

DOĞRUDAN DİYOT LAZER SİSTEMİ

Elif KARS

Yüksek Lisans Tezi

Katıhal Fiziği Anabilim Dalı

Prof. Dr. MUHİTDİN AHMETOĞLU

2022



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞRUDAN DİYOT LAZER SİSTEMİ

ELİF KARS

Prof. Dr. MUHİTDİN AHMETOĞLU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KATIHAL FİZİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Elif KARS tarafından hazırlanan “DOĞRUDAN DİYOT LAZER SİSTEMİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Katıhal Fiziği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Muhitdin AHMETOĞLU

Başkan: Prof. Dr. Muhitdin AHMETOĞLU İmza
0000-0002-9555-6903
Uludağ Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü,
Katıhal Fiziği Anabilim Dalı

Üye: Prof.Dr. Hakan KÖÇKAR İmza
0000-0002-4862-0490
Balıkesir Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü,
Katıhal Fiziği Anabilim Dalı

Üye: Prof.Dr. Kemal AKAY İmza
0000-0002-7597-1528
Uludağ Üniversitesi,
Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü,
Genel Fizik Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü
.././.....

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

Beyan ederim.

.../.../.....

Elif KARS

ÖZET

Yüksek Lisans/Doktora Tezi

DOĞRUDAN DİYOT LAZER SİSTEMİ

Elif KARS

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Katıhal Fiziği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muhitdin AHMETOĞLU

Günümüzde teknolojisinin gelişmesiyle birlikte lazerler malzemelerin işleme, kesme, delme, kaynak, markalama gibi yüzey işlemlerinde kullanılmaktadır. Lazerler enerji yoğunluklarına göre yüksek ve düşük güçlü lazerler olarak sınıflandırılır. Doğrudan diyot lazerli sistemler fiber lazerlere göre operasyonel bakım maliyetlerini düşürme potansiyeline sahiptir.

Bu tez çalışmasında 915 nm dalga boyunda 2 kW çıkış gücüne sahip doğrudan diyot metoduna uygun lazer sistemi üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim sürecinde; 915 nm dalga boyunda 200 W çıkış gücüne sahip 12 adet 135/155 µm çekirdek/kılıf çaplarında fiber kuplajlı pompa diyot ve bu diyotların fiberlerini birleştiren 600/660 µm çekirdek/kılıf çapında çıkış fiberi bulunan pompa diyot birleştirici kullanılmıştır. Deneysel ölçümlerin sonucunda sistem üzerinde kullanılan diyotların toplam gücü ve birleştirici çıkışındaki doğrudan diyot lazerin optik çıkış gücü ölçülmüştür. Bu deneysel veriler ışığında üretilen doğrudan diyot lazer sisteminde iletim verimi hesaplanmıştır. Çıkış lazeri ışın profili ölçer cihaz ile karakterize edilmiştir. Ölçümler sonucunda, 2 kW optik güce sahip lazer sistemin sayısal açıklık (NA), BBP, spot size, ve M² verileri ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Lazer, fiber lazer, diyot, optik, kaynak

2022, ix + 89 sayfa.

ABSTRACT

MSc/PhD Thesis

DIRECT DIODE LASER

Elif KARS

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physcs

Supervisor: Prof. Dr. Muhtdm AHMETOĞLU

Today, with the development of technology, lasers are used in surface treatments such as processing, cutting, drilling, welding and marking of materials. Lasers are classified as high and low power lasers according to their energy densities. Direct diode laser systems have the potential to reduce operational maintenance costs compared to fiber lasers.

In this thesis, a laser system suitable for the direct diode method was produced with a 2 kW output power at a wavelength of 915 nm. In the production process; 12 pieces of 135/155 μm core/sheath diameter fiber-coupled pump diodes with 200 W output power at 915 nm wavelength and pump diode combiner with 600/660 μm core/sheath diameter output fiber connecting the fibers of these diodes were used. As a result of the experimental measurements, the total power of the diodes used on the system and the optical output power of the direct diode laser at the combiner output were measured. In the light of these experimental data, the transmission efficiency was calculated in the direct diode laser system produced. The output laser is characterized by a beam profile measuring device. As a result of the measurements, BBP, spot size, rayleigh length and M^2 data of the laser system with 2 kW optical power were measured.

Key words: Laser, fiber laser, diode, optic, welding

2022, ix + 89 sayfa.

ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR

Akademik çalışmalarım da bilgi ve tecrübesi ile yardımlarını esirgemeyen Sayın danışmanım Prof. Dr. Muhtıdın AHMETOĞLU 'na teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve ihtiyaç duyduğum her türlü imkânı sağlayan DURMAZLAR MAKİNE ailesine müteşekkirim. Tez çalışmam boyunca bilgi, azmi ve anlayışıyla ufkumu açan Sayın Çağıl SÖZÜGÜZEL'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca beni her konuda destekleyip yanımda bulunan aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Elif KARS

.../.../.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLER	3
2.1 Lazerin Tarihçesi	3
2.2 Lazerin Tanımı ve Lazerler	6
2.3 Lazer Işının Elde Edilmesi	8
2.4 Soğurma Emisyon Çeşitleri	10
2.4.1 Soğurma ve Emisyon	10
2.4.2 Kendiliğinden Emisyon	11
2.4.3 Uyarılmış Emisyon	12
2.5 Nüfus Terslemesi(Population Inversion)	13
2.6 Optik Geri Besleme	17
2.7 Lazer Işığının Özellikler	18
2.7.1 Tek Dalga Boyluluk (Monokromatiklik)	18
2.7.2 Eş Zamanlılık (Koherent)	19
2.7.3 Yoğunluk	19
2.7.4 Kolimasyon (Doğrultulmuş Işın)	20
2.8 Lazer Çeşitleri	20
2.8.1 Gaz Lazerleri	21
2.8.2 Katıhal Lazerler	23
2.8.3 Boya Lazerler	25
2.8.4 Fiber Lazerler	26
2.8.5 Yarı İletken Diyot Lazerler	30
2.8.5.1 Yarı İletken Lazer Diyot Malzemeleri	36
2.8.5.2 Doğrudan Bant Aralığı ve Dolaylı Bant Aralığı	37
2.8.5.3 Optik Geri Besleme Mekanizması	38
2.8.5.4 Yarı İletken Lazer Diyot Çeşitleri	40
2.8.5.4.1 Çift Heteroyapılı Lazer Diyot	40
2.8.5.4.2 Kuantum Kuyusu Lazer Diyot	42
2.8.5.4.3 Dikey Boşluklu Yüzey Yayan Lazer Diyot (VCSEL)	46
3. MATERYAL VE YÖNTEM	50
3.1 Yüksek Güçlü Lazer Diyotlar	50
3.2 Düşük Güçlü Lazer Diyotlar	52
3.3 Pompa Diyot Birleştirici(Combiner)	55
3.4 Parlaklık	58
3.5 Işığın Yansıma Kırılması ve Snell Yasası	59
3.6 Sayısal Açıklık(NA)	61
3.7 Doğrudan Diyot Lazer Sistemi	63
3.8 Doğrudan Diyot Lazer Sisteminin Kurulması	65
4. BULGULAR	71

4.1 Yapılan Ölçümler	71
4.1.1 Sayısal Açıklık (NA) Ölçümleri	71
4.2 CMS Sonrası Sayısal Açıklık (NA) Ölçümleri	74
4.3 Hava Soğutmalı Güç Ölçerde Pompa Diyot Ölçümleri	76
4.4 Su Soğutmalı Güç Ölçerde Pompa Diyot Ölçümleri	79
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	83
6. KAYNAKLAR	86
7. ÖZGEÇMİŞ	89

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
In	İndiyum
Si	Silisyum
Ga	Galyum
GaAs	Galyum Arsenit
Nd	Neodyum
Ti	Titanyum
Er	Erbiyum
CO^2	Karbondioksit
Cr^3	Krom
Al^3	Alüminyum
μm	Mikrometre
w_0	Işığın Odak Noktasındaki Yarıçapı
θ	Lazer Işığının Saçılma Yarıçapı
kW	Kilowatt
W	Watt
A	Amper
Nm	Nanometre
λ	Lazer Işığının Dalga Boyu
V	Dalga Yayılma Hızı
F	Dalganın Frekansı
NA	Sayısal Açıklık
M^2	Işın Kalitesi Birimi

Kısaltmalar	Açıklama
YDFL	İterbiyum Katkılı Fiber Lazer
E	Enerji
E_0	Başlangıçtaki Enerji Seviyesi
E_2	Bir Üst Enerji Seviyesi
DDL	Doğrudan Diyot Lazer
MM	Multimode
LED	Light Emitting Diode
TFB	Tapered Fiber Bundle (İnceltilmiş Fiber Demeti Tekniği)
IR	Infrared
QBH	Taşıyıcı Optik Kablo
DH	Çift Heteroyapılı Lazer Diyot

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Maiman dünyanın ilk lazeri	3
Şekil 2.2 Üç Seviyeli Lazer.....	4
Şekil 2.3 Maiman Dünyanın İlk Lazeri.....	5
Şekil 2.4 Yakut(Ruby) lazer.....	6
Şekil 2.5 Lazerlerin dalga boyu ve frekans aralığı.....	8
Şekil 2.6 Lazerlerin dalga boyları	8
Şekil 2.7 Lazer sisteminin şematik yapısı	9
Şekil 2.8 Soğurma(absorbsiyon) ve emisyon.....	11
Şekil 2.9 Kendiliğinden Emisyon	11
Şekil 2.10 Uyarılmış Emisyon	12
Şekil 2.11 İki enerjili sistemde nüfus terslemesi öncesi	14
Şekil 2.12 İki enerjili sistemde nüfus terslemesi sonrası	14
Şekil 2.13 Salınım (osilasyon)durumu	15
Şekil 2.14 Kayıplı lazer ortamı	15
Şekil 2.15 Kazançlı lazer ortamı	16
Şekil 2.16 GaAs enerji bant diyagramı1	16
Şekil 2.17 Akım güç grafiği karakteristiği	17
Şekil 2.18 Rezonans kovuğu (resonant cavity)	17
Şekil 2.19 Oluşan lazer ışığının frekansları	18
Şekil 2.20 He-Ne gaz lazer yapısı	22
Şekil 2.21 CO ² lazer sanayide uygulama örnekleri	23
Şekil 2.22 Nd:YAG lazer yapısı	24
Şekil 2.23 Nd:YAG lazer dövme temizleme makinesi	25
Şekil 2.24 Boya lazer sanayi uygulaması ve boya tüpleri.....	26
Şekil 2.25 Fiber Bragg ızgaraları olan diyot pompalı fiber lazerin şeması.....	27
Şekil 2.26 Fiber lazer konfigürasyonu	28
Şekil 2.27 Lidar (mesafe bulma) Connet Laser	29
Şekil 2.28 Tıp alanında uygulanması	29
Şekil 2.29 Durma HD-F fiber lazer.....	29
Şekil 2.30 Robert Hall orijinal lazer diyot patenti	29
Şekil 2.31 General Electric'te ilk diyot lazer testi	32
Şekil 2.32 Temel lazer diyot yapısı ve çalışması	34
Şekil 2.33 Yarı iletken lazer diyot diyagramı	35
Şekil 2.34 Yarı iletken lazerde rezonans kovuğu oluşumu	36
Şekil 2.35 Doğrudan bant yapısı	38
Şekil 2.36 Dolaylı bant yapısı	38
Şekil 2.37 Diyot gücü, çubuklar ve çubuk yığınları halinde birleştirerek arttırabiliriz ...	39
Şekil 2.38 Fabry Perot lazerde duran dalgalar	40
Şekil 2.39 Çift Heteroyapılı lazer diyotun önden görünüşü	41
Şekil 2.40 (a) Farklı bant aralıklarına sahip iki yarı iletken (A ve B) arasındaki yarı iletken heteroeklem (b) aynı bir heteroeklem için enerji bant yapısı.....	41
Şekil 2.41 AlGaAs ve GaAs için heteroeklem için enerji bant yapısı	42
Şekil 2.42 Kuantum kuyusu lazer yapısı.....	43
Şekil 2.43 Kuantum kuyu lazer diyotun önden görünüşü	43
Şekil 2.44 Kuantum kuyusu lazerin enerji seviyeleri.....	44
Şekil 2.45 Bir GaAs QW'de taşıyıcı yoğunluğuna karşı malzeme kazanç spektrumu ...	44

Şekil 2.46 Uygulanan ön gerilim akımında çıkış optik gücü ve duvar fiş verimliliği	47
Şekil 2.47 VCSEL lazer diyot.....	48
Şekil 2.48 Dağıtılmış Bragg Reflektörleri (DFB) ayna katmanları	49
Şekil 2.49 Yarı iletken lazerin tıp ve biyolojide kullanımı	50
Şekil 3.1 Yüksek güçlü lazer diyot	50
Şekil 3.2 Yüksek güçlü yığılmış çubuk lazer diyot paketinin şematik diyagramı	51
Şekil 3.3 Kutu tarzı pakette lazer diyot ve monitör foto diyot düzenlemesi.....	52
Şekil 3.4 Çift hatlı 14 pinli ve kelebek paket telekomünikasyon lazer diyot.....	53
Şekil 3.5 Kullanılan diyot teknik resim	54
Şekil 3.6 Kullanılan fiber birleştirici (combiner) teknik resim	55
Şekil 3.7 6 adet fiber girişi olan bir fiber birleştiricinin üretim şeması	56
Şekil 3.8 7 adet fiber girişi olan 7×1 konfigürasyonda pompa güç birleştirici üretimi .	57
Şekil 3.9 Yoğunlukları farklı iki ortamda ışığın izlediği yol	60
Şekil 3.10 Sayısal açıklık (NA).....	62
Şekil 3.11 Işının çekirdek içinde ilerlemesi	62
Şekil 3.12 Tez çalışmasında oluşturulan Doğrudan Diyot Lazer Sistemi.....	64
Şekil 3.13 Montajı yapılan diyot ve fiber birleştirici	65
Şekil 3.14 Ek cihazında(splicer) diyot ve fiber birleştirici kesim açıları.....	66
Şekil 3.15 Ek cihazında(splicer) ek işlemi	66
Şekil 3.16 Sonlandırma ve kırmızı lazer işlemi... ..	67
Şekil 3.17 Fiber aşındırma işlemi	68
Şekil 3.18 İşlem sonrası fiber durumu	68
Şekil 3.19 Mod sıyrıcı.....	68
Şekil 3.20 Ek cihazında ek fiber ve QBH fiberi kesim açıları	69
Şekil 3.21 Ek cihazında ek işlem durumu.....	69
Şekil 3.22 Tez çalışmasında oluşturulan DDL sistemi son durumu	70
Şekil 4.1 Çıkış fiberi sıyırma işlemi.....	71
Şekil 4.2 Hedefe hizalama.....	71
Şekil 4.3 Sayısal açıklık hesaplaması	71
Şekil 4.4 Fiberin hedefe uzaklığı,iç hare ve dış hare değerlerinin ölçülmesi	72
Şekil 4.5 Uzatma fiberi sıyırma işlemi.....	74
Şekil 4.6 Hedefe hizalama.....	74
Şekil 4.7 Fiberin hedefe uzaklığı,iç hare ve dış hare değerinin ölçülmesi.....	75
Şekil 4.8 Güç yok iken pompa diyot ve pompa diyot birleştirici sıcaklığı.....	78
Şekil 4.9 Maksimum güçte pompa diyot ve pompa diyot birleştirici sıcaklığı.....	78
Şekil 4.10 QBH üzerinden direkt kırmızı lazer ile hizalama	80
Şekil 4.11 Geliştirilen Doğrudan Diyot Lazer sisteminde ölçüm	81
Şekil 4.12 Yüksek güçte pompa diyotlar ve pompa diyot birleştirici sıcaklığı	81
Şekil 4.13 Geliştirilen DDL sisteminin minimum ve maksimum optik çıkış gücü	82
Şekil 4.14 2000 W lazer sisteminde alınan primes ölçüm sonucu	82
Şekil 5.1 Hava soğutma sistemde CMS ve CMS'siz tek diyot optik pompalama gücü .	83
Şekil 5.2 Su soğutmalı sistemde 12 adet diyotun optik gücü.....	84

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Lazerler için artan dalga boyuna göre özellikler ve parametreler.....	21
Çizelge 2.2	Lazer diyot malzemeleri ve karşılık gelen radyasyon dalga boyları.....	37
Çizelge 3.1	Giriş ve çıkış fiberlerini çap ve NA değerlerine göre geliştirilebilecek fiber birleştirici çeşitleri	57
Çizelge 4.1	CMS’li Ölçülen akım güç değerleri	76
Çizelge 4.2	CMS’siz Ölçülen akım güç değerleri.....	77
Çizelge 4.3	CMS’li ölçülen akım güç değerleri.....	78
Çizelge 4.4	Yüksek güçte ölçülen akım güç değerleri.....	79

1. GİRİŞ

Günümüzde lazer teknolojisi dünyada ve ülkemizde bilim, telekomünikasyon, savunma sanayi ve medikal uygulamalar gibi geniş kapsamlı alanlarda kullanılmaktadır. Lazerler, sürekli gelişen uygulama alan potansiyeline sahiptir. Özellikle sanayi sektöründe kesme, delme, malzeme işleme, markalama ve kaynak gibi uygulamalarda lazerlerden yararlanılmaktadır.

Yarı iletken malzemelerden elde edilen kristallerle yarı iletken lazerler elde edilmiştir ve lazer ışınının oluşum temeli bu malzemelere dayanmaktadır. Yarı iletkenler, elektrik akımının bir değere kadar akmasına izin vermeyen ve bu değerden sonra sonsuz küçük direnç gösteren maddelerdir. Periyodik cetvelde 3. ve 5. gruba girerler.

Yarı iletkenler son yörüngesi yarım dolu olan elementlerdir ve içinde bulundurdukları atomlara göre katkılı ve katkısız olarak iki kategoride incelemek mümkündür. Yarı iletkenler germanyum, silisyum, selenyum gibi elementler olabildiği gibi; bakır oksit, galyum arsenid, indiyum fosfür, kurşun sülfür gibi bileşikler de olabilir. Lazer diyotlarda özellikle Si, Ga, GaAs gibi çeşitleri kullanılmaktadır.

Yarı iletkenler n tipi ve p tipi olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Katkılı bir kristalde çoğunluk olarak serbest elektron fazlalığı var ise yarıiletken n tipi olarak tanımlanırken, boşluk fazlalığı olan yarı iletken ise p tipi olarak tanımlanmaktadır. Yarı iletkenler, bazı koşullarda akımı iyi iletirken bazı koşullarda iletmezler ve normal durumda yalıtkan haldedirler. Saf silisyum veya germanyumun iletkenliği, serbest elektron veya boşluk sayısının değiştirilmesi ile ayarlanmaktadır. Bu durum yarı iletken katkılı maddesi eklenmesi ile sağlanır. Yarı iletken kristale kontrollü olarak yabancı atom katma işlemine katkılama denir. Akım taşıyıcıların (elektron veya boşluk) sayısının artması, iletkenliğin artmasına (direncin azaltılmasına), azalması ise iletkenliğin azalmasına (direncin artmasına) yol açmaktadır. Normal durumda yalıtkan olan yarı iletkenlerin elektriksel özellikleri dışarıdan uygulanan ısı etkisi, ışık etkisi, manyetik etki veya elektriksel gerilim gibi dış etkiler ile değiştirilmektedir. Bu değişim sonucu olarak yarı iletkendeki değerlik elektronları serbest hale geçerek iletken duruma gelirler. Uygulanan bu dış etki veya etkiler ortadan kaldırıldığında ise yalıtkan duruma geri dönerler.

N ve p tipi iki yarı iletken malzeme bir araya getirilerek eklem adı verilen birleşme bölgesi oluşturulur ve p-n malzemenin birleştiği yüzey yakut lazerindeki aynalar görevini yapar. En basit yarı iletken lazer yapısı olan homoecklem lazer, ileri yönde beslenen bir p-n eklemdir. Yarı iletken ekleme dışarıdan uygulanan elektriksel etki ya da optiksel etki ile malzeme üzerinden foton salınımı sağlamaktadır. Birleşim yüzeyinde pozitif voltaj p tarafına ve negatif voltaj n tarafına verildiği zaman elektronlar n tipi malzemedan p tipi malzemeye geçerken enerjilerini kaybeder ve foton yayarlar. Bu fotonlar uyumlu (coherent) hüzme şekline getirilerek lazer ışığı elde edilmektedir. Lazeri diğer ışık kaynaklarından ayıran en temel özellik lazer ışınının "uyumlu" (coherent) olmasıdır. Bu durum oluşturulan ışık hüzmesinin çok ufak bir bölgeye odaklanabilmesini ve tek renk ışık üretilebilmesini sağlamaktadır. Lazerler aynı zamanda femtosaniye darbeler (ultra kısa darbe) üretebilmektedir.

Günümüzde yarı iletken lazerler yüksek verimliliği, kompakt yapısı dolayısıyla az yer kaplaması, uzun ömre sahip olması, doğrudan modüle edilebilir olması gibi olumlu nedenlerden ötürü pek çok alanda kullanılmaktadırlar.

Tez çalışmasında 915 nm dalga boyunda 2 kW çıkış gücüne sahip doğrudan diyot metoduna uygun, sürekli zaman modunda çalışan lazer sistemi üretimi gerçekleştirilmiştir.

Sistemin deneysel ölçümleri sonucunda kullanılan diyotların tekli ve toplam optiksel gücü, birleştirici çıkışındaki doğrudan diyot lazerin optik çıkış gücü ölçülmüştür. Oluşturulan lazer sisteminin mekanik ve termal düzeni, 2 kW çıkış gücünde 10 ve 20 dakikalık döngülerden oluşan çalışma modu için tasarlanmış ve çıkış gücü için güç kararlılığının ölçümleri yapılmıştır. Hedeflenen çalışma akımında optiksel çıkış güç kararlılığı ölçülmüştür. Bu deneysel veriler ışığında üretilen doğrudan diyot lazer sisteminin iletim verimi hesaplanmıştır.

Çıkış lazerinin, ışın profili ölçer cihaz ile karakteristik özellikleri araştırılmıştır.

2.KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Lazerin Tarihi

Lazer kelimesi Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation kelimelerinin baş harflerinden oluşmuştur. Uyarılmış ışınım yayılımı ile ışığın yoğunlaştırılması anlamına gelen bu terim kısaca yoğunlaştırılmış ince ışık demeti anlamına gelmektedir. İlk olarak lazer 1917 yılında Einstein'ın stümüle ışınımın varlığını (ışığın yayılma teorisi ve uyarılmış yayılım) öne sürmesiyle ortaya çıkmıştır.

Landenburg 1928 yılında uyarılmış ışınımın varlığını ve negatif soğurmayı kanıtlamıştır.

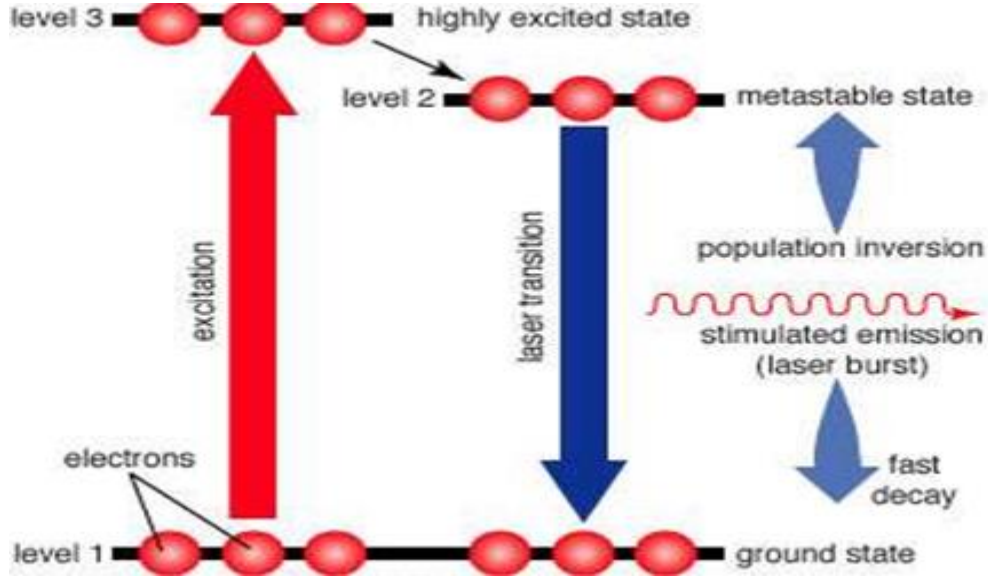
1940 yılında Fabrikent moleküler kuvvetlendirme konusunda doktora tezinde çalışma yapmıştır.

1954'te Basov, Prokhorov ile birlikte, uyumlu mikrodalga radyasyonunun moleküler bir jeneratörünün olasılığını açıklayan bir makale yayınladı. Fikir, 1917'de Albert Einstein tarafından öne sürülen atomlar tarafından uyarılmış radyasyon emisyon etkisine dayanmaktadır. Daha sonra Maser olarak adlandırılan cihaz, 1954'te Townes, James Gordon ve Columbia'da Herbert Zeiger tarafından bağımsız olarak inşa edildi. Basov, Maser ve lazerin geliştirilmesine daha önemli katkılar sağlamaya devam etti.



Şekil 2.1. Nikolay Gennadiyevich Basov

Basov, 1955'te Prokhorov ile üç seviyeli bir lazer fikrini önerirken; 1963 yılında ise yarı iletken bir lazer inşa etme fikrini sundu.



Şekil 2.2. Üç seviyeli lazer

1964 Nobel Fizik Ödülü, 3 fizikçi tarafından paylaşıldı: Ruslar Aleksandr Mikhailovich Prokhorov, Nikolay G. Basov ve Amerikalı Charles H. Townes kuantum elektronğindeki temel araştırmalar için maser ve lazerin gelişmesine yol açtı. Spesifik olarak, Basov ve Prokhorov, Townes ve diğeri tarafından bağımsız olarak gerçekleştirilen lazer ve maser cihazlarının icadına yol açan temel araştırmaı gerçekleştirdiler.

Bu gelişmeler ışığında Charles Townes ve Arthur Schawlow “Infrared and Optical Masers” adlı makale ile ‘Maser’ üzerine fikirlerini belirtmişlerdir. Bunun sonucunda, atomları dışarıdan uyararak dışarıya salınan radyasyon yardımı ile genliğı yükseltilmiş elektromanyetik dalga üreten ilk cihaz olan Mazer (Uyarılarak yayılan radyasyonun mikrodalga yükseltilmesi) olarak bilinen (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) geliştirilmiştir.

Bu cihazlar enerji dalgalarını toplar, yüzlerce kez yükseltir ve çok az veya hiç parazit ve statik olmayan neredeyse mükemmel paralel dalgalardan oluşan bir ışını üretir. Lazer ve maser prensipleri tıp da dâhil olmak üzere birçok alanda uygulanmıştır ve maserin geliştirilmesi lazer tarihinde çok önemli bir yer tutmaktadır.

MAZER'in kızılötesi ve görünür bölgedeki dalga boylarında da çalışabileceğini öngörmeleri, lazerin keşfine ortam hazırlamıştır. 1960'lı yıllarda Theodore Maiman optik frekansta lazer hareketini gerçekleştirmiştir. Bununla birlikte fonksiyonel anlamda ilk lazer olan yakut (Ruby) lazerin varlığını kanıtlamış ve yakut kristali kullanılarak 694,3 nm dalga boyunda kırmızı ışın yayan ilk çalışan LASER'in (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) keşfi ile sonuçlanmıştır.



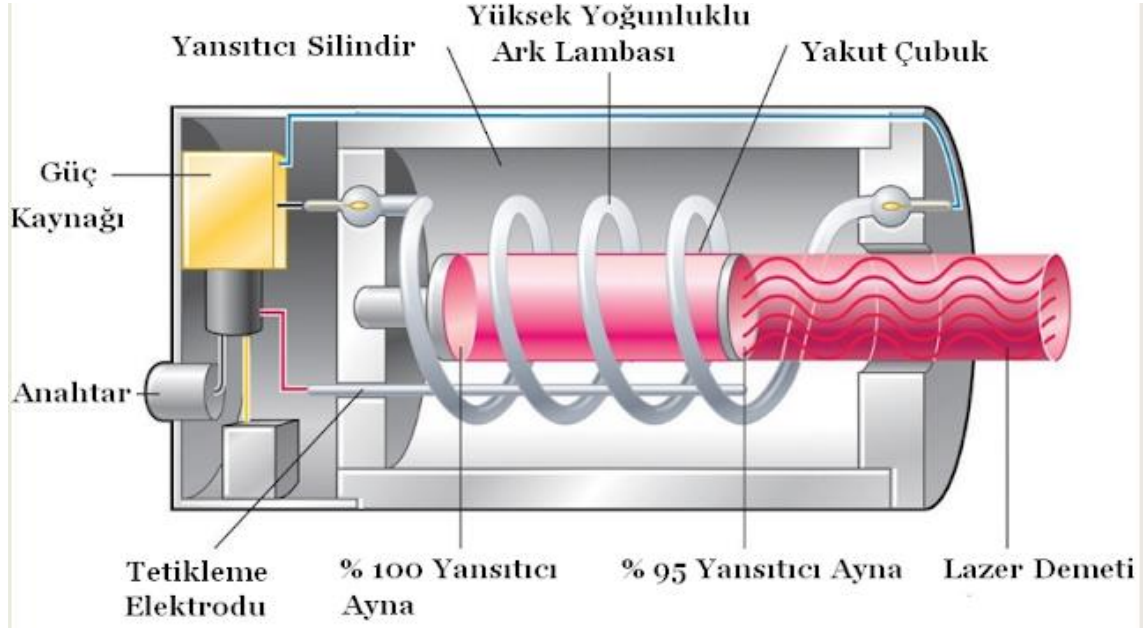
Şekil 2.3. Maiman dünyanın ilk lazeri

Daha sonra sırasıyla; Ali Javan tarafından 1961 yılında Helyum Neon (HeNe) lazer, Johnson tarafından Neodyum İtriyum Alüminyum Garnet (Nd: YAG) lazer, 1962'de Bernet tarafından Argon lazer gerçekleştirilmiştir. Yarı iletken lazerin keşfini 1962 yılında Robert N. Hall ve arkadaşları GaAs kullanarak yapmışlardır. 1964'de Patel tarafından CO² lazer gerçekleştirilmiştir (Hall, RN 1962).

Hanna ve arkadaşları çalışmalarının sonucunda 1988 yılında YDFL geliştirmiştir.

Zamanla lazer birçok çeşide ayrıldı. Kullanılan aktif ortama bağlı olarak lazerleri, yalıtkan lazerler, yarı iletken lazerle, gaz ve boya lazerleri olmak üzere dört gruba

ayırabiliriz. Bunlar; Katkılanmış yalıtkan lazer, Alexandrite lazer, yakut lazer, He Ne lazer, Nd: YAG lazerdir.



Şekil 2.4.Yakut (Ruby) lazer

Lazerin günlük alanlardaki ilk kullanımı 1974 yılında gerçekleşmiştir ve günümüzde hala gelişmeye devam etmektedir. Günümüzde; Endüstri, tıp, savunma sanayi, inşaat, mühendislik, meteoroloji, iletişim, sinema, eğlence ve hologram gibi alanlarda geniş kapsamlı olarak kullanılmaktadır.

2.2 Lazerin Tanımı ve Lazerler

Yirminci yüzyılın ikinci yarısının en önemli buluşlarından biri lazerdir.1960'lı yıllarda Theodore Maiman optik frekansta lazer hareketini gerçekleştirmiş ve fonksiyonel anlamda ilk lazer olan yakut (Ruby) lazerin varlığını kanıtlamıştır. Günümüzde lazer teknolojisi dünyada ve ülkemizde bilim, telekomünikasyon, savunma sanayi ve medikal uygulamalar gibi geniş kapsamlı alanlarda kullanılmaktadır.

1917 yılında Einstein'ın uyarılmış ışımaya yoluyla ışığın şiddetlendirilmesi olarak hayatımıza dâhil olan lazer terimi “yoğunlaştırılmış ışık” olarak tanımlanır. Lazer, “Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation” ifadesindeki kelimelerin, baş harflerinden meydana gelmiştir ve uyarılmış ışımaya ile kuvvetlendirilmiş ışık veya

fotonları uyumlu bir hüzme şeklinde oluşturan optik kaynak olarak tanımlanmaktadır. Salınan fotonlar gelen ışınla eş zamanlı ve uyumlu olarak meydana gelirler. Lazerden yayılan ışık tek fazlıdır.

Lazerler, ışığın üretildiği ortama (katı, gaz, yarı iletken lazerler), ışığın lazerden nasıl çıktığına (kenar veya yüzey ışımaları), çıkan ışığın sürekli veya kesikli oluşuna (sürekli veya atımlı lazerler) göre farklı şekillerde adlandırılırlar (Hagop Injeyan 2011).

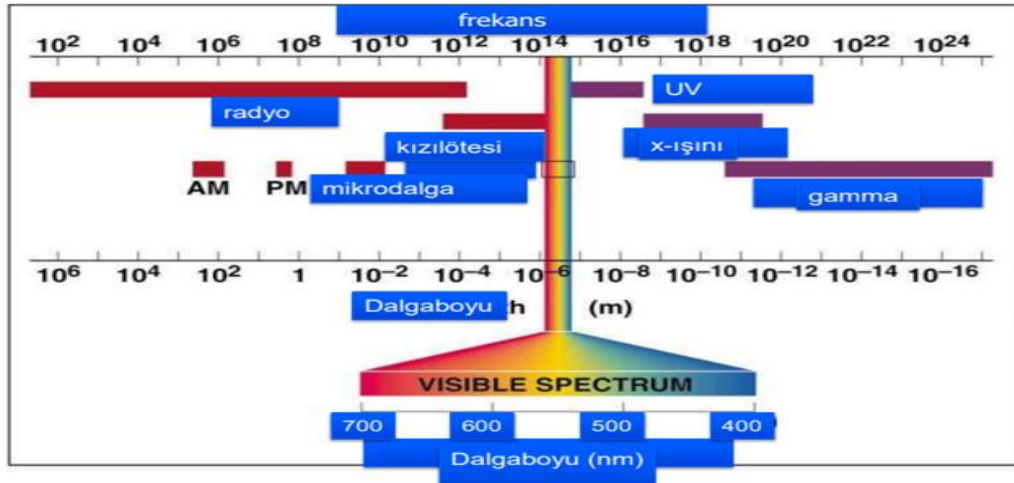
Lazer ışığı diğer ışık kaynaklarından farklı özelliklere sahiptir. Lazerin temel özellikleri;

- Lazerden yayılan ışık monokromatiktir (tek renkli, tek dalga boylu). Normal ışık ise birçok renkten (veya dalga boyundan) oluşmaktadır.
- Uyarılmış emisyon yoluyla elde edilir.
- Lazer ışığını oluşturan fotonlarda faz farkı bulunmaz. Son derece düzgün bir ışıktır ve çok az sapar. Lazer ışınının dalga boyları eş ve tek fazlıdır.
- Normal ışık her yöne dağılır. Lazer ışını keskin bir şekilde hedeflendirilebilir. Küçük bir yere büyük enerjiler verebilir ve çok ince işler yapılabilir.
- En büyük özelliği dağılmaz olması ve yön verilebilmesidir. Uzun mesafelere dağılmadan gidebilir. Bu özelliğinden istifade ile mesafe ölçme ve fiber optik teknolojisi geliştirilmiştir. Dalga boyunun küçük olması dağılmayı da büyük ölçüde azaltır. Uyarılan atomlar her yön yerine belli yönlerde hareket ederler. Bu lazerin çok parlak olmasını doğurur. Uzak mesafeleri hassas ölçme imkânı vermektedir.
- Lazer ışını dağılmaz olduğundan kısa darbeler halinde yayınlanabilmesi mümkündür. Kayıpsız yüksek enerji nakli yapılması bu özelliği ile sağlanabilir. Lazer kendisinde bulunan yüksek enerji sayesinde kesme, kaynak ve delme endüstrisinde kullanılır.
- Lazer ışını tek dalga boyuna sahip olduğu için lazer cinsine göre çeşitli renkte ışınlar elde etmek mümkündür.

Renk	Dalgaboyu aralığı	Frekans aralığı
Kırmızı	~ 625 to 740 nm	~ 480 to 405 THz
Turuncu	~ 590 to 625 nm	~ 510 to 480 THz
Sarı	~ 565 to 590 nm	~ 530 to 510 THz
Yeşil	~ 525 to 565 nm	~ 580 to 530 THz
Turkuaz	~ 500 to 520 nm	~ 600 to 580 THz
Mavi	~ 430 to 500 nm	~ 700 to 600 THz
Mor	~ 380 to 430 nm	~ 790 to 700 THz

Şekil 2.5. Lazerlerin dalga boyu ve frekans aralığı

Lazerler kullanılan madde hallerine ve türüne göre farklı dalga boylarında ve çıkış güçlerinde ışık oluşturmaktadır.



Şekil 2.6. Lazerlerin dalga boyları

2.3 Lazer Işının Elde Edilmesi

Lazer; elektromanyetik spektrumun görülebilen, kızılötesi veya morötesi bölgelerinde tek renkli, tek frekanslı ve aynı fazda, koherent, bir radyasyon kaynağıdır.

Lazerin temel çalışma prensibi bir ışık kaynağından çıkan foton enerjisinin belirli bir ortamdan geçirek ortam içerisindeki atomların elektronlarının dönüş hızını artırmaktır.

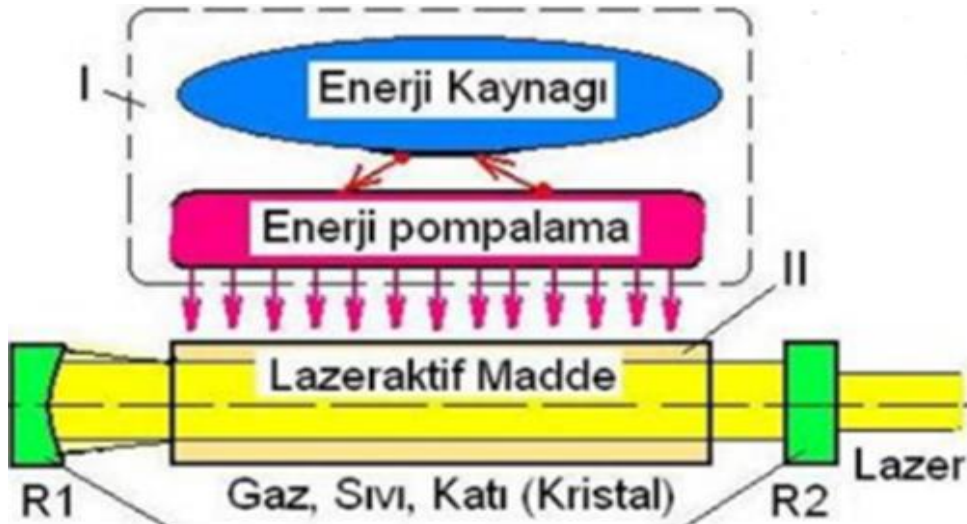
Bunun sonucunda gelen ışıklardan farklı dalga boyunda, tek bir doğrultuda hareket eden yeni bir ışın elde edilmektedir.(Allan,W 1973)

Lazer ışını oluşması için enerji düzeyleri arasında;

- Pompalama sistemi: Aktif lazer ortamının atomlarını uyaran başlangıç enerji kaynağıdır.
- Enerji seviyeleri arasındaki fark: Lazeri oluşturmak için uyarılmış emisyon yapabilecek enerji düzeylerine sahip atomlar, moleküller, iyonlar gibi öğelerden oluşan etkin bir ortam gereklidir.
- Optik Rezonatör: Aktif ortamın koherent olmayan fotonlarına yeniden yön veren ve çok parlak, doğrusal, tek renkli ışık oluşturan kısımdır. Genellikle bir tanesi ışığı hem yansıtan hem de geçiren iki iç bükey aynadan oluşur. (Fabry- Perot Boşluğu)

Bu koşullar sağlandığında lazer ışını elde edilebilir.

Lazer ışınlarını üretmek için radyasyonun emisyon oluşumunu sağlayacak aktif ortam (katı, sıvı, gaz), enerji kaynağı, rezonans aynalar ve fiber optik bir iletken gereklidir.



Şekil 2.7. Lazer sisteminin şematik yapısı

Einstein'nın teorisine göre atomlar sürekli bir osilasyon durumundadır. Osilasyon sırasında atomlar uyarılmış durumdadırlar. Uyarılmış atomların bazıları kısa sürede sabit duruma geçerler ve bir foton enerjisi açığa çıkar. Meydana gelen bu fotonun enerjisi iki uca paralel olarak konulan rezonans aynalar ile yükseltgenir. Fotonların bir ışın demeti olarak dışarı taşınması için aynalardan birisi kısmi yarı geçirgen ayna seçilir. Kısmi geçirgen ayna yükseltile fotonların bir ışın demeti olarak dışarı taşınmasında aktif rol oynar. Oluşan foton buradan çıkıp ışık frekansına eş bir frekansta, darbeler halinde oldukça parlak bir ışık huzmesi boşlukta yol alacaktır. Tüm bu sürecin sonucunda meydana gelen ışık lazer ışığıdır (Javan 2013). Oluşan ışık cihazın içerisinde lensler (R1,R2) yardımıyla odaklanarak genellikle bir fiber optik iletici vasıtasıyla yönlendirilir.

Oluşan foton asıl foton ile uyumlu yani koherenttir. Bu durum iki fotonun aynı frekans, faz ve polarizasyona sahip olduğunu ifade eder.

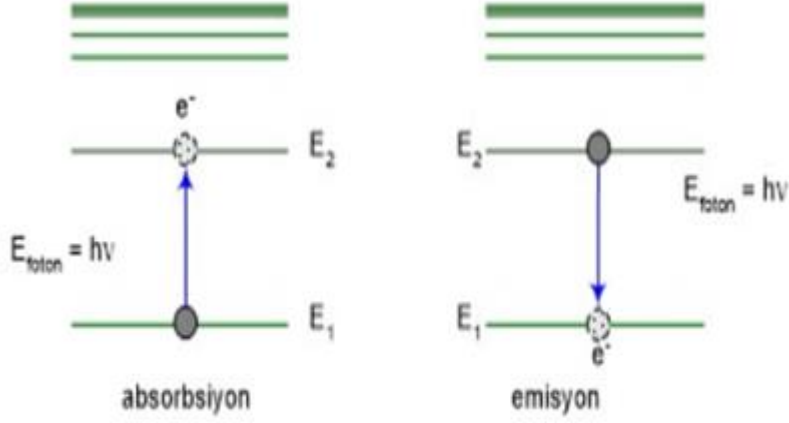
2.4 Soğurma, Emisyon ve Emisyon Çeşitleri

2.4.1 Soğurma ve Emisyon

Lazer ışığı doğada bulunmaz ve foton madde etkileşimi sonucu fotonların uyarılması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu etkileşim soğurulma, kendiliğinden ışıma ve uyarılmış ışıma olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

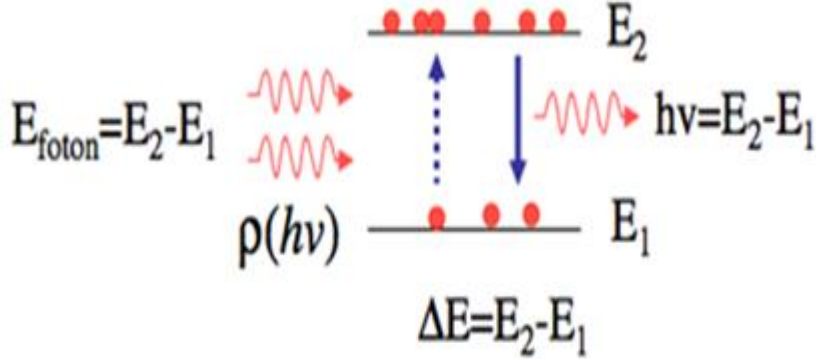
Doğada bulunan her elementin temel yapısını oluşturan atomlar farklı sayılarda enerji seviyelerine sahiptir. Lazerin çalışma prensibini açıklayabilmek için bir atom veya moleküldeki enerji geçişlerini incelemek gerekmektedir. Elektronların hiç uyarılmamış, doğada bulunduğu haline temel hâl denmektedir. Uyarılmış hali ise atomun dışarıdan enerji verilerek temel halinden saptırılması ile oluşmaktadır. Bir atoma yeterli enerji verildiğinde bir temel hâlde orbitalindeki tanecik bir üst orbitale geçer. Temel halde atom en düşük enerji seviyesinde iken uyarılmış halde dışarıdan enerji almış haldedir. Temel halde atom kararlı iken, uyarılmış halde değildir. Temel halden uyarılmış hale geçme olayına absorpsiyon(soğurma) denir. Elektronlar temel hâlde kararlı olduğu için uyarılmış hâlde kararlı olamayacaktır. Bu yüzden elektronlar verilen enerjiyi foton (ışık

tanecikleri) olarak yayarak tekrar temel hâle gelmektedirler. Gerçekleşen bu olay ise emisyon denmektedir.



Şekil 2.8. Soğurma (absorbsiyon) ve emisyon

2.4.2 Kendiliğinden Emisyon



Şekil 2.9. Kendiliğinden emisyon

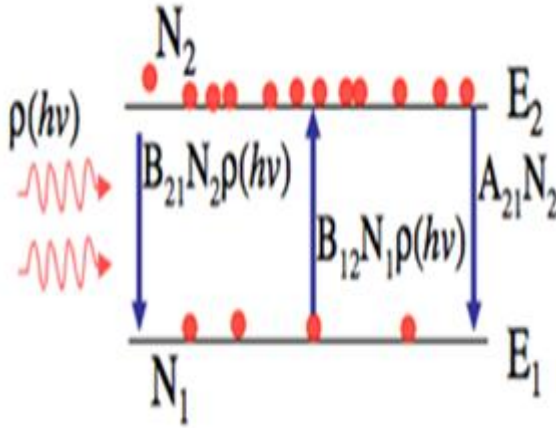
Lazerlerin çalışma prensibini anlamak için enerjileri E_1 ve E_2 olan iki enerji seviyesini göz önüne alalım. Enerji seviyelerindeki elektron yoğunluklarının sırası ile N_1 ve N_2 olduğunu, bu sistemin aynı zamanda $\rho(h\nu)$ foton alanı içinde olduğunu düşünelim. Emisyon sürecinde yayılan fotonlar uyarılmış enerji düzeyinden temel enerji düzeyine geçerken iki enerji seviyesi arasındaki enerji farkına eşit enerjili bir fotonu belirli dalga boylarında yayımlamaktadırlar.

$$E = h\nu \quad (2.1)$$

2.1 denklemini sürüm olayı sonrası yayımlanan fotonun sahip olduğu enerjiyi ifade etmektedir. Denklemdaki E enerjiyi, h Plank sabitini ve ν frekansı temsil etmektedir. $\rho(h\nu)$ foton alanının varlığında soğurma ve kendiliğinden emisiyona ek olarak lazer olayı için kritik olan uyarılmış emisyon oluşur.

2.4.3 Uyarılmış Emisyon

Uyarılmış hâldeki yüksek enerji seviyeli bir elektronun, bir foton yardımıyla tekrar uyarılarak düşük enerji düzeyine temel enerji seviyesine dönmesine uyarılmış emisyon (Stimulated Emission) olarak tanımlanır ve lazer ışığının oluşmasındaki temel mekanizmadır. Elektron temel enerji düzeyine dönerken kendisini uyarmak için kullanılan fotona eş uyumlu ve aynı fazda olan bir foton yayımlar. Yayımlanan ve etkileşen fotonların enerjileri eşit olduğu için frekansları da eşit olacaktır. (Siegman 1986)



Şekil 2.10. Uyarılmış emisyon

$$B_{21}N_2\rho(h\nu) = \text{Uyarılmış geçiş oranı} \quad (2.2)$$

$$B_{12}N_1\rho(h\nu) = \text{Soğurma oranı} \quad (2.3)$$

$$A_{21}N_2 = \text{Kendiliğinden geçiş oranı} \quad (2.4)$$

Foton alanı durumunda;

$$\frac{\text{Uyarılmış geçiş oranı}}{\text{Kendiliğinden geçiş oranı}} = \frac{B_{21} N_2 \rho(h\nu)}{A_{21} N_2} = \frac{B_{21}}{A_{21}} \rho(h\nu) \dots\dots 1 \quad (2.5)$$

Uyarılmış geçişi soğurmadan fazla yapmak için $N_2 > N_1$

$$\frac{\text{Uyarılmış geçiş oranı}}{\text{Soğurma oranı}} = \frac{B_{21} N_2 \rho(h\nu)}{B_{12} N_1 \rho(h\nu)} = \frac{B_{21} N_2}{B_{12} N_1} \dots\dots\dots 2 \quad (2.6)$$

Lazer oluşumu için 1(uyarılmış geçişin kendiliğinden geçiş oranı) ve 2 numaralı (uyarılmış geçişin soğurulmaya oranı) eşitliklerin değerini mümkün olduğu kadar büyük tutmak gerekir.

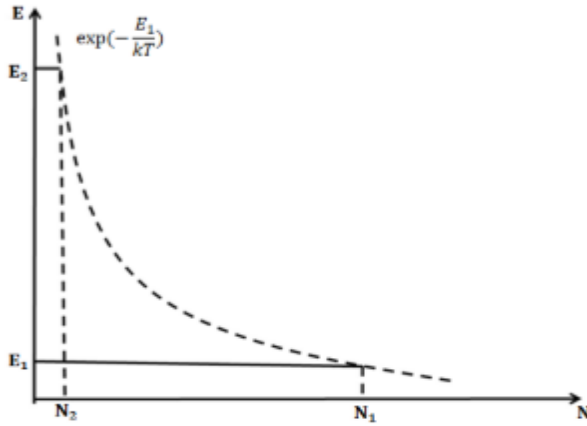
1 numaralı şart ($\rho(h\nu)$ rezonans kovuğu ile,2 numaralı şart ($N_2 > N_1$) ise dış pompalama ile gerçekleşir.

2.5 Nüfus Terslemesi (Population Inversion)

Einstein'nın teorisine göre atomlar sürekli bir osilasyon durumundadır ve lazerler optik bir osilatör olarak tanımlanmaktadır. Lazerlerde osilasyon olayının gerçekleştiği ortam aktif bölge olarak bilinmektedir.

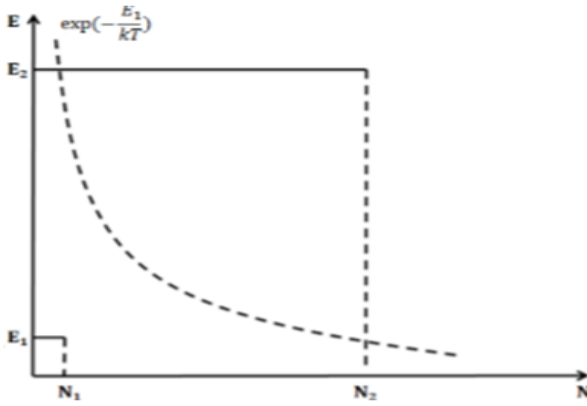
Bu bölgede optiksel olarak geri beslemeyi sağlayan yapı birbirine paralel olarak yerleştirilen tam ve yarı geçirgen iki aynadan oluşmaktadır.

Lazer ışığının oluşması için uyarılmış emisyon sürekli olmalıdır. Uyarılmış emisyonun devamlı olması için üst enerji seviyelerine sürekli olacak şekilde elektron geçişi sağlanmalıdır. (Milloni 2008)



Şekil 2.11. İki enerjili sistemde nüfus terslemesi öncesi

Denge durumunda valans banttaki elektronların sayısı iletim bandında bulunan elektronların sayısından yüksek olacaktır. Zira ışığın yükseltilebilmesi için, uyarılmamış atomlardan daha fazla uyarılmış atomların olması gerekir. Bu olaya nüfus terslemesi denmektedir. Lazerlerde salınımı (osilasyonu) sağlayan ilk olay nüfus terslemesidir. (Polat,BC 2014)



Şekil 2.12. İki enerjili sistemde nüfus terslemesi sonrası

Lazerlerde uyarılmış emisyonun sürekliliğinin sağlanması için üst enerji seviyesindeki elektronların sayılarının alt enerji seviyesinde bulunan elektron sayılarından daha yüksek olması gerekmektedir. Bu durumun sağlanması amacıyla sayıca fazla atomdan oluşan sistem içerisinde elektronlar başlangıçtaki en alt enerji seviyesi E_0 olarak bilinen temel enerji seviyesinden bir üst enerji seviyesi olan E_2 'ye şiddetli bir şekilde aydınlatılarak uyarılmalıdır. Bu olay pompalama olarak adlandırılır. (Wilson J 1998)

Nüfus terslemesi $N_2 > N_1$ (Pompalama)

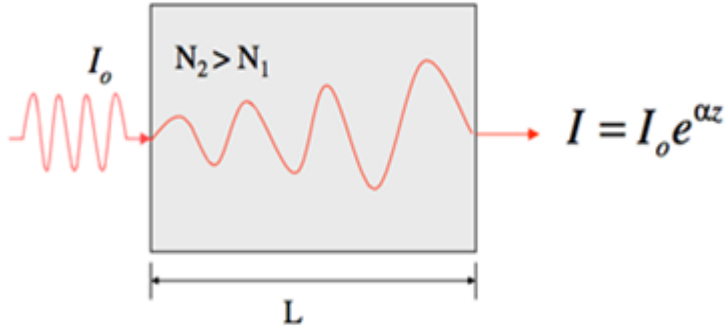
$$I = I_0 e^{+\alpha z} \quad (2.7)$$

Salınım (osilasyon) olabilmesi için kazancın kayıplardan daha büyük olması gerekmektedir.

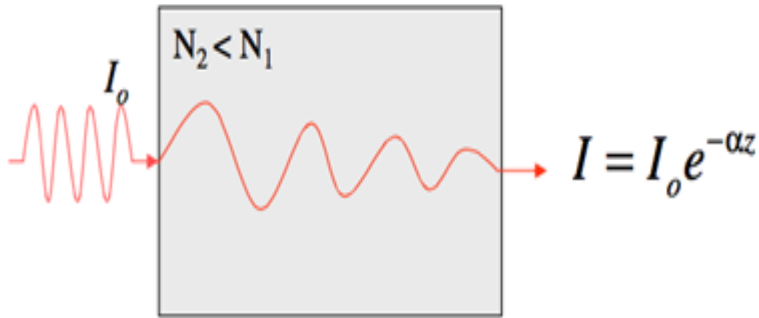
$$I - I_0 \geq \delta I \quad (2.8)$$

$$e^{2\alpha L} - 1 \geq \delta \quad 2\alpha L \ll 1 \quad (2.9)$$

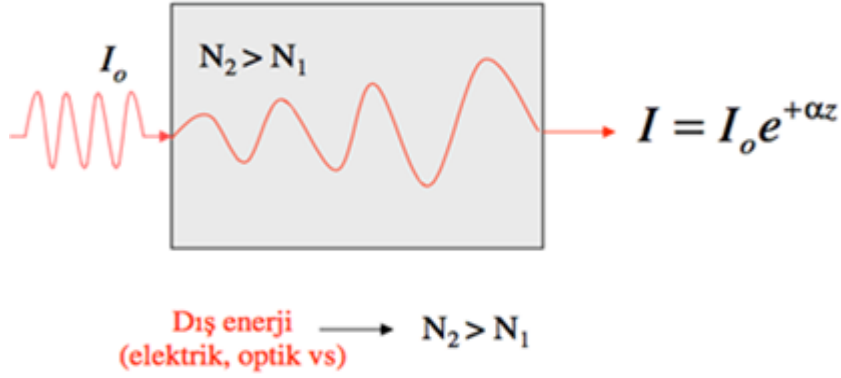
$$2\alpha L \geq \delta \quad (2.10)$$



Şekil 2.13. Salınım (osilasyon) durumu



Şekil 2.14. Kayıplı lazer ortamı



Şekil 2.15. Kazançlı lazer ortamı

$$\text{Dış enerji} \rightarrow N_2 > N_1$$

(elektrik, optik vb.)

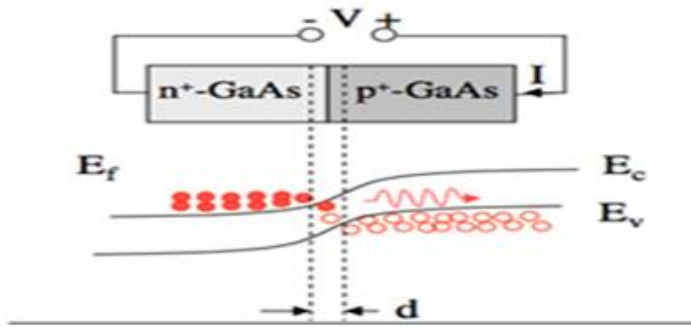
Lazer olayının gerçekleştirilmesi için gerekli olan 2.şart, yani $N_2 > N_1$ şartı, alt seviyedeki elektronları üst seviyeye uyararak gerçekleştirilir. Bu işleme nüfus terslemesi (population inversion) denir.

Uyarılmış geçişi soğurmadan fazla yapmak için $N_2 > N_1$

$$\frac{\text{Uyarılmış geçiş oranı}}{\text{Soğurma oranı}} = \frac{B_{21} N_2 \rho(h\nu)}{B_{12} N_1 \rho(h\nu)} = \frac{B_{21} N_2}{B_{12} N_1} \quad (2.11)$$

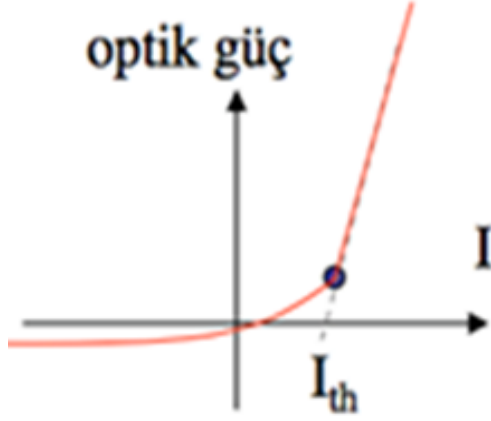
$N_2 > N_1$ koşulu pompalama işlemi optik veya elektrik akımı ile yapılır.

Yarı iletken lazerlerde pompalama işlemi aşırı katkılama sayesinde eklem üzerinden akım geçirilerek sağlanır.



Şekil 2.16. GaAs enerji band diyagramı

Akımın belli bir değerinde (eşik akım ($I_{eşik}$) threshold) $N_2 > N_1$ şartı sağlandığında lazer ışığı elde edilir.

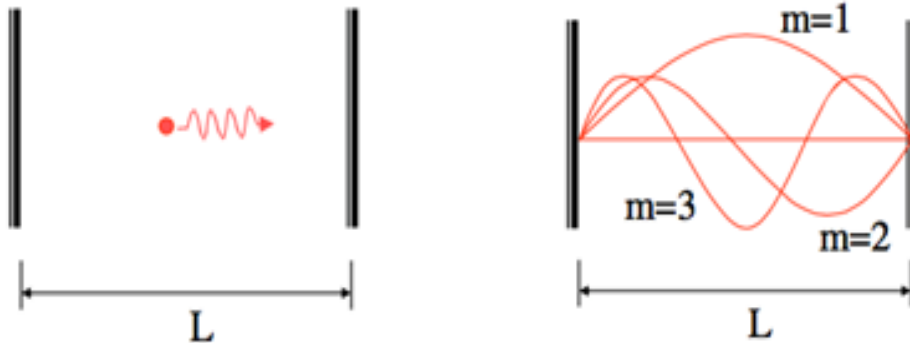


Şekil 2.17. Akım güç grafiği karakteristiği

2.6 Optik Geri Besleme (Optik Rezonans Kovuğu)

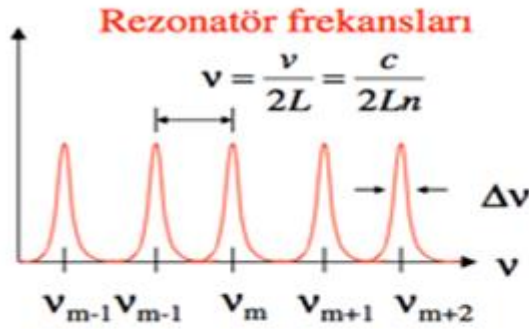
Einstein'nın teorisine göre atomlar sürekli bir osilasyon durumundadır. Nüfus terslemesi sonrasında uyarılmış emisyon ile oluşan fotonların belirli bir yönde toplayıp güçlendirmek için rezonator gerekmektedir.

Bunun için rezonans kovuğu (resonant cavity) kullanılır. Bu rezonans kovuğu sayesinde foton alanı ρ ($h\nu$) sürekli arttırılır. Bu kovuk fotonu yansıtacak bir ayna olabilir.



Şekil 2.18. Rezonans kovuğu (resonant cavity)

Lazer rezonatörlerinde aktif bölge birbirine paralel olarak yerleştirilmiş iki ayna arasında bulunmaktadır. Elektromanyetik dalgalar bu iki ayna arasında hareket etmektedir. Meydana gelen fotonun enerjisi iki uca paralel olarak konulan rezonans aynalar ile yükseltgenir. Fotonların bir ışın demeti olarak dışarı taşınması için aynalardan birisi kısmi yarı geçirgen ayna seçilir. Kısmi geçirgen ayna yükseltilen fotonların bir ışın demeti olarak dışarı taşınmasında aktif rol oynar.(Milloni 1988) Oluşan elektromanyetik dalga rezonatör içindeki iki ayna arasında bir tur sonunda kendini yapıcı girişimler oluşturarak tekrar etmelidir. Tekrarlar sonucu foton buradan çıkarak gelen ışık frekansına eş bir frekansta, darbeler halinde oldukça parlak bir ışık huzmesi olarak boşlukta yol alacaktır. Tüm bu sürecin sonucunda meydana gelen ışık lazer ışığıdır.



λ = rezonatör ortamında dalgaboyu

λ_0 = boşluktaki dalgaboyu

2.19. Oluşan lazer ışığının frekansları

2.7 Lazer Işığının Özellikleri

2.7.1 Tek Dalga Boyluluk (Monokromatiklik)

Normal ışıpta farklı dalga boyları bir aradadır. Genel anlamda dalga boyu, yayılan bir dalganın tekrarlanan birimleri arasındaki mesafedir. Yaygın olarak Yunanca lamda (λ) harfi ile gösterilmektedir. Her rengin karşılığı olan dalga boyu mevcuttur ve bir ışık demetinde rengin belirlenebilmesi için dalga boyu bilinmelidir.

Lazer, elektromanyetik spektrumda görülebilen, morötesi veya kızılötesi bölgelerinde tek dalga boyu ve frekansta yoğunlaşmış, koherent, bir radyasyon kaynağıdır. Lazer ışığının rengi esas olarak tek renklidir.

Lazer ışığı, aktif ortamda eksen boyunca konik olarak hareket etmektedirler. Işın demetinin içerisindeki her dalga birbirleriyle uyum içerisinde. Bu uyum sonucu oluşan ışık aynı genlikte, aynı dalga boyunda ve aynı fazdadır.

$$\lambda = v / f \quad (2.12)$$

2.12 denklemi dalga boyu hesabında kullanılmaktadır. Denklemdaki λ dalga boyunu, v dalga yayılma hızını, f ise dalganın frekansını temsil etmektedir.

Dalga boyu frekans ile ters orantılıdır, dolayısıyla dalga boyu uzadıkça frekans azalır.

Dalga boyu birimi için Angstrom veya nm, frekans birimi için ise Hertz (s^{-1}) kullanılır.

Lazer ışınları aynı dalga boyunda ve aynı enerji düzeyinde olduğu için tek renklidir (monokromatik).

2.7.2 Eş Zamanlılık (Koherent)

Lazer ışığı aynı fazlıdır; Işık demetindeki bütün ışınlar aynı fazdadırlar ve birbirleri ile uyumludur. Frekansı, fazı ve doğrultusu aynı olan iki dalga birbiriyle uyumlu olduğu için eş zamanlı (koherent) olarak tanımlanır. Uyumlu olan tüm dalgalar sinüzoidal olup, belirli bir genliğe ve dalga boyuna sahiptirler. Uyarılan dalga, uyarıcı dalga ile aynı fazdadır. Buna göre her iki dalganın uzay içerisinde elektrik alanlarının değişmesi aynıdır.

2.7.3 Yoğunluk

Lazer ışığı foton madde etkileşimi sonucu fotonların uyarılması sonucu ortaya çıkmaktadır. Lazer ışınının önemli bir özelliği, diğer tüm kaynakların ışınlarına göre daha yoğun olmasıdır. Parlaklık birim alan başına yayınlanan güç veya birim katı açılı olarak tanımlanmaktadır. Lazerden çıkan ışığın yoğunluğu; Uyarılmış emisyon

sonucunda oluşan tüm fotonların birbirine paralel bir biçimde eş fazlı olarak yayılması ve birbirini takip eden yükseltgenmeler sonucunda artmaktadır.

Lazer ışınları büyük bir elektromanyetik alan gücüne sahiptirler ve konik olarak dağılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı enerji taşıyıcıdırlar. Yüksek ölçüde doğrultulmuş demetler olarak büyük güçler üretmektedir. Küçük yüzeylere yoğun bir enerji aktarırlar. Sonuç olarak yüksek parlaklığa sahip ışık kaynaklarıdır.

2.7.4 Kolimasyon (Doğrultulmuş Işın)

Normal ışık her yöne dağılır. Lazer ışığı monokromatiktir ve birbirine paralel bir demet halinde dar bir bantta ışık yayılmaktadır. Lazer ışığındaki fotonların minimum sapması veya ayrılması anlamına gelmektedir. Lazerlerin en büyük özelliği dağılmaz olması ve yön verilebilmesidir. Uzun mesafelere dağılmadan gidebilir. Uyarılan atomlar her yön yerine belli yönlerde hareket ederler. Lazer ışını keskin bir şekilde hedeflendirilebilir. Küçük bir yere büyük enerjiler verebilir ve çok ince işler yapılabilir.

2.8 Lazer Çeşitleri

Oluşturulan optik yapıda kullanılan madde hallerine ve türüne göre farklı dalga boyları ve çıkış güçlerinde lazer elde edilmektedir.

Lazerler, ışığın üretildiği ortama göre katı, gaz, yarı iletken lazerler, ışığın lazerden nasıl çıktığına göre kenar veya yüzey ışımaları, çıkan ışığın sürekli veya kesikli oluşuna göre sürekli veya atımlı lazerler olmak üzere gruplara ayrılmaktadırlar.

Sürekli lazerler sabit güçte sürekli bir ışın demeti yayarlar. Aktif maddenin sürekli olarak sabit seviyede pompalanması gerekmektedir. Atımlı lazerlerde pompalama sisteminin atımlı çalışması gerekmektedir. Pompalama kısa periyotlar şeklinde yapılmalıdır.

Çizelge 2.1. Lazerler için artan dalga boyuna göre özellikler ve parametreler

Lazer	Tip	Dalga Boyu	Sürekli(CW) veya Darbeli	Çıkış gücü	Uygulamalar
Azot	Gaz	337 nm	ns	100 mW	Boya lazer pompalama, hava kirliliği ölçme.
Boya	Sıvı	400-1000 nm	CW-fs	1 W	Spektroskopi, lazer tıbbı.
GaN	Yarı iletken	410 nm	CW-ns	50 mW	Optik disk(bluray) okuma/kayıt.
He-Ne	Gaz	632,8 nm	CW	10 mW	Girişim ölçümü, holografi

2.8.1 Gaz Lazerleri

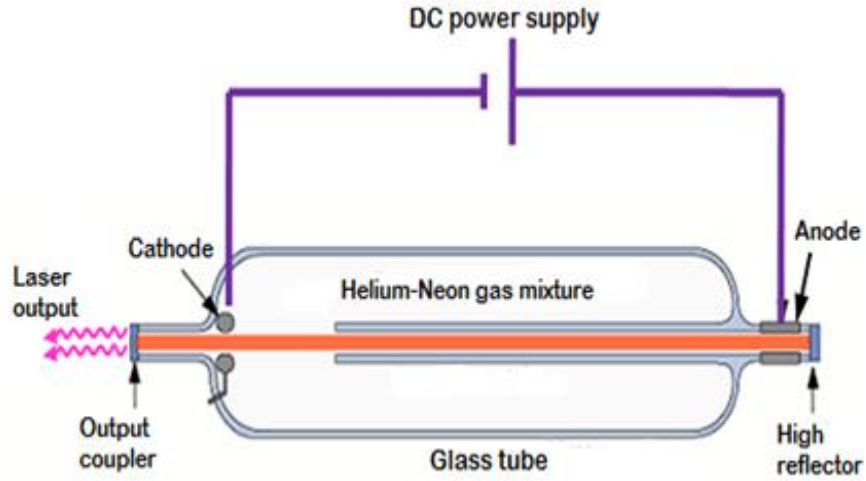
Gaz lazerlerinde aktif ortam karbondioksit, helyum, azot gibi gaz karışımlarından oluşturulmaktadır. Gaz lazerler sürekli lazer ışığının (Continues Laser Light) oluşturulduğu ilk lazer türüdür. Gaz lazerlerde uyarım için gaza bir akım deşarjı uygulanma prensibine göre çalışırlar. Gaz lazer çeşitleri başlıca şunlardır, ancak içlerinde en çok kullanılanları CO² lazerdir. Ayrıca elektrik enerjisini lazer ışınına dönüştürüp gücün elde edilebildiği ilk lazerlerdir. Gaz lazerlerde lazer oluşumu için gerekli olan ışımaya enerji seviyeleri arasındaki geçişler ile veya moleküllerin dönme seviyeleri arasında gerçekleşmektedir. Bu lazerler sistemi oluşturan elemanlar; Cam tüp, yansıtıcı ayna ve yüksek gerilim güç kaynağıdır. Gaz lazerlere; Helyum-Neon lazeri (He-Ne), Argon lazeri (Ar), Karbondioksit lazeri (CO²) ve Azot lazeri (N) örnek olarak verebiliriz. Bu lazerler sürekli dalga ve darbeli modlarda sürekli çalışabilirler. En çok kullanılan dalga boyu, kızıl ötesi bölgede 632,8 nm'dir.

Helyum-Neon lazerlerde pompa kaynağı olarak ışık enerjisi kullanılmaz. Helyum-Neon lazerlerde, pompa kaynağı olarak yüksek voltajlı bir DC güç kaynağı kullanılır. Yüksek

voltajlı bir DC, helyum ve neonun gaz karışımı yoluyla elektrik akımı sağlar. Helyum-Neon lazer üç temel bileşenden oluşur:

- Pompa kaynağı (yüksek voltajlı güç kaynağı).
- Kazanç ortamı (lazer cam tüp veya deşarj cam tüp).
- Rezonans boşluğu.

Helyum-Neon lazerler en yaygın olarak kullanılan gaz lazerleridir. Bu lazerlerin birçok endüstriyel ve bilimsel kullanımı vardır ve en yaygın olarak üniversite laboratuvarlarında kullanılırken, karbondioksit lazerleri endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.



Şekil 2.20. He-Ne gaz lazer yapısı

Gaz lazerleri, düşük güçlü helyum-Neon lazerlerden çok yüksek güçlü karbon dioksit lazerlere kadar çeşitlilik gösterir. Gaz lazerlerinin katı hal lazerlerine göre ana avantajı, sürekli olarak çalıştırılabilmeleri için aşırı ısınma nedeniyle hasara daha az eğilimli olmalarıdır.



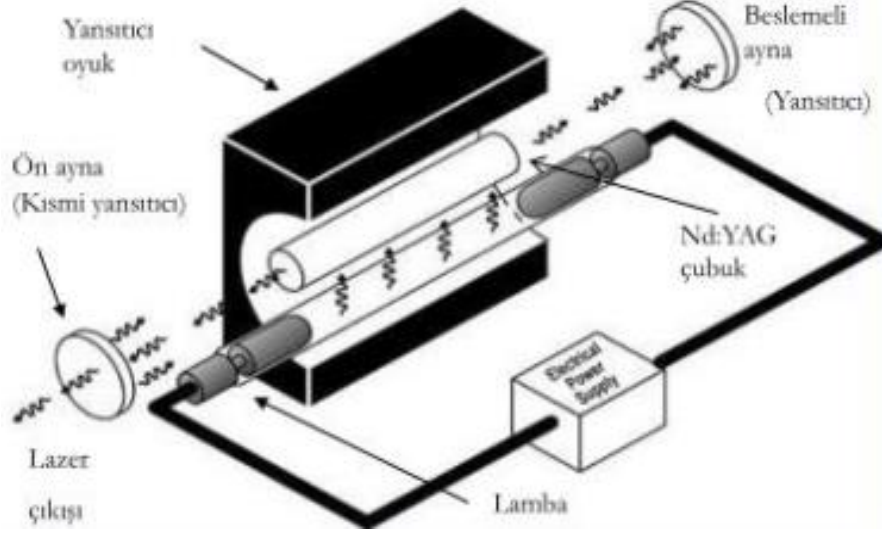
Şekil 2.21. CO² lazer sanayide uygulama örnekleri

2.8.2 Katıhal Lazerler

Katıhal lazerleri, lazeri oluşturan aktif ortam için katı formdaki cam veya kristal gibi malzemeden yapılmış olan çubukları lazer materyalleri olarak kullanan lazerlerdir. Bu tür lazerlerde iletim elementi olarak iyonlar kullanılır.

Bunlar genellikle nadir elementler olarak bilinen Nd, Yb, Er gibi elementlerdir. Katıhal lazerde kristalin iç kısmında bulunan aktif ortam olarak kullanılan materyallere göre farklı isimlerle anılmaktadır.

Nd: YAG lazer, Neodimiyum katkılı İtiryum Alüminyum Garnet için kullanılan kısa formdur. 4 enerji seviyesinden oluştuğu için katı hal ve 4 enerji seviyeli bir sistemdir.



Şekil 2.22. Nd: YAG lazer yapısı

Örneğin, Yakut (Ruby) Lazer, Neodyum: YAG Lazerler ve Ti Safir Lazerler gibi. Bunun yanı sıra fiber lazerler de kullandıkları materyal bakımından bu kategoride anılmaktadır. Bu lazer türlerine örnek vererek kısaca açıklayacak olursak;

Yakut Lazeri; Tarihte ilk 1960 yılında Maiman tarafından çalıştırılmış ilk katıhal lazeridir. Yakut, düşük oranlarda krom içeren alüminyum oksit kristaldir. Cr^3 iyonları, Al^3 iyonlarıyla yer değiştirerek, enerji seviyeleri sağlanır. Yakut, içinde az miktarda krom içeren bir alüminyum oksit kristalidir. Kırmızı lazer ışınları kristalin içindeki krom atomları tarafından yayılır. Bu iyonlar önceki enerji düzeylerine geldiğinde etrafa ışık ve ısı yaymaktadır.(Duarte, F.J 1990)

Lazer ışını yakut içerisindeki krom atomlarının uyarılması ile meydana gelir ve bu uyarılmanın gerçekleşmesi için genellikle yeşil ışık veya optik pompalama ve nüfus terslenmesi ile yakutu uyaran bir elektrik ark lambası kullanılır.

Flaş tüpünden gelen ışığın yoğunluğu kritik seviyeyi bir miktar aşarsa kalıcı hareket gerçekleşir ve saniyenin binde biri oranında 694,3 nm dalga boyuna sahip güçlü bir foton ışınması gerçekleşir.

Nd: YAG lazeri dört seviyeli bir sistemdir. Lazerde kristalin iç kısmında bulunan Nd elementinde nüfus tersinmesinin oluşması için fazla pompalamaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Nd: YAG Lazerinde ışınma, fiber optik yoluyla çalışılacak parça üzerine taşınabilir.

Bu nedenle lazer ışının hareket kabiliyeti, bu lazer tipini CO^2 lazer kaynaklarına göre daha kullanışlı yapmaktadır ve düşük işletme maliyetine sahiptir.

Katıhal lazerler, istenen hedefi bulmak için askeri uygulamalarda kullanılır. Bu lazer türü aynı zamanda cerrahi amaçlı tıp alanında da uygulama bulmaktadır. Bunlar aynı zamanda çeliğin kaynak ve kesiminde ve haberleşme sisteminde de kullanılmaktadır.



Şekil 2.23. Nd: YAG lazer dövme temizleme makinesi

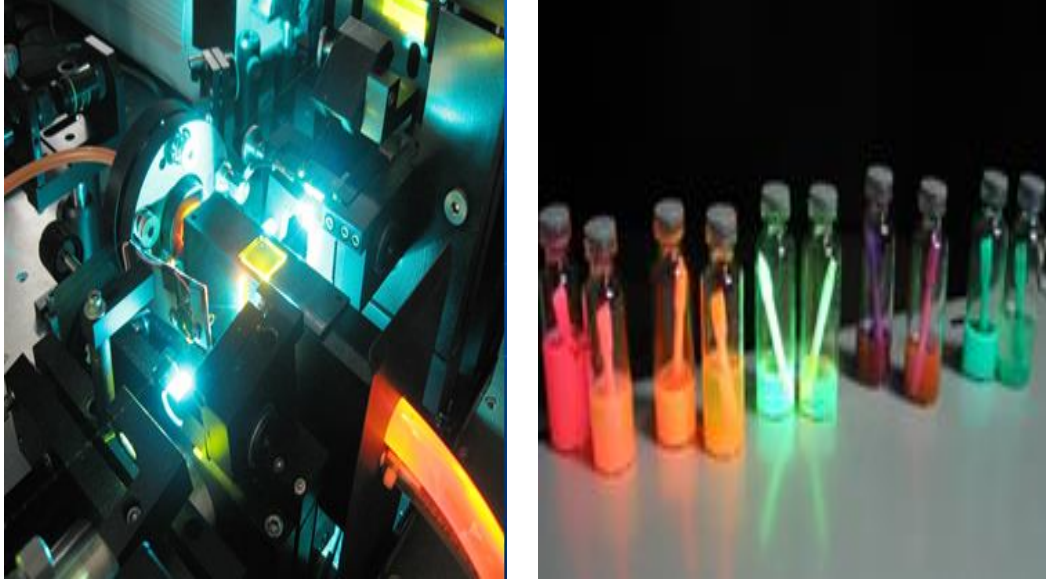
2.8.3 Boya Lazerler

Bu tip lazerler sıvı lazerler olarak da bilinmektedir ve farklı çeşitlerde sıvı lazerler üretilmiştir. Boya lazerler kendi aralarında sistemdeki boyanın türüne göre çeşitlere ayrılmaktadır. Boya lazerlerde aktif ortam bir çözücüde çözünen organik boyadır.

Organik boyalara örnek olarak; Rhodamine 6G ve Xantene verilebilmektedir.

Boya lazerlerde çözünen boya, optik pompalama ile molekülleri harekete geçirerek foton üretimine başlatmaktadır. Bunun sonucu olarak oluşan fotonlar iki ara arasında gidip gelerek geri beslenir, belirli bir değere ulaştığında kısmi yansıtıcı aynaya dik gelen ışın demeti kısmi aynadan geçip lazer ışığını üretir.

Boya lazerlerde, kristal ya da cam çubuk yerine saydam bölme içerisinde konmuş uygun bir sıvı kullanılmaktadır. Sıvının konulduğu bölme istenilen büyüklükte seçilerek, sistem üzerinde yüksek güçlere çıkılmaktadır.



Şekil 2.24. Boya lazer sanayi uygulaması ve boya tüpleri

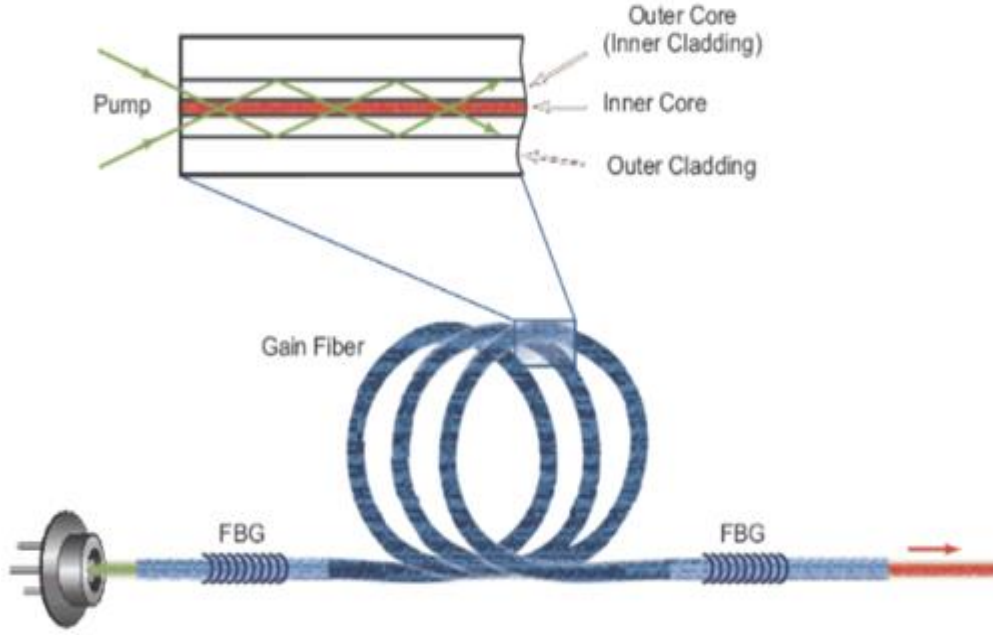
Bu tür lazerler çeşitli dalga boylarında çalışmaktadır. Boya lazer sistemi içerisinde çok fazla molekül mevcuttur ve birden fazla elektron uyarılma seviyesine sahiptir. İstenilen frekans aralığında çalıştırılmaktadırlar.(Duarte, F.J 1990)

2.8.4 Fiber Lazerler

Fiber lazerler, amplifikasyon ortamı olarak katkılı bir fiber optik çekirdek kullanan diyot pompalı katı hal lazerlerinin bir alt kategorisidir. Periyodik tablonun lantanit ailesinden çeşitli nadir toprak elementleri ile katkılanmış bir çekirdeğe sahip bir fiber optik kablo makarası içerirler. İterbiyum ve erbiyum gibi elementler yaygın olarak kullanılmaktadır. İstene kalıcı dalga boyunu ve güç seviyesini elde etmek için fiber katkılama elemanı seçilir ve ultra saf cam fiber çekirdeğe eklenir.

Bu lazer sınıfı, fiberlerin benzersiz ışık yönlendirme özellikleri, uzun mesafelerde güçlü uzaysal sınırlama nedeniyle, katı hal lazerlerinden ayrı olarak işlenir. Lazer aktif iyonlar, tipik olarak, bir cam ana malzeme olan optik fiberin çekirdeğine katkılanır. Yaygın olarak kullanılan katkı iyonları, lazer kazanç bant genişlikleri Yb, Er ve Tm gibi

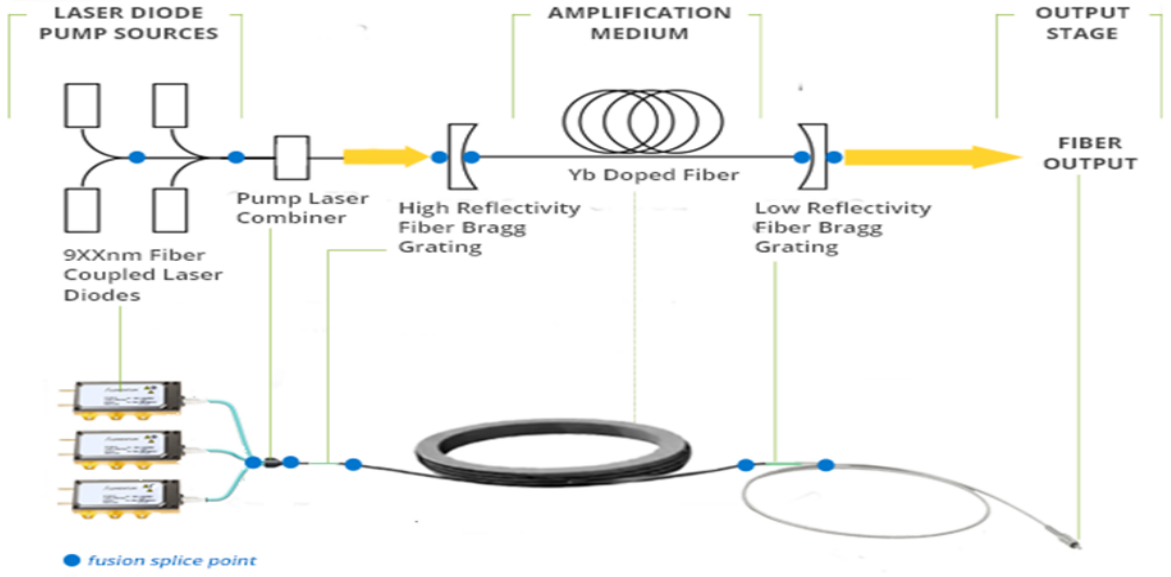
nadir toprak elementleridir. Hemen hemen tüm fiber lazerler, lazer diyotları tarafından optik olarak pompalanır. Düşük kaliteli uzamsal modlara sahip lazer diyotları fiberlere verimli bir şekilde bağlamak için, çift kaplı fiberler genellikle aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi uygulanır. Fiberin normal bir boşluk aynasından yansıtılması, bir fiberin doğrudan bir fiberde üretilen fiber Bragg ızgaralarının (FBG'ler) kullanımı yoluyla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.25. Fiber Bragg ızgaraları olan diyot pompalı fiber lazerin şeması

Katkılı optik fiberin bir yükseltici ortam olarak hareket etmesini sağlamak için, 915nm ila 980 nm dalga boyu aralığında çoklu yarı iletken lazer diyotlar, katkılı fiber makarasına birleştirilir. Pompa lazer diyotlarından yayılan lazer ışığı, yüksek uyarma seviyeleri üretmek için katkılı fiber çekirdeğe gömülü nadir toprak iyonlarını temel durumlarından uyarır. Bu uyarım nihayetinde lazer ışığını üretir. Bu ışık, fiberin her iki ucuna yerleştirilmiş Bragg ızgaraları arasında rezonansa girer. Işık, bu ızgaralar arasında rezonansa girerken güçlendirilir. Izzaralardan biri diğerinden daha düşük bir yansıtıcılığa sahiptir, bu da boşlukta oluşturulan lazer ışığının fiberden çıkmasına izin verir. Ortaya çıkan ışın, yüksek güçlü bir fiberden ve fiber lazerden yayılır.(Chow,1988)

FIBER LASER BLOCK DIAGRAM ~ END-PUMPED CONFIGURATION



Şekil 2.26. Fiber lazer konfigürasyonu

Fiber lazerler ile yüksek çıkış güçleri elde edebilir, darbeleri ve sürekli dalga (CW) modunda çalışabilir, yüksek kaliteli çıkış ışınları üretebiliriz. Fiber lazerler NIR ve MIR spektral bölgesinin çoğunda çalıştırılabilir. Bu fiber lazerlerin, optik fiber iletişim, lazer cerrahisi, LIDAR, mesafe bulma ve yüksek güçlü lazerlerin üretimi dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanımlarını açıklar. Fiber lazerler ayrıca yüksek güçlü CW malzeme işleme pazarına da hâkimdir.



Şekil 2.27 Lidar (mesafe bulma) Connet Laser



Şekil 2.28 Tıp alanında uygulanması



Şekil 2.29. Durma HD-F Fiber lazer

Gaz lazerleri veya katı hal lazerleri ile karşılaştırıldığında, fiber lazerlerin temel avantajları şunları içerir;

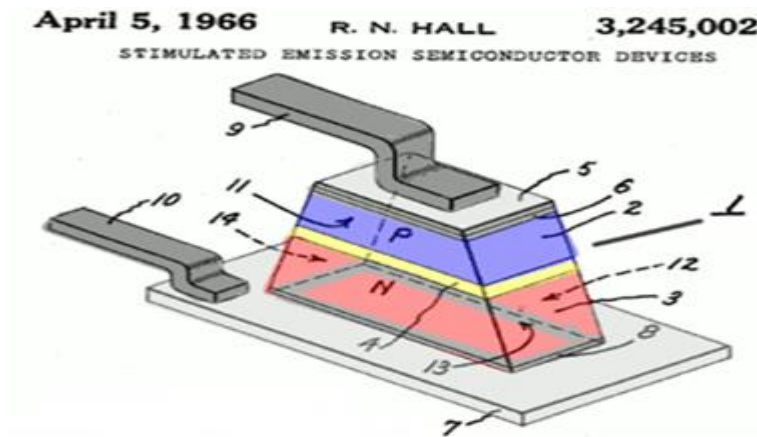
- Mükemmel ışın kalitesi (optik fiberden ışık yoğunlaştırıcı ışın).

- Basit, kompakt, elektriksel ve optik olarak verimli (fiber amplifikasyon ile az yer kaplar ve düşük güç tüketimi).
- Uyumlu şekilde güçlü ve güvenilir (pompalama ışığı olarak yüksek parlaklıkta, yüksek güçlü yarı iletken lazerler tarafından gerçekleştirilir).
- Bakım gerektirmez (tüm optik fiber kurulumları lensler, aynalar olmadan).

2.8.5 Yarı İletken Diyot Lazerler

Yarı iletken lazer boyut ve görünüm olarak çok küçüktür. Bir yarı iletken lazer basitçe bir yarı iletken diyottur. Lazer Diyot, ışık yayan diyot (LED) benzeri bir yarı iletken cihazdır. Tüm dalgaların aynı frekans ve fazda olduğu tutarlı ışığı yaymak için pn birleşimini kullanır. (P.Daste 1988)

1953 gibi erken bir tarihte John von Neumann, yarı iletken lazer kavramını yayınlanmamış bir el yazmasında tanımladı.1957'de Japon mühendis Jun-ichi Nishizawa ilk yarı iletken lazer için bir patent başvurusunda bulundu. (Sze, SM. 1981) (Hall,Robert N 1962) Daha önceki icatları olan 1950'de PIN diyotunun ve 1955'te katı hal maserinin bir ilerlemesiydi. (Hall,Robert N 1962)MG Bernard, G.Duraffourg ve William P.Dumke'nin 1960'ların başındaki teorik gelişmelerin ardından , bir Galyum Arsenit (GaAs) yarı iletken diyotundan tutarlı ışık emisyonu üretimini gerçekleştirmiş ve 1962'de Robert N.Hall liderliğindeki iki ABD grubu tarafından General Electric araştırma merkezinde lazer diyot oluşturulmuştur.(Kirpik Gordon 1962)



Şekil 2.30. Robert Hall orijinal lazer diyot patenti

1. Tipik bir PN yarı iletken lazer diyotu.
2. P tipi bölge (mavi).
3. N tipi bölge (kırmızı).
4. Işığın uyarılmış emisyonla üretildiği pn bağlantı bölgesi (rezonans boşluğu).
Hall 'un orijinal patentinde, 0,1 μ kalınlığında olduğu belirtilmektedir.
5. Üst elektrot.
6. Üst elektrotu p tipi bölgeye bağlayan lehim.
7. Alt elektrot.
8. Alt elektrotu n tipi bölgeye bağlayan lehim. (Bu, yalnızca burada gösterilen gri dış çerçeveyi değil, n tipi bölgenin tabanının tamamını kapsar.)
9. Üst elektrot konektörü.
10. Alt elektrot konektörü.
11. Cilalı ön yüzey.
12. Elektromanyetik radyasyonun (lazer ışığı) duran dalgalarını sağlamak için ön yüzeye tam olarak paralel olması gereken son derece parlak arka yüzey, p tipi ve n tipi bölgeler arasındaki rezonans boşluğunda verimli bir şekilde üretilir ve yayılır. Yüzeyler 11 ve 12, rezonans etkisini iyileştirmek için aynalar veya metalik bir kaplama ile kaplanabilir.
13. Diğer yönlerde ışık dalgalarının oluşmasını önlemek için yan yüzey açılı (veya pürüzlü) kesilir.
14. Diğer yan yüzey benzer bir açıyla kesilmiş veya benzer şekilde pürüzlendirilmiştir.

William P. Dumke'nin Yorktown Heights'taki IBM'in Kitchawan Laboratuvarı'nda (şu anda Thomas J. Watson Araştırma Merkezi olarak bilinir) teorik olarak ilk lazer diyotu icat etti. Çalışma sonuçlarını daha önce alarak teslim edip ilerleten, lazer diyotlar için bir rezonans boşluğu yapan General Electric grubuna patent verilmiştir.(P.Crump 2012) MIT'den Ben Lax silikon veya germanyumun bir lazer etkisi yaratmak için kullanılabileceğini söyledi, ancak teorik analizleri sonucu William P. Dumke'yi bu malzemelerin işe yaramayacağı sonucuna ulaştı. Bunun yerine Galyum Arsenit'i iyi bir aday olarak önerdi. İlk görünür dalga boylu GaAs lazer diyotu, 1962'de Nick Holonyak, tarafından üretildi. (Glow After 2007)



Şekil 2.31. General Electric'te ilk diyot lazer testi

MIT Lincoln Laboratuvarı, Texas Instruments ve RCA Laboratuvarlarındaki diğer ekipler de 1962'de ve sonrasında yarı iletken diyotlarda verimli ışık yayımı ve lazerleme konusundaki tarihi ilk gösterilerine dâhil ettiler ve bu gösteriler için övgü aldılar. GaAs lazerleri de 1963'ün başlarında Sovyetler Birliği'nde Nikolay Basov liderliğindeki ekip tarafından üretildi . (Nicolay G.Basov 2009)

1960'ların başlarında sıvı faz epitaksi (LPE), RCA Laboratuvarlarından Herbert Nelson tarafından icat edildi. Farklı bileşimlerin en yüksek kalitede kristallerini katmanlayarak, en yüksek kalitede heterojonksiyon yarı iletken lazer malzemelerinin uzun yıllar boyunca sergilenmesini sağladı. LPE, dünya çapında tüm önde gelen laboratuvarlar tarafından benimsenmiş ve uzun yıllar kullanılmıştır. Nihayet 1970'lerde moleküler ışın epitaksisi ve organometalik kimyasal buhar biriktirme ile değiştirildi.

İlk diyot lazerler homojonksiyon diyotlardı. Yani, dalga kılavuzu çekirdek katmanının malzemesi (ve dolayısıyla bant aralığı) ve çevreleyen kaplamalı katmanlarındaki özdeşti. Özellikle alüminyum galyum arsenit kullanılarak sıvı faz epitaksisinin kullanımıyla heterojonksiyonlar sunmak için bir fırsat olduğu kabul edildi. Heteroyapılar, değişen bant aralığı ve kırılma indisine sahip yarı iletken kristal katmanlarından oluşmaktadır. Heterojonksiyonlar,1950'lerin ortalarında RCA Laboratuvarlarında çalışırken, diyot

lazerler dâhil çeşitli elektronik ve optoelektronik cihazlar için benzersiz avantajlara sahip olarak Herbert Kroemer tarafından tanınmıştır.

LPE, heterojonksiyon diyot lazerleri yapma teknolojisine öncü olmuş ve 1963 yılında çift heteroyapı lazerini önermiştir.

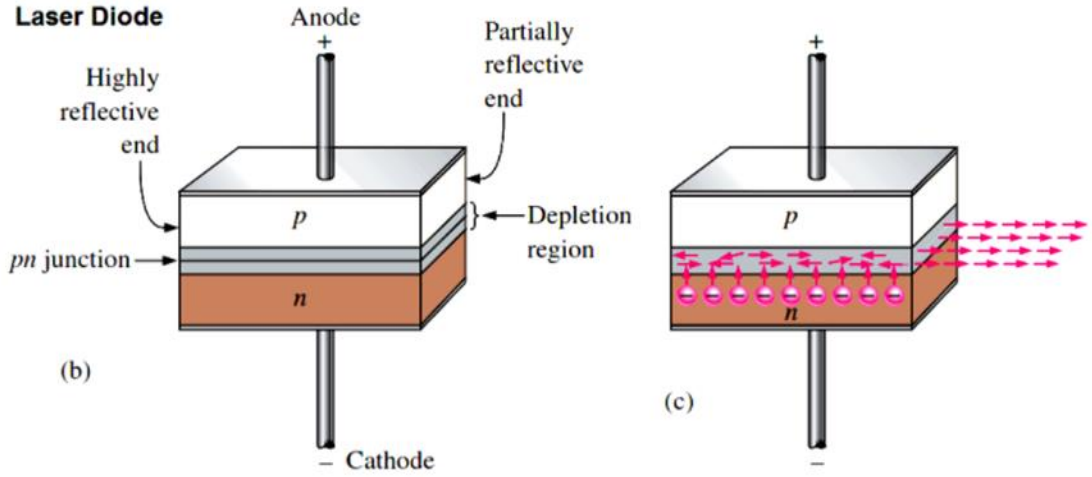
İlk heterojonksiyon diyot lazerler, tek heterojonksiyonlu lazerlerdi. Bu lazerlerde, LPE ile substrat üzerinde büyütülen n tipi galyum arsenit katmanları üzerinde konumlandırılmış alüminyum Galyum Arsenit p tipi enjektörler kullanılmıştır. Yarı iletken kristalde bir alüminyum karışımı galyumun yerini aldı ve p tipi enjektörün altındaki n tipi tabakaların bant aralığını yükseltti.

Oda sıcaklığı zorluğunu karşılayan yenilik, çift heteroyapılı lazerdi. İşin püf noktası, LPE parçasını farklı alüminyum galyum arsenit 'eriyikleri' (p ve n tipi) ile üçüncü bir galyum arsenit eriyiği arasında hızlı bir şekilde hareket ettirmek idi. Galyum arsenit çekirdek bölgesinin kalınlığının 1 µm 'nin altında olması gerektiğinden, hızlı bir şekilde yapılması gerekiyordu.

Basov, 1955'te Prokhorov ile üç seviyeli bir lazer fikrini önerirken; 1963 yılında ise yarı iletken bir lazer inşa etme fikrini sundu. Alferov ve Kroemer, başarıları ve iş arkadaşlarının başarıları için 2000 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaştı.(M.Takahiro 2015)

Basit bir yarı iletken lazer diyot, sırasıyla aşağıdaki parçalardan oluşur:

- Metal kontak
- P tipi malzeme
- Aktif/İç bölge (N tipi malzeme)
- N tipi malzeme
- Metal kontak



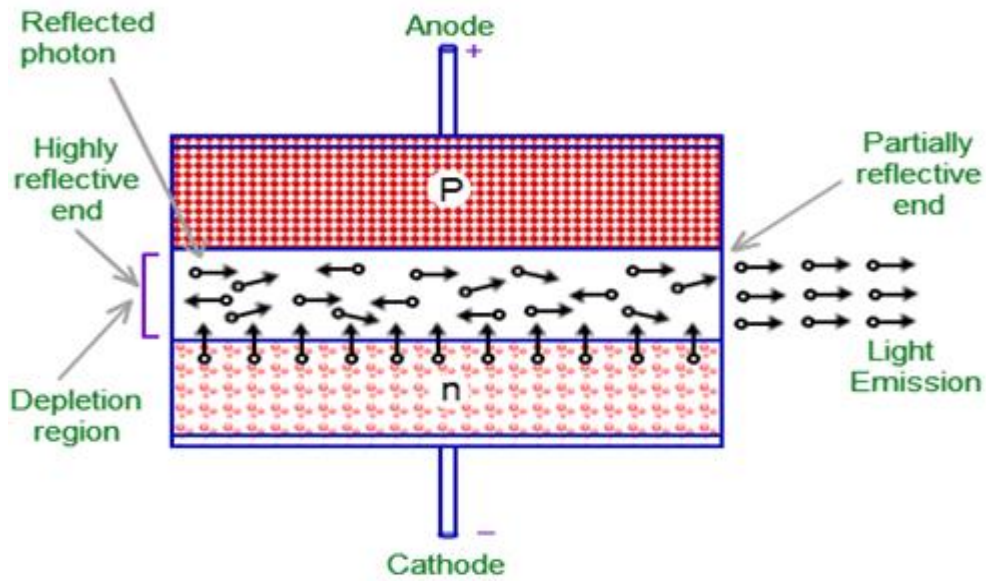
Şekil 2.32. Temel lazer diyot yapısı ve çalışması

Bir lazer diyotun temel yapısı Şekil (b)'de gösterilmektedir. İki kat katkılı galyum arsenit tarafından bir pn bağlantısı oluşturulur. Pn bağlantısının uzunluğu, yayılacak ışığın dalga boyu ile bağlantılıdır. Pn bağlantısının bir ucunda oldukça yansıtıcı bir yüzey ve diğer ucunda kısmen yansıtıcı bir yüzey vardır ve fotonlar için bir rezonans boşluğu oluşturur. Harici uçlar anot ve katot bağlantılarını sağlar.

Lazer diyotu, harici bir voltaj kaynağı tarafından ileriye doğru yönlendirilir. Elektronlar bağlantı boyunca hareket ederken, tıpkı sıradan bir diyotta olduğu gibi rekombinasyon meydana gelir. Elektronlar yeniden birleştirmek için deliklere düştüğünde fotonlar serbest bırakılır. Serbest bırakılan bir foton, bir atoma çarparak başka bir fotonun serbest kalmasına neden olabilir. İleri akım arttıkça, tükenme bölgesine daha fazla elektron girer ve daha fazla fotonun yayılmasına neden olur. Sonunda, tükenme bölgesi içinde rastgele sürüklenen bazı fotonlar, yansayan yüzeylere dik olarak çarpar. Bu yansyan fotonlar, tükenme bölgesi boyunca hareket ederek atomlara çarpar ve çığ etkisinden dolayı ek fotonlar serbest bırakır. Fotonların bu ileri geri hareketi, fotonların üretimi, pn bağlantısının kısmen yansıtıcı ucundan geçen fotonlar tarafından çok yoğun bir lazer ışını ışın oluşana kadar artar. Bu süreçte üretilen her foton, enerji seviyesi, faz ilişkisi ve frekans bakımından diğer fotonlarla aynıdır. Böylece, Şekil (c)'de gösterildiği gibi lazer diyotundan tek dalga boylu yoğun ışık oluşur.

Yarı iletken lazerler diyotlar gibi, p tipi ve n tipi yarı iletken malzemelerin birleştirilmesi ile meydana gelmiştir. Bu pn malzemelerin birleştiği yüzeye eklem adı

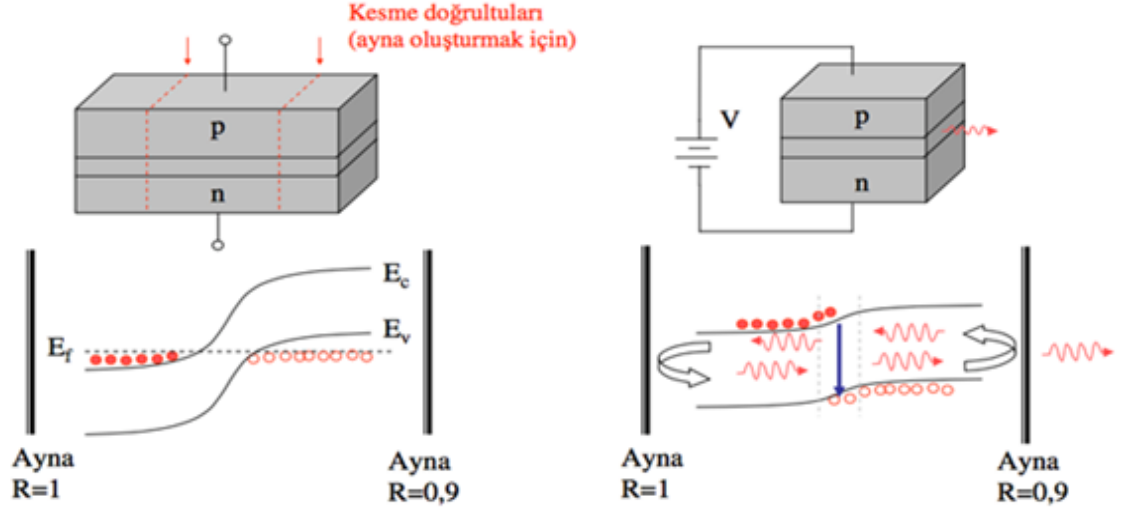
verilmektedir ve bu yüzey ayna görevi yapmaktadır. Lazer diyotlarda, yükseltici eleman, doğrudan bant aralıklı bir yarı iletkende oluşturulmuş ileri yönlü bir pn bağlantısıdır. Optik kazanç, pn bağlantısındaki elektronların ve deliklerin rekombinasyon ile sağlanmaktadır. İleriye eğilimli olduğunda, elektronlar N tarafından enjekte edilirken delikler P tarafından enjekte edilirler. Hem elektronlar hem de delikler, mevcut bir foton tarafından uyarıldığında ya kendiliğinden ya da uyarılmış emisyon yoluyla yeniden birleşebilecekleri daha düşük bir bant aralığı bölgesi içinde sınırlandırılmıştır.



Şekil 2.33. Yarı iletken lazer diyot diyagramı

Pn eklemi ileri yönde beslendiğinde; Pozitif voltaj p tarafına, negatif voltaj n tarafına uygulandığında boşluklar ve elektronlar arası yük geçişleri olmaktadır. Bu geçiş sürecinde aktif bölgede birleşerek enerjilerini kaybeder ve foton yayarlar. Bu fotonlar tekrar elektronlara çarparak daha çok foton üretimine sebep olurlar. Sürecin sonucunda lazer ışığı üretilmiştir. (Chow, 1988)

Doğrudan bant aralıklı ve aşırı katkılanmış n ve p tipi yarı iletkenlerle oluşturulan bir pn ekleminden lazer ışığı elde edilir. Bir yarı iletken lazer, rezonans kovuğu içine konmuş LED'den farklı değildir. Rezonans kovuğu, yarı iletkenlerin kenarlarından yapılan kesme (cleave) işlemi ile oluşturulur. Küçük boyutlara sahiptirler.



Şekil 2.34. Yarı iletken lazerlerde rezonans kovuğu oluşumu

2.8.5.1 Yarı iletken Lazer Diyot Malzemeleri

Prensipite, herhangi bir doğrudan bant aralığına sahip yarı iletkeninden bir lazer diyot üretilir. Bununla birlikte, verimli, elektriksel olarak enjekte edilmiş lazerler, tamamı birbirine ve bir alt tabakaya kafes uyumlu olan, çeşitli alaşımlardan oluşan hassas katkılı katmanlı yapılar gerektirir.

Ticari yarı iletken lazerlerin tümü periyodik tablodaki 3. ve 5.grup element, bileşik ve alaşımlarından oluşturulur. Yarı iletken lazerler iki ana gruba ayrılırlar, GaAs substratları üzerinde yetiştirilenler ve InP substratları üzerinde büyütülenler.

GaAs bazlı lazerler, GaAs ile kafes uyumlu bileşimlerde büyütülen Ga, Al, In, As ve P alaşımlarından oluşturulur. 630 nm ve 1100 nm arasındaki dalga boyunlarındadır. Ticari olarak en yaygın olanlar, optik depolama ve gösterimlerde kullanılan 635 nm, 650 nm, 680 nm ve 780 nm'dir.

Lazer pompalama, baskı uygulamaları ve telekomünikasyonda fiber amplifikatörleri pompalamak için kullanılan 785 nm, 808 nm, 830 nm, 920 nm, 940 nm ve 980 nm dalga boyuna sahiptir.

InP tabanlı lazerler, aynı bileşenlerin, Ga, Al, In ve As, P'nin alaşımlarından, ancak InP ile kafes uyumlu bileşimlerde oluşturulur. Dalga boyları yaklaşık olarak 1100 nm ve 2000 nm arasında değişir, ancak açık ara en yaygın olanları fiber optik iletişimde kullanılan 1300 nm, 1480 nm ve 1550 nm'deki emitörlerdir.

Çizelge 2.2. Lazer diyot malzemeleri ve karşılık gelen radyasyon dalga boyları

Diyot Malzeme İçeriği	Dalga Boyu (nm)
AlGaIn	350-400
GaAlN	375-440
ZnSSe	447-480
AlGaInP/GaAs	620-680
GaAlAs/GaAs	750-900
InGaAs/InP	1100-1650
InGaAsSb	2000-5000
Kuantum Kademeli	3-50 μ m

Lazer diyotta ortaya çıkan ışığı daha güçlü ve yoğun yapmak için katkılama kullanılmaktadır. Yarı iletken lazerlerde As, Ga, GaAs gibi maddeler kullanılarak lazer diyotun ışığı güçlendirilir. Oda sıcaklığında yapılan yarı iletken lazer malzemelerinin en yaygın kullanılanları Galyum Arsenik ve Alüminyum Arseniktir.(P.Unger 2000)

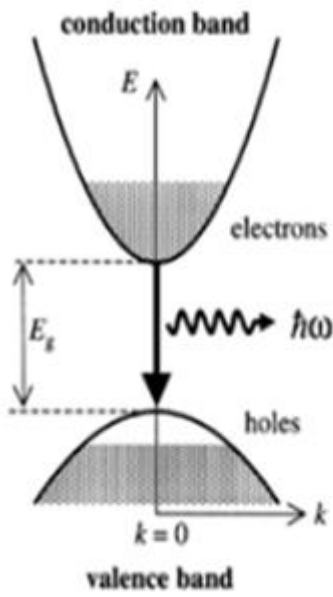
2.8.5.2 Doğrudan Bant Aralığı ve Dolaylı Bant Aralığı

Lazer oluşumu, lazer diyodun bant yapısına bağlıdır. Genel olarak iki tür bant yapısı vardır. Bunlar doğrudan diyot bant aralığı ve dolaylı diyot bant aralığı.

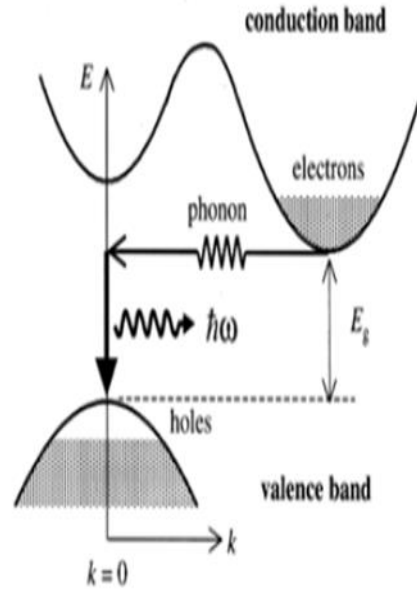
Doğrudan bant aralığı, iletim bandının minimum enerji seviyesinde bulunan elektronların, değerlik bandının maksimum enerji seviyesindeki elektronlarla aynı momentuma sahip olduğu durumdur. Dolaylı bant aralığında ise, elektronların belirtildiği gibi aynı momentuma sahip olmadığı durumdur. İletim bandının altına yakın bir yerde bir elektronun değerlik bandının tepesine yakın bir delikle rekombinasyonu, enerji ve momentum alışverişini gerektirir. Dolaylı bant aralığı rekombinasyonu için,

enerji bir foton tarafından taşınabilir, ancak momentumu korumak için bir veya daha fazla fonon gerekir. (P.Unger 2000)

Yarı iletkenlerin büyük bir kısmı dolaylı bant aralıklı malzemelerdir, bunlara kıyasla lazer diyotlar için doğrudan bant aralıklı malzemeler tercih edilir. Doğrudan bant aralığı yapıları, uyarılmış emisyonla elektronların ve deliklerin yeniden birleşme eğilimini en üst düzeye çıkarır, böylece lazer verimliliğini artırır. Örneğin, doğrudan bant aralıklı kristal Alüminyum Galyum Arsenit (AlGaAs), dalga boyları 750nm ile 880nm arasında olan lazer diyotlar için sıklıkla kullanılır. (J.Piprek 2003)



Şekil 2.35. Doğrudan bant yapısı



Şekil 2.36. Dolaylı bant yapısı

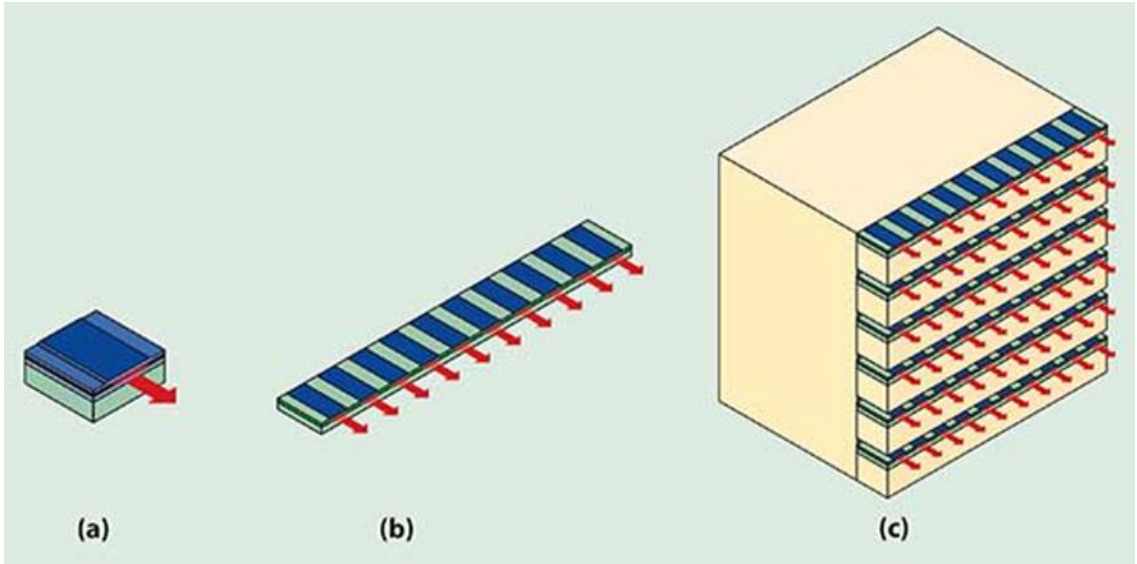
2.8.5.3. Optik Geri Besleme Mekanizması

Yüksek verimli bir lazerde, yalnızca elektromanyetik dalgayı yükseltmekle kalmayıp aynı zamanda ona geri besleme yapma yeteneğine de sahip bir rezonatör oluşturulmalıdır. Bir lazerde, rezonatörü genellikle optik eksene dik iki paralel aynadan oluşur. Aynalar arasındaki boşluk, kısmen yükseltici malzeme tarafından işgal edilmiştir. Fabry Perot Rezonatör adı verilen bu yapı, kristalin uçlarının kesilmesiyle bir lazer diyotunda elde edilir. Kırılma indisi, kristal ve diğer malzemenin ara yüzeyinde bir sıçramaya sahip olduğundan, ayna yüzeyi yansıtıcı bir yüzey olarak işlev görür. Bazı

durumlarda, yüzeyin yansıtıcılığını veya geçirgenliğini arttırmak için özel kaplamalar kullanılır.

Rezonatör bir popülasyon inversiyonu durumuna getirildiğinde, kendiliğinden emisyon tarafından üretilen fotonlar güçlendirilir ve ön ve arka yönler tarafından tekrar tekrar yansıtılır. Optik eksene paralel hareket eden kendiliğinden yayılan fotonların bileşeni, ayna yüzeyleri tarafından tekrar tekrar yansıtılacaktır. Elektromanyetik dalga yarı iletken malzeme boyunca ilerlerken, uyarılmış emisyon ile güçlendirilir. Her yansımada, dalga kısmen yansıtıcı yüzeyler aracılığıyla iletilir. Lazer salınımı, amplifikasyon miktarı, rezonatörün yan taraflarında, ayna yüzeylerinde ve kristal tarafından absorpsiyon sonucunda kaybedilen toplam miktara eşit olduğunda başlar.

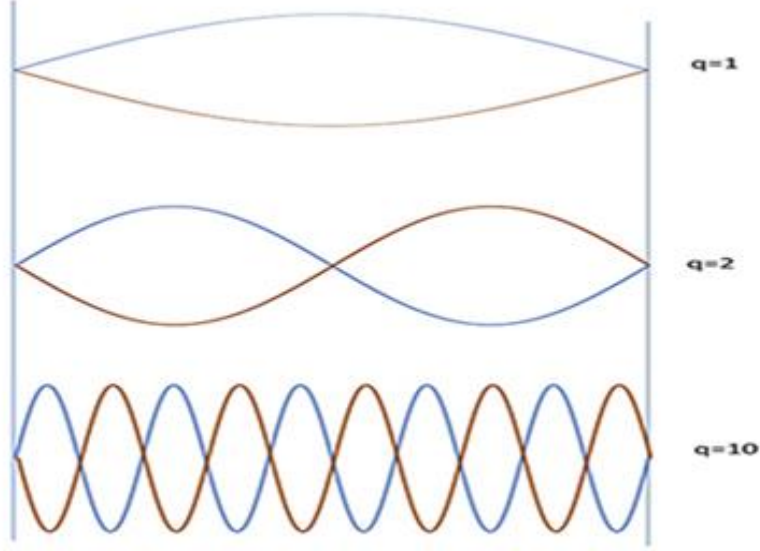
Tek boyutlu dizilere lazer çubukları da denir. Bu çubukların istiflenmesiyle iki boyutlu diziler oluşturulabilir. Bu tür cihazlarla birkaç kW'a kadar güçler zaten elde edilmiştir. Uygulama birkaç Watt' ı aşan güçler gerektiriyorsa, birden fazla lazer yayıcının çıkışı birleştirilmelidir.(Cheung ve Chung 1986) Bu tür cihazlar, endüstriyel kaynak ve metallerin ve çeşitli diğer malzemelerin hassas kesilmesi gibi uygulamalarda çok çeşitli yeni olanaklar açar.



Şekil 2.37. Diyot gücü, çubuklar ve çubuk yığınları halinde birleştirilerek artırılabiliriz

İdeal bir rezonatörde sonsuz sayıda mod mümkündür. Fabry Perot lazerin spektrumu (yoğunluğa karşı dalga boyu), yüzeylerin yansıtıcılığı ile ters orantılı genişlikte çok

sayıda tepe noktasıdır. Yani, yansıtma ne kadar yüksek olursa, yoğunluk tepe noktaları o kadar dar olur.



Şekil 2.38. Fabry Perot lazerde duran dalgalar

Faby Perot lazer diyotta izin verilen modların veya yoğunluk tepe noktalarının sayısı sınırlıdır. Çıkış lazerinin spektrumu, orta kazanç spektrumunun ve Fabry Perot lazerin spektrumunun bir süper pozisyonudur. Kazanç spektrumu lazer diyotta kullanılan yarı iletken bileşik malzemeye bağlıdır. Kayıp, absorpsiyon, saçılma ve yansıtıcı ara yüzlerdeki kaybı içermektedir.

2.8.5.4 Yarı İletken Lazer Diyot Çeşitleri

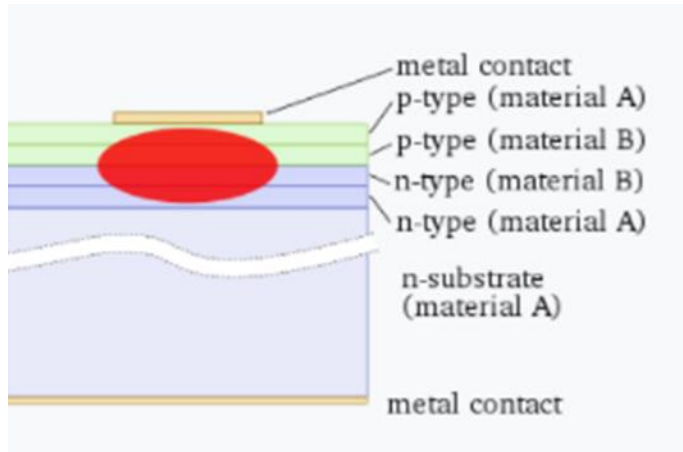
2.8.5.4.1 Çift Heteroyapılı Lazer Diyot

Bu tip lazer diyotlarda, iki p tipi ve n tipi malzeme arasına farklı bir malzemedan ilave bir sınırlayıcı tabaka sıkıştırılır. Farklı malzemeler arasındaki bağlantıların her birine heteroyapı denir. İki heteroyapının varlığından dolayı, bu tip lazer diyotu çift heteroyapılı (DH) lazer diyotu olarak adlandırılır.

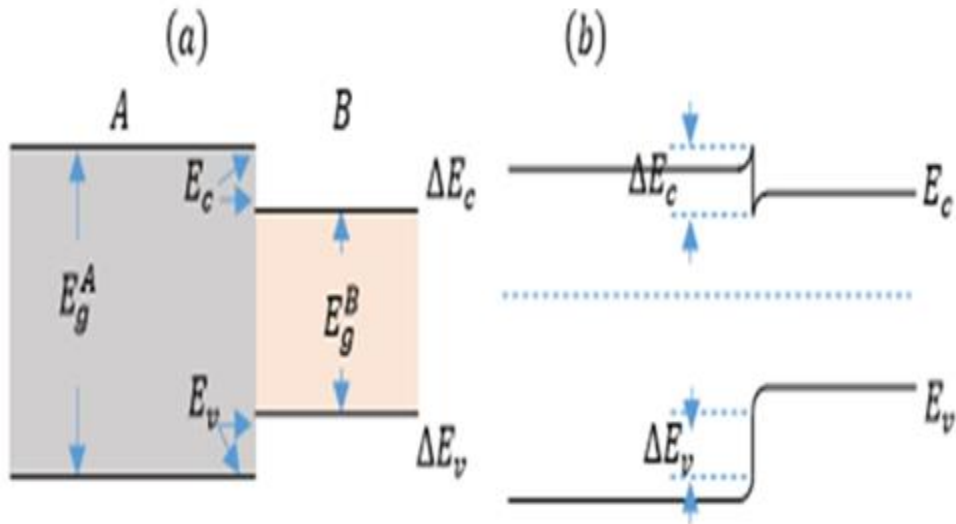
Bu cihazlarda, iki yüksek bant aralıklı katman arasına bir düşük bant aralığı malzemesi katmanı sıkıştırılır. Yaygın olarak kullanılan bir malzeme çifti, Alüminyum Galyum

Arsenittir (AlGaAs). Farklı bant aralığı malzemeleri arasındaki bağlantıların her birine heteroyapı, dolayısıyla 'çift heteroyapılı lazer' veya DH lazer adı verilir.

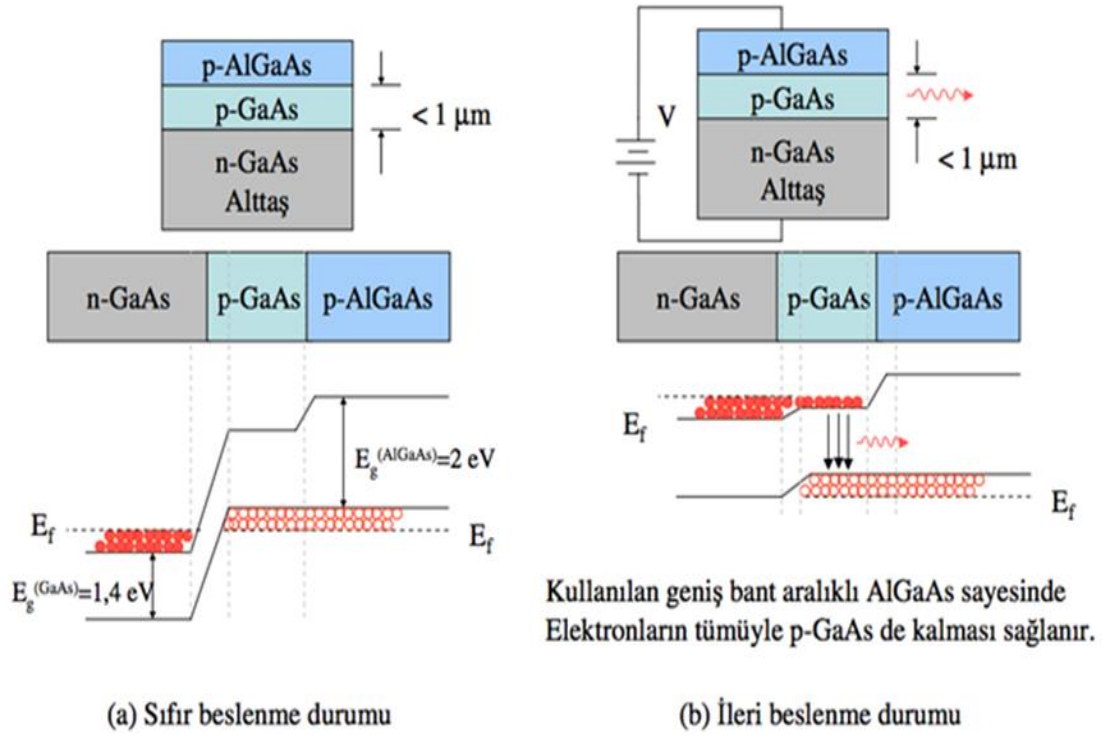
DH lazerin avantajı, serbest elektronların ve deliklerin aynı anda var olduğu bölgenin aktif bölge ve ince orta katmanla sınırlı olmasıdır. Bu, elektron deliği çiftlerinden çok daha fazlasının amplifikasyona katkıda bulunabileceği anlamına gelir. Zayıf şekilde yükseltilemeyen çevrede pek çoğu dışarıda bırakılmaz. Ek olarak, ışık heterojonksiyon içinde yansıtılır; dolayısıyla ışık, amplifikasyonun gerçekleştiği bölge ile sınırlıdır.



Şekil 2.39. Çift Heteroyapılı lazer diyotunun önden görünüşü



Şekil 2.40. (a) Farklı bant aralıklarına sahip iki yarı iletken (A ve B) arasındaki yarı iletken heteroeklem. (b) Ani bir heteroeklem için enerji bant yapısı



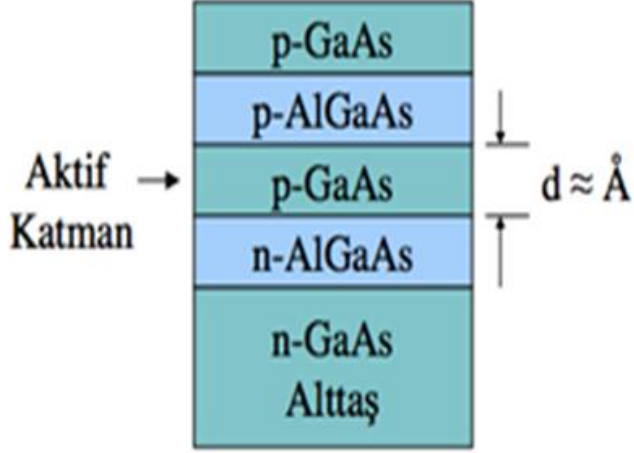
Şekil 2.41. AlGaAs ve GaAs için heteroeklem için enerji bant yapısı

Yarı iletken heteroeklemede, tükenme bölgesinin genişliği birkaç nanometre aralığındadır. Böylece elektronlar tünel etkisi ile heteroeklemden geçebilir ve bant diyagramındaki sivri uçlar ihmal edilebilir. Bu lazer diyotunun avantajı, aktif bölgenin daha iyi optik amplifikasyon sağlayan ince bir tabaka ile sınırlandırılmasıdır.

2.8.5.4.2 Kuantum Kuyusu Lazer Diyot

Kuantum kuyusu lazer diyotu, kuantum kuyusu gibi davranan çok ince bir orta katmana sahiptir ve orta katman yeterince ince yapılırsa, kuantum kuyusu görevi görür. Bu, elektronun dalga fonksiyonunun dikey değişiminin ve dolayısıyla enerjisinin bir bileşeninin nicelleştirildiği anlamına gelir. Kuantum kuyulu bir lazerin verimliliği fazladır, çünkü kuantum kuyu sistemindeki elektronların durum işlevinin yoğunluğu, elektronları lazer eylemine katkıda bulunan enerji durumlarında yoğunlaştıran ani bir kenara sahiptir. Birden fazla kuantum kuyusu katmanı içeren lazerler, çoklu kuantum

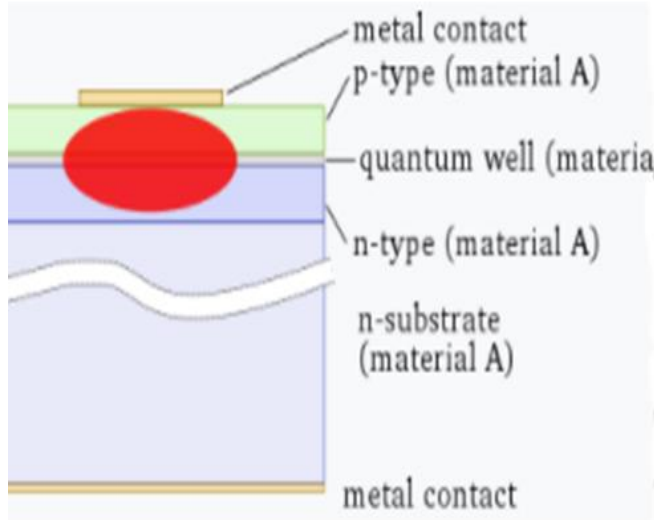
kuyulu lazerler olarak bilinir. Çoklu kuantum kuyuları, kazanç bölgesinin optik dalga kılavuzu modu ile örtüşmesini iyileştirir.



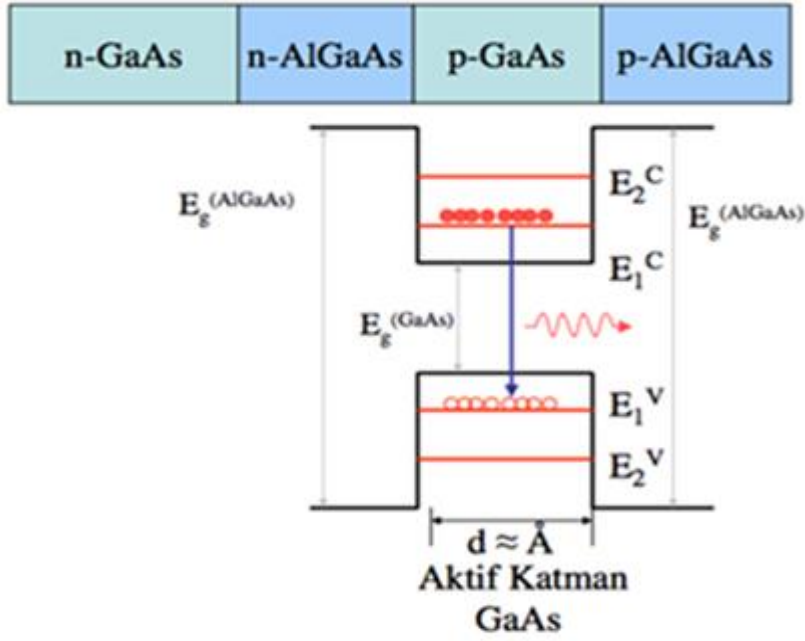
Şekil 2.42. Kuantum kuyusu lazer yapısı

Elektronlar, daha yüksek enerji seviyesinden daha düşük enerji seviyesine geçerken kuantum enerji seviyelerini kullanabilecektir. Bu, bu tip lazer diyot için daha iyi bir verimlilik sağlar.

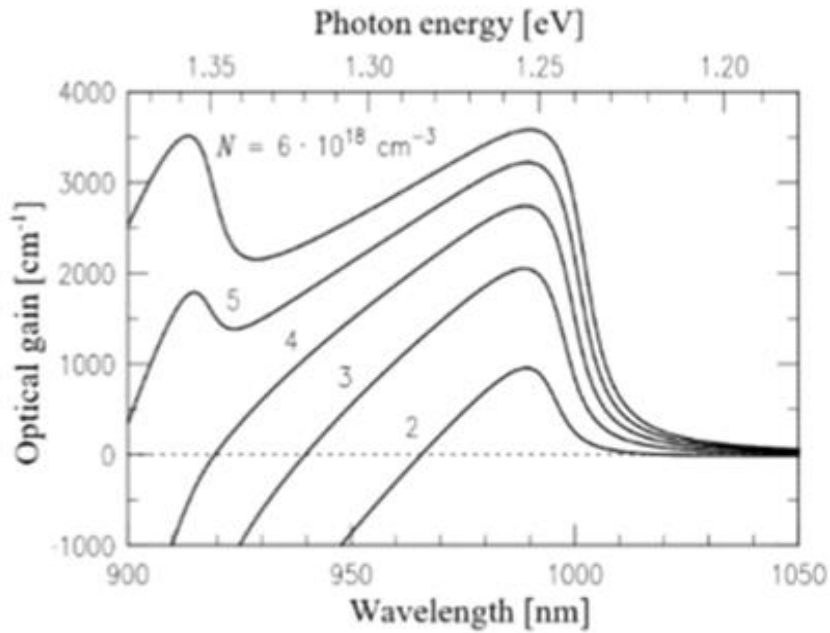
Aktif bölgenin kalınlığı düşürülerek (elektronun de Broglie dalga boyu mertebesinde) verimli ve frekans bant aralığı daha küçük lazerler elde edilebilir. Kuantum kuyusu lazerlerde tipik olarak eşik akım değerinde 10 kat azalma sağlanabilir.



Şekil 2.43. Kuantum kuyu lazer diyotun önden görünüşü



Şekil 2.44. Kuantum kuyusu lazerin enerji seviyeleri



Şekil 2.45. Bir GaAs QW'de taşıyıcı yoğunluğuna karşı malzeme kazanç spektrumu

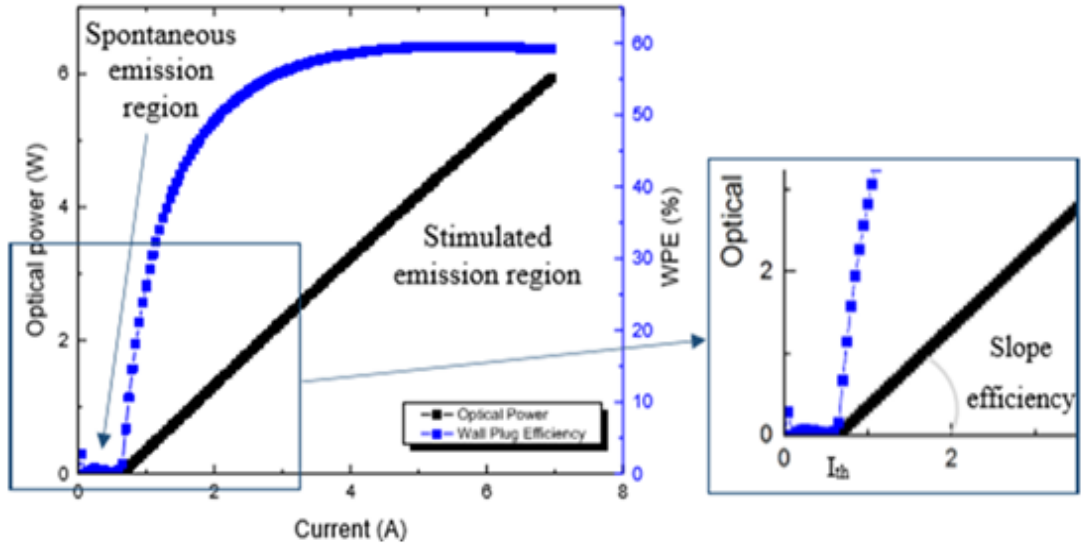
QW'deki durumların yüksek yoğunluğu nedeniyle, kazanç eğrisinin maksimumu dalga boyunda sadece hafif bir kayma gösterir.

Düşük ve yüksek güçlü lazer diyotlar arasında kesin bir tanımlama yapılmamıştır; Lazerin yapısı ve dalga boyu aralığının yanı sıra çıkış ışınının spektral özelliklerine bağlıdır.

Eşik akımının altında, spontane emisyon esas olarak baskındır ve lazer ışık yoğunluğu çok düşüktür. Eşik akımının üzerinde, uyarılmış emisyon devreye girer ve çıkış gücü (P_{out}), ön gerilim akımının bir fonksiyonu olarak doğrusal olarak artar. Bu nedenle, çıkış optik gücü şu şekilde yazılabiliriz:

$$P_{out} = \eta_i \cdot \frac{\alpha_m}{\alpha_i + \alpha_m} \cdot \frac{hV}{q} \cdot (I - I_{th}) = \eta_D \cdot \frac{hV}{q} \cdot (I - I_{th}) \quad (2.13)$$

burada η_i , η_D , hV sırasıyla iç kuantum verimini, diferansiyel kuantum verimini, foton enerjisini temsil eder ve q temel yüküdür. Eğim verimliliği (η_E), dP/dI , η_D ile orantılıdır.



Şekil 2.46. Uygulanan ön gerilim akımında çıkış optik gücü ve duvar fiş verimliliği

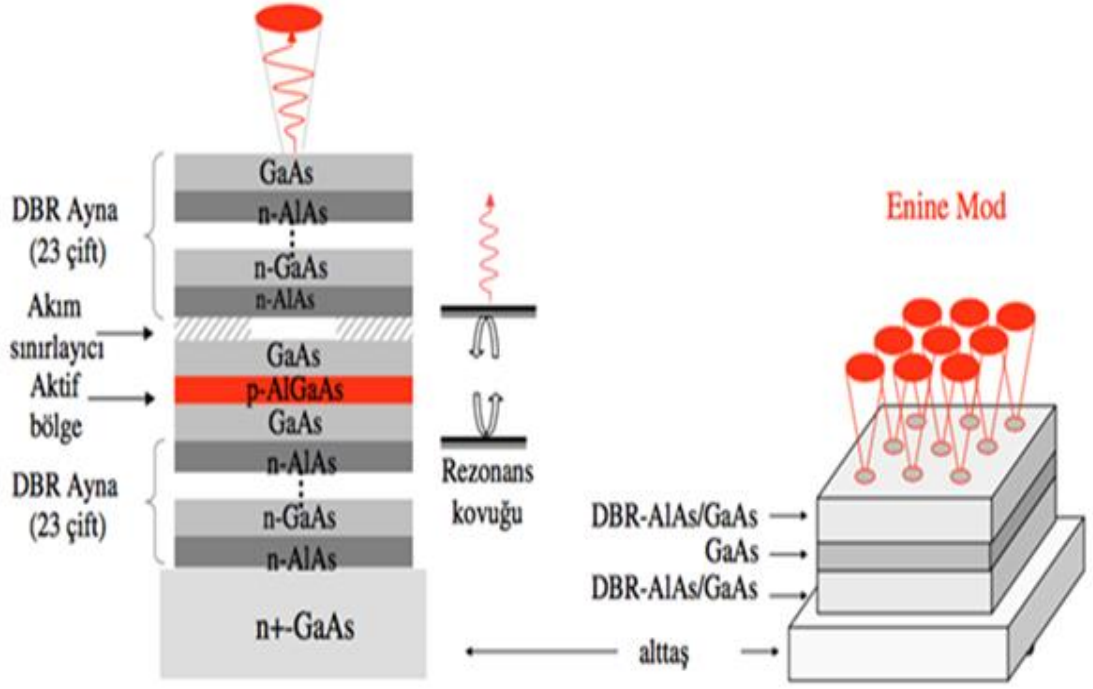
η_i , ortamda bulunan yük taşıyıcılarının yanı sıra, uyarılmış foton emisyonu ile sonuçlanan eşğin üzerindeki toplam akım artışının (ΔI) fraksiyonunu temsil eder. Elbette, ΔI 'nin bir kısmı ışınımsal olmayan rekombinasyon süreçleri (ΔI_{n-r}), dikey veya yanal sızıntı ($\Delta I_v, \Delta I_l$) için kullanılıyorsa, böyle bir parametre birden küçüktür ve aşağıdaki gibi yazılabilir. (J.Piprek 2003)

$$\eta_i = \frac{\Delta I_{stim}}{\Delta I} = \frac{\Delta I_{stim}}{\Delta I_{stim} + \Delta I_{n-r} + \Delta I_v + \Delta I_l} \quad (2.14)$$

2.8.5.4.3 Dikey Boşluklu Yüzey Yayan Lazer Diyot (VCSEL)

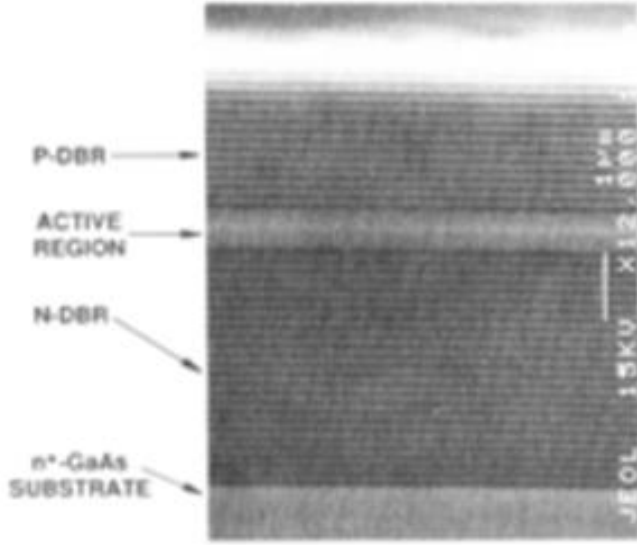
Dikey boşluklu yüzey yayan lazer (VCSEL), geliştirilmiş verimliliğe ve artırılmış veri hızına sahip özel bir lazer diyottur. Kenar yayan diyotlar olarak adlandırılan daha eski lazer diyotları, yarı iletken katmanlar arasındaki sınırlara paralel uyumlu elektromanyetik dalgalar yayar. VCSEL, katmanlar arasındaki sınırlara dik olan uyumlu elektromanyetik dalgalarını yayar.

VCSEL, kenar yayan diyotlara göre çeşitli avantajlara sahiptir. VCSEL, miktar olarak daha ucuzdur, test edilmesi daha kolaydır ve daha verimlidir. Ek olarak, VCSEL, belirli bir tutarlı enerji çıktısı üretmek için daha az elektrik akımı gerektirir. VCSEL, geleneksel kenar yayıcılarından daha dar, daha dairesel bir ışın yayar. Ve kısa boşluk uzunluğu nedeniyle sadece bir mod yayar. (Colinge, C.A. 2005)



Şekil 2.47. VCSEL lazer diyot

VCSEL yapısının birçok tasarımı vardır, ancak hepsinin ortak yönleri vardır. VCSEL'lerin boşluk uzunluğu, yayılan elektromanyetik dalgasının tipik olarak dalga boyunda çok kısadır. Sonuç olarak, boşluğun tek geçişinde, bir fotonun düşük taşıyıcı yoğunluklarında uyarılmış bir emisyon olayını tetikleme şansı azdır. Bu nedenle, VCSEL'lerin verimli olması için yüksek yansıtıcı aynalara ihtiyaç vardır. Kenar yayan lazerlerde, yansıtıcılık yaklaşık %30'dur. VCSEL'ler için, düşük eşik akımlarında gereken yansıtma %99,9'dan fazladır. Metalik aynalar kullanılarak bu kadar yüksek bir yansıtma elde edilemez. VCSEL'ler Dağıtılmış Bragg Reflektörleri kullanır. (DBR'ler) Bunlar, kırılma indisi farklı olan yarı iletken veya dielektrik malzemelerin alternatif katmanlarının döşenmesiyle oluşturulur. DBR'ler için kullanılan yarı iletken malzemeler, kırılma indeksinde küçük bir farka sahiptir. DBR katmanları cihazdaki akımı da taşıdığından, daha fazla katman cihazın direncini artırır ve bu nedenle ısı dağılımı sorun olabilir. (Krohn.D.A 1992)



Şekil 2.48. Dağıtılmış Bragg Reflektörleri (DFB) ayna katmanları

Bununla birlikte, dikey boşluk yüzeyi yayan lazer diyotlarında, optik boşluk, akım akışının eksenini boyuncadır. Kısmen yansıtıcı aynalar, optik boşluğun uçlarına yakın yerleştirilir. Boşluğun boyutlarını küçültmenin yanı sıra, bir VCSEL cihazının eşik akımını, kazancın meydana geldiği enine kesit alanını sınırlayarak azaltabilir. Yüksek yansıtıcı aynaların ve akımın hapsedilmesinin sağlanma biçiminde genellikle farklılık gösteren bir dizi farklı lazer türü vardır.

Bu lazerler verimli ışık kaynaklarıdır, LED gibi ışık yayarlar fakat LED'den farklı olarak tek dalga boylu, güçlü ve düz ışık huzmesinden oluşmaktadır.

Yarı iletken lazerler, düşük eşik akımlı, yüksek hızda modülasyona elverişli, verimli, kompakt ve düşük maliyetlidir. Yarı iletken lazerler fiber optik haberleşme sistemleri, medikal sistemler gibi günlük hayatımızda kullandığımız birçok uygulamada temel malzeme olarak kullanılmaktadır.

Yarı iletken lazer, parlaklıkları, güvenilirlikleri ve kompakt boyutları nedeniyle çok çeşitli tıbbi uygulamalara fayda sağlar. Özellikle foto dinamik terapide (PDT) ve cerrahi prosedürlerde öne çıkarlar. PDT, cilt altında ışığa duyarlı hale getiren bir maddeyi görünür ışığa maruz bırakarak melanom dışı cilt kanserini ve kanser öncesi durumları tedavi eder. Diyot lazerler, nokta boyutunda esneklik sağlayarak cilt üzerinde hedef kontrolü sağlar.



Şekil 2.49. Yarı iletken lazerlerin tıp ve biyolojide kullanımı

Yarı iletken lazer, diğer lazer türlerine göre oldukça basit bir yapıya sahiptir. Küçük boyutu ayrıca daha kolay kullanım ve erişim sağlar. Pn bağlantısı içindeki süreç de oldukça verimlidir ve sonuç olarak diyotlar düşük güç tüketimi gerektirir. Ek olarak, farklı diyotlar çok çeşitli dalga boylarına erişir. Nispeten düşük maliyetle birlikte bu faktörler, diyot lazerleri birçok farklı uygulama için en ekonomik seçim haline getirir.

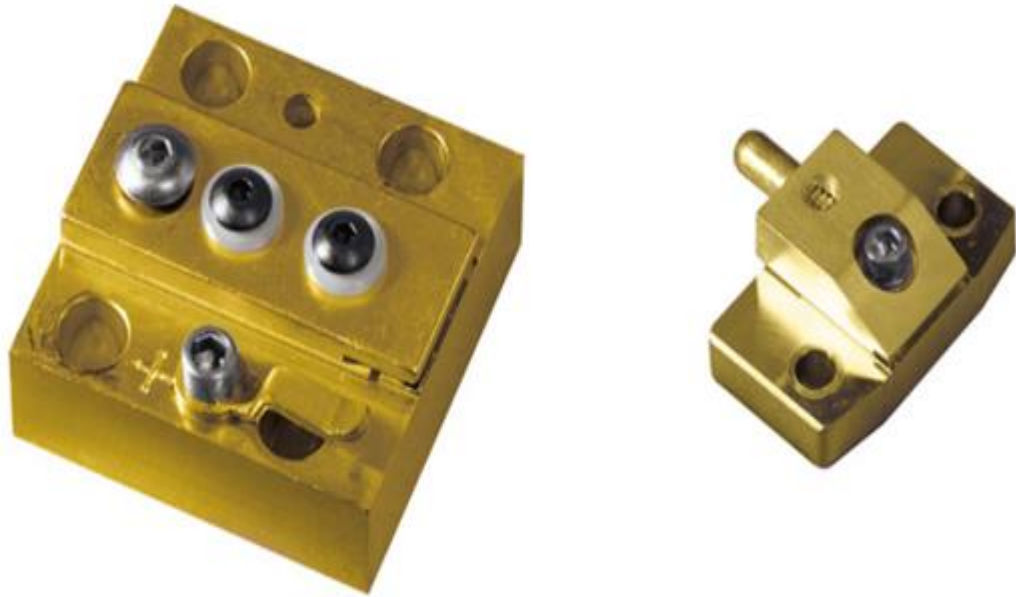
Yarı iletken lazerlerin dezavantajları;

- Nispeten düşük güç üretim nedeniyle, bu lazerler birçok lazer uygulamasına uygun değildir.
- Yarı iletken lazer büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık, lazerin çıktısını büyük ölçüde etkiler.
- Yarı iletken lazerlerin lazer ortamı çok kısa ve dikdörtgen olduğundan çıkış ışını profili alışılmadık bir şekle sahiptir. Işın sapması, diğer tüm lazerlere kıyasla daha fazladır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Yüksek Güçlü Lazer Diyotlar

Lazer diyot, elektrik biçimindeki enerjiyi içerisindeki bir ya da daha fazla yarı iletken lazer çip ve mevcut lensler yardımıyla fiber optik kabloya odaklayarak optik güç yani ışık demeti üretir.



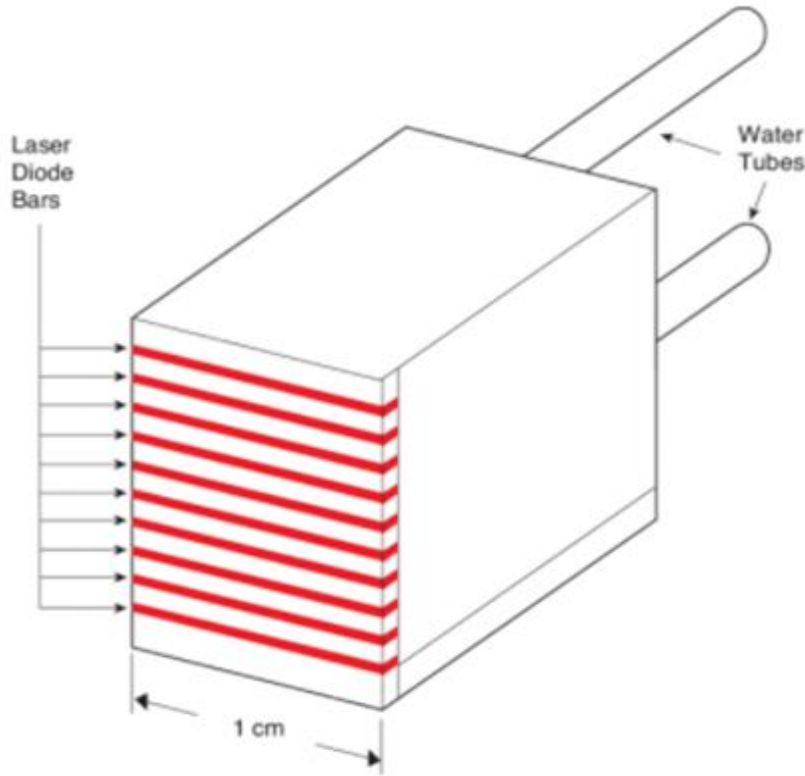
Şekil 3.1. Yüksek güçlü lazer diyot

Yarı iletken genellikle, İndiyum Fosfit (InP) veya Galyum Nitrür (GaN) ve Galyum Arsenit (GaA) gibi bileşiklerden oluşur. Elektrik enerjisiyle yarı iletkendeki elektronlarının enerji seviyesi geçici olarak yükseltilir ve temel enerji seviyelerine geri döndüklerinde enerji, foton biçiminde yayılıp daha sonra bir ışına odaklanır. Lazer diyotlar genellikle, diyot yığını adı verilen iki boyutlu bir dizi halinde birleştirilen diyot çubukları ve merceklerden oluşur. Diyot içerisinde bulunan diyot(çubukları) barları ve çeşitli mercekler vasıtasıyla optik gücü arttırmak üzere lazer ışınını çıkışa yönlendirirler.

Katı hal lazer çubuklarının pompalanmasını içeren uygulamalara ek olarak, yüksek güçlü lazer diyotlar fiber optik telekomünikasyon amaçları için çok faydalıdır. Bu

uygulamalarda, erbiyum katkılı fiber yükselteçler için pompa kaynağı olarak 980 nm dalga boyunda çalışan yüksek güçlü bir lazer diyot kullanılmaktadır. Bu tür optik yükselticiler, uzun mesafeli telekomünikasyon hatları boyunca yayılan 1550 nm dalga boyundaki telekomünikasyon sinyallerinin doğrudan optik amplifikasyonunda kullanılır. Bu şekilde, elektriksel yükseltici devreleri kullanma ihtiyacı ortadan kalkar ve optik sinyaller, daha yüksek verimlilikle ve ışık sinyalini bir elektrik sinyaline ve geri dönüştürmeye gerek kalmadan doğrudan yükseltilir.

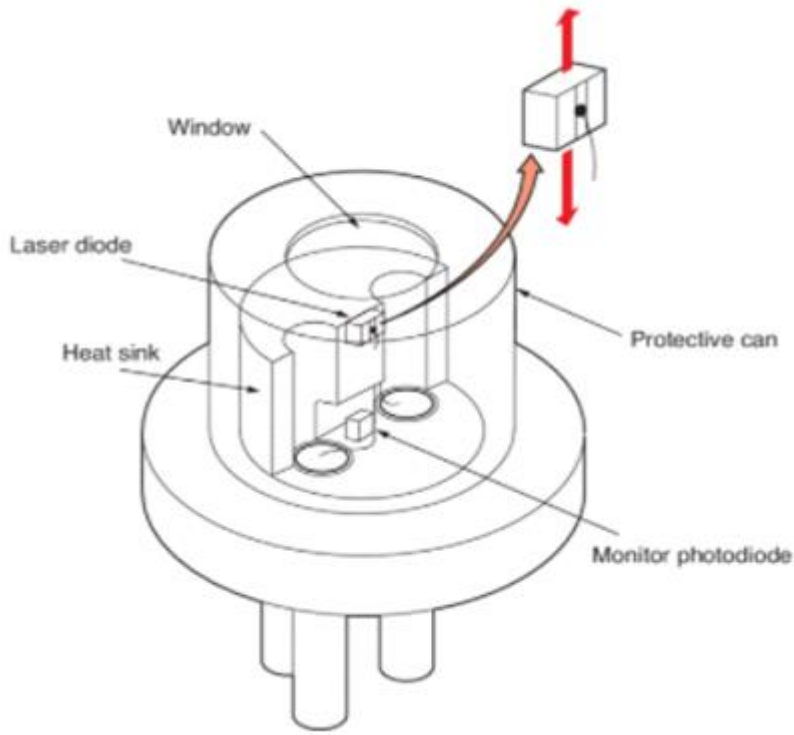
Birkaç yüksek güçlü lazer diyot çubuğunu birbirinin üzerine yığarak, potansiyel olarak kilovat aralığında çıkış güçleri olan yığılmış lazer diyot dizileri yapmak mümkündür. Yüksek güçlü lazerler, endüstride metallerin ve diğer malzemelerin hassas parametrelerde kesilmesi gibi uygulamalarda çok çeşitli yeni olanaklar sağlamaktadır.



Şekil 3.2. Yüksek güçlü yığılmış çubuk lazer diyot paketinin şematik diyagramı

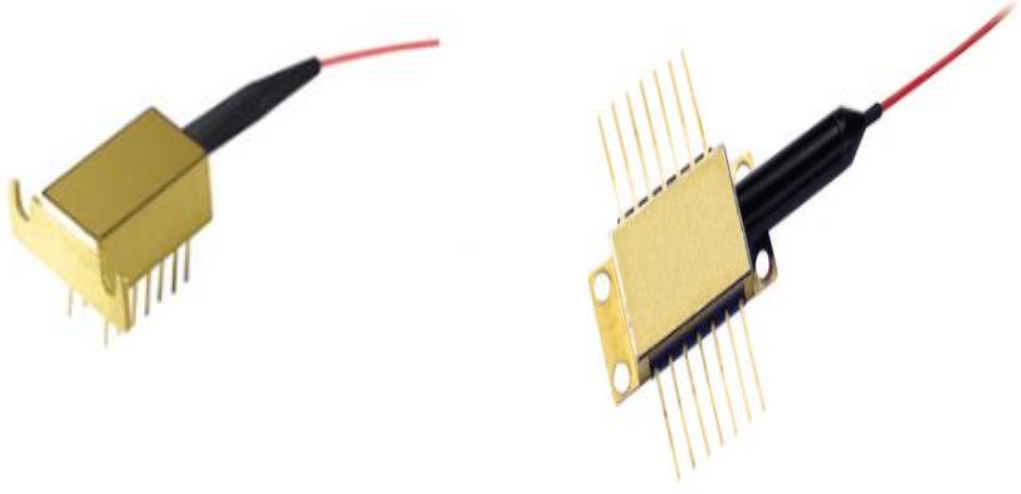
3.2 Düşük Güçlü Lazer Diyotlar

Düşük güçlü lazer diyotlarda entegre bir monitör foto diyot bulunur. Genellikle lazer diyotlar, boşluklarının her iki ucundan da ışık yayar. Lazer diyotunun arka yüzeyindeki çıkış ışını izlenerek, lazer sabit bir güç seviyesinde tutulabilir. 1 W veya daha düşük güç seviyeleri için, kullanılan en yaygın paket TO-Can tarzıdır ve 5,6 mm veya 9 mm çaplı tabanda mevcuttur. Diğer paketler, daha yüksek güçlü lazer diyotları (>1 W) için TO-3 paketlerini içerir.



Şekil 3.3. Kutu tarzı pakette lazer diyot ve monitör foto diyot düzenlemesi

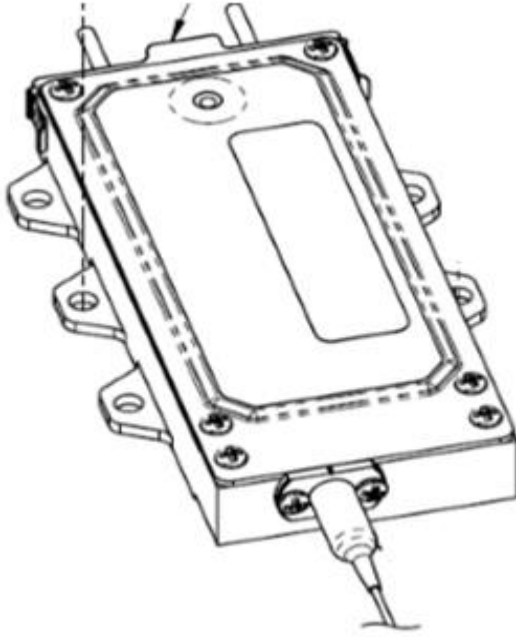
Telekomünikasyon lazer diyotları kelebek veya DIL (Çift Hat İçi) 14 pinli paketlerde üretilir. Telekomünikasyon lazer diyotlar, termoelektrik soğutucu (TEC) modülü içerir ve hepsinde ısı dağılımı için bir montaj plakası bulunur.



Şekil 3.4. Çift hatlı 14 pinli ve kelebek paket telekomünikasyon lazer diyot

Tez çalışmasında kullandığımız diyotlar, doğrudan bant aralığında, çift modlu (multi mode) olup 915 nm dalga boyundadır. Yüksek parlaklığa sahip lazer pompalama diyot, 135 μm çekirdek fiberi 0,15 sayısal açıklığında 200 W güç sağlar. Yüksek güçte güvenilirlik için optimize edilmiş yeni nesil yüksek güçlü tescilli çip kullanır.

Tez çalışmasında kullanılan çok modlu pompa diyot, daha büyük bir çekirdeğe sahiptir ve daha uzun bir dalga boyunda ışık kullanır. Bu nedenle, çok modlu optiklerin lazerden ışık toplama kapasitesi daha yüksektir. Ayrıca yüksek parlaklık, küçük boyut ve basitleştirilmiş termal yönetim sunmaktadır. Diyotlar, tahmin edilebilir yüksek güvenilirliğe sahip hava veya su soğutmalı mimarilere izin veren dağıtılmış ısı kaynakları olarak çalışmaktadır.



Şekil 3.5. Kullanılan diyot teknik resim

Lazer diyot olarak da bilinen pompalama diyotları, kullanıldığı yarı iletken element ve paket yapısına göre çeşitlilik göstermektedir.

Diyot içerisindeki çubuklar dağınık olarak oluşan ışığı, lensler yardımıyla yatay ve dikey ekseninde paralelleştirip polarize eder. Polarize olan ışık tek taraflı yansıtıcı prizmalar üzerinden toplayıcı lense gönderilerek optik gücü arttırmak üzere lazer çıkışına yönlendirilir.

Yüksek güçlü bir lazer diyot, gücü sağlayan bir ışık kaynağı gibi optik pompa olarak kullanılır. Diyot pompalı bir lazerde, yüksek güçlü bir lazer diyot, lazerinin kazanç ortamına bir ışık demeti gönderir. Diyot lazerinden gelen ışık, kazanç ortamına enerji verir; bu da, yüksek güçlü bir lazer diyotun kendi üretebileceğinden daha yüksek ışın kalitesine sahip bir ışına odaklanabilen bir ışık üretmeye başlar.

Lazer diyot içerisinde kullanılan barların ne kadar güç ihtiva ettiği ve elde edilen dalga boyu, diyotun kalitesini belirler.(Hagop Injeyan 2011)

Lazer ışınının oluşumu ve sürekliliğinin sağlanması uyarıma bağlıdır. Lazer ışını oluşurken pompa diyot sürekli olarak çalışır.

Diğer ışık kaynaklarının aksine, lazer diyotları, tüm ışık dalgalarının benzer dalga boylarına sahip olduğu dar bir lazer ışığı ışını üretir ve sıralanmış tepe noktaları ile

birlikte hareket ederler. Bu nedenle lazer ışınları çok parlaktır ve çok küçük bir noktaya odaklanabilir.

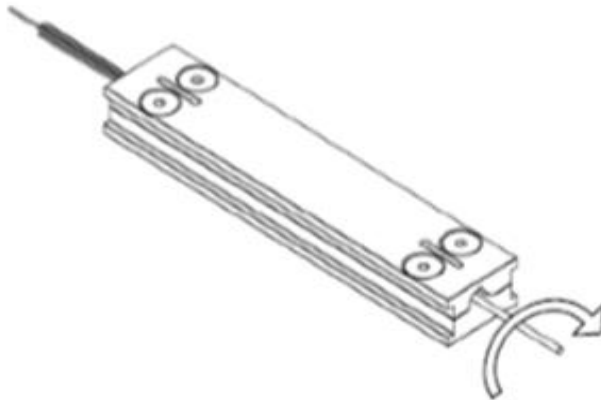
Yüksek güçlü lazer diyotlar, dielektrik yarı iletken kristalinin absorpsiyon bandına göre ayarlanmıştır, bu da lazerin çok daha verimli pompalanmasıyla sonuçlanır ve buradan yüksek güçlü odaklanmış tutarlı bir ışık demeti yayılır. Bu ışın daha sonra çeşitli endüstriyel, tıbbi ve askeri uygulamalarda kullanılabiliriz. Lazer diyotlar, geniş bir dalga boyu aralığında çeşitli dielektrik kristallerin absorpsiyon bantlarını eşleştirmek için geliştirilmiştir.

3.3 Pompa Diyot Birleştirici (Combiner)

İnceltmiş fiber demeti (Tapered Fiber Bundle TFB) tekniğinden yararlanarak üretilen pompa diyot birleştirici birden fazla ve ayrı ayrı ilerleyen pompa ışığını toplayarak tek bir fibere eşleyen, pasif fiberlerden oluşan optik sistemdir.

Oluşturulan sistemde kullanılan tüm pompalama diyotlarından gelen ışınları, aktif fibere ileten pompa diyot birleştiriciler, yüksek ışın kalitesini korur ışığı dalga kılavuzundan ayrılmaz ve pompa ışığının iç kısma çok verimli bir şekilde bağlanmasını sağlar.

Tipik pompa güç birleştirici konfigürasyonu, yedi adet MM fiberli (çekirdek/kaplama çapı 105/125 μm ve çıkış fiberi 125 μm iç kaplama çapına sahip) 7×1 'dir. (Holland, W.R 2016)

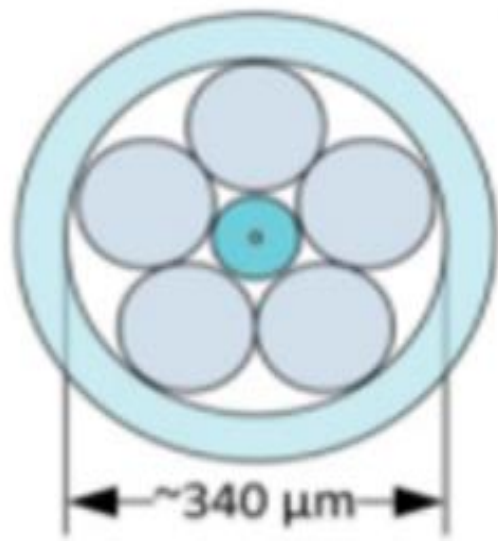


Şekil 3.6. Kullanılan fiber birleştirici (combiner) teknik resim

Çoğunlukla güç birleştiriciler, TFB teknolojisi ile N sayıdaki pompa kaynağını MM fiber ile tek bir çıkış fiberinde uç pompalama yöntemiyle birleştirir. (Kosterin 2004, Zou,S 201)

$(N+1) \times 1$ göre; Pompa ve sinyal güç birleştirici durumunda en popüler konfigürasyon $(6 + 1) \times 1$ 'dir. (Stachowiak, D. 2018)

Giriş fiberlerinin boyutları ve sayısı, sinyal fiberinin merkezde ve pompa fiberleri ile çevrili olacağı şekilde düzenlenmelidir.(Stachowiak,D. 2017)

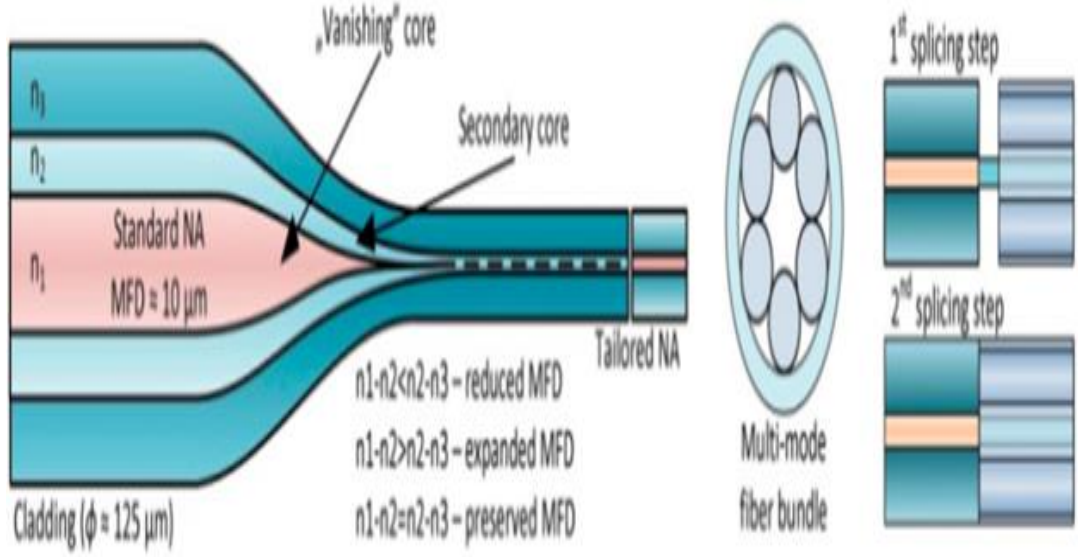


Şekil 3.7. 6 adet fiber girişi olan bir fiber birleştiricinin üretim şeması (Stachowiak,D.2017)

İlk önce, kılcal boruya altı adet pompa fiberi yerleştirildi ve halka şekli oluşturacak şekilde temas ettirildi. Daha sonra demet, ortada yaklaşık 100 µm çapında bir altıgen delik oluşturacak şekilde sivriltildi.

Giriş sinyali fiberinin kaplaması, kimyasal korozyon ile 100 µm'nin altına düşürülmüştür. Sinyal fiberi önceden hazırlanmış demette deliğin ortasına yerleştirildi. (Zhao,K. 2015)

İki aşamalı olan birleştirme, ilk olarak demetten gelen sinyal fiberinin çıkış fiberiyle birleştirilmesi ardından demette kalan pompa fiberlerinin çıkış fiberine taşınması ve dikkatlice birleştirilmesi anlamına gelmektedir. (Zou,S. 2017)



Şekil 3.8. 7 adet fiber girişi olan 7×1 konfigürasyonda pompa güç birleştiricinin üretimi (Zou,S. 2017)

Çizelge 3.1. Giriş ve çıkış fiberlerinin çap ve NA değerlerine göre geliştirilebilecek fiber birleştirici çeşitleri (Stachowiak,D.2018, Hakan Sayıncı,2012,Stachowiak 2017)

Konfigürasyon	Sinyal Fiberi, NA	Diyot Giriş Port Fiberi, NA	Çıkış Fiberi, NA	Sinyal/ Pompa İletim Verimliliği
$(4 + 1) \times 1$	25/250 μm , NA:0,06/0,46	105 μm , NA:0,22	25/250 μm , NA:0,06/0,46	%97/90
$(5 + 1) \times 1$	9/80 μm , NA: 0,13	105/125 μm , NA:0,22	9/125 μm , NA:0,122/0.46	%94,5/91
$(6 + 1) \times 1$	8,2/125 μm , NA:0,14	105/125 μm , NA:0,15	25/250 μm , NA:0,6/0,46	%94/96–99
$(6 + 1) \times 1$	6–10/125 μm , NA:0,14	105/125 μm , NA:0,15/0,22	25/250 μm , NA:0,06/0,46	%94/94
$(6 + 1) \times 1$	20/400 μm , NA: 0,065	200/240 μm , NA:0,22	20/400 μm , NA:0,065	%91/99,8
$(6 + 1) \times 1$	20/400 μm , NA:0,06/0,46	200/220 μm , NA:0,22	20/400 μm , NA:0,06/0,46	%97,7/98
$(6 + 1) \times 1$	30/220 μm , NA:0,06	200/220 μm , NA:0,22	30/600 μm , NA:0,06	99,8/94,8
$(6 + 1) \times 1$	10/125 μm , NA:0,08/0,46	105/125 μm , NA:0,22	20/400 μm , NA:0,06/0,46	%87,52/98,6
$(8 + 1) \times 1$	100/200 μm , NA:0,054/0,46	105/125 μm , NA:0,15	100/400 μm , NA:0.054/0.46	%98/96,8

$(6 + 1) \times 1$ konfigürasyonu, güç birleştiricisinin en yaygın konfigürasyonudur.

Fiber birleştiricilerde aktarılan gücü iletebilme oranı giriş çıkış fiberlerinin sahip olduğu özelliklere bağlıdır. (Liuk,2017)

Tez çalışmasında kullandığımız fiber birleştirici 19×1 konfigürasyonundadır. Pompa diyot 135/155 μm çekirdek/kılıf fiberine sahiptir. Çıkış fiberi 600/660 μm çekirdek/kılıf çapındadır.

3.4 Parlaklık

Lazer sistemlerinin pompa kaynağını oluşturan pompa diyotların temeli yarı iletkenler pn eklem olarak üretilirler. PN eklem üzerine gerilim uygulandığında ışının çıkış açısı yatay veya dikey olarak üretilen lazer diyotun özelliğine bağlıdır. Lazer ışını fiber optik kablo içerisine yönlendirmek için diyot içerisinde bulunan diyot(çubukları) barları, çeşitli mercekler ve lenslerden geçirerek odaklamak gerekir. Ancak bu odaklama sırasında çeşitli kayıplar meydana gelmektedir. Optik güç kaybı lazerin parlaklık terimi ile ölçülmektedir.(Limpert, 2003)

Odaklanan bir Gauss ışınında aksenal yaklaşımın kullanılabilmesi için, odakta belirli bir ışın yarıçapı w_0 ve sapma açısı θ 'da yeterince küçük açılara sahip olduğumuzu varsayıyoruz. Sonra optik yoğunluğu;

$$I = \frac{P}{\pi w^2} \quad (3.1)$$

İfade etmektedir.

Katı açı yaklaşımından

$$\Omega = \pi \theta^2 \quad (3.2)$$

Kullanılarak parlaklık tanımı için şunları elde ederiz:

$$L = \frac{P}{\pi \theta^2 \pi W^2} = \frac{P}{\pi W^2} = \frac{P}{\pi \left(\frac{\lambda}{\pi W}\right)^2} = \frac{P}{\lambda^2} \quad (3.3)$$

Pompa diyot parlaklığı, uzaysal ışın kalitesine, M^2 ışın kalite faktörüne, yakın alan boyutu ve ışının uzak alan açısına bağlıdır. (Milloni 1988)

$$L = \frac{P}{M_x^2 M_y^2 \lambda^2} \quad (3.4)$$

1.5 denklemini, ışığın (parlaklığın) dalga boyundan ayrı olarak esasen güce ve ışın kalitesine bağlı olduğunu ifade etmektedir. (Kasap.O.S 2001)

3.5 Işığın Yansıma Kırılma ve Snell Yasası

17. yüzyılda Huygens ve Hooke ışığın dalgalardan oluştuğunu savunurken 19.yüzyılda Newton ışığın parçacıklı bir yapıda olduğunu savunmuştur. 1905 yılında Einstein, enerjinin parçacık gibi davranarak belli bölgelerde yoğunlaştığını öne sürerek bu parçacıklara “foton” adını vermiştir.

Işık, bir ışımının ışık kaynağından çıktıktan sonra nesnelere çarparak veya direkt olarak yansıması sonucu canlıların görmesini sağlayan olgudur.

Işığın optik fiber içerisinde ilerlerken sergileyecek olduğu davranışı, Işık teorisi modeli kullanılarak incelenir. Bir ışın, yoğun olan ortamdaki, az yoğun ortama geçtiğinde daha yavaş hareket eder. Işığın farklı yoğunluktaki ortamları geçişi sırasında hızını ve doğrultusunu değiştirmesi olayına kırılma denmektedir.

Bir maddenin kırılma indisi, ışığın boşluktaki hızının, ışığın o madde içerisindeki hızına oranıdır. Matematiksel olarak göstermek gerekirse,

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.5)$$

ifade edilmektedir ve 3.5 denkleminde;

n:Kırılma indisi

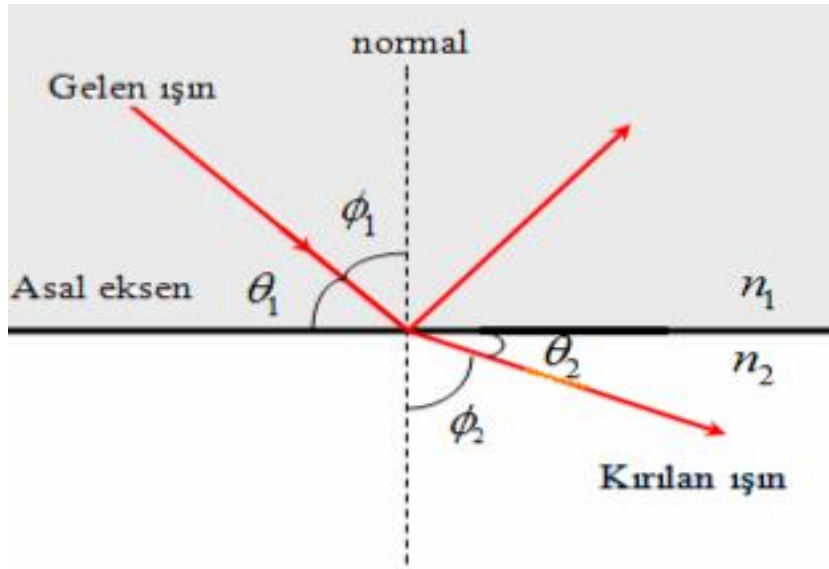
c:Işığın boşluktaki hızı ($3 \cdot 10^8$ m/s)

V: Işığın madde içerisindeki hızı

belirtmektedir.

Kırılma indisi hava için $n:1$, su için $n:1.33$, cam için $n:1.5$ 'dir.

Bir ışın iki farklı ortamı ayıran sınırla karşılaştığında, ışığın bir kısmı ilk ortama yansırken geri kalan kısmı ise ikinci ortama geçmektedir. Ara yüzeyde ışığın kırılma ve yansıma durumu farklı iki ortamdaki ışık hızının aynı olmamasından dolayıdır. Kırılma indisleri arasında $n_1 > n_2$ ilişkisi bulunan ortamda ışığın bir ortamdan diğerine geçerken, izlediği yol şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Yoğunlukları farklı iki ortamda ışığın izlediği yol

Işığın kırılma indisleri farklı olan iki ortamda izlediği yol Snell Yasası ile ilişkilendirilir,

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (3.6)$$

1.8 denkleminde,

n_1 : Birinci ortamın kırılma indisi

n_2 : İkinci ortamın kırılma indisi

$\sin \theta_1$: Gelen ışının normalle yaptığı açının sinüsü

$\sin \theta_2$: Kırılan ışının normalle yaptığı açının sinüsü

belirtmektedir.

Yansıma kanununda, ışın yüzeye çarptığında eşit açı ile yansır. Işının, optik olarak yoğun olan yani kırılma indisi büyük olan bir ortamdan yansımaya “içe yansıma” denir. Işının optik olarak daha az yoğun ortamdan yani kırılma indisi küçük olan bir ortamdan yansımaya “dışa yansıma” denmektedir.

Optiksel açıdan daha yoğun ortamdan gelen ışığın normale yaptığı gelme açısı θ_1 büyüdükçe, kırılan ışığın normale yaptığı kırılma açısı θ_2 değerinde artmaktadır. Bunun sonucu olarak kırılma açısı $\frac{\pi}{2}$ 'ye yaklaştığında gelen ışın olduğu gibi yansımaktadır. Bu olaya “iç tam yansıma” denmektedir ve gelen ışın tümüyle yansır. (G.Costa Rodriuesn,2014)

Snell yasası kullanılarak tam yansıma koşulunun

$$\theta_c = \sin^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (3.7)$$

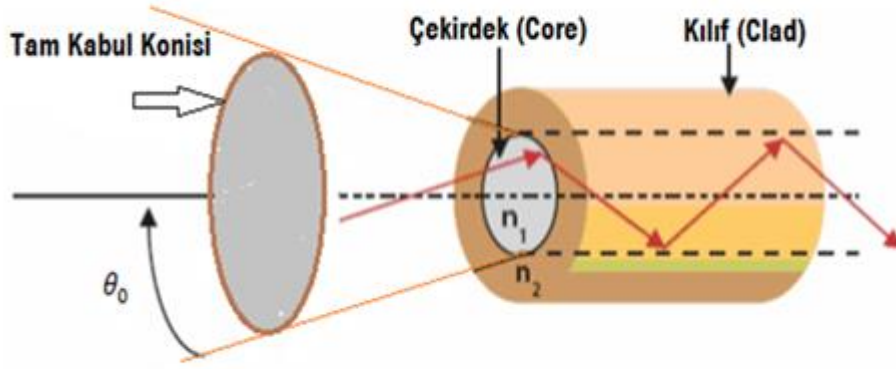
olduğu sonucuna varılmaktadır.

1.9 denklemindeki θ_c kritik açı olarak tanımlanmaktadır. Tam iç yansıma koşulu, gelen ışının, ara yüzeyin normali ile yapmış olduğu θ_1 açısı kritik açıdan büyük olduğunda sağlanmış olur. Bu durumda ışın tamamen ilk ortamda kalarak, tümüyle yansımaktadır.

3.6 Sayısal Açıklık (NA)

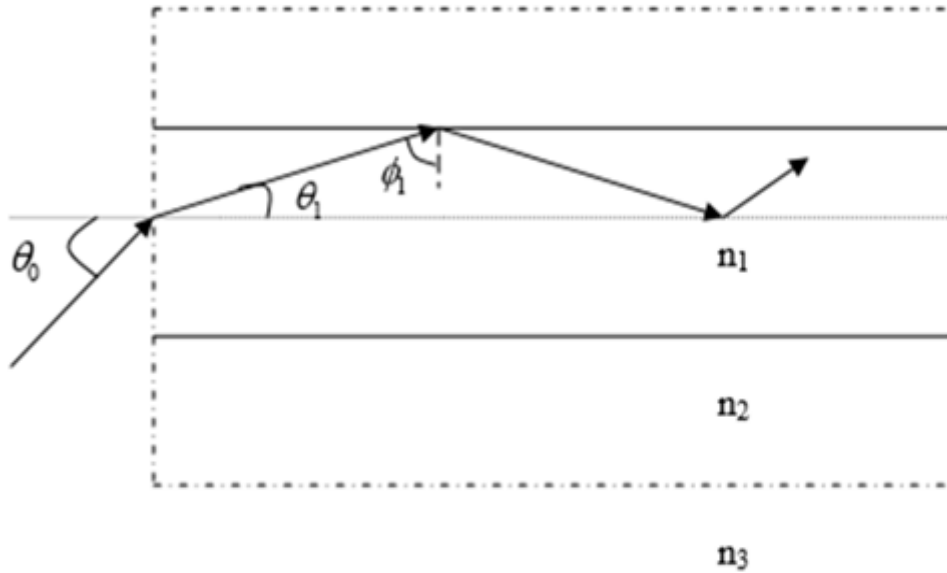
Sayısal açıklık çekirdek ve kılıfın kırılma indisleri arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır ve fiberin ışık toplayabilme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Optik fiberin ışık kabul kapasitesinin ölçüsüdür.

Işığın ilerleyeceği çekirdeğin çapı ışık kaynağının çapından geniş olmalıdır. Gelen ışığın çapı ilerlediği çekirdeğin çapından geniş olduğunda, ışık kılıf bölgesine zorlanmadan geçer. (G.Costo Rodrigues*,2014)



Şekil 3.10. Sayısal açıklık

θ_0 , maksimum giriş açısıdır. Gelen ışın maksimum giriş açısından daha büyük açı ile ilerliyorsa kırılma olayı meydana gelir ve ışın kılıf bölgesine geçer.



Şekil 3.11. Işının çekirdek içerisinde ilerlemesi (Stachowiak 2017)

Snell yasasından kritik açı değerinde,

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (3.8)$$

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin \frac{\pi}{2} \quad (3.9)$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (3.10)$$

İfade edilir ve

$$n_3 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1 = n_1 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_c \right) = n_1 \left[1 - \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = (n_1^2 - n_2^2)(n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3.11)$$

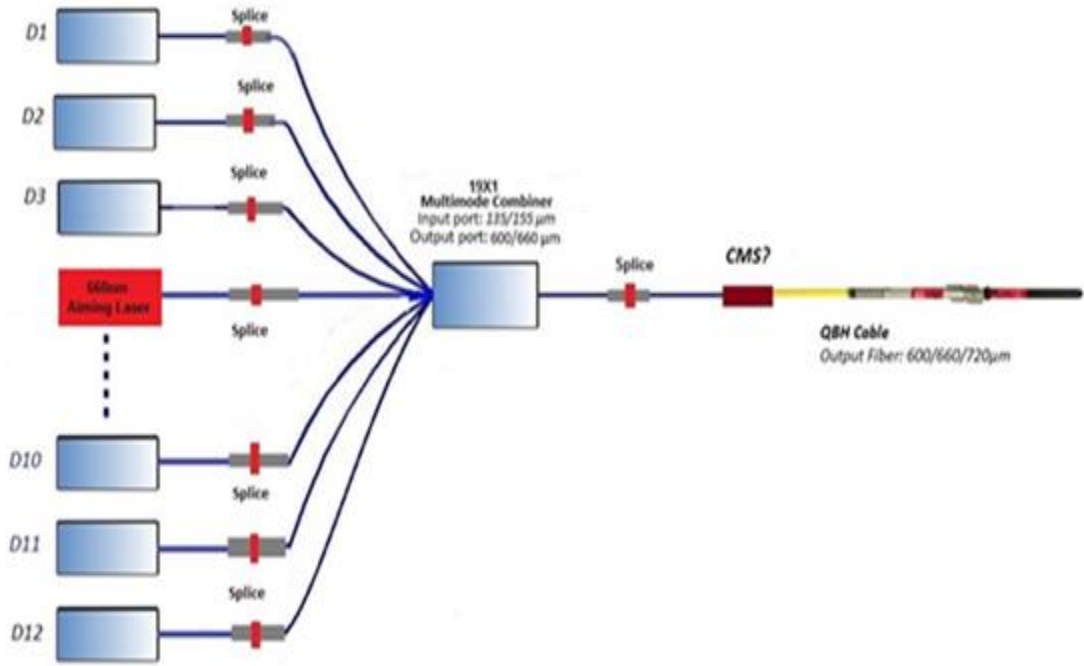
Sonucuna ulaşılır ve 3.11 denklemini sayısal açıklık (NA) ifade etmektedir.

Sayısal açıklık ışığın aktarımında optik fiberin ışık kabul kapasitesinin ölçüsü olup en önemli etmendir. Sayısal açıklık, ışığın optik fiber içerisine girip ilerleyebileceği maksimum açı, yani kabul açısıdır ve tam kabul açısı, maksimum giriş açısının iki katına eşittir.

3.7 Doğrudan Diyot Lazer Sistemi

Doğrudan Diyot Lazer sisteminde istenilen sayıda pompalama diyotunu ışın şekillendirme optiğinden yararlanılarak, katkılı fiber sisteminden geçirilmeden (kaviteye girmeden) doğrudan, ışın birleştirici (combiner) ve taşıyıcı kablo (Qbh) yardımıyla kontrol elektroniği ve bir soğutma ünitesi ile birleştirilir.

Doğrudan diyot lazerin ışını, diğer lazer teknolojilerinden farklıdır. CO² lazerlerin dalga boyu 10,6 μm ve fiber lazerlerin dalga boyu 1,06 μm'dir. Doğrudan diyot lazerin dalga boyu 0,94 ila 0,97 μm. Doğrudan diyot lazerlerinin çoğu, ancak tümü değil, kızılötesine yakın (IR'ye yakın) ışık yaymaktadır. (Limpert, 2003)



Şekil 3.12. Tez çalışmasında oluşturulan Doğrudan Diyot Lazer Sistemi

Doğrudan diyot lazer sistemleri mevcut sistemlerden kompakt olduğundan daha az yer kaplamaktadır. Diyot lazerler, operasyon maliyetlerini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptirler düşük bakım maliyetli gerektirirler.

Yüksek güçlü geniş alan diyot lazerleri verimli lazer kaynaklarıdır. Elektriksel kayıplar minimum düzeyde tutulduğu için, elektrik enerjisi tüketimi büyük ölçüde azaltılmıştır. Bunun sonucunda yüksek enerji verimliliği sağlamaktadırlar. (Milloni 1988)

Işın kalitesindeki iyileştirmeler sonrası kullanıcıların lazer ışığını küçük bir noktaya odaklamasına olanak tanımaktadır. Bunun sonucu olarak DDL metal, plastik ve kompozit malzemeleri işlemek için hızla gelişen bir araç kullanılmaktadır. Lazer kaynağı gibi yüksek hassasiyet ve odağın gerekli olduğu uygulamalarda DDL fiber lazerlerle rekabet edebilir duruma gelmiştir.

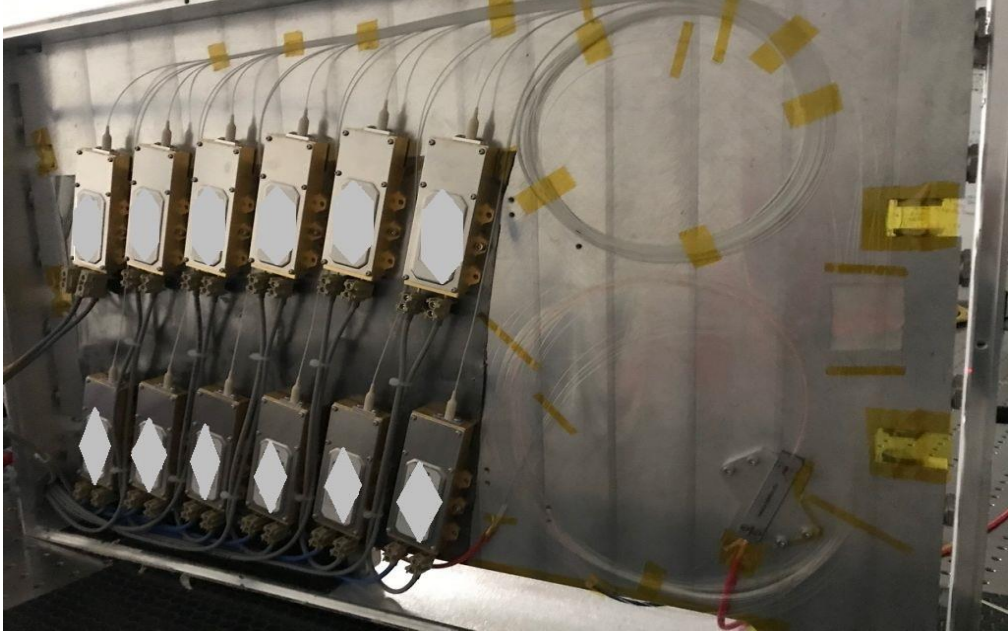
Doğrudan diyot lazer sisteminde elektrik enerjisi doğrudan lazere dönüştürebilirken, fiber lazer sistemlerinde lazer diyotları veya diyot çubukları aracılığıyla optik olarak pompalanması (enerji girişi) gereken nadir toprak metal katkılı fiberlere aracılığıyla lazer oluşumu sağlanmaktadır. (Kasap.O.S. 2001)

DDL, fiber lazerlerden farklı dalga boyları yaymaktadır. DDL ile eşleşen absorpsiyon spektrumlarıyla malzemeleri daha verimli bir şekilde işleyebilme olanağı sunmaktadır.

3.8 Doğrudan Diyot Lazer Sisteminin Kurulması

Üretim sürecinde; 915 nm dalga boyunda 200 W çıkış gücüne sahip 12 adet 135/155 μm çekirdek/kılıf çaplarında fiber kuplajlı pompa diyot ve bu diyotların fiberlerini birleştiren 600/660 μm çekirdek/kılıf çapında çıkış fiberi bulunan pompa diyot birleştirici kullanılacaktır.

Diyot ve fiber birleştirici soğutma plakasına montajı yapılmıştır. Diyot ve fiber birleştiricinin, fiber organizasyonları uygun şartlara göre yapılmış ve ek (splice) işleminin yapılacağı bölümle belirlenmiştir.

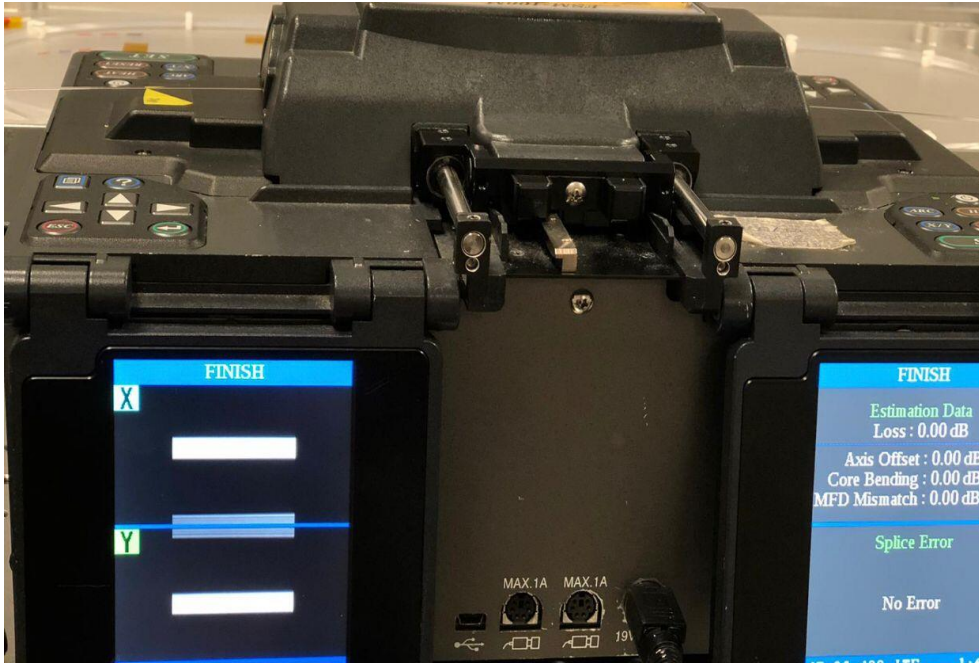


Şekil 3.13. Montajı yapılan diyot ve fiber birleştirici

Diyot ve fiber birleştirici ek işlemi uygun parametre seçilerek olması gereken standartlara göre yapılmıştır.



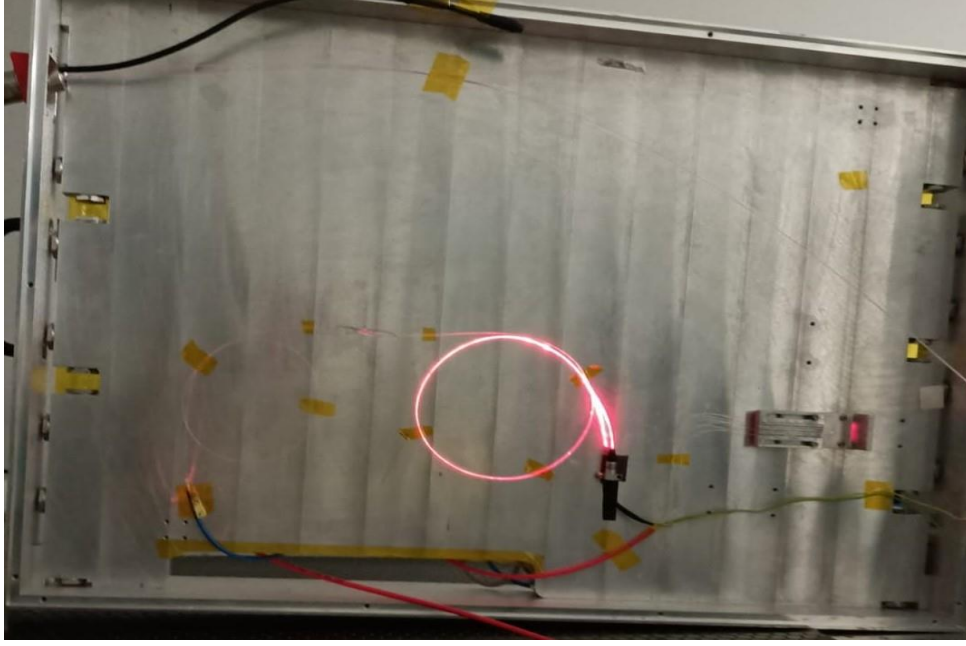
Şekil 3.14. Ek cihazında (splicer) diyot ve fiber birleştirici kesim açıları



Şekil 3.15. Ek cihazında (splicer) ek işlemi

19×1 pompa diyot birleştiricinin 12 adet pompa diyot ile ek işlemi sonrası kullanılmayan 6 adet giriş portuna sonlandırma işlemi yapılmıştır.

Pompa diyot birleştiricinin işaretleme için kullanılan sinyal (monitör) fiberi uygun kırmızı lazer kullanılarak ek işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.16. Sonlandırma ve kırmızı lazer ek işlemi

İstenmeyen modları elemek, geri yansımayı önleyerek kullanılan kamyonetlere zarar vermemek amacıyla Mod Sıyırıcı (Cladding Mode Stripper) uygulanmıştır.

CMS istenilen moddaki ışığı çekirdekten iletilir ve ışın kalitesini bozan diğer modları uzaklaştırır. (Zheng, J. 2018)

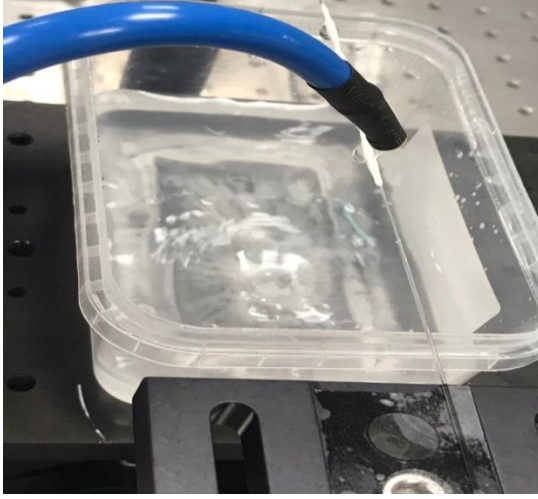
CMS iki yöntem kullanılarak gerçekleştirilir;

- Fiber aşındırma
- Yüksek (high index) indeks

Pompa diyot ışık Emilimi hiçbir zaman %100 değildir ve sinyal fiberinin ışığı da sinyal çekirdeğinden sızabilir (örneğin kusurlar veya fiber bükülmesi nedeniyle). Bunun sonucunda ışık pompa çekirdeğinde yayılabilir.

Yüksek güçlü sistemlerde, pompa fiber çekirdeğinde ışık miktarı kolaylıkla yüzlerce Watt aralığına kadar çıkabilir. Yüksek güçlü kaplama ışığı, pompa çekirdeğinde yüksek NA'sı nedeniyle absorpsiyon ve saçılma yoluyla önemli hasara neden olabilir. Bu nedenle, lazer çıkış ışığını güvenilir bir şekilde değerlendirmek ve sistemden çıkarmak çok önemlidir. (G.Costa Rodrigues 2014)

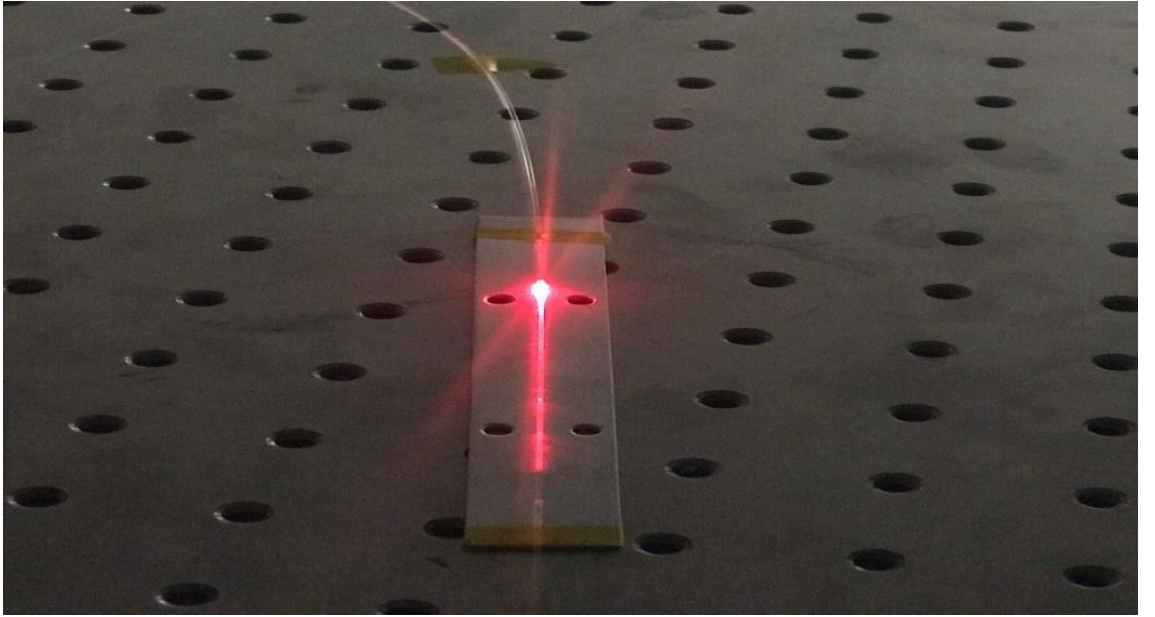
Tez çalışmamızda fiber aşındırma yöntemini kullandık. Pompa diyot birleştiricimizin 600/660 μm çekirdek/kılıf çapında çıkış fiberinde, fiber ışığın girdiği kısımdan 1,5 cm, QBH (taşıyıcı kablo) ışığının çıktığı kısımda 1,0 cm olacak şekilde aşındırılmıştır.



Şekil 3.17. Fiber aşındırma işlemi



Şekil 3.18. İşlem sonrası fiber durumu

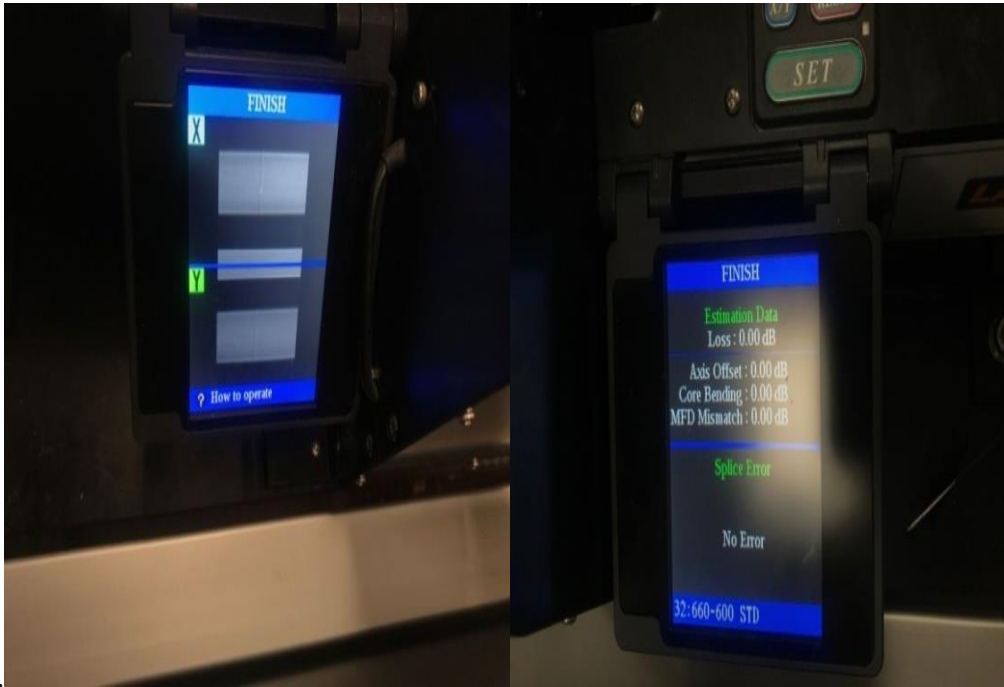


Şekil 3.19. Mod Sıyırıcı

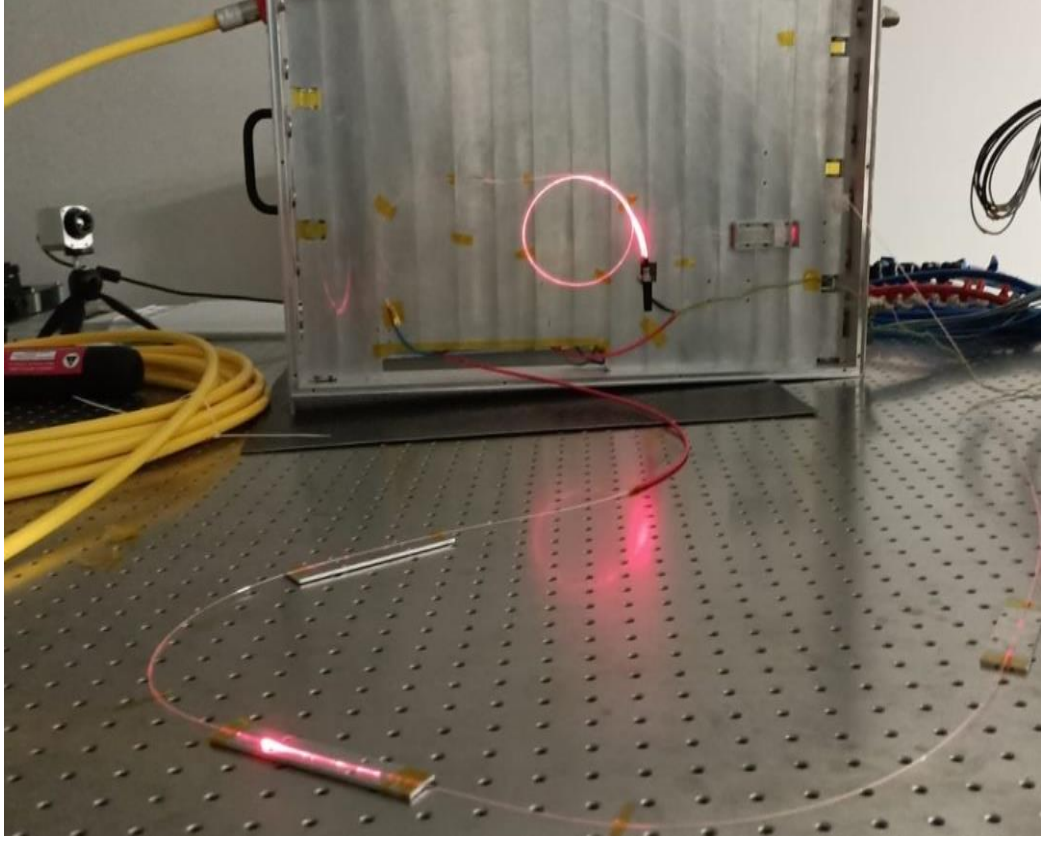
CMS sonrası ek işlemi yapılarak uzatılan 600/660 μm çekirdek/kılıf çapındaki uzatma fiberi ve 600/660 μm çekirdek/kılıf çapında QBH fiberi uygun standartlara göre ek işlemi ile birleştirilmiştir.



Şekil 3.20. Ek cihazında ek fiber ve QBH fiberi kesim açıları



Şekil 3.21. Ek cihazında ek işlemi durumu



Şekil 3.22. Tez çalışmasında oluşturulan DDL sistemi son durumu

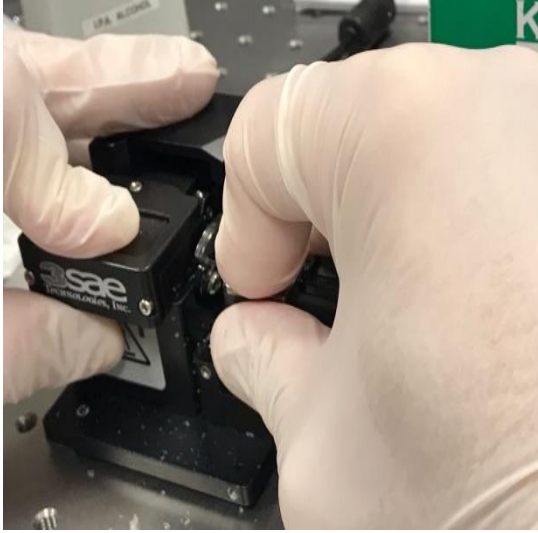
4. BULGULAR

4.1 Yapılan Ölçümler

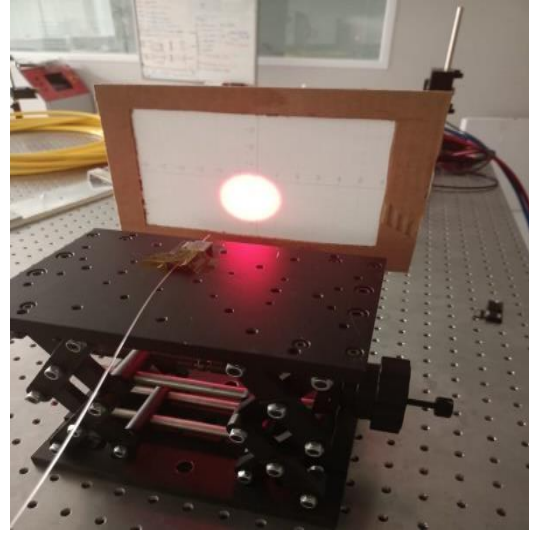
4.1.1 Sayısal Açıklık (NA) Ölçümleri

İlk olarak sayısal açıklık (NA) ölçümleri alınmıştır.

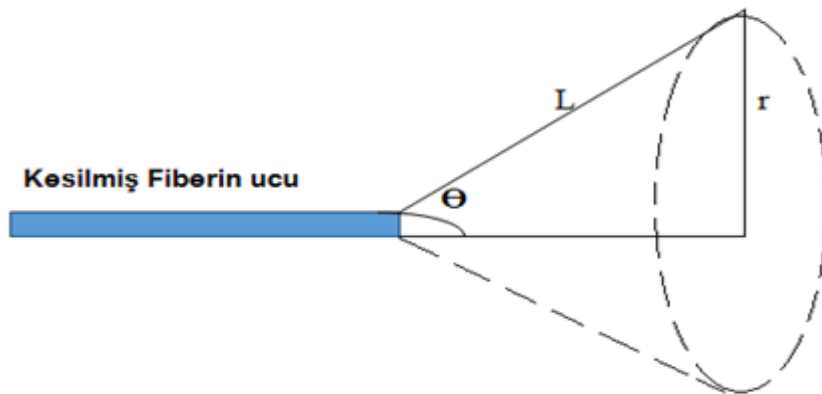
Çıkış fiberi kesimi sonrası fiber tutucu (holder) içerisinde sabitlenerek hedefe hizalaması yapılır.



Şekil 4.1. Çıkış fiberi sıyırma işlemi



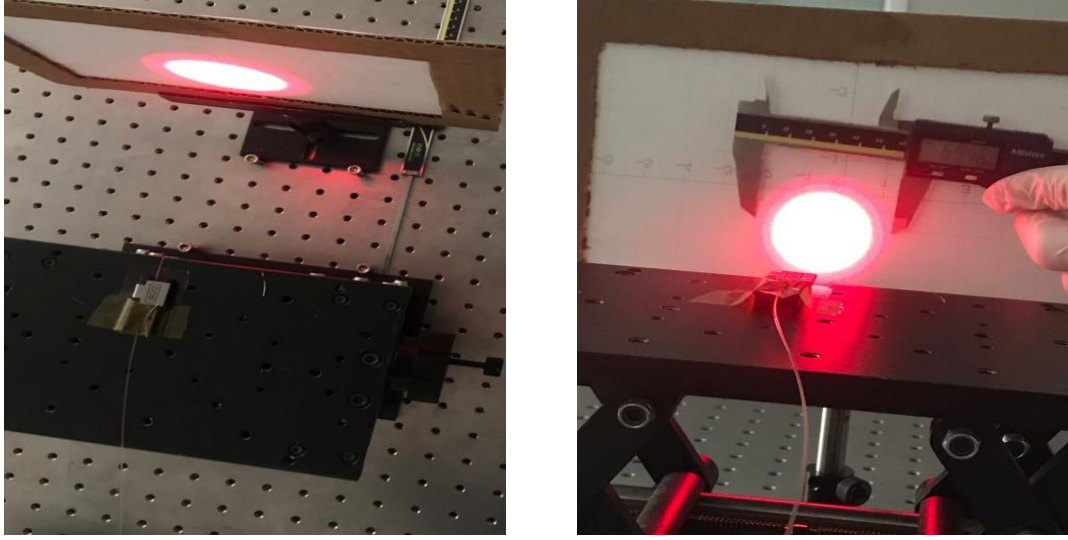
Şekil 4.2. Hedefe hizalama



Şekil 4.3. Sayısal açıklık hesaplaması

$$N_A = \sin \Theta = \frac{r}{L} \quad (4.1)$$

1.3 denklemini tez ölçümlerinde alınan N_A hesaplamasında kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Fiberin hedefe uzaklığı, iç hare ve dış hare değerlerinin ölçülmesi

Sıyrılan fiberin uzunluğu: 39,84 mm

Fiberin hedefe olan uzaklığı: 55,5 mm

Totelde x: 55,5+39,84=95,34 mm

1.Ölçüm:

$R_1 = 45,0$ mm (İç hare)

$r_1 = 22,5$ mm

$R_2 = 59,99$ mm (Dış hare)

$r_2 = 29,99$ mm

$$L = \sqrt{95,34^2 + 22,5^2}$$

$L = 97,96$ mm

Denklem 1.3'den

$$N_A = \sin \Theta = \frac{r}{L}$$

$$N_A = \frac{22,5}{97,96} = 0,229 \text{ (İç hare)}$$

$$L = \sqrt{95,34^2 + 29,9^2}$$

$$L = 99,83 \text{ mm}$$

Denklem 1,3'den

$$N_A = \sin \Theta = \frac{r}{L}$$

$$N_A = \frac{29,99}{99,83} = 0,299 \text{ (Dış hare)}$$

Sonuç: Hesaplamalarda içteki hareyi baz alınmıştır.

2.Ölçüm:

$$x: 39,84 + 105,95 = 145,79 \text{ mm}$$

$$R_1 = 91,90 \text{ mm}$$

$$r_1 = 45,99 \text{ mm}$$

$$L = \sqrt{145,79^2 + 45,95^2}$$

$$L = 214,64 \text{ mm}$$

Denklem 1,3'den

$$N_A = \sin \Theta = \frac{r}{L}$$

$$N_A = \frac{45,95}{214,64} = 0,21$$

3.Ölçüm:

$$x: 39,84 + 155,95 = 195,79 \text{ mm}$$

$$R_1 = 95,94 \text{ mm}$$

$$r_1 = 47,97 \text{ mm}$$

$$L = \sqrt{195,79^2 + 47,97^2}$$

$$L = 226,84 \text{ mm}$$

$$N_A = \sin \Theta = \frac{r}{L}$$

$$N_A = \frac{47,97}{226,84} = 0,21$$

4.Ölçüm:

$$x: 39,84+255,95=295,79 \text{ mm}$$

$$R_1= 139,36 \text{ mm}$$

$$r_1= 69,68 \text{ mm}$$

$$L=\sqrt{295,79^2 + 69,68^2}$$

$$L= 303,12 \text{ mm}$$

$$N_A= \sin \Theta = \frac{r}{L}$$

$$N_A= \frac{69,68}{303,12}=0,22$$

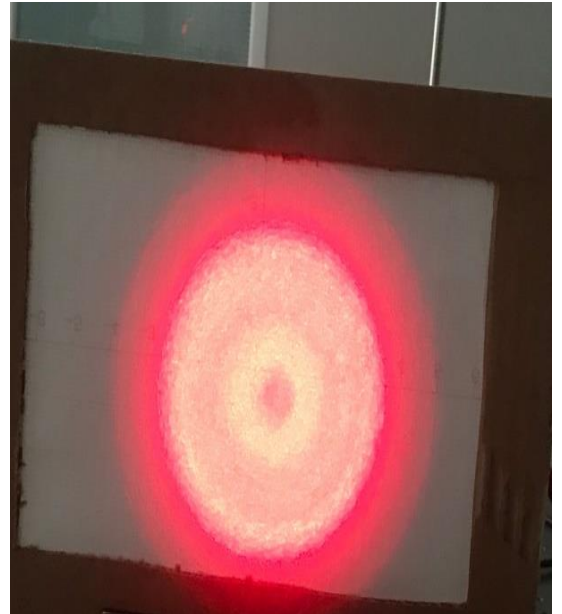
4.2 CMS Sonrası Sayısal Açıklık (NA) Ölçümleri

İstenmeyen modları elemek, geri yansımayı önleyerek kullanılan kamyonetlere zarar vermemek amacıyla Mod Sıyırıcı (Cladding Mode Stripper) uygulanmıştır. CMS istenilen moddaki ışığı çekirdekte iletilir ve ışın kalitesini bozan diğer modları uzaklaştırır. (G.Costo Rodrigues*,2014)

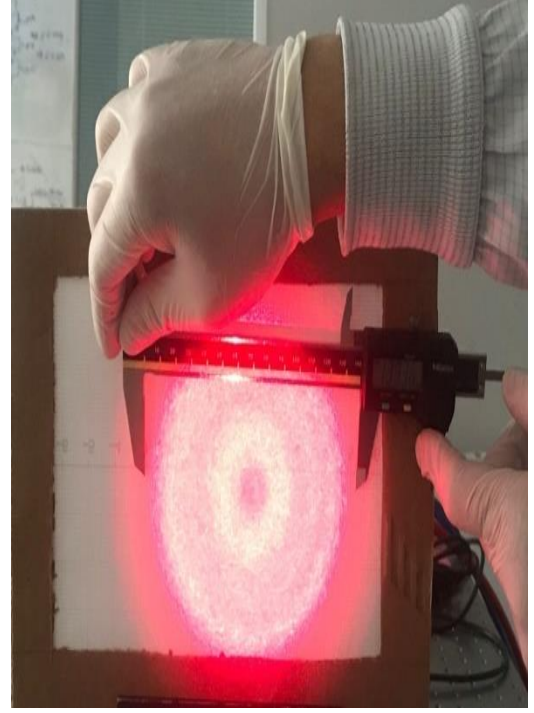
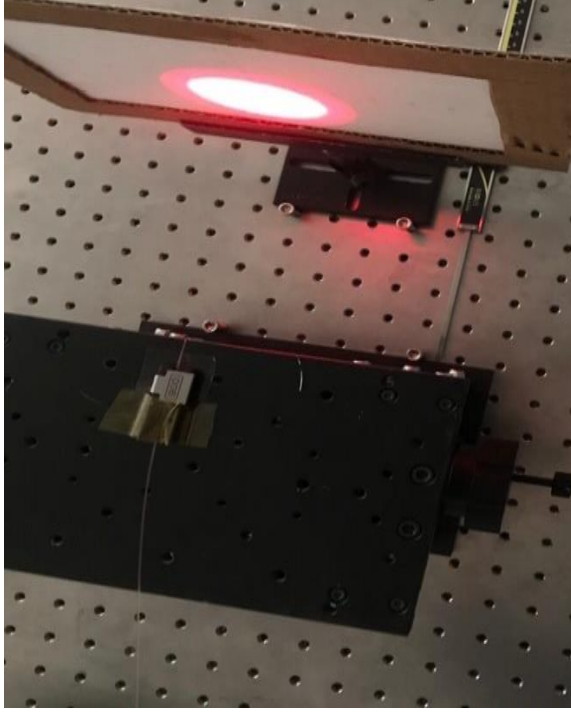
CMS uzatma fiberi kesim sonrası fiber tutucu içerisinde sabitlenerek hedefe hizalaması yapılır.



Şekil 4.5. Uzatma fiberi sıyırma işlemi



Şekil 4.6. Hedefe hizalama



Şekil 4.7. Fiberin hedefe uzaklığı, iç hare ve dış hare değerlerinin ölçülmesi

$$N_A = \sin \Theta = \frac{r}{L} \quad (4.1)$$

4.1 denklemini tez ölçümlerinde alınan N_A hesaplamasında kullanılmıştır.

1. Dış (Clad) Katman Ölçüm:

x: 110,37 mm

R: 66,19 mm

r: 33,09 mm

$$L = \sqrt{110,37^2 + 33,09^2}$$

L= 132,7 mm

$$N_A = \sin \Theta = \frac{r}{L}$$

$$N_A = \frac{33,09}{132,7} = 0,24$$

2.İç (Core) Katman Ölçüm:

x: 110,37 mm

R: 53,87 mm

r: 26,93 mm

$$L = \sqrt{110,37^2 + 26,93^2}$$

$$L = 129,06 \text{ mm}$$

$$N_A = \sin \Theta = \frac{r}{L}$$

$$N_A = \frac{26,93}{129,06} = 0,20$$

4.3 Hava Soğutmalı Güç Ölçerde Pompa Diyot Ölçümleri

Ölçümlerde üretilen modül su soğutmalı sistemde 8,2 lt/dak debide çalıştırılmıştır. Pompa diyot ve pompa diyot birleştirici sıcaklıkları termal kamera ile kontrol edilmiştir. Güç ölçer olarak hava soğutmalı sistem kullanılmıştır.

1 adet SN: ER-FXD988N olan pompa diyot üzerinden alınan ölçüm sonuçları;

1. CMS'li Ölçüm:

Çizelge 4.1. CMS'li ölçülen akım güç değerleri

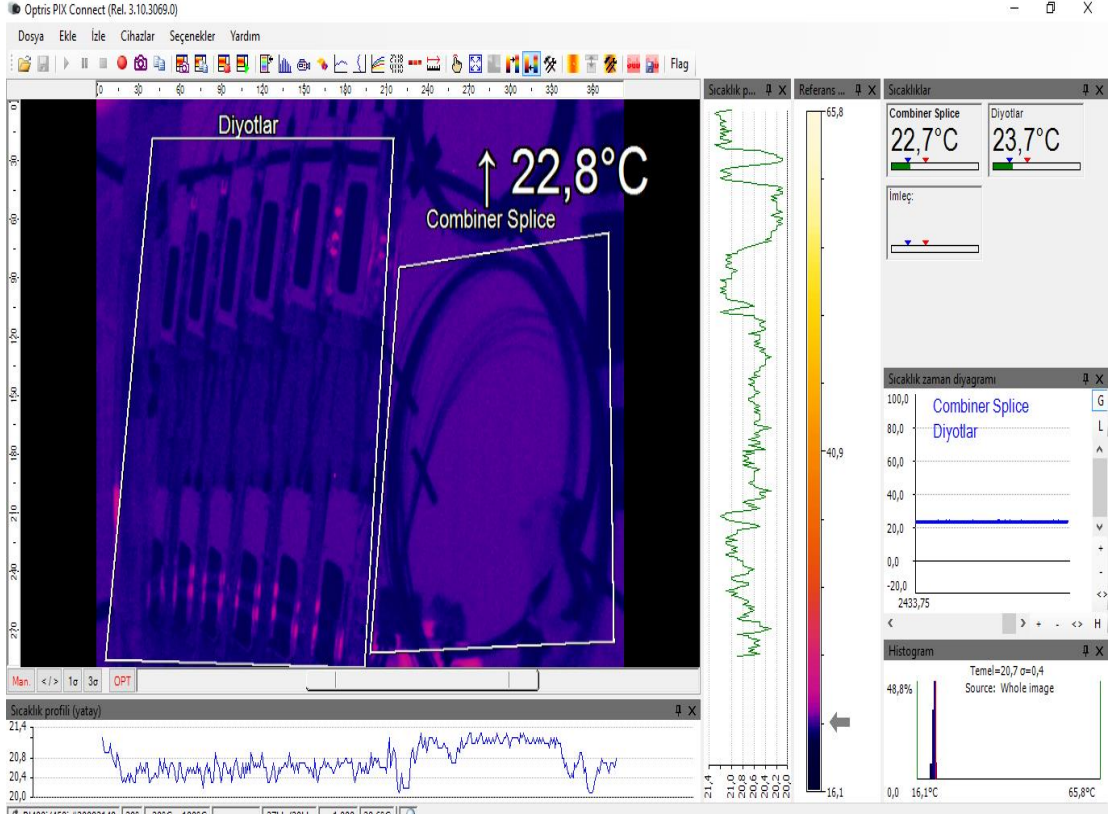
Akım I_p (A)	Güç P (W)
1,5	24,03
2,0	30,43
2,5	38,17
3,0	46,41
3,5	52,06
4,0	63,20
4,5	76,10
5,0	85,30
5,5	94,46
6,0	108,90
6,5	120,80
7,0	143,75

2. CMS'siz Ölçüm:

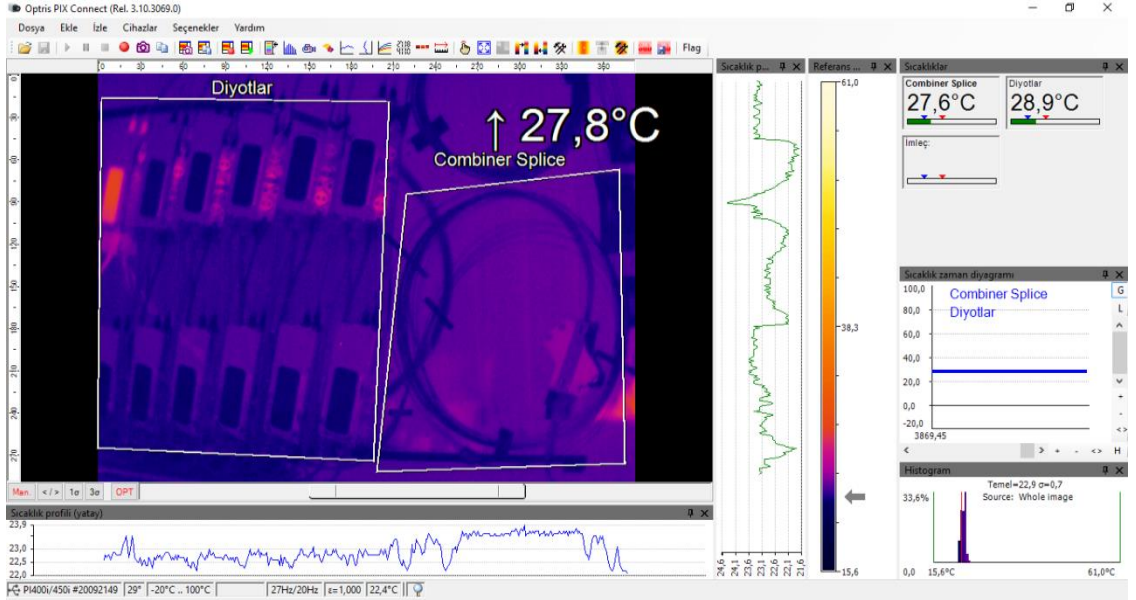
Çizelge 4.2. CMS'siz ölçülen akım güç değerleri

Akım I_p (A)	Güç P (W)
1,5	26,03
2,0	32,99
2,5	39,44
3,0	48,11
3,5	55,70
4,0	66,90
4,5	78,80
5,0	87,22
5,5	96,56
6,0	110,90
6,5	122,85
7,0	146,46

Ölçümler sırasında pompa diyot ve birleştirici sıcaklıkları termal kamera ile kontrol edilmiş ve maksimum güçte ekran alıntısı alınarak sıcaklıklar kayıt altına alınmıştır.



Şekil 4.8. Güç yok iken pompa diyot ve pompa diyot birleştirici sıcaklığı



Şekil 4.9. Maksimum güçte pompa diyot ve pompa diyot birleştirici sıcaklığı

4.4 Su Soğutmalı Güç Ölçerde Pompa Diyot Ölçümleri

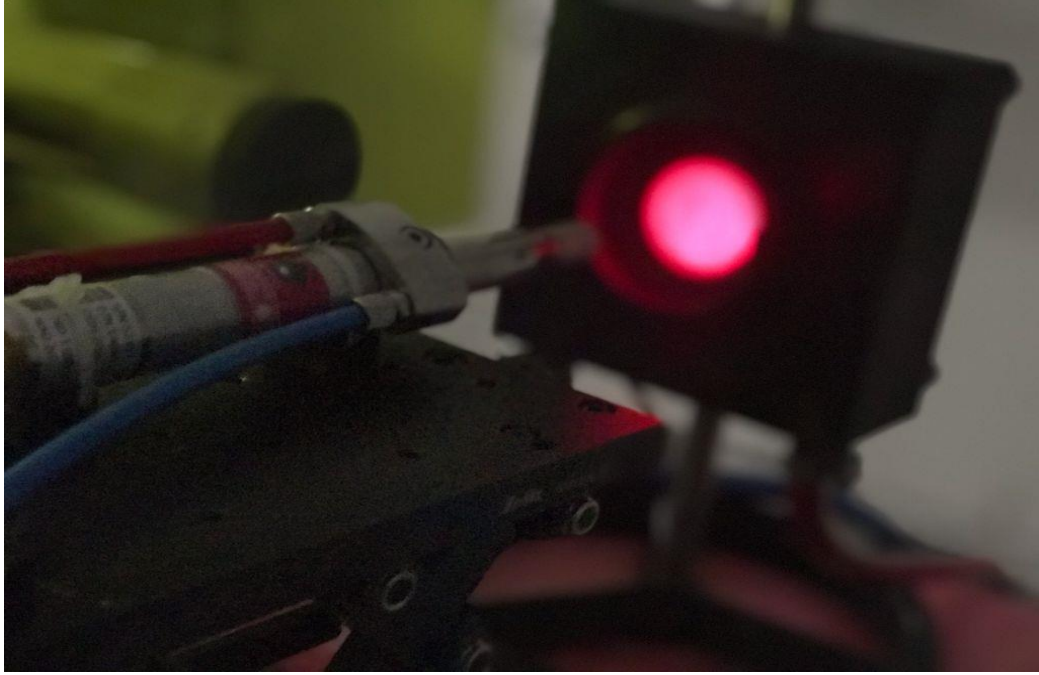
Ölçümlerde üretilen modül su soğutmalı sistemde 8,2 lt/dak debide çalıştırılmıştır. Pompa diyot ve pompa diyot birleştirici sıcaklıkları termal kamera ile kontrol edilmiştir. Güç ölçer olarak su soğutmalı sistem kullanılmıştır.1 adet SN: ER-FXD988N olan pompa diyot üzerinden alınan ölçüm sonuçları;

CMS'li Ölçüm:

Çizelge 4.3. CMS'li ölçülen akım güç değerleri

Akım I_p (A)	Güç P (W)
1,5	27,87
2,0	31,30
2,5	39,25
3,0	47,60
3,5	54,45
4,0	65,60
4,5	77,30
5,0	86,20
6,0	109,30
6,5	122,32
7,0	145,60

QBH'da kullanılmak üzere uygun lens çapında kolimatör olmadığından yüksek güç ölçümü, direk su soğutmalı güç ölçere kırmızı lazer ile hizalayarak alınmıştır.

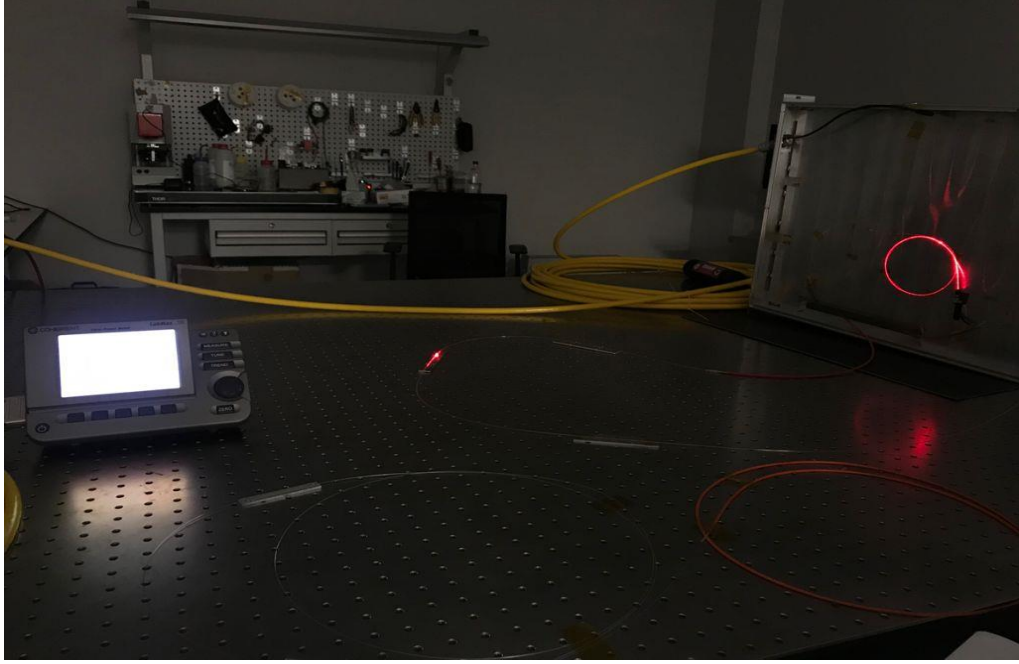


Şekil 4.10. QBH üzerinden direkt kırmızı lazer ile hizalama

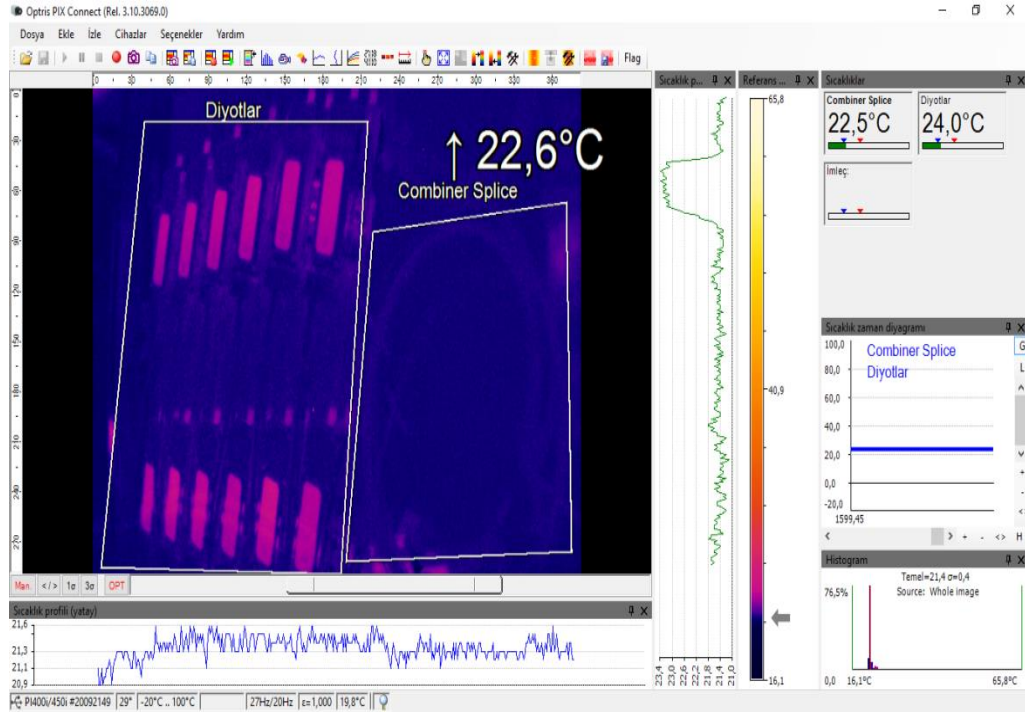
Kullanılan 12 adet pompa diyot üzerinden alınan yüksek güç ölçüm değerleri

Çizelge 4.4. Yüksek güçte ölçülen akım güç değeri

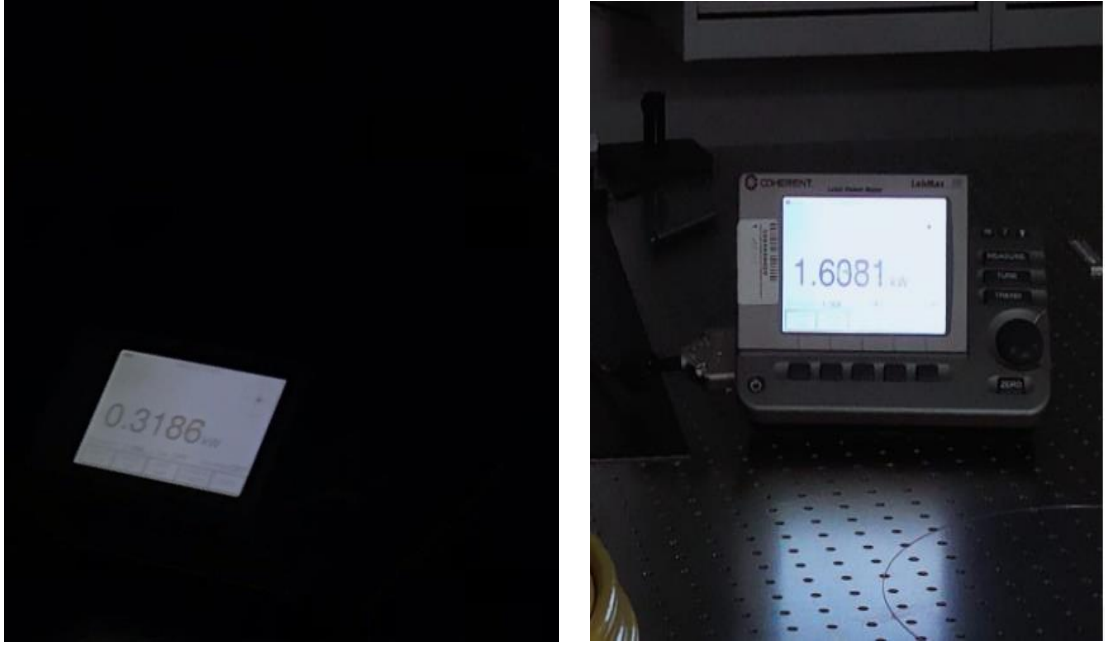
Akım I_p (A)	Güç P (W)
1,5	318
2,0	488
2,5	560
3,0	710
3,5	820
4,0	955
5,0	1108
6,0	1280
6,5	1455
7,0	1608



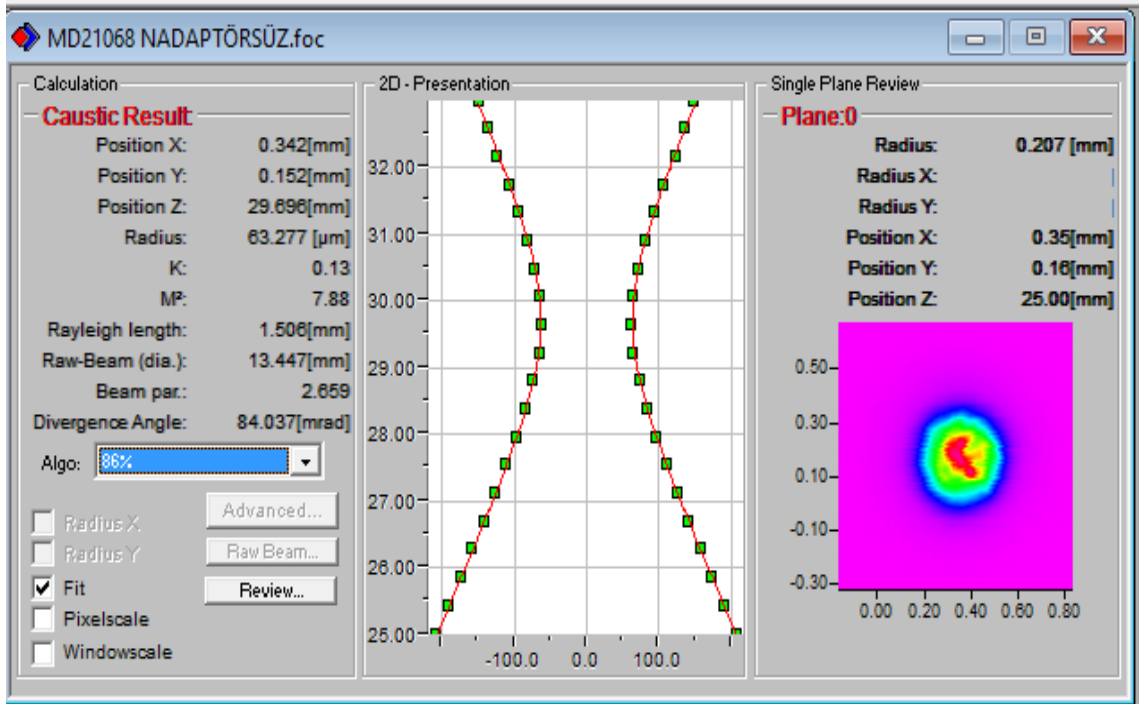
Şekil 4.11. Geliştirilen Doğrudan Diyot Lazer sisteminde ölçüm



Şekil 4.12. Yüksek güçte pompa diyotlar ve pompa diyot birleştirici sıcaklığı



Şekil 4.13. Geliştirilen DDL sisteminin minimum ve maksimum optik çıkış gücü



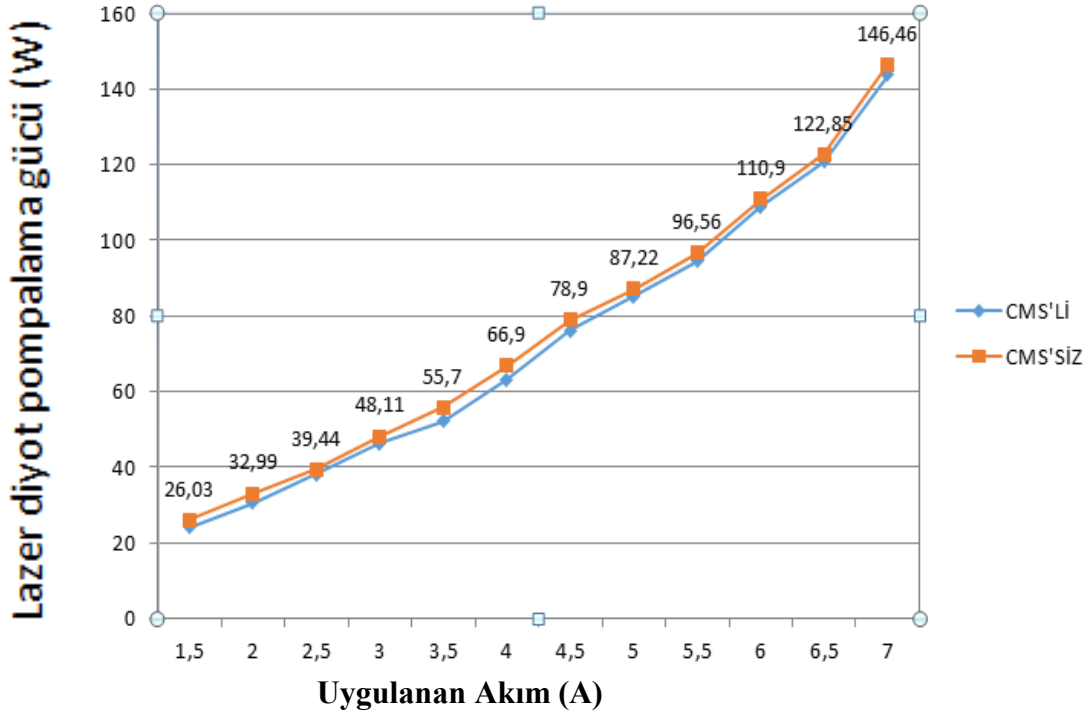
Şekil 4.14. 2000 W lazer sisteminde alınan primes ölçüm sonucu

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Doğrudan Diyot Lazer sisteminin kurulumu sonrasında yapılan test sonuçları tüm detayları ile verilmiştir. Sistemden ölçülmek istenilen ilk bilgi, sisteme gönderilen toplam elektrik gücüne karşılık, fiber birleştirici çıkışı ve QBH çıkışında elde edilen optik güç miktarının ne kadar olduğudur.

Yapılan yüksek güç testi sonucunda diyotlara verilen akım değeri kademeli olarak artırılarak karşılık gelen toplam pompalama gücü hava ve su soğutmalı olmak üzere iki farklı sistemde ölçülmüştür.

Pompa diyot birleştirici üzerinden 1 adet SN: ER-FXD988N olan pompa diyot kırmızı lazer ile hava soğutmalı güç ölçere hizalama yapılmış; CMS ve CMS'siz olarak optiksel pompalama gücü ölçülmüştür.



Şekil 5.1. Hava soğutma sistemde CMS ve CMS'siz tek diyot optik pompalama gücü

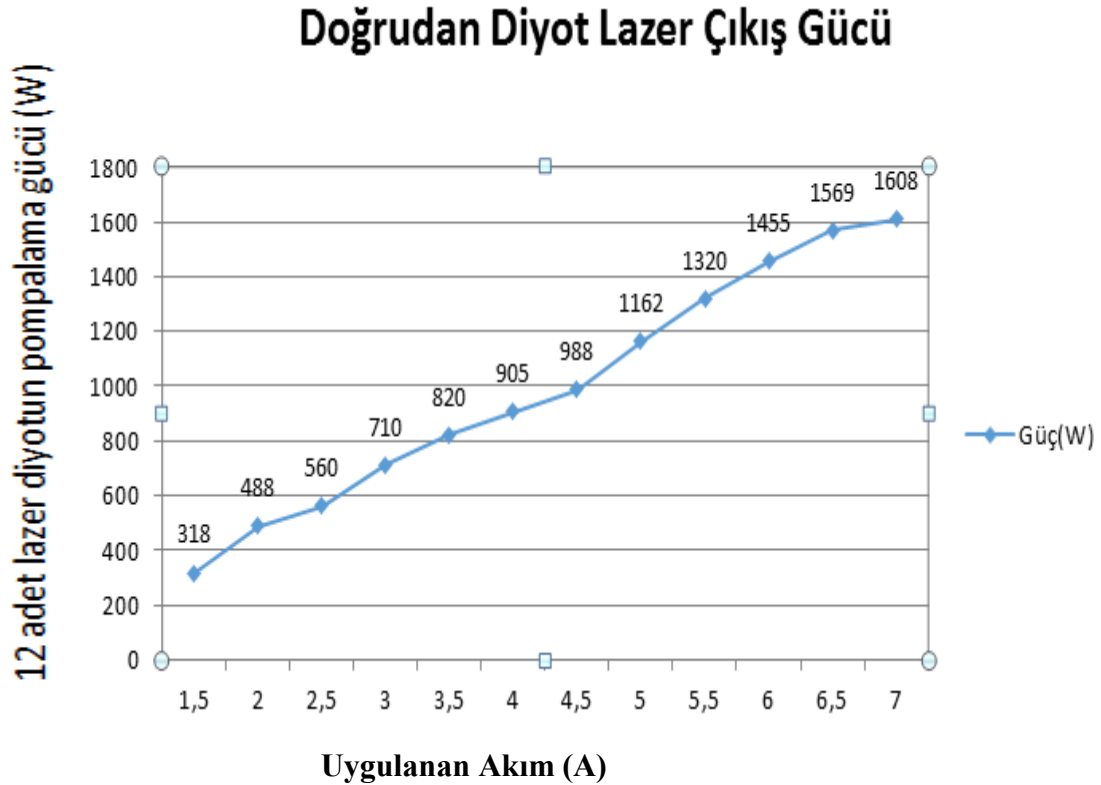
Şekil 5.1'deki diyagram çalışma akımının bir fonksiyonu olarak lazer sisteminin toplam çıkış gücünü göstermektedir. Görüldüğü gibi 1 diyot ile alınan ölçümde CMS uygulaması öncesi ölçülen optik güç ile sonrası ölçülen optik güç arası fark çok azdır. Tek pompa diyotla sistem çalıştırıldığında ilgili pompa diyotta ve pompa diyot birleştirici ekinde ısınma gözlenmemiştir.

7 A'lık bir akımda maksimum çıkış gücü 146,46 W ölçülmüştür. Güç akım eğrisi, 146,46 W/A'lık bir sabit eğim ile 7A'lık maksimum akıma kadar doğrusal bir performans gösterir.

Lazer sisteminin mekanik ve termal düzeni, 2 kW çıkış gücünde 10 ve 20 dakikalık döngülerden oluşan tipik bir çalışma modu için tasarlanmıştır. Şekil 5.2'deki diyagram, 20 dakikalık bir süre ve 1608 W'lık bir çıkış gücü için güç kararlılığının tipik bir ölçümünü gösterir. Karşılık gelen akım 14 A'dir.

Ölçüm süresi boyunca minimum ve maksimum güç değeri dikkate alındığında, stabilite \pm %0,8 kadardır. Elbette lazer sistemi daha uzun döngülerle veya hatta sürekli dalga modunda da çalıştırılabilir. Ancak, çalışma moduna bağlı olarak lazer sisteminin mekanik ve termal tasarımında bazı küçük değişiklikler gerekli olacaktır.

12 adet pompa diyot QBH üzerinden kırmızı lazer ile su soğutmalı güç ölçere hizalama yapılmış ve yüksek güç testiyle optik pompalama gücü ölçülmüştür.



Şekil 5.2. Su soğutmalı sistemde 12 adet diyotun optik gücü

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi 12 adet pompa diyot için sisteme verilen toplam elektrik gücü 1608 W olarak ölçülmüştür. Sistemde 1608 W’lık elektrik gücüne karşılık pompa diyotların toplam elektro optik veriminde kayıp gözlenmemiştir.

12 adet pompa diyot QBH üzerinden kırmızı lazer ile su soğutmalı sistemde çalıştırıldığında CMS’da ısınma gözlenmiştir.

Yüksek güçlü sürekli zaman modunda çalışan lazerlerde optik güçte kayıp analizi büyük önem taşımaktadır. Saç metallerin kesim ve işlenmesinde geliştirilen lazer sistem ışının kayıpsız bir şekilde iletilip ve odaklandırılması ile kaliteli kesimler yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında pompa diyot optiksel verimi ölçülmüş; Pompa diyot birleştirici ve taşıyıcı kablo özellikleri bakımından NA hesaplamaları yapılmıştır.

QBH’da kullanılmak üzere uygun lens çapında kolimatör olmadığından geliştirilen DDL sisteminde kırmızı lazer ile güç ölçere hizalama yapılmış ve pompa diyotlara maksimum elektriksel güç uygulanmamıştır.

QBH’da kullanılmak üzere uygun lens çapında kolimatör olmadığından geliştirilen DDL sisteminin primes ölçümü alınamamış ve çıkış lazeri karakterize edilememiştir. Bu nedenle karşılaştırma için ölçümü alınan 2000 W’lık fiber lazer sistemi ve geliştirilen doğrudan diyot lazer sisteminde çıkış lazeri karşılaştırılması yapılamamıştır. 19×1 pompa diyot birleştiricide dış katmana (clad) çok fazla ışık kaçıp atılım fazla olduğu için yüksek güç testinde maksimum akıma çıkılamamıştır.

KAYNAKLAR

Hall, R.N, 1962. Semiconductor devices, Google Patents.

Hagop Injeyan, Ph. D, Gregory D. Goodno, Ph. D. 2011. High-power laser handbook. McGraw Hill Companies Inc., USA

ALLAN, W. 1973. Fibre optics: theory and practice. London and New York, Plenum Press.

Javan, A, W. Bennett Jr, and D. Herriott, 2013. Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge. Essentials of lasers The Commonwealth and International Library.

Siegman, A.E., 1986. Lasers, Mill Valley, CA University Science.

Milloni, P. W. and Eberly, J. H., 2008. Laser Physics, John Wiley & Sons, New Jersey.

Polat, B. 2014. Akortlanabilen Harici Optik Salıncılı Yarı İletken Diyot Lazer Karakterinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi.

Wilson J., Hawkes J., 1998. Optoelectronics An Introduction. Prentice Hall, 559, University of Northumbria at Newcastle.

Milloni, P. W. and Eberly, J. H., 1988. Lasers, John Wiley & Sons, New York.

Duarte, F.J. 1990. Technology of Pulsed Dye Lasers, Dye Laser Principles, Academic press, New York.

Chow,W.W ve Koch,S. W.1988. Semiconductor Laser Fundamentals.Springer Verlag,245, Germany.

P. Dasté, Y. Miyake, M. Cao, Y. Miyamoto, S. Arai, Y. Suematsu, K. Furuya 1988. Fabrication technique for GaInAsP/InP quantum wire structure by LP-MOVPE in Journal of Crystal Growth, vol. 93, no. 1–4, pp. 365–369.

Sze, S.M. 1981. Phys. of semiconductor devices, Jhon Wiley and Sons Inc, NY, 868 pp

Hall, Robert N .; Fenner, GE; Kingsley, JD; Soltys, TJ; Carlson, RO 1962. GaAs Kavşaklarından Tutarlı Işık Emisyonu". Fiziksel İnceleme Mektupları

Nathan, Marshall I .; Dumke, William P .; Burns, Gerald; Dereotu, Frederick H .; Kirpik Gordon 1962. GaAs pn Kavşaklarından Uyarılmış Radyasyon Emisyonu

P. Crump, O. Brox, F. Bugge, J. Fricke, C. Schultz, M. Spreemann, B. Sumpf, H. Wenzel, G. Erbert, 2012. High-Power, High-efficiency Monolithic edge-emitting GaAs-

Based lasers with narrow spectral widths in *Advances in semiconductor lasers*, Academic press publication.

Glow After 2007. *Illinois Alumni Magazine*

Nicolay G. Basov 2009. Nobelprize.org

M. Takahiro 2015. *Optical Resonators in Fundamentals of semiconductor Laser*, 2nd Edition, William T. Rhodes, pp. 40

P. Unger 2000. *Introduction to Power Diode Lasers in High-Power Diode Lasers. Fundamentals, Technology, Applications*, Roland Diehl, vol. 78, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 420

J. Piprek 2003. *Edge emitting laser in Semiconductor Optoelectronic devices Introduction to physics and simulation*, Academic press publication, pp. 151–169

Cheung ve Chung. 1986. Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Appl. Phys. Lett.* 49: 85-87.

Colinge, J.P., Colinge, C. A. 2005. *Physics of Semiconductor Devices*, ISBN 978-0387-82523-8, 436 pp

Krohn, D.A. 1992. *Fiber Optic Sensors Fundamentals and Applications*, Instrument Society of America, USA.

Hagop Injeyan, Ph. D, Gregory D. Goodno, Ph. D. 2011. *High-power laser handbook*. McGraw Hill Companies Inc., USA.

Braglia, A.; Olivero, M.; Neri, A.; Perrone, G. 2011. Fabrication of pump combiners for high power fibre lasers. *Proc. SPIE7914*

Holland, W.R. 2016. *All Pump Combiner with Cladless Inputs*. U.S. Patent.

Kosterin, A.; Temyanko, V.; Fallahi, M.; Mansuripur, M. 2004. Tapered fiber bundles for combining high-power diode lasers.

Zou, S.; Chen, H.; Yu, H.; Sun, J.; Zhao, P.; Lin, X. High-efficiency 2017. $(6 + 1) \times 1$ pump-signal combiner based on low-deformation and high-precision alignment fabrication.

Stachowiak, D. 2018. *High-Power Passive Fiber Components for All-Fiber Lasers and Amplifiers Application—Design and Fabrication*. Photonics 2018.

Stachowiak, D. Kaczmarek, P.; Abramski, K.M. 2017. $(5 + 1) \times 1$ pump and signal power combiner with $9/80\mu\text{m}$ feed-through signal fiber. *Opt. Laser Technol.*

Zhao, K.; Chang, X.; Chen, Z.; Wang, Z.; Jiang, H. 2015. Fabrication of high-efficiency pump and signal combiner based on a thermally expanded core technique. *Opt. Laser Technol*

Zou, S.; Chen, H.; Yu, H.; Sun, J.; Zhao, P.; Lin, 2017. X. High-efficiency $(6 + 1) \times 1$ pump-signal combiner based on low-deformation and high-precision alignment fabrication. *Appl. Phys.*

Hakan Sayinc, Jörg Neumann, Ludger Overmeyer, Dietmar Kracht, 2012. Pump and signal combiner for bi-directional pumping of all-fiber lasers and amplifiers.

Stachowiak, D.; Kaczmarek, P.; Abramski, K.M. 2017. $(5 + 1) \times 1$ pump and signal power combiner with $9/80\mu\text{m}$ feed-through signal fiber. *Opt. Laser Technol.*

Zheng, J.; Zhao, W.; Zhao, B.; Li, Z.; Chang, C.; Li, G.; Gao, Q.; Ju, P.; Gao, W.; She, S.; et al. 2018. High pumping-power fiber combiner for double-cladding fiber lasers and amplifiers. *Opt. Eng.*

Liu, K.; Zhao, C.; Yang, Y.; Chen, X.; Wang, J.; He, B.; Zhou, J. 2017. Low beam quality degradation, high-efficiency pump and signal combiner by built-in mode field adapter. *Appl. Opt.*

Limpert, J., Liem, A., Zellmer, H., Tunnermann, A. 2003. 500 W continuous wave fiber laser with excellent beam quality.

Milloni, P. W. and Eberly, J. H. 1988. *Lasers*, John Wiley & Sons, New York.

Kasap, O. S. 2001. *Optoelectronics and Photonics*. Prentice - Hall, New Jersey.

G.Costa Rodrigues, J. Pencinovsky, M. Cuypers, J.R. Duflou 2014. Theoretical and experimental aspects of laser cutting with a direct diode laser

G. Costa Rodrigues*, H. Vanhove, J.R. Duflou 2014. Direct diode lasers for industrial laser cutting: a performance comparison with conventional fiber and CO2 technologies

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : ELİF KARS

Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA- 12.09.1991

Yabancı Dil : İNGİLİZCE

Eğitim Durumu

Lise : NİLÜFER FATİH LİSESİ-BURSA
2005-2009

Lisans : TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN EDEBİYAT FAKÜLTESİ
FİZİK BÖLÜMÜ 2009-2011
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN EDEBİYAT FAKÜLTESİ
FİZİK BÖLÜMÜ 2011-2016

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : DURMAZLAR MAK. SAN. ve TİC. A.Ş
Fotonik Üretim Uzmanı - 2017- ...

İletişim (e-posta) : elifkars360@gmail.com

Yayımları :