



**HELYUM-NEON LAZERLERDE KULLANILAN ALÜMİNYUM
ELEKTROTLAR ÜZERİNDE OKSİT TABAKASI BİRİKİMİ VE
KARAKTERİZASYONU**

Alper İLHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2019

Alper İLHAN tarafından hazırlanan “HELİYUM-NEON LAZERLERDE KULLANILAN ALÜMİNYUM ELEKTROTLAR ÜZERİNDE OKSİT TABAKASI BİRİKİMİ VE KARAKTERİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Halil BERBEROĞLU

Fizik Ana Bilim Dalı, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

İkinci Danışman: Prof. Dr. Aydın DOĞAN

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Eskişehir Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Hüseyin SARI

Fizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Sema Bilge OCAK

Elektrik ve Enerji Bölümü, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Elif ORHAN

Fizik Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 09/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Alper İLHAN

09/07/2019

HELYUM-NEON LAZERLERDE KULLANILAN ALÜMİNYUM ELEKTROTLARI ÜZERİNDE OKSİT TABAKASI BİRİKİMİ VE KARAKTERİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Alper İLHAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Bu tezde; Helyum-Neon lazerlerde kullanılan ve lazerin uzun ömürlü olmasında önemli rol oynayan parçalarından biri olan katodun tasarım, üretim ve HeNe lazeri ile doğrulma süreçleri anlatılmaktadır. Yüksek iletkenlik, işleme kolaylığı, kolay şekillendirilebilmesi ve düşük maliyeti nedenleriyle katot tasarımında alüminyum (tip alüminyum 1050 alaşımı) kullanılmıştır. Savurmalı döküm yöntemi ile şekillenen ham malzemeye, katotun geometrisi 5 eksenli torna kullanılarak oluşturulmuştur. Katot iç yüzeyinin oksit büyütme işleminde termal oksijen büyütme ve DC oksijen plazma yöntemi denenmiştir. Malzemenin amorf yapısının bozulmaması ve büyütülecek oksit katmanının homojen kalınlıkta olması nedeni ile nihai üründe DC oksijen plazma yöntemiyle oksit büyütülmüştür. Geçirimli elektron mikroskobu ve elipsometre kullanılarak yüzey karakterizasyonu yapılmıştır. 12 nm oksit kalınlığına sahip katot HeNe lazer üretim sürecinde kullanılmıştır. Alüminyum oksit tabakasının aşınmaya başladığı ve katottan sökülen alüminyum ve oksijen atomlarının lazer kazanç ortamına karışıp helyum ve neon kısmi basınçlarında azalmaya neden olmasından dolayı HeNe lazerinin akım ve gerilimi etkileme başlamadığı kullanım süresi ise yaklaşık olarak 4500 saate tekabül etmektedir. Çalışma kapsamında Türkiye’de ilk kez üretilen milli katot kullanılarak helyum-neon lazer üretimi yapılmıştır. Üretimi tamamlanan helyum-neon lazer 10000 saat boyunca test edilerek çalıştırılmıştır. Tasarlanan katotun endüstriyel bir ürün olarak HeNe lazerinde kullanılabilceği gösterilmiştir.

Bilim Kodu : 20203

Anahtar Kelimeler : Alüminyum, Katot, Plazma, Plazma Temizliği, Oksijen Plazma, Deşarj Tüpü, HeNe Lazer, Lazer, Plazma Oksitlenmesi

Sayfa Adedi : 61

Danışman : Doç. Dr. Halil BERBEROĞLU

2. Danışman : Prof. Dr. Aydın DOĞAN

DEPOSITION AND CHARACTERIZATION OF THE OXIDE LAYER ON
ALUMINUM ELECTRODES USED IN HELIUM-NEON LASERS

(M. Sc. Thesis)

Alper İLHAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

In this thesis; describes the design, production and validation processes of the cathode, which is one of the most important parts used in helium-neon lasers and plays an important role in the longevity of the laser. Aluminum (type aluminum 1050 alloy) is used in the cathode design due to its high conductivity, ease of processing, easy forming and low cost. The geometry of the cathode is formed by using 5 axis lathe to the raw material shaped by centrifugal casting method. In the oxidation process of cathode inner surface, thermal oxygen amplification and DC oxygen plasma method were tried. Due to the fact that the amorphous structure of the material is not disturbed and the oxide layer to be grown is of homogeneous thickness, the oxide is enlarged in the final product by DC oxygen plasma method. Surface characterization was performed by using electron microscopy and ellipsometer. Cathode HeNe laser with an oxide thickness of 12 nm was used in the manufacturing process. The lifetime of the HeNe laser does not start to affect current and voltage, since the aluminum oxide layer begins to erode and the aluminum and oxygen atoms removed from the cathode interfere with the laser gain environment causing a reduction in helium and neon partial pressures. Working under helium-neon laser production using first national cathode produced in Turkey are made. The produced helium-neon laser was tested and operated for 10000 hours. It has been shown that the designed cathode can be used in HeNe laser as an industrial product.

Science Code : 20203

Key Words : Aluminum, Cathode, Plasma, Plasma Cleaning, Oxygen Cleaning, Discharge Tube, HeNe Laser, Laser, Plasma Oxidation

Page Number : 61

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Halil BERBEROĞLU

Co Supervisor : Prof. Dr. Aydın DOĞAN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgilerini ve deneyimlerini benimle paylaşan ve beni yönlendiren danışmanlarım Doç. Dr. Halil BERBEROĞLU ve Prof. Dr. Aydın DOĞAN'a; çalışmalar süresince desteklerini eksik etmeyen arkadaşlarım Hakan KESKİN, Mert AYDIN ve Kemal Berk SÖNMEZ'e bana sağladıkları imkânlar ve destekleriyle yöneticilerim İbrahim KILINÇ ve Ali Murat GÜNÇAN'a ve her zaman en büyük destekçilerim olan şu an beni izlediklerine inandığım babam Asim İLHAN ve annem Emine İLHAN'a, iyi kötü her gün destekleriyle yanımda olan kardeşlerim Erdiñ İLHAN ve Erkut İLHAN'a, beni büyüten ve bakan annem Ayşe İLHAN'a ve bu çalışmanın yürütülmesi sırasında desteğini hiç esirgemeyen, yoğun çalışmalarım sırasında sabır gösterdiği ve anlayışlı davrandığı için biricik eşim Berna İLHAN'a yürekten teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KATOT TASARIM SÜRECİ	9
2.1. Kullanılacak Olan Alüminyumun Yüzey Pürüzlülüğü İyileştirme Çalışmaları .	10
2.2. Alüminyum Üzerinde Doğal Oksit Oluşumu ve Karakterizasyonu.....	12
2.3. Alüminyum Oksit Tabakası Büyütme.....	19
2.3.1. DC oksijen plazma yöntemi ile alüminyum oksit tabası büyütme.....	19
2.3.2. Sıcaklık değiştirerek alüminyum oksit tabası büyütme	23
3. ENTEGRASYON SÜRECİ.....	27
3.1. Katot Üretimi	27
3.2. Helyum-Neon Lazer Üretim Süreci	35
3.3. Lazer Yolunun Sızdırmazlık Kontrolü, Temizliği ve Gaz Dolumu	42
4. HELYUM-NEON LAZER VE KATOT ÖMÜR ANALİZİ.....	47
4.1. Labview Tabanlı Hazırlanan Veri Toplama Sistemi.....	47
4.2. Toplanan Verilerin Analizi	49
4.2.1. Lazer eşik akım değerinin zamana bağlı	49
4.2.2. Gerilimin zamana bağlı değişimi	50
4.2.3. Alt osilasyon başlangıç akım değeri	51

Sayfa

4.2.4. Alt osilasyon başlangıç akım değeri	52
5. SONUÇ	55
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	61



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. HeNe lazer şematik gösterimi.....	1
Şekil 1.2. HeNe enerji seviyesi [3]	3
Şekil 2.1. Kullanılacak olan alüminyumun saflık analizi	9
Şekil 2.2. Yükseklik ve çukurların iyon yönelimi etkisinin şematik gösterimi	10
Şekil 2.3. Hassas işleme sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....	11
Şekil 2.4. Yüzey parlatma işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçümü.....	11
Şekil 2.5. 450nm*450nm'lik görüntü	13
Şekil 2.6. 350nm*350nm'lik görüntü	13
Şekil 2.7. 65nm*65nm'lik görüntü	14
Şekil 2.8. 35nm*35nm'lik görüntü	15
Şekil 2.9. 40nm*40nm'lik alanda oksijen elementi haritalandırması	16
Şekil 2.10. 40nm*40nm'lik alanda paladyum elementi haritalandırması.....	16
Şekil 2.11. 40nm*40nm'lik alanda alüminyum elementi haritalandırması	17
Şekil 2.12. 40nm*40nm'lik alanda oksijen, paladyum ve alüminyum elementi haritalandırması.....	17
Şekil 2.13. Elektron mikroskobu alüminyum tane yapısı	18
Şekil 2.14. DC Plazma gücüne bağlı oksit tabakası kalınlığı değişimi	20
Şekil 2.15. Zamana bağlı oksit tabakası kalınlığı değişim grafiği.....	21
Şekil 2.16. Oksijen kısmi basıncına bağlı oksit tabakası kalınlığı değişim grafiği	22
Şekil 2.17. DC oksijen plazma ile yüzeyde büyütülen oksit kalınlığı homojenliği.....	23
Şekil 2.18. 500°C sonrası elektron mikroskobu görüntüleri.....	24
Şekil 2.19. 500°C sonrası elektron mikroskobu alüminyum tane yapısı	25
Şekil 2.20. Sıcaklık sonrası tane yapısı ve oksijen sonrası tane yapısı boyutsal karşılaştırılması.....	26

Şekil	Sayfa
Şekil 2.21. Sıcaklık sonrası alüminyum oksit kalınlık homojenliği karşılaştırılması.....	26
Şekil 3.1. Savurmalı döküm sonrası dilimlenmiş ürünler.....	28
Şekil 3.2. Kaba işleme sonrası ürün.....	28
Şekil 3.3. 5 eksenli torna sonrası katot geometrisi.....	29
Şekil 3.4. Etanol ile kademeli temizleme işlemi.....	29
Şekil 3.5. Preslenen numunelerin kalıptan çıkarıldıktan sonraki halleri	30
Şekil 3.6. Nihai katot iç yüzey ve kesit gösterimi.....	30
Şekil 3.7. Katot torna işleme gösterimi.....	31
Şekil 3.8. Şekillendirilen numunelerin görüntüsü.....	31
Şekil 3.9. Plazma ile temizleme ve oksitleme işleminin şematik görünümü.....	32
Şekil 3.10. DC Argon plazma ışınması.....	33
Şekil 3.11. Vakuma alma ünitesi ve vakuma alınıp ambalajlanan katot	34
Şekil 3.12. Elektron mikroskobu nihai ürün görüntüleri	34
Şekil 3.13. Elektrot ve ayna montajının gösterimi.....	36
Şekil 3.14. Katot montajı basım öncesi altın kaplama gösterimi.....	37
Şekil 3.15. Katot montajı basım öncesi indiyum kullanımı gösterimi.....	37
Şekil 3.16. Katot montajı basım sonrası yapıştırıcı uygulama gösterimi	38
Şekil 3.17. Yüzey alanı karşılaştırması.....	40
Şekil 3.18. İyon yoğunluğu karşılaştırması.....	40
Şekil 3.19. İyon sayısı karşılaştırması.....	41
Şekil 3.20. Plazma yoğunluğu karşılaştırması	41
Şekil 3.21. Gaz dolun gösterimi.....	42
Şekil 3.22. Sızdırmazlık kontrol sistemi gösterimi.....	43
Şekil 3.23. Sızdırmazlık kontrol sistemi sızdırma olduğu durum.....	43

Şekil	Sayfa
Şekil 3.24. Sızdırmazlık kontrol sistemi sızdırma olmadığı durum	44
Şekil 3.25. HeNe lazer spektrumu	45
Şekil 3.26. HeNe lazer plazma spektrumu	45
Şekil 4.1. Veri toplama yazılımı ara yüzü.....	47
Şekil 4.2. Veri toplama sistemi gösterimi.....	48
Şekil 4.3. Veri toplama örnek data gösterimi	49
Şekil 4.4. Lazer eşik akım değeri & süre	50
Şekil 4.5. Akım sabit (1000 μ a) gerilim & süre.....	51
Şekil 4.6. Alt osilasyon başlangıç akım değeri & süre	52
Şekil 4.7. Üst osilasyon başlangıç akım değeri & süre.....	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

Al₂O₃	Alüminyum Oksit
eV	Elektron Volt
kN	Kilo Newton
mA	Mili Amper
mW	Mili Volt
nm	Nanometre
ns	Nanosaniye
V_{pp}	Tepeden Tepeye Voltaj Büyüklüğü
VRMS	Kare Ortalama KareKök Voltaj Büyüklüğü
W	Watt
μA	Mikroamper
μm	Mikrometre

Kısaltmalar

Açıklamalar

AC	Alternatif Akım
Al	Alüminyum
Au	Altın
Be	Berilyum
C	Karbon
DC	Doğru Akım
Fe	Demir
He	Helyum
HeNe	Helyum-Neon
Mg	Magnezyum
Nb	Niobiyum
Ne	Neon

Kısaltmalar**Açıklamalar****Pd**

Paladyum

RGA

Residual Gas Analyser

Si

Silisyum

Ta

Tantal

TEM

Geçirimli Elektron Mikroskobu

Ti

Titanyum

XPS

X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi

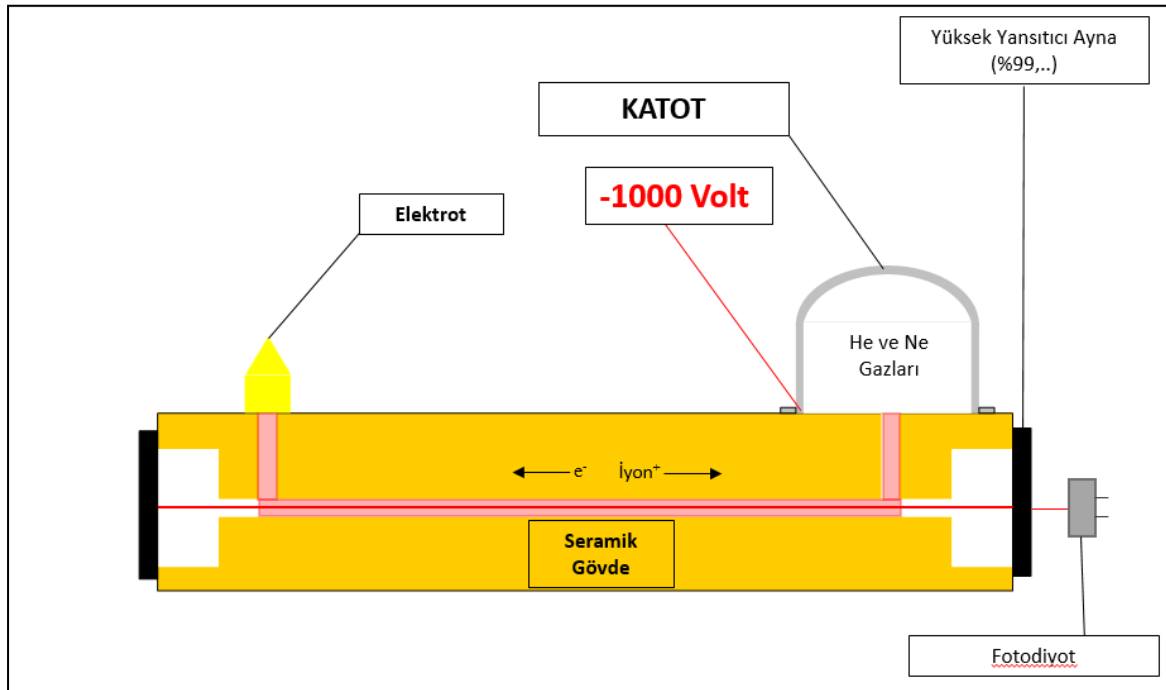
Zn

Çinko



1. GİRİŞ

HeNe lazeri birçok endüstriyel ve bilimsel kullanıma sahip bir gaz lazeridir. Helyum-neon (HeNe) gaz lazerleri; 0,5 - 35 mW arasında sabit çıkış gücüne sahip ve dalga boyu 638,2 nm olup, görünür spektrumun kırmızı kısmındadır. Bir HeNe lazerin kazanç ortamı, kapalı bir cam tüpte düşük basınçta bulunan 5:1 ile 20:1 arasında değişen oranlarda doldurulan helyum ve neon gazların bir karışımıdır [1]. HeNe lazer sistemi Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



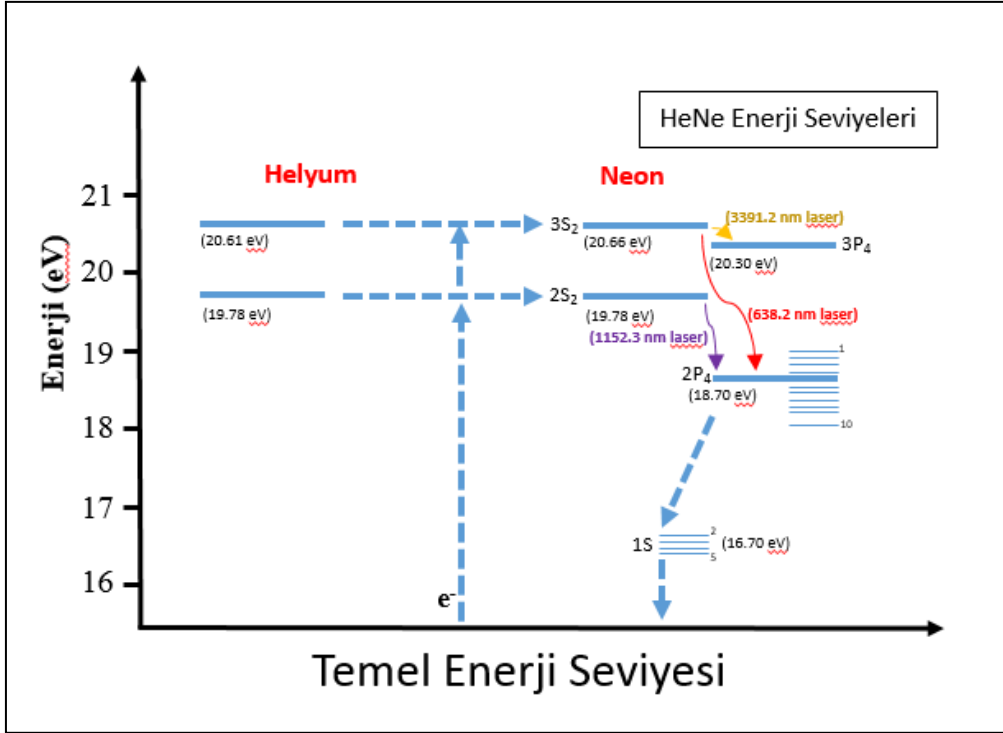
Şekil 1.1. HeNe lazer şematik gösterimi

Şekil 1.1'de gösterildiği üzere HeNe lazerler için uyarma kaynağı, cam tüpün her bir ucundaki bir anot ve katot boyunca yüksek voltajlı elektriksel deşarjdır [2]. Lazer yolu, lazer tüpünün bir ucunda düz, yüksek yansıtıcı bir ayna ve lazer tüpünün diğer ucunda yaklaşık % 99 yüksek yansıtıcı ayna olan ($\approx\% 1$ geçirgenlik) olan bir içbükey aynadan oluşur [3]. Bu gösterimde seramik gövdeye monte edilen elektrotlar, aynalar ve lazer yolunda dışarı çıkarılan lazeri karakterize edilmesine yardımcı yarı-iletken teknolojisi kullanılarak üretilen elektronik parça olan fotodiyot gösterilmiştir. Bu fotodiyot oluşan lazerin optik güç değeri ölçümünde kullanılmaktadır. Katot üzerinden anot yönüne doğru akım oluşturmak için -1000 V mertebesinde yüksek voltaj uygulaması, ayrıca oluşan plazma, lazer ışınması ve lazer yolu içerisinde bulunan e^- ve $iyon^+$ hareket yönleri gösterilmiştir.

Bir HeNe lazer oluşumu, yüksek enerjiye sahip elektronların lazer yolundaki helyum atomlarıyla çarpışmasıyla başlar. Enerji transferi gerçekleştikten sonra, elektronlar hızlı bir şekilde temel enerji seviyesine düşer. Diğer yandan helyum atomları temel enerji seviyesinden uzun ömürlü, yarı kararlı bir enerji seviyesini yükseltgenir. Sonrasında, uyarılmış olan helyum atomları, temel enerji seviyesindeki neon atomlarıyla çarpışarak uyarılmış neon atomları oluşturur. Ne atomlarının uyarılmış enerji seviyesinden temel enerji seviyesine geçişi sırasında 632.82 nm dalga boyunda kendiliğinden ışımaya gerçekleşir. Lazer yolu içerisinde rezonans koşulu elde edilmesi durumunda uyarılmış ışımaya oluşur [4].

HeNe lazerin güç çıkışı sınırlıdır. Çünkü neon üst seviye daha yüksek akımla doyururken, düşük seviye akım ile doğrusal olarak değişir. Belirli lazer dalga boylarında lazer ışınması elde etmek için, bu dalga boylarında yüksek yansıtma değerine sahip aynalar kullanılarak ve lazer yolu uzunlukları ayarlanarak tasarım yapılır. 3.39 μm ve 1.15 μm dalga boylarında kızılötesi geçişler ve 543.30 nm (yeşil), 593.90 nm (sarı), 604.60 nm (sarı-turuncu) ve 611.80 nm (turuncu) geçişi de dâhil olmak üzere çeşitli görünür geçişler vardır. HeNe lazerinin tipik kırmızı 632,82 nm dalga boyu çıkışı, 1.15 μm ve 3.39 μm çizgiler gibi diğer dalga boylarına göre çok daha düşük bir kazanıma sahiptir [4].

HeNe lazer sisteminde tercih edilen lazer ışınmasını meydana getirmek için, sadece istenilen ışımının dalga boyundaki ışığı yansıtan, yüksek yansıtıcı aynalar kullanılır. HeNe lazer sisteminde gaz plazmasının 632,82 nm lazer ışınmasının sebep olan reaksiyonlar Şekil 1.2.'de gösterilmiştir.

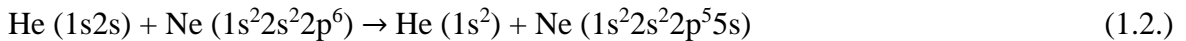


Şekil 1.2. HeNe enerji seviyesi [3]

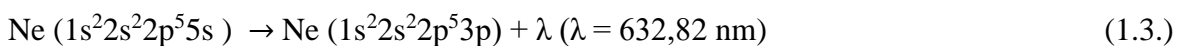
Şekil 1.2 de yarı kararlı seviyeye yükseltgenen helyum atomlarının, temel seviyedeki neon atomları ile çarpışması sonucu açığa çıkan farklı dalga boylarındaki ışınları gösterilmiştir. Yüksek gerilim altındaki yüksek enerjili elektronlar, ortamda yaklaşık 10:1 oranında bulunan HeNe gaz karışımı içinde helyum atomlarına çarparak temel enerji seviyedeki elektronlarının yarı kararlı 2s seviyesine çıkarır.



Bu enerji seviyesindeki uyarılmış helyum atomları, temel düzeydeki neon atomları ile etkileşerek neon elektronlarını 5s seviyesine uyarır.

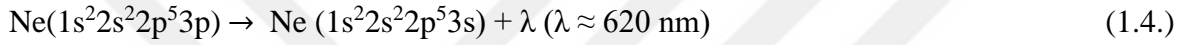


Ömrü, helyumun 2s seviyesinde göre çok kısa olan neon 5s seviyesindeki uyarılmış elektronlar, hızlıca 3p seviyesine düşerek aradaki enerji farkı olan 632,82 nm'ye denk gelen lazer ışınması yapar.

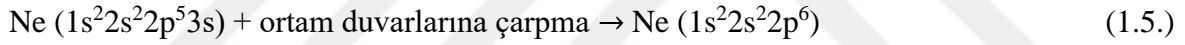


Lazer ışınması, zincirleme bir reaksiyon ile 5s seviyesindeki uyarılmış diğer neon atomlarının da aynı yön, frekans ve fazda lazer ışınması oluşturmasına sebep olur. Böylece lazer ışınmasının şiddeti gittikçe artar [3].

Gaz kanalı doğrultusunda yayılan fotonlar yüksek yansıtıcı aynalar vasıtasıyla yansıtılarak, bu yönde oluşan lazer ışığının şiddeti gittikçe artar. Diğer taraftan, kanal doğrultusunda yayılmayan fotonlar kanalı terk ederek uzaklaşırlar ve diğer neon atomlarını uyaramazlar. Bu fotonlar soğularak enerjilerini kaybederler. 3p seviyesindeki elektronlar bu enerji seviyesinde de fazla durmaz ve lazere rengini veren kırmızı-turuncu kendiliğinden ışınmayı yaparak 3s seviyesine indirgenir.



3s seviyesindeki elektronların temel düzeye indirgenmeleri, neon atomlarının gaz kanalının duvarları ile çarpışması sonucu olur.



Neon atomlarının duvarlarla çarpışma ihtimalini yüksek tutmak amacıyla HeNe lazer üretiminde gaz kanalları, belli bir kalınlıktan daha geniş yapılamaz. Böylece neon atomları yarı kararlı helyum atomlarının uyurabileceği seviyeye geri dönmüş olurlar ve zincirleme bir reaksiyon döngüsü oluşur [3].

Lazer boşluğu içerisindeki bu gazların karışım oranlarının ve toplam basınçlarının sabit kalması lazer ömrü ve performansı açısından en önemli etkidir. Bu nedenle HeNe lazerde kullanılan anot, katot ve aynaların cam gövdeye monte edildikten sonra sistemin sızdırmaz hale getirilmesi gerekmektedir. Cam gövde ve aynaların montajı “optik kontakt” adı verilen yapıştırıcı kullanılmadan uygulanan bir yöntem ile sağlanmaktadır. Optik kontakt, bu alanda yüz yıldan uzun süredir bilinen bir yöntem olup modern lazer sistemlerinde kullanılan en önemli yapıştırma yöntemlerinden biridir. Yöntemin bilimsel ilk çalışmaları Lord Rayleigh [5] tarafından 1936 yılında başlamış olup, bugünkü halini 1970 yılından sonra yapılan çalışmalarla almıştır. Optik kontak düz, pürüzsüz ve temiz cam yüzeylerinin nanometre seviyesinde yaklaştırılması sonucunda birbirine yapışması anlamına gelmektedir. İki cam yüzey birbirine yaklaştırılıp baskı uygulandığında, yapışma

gerçekleşir. Yapışma, yapışma yüzeyinde siyah bir nokta olarak başlar. Baskı uygulanmaya devam ettiğinde, bu nokta büyür ve bir süre sonra kuvvet kaldırılmış bile olsa, bütün yüzeyi kaplar. Bu yöntemde malzeme olarak genellikle pyrex cam, kaynaşık kuvars, tek kristal kuvars, kaynaşık silika (SiO_2) kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda optik kontakt, iki temele bağlanmıştır. Bunlardan birincisi Van der Waals bağları, ikincisi ise hidrojen (H-H) bağlarıdır. Vinogradov yaptığı çalışmalarda, bu iki yapışma mekanizması arasındaki farkı silika malzemelerde yüzeyin yapısına bağlamıştır. Yüzeyler hidrofilik olduğunda, su molekülleri arasında hidrojen bağı gerçekleşmektedir. Yüzeyler hidrofobik olduğunda ise, Van der Waals kuvvetleri aracılığıyla bir bağ oluşmaktadır. Hidrojen bağı, Van der Waals bağına göre daha fazla yapışma kuvveti sağlamaktadır. Vinogradov bu sonuca yüzeylerin ısıtılması sonucunda kontakt kuvvetlerinde azalma görülmesi sonucunda ulaşmıştır. Yüksek sıcaklıklarda ($450\text{ }^\circ\text{C}$) tavlanan silika malzemelerin yüzey özelliklerinin hidrofilikten, hidrofobiğe geçmesi buna sebep olmaktadır.

Montaj işlemi sırasında aynalar lazer yolunun uzunluğu ışın dalgasının katı olacak şekilde ayarlanmaktadır. En verimli ışın dalgasının dalgı boyu katı ile olan ilişiği Fabry-Perot interferometresi yöntemi ile anlatılmıştır [6]. Fonksiyonel ve simetrik olarak Fabry-Perot interferometresi ile HeNe lazer interferometresi arasında bir fark yoktur. Fabry-Perot interferometresi ile iki adet düz ayna ve bu iki ayna arasında yansıyan ve iletilen lazer ışınından oluşmaktadır. Sisteme yerleştirilen ikinci ayna da ise yansımalar teorik olarak sonsuz olacağından maksimum gücü elde etmek için aynalar arası mesafenin lazer ışın dalgı boyunun yarısının tam katı olması veya lazerin bir tam tur dönme mesafesinin lazer dalgı boyunun tam katı olması gerekmektedir. Bu nedenle aynalar, lazer yolu ışın dalgı boyunun katı olacak şekilde ayarlanmalıdır [7,8].

Lazer boşluğu içerisindeki gazların basınç ve oranının değişmemesi için HeNe lazerde kullanılan anot, katot ve aynaların cam gövdeye monte edildikten sonra sistemin sızdırmaz hale getirilmesi gerekmektedir. Anot ve katotun cam gövdeye monte edilmesi için ise soğuk pres yöntemi kullanılır. Bu yöntem, cam-metal yalıtımı (veya bağlantısı) elektrik, elektronik, vakum ve kimyasal uygulamalarda kullanılan bir yöntemdir. Cam-metal bağlantısı kullanılan sistemlerde temel amaç, metalin yapısal dayanım, ısı ve elektrik iletkenliği özellikleri ile camın saydamlık ve düşük ısı duyarlılık özelliklerini birleştirmektir. Cam-metal bağlantılarında, bağlantının sızdırmaz olması, çoğunlukla mukavemetinden daha fazla önem taşımaktadır. Bu lazeri oluşturabilmek için gerekli uyarım, cam tüpün her bir ucundaki bir

anot ve katota yüksek voltajlı elektriksel deşarj uygulamakla yapılabilir. Katot üzerinden anot yönüne doğru akım oluşturmak için uygulanan yüksek voltaj uygulaması ile e^- 'lar anot yönüne ve $iyon^+$ 'lar ise katot yönüne hareket etmektedirler. Katot yönünden anot yönüne doğru hareket eden ve anot yüzeyine çarpan elektronların iyonlara göre ağırlıkları ihmal edilebilir seviyede olduklarından anot iç yüzeyinde aşınmaya neden olmamaktadırlar. Bu nedenle anot genellikle tamamen altın kaplanır ve anot iç yüzeyi HeNe lazerin ömrü boyunca aşınmamaktadır. Katot yönüne hareket eden ve kütlesi yüksek olan iyonlar ise katot iç yüzeyinde zamanla aşınmaya neden olmaktadır. Bu nedenle, elektron yayıcı soğuk katot lazerin yapımında önemli parçaların başında gelmektedir.

1960'lı yıllarda keşfedilen ve uzun yıllardan beri kullanılmaya devam eden katot malzemesi olarak alüminyum (Al), magnezyum (Mg), tantalyum (Ta) ve berilyum (Be) gibi metaller tercih edilmiştir. Yüksek oksitlenme yeteneği, kirletici etkisinin azlığı ve düşük maliyeti nedeni ile yapılan çalışmada alüminyum tercih edilmiştir.

Alüminyum üzerinde oksit film oluşturularak, elektrik alan etkisi ile plazma içerisindeki iyonların katot yüzeyine çarptırılıp, katottan atomik düzeyde alüminyum ve oksit koparılarak, gaz atmosferi ortamına karışması engellenmektedir. Belli bir süre sonra Al^+ ve O^- iyonlarının katot yüzeyinden sökülmesi ve lazer ortamına karışmasından dolayı He ve Ne gazlarının kısmi basıncında ve lazer çıkış gücünde azalma meydana gelir [9]. Lazer atmosferinde bulunan HeNe gazlarının basınçlarının belli bir süre sonra soğuk katot yüzeyinden kopan atomik parçalar yüzünden düşmesi HeNe lazerin ömrünü azaltmaktadır.

Alüminyumun yüzeyinde oluşturulacak oksit filminin kontrollü olarak homojen bir şekilde oluşturulması ve uygun kalınlığının sağlanması sonucunda Al^+ ve O^- iyonlarının kopması geciktirilebilir. HeNe lazerin soğuk katodu, pyrex cam ya da cam seramik üstüne elektron buharlaştırma yöntemi ile alüminyum ya da alüminyum alaşımlarının kaplanması ya da ince alüminyum levhaların şekillendirilmesiyle üretilmektedir. Oksit tabakası, alüminyum üzerine vakumda ve kontrollü bir oksijen atmosferinde kaplanır. Metalin yüzeyinde oluşacak bu dielektrik filmin kalınlığı 5 - 15 nm arasında olmalıdır. Oksit tabakasının kalınlığının belirli bir seviyeden (~ 20 nm) fazla olması, elektronların katottan yayılımını azaltır ve engeller. Dolayısıyla kalın bir oksit tabakası, soğuk katot uygulamaları için uygun değildir.

Çalışmada HeNe lazerin soğuk katot üretimi için alüminyum 1050 alaşım malzemesi üzerine kontrollü bir oksit büyütme işlemi uygulanmıştır. Bu süreç için oksijen plazma metodu ve termal oksit büyütme yöntemleri ile katot yüzeyinde 5 - 15 nm kalınlığında bir oksit tabası oluşturulmuş ve soğuk katodun ömrü belirlenmeye çalışılmıştır. Dolayısı ile yüzeyde gerçekleşebilecek oksit tabakasının aşınmasına bağlı olarak HeNe lazer ömrü belirlenmiştir.

Katot yüzeyi değişik kontrollü oksitlenme yöntemleri ile dielektrik bir özelliğe sahip olan alüminyum oksit (Al_2O_3) ile gerekli kalınlıkta oluşturulur. Alüminyum oksit tabakası soğuk katodun yüzeyinde oluşturulması ile katodun ömrünün uzatılması sağlanmıştır [9].

Yüzeye yapılacak olan oksitlenme işleminden önce katot yüzeyi çok iyi derecede temizlenmelidir. Bunun için ultrasonik mekanik temizleme yöntemlerinin yanı sıra, ozon, sülfürik asit gibi malzemelerle temizleme yöntemleri kullanılır.

Çalışma kapsamında oksit tabakanın kontrollü birikimi için iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi termal yöntemdir. Sıcaklık kontrollü olarak büyütülürken, sıcaklığa bağlı oksit katmanın kalınlık değişimi ve malzemenin tane yapısı gözlemlenmiştir. Tane yapısındaki ve büyüklüğündeki değişimin dolaylı olarak oksit kalınlığının homojenliğine ve kalınlığına etkisi karakterize edilmiştir. Bir diğer yöntem ise oksitlenme yöntemidir [10,11]. Oksijen plazma metodunda katot ilk önce sızdırmaz bir şekilde kapatılıp vakum sistemine bağlanır. Vakum ortamında oksijen plazma oluşması sağlanır. Bu işlem 30-120 dakika sürecince istenilen kalınlığa ulaşıncaya dek uygulanır. Burada katot yüzeyinde plazma sıcaklığı ve oksijen basıncı ile bağlantılı olarak oksit tabası oluşturulmuştur [12,13,14]. Soğuk katodun geometrisi ve kullanılan HeNe gaz oranları da katot ömrünü etkileyen parametrelerdendir. Katodun yüzey alanının büyük olması; katot yüzeyinde düşük oranda bir akım yoğunluğu oluşmasına sebep olur [15,16,17]. Eğer oluşan akım yoğunluğu düşük ise katodun bozulma hızı azalacaktır. Küresel şekilli katotların, üzerlerinde oluşan akım daha homojen dağıldığı için, katot yüzeyinde kızgın bölgeler (hot-spot) oluşmaz ve katot ömrünün daha uzun olması sağlanır [18,19,20].

Oluşan alüminyum oksit filmin karakterizasyonunda elipsometre, taramalı elektron mikroskobu ve geçirimli elektron mikroskobu cihazları kullanılmıştır.

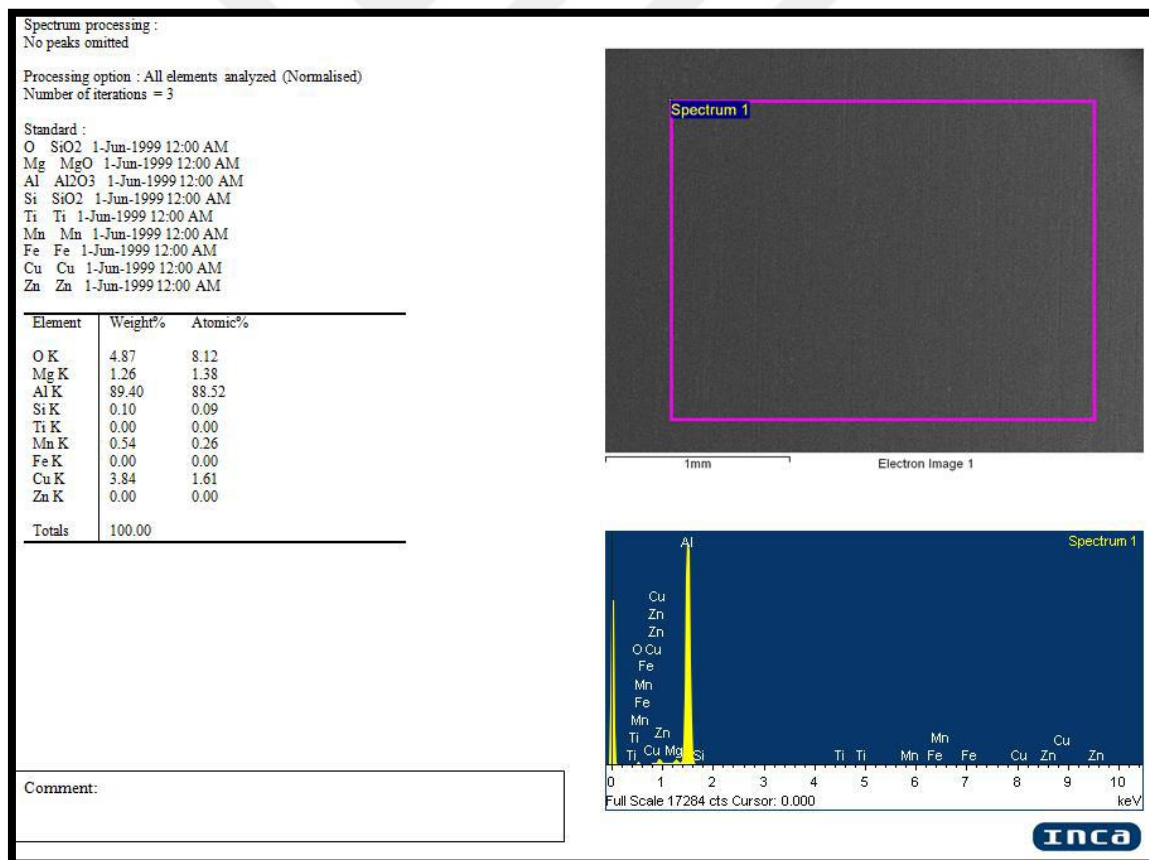
Katot üretimi ve karakterizasyonu sonucu ortaya çıkacak ürün labview yazılımı kullanılarak tasarlanan yazılım ve donanımı ile kurulan test sisteminde 10000 saat boyunca test edilmiş ve ömrü belirlenmiştir.

Oksit katmanının morfolojisi ve kalınlığının, katodun ömrünü önemli ölçüde azaltan homojen olmayan bir yük dağılımına yol açtığı bilinmektedir. Bu çalışmada, termal ve plazma destekli oksit büyütme yöntemi kullanılarak; oksit tabakasının alüminyum üzerindeki kalınlığının ve morfolojisinin kontrol edilmesi ve modifikasyonu üzerine karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Farklı metotlarla oluşturulan oksit katmanları; yüksek çözünürlüklü geçiş elektron mikroskobu (HRTEM), X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve elipsometri cihazları kullanılarak analiz edilmiştir.

Türkiye’de ilk kez milli olarak üretilen katodun üretim sürecinin yer aldığı tezin ikinci bölümünde; katot, dolayısı ile HeNe lazerin ömrünü etkileyebilecek parametrelerin iyileştirmesine yönelik tasarım çalışmalarına yer verilmiştir. Çalışmalar öncelikle yüzey pürüzlülüğü iyileştirme çalışması ile başlamıştır. Daha sonra, bu yüzeylerde iki farklı yöntem ile alüminyum oksit büyütülmesi çalışmaları gerçekleştirilmiş ve sonuçları incelenmiştir. Tezin üçüncü bölümünde ise; ikinci bölümde üretim şekli ve yöntemi belirlenen katodun, birinci bölümde belirlenen yöntemlerle üretim süreci tamamlanmıştır. Biten nihai ürünlerden bir tanesi tekrar analiz edilerek kritik tasarım özellikleri incelenmiş, diğer ürünler ise HeNe lazer üretiminde kullanılmak üzere işleme alınmıştır. Bu kısımda elektrot seramik bağlama işlemleri, seramik-seramik optik kontak işlemleri, genel yapısı ile HeNe lazer anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise, HeNe lazerin ve katodun çalışma ömrü literatüre uygun şekilde test edilmiştir. Yaklaşık 10000 saat veri toplayabilecek test sistemi kurulmuştur. Test boyunca toplanan verilerin analizi ve HeNe lazer içerisinde oluşan plazmanın spektrum analizi ile HeNe lazerin kazanç ortamında oluşabilecek istenmeyen gazların analizi yapılmıştır. Sonuç kısmında ise elde edilen bilgiler ile HeNe lazer performansı ve ömrüne yönelik yapılan tüm analizler sonuçlandırılmıştır.

2. KATOT TASARIM SÜRECİ

Katot üretiminde kullanılacak olan alaşımın doğrulanması amacıyla, alaşım içeriğinde bulunan elementlerin belirlenmesi için alüminyum malzemelere EDX analizi yapılmıştır. Alaşım içinde; ağırlık olarak %89,40 alüminyum (Al), %4,87 olarak oksijen (O), %3,84 olarak bakır (Cu) ve geriye kalan %1,89 içeriğinde ise magnezyum (Mg), silisyum (Si), titanyum (Ti), manganez (Mn), demir (Fe) ve çinko (Zn) bulunmaktadır. Aynı alaşım içinde mol ağırlığı olarak ise %88,52 alüminyum (Al), %8,12 olarak oksijen (O), %1,61 olarak bakır (Cu) ve geriye kalan %1,75 içeriğinde ise magnezyum (Mg), silisyum (Si), titanyum (Ti), manganez (Mn), demir (Fe) ve çinko (Zn) bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre üretimde kullanılacak olan alaşımın alüminyum 1050 olduğu doğrulanmıştır. EDX sonucu Şekil 2.1’de verilmiştir.

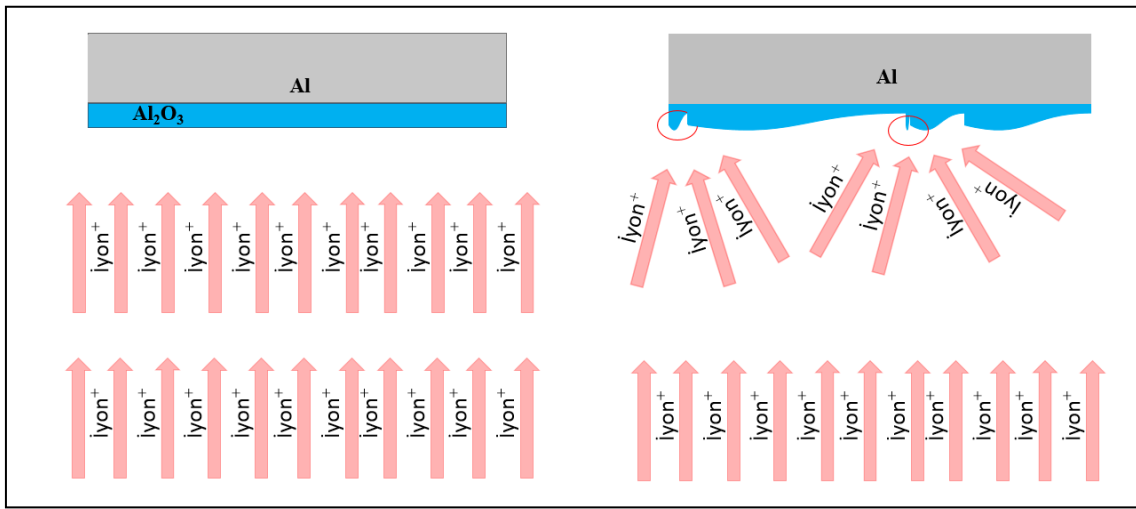


Şekil 2.1. Kullanılmış olan alüminyumun saflık analizi

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi analizi tamamlanan alaşımın Alüminyum 1050 gösterilmiştir. Tasarım denemelerinde kullanılmak üzere alüminyum 1050’den yarıçapı 2 cm olacak şekilde disk şeklinde malzeme üretilmiş ve yüzey pürüzlülüğü çalışmaları başlanmıştır.

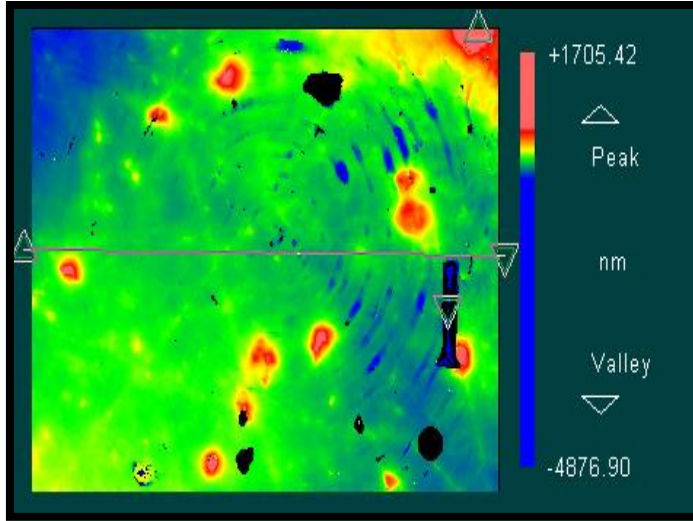
2.1. Kullanılacak Olan Alüminyumun Yüzey Pürüzlülüğü İyileştirme Çalışmaları

Katot olarak kullanılacak olan geometride katodun, dolayısı ile HeNe lazerin ömrü etkileyen en önemli parametresi; geometrinin deşarj yüzeyinin iç yüzey pürüzlülük değeridir. İç yüzeyde var olan, yüzeyin genel yüzey dağılımına göre ani yükseklikler ya da çukurlarda yük dağılımı farklı olacağından, yük dağılımının yoğun olduğu yüksekliklere iyon yönelimi daha fazla olacaktır. Şekil 2.2’de çizilmiş olan gösterimde yükselti ve çukurlara göre iyonların yönelimi gösterilmiştir.



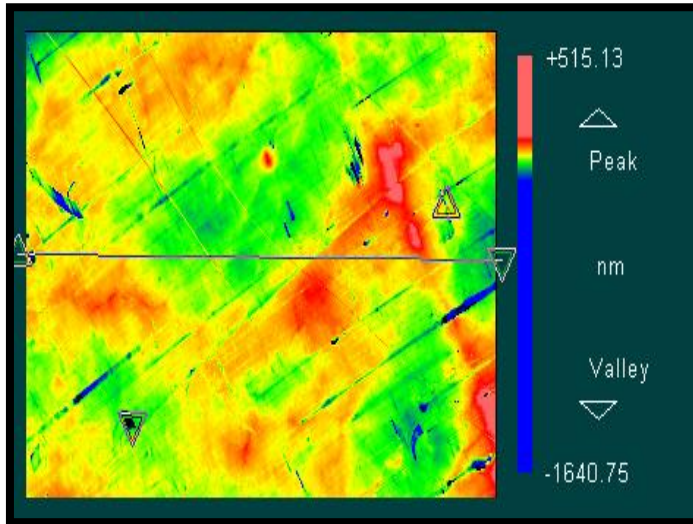
Şekil 2.2 Yükseklik ve çukurların iyon yönelimi etkisinin şematik gösterimi

Bu bölgelerde alüminyum oksit kaplaması daha kolay aşınacak ve dolayısı ile katodun ve HeNe lazerin ömrü kısılacaktır. Bu nedenle üretilen numunelerde yüzey pürüzlülüğü değerinin minimum olması; doğrudan kullanım ömrünün uzamasına katkı sağlayacağından, numune yüzeyleri hassas olarak işlenmiş, ardından yüzey parlatma işlemi yapılmıştır. Yüzey alanları eşit olsa da yüzeyde bulunan yükseltelerde yük yoğunluğu çukur bölgelere daha fazla olacağından iyonların numune üzerindeki yükseltelere yönelimi daha fazla olacaktır. Bu yönelimin olmaması için plazma uygulanacak yüzeyin pürüzlülüğünün minimuma indirilmesi gerekmektedir. Katot üretimde kullanılacak olan alaşımın doğrulanması sonrası, denemelerde kullanılacak olan ürünlerin yüzey pürüzlülüğünü azaltmak amacı ile hassas işleme ve sonrasında yüzey parlatma işlemleri yapılmıştır. Hassas işleme sonrası yüzey pürüzlülüğü pikten pike 6500 nm değerine indirilmiştir. Şekil 2.3.’de yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılan numunenin yüzey görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.3 Hassas işleme sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Yükseltelerin kırmızı ve tonları, çukurların ise mavi ve tonları ile gösterildiği yüzey ölçümünde yüzey işleme sırasında yüzeyde kalan izler ile birlikte yüzey ölçümünde mikron seviyesinde olduğu gösterilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünü daha alt değerlere çekebilmek için yüzeye parlatma işlemi uygulanmıştır. Yüzey parlatma işleminden sonra ise yüzey pürüzlülüğü değeri pikten pike 2100 nm'ye indirilmiş olup görsel sonucu Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Yüzey parlatma işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Şekil 2.4'de görüldüğü gibi numune üzerinde yüzey parlatma işlemi sonrasında yüzey kalitesi 3 kat iyileşmiş ve yüzey pürüzlülüğü RMS değeri olarak 381 Å olarak görülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerlerinin Å mertebelerine indirilmesi sonrasında denemelerde

kullanılacak 5 adet numune oksit oluşumu ve karakterizasyonu için geçirimli elektron mikroskobu ve elipsometri incelemelerine alınmıştır.

2.2. Alüminyum Üzerinde Doğal Oksit Oluşumu ve Karakterizasyon

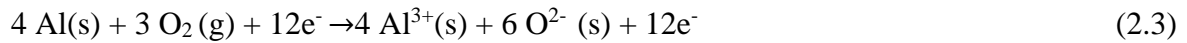
Dünya üzerinde en bol bulunan metal olan alüminyum (toplam metallerin %8,2'sinde) doğada hiçbir zaman serbest değildir. Alüminyum oksit oluşturmak için kendiliğinden hava ile reaksiyona girer. Alüminyum oksit, alüminyumu korozyondan veya daha fazla oksit büyütmesini birikmesi koruyan sabit bir pasif katman oluşur, bu katmanın kararlı kaldığı sürece doğal bir koruma katmanı oluşturur. Bir ara geçiş metali olan alüminyumun değerlilik elektron sayısı +3'dür.



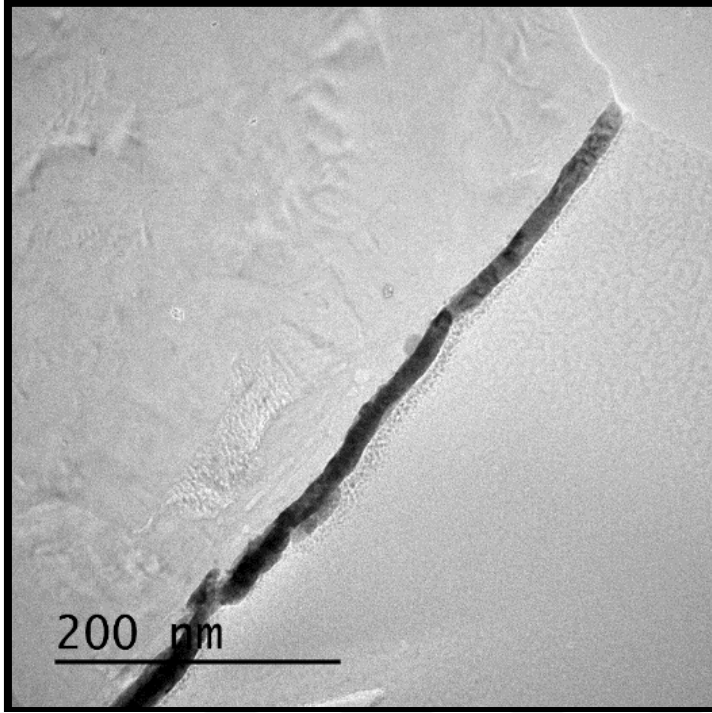
Bir yarı ametal olan oksijenin ise değerlilik elektron sayısı -2'dür.



Birbirleri ile iyonik bağ kurabilen bu iki element, dışarıdan bir enerjiye ihtiyaç duymadın bağ kurarak alüminyum oksit bileşiğini oluştururlar.

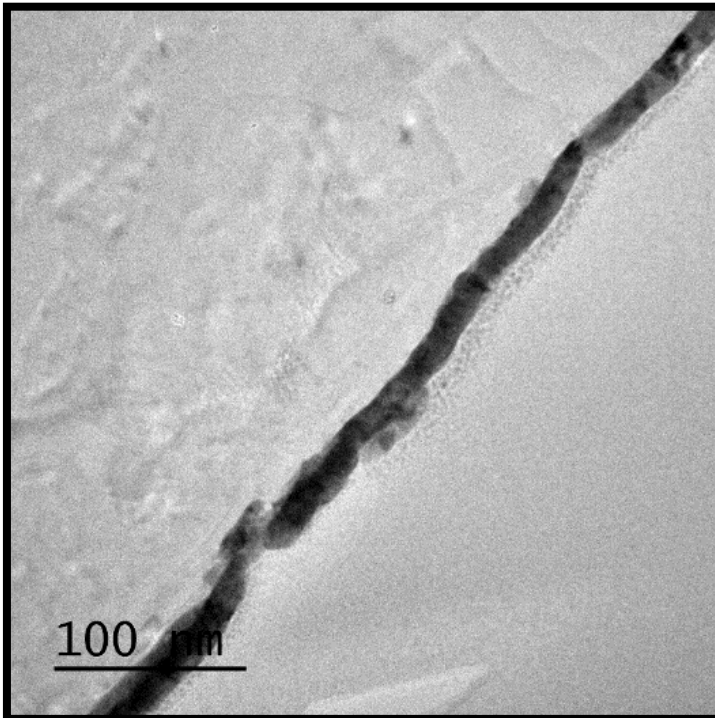


Alüminyum 1050 alaşımının hava ile temas eden yüzeyinde bulunan alüminyum atomları ile hava içerisinde bulunan oksijen atomları bağ kurarak, alüminyum 1050 yüzeyinde Alüminyum oksit katmanını oluştururlar. Oluşan bu doğal oksit tabakasının kalınlığını ölçebilmek için yüzey kimyasal temizliği yapılan alüminyum 1050 numunesi; ultrasonik temizleyici ile temizlenip, vakum ortamında argon plazmaya maruz bırakılmıştır. Sonrasında atmosfer ortamına alınıp doğal yollardan oksitlenmesi beklenmiştir. Alüminyum oksit kalınlığı, kristal yapısı ve oksit tabaka altında kalan malzemenin tanecik yapısının analizi için malzeme elektron mikroskobunda incelenmiştir. Elektron mikroskobundan alınan 450 nm*450 nm'lik görüntü Şekil 2.5'de verilmiştir.



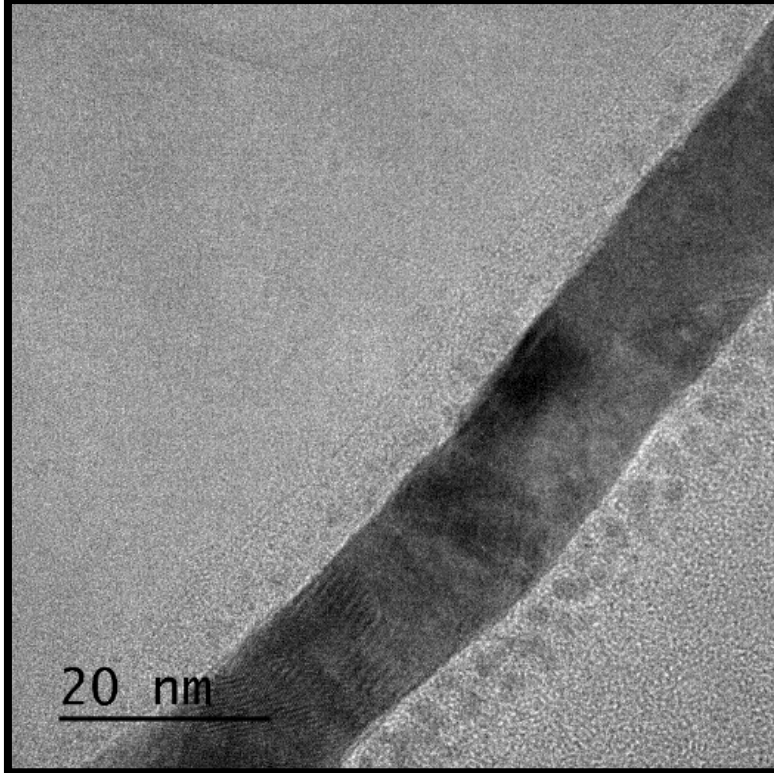
Şekil 2.5. 450 nm*450 nm'lik görüntü

Şekil 2.5'de alüminyum ve paladyum görüntülenmiş, fakat ince bir katman olan alüminyum oksit katmanı görüntülememiştir. Şekil 2.6'da malzeme üzerinde daha dar bir kesit olan 350 nm*350 nm alanda bakılmıştır.



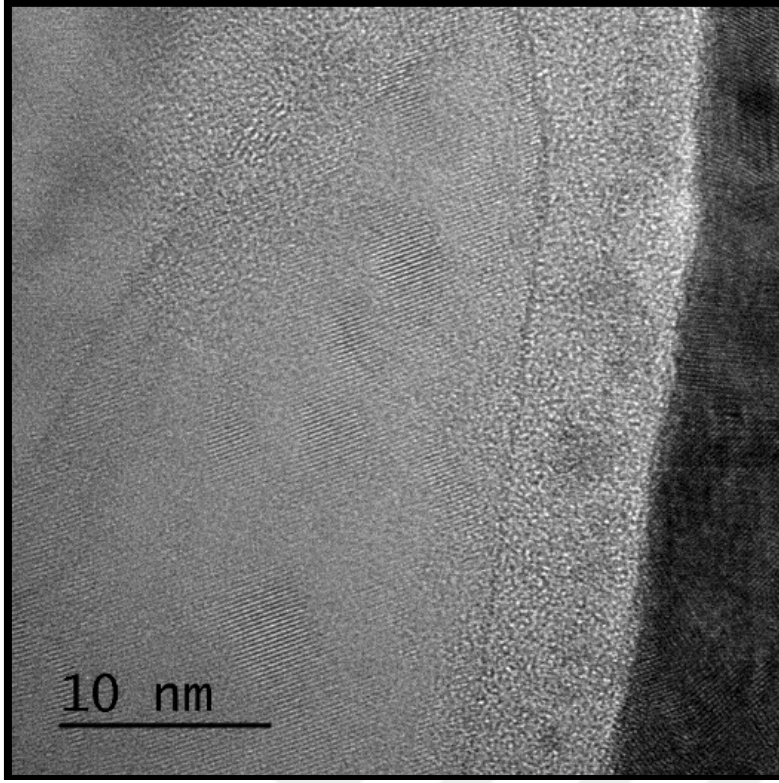
Şekil 2.6. 350 nm*350 nm'lik görüntü

Şekil 2.6'da alüminyumun tane (grain) yapısı hakkında kabaca bilgi alınabilmiş (≈ 50 nm*50 nm), fakat alüminyum oksit katmanı görüntülenememiştir. Şekil 2.7'de malzemeye 65 nm*65 nm alanda bakılmıştır.



Şekil 2.7. 65nm*65nm'lik görüntü

Şekil 2.7'de alüminyum oksit tabakasının amorf yapıda olabileceği ile ilgili kabaca bilgi alınabilmiş alüminyum oksit katmanının 65nm*65nm'lik alan içerisinde homojen olduğu görülmüş. Alüminyum oksit katmanın yaklaşık değeri ölçüle bilinmiştir. Şekil 2.8'de malzemeye 35 nm*35 nm alanda bakılmıştır.

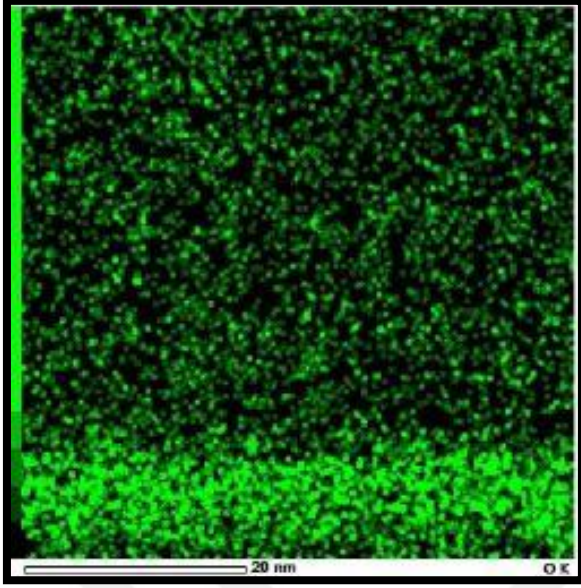


Şekil 2.8. 35 nm*35 nm'lik görüntü

Şekil 2.8'de alüminyum oksit tabakasının amorf yapıda olduğu, katmanın homojen ve 4 nm kalındığında olduğu görülmüştür.

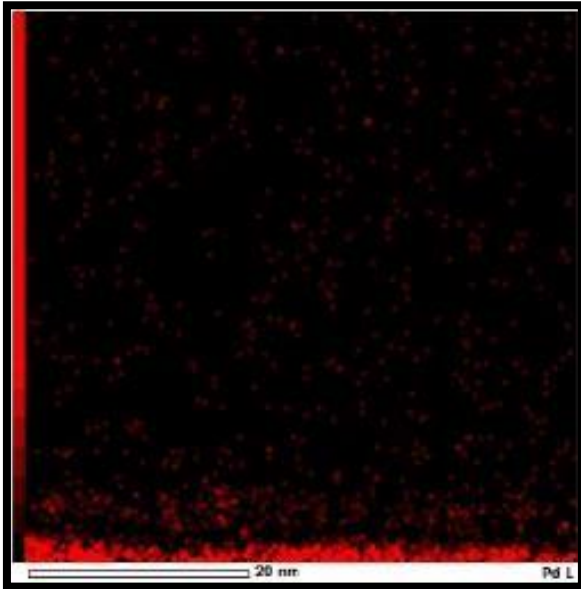
Alüminyum, üzerinde alüminyum oksit tabakası oluşturmak için kendiliğinden hava ile reaksiyona girmiştir. Alüminyum oksit, kararlı kaldığı sürece doğal bir koruma katmanı oluşturur. Bu katman 30 - 40 Å büyüklüğünde ve amorf yapıdadır.

Oluşan yapının element haritası ve içeriğinde bulunduğu tahmin edilen elementlerin malzeme içerisinde dağılımına ait haritalandırma işlemi yapılmıştır. Malzeme içerisinde oksijen atomlarının dağılımı Şekil 2.9'da verilmiştir.



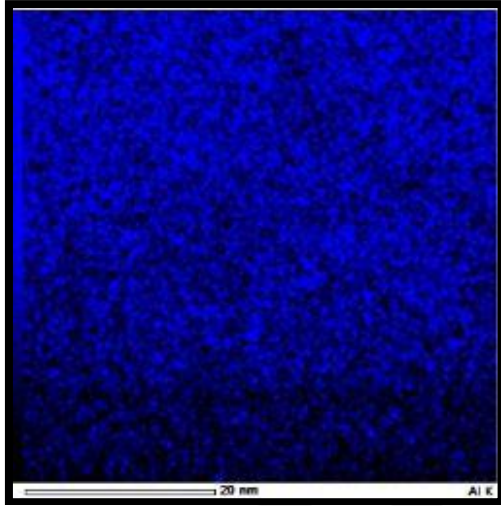
Şekil 2.9. 40 nm*40 nm'lik alanda oksijen elementi haritalandırması

Numunenin 40 nm*40 nm alanında yapılan element haritasında oksijen dağılımı Şekil 2.9'da görüldüğü gibidir. Haritalama yönteminde alanda bulunan oksijen dışında diğer elementler siyah oksijen yeşil ile renklendirilmiştir. Alüminyum oksitin yoğun olduğu şeklin alt kısmındaki 3 - 4 nm'lik alanda yeşil yoğunluğu fazla olup, tane (grain) boşluklarında malzeme içerisine doğru azda olsa oksijen gömülmesi görülmektedir. Malzemenin analizi öncesi yüzeye kaplanan paladyumun haritası Şekil 2.10'da verilmiştir.



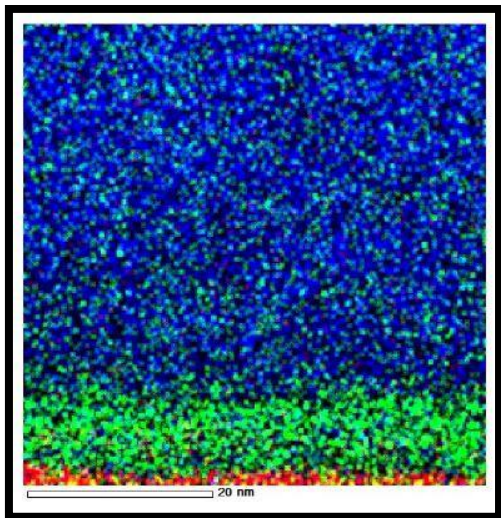
Şekil 2.10. 40 nm*40 nm'lik alanda paladyum elementi haritalandırması

Numunenin 40 nm*40 nm alanında malzemenin korunması için kaplanan paladyumun yapılan element haritasında dağılımı gösterilmiştir. Kırmızı renkle gösterilen paladyum malzemenin en dışında 1 nm'lik alanda yoğunlaşmıştır. Amorf yapıda olan alüminyum oksit tabakasından içeriye geçememiştir. Ham malzeme olarak kullanılan alüminyum 1050 altlığının haritası Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11. 40 nm*40 nm'lik alanda alüminyum elementi haritalandırması

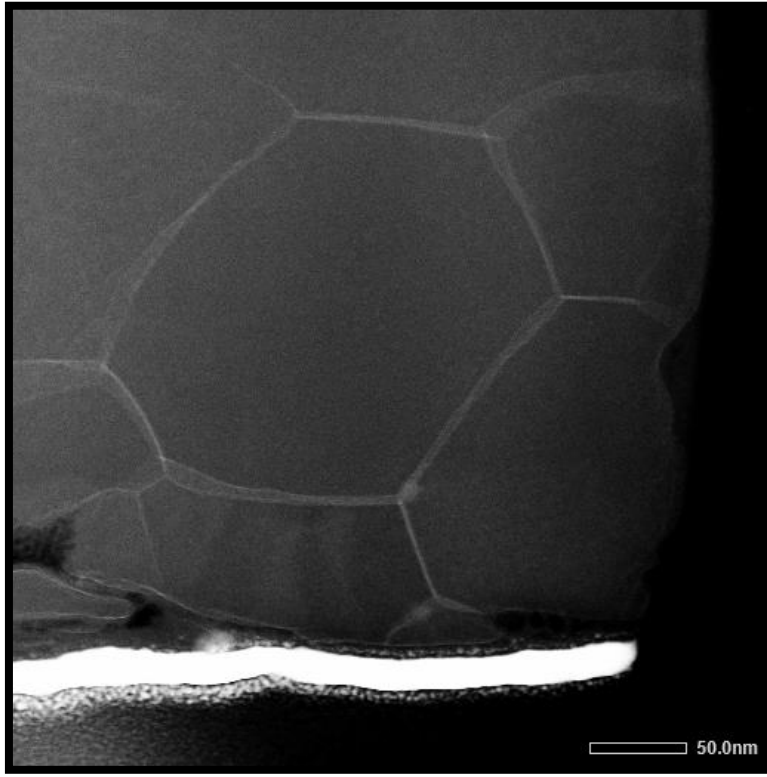
Mavi renkle gösterilen alüminyumun malzeme içerisindeki dağılımı gösterilmiştir. Malzemede ağırlıklı olarak yer alan alüminyum, oksijen ve paladyumun tamamının element haritasında dağılımı ise Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12. 40 nm*40 nm'lik alanda oksijen, paladyum ve alüminyum elementleri haritalandırması

Malzemede içerisinde bulunan alüminyum, alüminyum oksit ve paladyumun dağılımı gösterilmiştir. Şekil 2.12'ye göre malzeme de 3-4 nm kalınlığında alüminyum oksit bulunmuştur.

Geçirimli elektron mikroskopunda incelenmesi sırasında elektron tabancasından ya da sisteme yükleme sırasında dışardan gelebilecek herhangi bir kirlilik kaynağını saptamak amacı ile STEM görüntüsüne ve malzemenin tane yapısına da bakılmıştır. Malzemenin tane büyüklükleri Şekil 2.13'de verilmiştir.



Şekil 2.13 Elektron mikroskobu alüminyum tane yapısı

Işık şiddeti değiştirilerek alınan görüntüde malzemenin tane yapısının büyüklüklerinin $0.04 \mu^2$ 'lik bir alan olduğu görülmektedir. Bu alan büyüklüğü alüminyum oksit kalınlığının homojen büyümesi için yeterli bir alan olarak görülmüştür. Malzemenin yüzeyinden, malzemenin derinliğine yönünde element arama işlemi yapılmıştır. Malzeme içerisine dışarıdan bulaşabilme ihtimali olan karbon (C), demir (F) ve galyumun (Ga) yanında malzeme içerisinde bulunan alüminyum (Al), oksijen (O) elementleri bunlara ek olarak kaplanan paladyum (Pd) ve altın (Au) elementlerinin malzeme içerisindeki konumuna göre analiz edilmiştir. Karbonun (C), demirin (F), galyumun (Ga), alüminyumun (Al), oksijenin

(O), paladyumun (Pd) ve altının (Au) renkle belirtildiği şekilde görüntünün alındığı 2,5 - 7,5 nm arasında sadece alüminyum oksit bulunduğ, malzemenin derinlerinde ise 10nm'den sonra sadece alüminyumunun bulunduğu gözlemlenmiştir. Galyum (Ga) elektron tabancasından yayıldığı için malzeme içerisinde görüntülenmiştir. Alüminyum oksit kalınlığı ve yapısı, alüminyum tane büyüklüğü görüntülenen işlemler sonrasında malzeme üzerinde doğal oksit tabakasından daha kalın fakat yapısal olarak doğal büyümeye benzeyen bir büyütme üzerinde çalışılmıştır. Bölüm 2.3'de malzeme üzerinde daha kalın alüminyum oksit büyütme ve büyütülen alüminyum oksit kalınlığı ile beraber yapısının da analiz edildiği ölçümler yapılmıştır.

2.3. Alüminyum Oksit Tabası Büyütme

Doğal oksit tabakasının yerine daha kalın alüminyum oksit büyütme için iki yöntem kullanılmıştır. Bunlardan ilki kapalı bir sistemde saf oksijen ile doldurulan bir sistemde DC oksijen plazma uygulayarak yüzeyde alüminyum oksit oluşturmaktır. İkincisi yöntem ise atmosfer ortamında alüminyum ısıtarak yüzey enerjini artırıp daha fazla oksijenin bağ yapması ile yüzeydeki alüminyum oksit kalınlığını arttırmaya yönelik yöntemdir.

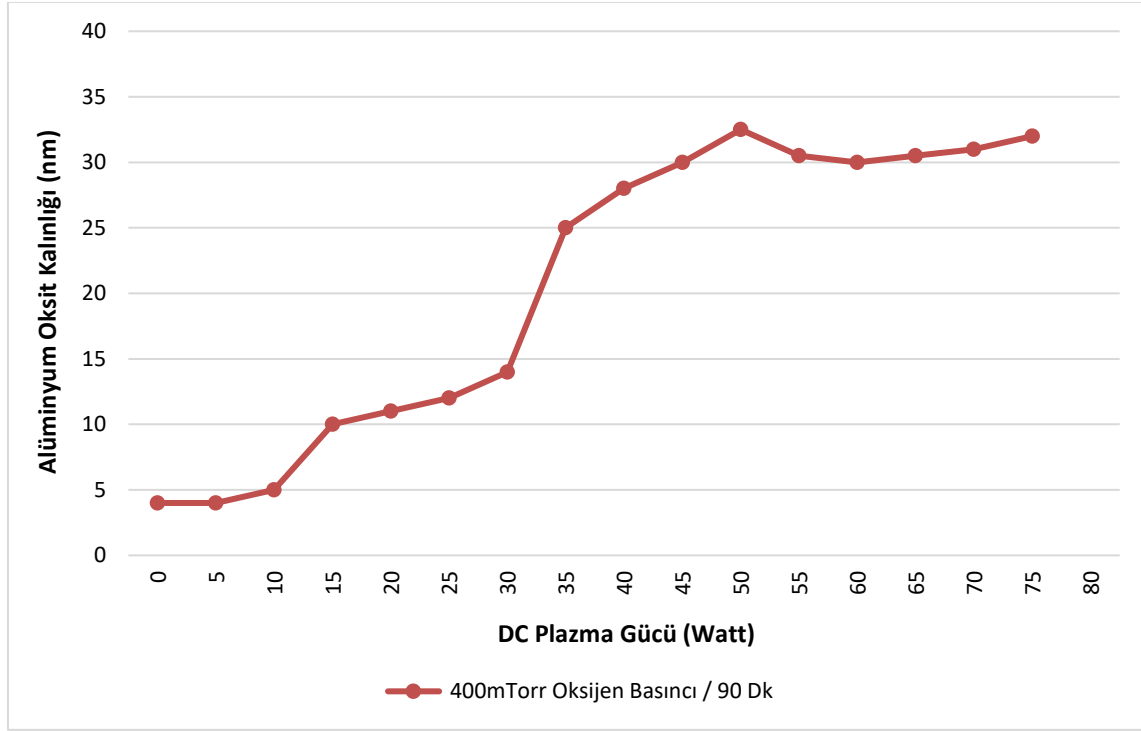
2.3.1. DC oksijen plazma yöntemi ile alüminyum oksit tabası büyütme

Çalışmanın bu kısmında DC oksijen plazma yöntemi kullanılarak büyütülen alüminyum oksit alüminyum oksit katman kalınlığı incelenecektir. Çalışma sırasında DC plazma gücü, uygulanan süre ve oksijen kısmi basınçları değiştirilerek çalışmalar yapılmıştır. Bu değişkenlere göre alüminyum oksit katman kalınlığı değişkenlik göstermektedir.

Oksit tabakasının kalınlığını ölçebilmek için; yüzey kimyasal temizliği yapılan alüminyum 1050 numunesi ultrasonik temizleyici ile temizlenip, vakum ortamında 60 dakika boyunca 60 Watt N6.0 saflık seviyesinde argon kullanılarak DC argon plazma temizliği yapılmıştır. Burada amaç; büyük atom çapına sahip argonun hızlandırılması sonrası, kazandığı momentum ile yüzeyde bulunan ve istenmeyen elementlerin ya da birleşiklerin uzaklaştırılmasıdır. Argonun soy gaz olmasından dolayı, yüzey ile herhangi bir reaksiyona girip yüzeyde kalmasının mümkün olmadığı düşünülmektedir. Temizlik işlemi sonrası; alüminyum oksit kalınlığında önemli rol oynayan süre, oksijen basıncı ve DC plazma gücü değiştirilerek bu parametrelere bağlı alüminyum oksit kalınlığı ölçümü yapılmıştır. Bu üç

parametreden ikisinin sabit tutulduğu ve birisinin değişiminde gözlemlenen alüminyum oksit kalınlığındaki artış gözlemlenmiştir. İki parametrenin sabit tutulup bir diğer parametrenin değiştiği durumda alüminyum oksit kalınlığı sürekli olarak değil, her bir değişken parametre değeri için ayrı bir deneme yapılarak alüminyum oksit kalınlığı ölçülmüştür. Her bir parametre için 14, toplamda 52 ölçüm sonucu değerlendirilmiştir.

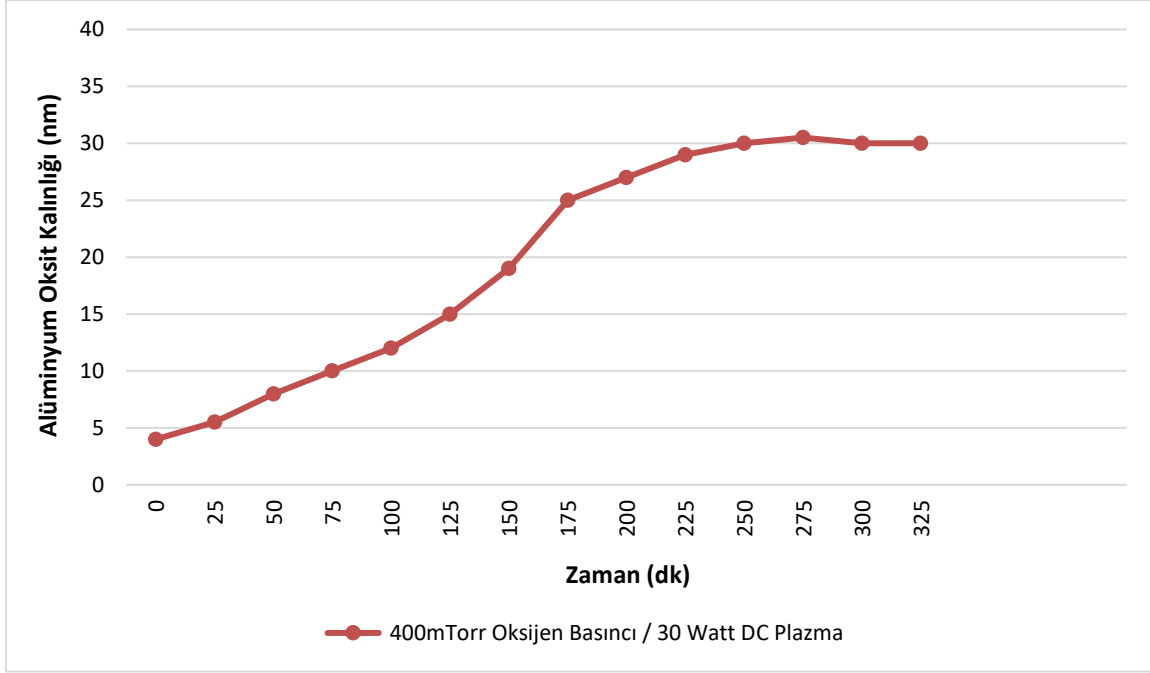
Kapalı sistem içerisinde argon temizliği yapılan numunelerde DC plazma gücüne bağlı olarak yüzeyde büyüyen alüminyum oksit tabasının kalınlığının değişimi Şekil 2.14'de verilmiştir.



Şekil 2.14. DC Plazma gücüne bağlı oksit tabakası kalınlığı değişimi

Katman kalınlığı, uygulanan plazma gücüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. 400 mTorr oksijen basıncı ve 90 dakika uygulama süresi sabit tutularak; 0 – 80 W arasında DC plazma gücü değiştirilerek yüzeyde oluşan alüminyum oksit katman kalınlığı ölçülmüştür. Oluşan oksit filmin kalınlığı 4 nm değerinden 32,5 nm değerine kadar arttırılmıştır. Ancak uygulanan plazma gücünün 50 W değerinden sonra oksit filmin kalınlığına etkisi olmadığı görülmektedir.

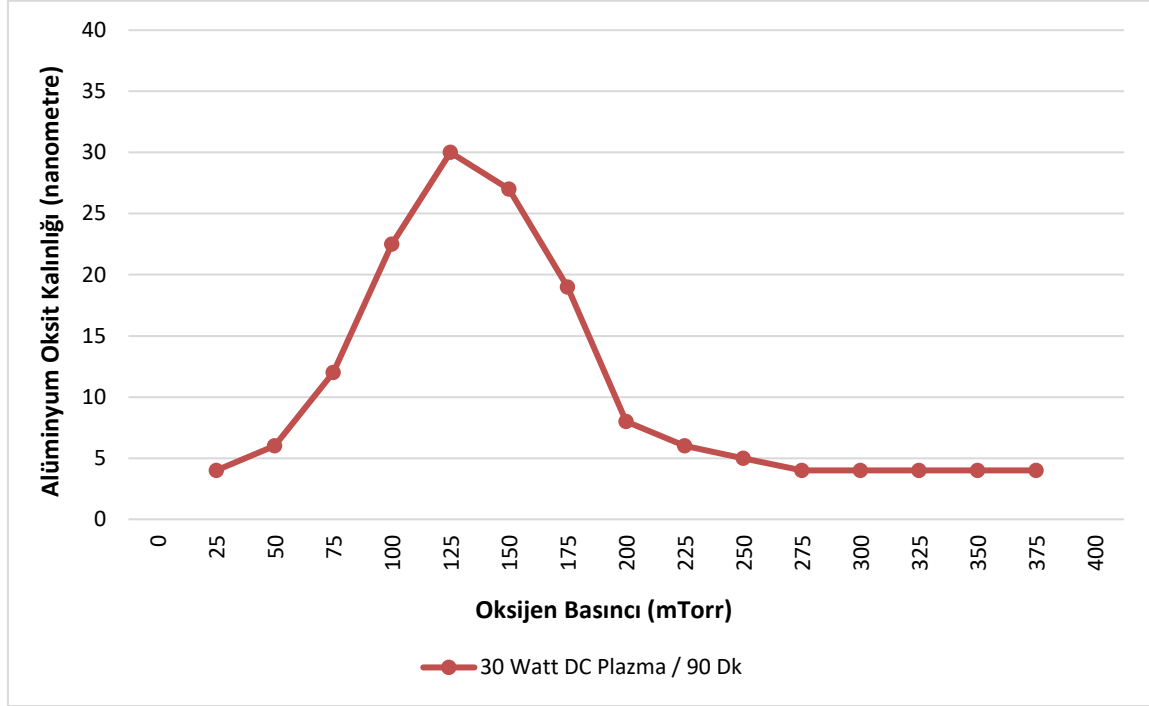
Katman kalınlığında etkisi olduğu düşünölen bir diğer parametre olan plazma uygulama süresinin etkisinin görölməsi amacıyla; kapalı sistem içerisinde argon temizliği yapılan numuneler, 30 W DC plazma gücü ve 400 mTorr oksijen basıncı sabit tutulmuştur. Uygulama süresi değişimine göre yüzeyde büyüyen alüminyum oksit kalınlığı Şekil 2.15’de verilmiştir.



Şekil 2.15. Zamana bağlı oksit tabakası kalınlığı değişim grafiği

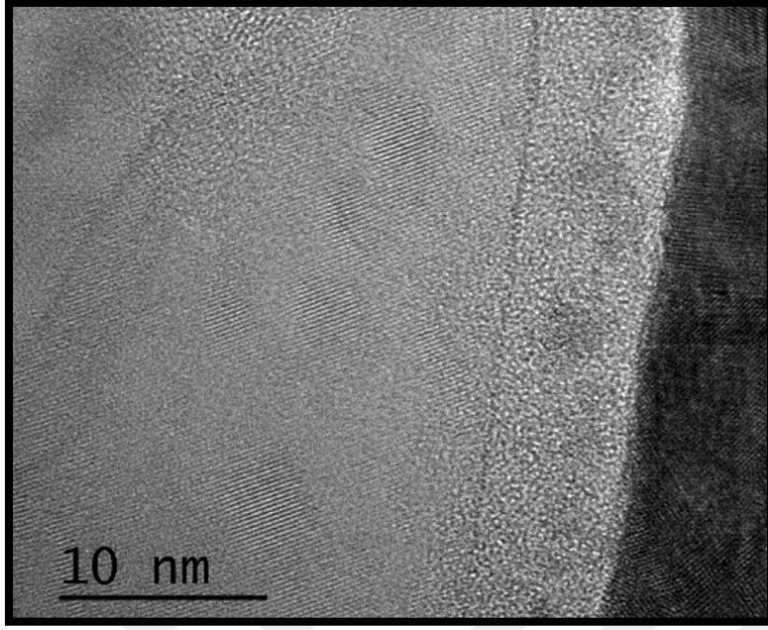
Katman kalınlığının, uygulanan zamana bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. 400 mTorr oksijen basıncı ve 30 W DC oksijen plazma gücü sabit tutularak; 0-325 dakika arasında süre değiştirilerek yüzeyde oluşan alüminyum oksit katman kalınlığı ölçölmüştür. Oluşan oksit filmin kalınlığı 4 nm değerinden 30 nm değerine kadar arttırılmıştır. Ancak uygulama süresinin 200. dakikasından sonra oksit filmin kalınlığı değişmemiştir.

Kapalı sistem içerisinde argon temizliği yapılan numuneler; 30W DC argon plazma gücü ve 90 dakika süre sabit tutulup, oksijen basıncı değiştirilerek yüzeyde alüminyum oksit büyütölmüştür. Alüminyum oksit kalınlığının oksijen basıncına bağlı değişimi Şekil 2.16’da verilmiştir.



Şekil 2.16. Oksijen kısmi basıncına bağlı oksit tabakası kalınlığı değişim grafiği

Şekil 2.16’da alüminyum oksit kalınlığının, oksijen basıncına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. 90 dakika süre ve 30 W DC oksijen plazma gücü sabit tutularak; 0-400 mTorr oksijen basıncında yüzeyde oluşan alüminyum oksit katman kalınlığı ölçülmüştür. Oluşan oksit filmin kalınlığı 4 nm değerinden 32 nm değerine kadar artmıştır. Ancak oksijen basıncının 160 mTorr olduğu durumda kalınlık maksimuma ulaşmıştır. Kapalı sistem içerisindeki basınç 250 mTorr’un üzerine çıktığı durumda 30W DC plazma gücü yeterli gelmediğinde oksijen plazma işlemi oluşmamış bu nedenle 250 mTorr oksijen basıncı üzerinde yapılan çalışmalarda sadece doğal oksit tabakası olan 4 nm ölçülebilmektedir. Alüminyum oksit kalınlığına ek olarak doğal oksit büyütülürken kontrol edilen diğer önemli parametre olan kalınlık homojenliği Şekil 2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.17. DC oksijen plazma ile yüzeyde büyütülen oksit kalınlığı homojenliği

Oksijen plazma yöntemi ile yüzeyde büyütülen alüminyum oksitin homojen bir şekilde yüzeyde dağıldığı ve amorf yapıda olduğu Şekil 2.17’de görüntülenmiştir. Bölüm 2.3.2’de ısı yöntemi ile yüzeyde oksit büyütme ve karakterizasyonu anlatılmıştır.

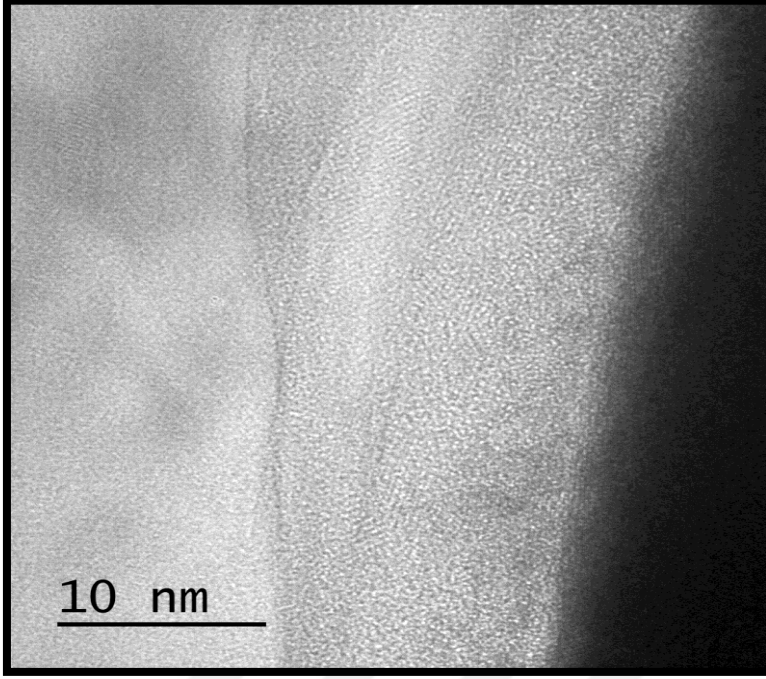
2.3.2. Sıcaklık değiştirerek alüminyum oksit tabası büyütme

Sıcaklığa bağlı alüminyum oksit kalınlığı değişiminde önemli rol oynayan süre ve sıcaklık değişkenleri vardır. Bu iki parametre değiştirilerek, bu parametrelere bağlı alüminyum oksit kalınlığı ölçümü yapılmıştır. Kalınlık ölçümü ile beraber alüminyum oksit kalınlığının kristal yapısı ve kalınlık homojenliği de gözlemlenmiştir.

Sıcaklığa bağlı alüminyum oksit katman kalınlığı arttıkça, oluşan alüminyum oksitin kristal yapısında farklılık oluşur [21]. 300 - 500 °C arasında alüminyum oksitin amorf kristal yapısına, 500 - 650 °C arasında alüminyum oksitin gama kristal yapısına, 650 - 1000 °C arasında alüminyum oksitin gama kristal yapısından alfa kristal yapısına geçişi, 1000 - 1500 °C arasında alüminyum oksitin alfa kristal yapısındadır. Bu nedenle amorf yapıda alüminyum oksit büyütme için çalışmalar maksimum 500 °C’de yapılmıştır.

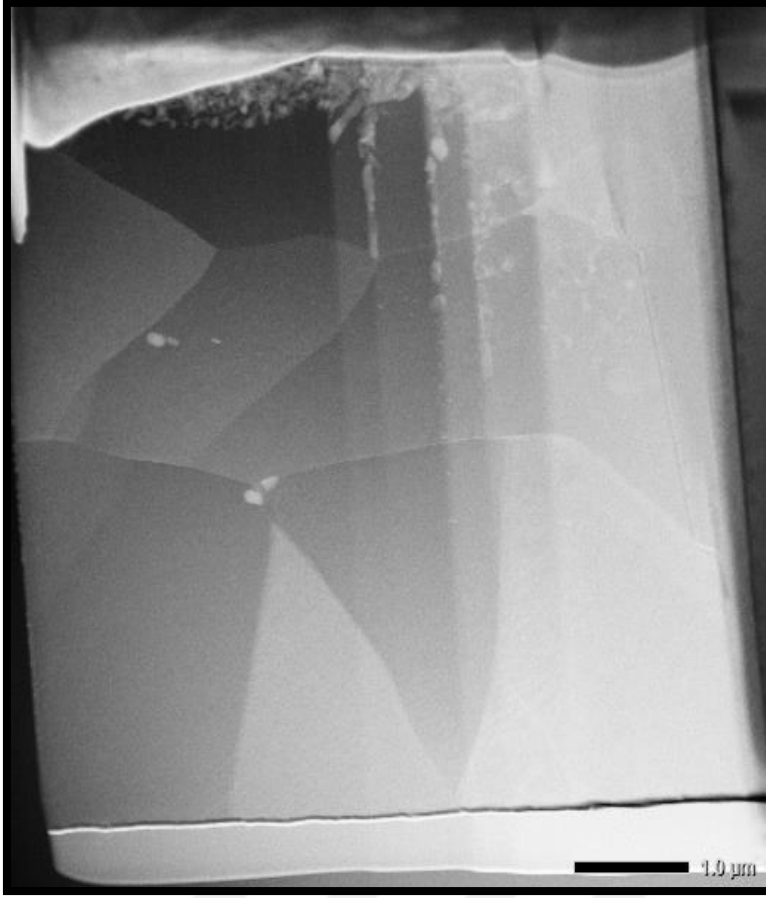
Yüzey kimyasal temizliği yapılan alüminyum 1050 numunesi ultrasonik temizleyici ile temizlenip, vakum ortamında 60 dakika boyunca 60 W N6.0 saflık seviyesinde argon

kullanılarak DC argon plazma temizliği yapılmıştır. Temizlik işlemi sonrasında 90 dakika boyunca 500 °C’de bırakılan numunenin alüminyum oksit büyümesi sonrası yüzey görüntüsü Şekil 2.18’de verilmiştir.



Şekil 2.18. 500 °C sonrası elektron mikroskobu görüntüleri

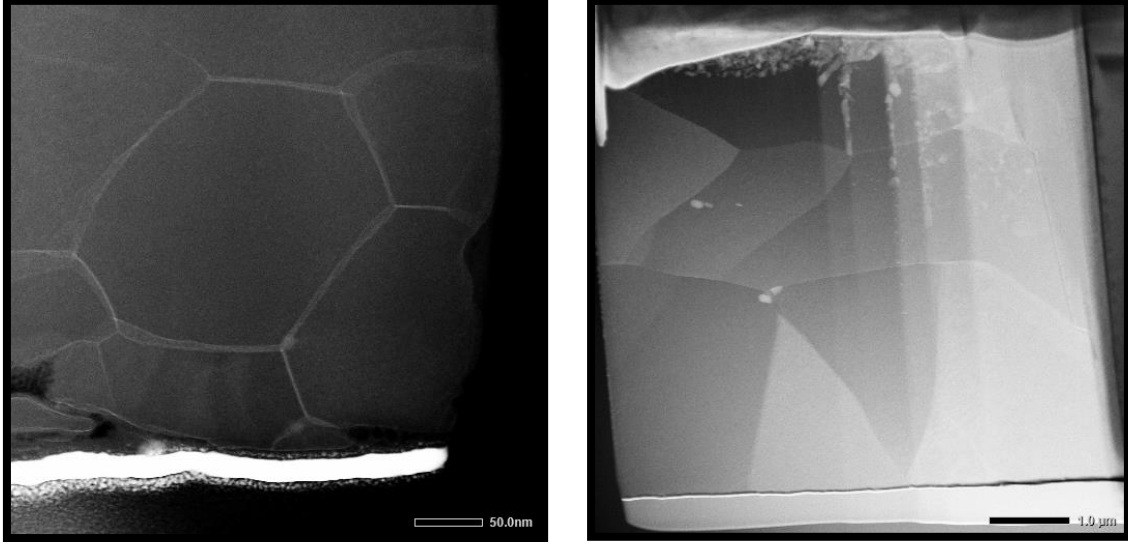
500 °C’de yapılan denemede; yüzeyde 10 - 20 nm arasında kalınlığı değişen, homojen olmayan amorf yapılı alüminyum oksit büyütülmüştür. Homojen olmayan oksit film katmanlarının da oluşabildiğini gözlemlendikten sonra bu durumun nedeni Şekil 2.19’deki elektron mikroskobu görüntüsünde değerlendirilmiştir.



Şekil 2.19. 500 °C sonrası elektron mikroskobu alüminyum tane yapısı

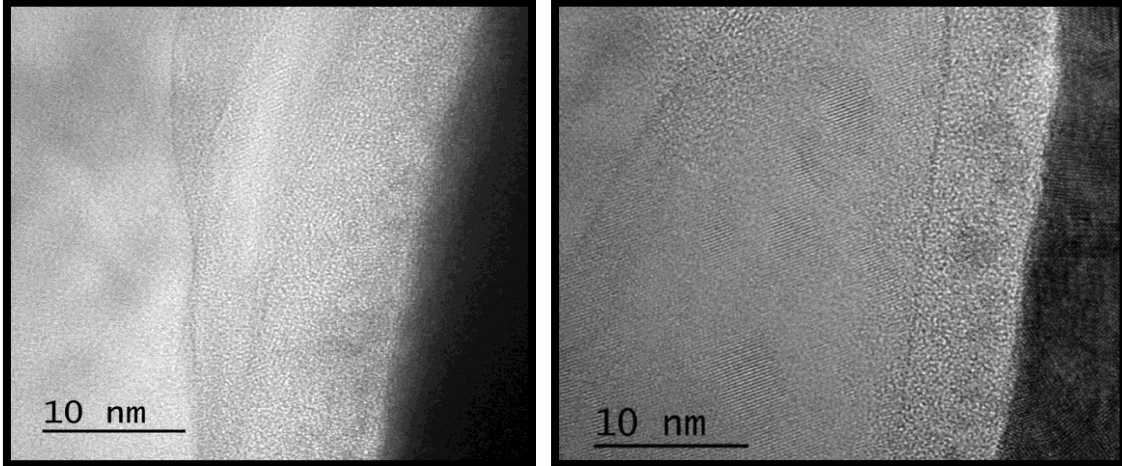
500 °C’de malzemenin tane alanının $1 - 3 \mu\text{m}^2$ alanında değiştiği gözlemlenmiştir. Taneler büyüdükçe alüminyum oksitler malzeme içerisine daha kolay erişmiş böylelikle yüzeyde alüminyum oksit katman kalınlığı farklılık göstermiştir. Bu da yüzeyde oksit kalınlığının homojenliğinin bozulmasına neden olmuştur.

Sıcaklık artırılarak ve oksijen plazma ile yüzeyde büyütülen iki yöntem karşılaştırıldığında alüminyumun tane yapısının sıcaklıktan etkilenerek büyüdüğü, oksijen plazma yöntemi ile büyütülen yüzeyde ise bir değişim olmadığı Şekil 2.20’de verilmiştir.



Şekil 2.20. Sıcaklık sonrası tane yapısı ve oksijen sonrası tane yapısı boyutsal karşılaştırılması

Alüminyum tane alanları karşılaştırıldığında alanlar arasında yaklaşık 50 kat fark vardır. Alanların büyümesi alüminyum oksit kalınlık homojenliğinin bozulmasına neden olmaktadır. Farklı alanlarda büyütülen alüminyum oksit kalınlıklarının karşılaştırılması Şekil 2.21’de verilmiştir.



Şekil 2.21. Sıcaklık sonrası alüminyum oksit kalınlık homojenliği karşılaştırılması

500°C’de yapılan denemede homojen olmayan alüminyum oksit büyütülmüştür. Bu nedenle nihai deneme de DC plazma yöntemi ile oluşturulan alüminyum oksit kullanılmıştır. Bölüm 3.’de literatür bilgileri de değerlendirilerek, yüzeyinde yaklaşık $\approx 120-130\text{\AA}$ kalınlığında oksit tabakası DC oksijen plazma yöntemi kullanılarak büyütülen katot kullanılarak, HeNe lazerin üretimi anlatılacaktır.

3. ÜRETİM SÜRECİ

Bu bölümde nihai katot üretim şekli ve yüzey oksitlenmesi, katot ile birlikte seramik cam gövdeye anot basımı, sonrasında aynaların seramik cam gövdeye montajı anlatılmıştır. Montaj tamamlandıktan sonra lazer boşluğunun sızdırmazlık testi, sızdırmazlık sonrasında lazer yolunun organik ve inorganik atıklardan temizliği ve çalışma gazlarının doldurulması ile lazer oluşu ve karakterizasyonu yapılmıştır.

3.1. Katot Üretimi

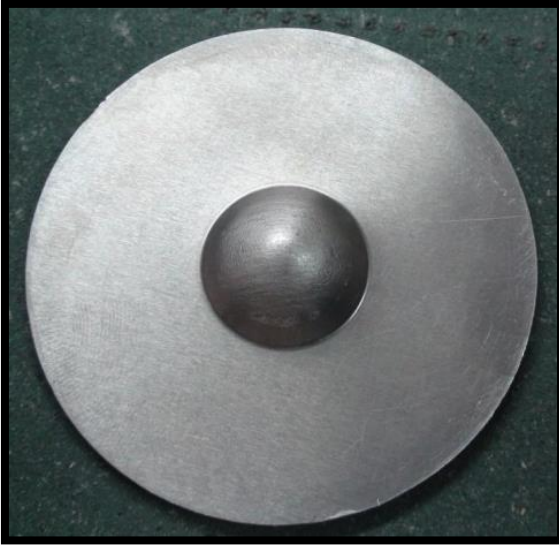
İstenilen geometride içeriğinde boşluk hatası olmayan katot üretimi için ham malzeme tedariki sonrası, alüminyumun (EDX) analizi yapılarak içeriği belirlenmiştir. Katot üretiminde kullanılacak olan alaşımın doğrulanması ve alaşım içeriğinde bulunan elementlerin analizinin yapılması sonucu; kullanılacak olan alaşımın alüminyum 1050 olduğu bölüm 2'deki aynı yöntemle doğrulanmıştır.

Doğrulama sonrası, külçe olarak tedarik edilen ham malzeme içerisinde boşluk kalmaması için savurmalı döküm yöntemi ile silindirik formda üretilmiştir. Savurmalı döküm yönteminde erimiş metal, bir eksen etrafında döndürülen kalıplar içine dökülerek biçimlendirilmiştir. Merkezci kuvvetin oluşturduğu basınç, metalin kalıp kenarlarına homojen olarak dağılmasını, parçanın dışının kalıbın iç şeklini almasını sağlamıştır. Oluşan yüksek kuvvet sayesinde dökülen sıvı alüminyum metal içinde bulunan düşük yoğunluklu kum ve istenmeyen tanecikleri, metal olmayan kalıntılar ve gazlar dönme eksenine doğru sürüklenmiştir. Dolayısıyla bu yöntemle parça yüzeyinin gözeneksiz temiz ve ince taneli olarak elde edilmesi mümkün olmuştur. Aynı zamanda savurmalı döküm yöntemi ile sıkıştırma sonucu malzemenin mukavemeti artırılarak yüksek güvenilirlik kazandırılmıştır. Erimiş madde kalıp içerisine kuvvetle verilerek serbestçe dolaşması sonucu sıkışarak şekillendirilmiştir. Böylece malzemeye uygulanacak basınca karşı istenilen mukavemet sağlanmıştır. Savurma döküm sonrası elde edilen silindirik döküm çubuklar, uygun olacağı düşünülen boyutlarda dilimlenmiştir. Dilimlenen çubuklar daha sonra torna kullanılarak yuvarlak çubuk haline Şekil 3.1'de görüldüğü haline getirilmiştir.



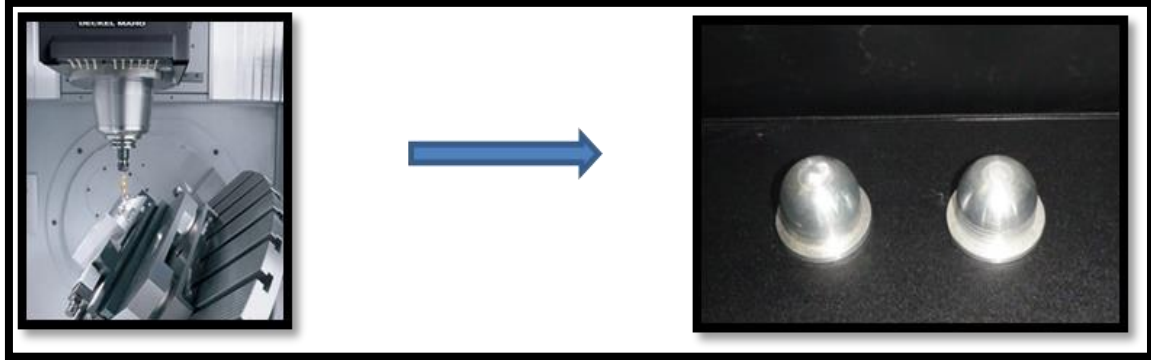
Şekil 3.1. Savurmalı döküm sonrası dilimlenmiş ürünler

Dilimleme sonrası yuvarlak hale getirilmiş alüminyum parçalar torna ile ilk şekillendirme işlemine tabi tutulmuş olup, parçanın ilk şekli kabaca Şekil 3.2’de görüldüğü gibi verilmiştir.



Şekil 3.2. Kaba işleme sonrası ürün

Dökümü sonlanan malzeme 5 eksenli torna kullanılarak son üretime uygun geometrik şekline getirilmiştir. Şekil 3.3’de geometrik şekil verilmiştir.



Şekil 3.3. 5 eksenli torna sonrası katot geometrisi

Üretilen bu parçaların ilk şekillendirme esnasında oluşan çapaklarının derin çekme işlemi yapılırken sorun yaratmaması amacıyla yüzey ve kenar temizleme işlemi ayrıca ön parlatması universal tornada yapılmıştır. Universal tornada yüzey ve kenar çapakları alınarak ön parlatma yapılan parçalar presleme işleminin öncesinde ve sonrasında etanol ortamında ultrasonik banyoda kademeli olarak Şekil 3.4'deki gibi temizlenmiştir.



Şekil 3.4. Etanol ile kademeli temizleme işlemi

Derin çekme işleminin en önemli basamağı olan presleme işlemi; hassas şekillendirilmiş kalıba yerleştirilmiş olan ön şekillendirilmiş alüminyum parçanın kademeli olarak 70bar değerinden 10'ar bar artırılarak 110 bar değerine kadar preslenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Burada amaç homojen et kalınlığına sahip olan ve yırtılma gerçekleşmemiş parça üretmektir. İç yüzeyde var olan, yükseklik ve çukurlarda yük dağılımı farklı olacağından, yük dağılımının yoğun olduğu yüksekliklere iyon yönelimi

daha fazla olacaktır. Bu bölgelerde alüminyum oksit katmanı daha kolay aşınacak olup, dolayısı ile katodun ve HeNe lazerin ömrü kısılacaktır. Deşarj yüzeyinin iç yüzey pürüzlülüğünü minimuma düşürmek için 5 eksenli tornada işlemi biten yarı numunelerin yüzey parlatılması yapılmış, sonrasında master olarak kullanılan başka bir yüzey üzerine basılarak iç yüzey pürüzlülüğünün master parçalar ile aynı olması ya da bu yüzey pürüzlülüğüne yaklaşması sağlanmıştır. Presleme aşamasından çıkan parça görüntüsü Şekil 3.5’de verilmiştir.



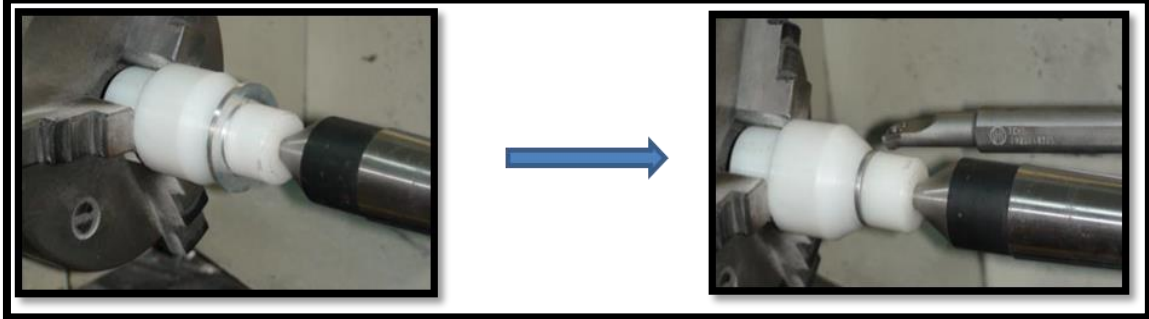
Şekil 3.5. Preslenen numunelerin kalıptan çıkarıldıktan sonraki halleri

Bu aşamadan sonra numunelerin homojen bir şekilde preslendiğini görmek amacıyla numune ortadan kesilmiştir. Kesit görüntüsü Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Nihai katot iç yüzey ve kesit gösterimi

Yüzey parlatma işlemi tamamlanan yarı numunenin kenar yüzeyleri teflon aparat yardımı ile torna tezgâhında Şekil 3.7’de gösterildiği gibi inceltilir.



Şekil 3.7. Katot torna işleme gösterimi

Pres ile derin çekme yapılan alüminyum parçaların kenarları Şekil 3.8’de görüldüğü üzere açılmaktadır. Bu parçaların kullanım yerlerine adaptasyonunun sağlanması amacıyla kenar bölümleri, üretilen kestamit aparat yardımıyla üniversal torna kullanılarak istenilen boyuta getirilmiştir. İstenilen boyutlarda numune görüntüsü Şekil 3.8’de verilmiştir.

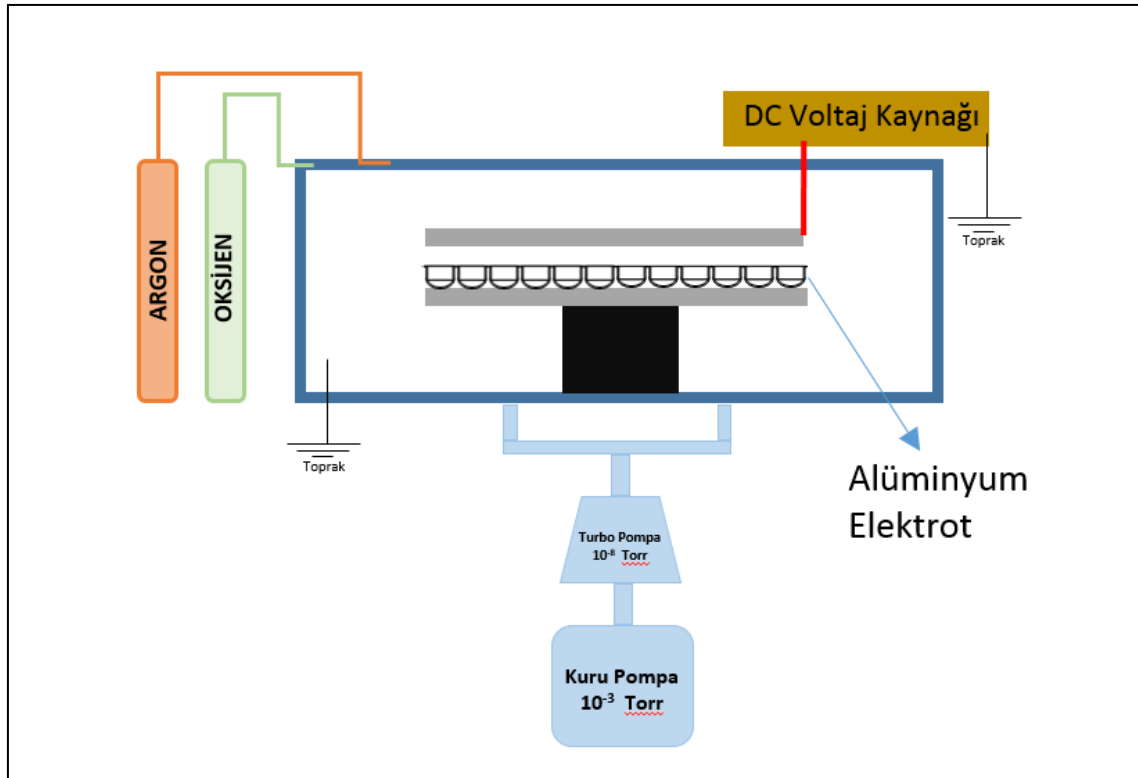


Şekil 3.8. Şekillendirilen numunelerin görüntüsü

Temizleme aşamasından sonra işlenen alüminyum parçaların etek bölgelerinin et kalınlıklarının istenilen değer aralığında olmasını ve alt yüzeylerinin, vakum sistemine uygunluğunu sağlamak amacıyla 50 bar basınç altında tekrar presleme işlemine tabi tutulur. Alt yüzeylerini düzeltmek için yapılan presleme işleminden sonra, parçalar tekrar etanol ortamında kademeli olarak temizleme işlemine tabi tutulur.

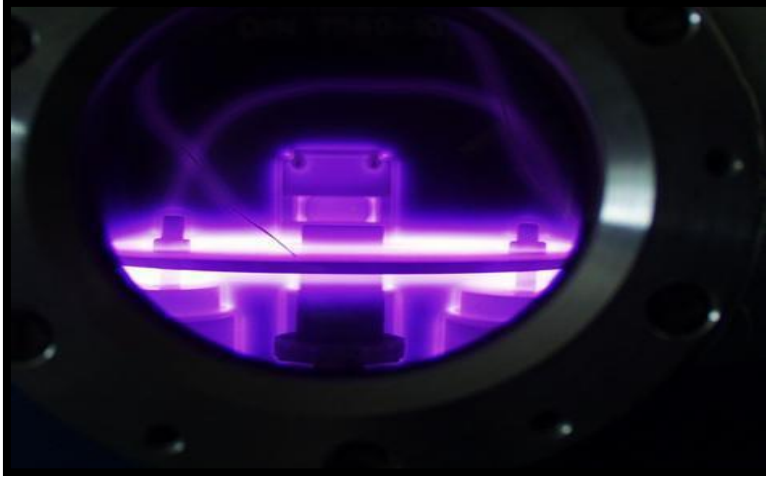
Kullanılan sistem düşük basınçlı ortamda DC plazma, ısınan filamentler sayesinde oluşturulur. Bu sistem kimyasal temizleme işlemi yapmaktadır. Hassas temizlik sayesinde hassas yüzeyler bile istenmeyen işlem artıklarından tamamen temizlenebilir. Malzeme yüzeyine sıkıca tutunmuş olan en küçük toz zerrecelerini bile temizler ve bunları

buharlaştırarak parçadan uzaklaştırır. Plazma partiküllerin tamamen zeminden kopmalarını sağlar. Nanometrik düzeydeki kimyasal-fiziksel tepkime sayesinde kaliteli, hassas olarak tanımlanmış yüzeyler elde edilir [22,23]. Bu uygulama temiz ve ekonomik bir genel süreç olmasını sağlar. İç yüzey oksit katmanı büyütmesi dışında geometrik şekli tamamlanan katot, iç yüzeyinde oksit büyütme işlemi başlatılması için temizlenir. Yüzey kimyasal temizliği yapılan alüminyum 1050 numunesi, ultrasonik temizleyici ile 15 dakika 1:1 oranında karıştırılmış saf alkol ve aseton kullanılarak temizlendikten sonra, vakum ortamına alınarak DC plazma temizliği Şekil 3.9'da gösterilen sistem kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.9. Plazma ile temizleme ve oksitleme işleminin şematik görünümü

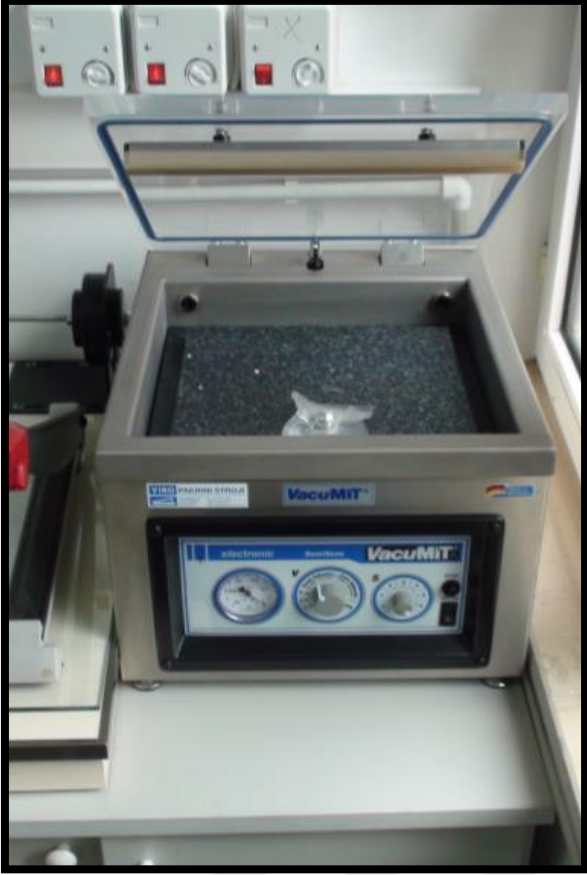
Argon ve işlem gazı (oksijen) girişi bulunan Şekil 3.9'de görülen sızdırmaz sistemin içine yarı numune alındıktan sonra; 500 mTorr basınçta argon gazı doldurularak 60 dakika 30 W argon plazmaya maruz bırakılır. DC argon plazma görünümü Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. DC Argon plazma ışması

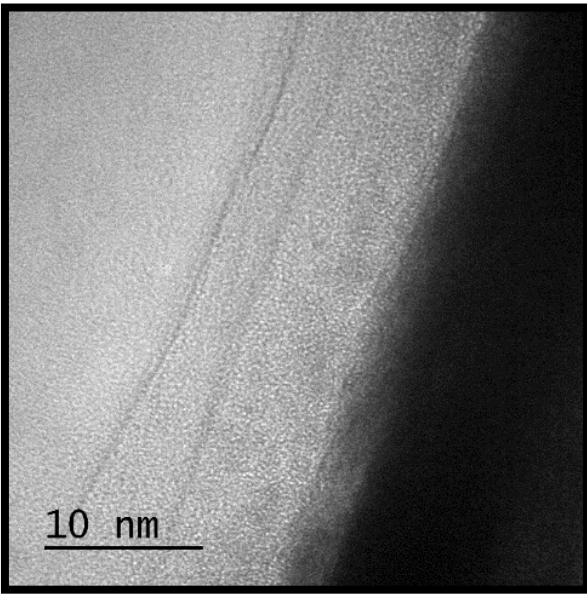
İşlem tamamlandıktan sonra, numune atmosfere açılmadan, ortam argon gazından uzaklaştırılmıştır. Bu işlem; kuru vakum pompası (10^{-2} Torr) ve turbo pompalar (10^{-6} Torr) yardımı ile sistem içerisinde argon gazı tahliye edilirken, sisteme oksijen gazı verilerek yapılmıştır. Argonun ağır bir gaz olmasından kaynaklı olarak, bu gaz çekişi ve sisteme yeni gaz yüklenmesi 15 dakika boyunca devam ettirilmiştir. 15 dakika sonrasında sistemin içerisi 10-15 nm arasında alüminyum oksit kaplamak için sistem hazırlanmıştır.

Sistemin içerisinde oksijen basıncı 100 - 200 mTorr arasında kalacak şekilde, 120 dakika boyunca numune yüzeyine 30 W gücünde DC oksijen plazma uygulanmıştır. İşlem bittikten sonra; alüminyum oksit doymuş olan yüzey herhangi bir dış kirlenmeye maruz kalmaması için, sistem vakumu helyum ile kırıldıktan sonra, vakumlu poşete alınarak Şekil 3.11'de görüldüğü gibi tamamlanmıştır.



Şekil 3.11. Vakuma alma ünitesi ve vakuma alınıp ambalajlanan katot

Üretimi tamamlanan 3 adet numuneden bir tanesi alüminyum oksit katman kalınlığı ölçümü için elektron mikroskobu kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucu Şekil 3.12’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.12. Elektron mikroskobu nihai ürün görüntüleri

Üretilen 3 adet numuneden bir tanesi alüminyum oksit katman kalınlığı elektron mikroskobunda görüntülenmiş ve 14 nm kalınlığında bir oksit katmanı büyütülmüştür.

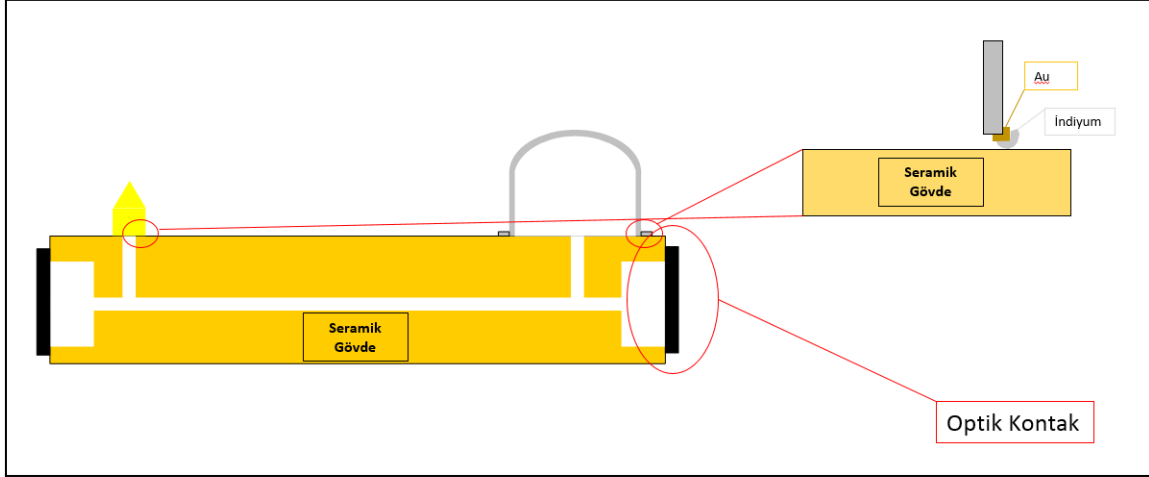
3.2. Helyum-Neon Lazer Üretim Süreci

Lazerin performans ve ömür gereksinimlerinin sağlanabilmesi için çalışma gazlarının temizliği ve basınçları büyük önem taşımaktadır. Sızma ve kirlilik olmaması, yani sızdırmazlığın sağlanması gerekmektedir. Böylelikle lazer, çalışma ömrü boyunca performansını koruyabilmektedir. Mevcut yapıda katot ve anot olarak kullanılacak malzemenin sızdırmazlığını sağlamak amacıyla, indiyum ile soğuk basma yöntemi kullanılmıştır. Sürdürülebilir ve sızdırmaz bir cam-metal bağlantısı için cam-metal arasında iyi bir yapışma gerçekleşmesi, birleştirilecek malzemelerin ısıl genişleme katsayıları farklarının az olması, soğutmanın bağlantı bölgesinde en az gerilmeye neden olacak şekilde yapılması ve yapışma bölgesinin geometrisinin en az gerilim oluşturacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Cam-metal bağlantısı iki bağ türü ile gerçekleşmektedir. Bunlar; cam-metal doğrudan bağlantısı ve cam-metal oksit bağlantısıdır. Cam-metalin doğrudan bağlantısı sızdırmaz uygulamalar için daha uygundur; ancak bağlantının dayanımı düşüktür. Cam ile metal arasında bir oksit tabakası oluşması durumunda cam-metal bağlantısının dayanımı artmaktadır; ancak oluşan oksit tabakasının oksijen oranına bağlı olarak bağlantının sızdırmazlığı değişmektedir. Yüksek oksijen içeren oksit tabakası gözenekli bir yapı gösterdiği için sızdırmazlık konusunda sıkıntı yaşanmaktadır. Oksit tabakasının tipi, kalınlığı ve ara yüzeyde dağılımı bu bağlantının dağılımını etkilemektedir.

Sızdırmazlığın sonucu olarak gövde içerisi ultra yüksek vakum değerine ($\approx 10^{-6}$ Torr) kadar düşmesi gerekmektedir. Bu gereksinimin sağlanması için indiyumun bağlayacağı yüzeylerin temizliği önem arz etmektedir.

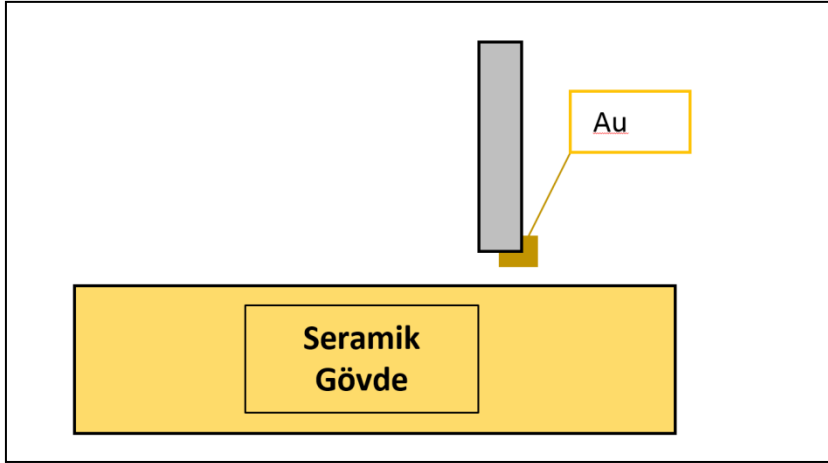
Lazerin çalıştırılması, yani seramik içerisinde plazma ve ardından lazer oluşturulması için gövdeye belirli bir elektrik akımı ve voltaj verilmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için yine iletken bir malzemedan üretilmiş anot ve alüminyum 1050 malzemesinden 14 nm alüminyum oksit kaplı katot kullanılmıştır. Bağlantı bölgelerinin ve bağlantı yöntemlerinin anlatıldığı gösterim Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Elektrot ve ayna montajının gösterimi

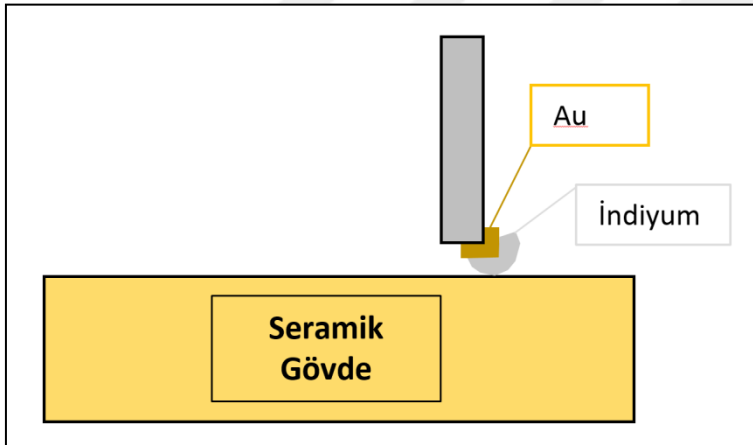
Gösterimde katot montajı sırasında katot ile seramik gövde arasında sızdırmaz bağlantının sağlanması için kullanılan Au (altın) ve indiyum malzemelerin kullanımı gösterilmiştir. Ayrıca seramik gövde ve aynaların birleştirme işleminin optik kontak adlı yöntemle yapıldığı belirtilmiştir. Parça montajlarının sızdırmaz olması kritik önem taşımaktadır. Lazer içerisindeki plazma, HeNe lazer gazının yüksek voltaj sayesinde iyonlaştırılması ile oluşturulmuştur. Sızdırmazlığın sağlanabilmesi için plazma yolunun içerisinde HeNe lazer gazından başka herhangi bir gaz bulunmamalıdır. Sızdırmazlığın sağlandığı durumda lazerin maksimum çalışma performansı elde edilir ve lazer oluşumu gerçekleştirilir. Kullanılacak olan cam seramik ve elektrotların temizliğinden emin olunması için deterjan temizliğinden sonra parçalar 250°C'de vakum altında ($\approx 10^{-2}$ Torr) 12 saat herhangi bir gaz ya da toz olması ihtimaline karşı ortamdan uzaklaştırılır.

Elektrotları, cam seramik malzemesinden yapılmış olan HeNe gövdesine kontak yapmak amacı ile bu iki malzemenin arasına altın Şekil 3.14'de gösterildiği gibi uygulanmıştır.



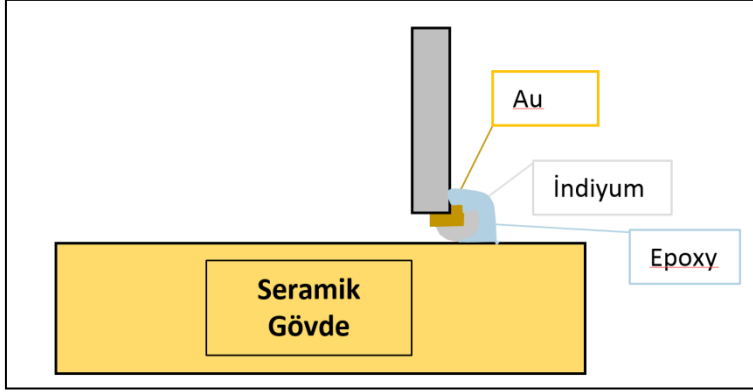
Şekil 3.14. Katot montajı basım öncesi altın kaplama gösterimi

Katot temas yüzeyine fırça ile sürülen saf altının kalınlığı 100 μ olarak ölçülmüştür. Altın uygulaması tamamlandıktan sonra altının üzerine gelecek şekilde hazır tel olarak alınmış indiyum ring şeklinde hazırlanmıştır. Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Katot montajı basım öncesi indiyum kullanımı gösterimi

Buradaki temel amaç, indiyum ve altının bir alaşım oluşturarak elektrot ve cam seramik arasındaki gaz kaçağını önleyip sızdırmazlığı sağlamasıdır. Elektrot 5 - 8 kN arasında basınç ile gövdeye basılmıştır. Birleşme yüzeyleri özel bir yapıştırıcı ile sızdırmazlığı sağlamak amacı ile Şekil 3.16’da gösterildiği gibi kapatılmıştır.



Şekil 3.16. Katot montajı basım sonrası yapıştırıcı uygulama gösterimi

Elektrotların basma işlemi sonrasında aynaların montaj sürecine geçilmiştir. Aynaların montajlama işlemi optik kontak adı verilen yapıştırıcı kullanılmaksızın yapılan bir montaj işlemi ile yapılmıştır. Optik kontak, benzer ve farklı yapıdaki iki yüzeyin yapıştırıcı kullanılmadan birleştirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Optik kontak benzer yüzey düzlemselliğine sahip iki yüzeyin yapıştırıcı kimyasallar kullanılmadan birleştirilmesi işlemidir. Yüzeyler arasında angström (10^{-10} metre) mertebesinde mesafe sayesinde oluşan Van der Waals kuvvetleri yüzeyleri bir arada tutar [5]. Bu yöntemin en önemli avantajı yüzeyler arasında hiçbir yapıştırıcı kullanılmaması sebebiyle yüzey düzlemselliği birleşme işleminden etkilenmemektedir. İkinci avantajı ise, yeterli yüzey düzlemselliğine ve temizliğine ulaşıldığında optik kontak işlem hızlı bir şekilde tamamlanabilmektedir [5]. Öte yandan bu birleşme işlemi yüksek sıcaklık değişimlerinde kararsız bir yapı oluşturabilmektedir. Hızlı birleşme işlemi yüzeylerin birbirine göre konumlarının ayarlanabilme gereksinim olan uygulamalarda dezavantaj oluşturabilmektedir. Yüzeyler arasındaki çekim, sadece kimyasal kuvvetlere dayalı olduğu için çok yüksek çekim kuvvetleri elde edilmemektedir. Ayrıca yüzeyler arası sızdırmazlık gereken uygulamalarda sadece optik kontak kullanılması yeterli sızdırmazlık seviyesine ulaşılmasını sağlamayabilmektedir.

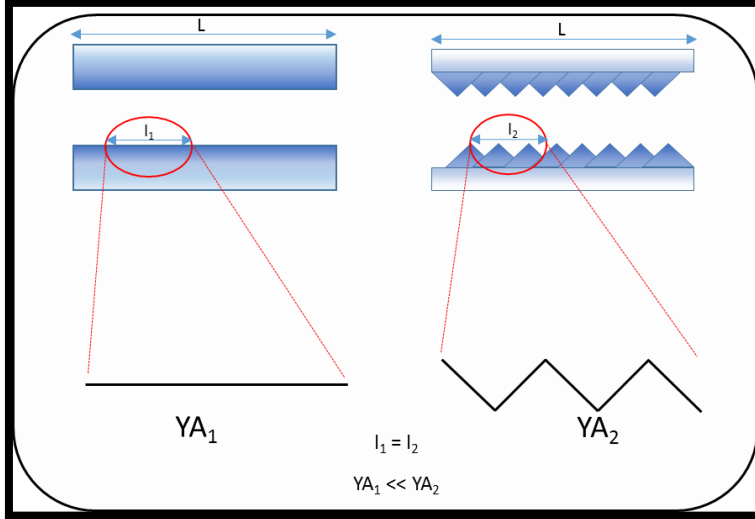
Yüksek çekim kuvveti elde edilmesi gereken uygulamalarda katalisis destekli birleşme yöntemi kullanılabilir. Birleştirme işlemi yapılacak iki yüzey arasına yüzeyleri aktifleştirmek için optimize edilmiş oranlarda bir katalizör uygulanır. Bu yöntemle standart optik kontak yöntemine kıyasla daha yüksek çekim kuvvetleri elde edilmektedir. Ayrıca yüzeyler arasındaki katalizör sayesinde belirli bir süre boyunca yüzeylerin birbirine göre konumları ayarlanabilmektedir. Öte yandan bu uygulama katalizörün yüzeylerden

uzaklaştırılabilmesi için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzeylerin katalizördeki kalıntılarla kirlenmemesi için karışık yapıdaki filtreleme işlemleri ile yüksek saflığa sahip katalizörler kullanılması gerekmektedir. Ek olarak katalizörün ortamdaki uzaklaştırılması yüksek basınç altında gerçekleştirilmesi uygulamayı karışık hale getirmektedir. Katalizörün ortamdaki tamamen uzaklaştırılmaması ve olası kalıntılarla birleştirilen yüzeylerin sızdırmazlığını olumsuz etkileyebilmektedir.

Katalizör gibi ek bir malzemenin kullanılmadan birleştirilecek yüzeyleri aktifleştirmede plazma tabanlı yöntemler uygulanmaktadır. Vakum plazma ve vakumsuz plazma şeklinde ikiye ayırabiliriz. Vakum plazmada kullanılabilen yüksek momentum sahibi ağır argon iyonları yüzey sıcaklığını artırarak bölgesel kusurlar oluşturabilmektedir. Kompleks vakum sistemlerine gerek duyulduğundan süreç süreleri artmaktadır. Vakum plazma işlemi sırasında yüzeylerde yeniden kaplama sorunu oluşabilmektedir.

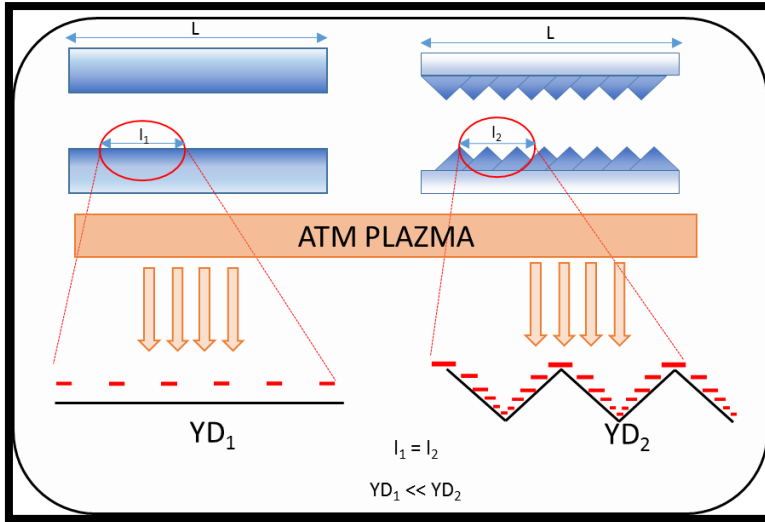
Vakum plazmaya kıyasla daha basit bir uygulama olan vakumsuz plazmada UV-Ozon veya atmosferik plazma yöntemleri kullanılabilir. Her iki yöntem, vakum sistemleri kullanılmadığı için daha hızlı ve basit bir şekilde uygulanabilmektedir. Yüksek enerjili ağır iyonların kullanılmaması yüzeylerde deformasyon oluşmasını engellemektedir. Yüzeyde standart optik kontakla kıyasla daha fazla, katalisis destekli birleşmeye göre benzer miktarda -OH ve -C grupları oluşmaktadır. Optik kontakla kıyaslandığında daha iyi çekim kuvvetleri elde edilmesine rağmen yüzeyler sadece kimyasal kuvvetlerle birleştirilir.

Birleştirme işlemi yapılacak iki yüzey arasında kimyasal kuvvetlere mekanik kuvvetler gibi ek kuvvetler oluşturulduğu durumda birleşme kuvveti ve sızdırmazlık seviyesi artacaktır. Artan yüzey alanı ve nano yapıları yüzeyler ile mekanik kuvvet oluşumu sağlanabilmektedir. HeNe lazer üretiminde uygulanan yöntemde; nanometre altı yapıya sahip iki benzer yüzeye atmosferik plazma uygulandıktan sonra birleştirilmiş ve yüksek sızdırmazlık seviyesi ($\approx 10^{-8}$ Torr*lt/sn) elde edilmiştir. Yüzeye uygulanan asit çözeltisiyle nanometre altı yapılar oluşturulmuştur. Asit uygulanan yüzey ve uygulanmayan yüzeye göre farklılık Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Bu yapının ilk avantajı birim alanda (I), yüzey alanının (YA) artırılmasıdır.



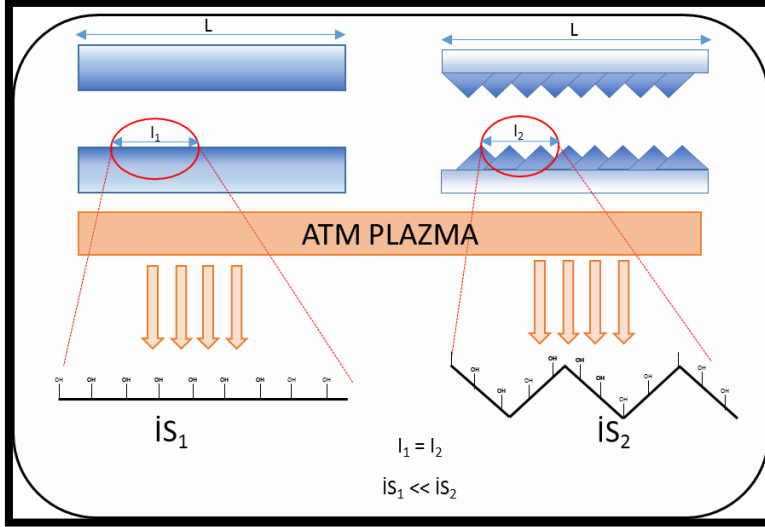
Şekil 3.17. Yüzeysel alan karşılaştırması

Böylece birleşme daha geniş bir alanda gerçekleşip yüzeylerin etkileşimi artacaktır. Nanometre altı yapılar yüzeydeki yük dağılımını etkilemektedir. Yük dağılımı (YD) bölgesel olarak yoğunluk gösterirken, bölgesel olarak seyrelmektedir. İki yüzeyde karşılıklı etkileşen bu iki farklı yoğunluktaki bölgeler fiziksel kuvvet şeklinde yüzey birleşimini olumlu etkilemektedir. Bu etki Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



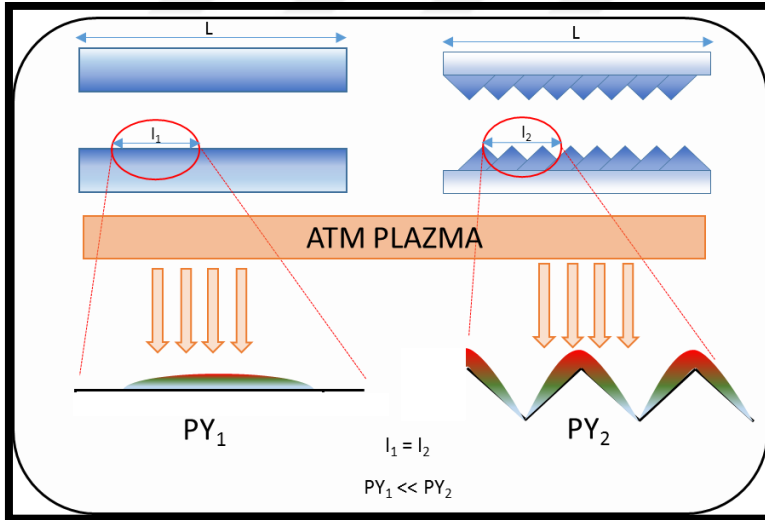
Şekil 3.18. İyon yoğunluğu karşılaştırması

Artan yüzey alanı yüzeylerde birleşme sonrası bağ kuracak iyon sayısında (İS) da artışa neden olmaktadır. Bu etki Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



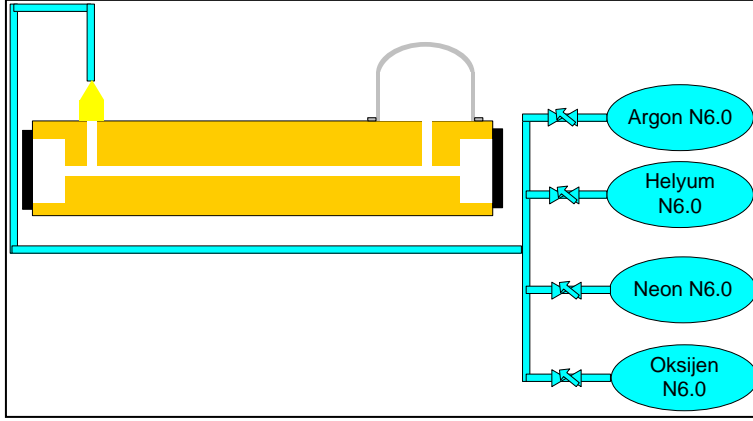
Şekil 3.19. İyon sayısı karşılaştırması

Birleştirilecek iki yüzeyde aktif iyonlar oluşturmak için atmosferik plazma kullanılmıştır. Nanometre altı yapı sayesinde uygulanabilecek düşük plazma güçlerinde bile bölgesel olarak plazma yoğunlaşması oluşmaktadır. Bu sayede kimyasal aktifleşme artmaktadır. Bu etki Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Plazma yoğunluğu karşılaştırması

Montaj işlemi tamamlanan aynalar ile seramik birleşme yüzeyleri özel bir yapıştırıcı ile sızdırmazlığı sağlaması amacıyla kapatılır. İşlemi tamamlanan komple anot kısmından lazer yolunun iç temizliği yapılması ve çalışma gazları olan He ve Ne ile doldurulmak üzere sisteme Şekil 3.21’de olduğu gibi bağlanmıştır.

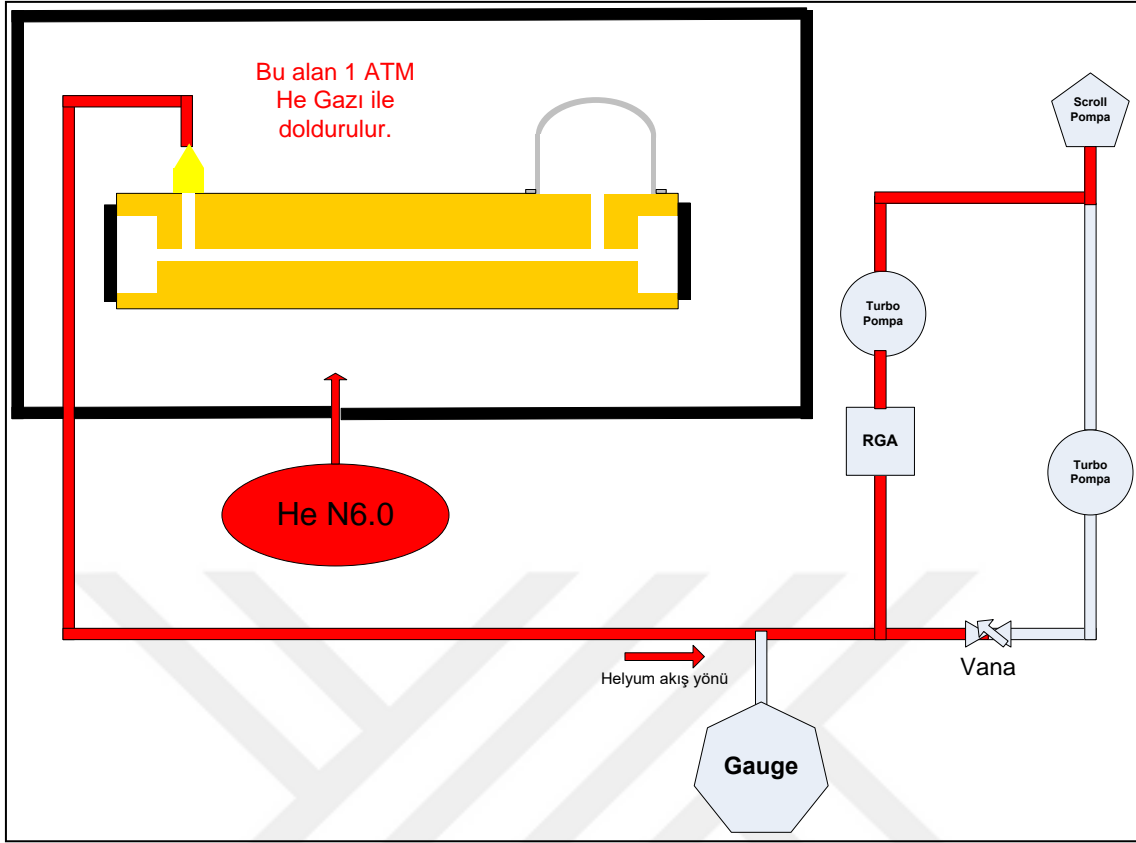


Şekil 3.21. Gaz dolum gösterimi

Lazer yolunun temizliği için yüksek saflıkta argon, helyum, neon ve oksijen gazları kullanılmıştır. Anot kısmından lazer yolu içerisine, organik ve inorganik kirliliklerden temizlenmesi için sırası ile argon, oksijen ve neon doldurulmuştur. Her dolum sonrası lazer yolunun iç kısmı DC plazmaya maruz bırakılmıştır. İşlem 5 kez tekrarlandıktan sonra lazer boşluğu içerisindeki tüm gazlar vakumlanarak dışarı atılmıştır.

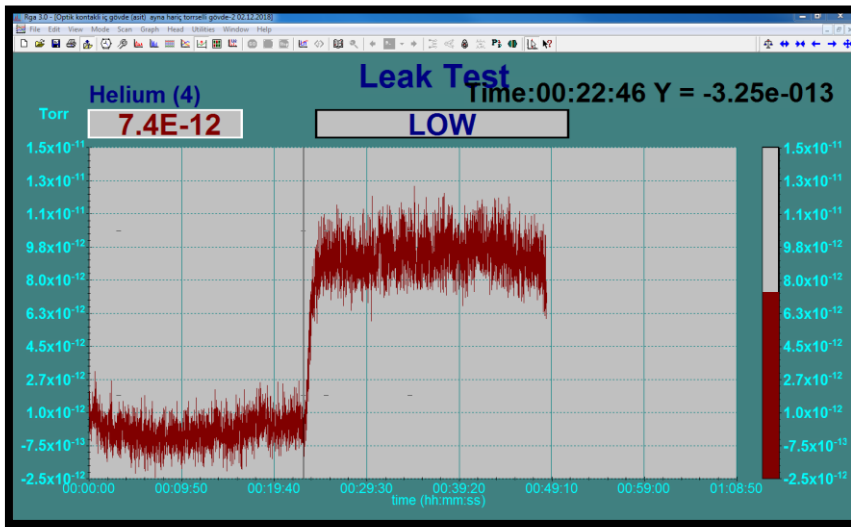
3.3. Lazer Yolunun Sızdırmazlık Kontrolü, Temizliği ve Gaz dolumu

Anot kısmından sisteme bağlanan HeNe lazer yarı mamulü optik kontak ve cam-metal birleşim yüzeylerinden sızdırmazlık seviyesi kontrol edilmiştir. RGA (Residual Gas Analyser) cihazı yardımı ile HeNe lazer yarı mamulün kaçak olma durumu, HeNe lazerin içinde bulunduğu sistemin tamamına 1 ATM helyum gazı veriler yapılmıştır. Eğer HeNe lazer yarı mamulünün montaj kısımlarında helyum atomunun geçebileceği büyüklükte bir boşluk varsa, helyum bu boşluk ya da açıklıktan HeNe lazer yarı mamulü içerisine gireceği düşünülmüştür. Birleşme yüzeylerinden lazer yoluna gireceği varsayılan istenmeyen gaz aynı yol üzerine monte edilen RGA sistemi ile analiz edilebilecektir. Şekil 3.22’de gösterilen kırmızı yolu takiben RGA tarafından tespit edilecektir.



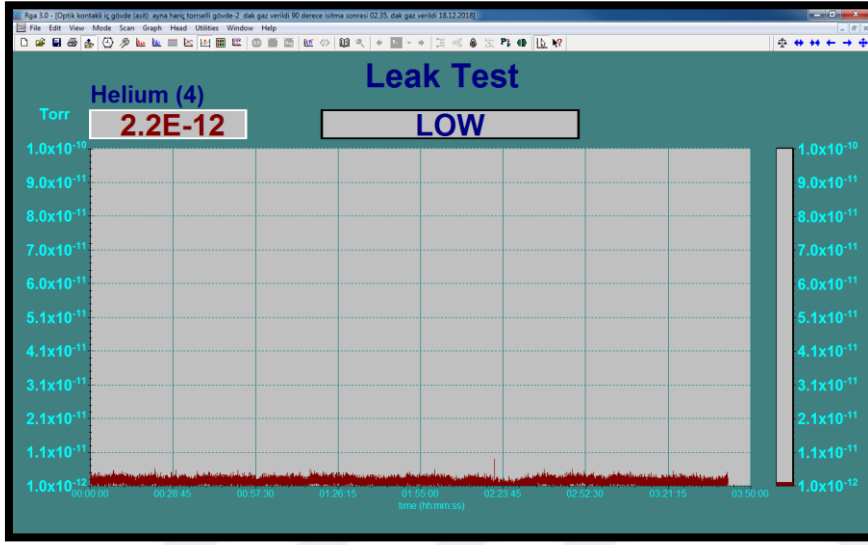
Şekil 3.22. Sızdırmazlık kontrol sistemi gösterimi

Kurulan ilk sistemde yapılan ilk deneme de HeNe lazer sisteminin sızdırmazlık problemi olduğu Şekil 3.23’da RGA ölçümünde gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Sızdırmazlık kontrol sistemi sızdırma olduğu durum

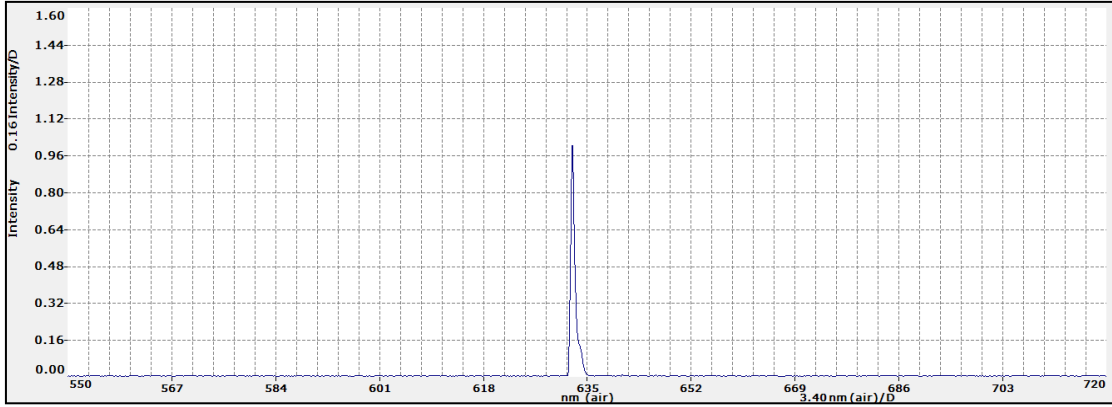
Ölçümün yaklaşık 20. dakikasında HeNe lazerin içinde bulunduğu yapıya helyum verilmiş ve kaçak olduğu için RGA'da okunan değerlerde helyum artışı görülebilmektedir. Şekil 3.23'de görüldüğü gibi yaklaşık 22. dakika'da sistem içerisine helyum almaya başlamış ve gaz analizöründe helyum seviyesi yükselmiştir. Çalışma tekrarlandığında ise kaçak olmayan bir yarı mamul ortaya çıkmıştır. 2. HeNe lazere yapılan sızdırmazlık testi sonucu Şekil 3.24'de gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Sızdırmazlık kontrol sistemi sızdırma olmadığı durum

İşlem tamamlandıktan sonra lazer yolu içerisinde çalıştırılan gazlar olarak helyum ve neon (1:5 ile 1:10 oranlarında) doldurularak plazma ve lazer gözlenmiştir. Sisteme bağlı şekilde lazer oluşumu görüldükten sonra anot (bakır) kısmından makas yardımı ile sistem sızdırmaz bir şekilde kesilmiştir. Kesilen uç sızdırmazlığın kalıcı olarak sağlanması için özel bir yapıştırıcı ile kapatıldıktan sonra işlem tamamlanmıştır.

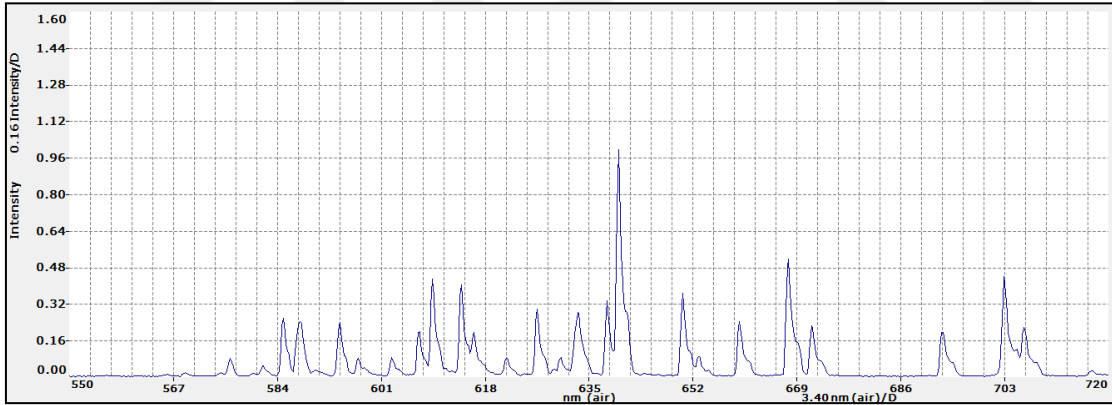
HeNe lazere Keithley - 248 cihazı ile yüksek voltaj uygulanmış ve lazer oluşumu gözlemlenmiştir. Oluşan lazere spektrum analizi thorlabs compact spectrum meter type ccs200/m ile yapılmıştır. Oluşan lazerin HeNe lazer olduğu spektrumda görülen 638.2 nm dalga boyundan anlaşılmıştır. Spektrum sonucu Şekil 3.25'de gösterilmiştir.



Şekil 3.25. HeNe lazer spektrumu

HeNe lazerin üretimi bittikten sonra elektrotlara uygulanan yüksek voltaj gerilimiyle açığa çıkan 638.2 nm dalga boyuna sahip HeNe lazerin spektrum sonucu ve ışık şiddeti Şekil 3.26'da görüldüğü gibidir.

HeNe lazer yolunda oluşan diğer dalga boylarının spektrum sonuçları da Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.26. HeNe lazer plazma spektrumu

HeNe lazer oluşumdan sonra lazer yolunda oluşan plazma üzerinden alınan spektrum sonucuna göre farklı dalga boyları ve şiddetlerinde oluşan ışımalar görülmüştür. Bunlar helyum ve neon atomlarının farklı dalga boyundaki ışık şiddeti düşük ışımaları ve lazer yolu içerisinde HeNe lazer oluşumunu etkilemeyecek miktarda atomik düzeyde temizlenemeyen farklı elementlerin ışımalarıdır. Çalışma saatine göre zamanla değişen HeNe lazer plazma spektrum sonucu dördüncü bölümde karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

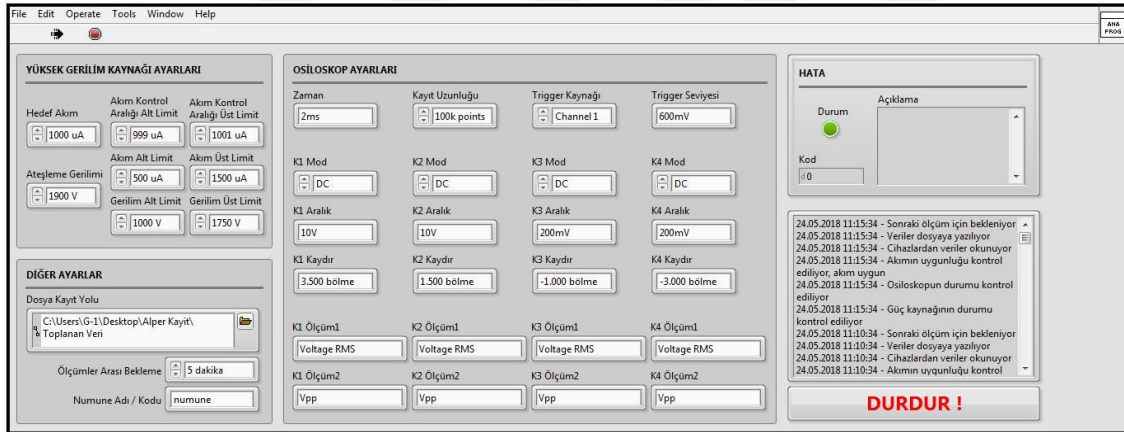


4. HELYUM-NEON LAZER VE KATOT ÖMÜR ANALİZİ

Çalışmada yaklaşık 10000 saat toplanacak verilerde, hem veri kaybının önüne geçmek, hem de işçiliği daha verimli kullanmak açısından labview tabanlı otomatik veri toplama sistemi kullanılmıştır. Sistemin kuruluş şekli, yazılım detayları, ara yüz bilgileri ve toplanan veri gösterimi anlatılmıştır. Alınan verilerle ilgili grafikler saatlik ortalamalar ile Microsoft Excel’de grafik halinde çizilmiş ve kısım detaylarında anlatılmıştır.

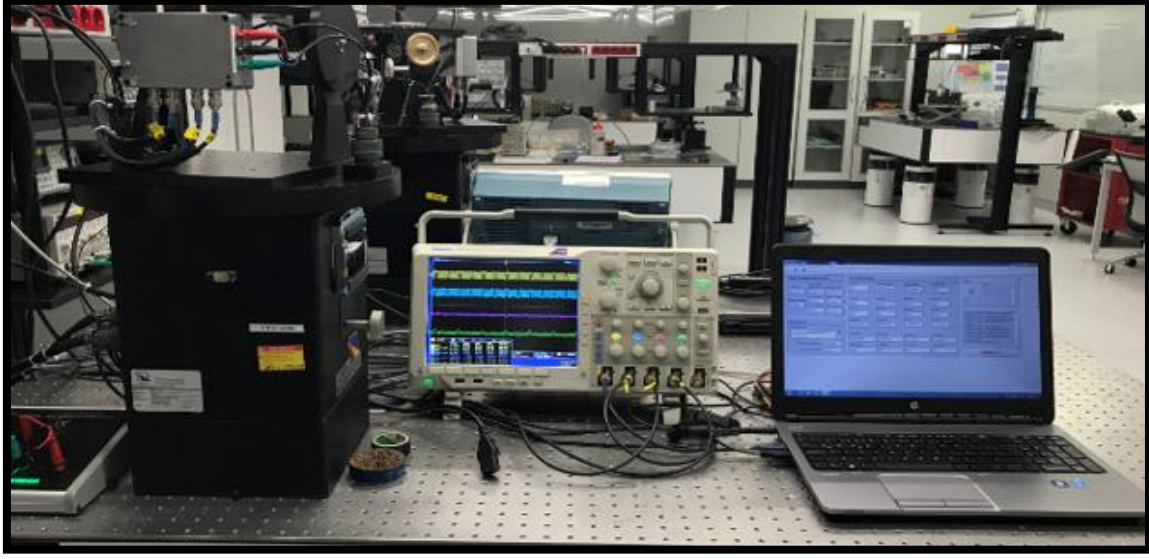
4.1 Labview Tabanlı Hazırlanan Veri Toplama Sistemi

Labview tabanlı hazırlanan HeNe lazer otomatik çalıştırma ve veri toplama sisteminin kullanıcı ara yüzü Şekil 4.1’de verilmiştir. Sistem yapılacak her türlü değişiklik, bekleme, veri kaydı ve hatayı ara yüzün sol alt kısmında tarih ve saati de belirterek not halinde tutacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4.1. Veri toplama yazılımı ara yüzü

Ara yüzün orta kısmında görüleceği gibi, osiloskobun zaman, kayıt uzunluğu, trigger kaynağı ve trigger seviyesi isterleri üst kısımda, kanalların DC ya da AC seçenekleri tercihi, voltaj aralığı bu bölge de ayarlanarak sistem çalıştırılmıştır. Veri toplama sistemi Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Veri toplama sistemi gösterimi

Veri toplama sistemi bünyesinde Keithley - 248 cihazı yüksek voltaj güç kaynağı (1500V) ve 4 kanallı Tektronix dpo 4034 dijital osiloskop kullanılmıştır. Yüksek voltaj güç kaynağında yüksek voltajda ateşlenen HeNe lazer ($\approx 2000V$) ateşleme sonrasında, HeNe lazerdeki akım değerinin $1000 \mu A$ olacak şekilde gerilimi $1000 V$ ile $1750 V$ arasında tutmaktadır. Sistem tam zamanlı çalışacağından güvenlik önlemi olarak sistem akım değerleri $500 \mu A$ ile $1500 \mu A$ aralığından ve gerilim değeri $1000 V$ ile $1750 V$ aralığından çıktığı anda sistemi otomatik olarak kapatır ve sorun kullanıcı tarafından çözülmediği sürece tekrar başlatmaz. Katot ömrü tükendikçe akım gerilim dengesinin bozulmasından dolayı akımı sabit tutmak ve gerilim değeri üzerinde değişimi okuyabilmek için, sistem $999 \mu A$ ve $1001 \mu A$ değerlerini gördüğü anda akım değerini tekrar $1000 \mu A$ çekmek için gerilim değerini değiştirir. Kullanıcı tarafından girilen her aralıkta bu veriyi kaydeder. Kaydedilen verilere ait örnek gösterim Şekil 4.3’de verilmiştir.

Tarih	Saat	Akim	Gerilim	K1 Ölçüm1	K2 Ölçüm1	K3 Ölçüm1	K4 Ölçüm1	K1 Ölçüm2	K2 Ölçüm2	K3 Ölçüm2	K4 Ölçüm2
24.05.2018	09:10:12	1001	1137	3,2	3,22	0,08	0,06	9,69	10,08	0,35	0,27
24.05.2018	09:15:18	1000	1136	3,21	3,25	0,04	0,06	10,12	10,39	0,22	0,29
24.05.2018	09:20:19	1000	1135	3,02	2,77	0,04	0,05	9,68	9,89	0,25	0,27
24.05.2018	09:25:19	1000	1135	2,82	2,83	0,05	0,06	9,53	9,8	0,25	0,28
24.05.2018	09:30:20	1000	1135	2,92	2,72	0,05	0,06	10,14	9,57	0,28	0,29
24.05.2018	09:35:20	1000	1135	2,76	2,81	0,03	0,04	9,96	10,25	0,24	0,26
24.05.2018	09:40:21	999	1136	2,79	2,77	0,05	0,06	9,81	10	0,29	0,38
24.05.2018	09:45:22	999	1135	2,74	2,84	0,04	0,06	9,66	10	0,29	0,38
24.05.2018	09:50:23	999	1136	2,63	2,85	0,04	0,05	9,42	9,75	0,27	0,29
24.05.2018	09:55:23	1000	1135	2,59	2,81	0,05	0,06	9,28	9,63	0,29	0,33
24.05.2018	10:00:24	999	1135	2,69	2,67	0,07	0,08	9,49	9,49	0,44	0,55
24.05.2018	10:05:24	999	1135	2,82	2,66	0,08	0,08	10	9,61	0,53	0,56
24.05.2018	10:10:26	999	1136	2,68	2,71	0,06	0,07	9,35	9,69	0,34	0,42
24.05.2018	10:15:26	999	1136	2,81	2,66	0,07	0,08	10,01	9,59	0,49	0,52
24.05.2018	10:20:27	999	1135	2,57	2,82	0,05	0,06	9,3	10,3	0,32	0,41
24.05.2018	10:25:27	999	1135	2,74	2,64	0,06	0,07	9,91	10	0,36	0,47
24.05.2018	10:30:28	999	1135	2,56	2,81	0,04	0,04	9,43	10,07	0,26	0,27
24.05.2018	10:35:29	999	1135	2,7	2,67	0,04	0,06	9,72	9,98	0,28	0,38
24.05.2018	10:40:30	999	1135	2,65	2,64	0,05	0,06	9,6	9,7	0,33	0,35
24.05.2018	10:45:30	999	1135	2,59	2,68	0,05	0,05	9,5	9,74	0,31	0,32
24.05.2018	10:50:31	999	1136	2,69	2,65	0,05	0,06	9,48	9,75	0,26	0,32
24.05.2018	10:55:31	999	1135	2,61	2,67	0,05	0,05	9,5	9,86	0,32	0,33
24.05.2018	11:00:32	999	1135	2,65	2,69	0,04	0,06	9,51	9,93	0,25	0,34
24.05.2018	11:05:33	999	1135	2,66	2,69	0,05	0,07	9,66	9,91	0,34	0,44
24.05.2018	11:10:34	999	1135	2,65	2,69	0,04	0,05	9,54	9,95	0,26	0,28

Şekil 4.3. Veri toplama örnek data gösterimi

Toplanan veriler analiz edilerek 10000 saat içerisinde akım, gerilim ve lazer parametrelerindeki değişiklik analiz edilmiştir.

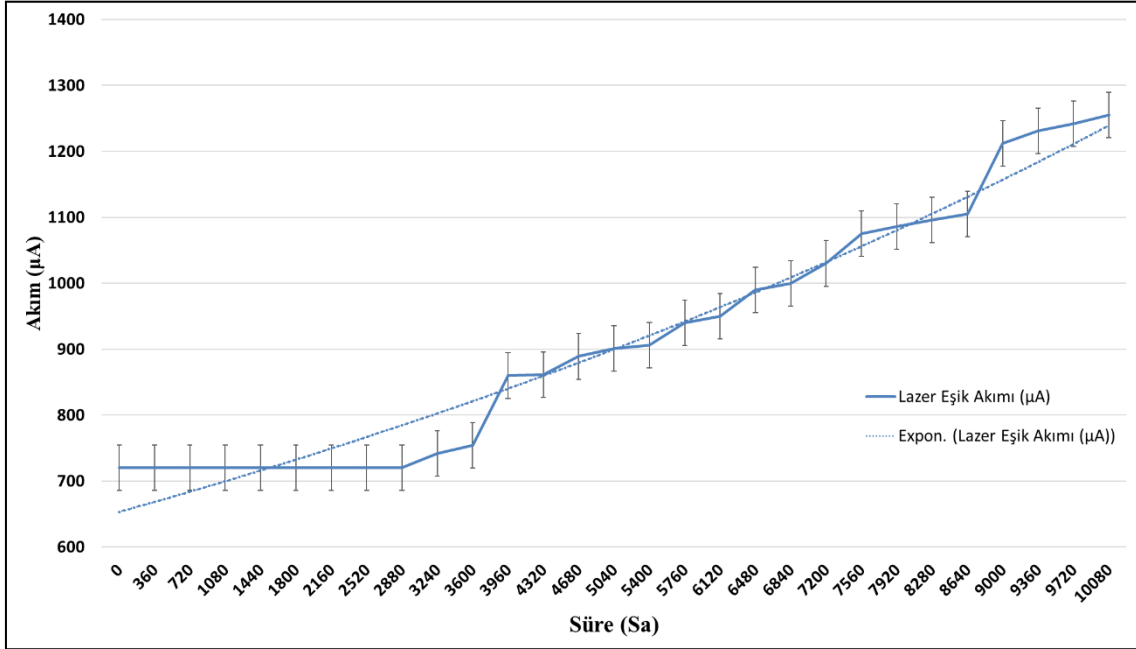
4.2. Toplanan Verilerin Analizi

Yaklaşık 1000 saat boyunca toplanan verilerin zamana karşı değişiminin analizinin yapıldığı bu kısımda lazer oluşum akımının, lazerin alt osilasyon başlangıç akım değerinin, lazer üst osilasyon başlangıç akım değerinin ve gerilime karşı okunan akım değerleri bu kısımda değerlendirilecektir.

4.2.1. Lazer eşik akım değerinin zamana bağlı değişimi

HeNe lazerin oluşumu için uygulanan akım değerinin 10000 saat boyunca değişimi bu kısımda incelenmiştir. Çalışma saati arttıkça lazer yolu içerisindeki helyumun kısmı basıncı düşeceğinden lazer zamanla daha yüksek akım değerlerinde ateşlenmeye başlamıştır. Toplam veri toplama süresi yaklaşık 10000 saat olup, veriler yaklaşık 360 saatlik ortalamalarla analiz edilmiştir. Plazma oluşumu ile lazer oluşumu farklı akımlarda olmaktadır. Bu nedenle kritik olan HeNe lazerinin oluştuğu minimum akım değeri 10000

saat boyunca toplanan en değerli veri olmuştur. Lazerin oluştuğu akım değeri lazer eşik akım değeri olarak adlandırılmıştır. Lazer eşik akım değerinin zamana göre değişimi Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

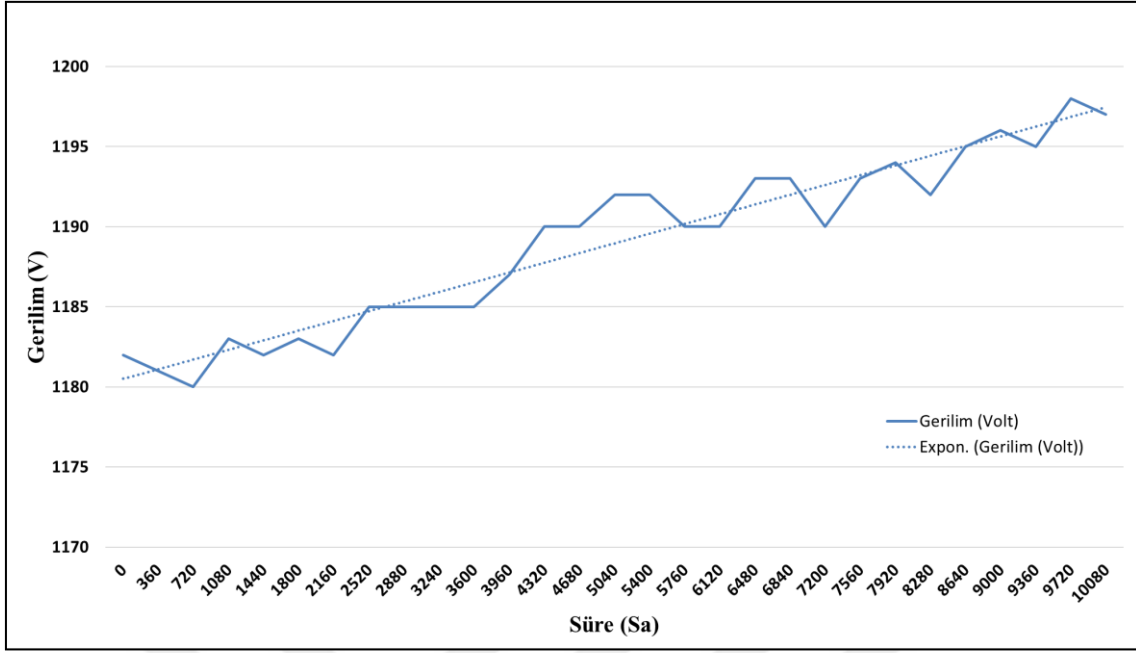


Şekil 4.4. Lazer eşik akım değeri & süre

Yaklaşık 3500 saat boyunca lazer oluşum akım değerinde bir farklılık görülmemiş, 10000 saat içerisinde ise lazerin oluştuğu akım değeri 720 µA'den 1250 µA'e kadar artmıştır.

4.2.2. Gerilimin zamana bağlı değişimi

HeNe lazerin 1000 µA'de çalışması için uygulanması gereken gerilimin 10000 saat boyunca değişimi bu kısımda incelenmiştir. Çalışma saati arttıkça lazer yolu içerisindeki basıncın zamana bağlı olarak artmasından dolayı, lazer yolu direncinin yükselmesi sabit akımda çalışmaya devam edebilmek için uygulanan gerilimin artmasına neden olmaktadır. Toplam veri toplama süresi yaklaşık 10000 saat olup, veriler yaklaşık 360 saatlik ortalamalarla analiz edilmiştir. Sabit akımda lazer yolundaki direncin değişmesi ile artan gerilim değerinin zamana göre değişimi Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

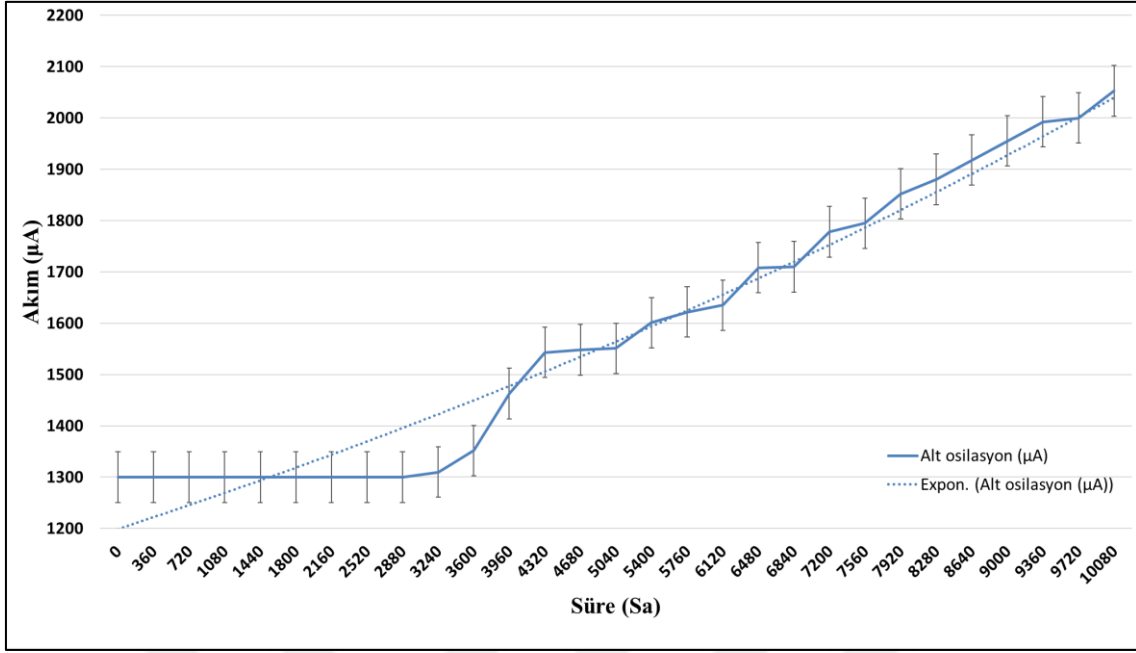


Şekil 4.5. Akım sabit (1000 µA) gerilim & süre

10000 saat içerisinde ise gerilim değeri 1180 V'den' 1200 V'a kadar artmıştır.

4.2.3. Alt osilasyon başlangıç akım değeri

HeNe lazerin oluşumu için uygulanan akım değeri lazer eşik değerinin üzerine çıktıktan sonra, belirli bir akım değeri aralığında iç basınca bağlı olarak lazer üzerinde neon plazmanın etkisi ile osilasyona neden olmaktadır. Çalışma saati artıkça lazer yolu içerisindeki helyum ve neonun kısmi basıncı düşeceğinden lazerin alt osilasyon bandı da yukarı yönlü kayma eğilimindedir. Toplam veri toplama süresi yaklaşık 10000 saat olup, veriler yaklaşık 360 saatlik ortalamalarla analiz edilmiştir. Helyum ve neonun kısmi basıncının değişiminden kaynaklı olarak alt limit değerinin zamana göre değişimi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

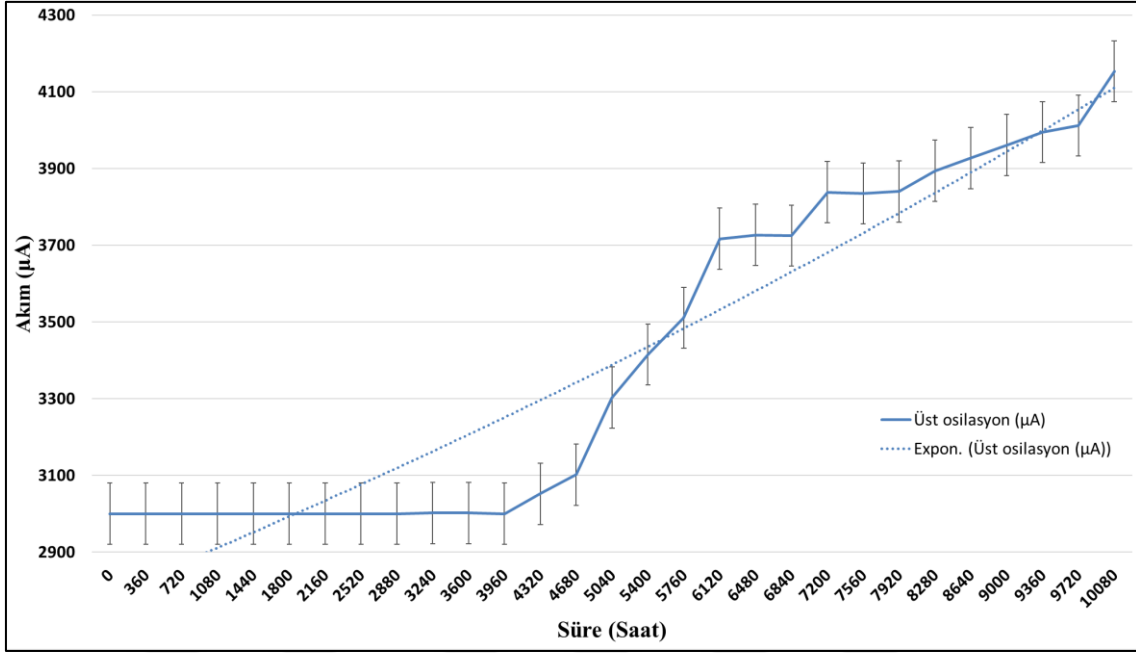


Şekil 4.6. Alt osilasyon başlangıç akım değeri & süre

Yaklaşık 4000 saat boyunca alt osilasyon başlangıç akım değerinde bir farklılık görülmemiş, 10000 saat içerisinde ise HeNe lazerin osilasyona başladığı alt akım değeri 1300 μA 'den 2000 μA 'e kadar artmıştır.

4.2.4. Alt Osilasyon Başlangıç Akım Değeri

HeNe lazerin oluşumu için uygulanan akım değeri lazer eşik değerinin üzerine çıktıktan sonra, belirli bir akım değeri aralığında iç basınca bağlı olarak lazer üzerinde neon plazmanın etkisi ile osilasyona neden olmaktadır. Aynı osilasyon uygulanan voltajın artması ve neon atomlarının sürekli uyarılması ve neon atomların yükseltgenmiş seviyede nüfusun fazla olması nedeni üst osilasyon bandı adı verilen yüksek akım değerlerinde de oluşmaktadır. Çalışma saati artıkça lazer yolu içerisindeki helyum ve neonun kısmı basıncı düşeceğinden lazerin üst osilasyon bandı da yukarı yönlü kayma eğilimindedir. Toplam veri toplama süresi yaklaşık 10000 saat olup, veriler yaklaşık 360 saatlik ortalamalarla analiz edilmiştir. Helyum ve neonun kısmı basıncının değişiminden kaynaklı olarak üst limit değerinin zamana göre değişimi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Üst osilasyon başlangıç akım değeri & süre

Yaklaşık 4300 saat boyunca üst osilasyon başlangıç akım değerinde bir farklılık görülmemiş, 10000 saat içerisinde ise HeNe lazerin osilasyona başladığı üst akım değeri 3000 µA'den 4100 µA'e kadar artmıştır.



5. SONUÇ

Çalışma kapsamında temel olarak HeNe lazerinde, kullanım ömrünün katoda bağlı değişimi araştırılmıştır. Bunun için, HeNe lazerinin kazanç ortamı yaratılıp, kapalı bir seramik tüpte düşük basınçta bulunan 5:1 ile 20:1 arasındaki oranlarda helyum ve neon gazları ile doldurularak tasarımı ve üretimi gerçekleştirilen katot bileşeninin HeNe lazer çalışma süresi üzerindeki etkisini incelenmiştir.

Tezin birinci bölümünde, kullanılan HeNe lazerinin temel çalışma prensibi, He ve Ne atomlarının enerji geçişleri ve bu atomların etkileşimleri sonucu lazer oluşum süreci anlatılmıştır. Lazerin ışın yolunu oluşturmak için ise seramik tüpün iki ucuna yüksek yansıtıcı ayna yerleştirilmiştir. Çalışma yapılan lazerlerde uyarma kaynağı olarak, cam tüpün her bir ucundaki bir anot ve katot boyunca yüksek voltajlı elektriksel deşarj kaynağı kullanılmıştır. Deşarj edilmesindeki amaç elektronların elektriksel boşaltımdan gazdaki helyum atomlarıyla çarpışmasını sağlamak ve helyumu temel enerji seviyesinden yarı kararlı bir seviyeye uyardır. Bu uyarılmış helyum atomları daha sonra temel seviyedeki neon atomlarıyla çarpışarak enerjisini neon atomlarına transfer eder. Uyarılmış neon atomlarının temel enerji seviyesine geçişi esnasında 632.82 nm dalga boyunda ışık emisyonuna neden olur. Gaz kanalı doğrultusunda yayılan fotonlar yüksek yansıtıcı aynalar vasıtasıyla yansıtılarak rezonans koşulu oluşur ve bu yönde lazer ışınması elde edilir.

HeNe gibi lazerlerin yapımındaki en önemli parçalardan biri de elektron yayıcı soğuk katottur. Tezin ikinci aşamasında bu önemli bileşenin tasarım sürecine yer verilmiştir. HeNe lazerin soğuk katoduna uygulanan negatif bir potansiyel ile yüklü olan $He^{(+)}$, $Ne^{(+)}$ iyonları katot yüzeyine hızla çarpıp katottan elektron koparılmasına sebep olurlar. Ancak elektronların katottan kopması esnasında katot yüzeyine iyonize atomların gömülmesi ve katot malzemesine ait atomların ortama karışması sonucu HeNe lazerin içerisinde bulunan gaz karışımı bozulabilmekte ve HeNe lazerinin istenilen güç ve performansta çalışmasına engel olabilmektedir. Bozulmayı en aza indirebilmek için katot yüzeyi oksit bir tabaka kaplanarak koruma sağlanır. Bu katmanın kalınlığı, soğuk katodun ömrü ve dolayısıyla HeNe lazerinin ömründe belirleyici rol oynayan en önemli etkidir. Kolay bulunması ve şekil verilmesi nedeni ile malzeme olarak alüminyum tercih edilmiştir. Alüminyumun

doğal oksit büyümesini görmek ve bu doğal oksit büyütme yakın formda oksit büyüemeye çalışarak ömrü arttırılmaya çalışılmıştır. Bu katmanın uygun kalınlıkta büyütülmesi elektriksel iletkenliği bozmadığı gibi metal atomlarının kopmasını da engellemektedir. Metalin yüzeyinde oluşacak bu dielektrik filminin kalınlığı 5-15 nm arasında olması gerektiği bilgisi literatürden elde edilen bir bilgidir [24,25,26,27]. Ayrıca bu bölümde, katot tasarım ve üretim sürecinde dolaylı olarak HeNe lazerin ömrünü etkileyebilecek parametreleri iyileştirmeye yönelik tasarım çalışmalarına da yer verilmiştir. Denemelerde kullanılacak altlıklar hazırlanarak yüzey iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra altlık yüzeylerinde iki farklı yöntem ile alüminyum oksit büyütülmesi ve sonuçları incelenmiştir.

Tez çalışmaları süresince, kontrollü bir oksit tabakasının büyütülmesini sağlamak, büyütülen bu tabakanın kalınlığını ölçebilmek ve nihai elde edilen kalınlıkta üretilen bir katodun lazer ömrüne etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Hem iletkenliği bozmayacak hem de katottan atom saçılımını önleyecek optimum kalınlık tespiti için yapılabilecek çalışmaların önü açılmıştır. Doğal oksit tabakasına benzer bir büyütme yapılabilmesi için öncelikle alüminyum üzerinde doğal olarak büyüyen oksit tabası incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskopu, geçirimli elektron mikroskobu ve odaklanmış iyon ışını cihazları kullanılarak bu oksit tabakasının 3-4 nm civarında ve amorf yapıda olduğunun görülmesi ile amorf yapıda 5-15 nm arasında büyütme yapılacak iki yöntem DC plazma ve termal yöntem belirlenmiş ve literatür taraması ile bu çalışmalarda çıkılacak minimum ve maksimum noktalarla çerçeve çizilmiştir [21].

İki yöntemin de çıktıları incelendikten sonra aralarında görülen malzemenin tane yapısının farklılıklarının, oksit tabakasının homojen dağılımını bozması nedeni ile termal yöntemle üretim değil, DC oksijen plazma yöntemi ile üretim tercih edilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde bileşenin üretimine ve tasarımına yer verilmiştir. Üretim şekli ve yöntemi belirlenen katoda nihai geometrisi verildikten sonra ikinci bölümde belirlenen yöntemlerle üretim süreci tamamlanmıştır. Biten nihai ürünlerden bir tanesi tekrar analiz edilerek kritik tasarım özellikleri incelenmiş, diğer ürünler ise HeNe lazer üretiminde kullanılmak üzere işleme alınmıştır. Elektrot seramik bağlanma işlemleri, seramik seramik optik kontak işlemleri genel yapısı ile HeNe lazer üretimi anlatılmıştır. Deneme numunelerinde yapılan en uygun yöntem nihai geometrisi verilen katot yarı mamulüne

uygulanmış ve üretimi tamamlanan katot yine literatürden alınan bilgiye göre montajı tamamlandıktan sonra HeNe lazer elde edilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde elde edilen HeNe lazerinin test ve ömür analizlerine yer verilmiştir. Yaklaşık 10000 saatlik verinin sağlıklı toplanılması için veri toplama sistemi yazılımı yazılmış ve HeNe lazer sistemi bu yazılımla birlikte çalıştırılarak 10000 saatlik akım ve gerilim bilgisi alınmıştır. HeNe lazerin ve katodun sürekli çalıştırarak test edilmesi, test sisteminin oluşumunda kullanılan HeNe lazer sürme ve okuma yazılımı, test boyunca toplanan verilerin analizi ve spektrum sonucu ile HeNe lazerin kirlenme analizi incelenmiştir.

Yaklaşık 3500-4000 saat boyunca lazer oluşum akım değeri, lazer alt ve üst osilasyonun başladığı akım değerlerinde görülmemiştir. 10000 saat içerisinde ise lazerin olduğu akım değeri 720 μ A'den 1250 μ A'e, lazerin alt osilasyonun başladığı akım değeri 1300 μ A'den 2000 μ A'e ve üst osilasyonun başladığı akım değeri 3000 μ A'den 4100 μ A'e kadar artmıştır. Alüminyum oksit tabakası 10000 saatlik çalışma süresi boyunca erozyonuna uğramıştır. Değişim gözlenen dalga boyu aralıkları 690-780 nm, 540-600 nm ve 500-530 nm aralığında gözlemlenmiştir. Başlangıçta ışınması olmayan fakat 10000. saate ilerledikçe ışınmanın başladığı veya ışınma şiddetinin artış görülen dalga boyları analiz edilmiştir. Bu dalga boylarının alüminyum, oksijen ve hidrojen kaynaklı olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalar sonucu, 12 nm kalınlığında alüminyum oksit kaplanarak üretilen katotun, 10000 saat boyunca lazerin çalışmasını sağladığı kanıtlanmıştır. Alüminyum oksit tabakasının aşınmaya başladığı ve katottan sökülen alüminyum ve oksijen atomlarının lazer kazanç ortamına karışıp helyum ve neon kısmi basınçlarında azalmaya neden olmasından dolayı HeNe lazerinin akım ve gerilimi etkileme başlamadığı kullanım süresi ise yaklaşık olarak 4500 saate tekabül etmektedir.

Bu çalışma kapsamında ilk kez milli üretim olarak alüminyum katot kullanılmış, alüminyum üzerinde oksit tabakası büyütülmüş ve test edilmiştir. Gelecekte kullanılacak katodun geometrisi, katot alüminyum oksit kalınlığı, lazer kazanç ortamında helyum ve neon gaz basınçları ve karışım oranları optimize edilerek çalışma süresi 20000 saat, lazer akım ve geriliminin etkilenmeye başladığı saatin 10000 saat olarak optimize edilmesi ile ilgili çalışmaların önü açılmıştır.



KAYNAKLAR

1. Endo, M., Walter, R. F. (2006). *Gas laser*, Florida. CRC Press, 497-541.
2. James, W. H. (1983). *Ring Laser With Plasma Starter*. U.S. Patent No. 4392229.
3. Garrett, C.G.B. (1967). *Gas laser*, New York. McGraw-Hill, 62-75.
4. White A., Ridgen J. (1962). *Continuous gaz maser operation in the visible*, New York. Institute of Radio Engineers, 50-1697.
5. Gwo, D. (2001). *Ultra Precision and Reliable Bonding Method*. U.S. Patent No. 6284085.
6. Fowles, G. R. (1989). *Introduction to modern optics* (İkinci baskı). ABD: Courier Corporation, 99-119.
7. Akhmanov, S. A., Nikitin, S. Y. (1997) *Physical optic*. Gloucestershire: Clarendon, 185-222.
8. Ferguson, J.B., Morris, R.H. (1978) Single mode collapse in 6238 angstrom helium neon lasers. *Applied Optics*. 17(1), 2924-2929.
9. Wolfgang, T. (1989). *Laser Cathode Production Process*. U.S. Patent No. 4810222.
10. Shinan-Chur, S., Joseph, B. L. (1984). *Cold Cathod Construction*. U.S. Patent No. 4477908.
11. Gordon, S. N. (1986). *Cold Cathode Fabrication For Ring Laser Gyroscope*. U.S. Patent No. 4595377.
12. Gordon, S. N. (1991). *Laser Cathode*. U.S. Patent No. 5052012.
13. Robert, S. W., Lee, M. F. (1972). *Laser Cold Cathode Arrangement*. U.S. Patent No. 3688217.
14. Takao, F., Akira, K., Sadatane, S. (1977). *Method Of Making A Cold Cathode Gas Laser Discharge Tube*. U.S. Patent No. 4012214.
15. Karl, G. H. (1969). *Sputter, Resistive Cold Cathode For Low Pressure Gas Discharge Device*. U.S. Patent No. 3486058.
16. Urs, H. (1971). *Gas Laser*. U.S. Patent No. 3614642.
17. Hernqvist, K. G. (1967). *Sputter Resistive Cold Cathode For Low Pressure Gas Discharge Device*. U.S. Patent No. 3486058.
18. Henry, C. A., James, W. H. (1977). *Cathode Construction For Long Life Lasers*. U.S. Patent No. 4007431.
19. Gordon, S. N. (1986). *High Performance Laser And Method Of Making Same*. U.S. Patent No. 4612647.

20. Alan, R. M. (1990). *Ring Laser Gyroscope With Hollow Cathode Having Frusto-Ellipsoidal Surface*. U.S. Patent No. 4969157.
21. Bondarenko, G. G., Korzhavyi, A. P. (2007). *Influence of surface oxidation on the structure and properties of cold metal cathodes*. Berlin. Springer Science+Business Media, Inc. 125-128.
22. Deiries, S., Silber, A., Iwert, O., Evi, H. & Jean, L. (2005). Plasma cleaning. *European Southern Observatory*. 7(1), 2-11.
23. Mozetic, M., Zalar, A. (2002). Discharge cleaning of aluminum components. *Pergamon Vacuum*. 71. 233-236.
24. Nguyen, T. D. (1967). Electrode surface process in gaseous plasma. *Surface Science*. 12(1), 422-439.
25. Olive, G. Pulfrey, D. L., Young, L. (1972). *The role of plasma negative ions in plasma anodization*. Doctoral Thesis. Department of Electrical Engineering, The University of British Columbia, B. C. (Canada), 427-431.
26. Toshiaki, Y. (2004). Aluminum surface treatment using three different plasma-assisted dry chemical processes. *IEEE Transactions on Industry Application*, 9(2), 1221-1223.
27. Tao, C. C. (1999). Plasma surface treatment in composites manufacturing. *Journal of Industrial Technology*, 15(1), 2-6.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : İLHAN, Alper
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 17.06.1988, Batman
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 03128605500
 e-mail : alper.ilhan@icloud.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İleri Teknolojiler	2019
Lisans	İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi / Fizik	2013
Lise	Antalya Anadolu Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-2013	Yandex Inc.	Assessor

Yabancı Dil

İngilizce
 Almanca

Yayınlar

A. İlhan, H. Berberoğlu, A. Doğan, O. C. Aktaş (2018). *Comparative Study on Aluminum Laser Cathodes Modified by Thermal and Plasma Oxidation*. APMAS'18.

Hobiler

Yüzme, Kitap Okuma, Doğa Yürüyüşü, Snowboard, Maketçilik



GAZİ GELECEKTİR..