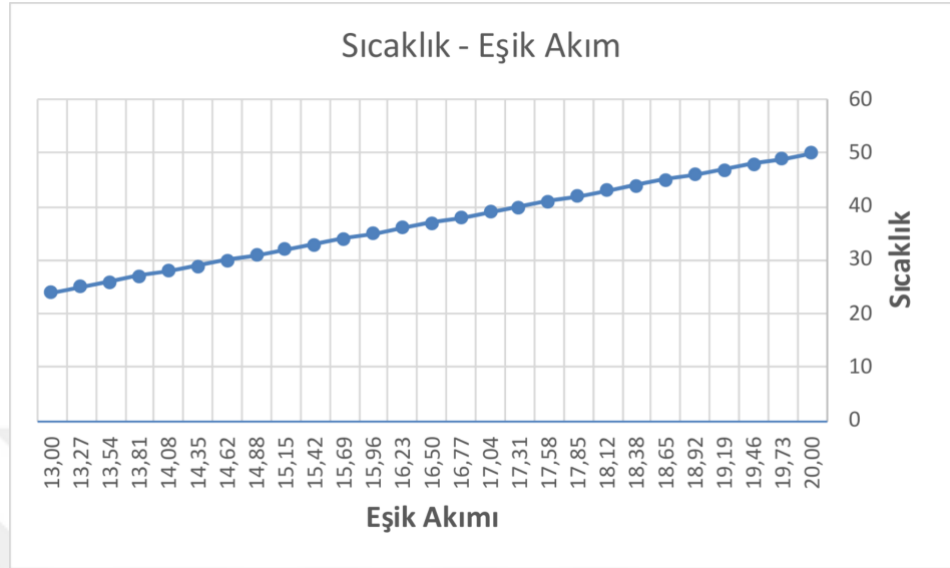
Sıcaklığa bağlı eşik akımı değişim oranı $0.26923 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$ olarak hesaplanmıştır. Oda sıcaklığında çalıştırılan lazer diyot üzerinden alınan ısı değeri PID kontrollü peltier kullanılarak 1°C 'er derece arttırılarak $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmıştır. Her sıcaklık değeri arttırılmadan önce lazer akımı kesilerek istenilen ısı değerine geldiğinde akım değeri optik güç ölçer ve spektrometre takip edilerek güç ve spektrum değeri okunana kadar yavaş yavaş arttırılmıştır.

Tablo 4-2. Sıcaklığa Bağlı Eşik akımı değişimi değerleri.

Eşik Akımı	Sıcaklık
13,00	24
13,27	25
13,54	26
13,81	27
14,08	28
14,35	29
14,62	30
14,88	31
15,15	32
15,42	33
15,69	34
15,96	35
16,23	36
16,50	37
16,77	38
17,04	39
17,31	40
17,58	41
17,85	42
18,12	43
18,38	44
18,65	45
18,92	46
19,19	47
19,46	48
19,73	49
20,00	50

Dalga boyu kayması testinde olduğu gibi en yüksek sıcaklık değerindeki eşik akım değeri oda sıcaklığındaki eşik akım değerinden çıkartılarak toplan sıcaklık farkına bölünerek eşik akımdaki kayma değeri hesaplanmış ve yaklaşık olarak $0.27 \text{ A/}^{\circ}\text{C}$ olarak bulunmuş ve kayma grafiği Şekil 33'de verilmiştir.

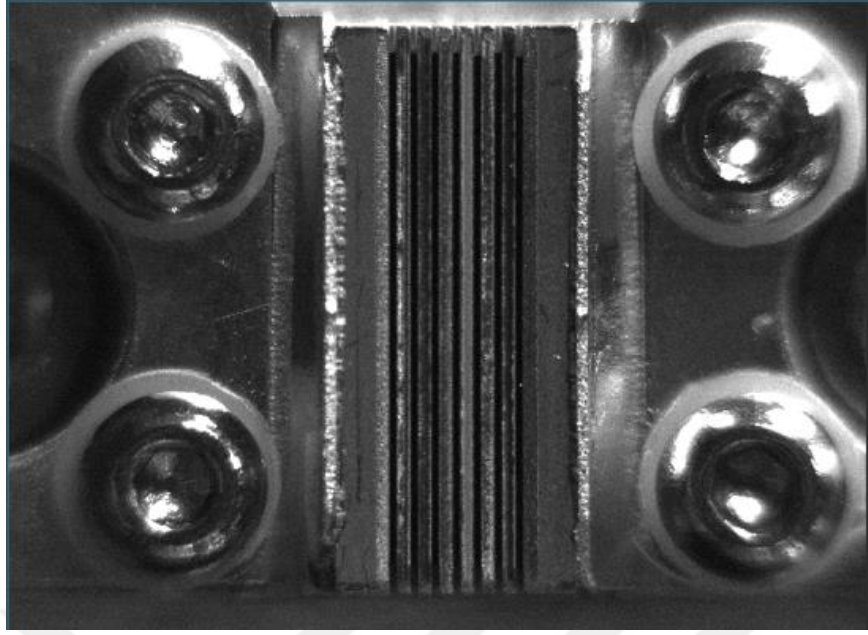
$$\frac{\Delta T}{\Delta I} = \frac{20^{\circ}\text{C}-13^{\circ}\text{C}}{50\text{ A}-24\text{ A}} = 0.26923\text{ A}/^{\circ}\text{C} \cong 0.27\text{ A}/^{\circ}\text{C} \quad (3)$$



Şekil 35. Sıcaklığa bağlı Eşik akım değişim grafiği.

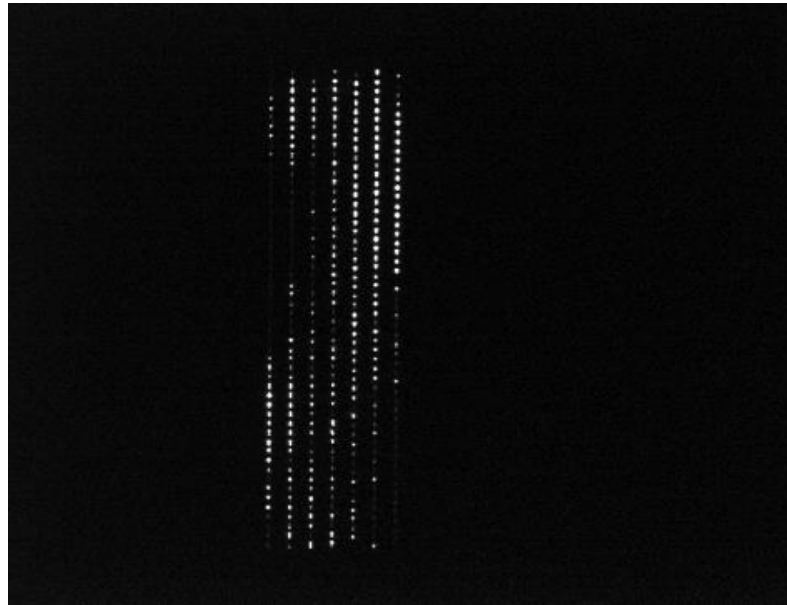
4.4 Gülümseme Testi Bulguları

Lazer diyot çubuğunun yayıcılarından çıkan ışınların çoğu uygulamada küçük bir noktaya odaklanır, bu nedenle her bir yayıcının göreceli dikey konumu kontrol etmek önemlidir. Bir soğutucu üzerine monte edilen lazer diyot çubuğu, farklı termal genleşme katsayılarından dolayı örtük bir bimetal benzeri eğilme etkisine sahiptir ve bu eğilme, lazer diyot çubuğunun yayıcılarının dikey hizalamasını bozar. Bu eğilme miktarı, "gülümseme" olarak adlandırılan tepe ve vadi farkını ifade eder. Güvenilir yüksek güçlü çalışma için, soğutucuya sertçe lehimlenen lazer diyot çubuklarının kullanılması avantajlıdır, ancak daha yüksek lehimleme sıcaklığı gerektirir ve daha büyük bir gülümsemeye neden olur. Düşük gülümseme ile güvenilir yüksek güçlü çalışma, çözülmesi gereken bir sorundur [41].



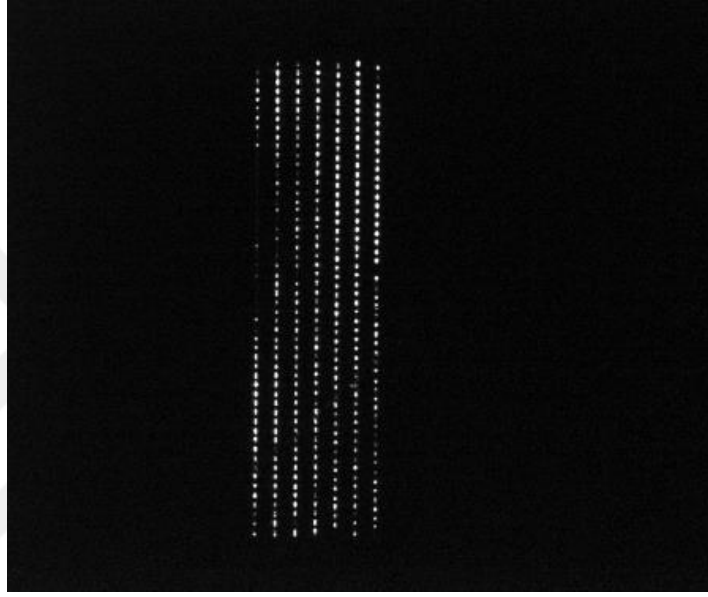
Şekil 36.Lazer diyot pasif halde ND filtresiz görüntüsü.

Gülümseme testi yapılırken lazer diyot dalga boyu kayması ve eşik akım kayması testindeki sürüş parametreleri ile sürülmüş ve ilk olarak ND filtreler kullanılmadan önce zoom lensle odaklanarak bütün ışıma yüzeyinin kameranın algılayacağı bölgeye getirilmesi sağlanmıştır. Odaklanma işlemi Şekil 34'deki gibi lazer diyotun ışıma yüzeyi net şekilde görülmektedir. Odaklama işlemi tamamlandıktan sonra ND filtreler eklenerek lazer diyot ilk olarak eşik akımında sürülerek görüntü alınmış ve Şekil 35'deki gibi bir görüntü elde edilmiştir.

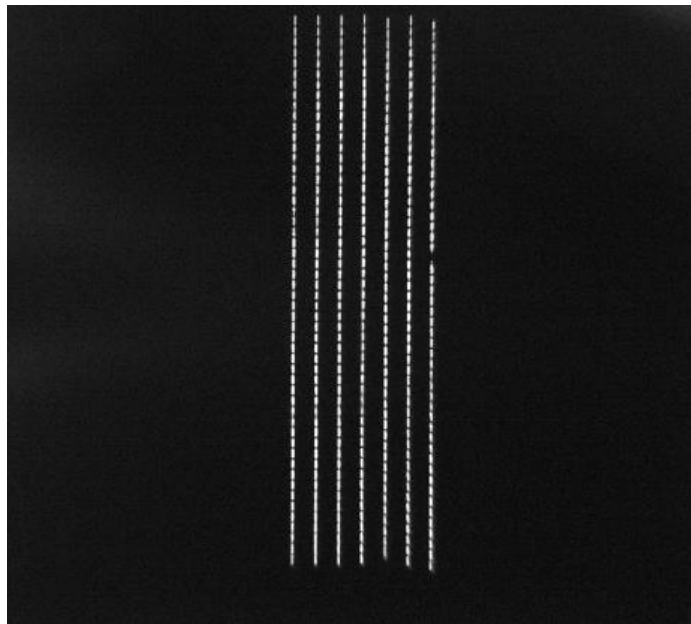


Şekil 37.Eşik akımındaki ışıma yüzeyi görüntüsü.

Eşik akımındaki görüntüyü inceleyecek olursak Lazer diyotun dizgi yapısı ney biçimde görülmekte ve bazı diyotların ışıma vermediği gözlemlenmiştir. Bu görüntü ilk olarak dizgi üzerindeki diyotların çalışmadığı ya da ölü olarak algılanmasına sebep olabilir ancak eşik akım değerinde elde edilen bu görüntü lazer diyot testleri için normal kabul edilmektedir. Çünkü birçok diyot aynı dizgi üzerinde olsa bile akım değerleri birbirinden farklı olabilir, bu fark çok afaki değerler olmayıp akım değeri arttıkça pasif diyotların sayısının azaldığı ve daha fazla diyotun ışıdığı Şekil 36'daki gibi görülmektedir.



Şekil 38.20 A değerinde ışıma yüzeyi görüntüsü.



Şekil 39.120 A değerinde ışıma yüzeyi görüntüsü.

Akım değeri 120 A seviyesine getirildiği zaman Şekil 37’de görüldüğü gibi ısıma yüzeyindeki diyotların hemen hemen tamamının aktif olarak ısıma yaptığı net bir şekilde görülmektedir. Şekil 37’de detaylı şekilde incelendiğı zaman lazer dizgilerinin yukarıdan aşağıya doğru lineer bir biçimde herhangi bir kayma ve sapma olmadan çalıştığı görülmektedir. Bu görüntü dizgilerin arasındaki lehimlerin ve diğer bağlayıcı materyallerin lazerin oluşturduğu ısıdan etkilenmeyerek dizgilerin kaymasını engellediğı görülmüştür.

Gülümseme testi sonucu kullanıcılara test edilen lazer diyotun kullanıcının kullanım ihtiyacına göre kolimatör lens ya da diğer optik elemanların kullanımı ve seçiminde en belirleyici etmendir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmamızda yüksek güçlü yarı iletken dizgi lazer diyotların test ve karakterizasyonu üzerine laboratuvar ortamında test sistemi kurulmuş, lazer diyotu karakterizasyonu için gereken bütün bileşenlerden detaylıca bahsedilmiş, kullanım alanları ve amaçları açıkça belirtilmiş ve elde edilen veriler kayıt edilip raporlanmıştır.

Yapılan karakterizasyon çalışmasında gerek kullanım alanları gerek kullanım hassasiyeti açısından çok kritik öneme sahip olan dizgi lazer diyotun optik, akım, gerilim, spektrum ve termal özellikleri belirlenmiştir. Lazer diyot karakterizasyonu, lazer teknolojisinin geliştirilmesi, lazer diyot uygulamalarının optimizasyonu ve lazer diyot üretimi süreçlerinin iyileştirilmesi gibi birçok alanda önemlidir. Elde edilen sonuçlar uygulamadan önce kullanıcının lazer diyotu sürmesi için gerekli olacak olan sürücü, ısıtma-soğutma ekipmanları, optik bileşenleri doğru seçmesi adına yardımcı olacaktır. Çünkü verilen sürüş parametrelerinden farklı şekilde sürülür ise elde edilecek olan değerler de (optik güç, dalga boyu ve sıcaklık gibi) farklı olacaktır.

Yapılan çalışmada optik masa üzerine test düzeneği kurulmuş, kurulan düzenekte optik küre, optik güç ölçer, spektrometre, termoelektrik soğutucu peltier, PID kontrollü peltier sürücü, lazer akım kaynağı, osiloskop, ccd kamera, zoom lens, ND filtre ve diğer optik bileşenler kullanılmıştır. 120 A akım değeri, 250 µs atım genişliği 20 Hz frekans ve 0.5 görev döngüsü değerleri ele alınarak lazer diyot sürülmüş, karakterizasyon işleminin her aşaması kademe kademe kayıt edilmiş ve raporlanmıştır. Elde edilen sonuçlar gerekli teorik işlemlere tabi tutulmuş ve hesaplamalar yapılarak elde edilen sonuçlar hem grafik ve görsel hem de sayısal olarak belirtilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda karakterize ettiğimiz lazer diyot yukarıda belirtilen sürüş parametreleri ile sürülerek atımlı rejimde yaklaşık 800 W optik güç vermiştir. Atımlı lazerlerin güç değeri kullanım amacına Joule birimi olarak da verilmektedir. Joule değeri elde edilen optik gücün frekansa bölünmesi ile elde edilir buda:

$$\text{Darbe Enerjisi (Joule)} = \text{Ortalama Güç (Watt)} / \text{Tekrarlama Hızı (Hertz)}$$

$$\frac{W}{Hz} = \frac{800 W}{20 Hz} = 40 J \quad (4)$$

Lazer diyot karakterizasyon işleminde yapılan testlerin belirli bir kalite ve standartlara uyumlu olması gerekmektedir. Bu standartlar lazerin kullanılacağı alana göre değişiklik göstermektedir. Standartlar ürünün yalnızca performans ve kalitesinin belirlenmesinin dışında

Üretim aşamasında da standartları sağlaması için gereken mekanik, yarı iletken, elektronik ve optik yapıların belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü eğer askeri standartlarda bir lazer üretilecek ise yalnızca optik güç yada dalga boyu gibi özelliklerinin dışında termal şok, mekanik şok, yanma, yüksek basınç ve nem testleri gibi bazı özel testlerinde yapılması gerekir bu testlerde başarılı olunması için tasarım aşamasından itibaren iyileştirilmelerin yapılması gerekmektedir.

Çalışmamızda karakterize edilen lazer diyotun merkez dalga boyu 50 °C sıcaklık değeri altında yaklaşık 808 nm olarak ölçülmüş ve sıcaklığa bağlı dalga boyu kayması 0.3 nm/°C olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sıcaklığa bağlı dalga boyu kayması testinde de benzer bir sonuç olarak 0.27 A/°C olarak hesaplanmıştır.

Gülümseme testi sonuçlarında ise ccd kamera üzerine zoom lens adapte edilerek görüntünün alınacağı yzeyeye odaklama yapılmış ve yüksek güçlü lazer ışığının kameraya zarar vermemesi ve daha net görüntü alınabilmesi için ND filtreler kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler incelendiğinde lazer barlarda herhangi bir şekil bozukluğu saptanmamış ve ışıma yüzeylerinde lazerin ışımasına engel olacak olan herhangi bir lehim akması, toz, hasar gibi etkenler görülmemiştir. Ayrıca karakterize ettiğimiz lazer diyotun gülümseme testi sonuçlarına göre optik kolimatör kullanmaya uygun olduğu belirlenmiştir. Çünkü lazer barları arasında herhangi bir sapma ya da kayma meydana gelse idi lazer ışını optik kolimatörün dışına çıkabilir ve ışın formu bozulabilirdi.

Yapılan karakterizasyon çalışmasında LIV, Dalga boyu kayması, eşik akımı kayması ve gülümseme testleri yapılmıştır, bu testlerin dışında lazer diyotlar üzerinde yapılan birçok test mevcuttur. Bu testler lazerin kullanım amacına göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin askeri alanda kullanılacak olan lazerlerde askeri standartlar kullanılarak zorlayıcı testlere tabi tutulur, sağlık testlerinde kullanılacak olan lazerlerde ise sağlık alanında kullanılan standartlar ele alınarak daha hassas bir yapıya sahip testler yapılmaktadır. Genel olarak yapılacak olan karakterizasyonun yapısı ve değerlendirilmesi tamamen lazerin üretim ve kullanım amacı belirler.

Çalışmanız, lkemizde yüksek güçlü dizgi lazer diyot testleriyle ilgili en kapsamlı yüksek lisans tezi olarak kabul edilebilir. Bu alışma, test sisteminin kurulumu, kullanılan materyaller, test süreci ve elde edilen sonuçların teorik olarak hesaplanması ve karakteristik özelliklerin belirlenmesi gibi konularda kapsamlı bir referans sağlamaktadır. Ayrıca, lazer diyotların test edilmesi ve karakterizasyonu için gerekli olan teorik ve pratik detayları ayrıntılı bir şekilde ele almış olmanız, gelecekte yapılacak diğer lazer diyot çalışmalarına da referans olabileceğini göstermektedir. Bu alışma, lazer diyotlar üzerine yapılan araştırmalara önemli bir temel sağlayacaktır.



6. KAYNAKLAR

- [1] W. T. Silfvast, *Laser fundamentals*. Cambridge University Press, 2004.

- [2] A. Alev KIZILBULUT, “SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ 9xx-10xx nm DALGA BOYUNDA IŞIYAN YÜKSEK GÜÇLÜ LAZER DİYOT YAPISININ TASARIMI VE MOCVD YÖNTEMİ KULLANILARAK EPİTAKSİYEL TABAKALARIN BÜYÜTÜLMESİ DOKTORA TEZİ,” no. 201492032044, 2014.
- [3] M. Behringer *et al.*, “More Brilliance from High Power Laser Diodes Downloaded From: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/> on 07/18/2016 Terms of Use: <http://spiedigitallibrary.org/ss/TermsOfUse.aspx>,” 2003. [Online]. Available: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/>
- [4] H. Sun, “SPRINGER BRIEFS IN PHYSICS A Practical Guide to Handling Laser Diode Beams.” [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/8902>
- [5] S. Manikandan, “Switching of lasing wavelength and threshold current of Semiconductor Laser by temperature Variation,” 2019, doi: 10.20944/preprints201906.0150.v1.
- [6] S. W. Koch and M. R. Hofmann, “Semiconductor lasers,” in *Encyclopedia of Modern Optics*, Elsevier, 2018, pp. 462–468. doi: 10.1016/B978-0-12-803581-8.10103-1.
- [7] R. Hülsewede, H. Schulze, J. Sebastian, D. Schröder, J. Meusel, and P. Hennig, “Highly reliable high-power AlGaAs/GaAs 808 nm diode laser bars,” in *High-Power Diode Laser Technology and Applications V*, SPIE, Feb. 2007, p. 645607. doi: 10.1117/12.705119.
- [8] N. Ve and İ. Malzemeler, “YARI İLETKEN DİYOT LAZERİN ÇEVRESEL UYGULAMALARI DOKTORA TEZİ BARIŞ POLAT MERSİN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ.”
- [9] M. Wölz *et al.*, “Laser diode stacks: Pulsed light power for nuclear fusion,” *High Power Laser Sci. Eng.*, vol. 4, 2016, doi: 10.1017/hpl.2016.13.
- [10] J. M. Pol, “PhD Thesis Compound-cavity, polarization and transverse modes SEMICONDUCTOR LASER DYNAMICS.”
- [11] P. Leisher *et al.*, “Reliability of High Power Diode Laser Systems Based on Single Emitters.”
- [12] H.-G. Treusch, K. Du, M. Baumann, V. Sturm, B. Ehlers, and P. Loosen, “Fiber-coupling technique for high-power diode laser arrays.” [Online]. Available: <http://spiedl.org/terms>
- [13] P. Zhang *et al.*, “A 3000W 808nm QCW G-stack semiconductor laser array,” in *XX International Symposium on High-Power Laser Systems and Applications 2014*, SPIE, Feb. 2015, p. 92550W. doi: 10.1117/12.2065663.
- [14] M. N. Ott, “NASA Parts and Packaging Program High Power Laser Diode Array

- Qualification and Guidelines for Space Flight Environments 2006 NASA Goddard Space Flight Center Optoelectronics Task Lead; Melanie N. Ott.” [Online]. Available: <http://www.inetdaemon.com>
- [15] Y. Berk *et al.*, “Space-grade reliability of 808nm QCW laser diode arrays (LDAs) delivering over 20 billion shots,” *High-Power Diode Laser Technol. Appl. VII*, vol. 7198, p. 71980C, 2009, doi: 10.1117/12.808828.
 - [16] F. Amzajerdian *et al.*, “Improving reliability of high power quasi-CW laser diode arrays for pumping solid state lasers,” *Lidar Remote Sens. Environ. Monit. VI*, vol. 5887, no. August, p. 58870E, 2005, doi: 10.1117/12.620102.
 - [17] “NASA Parts and Packaging Program High Power Laser Diode Array Qualification and Guidelines for Space Flight Environments 2006 NASA Goddard Space Flight Center Optoelectronics Task Lead; Melanie N. Ott.” [Online]. Available: <http://www.inetdaemon.com>
 - [18] J. M. Lerner, “Imaging spectrometer fundamentals for researchers in the biosciences - A tutorial,” *Cytometry Part A*, vol. 69, no. 8, pp. 712–734, Aug. 01, 2006. doi: 10.1002/cyto.a.20242.
 - [19] X. Liu, W. Zhao, L. Xiong, and H. Liu, “Micro-and Opto-Electronic Materials, Structures, and Systems Packaging of High Power Semiconductor Lasers.” [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/7493>
 - [20] F. Traptilisa, “Characterization and Development of an Extended Cavity Tunable Laser Diode,” San Jose State University, San Jose, CA, USA, 2014. doi: 10.31979/etd.a9y3-mswn.
 - [21] M. H. Hu *et al.*, “Testing of high-power semiconductor laser bars,” *J. Light. Technol.*, vol. 23, no. 2, pp. 573–581, 2005, doi: 10.1109/JLT.2004.842304.
 - [22] E. Kuntz, “POWER SUPPLIES: PERFORMANCE FACTORS CHARACTERIZE HIGH-POWER LASER DIODE DRIVERS VP Product Planning and Development ILX Lightwave 2 PERFORMANCE FACTORS CHARACTERIZE HIGH-POWER LASER DIODE DRIVERS.”
 - [23] “Better Test Systems Boost Laser Diode Performance.” <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=13852> /
 - [24] P. Rosenberg *et al.*, “Highly reliable hard-soldered 1.6kW QCW laser diode stack packaging platform,” in *High-Power Diode Laser Technology and Applications V*, SPIE, Feb. 2007, p. 645618. doi: 10.1117/12.701303.

- [25] D. Pinto, J. P. Waclawek, S. Lindner, H. Moser, G. Ricchiuti, and B. Lendl, “Wavelength modulated diode probe laser for an interferometric cavity-assisted photothermal spectroscopy gas sensor,” *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 377, no. August 2022, p. 133061, 2023, doi: 10.1016/j.snb.2022.133061.
- [26] F. Dorsch and F. X. Daiminger, “Aging tests of high power diode lasers as a basis for an international lifetime standard.” [Online]. Available: <http://spiedl.org/terms>
- [27] P. M. Petersen, “Single-Mode High-Power Semiconductor Lasers Using Phase Conjugation Multi-modal, Endoscopic Biophotonic Imaging of Bladder Cancer for Point-of-Care Diagnosis View project Daylight Quality as a Health-related Driver for Energy Renovation View project,” no. February, 2015, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/267935973>
- [28] S. Dede and M. Üniversitesi, “AlGaInP, AlGaAs VE AlGaN TİPİ LAZER DİYOTLARIN 223 K İLE 333 K SICAKLIKLARINDA IŞIK KARAKTERİSTİKLERİNİN AKIM VE SICAKLIĞA BAĞLI OLARAK İNCELENMESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ.”
- [29] Thorlabs, “Photodiode Saturation and Noise Floor,” Cambridge, 2005.
- [30] B. Köhler, T. Brand, M. Haag, and J. Biesenbach, “Wavelength stabilized high-power diode laser modules,” in *High-Power Diode Laser Technology and Applications VII*, SPIE, Feb. 2009, p. 719810. doi: 10.1117/12.809541.
- [31] D. A. Yanson *et al.*, “High-power laser arrays with 100% fill factor emission facet,” in *Novel In-Plane Semiconductor Lasers VII*, SPIE, Feb. 2008, p. 69091B. doi: 10.1117/12.761799.
- [32] J. Han *et al.*, “Tunable, High-Power, Narrow-Linewidth Diode Laser for Potassium Alkali Metal Vapor Laser Pumping,” *Crystals*, vol. 12, no. 11, p. 1675, Nov. 2022, doi: 10.3390/cryst12111675.
- [33] N. Kageyama *et al.*, “Development of High-Power Quasi-CW Laser Bar Stacks with Enhanced Assembly Structure,” *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 28, no. 9, pp. 983–985, May 2016, doi: 10.1109/LPT.2016.2522413.
- [34] N. Kageyama *et al.*, “Efficient and reliable high-power laser diode bars with low-smile implementation,” *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 48, no. 8, pp. 991–994, 2012, doi: 10.1109/JQE.2012.2199084.
- [35] M. M. Motta, R. F. Stelini, D. R. Calderoni, R. Gilioli, and P. Kharmandayan, “Lower energy and pulse stacking. A safer alternative for skin tightening using fractional CO2 laser,” *Acta Cir. Bras.*, vol. 31, no. 1, pp. 28–35, Jan. 2016, doi: 10.1590/S0102-

865020160010000005.



7. EKLER

EK 1. Yüksek güçlü yarı iletken dizgi lazer diyot katalog değerleri.

Optik	Birim	Değer
QCW Çıkış Gücü	W	700
Merkez Dalgaboyu	nm	808
Spektral Genişlik	nm	3
Elektriksel		
Elektrik-Optik Verim	%	>50
Eşik Akımı	A	>13
Çalışma Akımı	A	120
Atım Genişliği	µs	>200
Görev Döngüsü	%	>0,5
Çalışma Gerilimi	V	13
Termal		
Çalışma Sıcaklığı	°C	50
Saklama Sıcaklığı	°C	-40/+85