

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**ELEKTRİK ARK BOŞALIMI YÖNTEMİ İLE CAM, KUVARS GİBİ
İNERT VE SAĞLAM MALZEMELER ÜZERİNDE MİKRO
YAPILARIN OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

NİLÜFER GÜNAY KARAYALÇIN

TEZ DANIŐMANI

PROF. DR. İ. CENGİZ KOÇUM

ANKARA - 2020

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı Biyomedikal Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans çerçevesinde Nilüfer Günay KARAYALÇIN tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 17 / 01 / 2020

Tez Adı ELEKTRİK ARK BOŞALIMI YÖNTEMİ İLE CAM, KUVARSA GİBİ İNERT VE SAĞLAM MALZEMELER ÜZERİNDE MİKRO YAPILARIN OLUŞTURULMASI

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Prof. Dr. İ. Cengiz KOÇUM, Başkent Üniversitesi

.....

Dr.Öğt. Üyesi Mehmet Feyzi AKŞAHİN, Başkent Üniversitesi

.....

Dr. Öğt. Üyesi Burak TÜRKER, Afyon Kocatepe Üniversitesi

.....

ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 17/ 01 / 2020

Öğrencinin Adı, Soyadı: Nilüfer Günay KARAYALÇIN

Öğrencinin Numarası : 21020026

Anabilim Dalı : Biyomedikal Mühendisliği

Programı : Biyomedikal Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Prof. Dr. İ. Cengiz KOÇUM

Tez Başlığı : Elektrik Ark Boşalımı Yöntemi ile Cam, Kuvars Gibi İnert ve Sağlam Malzemeler Üzerinde Mikro Yapıların Oluşturulması

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 63 sayfalık kısmına ilişkin, 16/01/2020 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 0'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

Onay

17 / 01 / 2020

Prof. Dr. İ. Cengiz KOÇUM

TEŞEKKÜR

Çalıőmam boyunca desteğini benden esirgemeyen danıőman hocam Prof. Dr. İ. Cengiz KOÇUM'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Çalışma süresince bilgi ve birikimleri ile hep yanımda olan eőim N. Serkan KARAYALÇIN'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan ve desteğini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi iletirim.

ÖZET

Nilüfer Günay KARAYALÇIN

ELEKTRİK ARK BOŞALIMI YÖNTEMİ İLE CAM, KUVARS GİBİ İNERT VE SAĞLAM MALZEMELER ÜZERİNDE MİKRO YAPILARIN OLUŞTURULMASI

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı

2020

Plazma maddenin dördüncü halidir ve bunun en güzel örneği yıldızlardır. Plazmanın endüstride birçok kullanım alanı bulunmakla beraber en sık kullanıldığı yerler plazma televizyonlar ve kaynak makineleridir. Endüstride bu sayılan kullanım alanlarının yanında nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte plazma kendisine bu alanda da kullanım yeri bulmuştur. Plazmanın nanoteknolojide kullanım alanlarının başında ince film kaplama, nanomalzeme ve karbon nanotüp üretimi gelmektedir. Mikro işleme teknolojileri, mikro sensörlerin gelişmesine paralel olarak ilerlemiştir. Birçok mikro işleme tekniği olmakla beraber en sık kullanılanları fotolitografi, iyon demeti litografi, lazer, elektrokimyasal ve mekanik tekniklerdir. Bu çalışmada plazma kullanılarak fiziksel ve kimyasal olarak dayanıklı fakat işlenmesi çok zor olan cam, payreks ve kuvars gibi malzemeler üzerinde mikro yapılar oluşturulması hedeflenmiştir. İlk adım olarak yüksek gerilimli plazma ark makinesi kullanılarak cam üzerinde mikro yapılar üretilmiştir. Sistem parametrelerinin bilgisayar üzerinden kontrolünün sağlanabileceği dijital kontrol sistemi ve akım algılama algoritması geliştirilmiştir. Cam, payreks ve kuvars malzemeler üzerinde mükemmele yakın mikro delikler oluşturulmuştur. Daha sonra delik profilini ve delik açma süresini etkileyen faktörler üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar akım algılama algoritması, prob arası mesafe, frekans-doluluk oranı ve prob arası açıdır. Delik açma konusunda ulaşılan başarıdan sonra düzenek tek eksenli hareketli bir sisteme entegre edilmiştir. Yeni gelişen mikro adım teknolojisinin yardımıyla yaklaşık 340 mikro metre aralıklarla 150 mikro metre çapa sahip mikro delikler oluşturulmuştur. Çalışmanın sonunda, sistem optimize edilerek payreks malzeme üzerinde mikro kanal çalışması gerçekleştirilmiştir.

ANAHTAR SÖZLÜKLER: Plazma, Mikro Kanal, Mikro Delik

ABSTRACT

Nilüfer Günay KARAYALÇIN

**FORMING MICRO STRUCTURES ON INERT AND RUGGED MATERIALS
SUCH AS GLASS, QUARTZ WITH ELECTRIC ARC DISCHARGE METHOD**

Başkent University Institute of Science and Engineering

Department of Biomedical Engineering

2020

Plasma is the fourth state of matter and stars are the best examples to this state. Plasma has many application areas in industry such as plasma televisions and welding machines. In addition to these fields of use in the industry, with the development of nanotechnology, plasma has taken its place in this field as well. Thin film coating, nanomaterials and carbon nanotube production are the main application fields of plasma in nanotechnology. Micro-processing technologies have progressed in parallel with the development of micro-sensors. Although there are many micro processing techniques, the most commonly used ones can be counted as photolithography, ion beam lithography, laser, electrochemical and mechanical techniques. In this study, by using plasma it is aimed to form micro structures on materials such as glass, pyrex and quartz which are physically and chemically resistant but very difficult to process. As the first step, microstructures were produced on glass by using high voltage plasma arc machine. A digital control system and current detection algorithm were developed to control the system parameters via computer. Almost perfectly shaped micro holes were formed on glass, pyrex and quartz materials. Afterwards, studies were carried out on the factors affecting the hole profile and drilling time. These studies include the current detection algorithm, the distance between probes, frequency-duty ratio and the angle between probes. Once the drilling is achieved, the setup was integrated into a single-axis motion system. Thanks to the emerging micro stepping technologies, micro holes with a diameter of 150 micrometers were formed at approximately 340 micrometer intervals. At the end of the study, by optimizing the system, micro channel study was performed on the pyrex material.

KEYWORDS: Plasma, Micro Channel, Micro Hole

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL METOT.....	16
2.1. Voltaj Çeviriciler.....	16
2.1.1. Voltaj düşürücü sistemler.....	16
2.1.1.1. Lineer voltaj düşürücü sistemler.....	16
2.1.1.2. Anahtarlama voltaj düşürücü sistemler.....	17
2.1.2. Voltaj yükseltici sistemler.....	19
2.1.2.1. Lineer yükseltici sistemler.....	19
2.1.2.2. Anahtarlama voltaj yükseltici sistemler.....	20
2.2. Dijital Kontrol.....	22
2.2.1. Mikro denetleyici.....	23
2.2.2. Gömülü yazılım.....	23
2.2.3. Akım sensörü.....	23
2.2.4. Usb-Uart çevirici.....	26
2.2.5. Adım motoru kontrolü.....	26
2.3. Görüntüleme Ünitesi.....	27
3. DENEYLER VE TARTIŞMA.....	28
3.1. Yüksek Voltaj Ark Oluşturma Sistemi.....	28
3.2. Analog Kontrol Çalışmaları.....	32
3.2.1. Bakır plakalı prob çalışması.....	33
3.2.2. Bakır telli prob çalışması.....	33
3.2.3. Tungsten prob çalışması.....	34
3.2.4. Mikro kanal çalışmaları.....	37
3.3. Dijital Kontrol Sistemi.....	38
3.3.1. Mikro denetleyici devresi.....	39
3.3.2. Yüksek voltaj kontrol ünitesi.....	40
3.3.3. USB bağlantısı.....	41

3.3.4. Adım motoru kontrol ünitesi.....	41
3.3.5. Akım algılama devresi.....	41
3.4. Dijital Kontrollü Sistem Çalışmaları.....	44
3.4.1 Akım algılama süresi çalışması.....	46
3.4.2. Proplar arası mesafe çalışması.....	47
3.4.3. Doluluk oranı çalışmaları.....	48
3.4.4. Farklı frekans çalışmaları.....	50
3.4.5. Prob hizalama çalışması.....	51
3.4.6. Tek eksen hareket çalışmaları.....	52
3.4.7. Mikro kanal çalışmaları.....	53
4. SONUÇ.....	57
KAYNAKLAR	64
EKLER	

EK 1: Gömülü Sistem Yazılımı

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. İnce Film Kaplama.....	2
Şekil 1.2. Nanoparçacık.....	4
Şekil 1.3. Karbon Nanotüp.....	5
Şekil 1.4. Fotolitografi.....	7
Şekil 1.5. İyon Demeti Litografi.....	9
Şekil 1.6. Lazer Mikro İşleme.....	10
Şekil 1.7. Mekanik Mikro İşleme.....	11
Şekil 1.8. Elektrokimyasal Mikro İşleme.....	12
Şekil 2.1. Anahtarlamalı Voltaj Düşürücü Devre.....	18
Şekil 2.2. Voltaj Çoklayıcı Devre.....	19
Şekil 2.3. İzolasyonsuz Anahtarlamalı Yükseltici Devre	20
Şekil 2.4. Geridönüş (flyback) Yükseltici	21
Şekil 2.5. Tam Köprü(full-bridge) Yükseltici.....	22
Şekil 2.6. PIC18F2431.....	23
Şekil 2.7. Şönt direnç üzerinden akım ölçüm yöntemleri.....	24
Şekil 2.8. Akım ve Manyetik Alan Yönü.....	25
Şekil 2.9. ACS 711 Kartı.....	25
Şekil 2.10. MCP2200.....	26
Şekil 2.11. DRV8825 Mikro Adım Sürücü.....	27
Şekil 2.12. Olympus Marka Mikroskop.....	27
Şekil 3.1. Yüksek Voltaj Ark Oluşturma Sistemi.....	28
Şekil 3.2. P ve N Kanal Mosfet.....	28
Şekil 3.3. Tam Köprü Devresi.....	29
Şekil 3.4. Serbest (Free Wheel Diode) Diyot.....	30
Şekil 3.5. Sönümleyici (Snubber) Devre.....	30
Şekil 3.6. İzole Besleme Devresi	31
Şekil 3.7. TLP250.....	32
Şekil 3.8. Bakır Plakalı Prob Şeması.....	33
Şekil 3.9. Bakır Telli Prob Şeması.....	33
Şekil 3.10. Tungsten Prob Sistemi.....	34
Şekil 3.11. Analog Kontrol Sistemi.....	35

Şekil 3.12. Analog Kontrol Sistemi Cam Delme Çalışması.....	35
Şekil 3.13. Kaplamalı Cam Delme Çalışması.....	36
Şekil 3.14. Analog Kontrol Sistemi Payreks Delme Çalışması.....	36
Şekil 3.15. Analog Kontrol Sistemi Kuvars Delme Çalışması.....	37
Şekil 3.16. Analog Kontrol Sistemi Cam Mikro Kanal Çalışması.....	37
Şekil 3.17. Analog Kontrol Sistemi Payreks Mikro Kanal Çalışması.....	38
Şekil 3.18. Dijital Kontrol Sistemi.....	39
Şekil 3.19. Devre Modeli ve Güç Transferi İlişkisi.....	42
Şekil 3.20. Uygulanan Frekans ve Çekilen Akım İlişkisi.....	43
Şekil 3.21. Dijital Kontrol Cam Delme Çalışması.....	44
Şekil 3.22. Akım Algılamalı Cam Mikro Delik Çalışması.....	45
Şekil 3.23. Akım Algılamalı Kuvars-Payreks Mikro Delik Çalışması.....	45
Şekil 3.24. Akım Algılama Süresi Çalışması.....	46
Şekil 3.25. Problar Arası Mesafe Çalışması.....	47
Şekil 3.26. 7 Khz Doluluk Oranları Çalışması.....	48
Şekil 3.27. 10 Khz Doluluk Oranları Çalışması.....	49
Şekil 3.28. 15 Khz Doluluk Oranları Çalışması.....	50
Şekil 3.29. Farklı Frekans Çalışmaları.....	50
Şekil 3.30. Prob Hizalama Çalışması.....	51
Şekil 3.31. Delik Çapı ve Delikler arası Mesafe.....	52
Şekil 3.32. Mikro Adım Çalışmaları.....	53
Şekil 3.33. Mikro Kanal Yüksek Hız Çalışması.....	54
Şekil 3.34. Mikro Kanal Düşük Hız Çalışması.....	54
Şekil 3.35. Mikro Kanal Optimum Hız Çalışması.....	55

1. GİRİŞ

Plazma maddenin 4. halidir. Yıldızlar plazmanın en güzel örnekleridir. Plazmayı bilimsel olarak açıklamak gerekirse; ortamdaki yalıtkan gazın (hava v.b.) iletken duruma geçmesi yani iyonize olması anlamına gelmektedir. Bu durum kullanılan gazın iyonizasyon limiti aşıldığı zaman meydana gelmektedir. Bu nedenle iyonize edilecek gaz için gerekli enerji değişkenlik göstermektedir. Formüle etmek gerekirse; (basınç ve diğer değişkenler sabit olduğu durumlarda)

$$E\lambda > EI \quad (1.1)$$

Burada;

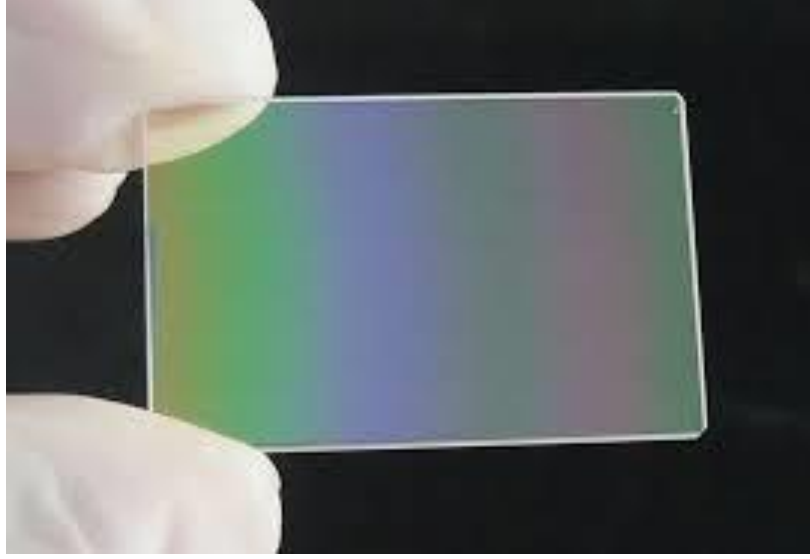
E , boşluk arasındaki elektrik alan(V/m),
 λ , ortalama serbest yol (m),
 EI , ortam gazının iyonizasyon potansiyeli(V) dir.

Yukarıdaki formülden de anlaşılacağı gibi plazma oluşumu elektrik alan, ortalama serbest yol ve ortamdaki gazın iyonizasyon potansiyeline bağlıdır [1].

Plazma günümüzde birçok alanda kendine yer bulmaktadır. Bunun temel sebebi plazma üreten cihazların üretimi ve kullanımı alternatiflerine göre daha kolaydır. Plazma, endüstride genel anlamda makro ölçekte kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının başında kaynak makineleri ve plazma televizyonlar gelmektedir [2]. Endüstri ortamında kendisine bu kadar yer bulan plazma, nanoteknolojinin gelişmesi ile, nano ölçekte de kendisine yer bulmaya başlamıştır. Nanoteknoloji birçok yeniliğe kapı açmakla beraber, nanoteknolojik ürünler üretilebilmesi için gereken alt yapının kompleks olması sebebiyle çalışılması zor bir alan gibi görülmektedir. Plazma yukarıda belirtildiği gibi kullanımı ve kurulumu kolay bir sistem olduğu için nanoteknolojik çalışmaların yayılmasına katkı sağlamaktadır.

Plazma ya da ark boşalım yönteminin nano teknoloji de yaygın kullanım alanları;

- İnce film kaplama,
- Nano malzeme üretimi,
- Nano tüp oluşturma,
- Yüzey temizleme işlemleridir.



Şekil 1.1. İnce Film Kaplama [3]

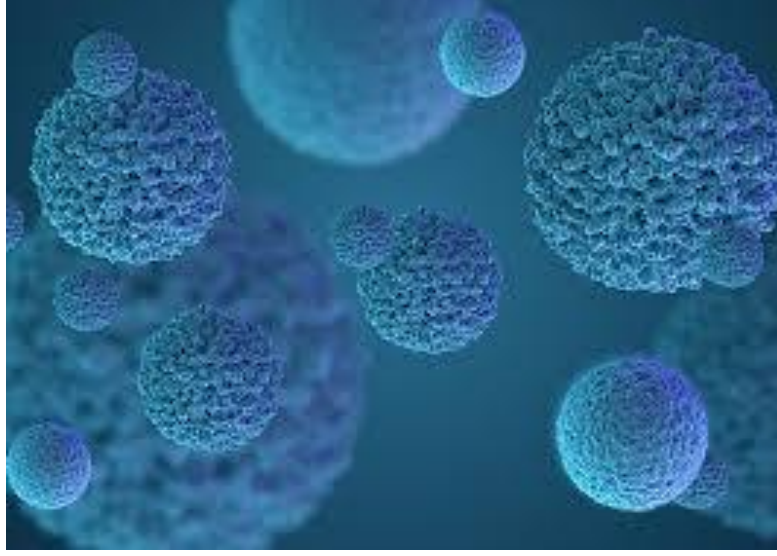
Plazma tekniğinin nanoteknoloji alanında en çok kullanıldığı yöntemlerin başında ince film kaplama tekniği gelmektedir. İnce film kaplama adından da anlaşılacağı gibi herhangi bir yüzeyin istenilen malzemeyle nano metreler seviyesinde (10^{-9} m) kaplanmasıdır. İstenilen kalınlık miktarı nanometreden (nm) başlayarak mikrometre (um) ya da makro sayılabilecek mm seviyelerine kadar ulaşmaktadır. İnce film kaplamanın iki temel avantajı bulunmaktadır. Bunlardan ilki kullanılan malzeme miktarını minimum seviyeye düşürmesidir. Örnek vermek gerekirse; bir malzemeye herhangi bir koruma özelliği eklemek için yüzeyinin başka bir malzemeyle kaplanması gerekmektedir. Normalde 1 um kaplama işlev görmesi için yeterli iken, eski zamanlarda 1 mm kaplama yapılarak 1000 kat fazla malzeme kullanılmaktaydı. Bu durumun nanometrik kaplamalar için milyon seviyelerine çıktığı göz önüne alındığında hem malzeme israfı hem de ekonomik yük oldukça artmaktaydı. Nanoteknolojiyle makro malzemeler için kullanılan günümüz fizik kurallarının (Newton fiziği) geçerliliğini yitirdiğini yeni fizik kurallarının tanımlandığı bambaşka bir bilim dalı doğmuştur. Bu yeni bilim dalına kuantum fiziği adı verilmektedir.

İnce film kaplama uygulamalarıyla ilgili olarak literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde;

- E. Restrepo-Parra ve arkadaşları, darbeli vakum ark boşalım yöntemini kullanarak ZnO kaplama yapmışlardır. Bu şekilde nanometrik seviyede kaplama yapmayı başarmışlardır [4].
- Yu-hang Cui ve arkadaşları, bir başka teknik olan plazma spreyi ile ZrO₂ kullanarak porlu nano yapı oluşturmuşlardır [5].

- Cécile Boudot ve arkadaşları, vakum ark plazma yöntemiyle medikal uygulamalar için silikon elastomerler üzerine ince film TiO₂ kaplama yapmışlardır [6].
- Ken Yukimura ve arkadaşları, bir başka ark plazma yöntemi olan manevra (shunting) ile amorf karbon kaplaması gerçekleştirmişlerdir [7]. Aynı grup yüksek kaplama hızlarına erişmek için manevra (shunting) ark plazma yöntemini manyetik yönlendirme ile kullanmışlardır [8].
- Rui Chang ve arkadaşları, spark plazma kaplama yöntemi kullanarak Tungsten üzerine SiC parçacık kaplama çalışması gerçekleştirmişlerdir [9].
- V. Ambardekar ve arkadaşları, atmosferik plazma spreyi tekniği kullanarak SnO₂ kaplama çalışması gerçekleştirmişlerdir [10].
- Quang Hung Trinh ve arkadaşları, plazma jeti kullanarak cam üzerine süper hidrofobik yüzey kaplama çalışması yapmışlardır [11].
- Anton Manakhov ve arkadaşları, plazma kaplama yöntemi kullanarak PCL nanofiber yapıların bioaktiflik özelliğinin geliştirilmesi için Carboxyl-anhydride ve amine kaplama çalışması gerçekleştirmişlerdir [12].
- Kirsten Bobzin ve arkadaşları, korozyon direncini artırmak için plazma spreyi yöntemini kullanarak FeCrMnBC kaplama çalışması gerçekleştirmişlerdir [13].
- Girisha K G ve arkadaşları, AISI 410 çeliğinin korozyon direncinin artırılması için plazma kaplama yöntemini kullanmışlardır [14].
- Changcong Wang ve arkadaşları, karbon ve karbon kompozitlerin oksidasyon ve ablasyondan korunmasını geliştirmek için plazma spreyi yöntemi kullanarak LaB₆-MoSi₂-ZrB₂ kaplama çalışması gerçekleştirmişlerdir [15].
- Aminul Islam ve arkadaşları, karbon nanotüplerin kırılma dirençlerini artırmak için plazma spreyi yöntemi kullanarak lanthanum zirconate kaplama çalışması gerçekleştirmişlerdir [16].
- F. Sajedi Alvara ve arkadaşları, hava plazma spreyi yöntemini kullanarak titanyum üzerine Al₂O₃-TiB₂ nanokompozit kaplama çalışması gerçekleştirmişlerdir [17].
- Hongfei Chen ve arkadaşları, plazma spreyi tekniği kullanarak malzemelerin yüksek sıcaklıktaki triboloji özelliklerini geliştirilmesi için TiC/Ti₃AlC₂-Co kaplama çalışması gerçekleştirmişlerdir [18].
- Lei Cao ve arkadaşları, titanyum alaşımlarının biyolojik özelliklerinin geliştirilmesi için plazma spreyi yöntemi kullanarak hidroksiapatit kaplama çalışması gerçekleştirmişlerdir [19].

- Sony Priyadershini ve arkadaşları, plazma spreji tekniğini kullanarak karbon nanotüp ve grafen nanoplateletlerin triboloji özelliklerini geliştirmek için Al_2O_3 kaplama çalışması gerçekleştirmişlerdir [20].

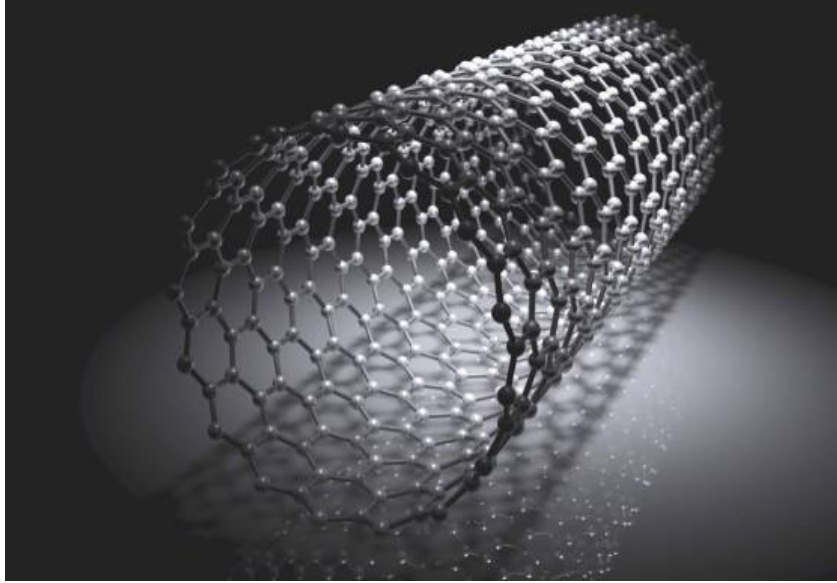


Şekil 1.2. Nanoparçacık [21]

Yukarıda da bahsedildiği gibi ark plazma yöntemi ince film kaplama çalışmalarında sıklıkla kullanılmakla beraber nano malzeme üretiminde de kullanılmaktadır. Nano malzeme üretiminde yapılan başlıca çalışmalar incelendiğinde;

- Zhiqiang Wei ve arkadaşları, ark plazma tekniğini kullanarak Ni nanotoz (nanopowders) üretimi gerçekleştirmişlerdir [22].
- Longhai Shen ve arkadaşları, ark boşalım yöntemi kullanarak CrN nanokristal üretimi gerçekleştirmişlerdir [23].
- H. Lange ve arkadaşları, ark boşalım yöntemi kullanarak nano karbon üretimi gerçekleştirmişlerdir [24].
- Lin Li ve arkadaşları, ark plazma tekniği kullanarak nano-AlN toz üretimi gerçekleştirmişlerdir [25].
- Jung-Goo Lee ve arkadaşları, plazma ark boşalım yöntemi kullanarak Mn–Al alaşım nanopartikülleri üretme çalışması gerçekleştirmişlerdir [26].
- Sang Hoon Kim ve arkadaşları, ark plazma biriktirme yöntemi ile platin ve altın nanoparçacık çalışması gerçekleştirmişlerdir [27].
- M.Z. Kassae ve arkadaşları, ark boşalım yöntemi ile tungsten nanoparçacık üretimi gerçekleştirmişlerdir [28].

Yukarıdaki çalışmalardan da görüleceği gibi ark boşalım yöntemi kullanılarak birçok farklı nano parçacık üretimi gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 1.3. Karbon Nanotüp [29]

Nanoteknolojinin gelişmesiyle yeni malzemelerde üretilmeye başlanmıştır. Bu malzemelerin en bilinenlerinden olan karbon nanotüp ark boşalım tekniği kullanılarak üretilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalara göz atmak gerekirse;

- Kazi Hanium Maria ve arkadaşları, tek duvar karbon nanotüpleri düşük frekans bipolar atım ark boşalım yöntemi kullanarak üretmeyi başarmışlardır [30].
- Yanjie Su ve arkadaşları da düşük basınç hava ark boşalım yöntemi kullanarak tek duvar karbon nanotüp üretimi çalışması yapmışlardır [31].
- Huang Zeng ve arkadaşları ise ark boşalım yöntemini kullanarak değişik formlarda karbon nanotüp sentezleme çalışması yapmışlardır [32].
- Xiaolong Song ve arkadaşları çoklu-duvar karbon nanotüpü ark boşalım yöntemi kullanarak oluşturmuşlardır [33].
- Takuya Sagara ve arkadaşları Ni dolgulu karbon nanotüpü ark boşalım yöntemi kullanarak oluşturmuşlardır [34].
- T. Okada ve arkadaşları tolüeni ark boşalım yöntemi ile karbon nano tüpe dönüştürmeyi başarmışlardır [35].
- Yanjie Su ve arkadaşları, ark boşalım yöntemi ile değişik çaplarda karbon nanotüp üretimi çalışması gerçekleştirmişlerdir [36].

- Hyeon Hwan Kim ve arkadaşları, ark boşalım yöntemi ile karbon nanotüp hazırlama çalışması gerçekleştirmişlerdir [37].
- Seung Jong Lee ve arkadaşları, ark boşalım yöntemi ile geniş skalada karbon nanotüp üretim çalışması gerçekleştirmişlerdir [38].

Yukarıdaki çalışmalardan da anlaşılacağı üzere; karbon nanotüp gibi çok farklı özelliklere sahip olan bir malzemeyi bile ark boşalım yöntemi ile sentezlemek mümkündür. Son dönemlerde ark boşalım yönteminin çok daha farklı uygulamalarda da kullanıldığı görülmektedir.

- L. Eykens ve arkadaşları, atmosferik plazma kaplama yöntemiyle membran saflaştırma çalışması gerçekleştirmişlerdir [39].
- Bo Jiang ve arkadaşları ise plazma boşalım yöntemi kullanarak atık su temizleme çalışması gerçekleştirmişlerdir [40].
- K. Pochner ve arkadaşları atmosferik basınçta ark boşalım yöntemiyle yüzey temizleme işlemi gerçekleştirmişlerdir [41].

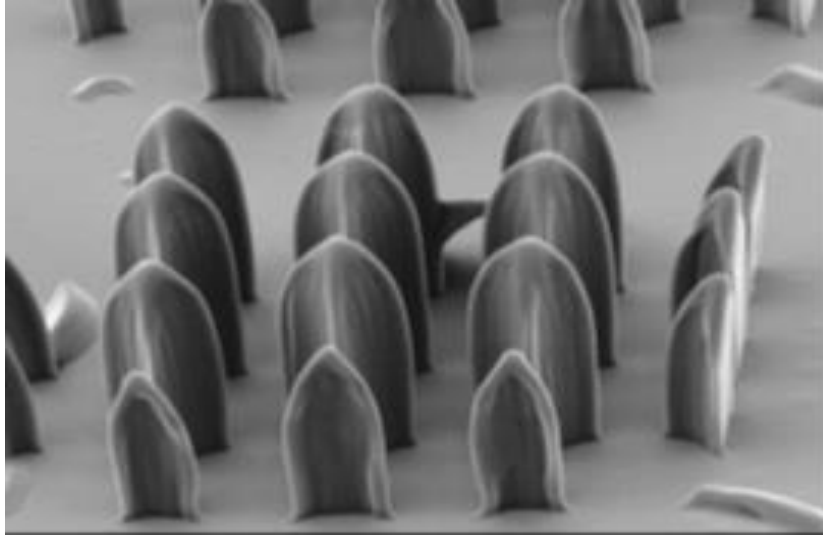
Plazma ark boşalım yönteminin yukarıdaki örnekler ışığında nanoteknolojinin birçok alanında sıklıkla kullanıldığı rahatlıkla söylenebilir. Sadece malzeme sentezi değil, aynı zamanda temizleme ve çevresel atık yönetiminde bile kendine yer bulduğu görülmektedir. Kullanım alanları göz önüne alındığında ark boşalım yönteminin yüksek potansiyele sahip olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu çalışmada ark boşalım yönteminin yukarıda bahsi geçen kullanımlarından farklı şekilde, mikro işleme tekniği olarak kullanımı gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde bile analiz yapılacak numuneden makro boyutta (cm seviyelerinde) örnekler alınarak analiz işlemleri gerçekleştirilmektedir. Özellikle tıp alanında kan analizi gibi olmazsa olmaz testler için hastalardan tüplerle kan alınmakta ve testler bu şekilde gerçekleştirilmektedir. Bunun sebebi ise ölçüm yapacak sensör adı verilen malzemelerin büyük boyutta olmasıdır. Yeni yapılan çalışmalar ile ölçüm sensörleride nanometrik boyutlara indirilmeye başlanmıştır. Bununla beraber ortaya yeni bir problem çıkmıştır. Sensörlerin boyutları küçülmüş, ölçüm çözünürlükleri artmış, daha az numune ile çalışabilecek hale gelmişlerdir. Fakat ölçüm yapılacak ortamlar aynı oranda küçülememiştir. Çünkü bahsi geçen nano üretim tekniklerinin neredeyse hepsi dip-yukarı tekniğini kullanarak çalışmaktadır. Bu teknikle nano malzemeler üretilip bunların birleştirilmesi ile daha büyük çapta malzemeler üretilmektedir. Ölçüm haznesi üretiminde ise yukarı-dip tekniği kullanılması gerekmektedir. Yani ana malzemeyi işleyerek daha küçük malzeme üretilmesi gerekmektedir. Bu hazne kimi zaman bir mikro kanal kimi zamansa mikro çukur

olmaktadır. Son dönemde hızla gelişen teknolojilerden biri olan mikro üretim teknolojisi bu noktada devreye girmektedir.

Mikro yapı üretim teknikleri de çeşitlilik göstermektedir. Günümüzde en sık kullanılan mikro işleme yöntemleri;

- Fotolitografi,
- Elektrokimyasal,
- İyon demeti Litografi (ion beam lithography),
- Lazer,
- Mekanik,
- Ultrasonik,
- Hibrittir.



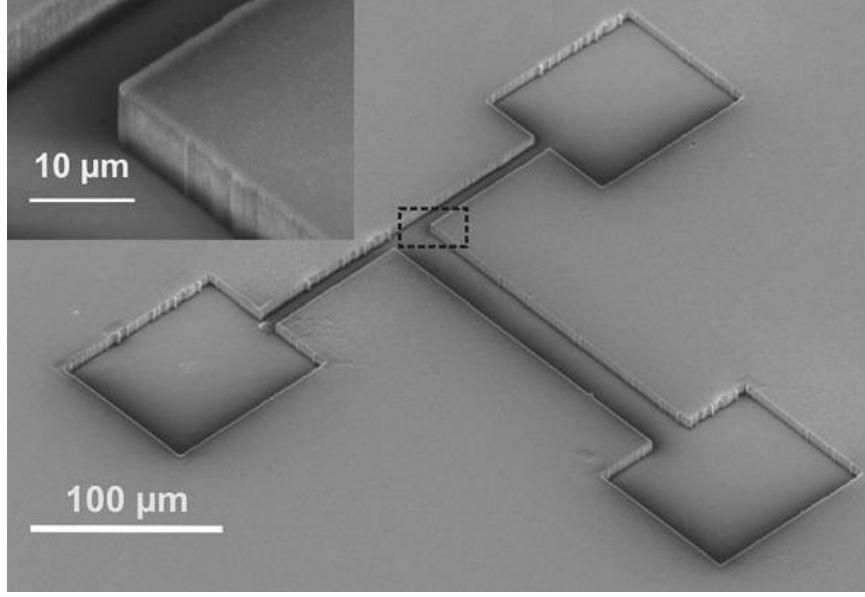
Şekil 1.4. Fotolitografi [42]

Mikro işleme denince akla ilk gelen uygulama fotolitografidir. Mikro şekil oluşturulacak tabanın üzerine işlem yapılacak malzeme istenilen kalınlıkta kaplanır (bu kalınlık genel olarak nm seviyelerindedir.). Daha sonra ışığa dirençli ya da ışığa duyarlı koruyucu tabaka ile kaplama yapılır. İstenilen yapının oluşmasını sağlayacak maske sistemin üzerine yerleştirilir. Bu maskenin çözünürlüğü nanometre seviyelerinde olmalıdır. Daha sonra sistemin üzerinden ışık uygulanarak kullanılan ışığa duyarlı ya da ışık dirençli tabaka üzerinde koruyucu katman oluşturulur. En son yüzey kaldırma (etching) işlemi uygulanarak istenilen mikro yüzeylere ulaşılmış olur.

Bu yöntem özellikle nanoteknoloji çalışmalarının temelini oluşturmakla beraber günümüzde kullanılan işlemciler, sensörler v.b. birçok uygulamanın temel taşı olarak kullanılmaktadır. Literatürde yapılan araştırmaları örneklemek gerekirse;

- Chong Geng ve arkadaşları, küresel lens fotolitografi tekniği kullanarak 3 boyutlu nano delikler oluşturmayı başarmışlardır [43].
- Ming-Hsien Wu ve arkadaşları, mikro lens dizisi kullanarak fotolitografi tekniği ile mikro yapılar oluşturmayı başarmışlardır [44].
- Tseng Ming Hsieh ve arkadaşları, 3 boyutlu yapı oluşturmada kullanmak için fotolitografi yöntemi ile kalıplar oluşturmuşlardır [42].
- Kihyun Keem ve arkadaşları, fotolitografi tekniği ile ZnO nano tel alan etkili transistör üretimi yapmışlardır [45].
- Thi Huong Au ve arkadaşları, serbest dolaşan manyetik mikro yapılar oluşturmak için fotolitografi yöntemini kullanmışlardır [46].
- Nur'aini Dian Pratiwi ve arkadaşları, porlu silikon yapı oluşturmak için fotolitografi yöntemini kullanmışlardır [47].
- Christiane Zamponi ve arkadaşları, süper elastik Ni ince film oluşturmak için fotolitografi yöntemini kullanmışlardır [48].
- Eiji Makino ve arkadaşları ince seramiklerin yüzeyinde mikro yapılar oluşturmak için fotolitografi yöntemini kullanmışlardır [49].
- P. Girault ve arkadaşları, fotolitografi tekniğini sensör uygulamaları için porlu silikon mikro-rezonatör üretmek için kullanmışlardır [50].
- Lingfeng Wu ve arkadaşları, silikon nanokristal fotovoltaiik yapıları fotolitografi yöntemi kullanarak oluşturmayı başarmışlardır [51].
- Byungjin Cho ve arkadaşları, organik dirençli hafıza yapılarını fotolitografi yöntemi ile oluşturmuşlardır [52].
- F. Benyettou ve arkadaşları, Si/SiO₂ çekirdek-kabuk nanotellerin kontajını sağlamak için fotolitografi yöntemini kullanmışlardır [53].

Yukarıda verilen literatür çalışmaları da gösteriyor ki; fotolitografi yöntemi nano ve mikro üretim gerektiren tüm alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Temiz oda gereksinimi, maske üretim tekniğinin zorluğu ve maliyeti ise olumsuz yönlerinin başında gelmektedir

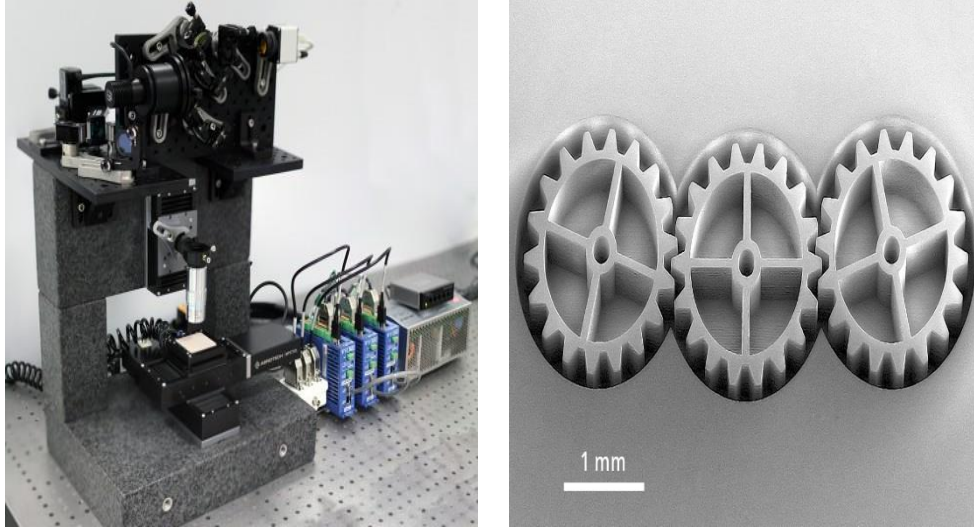


Şekil 1.5. İyon Demeti Litografi [54]

İyon demeti litografi (ion beam lithography) yöntemi, iyonların yüzeye odaklanarak işlem yapılması temeline dayanan bir yöntemdir. Literatürde iyon demeti litografi ile yapılan başlıca çalışmaları örneklemek gerekirse;

- S. Gorelick ve arkadaşları, iyon demeti litografi tekniği uygulayarak mikro akışkan sistemleri üretme çalışması gerçekleştirmişlerdir [54].
- M. Varašanec ve arkadaşları da, iyon demeti litografi tekniğini kullanarak mikro yapı oluşturma çalışması yapmışlardır [55].
- F. Picollo ve arkadaşları, iyon demeti litografi tekniğini kullanarak çoklu elektrot dizisi üretmeyi başarmışlardır [56]. Aynı grup bir başka çalışmasında aynı teknikle mikro akışkan kanalları üretmeyi başarmışlardır [57].

İyon demeti litografi tekniği oldukça hassas ve kompleks yapılar oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Fakat yüksek vakum ortamında çalışılmak zorundadır. Buda bu tekniğin normal koşullarda kullanılmasını engellemektedir. Ayrıca işlem süresinin uzun oluşu ve çok yüksek bütçelerde ekipman gerektirmesi sebebiyle endüstriyel uygulamalarda kendine çok fazla yer bulamayıp, sıklıkla bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır.



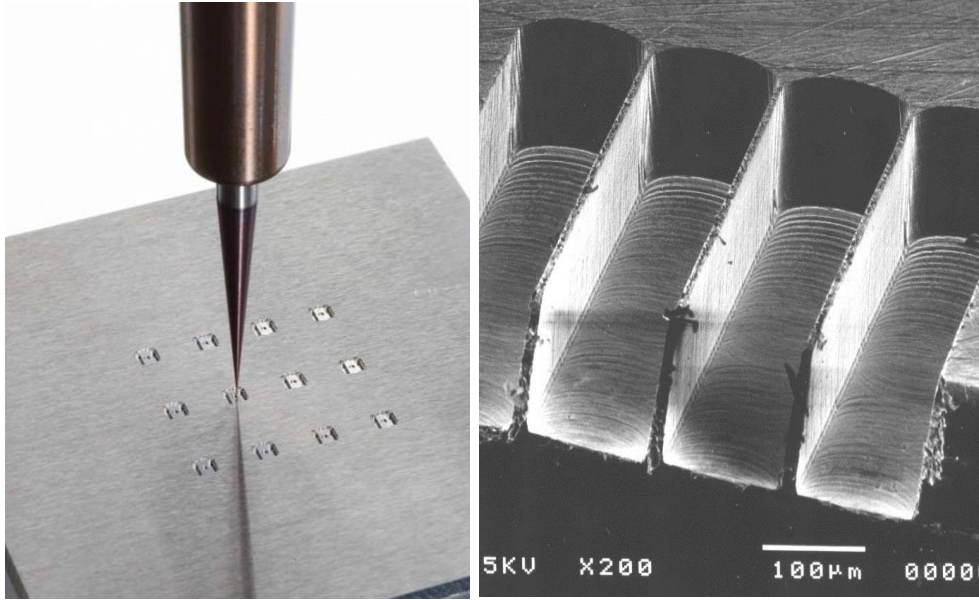
Şekil 1.6. Lazer Mikro İşleme [58][59]

Lazer mikro işleme tekniği, şekil 1.6’da görüldüğü gibi yüksek güçlü lazerin mercekle sistemi yardımıyla çok küçük bir alana odaklanarak işlem yapılması temeline dayanan bir tekniktir. Bu yöntemde 2 farklı varyasyon bulunmaktadır. Bunların ilkinde lazer sabit, işleme yapılacak numune hareket ederken diğerinde ise lazer hareket ederek numune üzerinde işlem yapılması sağlanmaktadır. Burada temel amaç yüksek enerjiyi çok küçük bir alana odaklamaktır. Bunun için genelde kullanılan yöntem femto saniye lazeri olup; isminden de anlaşılacağı üzere femto saniye süresi boyunca lazer bir noktaya odaklanarak işlem yapılmaktadır. Lazer mikro işleme tekniği de fotolitografi gibi çok yaygın kullanılmaktadır. Özellikle endüstriyel uygulamalarda bu yöntem sıkça karşımıza çıkmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalardan örnek vermek gerekirse;

- Kelly T. Paula ve arkadaşları, femto saniye lazeri kullanarak grafen kompozitleri işleyerek mikro elektrot çalışması yapmışlardır. Bu sayede üretilen mikroeletrotlar sensör uygulamalarında kullanılabilir [60].
- Wei Zhou ve arkadaşları, yukarıdaki çalışmaya benzer olarak direk lazer mikro işleme tekniği kullanarak bakır tabanlı biyosensör uygulaması gerçekleştirmişlerdir [61].
- K.K. Mandal ve arkadaşları, atım lazer yardımıyla Al 7075 alaşımı işleme çalışması yapmışlardır. Bu malzeme özellik havacılık sanayisinde kullanılmaktadır [62].
- Souta Matsusaka ve arkadaşları, Uv nano saniye lazer yardımıyla gümüş-sodyum camı işlemeyi başarmışlardır [63].

- Viboon Tangwarodomnukun ve arkadaşları, lazer kullanarak silikon işleme çalışması yapmışlardır. Lazerin sıcaklık etkisini ortadan kaldırmak için buz kullanmışlardır [64].
- Hao Zhu ve arkadaşları, piko saniye lazeri yardımıyla biyoseramik malzemelerden olan hidroksiapatit işleme çalışması yapmışlardır. Bu malzeme biyouyumluluğu ve biyoaktivitesi sayesinde medikal alanda kullanımı günden güne artmaktadır [65].

Lazer mikro işleme tekniği yukarıdaki çalışmalardan da anlaşılacağı üzere hemen hemen bütün endüstri dallarında kullanılabilir. Temassız bir yöntem olması tercih sebeplerinden biridir. Olumsuz yönlerinin başında türüne göre (nano ve femto saniye) çok yüksek fiyatlarının olmasıdır. Ayrıca sistem, optik odaklama ile çalıştığından şeffaf malzeme işlemede kötü performans sergilemektedir.

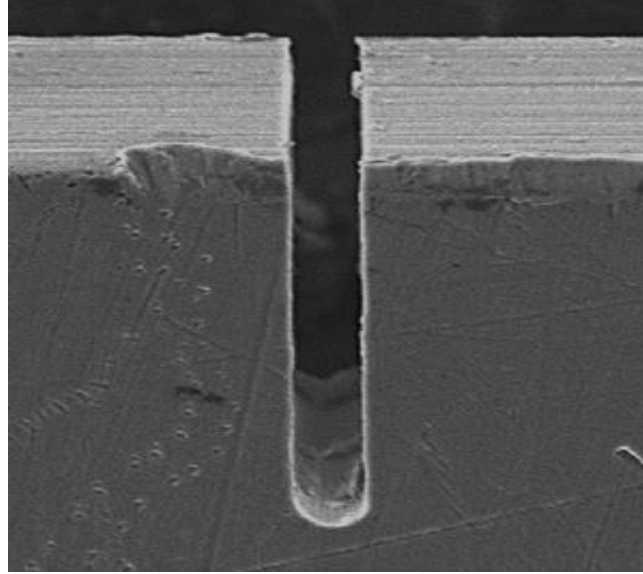


Şekil 1.7. Mekanik Mikro İşleme [66][67]

Mikro işleme tekniklerinden bir diğeri ise mekanik mikro işleme tekniğidir. Bu yöntem diğerlerinden farklı olarak mekanik uçlar yardımıyla malzemeye temas ederek işleme olanağı sağlamaktadır.

- M. Takacs ve arkadaşları, mekanik mikro işleme yöntemi ile metalik malzeme işlemini gerçekleştirmişlerdir [68].
- Golshana ve arkadaşları mekanik mikro işleme tekniği ile hassas bir şekilde silikon wafer işleme çalışması yapmışlardır. Silikon; ışık geçirgenlik özelliklerinden ötürü mikro kanal uygulamalarında önemli bir potansiyele sahiptir [69].

Mekanik mikro işleme tekniği genel olarak metal gibi sert malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemin olumsuz yönlerinin başında cam gibi kırılğan malzemeleri işleyememesi ve kullanılacak sistemlerin çok yüksek fiyatlı olmasıdır.



Şekil 1.8. Elektrokimyasal Mikro İşleme [70]

Elektrokimyasal mikro işleme tekniğinde; işleme yapılacak malzemenin anot olarak kullanılıp, uygun çözelti içinde elektrokimyasal reaksiyonlar yardımıyla işleme gerçekleştirilmektedir.

- Yuan Ye ve arkadaşları, elektrokimyasal yöntemle mikro işleme yapmışlardır. Normalde kullanılan maske ve Işığa dirençli malzeme kullanmak yerine eksen sistemi ile hareket sağlayıp işleme yapmak istedikleri metal malzemeyi anot olarak kullanıp işleme yapmayı başarmışlardır [71].
- Chuanping Gao ve arkadaşları, elektrokimyasal yöntemle paslanmaz çelik işleme çalışması yapmışlardır [72].

Elektrokimyasal mikro işleme tekniği sadece malzeme işleme olarak değil mekanik mikro işleme tekniğinde kullanılacak malzemelerin üretiminde de kullanılmaya çalışılmaktadır.

- Kun Xu ve arkadaşları, elektrokimyasal yöntemle mikro işleme elemanları yapmışlardır. Bu sayede mekanik işlemede kullanılacak hassas malzemeler üretmeyi hedeflemektedirler [70].

- Xinxin Qi ve arkadaşları, mikro işlemede sıklıkla kullanılan tungsten malzemelerin mekanik yöntemlerle kesilmesinin çok zor olduğunu ön görüp mikro işlemeye uygun hale getirmek için elektrokimya ile işleme çalışması yapmışlardır [73].

Elektrokimyasal mikro işleme tekniğinin temel avantajı temassız işleme sağlamasıdır. Bununla birlikte işlenecek malzemenin yalnızca iletken olması ve işlenecek malzemeye uygun çözelti hazırlanması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca hareket sistemi, güç üretim sistemi gibi pahalı ekipmanlar gerekli olması da negatif özellikleri arasında yer almaktadır.

Yeni gelişen sistemlerin bir diğer örneği ise ultrasonik mikro işleme tekniğidir. Bu teknik isminden de anlaşılacağı gibi ses dalgaları yoluyla işleme yapmaktadır.

- Sandeep Kuriakosea ve arkadaşları, ultrasonik mikro işleme tekniği ile Zr-Cu-Ti metalik cam işleme çalışması yapmışlardır [74].

Ultrasonik mikro işleme tekniği yeni bir teknik olmasından ötürü henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Temassız bir işleme tekniği olması en önemli avantajıdır. Diğer yandan ekipmanlarının pahalı olması ise olumsuz özelliğidir.

Yukarıda bahsi geçen yöntemlerin kendine özgü olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır. Bilim insanları yöntemleri bir arada kullanarak olumsuz yönlerin giderilmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirmektedirler.

- Aixi Suna ve arkadaşları, lazer ve elektrokimyasal tekniği bir arada kullanarak lazerin ısı ile kenarlarda oluşturduğu hataları elektrokimyasal olarak düzeltmeyi başarmışlardır. Bu sayede düzgün şekilde mikro delik oluşturmayı başarmışlardır [75].
- J.F. Hea ve arkadaşları, ultrasonik mikro işleme tekniğini elektroforez yardımıyla mikro delik çalışmasında kullanmışlardır [76].
- Zhongyan Mu ve arkadaşları, lazer ve plazmayı beraber kullanarak paslanmaz çelik işleme çalışması yapmışlardır. Çalışma mikro boyutta olmamakla beraber plazma ve lazer tekniklerinin beraber kullanılabilmesi açısından önem kazanmaktadır [77].
- Seon-Yong Hwang ve arkadaşları, fotolitografi ve elektrokaplama yöntemini beraber kullanarak nano yapılar oluşturmayı başarmışlardır [78].
- Tania Limongi ve arkadaşları, fotolitografi ve mikro kalıplama tekniğini bir arada kullanarak doku mühendisliği uygulamalarında kullanılan yapılar için gerekli kalıpların üretimi çalışması gerçekleştirmişlerdir [79].

Yukarıda bahsi geçen yöntemler henüz çok yeni olmalarından ötürü endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlanmamakla beraber, ilerisi için umut vericidir.

Mikro işleme tekniği birçok alanda ve çok pahalı cihazlarla gerçekleştirilmektedir. Çalışmada ark boşalım yöntemi kullanarak, yukarıdaki yöntemlere alternatif ve bazı özellikleri açısından (eğik açılarla yapı oluşturma) çok daha iyi bir mikro işleme yöntemi geliştirilmiştir. Sistem; diğer sistemlere göre çok daha ucuz ve hızlı olmakla birlikte birçok yöntemle işlenmesi mümkün olmayan cam, payreks ve kuvars gibi malzemeler üzerinde de mikro işleme çalışması gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışma endüstriyel ölçekte kaynak makinası mantığına benzese de kullanılan teknik bundan çok daha farklıdır. Kaynak makinalarının temel mantığı; oluşturulan ark sayesinde ortamın sıcaklığının yükselerek iki metalin eriyik hale geçip birbirlerine kaynamasıdır. Kullanılan teknikte ise iletken malzemeler değil yalıtkan malzemeler ile çalışılabilmektedir. Ayrıca kaynak makinasında işlenecek malzeme cihazın bir probu gibi kullanılmaktadır. Çalışmada ise böyle bir bağlantı bulunmamaktadır. Yöntemin en farklı özelliği ise geliştirilen akım algılama algoritması ile akım düşümü algılanıp malzeme işleme gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmanın ilk aşamasında yüksek gerilim aleti kullanılarak laboratuvar ortamında ark oluşturulmaya başlanmıştır. Daha sonra prob kombinasyonları üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu esnada bakır paralel plaka, tel ve tungsten sivri prob kullanılmıştır. Paralel ve tel prob çalışmalarında oluşan arkın geniş alana yayılarak güç yoğunluğunu azalttığı belirlenmiştir. Güç yoğunluğu arttığında oluşacak sıcaklıkta bakır problemlerin kullanılamayacağı görülmüştür. Bu sebeple prob malzemesi olarak ısıya dayanıklı tungsten malzeme kullanılmasına karar verilmiştir.

Cam üzerinde mikro delik oluşturmak için denemeler yapılmış ve delikler oluşturulmuştur. Bu çalışmanın başarılı olmasıyla beraber payreks ve kuvars malzemeler üzerinde de aynı çalışma tekrar edilmiş, aynı sonuçlar bu malzemeler içinde doğrulanmıştır. Oluşturulan yapılar mikroskop altında incelendiğinde sistem parametrelerinin kontrol edilememesinden ötürü delik çevresinde çatlaklar, istenmeyen yapılar gözlenmiştir. Delik açma çalışmasından sonra cam ve payreks malzeme üzerinde mikro kanal yapıları oluşturulmaya çalışılmış; cam sıcaklık sebebiyle çatlamış, payreks malzemeler üzerinde ise mikro yapı oluşturma işlemi başarılı olmuştur. Fakat sistem parametrelerinin kontrolünün yapılamaması sebebiyle istenilen seviyede mikro yapılar oluşturulamamıştır.

Cam üzerinde delik delme çalışmasının başarılı olmasından sonra sistem parametrelerinin kontrolünü sağlamak için ark oluşturan analog devrenin bilgisayar kontrollü dijital devreye geçirilmesi sağlanmıştır. Bu aşamada anahtarlama yöntemi ile düşük voltajı yüksek voltaja çeviren sistemdeki kontrolcü devre dışı bırakılarak; genlik modülasyon işlemleri mikro denetleyici adı verilen programlanabilir entegre devreler ile gerçekleştirilmiştir. Bu sayede sistemin gücü ve frekans değeri bilgisayar tarafından kontrol edilebilir hale gelmiştir.

Cam üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde, delik delinme anının doğru şekilde algılanması için akım algılama algoritması tasarlanmış olup, cam, payreks ve kuvars malzemeler üzerinde kusursuza yakın şekilde delik delme işlemi başarılmıştır.

Delik delmede elde edilen başarının sonucunda sistem parametrelerinin delik çapı ve delme süresi üzerindeki etkilerini incelemek adına bir dizi test gerçekleştirilmiştir. Bunlar;

- Delik delme süresi
- Problar arası mesafe,
- Doluluk oranı etkisi,
- Frekans etkisi,
- Problar arası açıdır.

Bu çalışmaların neticesinde düzgün şekilli mikro yapılar oluşturmak için gerekli parametreler belirlendi.

Çalışmanın son kısmında ise mikro kanal çalışmaları gerçekleştirilmiş olup, payreks malzeme üzerinde mikro kanal açılması başarılmıştır.

Yapılan çalışma neticesinde oluşturulan sistem için patent başvurusu gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Voltaj Çeviriciler

Oda koşullarında plazma üretimi için yüksek voltaj gerekmektedir. Bu bölümde voltaj çevirici devreler hakkında araştırmalar yapılmıştır. Yarı iletken teknolojisinin gelişmesiyle birlikte voltaj regülasyon tekniklerinin de hızla geliştiği görülmektedir. Genel olarak voltaj regülasyon teknikleri iki ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlardan ilki voltaj düşürücü ikincisi ise voltaj artırıcı devrelerdir. Bunlarda kendi içerisinde iki ana başlık da değerlendirilirler; lineer ve anahtarlamalı tip.

2.1.1. Voltaj düşürücü sistemler

Giriş voltajının çıkış voltajından yüksek olduğu regülasyon sistemlerine voltaj düşürücü sistemler denmektedir. Bu sistemler temel olarak iki ana başlık altında incelenmektedir. Bunlar;

- Lineer voltaj düşürücü sistemler,
- Anahtarlamalı voltaj düşürücü sistemleridir.

2.1.1.1. Lineer voltaj düşürücü sistemler

Lineer tip voltaj regülatörleri yaklaşık çeyrek asırdır kullanılmakla beraber son dönem de anahtarlamalı tip sistemlerin gelişmesiyle popülerliğini kaybetmeye başlamıştır. Bunun en büyük sebebi verimlilik ve kapladığı hacimdir. Sistem temel olarak, giriş voltajı ve çıkış voltajı arasındaki farkı kendi üzerinde harcayarak regülasyon gerçekleştirmektedir. Bu sayede aradaki fark sistem üzerinde ısıya dönüşmekte olup, enerji kaybı oluşmasına sebep olmaktadır. Aradaki farkın yüksekliğine göre ısıya dönüşen enerji artmaktadır. Bununla birlikte getirdiği ekstra yükler vardır. Kullanılan yarı iletken malzemelerin sıcaklığa dayanımı sınırlı olup (175 °C-200 °C), sistemin soğutulması gerekmektedir. Bunun için ekstra soğutucu blok ve bununla yetersiz olduğu yerlerde fan kullanmak gereklidir. Bu yüzden giriş-çıkış voltajları arasında yüksek fark bulunan devrelerin kapladığı alan büyümektedir. Kullanılan regülatörlerin bilgi notlarında (datasheet) sıcaklık dayanım değerleri verilmektedir. Bu değerler genelde °C /W şeklindedir. Bu değer regülatör üzerinde 1 watt'lık enerji harcanması sonucu oluşacak sıcaklığın değeridir. Daha da açıklayıcı örnek vermek gerekirse; ortam sıcaklığının 25 °C olduğu bir yerde; TO-220 kılıf bir regülatör için giriş voltajı 24 volt, çıkış voltajı 5 volt ve çekilen akımda 1 amper olduğu varsayılırsa;

$$G = A * V \quad (2.1)$$

G, regülatör üzerinde harcanan enerji,

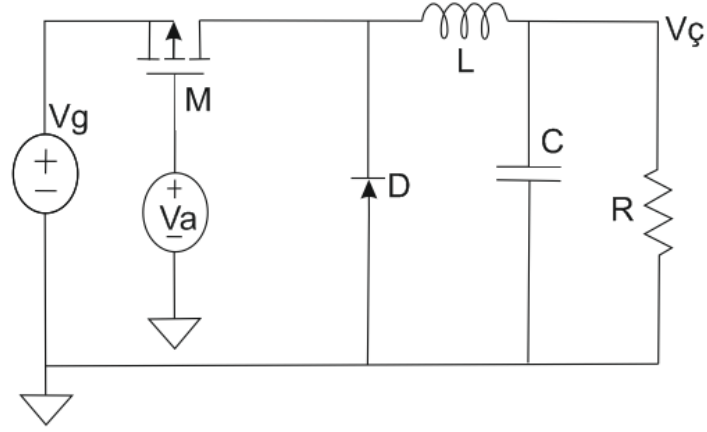
A, regülatör üzerinden geçen akım,

V, Regülatör üzerinde düşen voltajdır.

Yukarıdaki formülde gerekli değerler yerlerine yerleştirildiğinde, 19 wattlık bir ısı, 450 °C sıcaklık açığa çıkmakta; toplam olarak ortam sıcaklığı da göz önüne alındığında regülatörün sıcaklığı 475 °C' ye varmaktadır. Bu sıcaklık değeri; regülatörün dayanabileceği sıcaklık değerinin çok üstündedir. Buna uygun soğutucu blok kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple lineer voltaj düşürücüler genel olarak giriş ve çıkış voltajlarının birbirine çok yakın olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu kadar negatif yönü bulunan lineer regülatörlerin en büyük avantajı ise, kullanımının kolay ve çok az çevre elemana gereksinim duymasındır. Bir başka avantajı ise, özellikle mikro denetleyici uygulamalarında sıklıkla kullanılan sensörlerden gelen analog verilerin dijitale çevrimindeki gürültü faktörünü iyileştirmesidir. Analog voltajdaki gürültüye dalgalanma(ripple) denmektedir. Dalgalanma ne kadar çoksa sinyal/gürültü oranı o kadar düşük olmaktadır. Lineer sistemlerde anahtarlama elemanı bulunmadığından dalgalanma oranı anahtarlı sistemlere göre çok daha iyidir.

2.1.1.2. Anahtarlama voltaj düşürücü sistemler

Yıllarca voltaj düşürücü olarak lineer sistemler kullanılmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte lineer sistemlerin kullanım alanı gittikçe daralmıştır. Anahtarlama sistemler yukarıda bahsedilen ısınma ve verimlilik probleminin çözümü olarak ortaya çıkmış ve günümüzde güç kaynaklarının neredeyse hepsinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Anahtarlamalı Voltaj Düşürücü Devre [80'den değiştirilmiştir]

Şekil 2.1'de anahtarlamalı voltaj düşürücü devre şeması görülmektedir. Burada istenilen voltaj anahtarlama frekansının doluluk oranına göre belirlenmektedir. Çıkış voltajı;

$$V_{\text{ç}} = V_g * D \quad (2.2)$$

Formülüyle bulunmaktadır. Burada;

$V_{\text{ç}}$, çıkış voltajı,

V_g , giriş voltajı,

D , uygulanan sinyalin doluluk oranıdır.

Burada giriş voltajı 24 volt, doluluk oranı ise %50 ise çıkış voltajı 12 voltur. Fakat çıkış direnci değiştiği zaman çekilen akımla beraber çıkış voltajı da değişmektedir. Bu problemin çözümü için çıkıştan geri besleme alınarak çıkış voltajı ayarlanmaktadır.

Bu kadar avantajı bulunan anahtarlamalı tip sistemlerinin en büyük dezavantajlarından biri ise, fazla çevre elemanı gereksinimidir. Lineer tip sistemlerden farklı olarak diyot, geri besleme dirençleri ve bobine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun yanı sıra anahtarlamalı güç kaynakları gürültü konusunda lineer tip regülatörlere göre daha başarısızlardır. Anahtarlama elemanının kendisi bir gürültü kaynağıdır.

Güncel uygulamalarda ise bu iki sistem arka arkaya kullanılmaktadır. Örneğin; endüstriyel voltaj seviyesi olarak kullanılan 24 volt güç girişini yeni nesil 3.3 volt mikro denetleyicilerin beslenmesinde kullanmak için; anahtarlamalı regülatör ile 24 volt güç girişi önce 5 volta düşürülmekte. Daha sonra 5 volt güç girişi lineer regülatör ile 3.3 volta ayarlanmaktadır. Bu sayede hem 24 volttan 5 volta düşerken lineer regülatörün

kayıplarından kurtulup, 5 volttan 3.3 volta düşerken de anahtarlama regülatörlerin gürültü problemi bastırılmaktadır.

2.1.2. Voltaj yükseltici sistemler

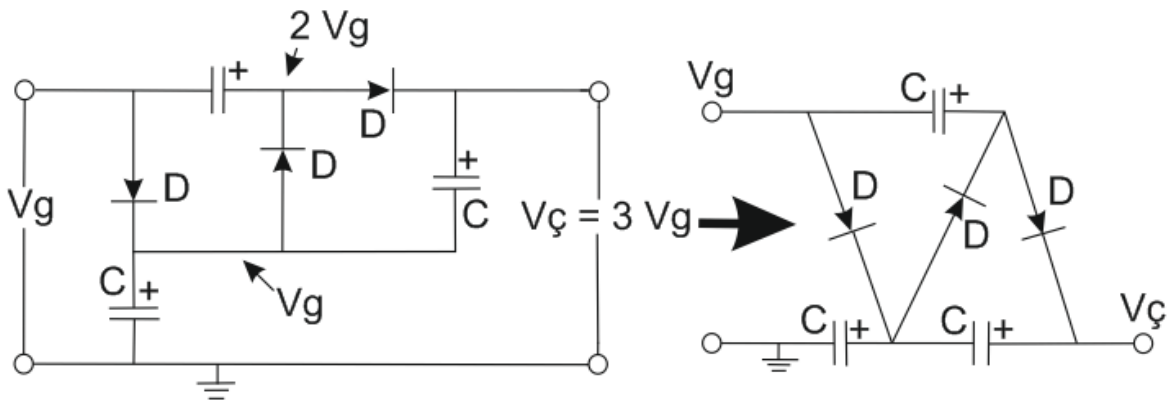
Voltaj düşürücü regülatörlerden bahsettikten sonra havayı plazma haline getirmek için gereken yüksek voltajın elde edilebileceği devreler üzerinde araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Voltaj yükseltici devreler;

- Lineer yükseltici devre,
- Anahtarlama yükseltici devre

olarak iki ana başlık altında toplanmaktadır. Anahtarlama yükseltici devrelerin kendi içindeki ayrımından aşağıdaki bölümlerde bahsedilecektir.

2.1.2.1. Lineer yükseltici sistemler

Lineer olarak çok fazla seçenek bulunmamakla beraber voltaj çoklayıcı devre en sık kullanılanıdır.



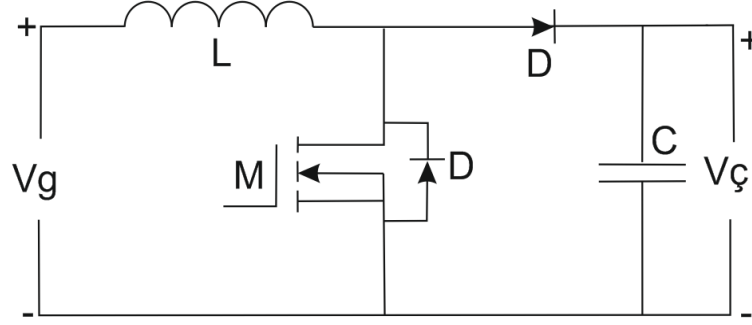
Şekil 2.2. Voltaj Çoklayıcı Devre [81'den değiştirilmiştir]

Şekil 2.2'de görüldü gibi devrenin ucuna eklenen kapasitör ve diyot sayısı arttıkça voltaj katlama oranı da artmaktadır. Fakat basit bir hesaplama yapmak gerekirse; 12 volta giriş ile 1 kV çıkış elde etmek için neredeyse 100 tane kapasitör ve diyot kullanmak gerekmektedir. Bu da devasa bir devre alanı oluşturmaktadır. Çalışmada 20 kV seviyelerinde voltaj ihtiyacı göz önüne alındığında bu yöntemin uygun olmadığına karar verilmiştir. Bunun dışında lineer yükseltici devrelerin bir diğer sıkıntısı ise giriş ile çıkışın izole olmamasıdır. Yani çıkış devresinde meydana gelebilecek herhangi bir problem giriş kısmını da etkileyecek ve tüm sistem zarar görecektir.

2.1.2.2. Anahtarlamaalı voltaj yükseltici sistemler

Anahtarlamaalı tip yükseltici devrelerde kendi içerisinde izolasyonlu ve izolasyonuz olarak iki ana gruba ayrılmaktadır.

İzolasyonuz devreler genel olarak düşük voltaj ve kazanç oranı gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır. 5v giriş voltajını 24 volt endüstriyel çıkış voltajına yükseltmek gibi uygulamalar bu devrelerin kullanımına güzel bir örnektir.



Şekil 2.3. İzolasyonuz Anahtarlamaalı Yükseltici Devre [82'den değiştirilmiştir]

Şekil 2.3'te izolasyonuz anahtarlamaalı çeviricilerin ana yapısı görülmektedir. Çıkış voltajı;

$$V_{\text{ç}} = \frac{V_g}{(1-D)} \quad (2.3)$$

Formülüyle bulunur. Burada;

$V_{\text{ç}}$, çıkış voltajı,

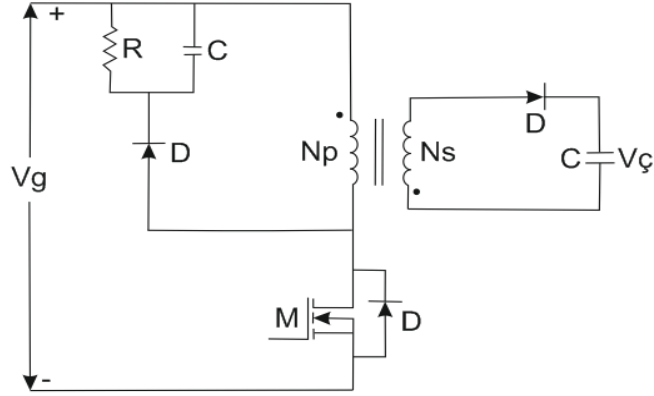
V_g , giriş voltajı,

D , uygulanan sinyalin doluluk oranıdır.

İzolasyonlu anahtarlamaalı yükseltici devreler, yüksek voltajlar ve kazanç oranı gerektiren uygulamalarda kullanılırlar. İzolasyonlu yükseltici devreler için alternatifler çok olsa da, bunların içinden iki teknik çok kullanılmaktadır. Bunlar;

- Geridönüş (flyback) yükseltici,

- Tam Köprü (full bridge) yükselticidir.



Şekil 2.4. Geridönüş (flyback) Yükseltici [82'den değiştirilmiştir]

Şekil 2.4'te geridönüş (flyback) yükselticinin ana yapısı görülmektedir. Çıkış voltajı;

$$V_{\text{ç}} = V_g * \left(\frac{N_s}{N_p}\right) * \left(\frac{D}{(1-D)}\right) \quad (2.4)$$

Formülüyle bulunur. Burada;

$V_{\text{ç}}$, çıkış voltajı,

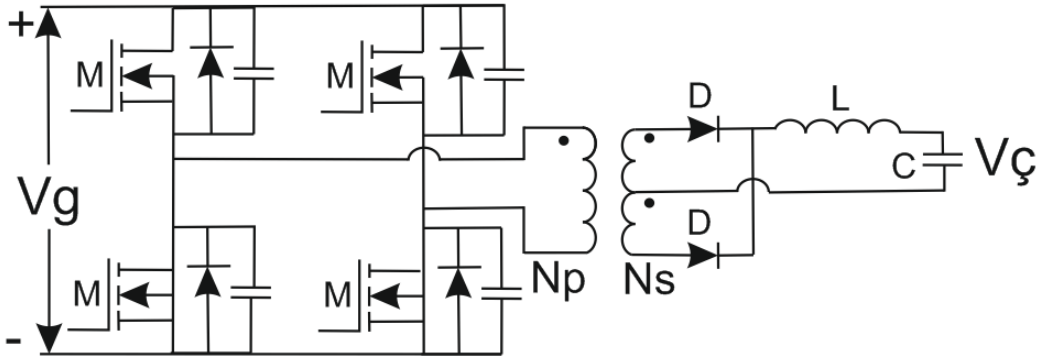
V_g , giriş voltajı,

N_s , çıkış sarım sayısı,

N_p , giriş sarım sayısı,

D , uygulanan sinyalin doluluk oranıdır.

Bu denklemdeki değişkenlere girilecek uygun değerler yardımıyla istenilen çıkış voltajı elde edilmektedir. Giriş ve çıkış voltajları dikkate alınarak komponent seçimi gerçekleştirilmelidir. Kullanılacak direnç, kapasitör ve diyot çalışma voltajlarının, giriş ve çıkış voltajındaki dalgalanmalar göz önüne alınarak güvenli aralıkta seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca anahtarlama frekansının seçimi sistemde kullanılacak elemanların değerlerini etkilemekle beraber, anahtarlama kayıpları göz önüne alınmalıdır. Geri dönüş regülatörü hem voltaj yükseltme hem de voltaj düşürme uygulamalarında kullanılabilmesinden ötürü endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Tam Köprü (full bridge) Yükseltici [82'den değiştirilmiştir]

Şekil 2.5'te Tam Köprü (full bridge) yükselticinin ana yapısı görülmektedir. Çıkış voltajı;

$$V_{\text{ç}} = V_g * \left(\frac{N_s}{N_p}\right) * 2 * D \quad (2.5)$$

Formülüyle bulunur. Burada;

$V_{\text{ç}}$, çıkış voltajı,

V_g , giriş voltajı,

N_s , çıkış sarım sayısı,

N_p , giriş sarım sayısı,

D , uygulanan sinyalin doluluk oranıdır.

Çalışmada; geridönüş (flyback) devresinden daha fazla malzeme gerektirmesine rağmen sürüm tekniğinin kolay olmasından ötürü tam köprü (full bridge) yükseltici devre kullanılmaya karar verilmiştir.

2.2. Dijital Kontrol

Tam Köprü (full bridge) yükseltici devre kurulduktan sonra gerçekleştirilen çalışmalarda edinilen sonuçlar ışığında sistem parametrelerinin(frekans, doluluk oranı, akım v.b.) ayarlanabilmesi için sistem kurma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sistem bileşenleri;

- Mikro denetleyici,
- Gömülü yazılım,
- Akım okuma,
- USB çevirici,

- Adım motoru kontrolüdür.

2.2.1. Mikro denetleyici

Mikro denetleyiciler günümüzde neredeyse tüm elektronik cihazların içinde yer almaktadır. Bunlardan en bilineni akıllı telefonlardır. Buna ilave olarak buzdolapları, çamaşır makineleri gibi hayatımızdaki teknolojilerin hepsinin kalbinde mikro denetleyiciler yer almaktadır. Endüstride birçok alanda özelleşmiş mikro denetleyici firmaları ve uygulamaya özel mikro denetleyiciler bulunmaktadır. Microchip, Atmel, St , Nxp ,Texas ve Nuvoton en büyük mikro denetleyici firmalarıdır. Tam köprü (full bridge) devresinin frekans ve doluluk oranını ayarlayabilecek ve aynı anda akım sensöründen gelen analog verileri yüksek çözünürlükte dijital verilere çevirecek bir sisteme ihtiyaç duyulduğundan; yapılan araştırmalar neticesinde piyasada sıkça kullanılan ve güvenilirliğini kanıtlamış Microchip firmasının PIC18F2431 model mikro denetleyicisi sistemin beyni olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.6. PIC18F2431[83]

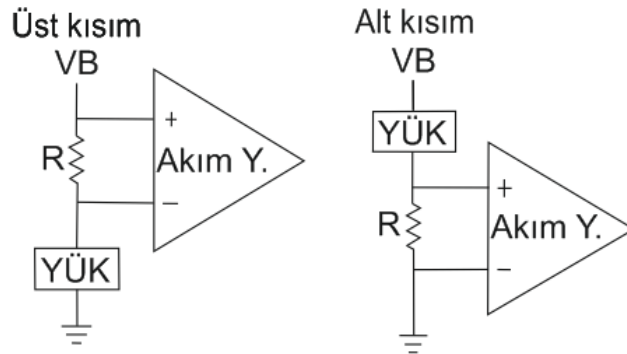
2.2.2. Gömülü yazılım

Denetleyici seçimi tamamlandıktan sonra, denetleyici içerisine kod yazmak için derleyici araştırması yapılmıştır. Microchip denetleyiciler için birkaç derleyici opsiyonu olmakla beraber en sık kullanılan derleyiciler; CCS C ve mikro-C dir. Bolca örnek doküman ve uygulama notu bulunması sebebiyle çalışmalar CCS C derleyicisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. Akım sensörü

Uygulanan gücün okunabilmesi ve kontrollü bir şekilde mikro yapılar oluşturulabilmesi için sistemin en önemli noktası akım algılama yöntemi ve bunun mikro

denetleyici kısmında yorumlanmalıdır. Akım algılamak için birçok teknik olsa da, şönt direnç, akım trafosu ve manyetik alan algılama tekniği en sık kullanılanlardır.



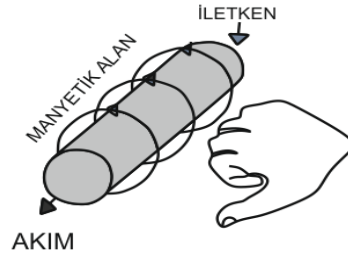
Şekil 2.7. Şönt direnç üzerinden akım ölçüm yöntemleri [84'ten değiştirilmiştir]

Şönt direnç yönteminde devreye seri bağlanan bir direncin üzerinden geçen akıma göre ohm kanunu gereği bir voltaj düşümü olur. Bu voltaj düşümü ölçülerek akım hesaplanabilir. Bu yöntem üst kısım (high side) ve alt kısım (low side) ölçüm olarak da kendi içinde ikiye ayrılır (Şekil 2.7). Üst kısım (high side) ölçüm düzeneğinde direnç pozitif voltaj girişine bağlanır. Bu yöntem sayesinde sürülen güç devresi mosfet v.b. bir anahtarlama elemanı olması durumunda kaynak(source) voltajını yükseltmediği için güvenli bir anahtarlama imkânı vermektedir. Fakat pozitif voltaj girişi yükseldikçe o voltaj seviyelerinde çalışacak komponentlerin maliyeti artmaktadır. Alt kısım (low side) ölçüm düzeneği en sık kullanılan ölçüm düzeneğidir. Bunun sebebi ek eleman gerekmeden direk ölçüme imkân vermesidir. Fakat bu yöntem bir önceki yöntemde bahsettiğimiz kaynak(source) voltajı seviyesini artırdığı için anahtarlama elemanlarının kontrolünü zorlaştırmaktadır.

Şönt direnç ölçümünün en olumsuz yanı; ölçüm sistemi ile ölçümü yapılan devre arasında izolasyon olmamasıdır. Yani ölçüm yapılan devrede oluşacak istenmeyen elektriksel olaylar ölçüm sistemini de etkilemektedir. Bunun yanında hassas ölçüm alınabilmesi için yüksek hassasiyette komponentler gerekmektedir.

Akım ölçümü için bir diğer yöntem ise akım trafosu yöntemidir. Akım trafosunda akım ölçülecek tel bir trafo içinden geçirilmektedir. Tel üzerinde geçen akımla doğru orantılı olarak trafo üzerindeki sarımdan voltaj okunmaktadır. Bu şekilde sistemden geçen akım izole bir şekilde ölçülebilmektedir. Sistemin temel sorunu trafonun büyük olması ve trafo sarım zorluklarıdır. Ayrıca akım trafosu piyasada sıklıkla çok yüksek akım çekilen

uygulamalarda kullanılmaktadır. Yapısı ve sarım zorluğundan ötürü fiyatları diğer uygulamalara göre yüksektir.



Şekil 2.8. Akım ve Manyetik Alan Yönü [85'ten değiştirilmiştir]

Bahsedilecek en son yöntem, şekil 2.8'de görülen manyetik akım ölçüm yöntemidir. Bu yöntemde; üzerinden akım geçen bir iletkenin geçen akıma bağlı olarak çevresinde oluşturduğu manyetik alan ölçülerek akım değeri hesaplanmaktadır. Ampere'in devre yasası;

$$I = \int H * dL \quad (2.6)$$

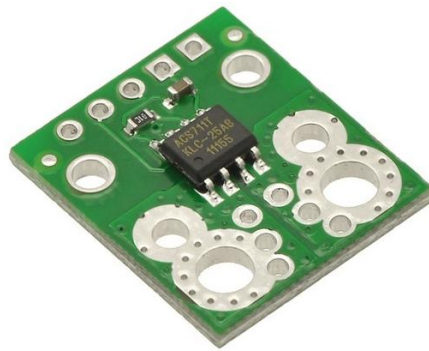
Şeklinde dir. Burada;

H, manyetik akım yoğunluğunu,

I, akımı,

dL , akımın geçtiği sonsuz küçüklükteki yolu,

göstermektedir. Bu yasaya göre kapalı bir yoldaki manyetik alan yoğunluğunun integrali o yol üzerindeki akıma eşittir. Günümüzde sıkça kullanılan manyetik alan algılamalı (hall effect) sensörler hem küçük boyutları hemde izolasyonlu ölçüm yapma imkanı sağladıklarından, endüstride sıklıkla kullanılmaktadır.

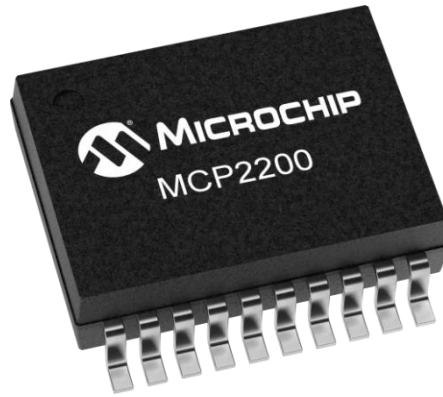


Şekil 2.9. ACS 711 kartı [86]

Yukarıda bahsedilen sebeplerden ötürü sistemde Allegro firmasının ACS 711 akım algılama kartı (Şekil 2.9) kullanılmıştır.

2.2.4. Usb-Uart çevirici

Usb, bilgisayarlarla iletişim için en sık kullanılan bağlantı yöntemidir. Kullanılan mikro denetleyicide USB bağlantısı bulunmamakla beraber UART modülü bulunmaktadır. Uart, bir yazılım katmanıdır. Endüstride sıklıkla kullanılan RS232, RS485 ve RS422 protokolleri Uart'ın donanım katmanını oluştururlar. Endüstride sıklıkla kullanılan MODBUS protokolü de Uart'ı kullanan bir yazılım katmanıdır. Uart bu kadar yaygın kullanıldığı için Uart-Usb çeviricilerde geliştirilmiştir. Sistemde bilgisayarla iletişimi sağlamak için Microchip firmasının ürünü olan MCP2200 Uart-Usb çevirici modülü (Şekil 2.10) kullanılmıştır.



Şekil 2.10. MCP2200 [87]

2.2.5. Adım motoru kontrolü

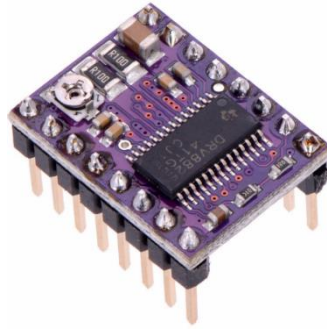
İşleme çalışmalarının en önemli noktalarından biri de hareket sistemidir. Geniş alanlarda işleme yapabilmek için hassas ve düzgün çalışan işleme sistemine sahip olmak gerekmektedir. Hareket sistemlerinin temelini de motorlar oluşturmaktadır. Piyasada sıklıkla iki çeşit motor kullanılmaktadır. Bunlar;

- Direk akım motorları,
- Adım motorlarıdır.

Direk akım motorlarının kullanımı kolaydır. Ayrıca yüksek hızlarda hareket edebilmektedir. Fakat küçük adımlarla hareket etmesi gerektiğinde enkoder adı verilen ve motor şaftına bağlanarak motorun pozisyon bilgisini öğrenmeye yarayan ek ekipmanlar

gerekmektedir. Ayrıca kontrol elektroniği, geri besleme sisteminin de dahil olması ile kompleksleşmekte ve pahalılaşmaktadır.

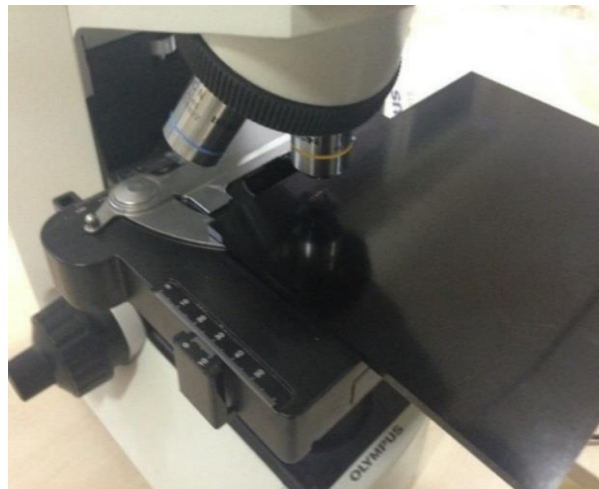
Diğer motor çeşidi ise adım motorudur. Adım motorları isminden de anlaşılacağı gibi hareket adımlarını bölerek tek turda 200 adım (piyasada yaygın kullanılan motorlar) atmaktadırlar. Yani 1 tam turu 1.8 derecelik açılar ile alabilmektedirler. Yeni gelişen teknolojilerle birlikte artık tam adımı da kendi içinde adımlara bölerek çok daha yüksek çözünürlükte sürücüler piyasada rahatlıkla bulunmaktadır. Bu sürücülerin genel adı mikro-adım sürücüleridir. Bu sürücüler sayesinde çok daha hassas ve sessiz hareket imkânı doğmuştur. Sistemde mikro-adım teknolojisine sahip Texas Instruments firmasının ürünü olan DRV8825 adlı mikro-adım sürücü kartı (Şekil 2.11) kullanılmıştır.



Şekil 2.11. DRV8825 Mikro Adım Sürücü [88]

2.3. Görüntüleme Ünitesi

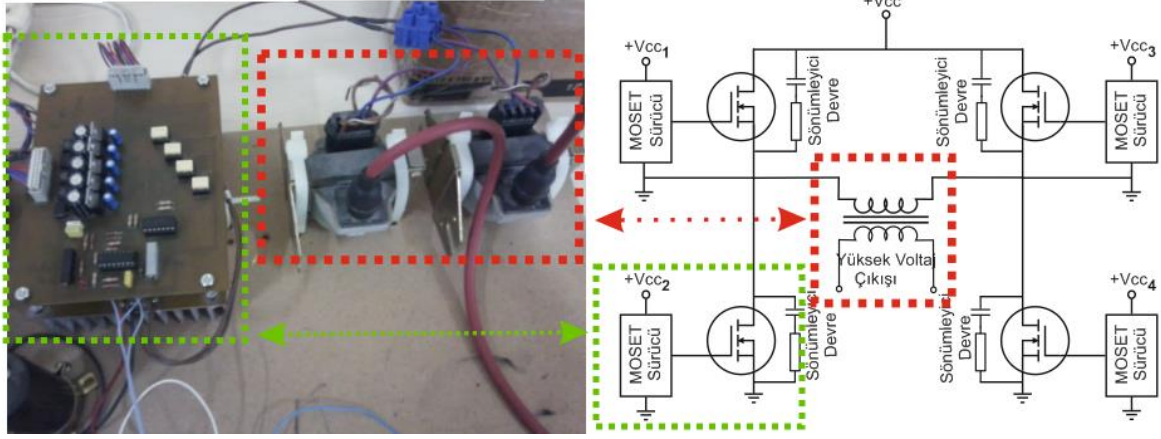
Çalışmalarda oluşturulan yapıların görüntülenmesi için Olympus CX31 marka Mikroskop (Şekil 2.12) kullanılmıştır.



Şekil 2.12. Olympus CX31 Marka Mikroskop

3. DENEYLER VE TARTIŞMA

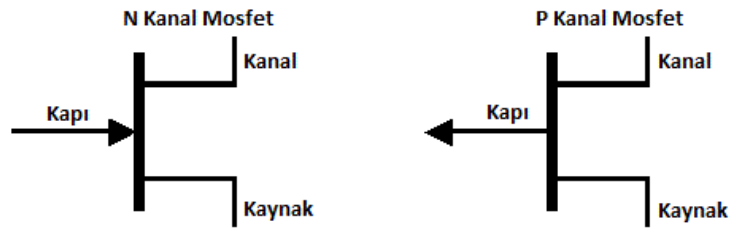
3.1. Yüksek Voltaj Ark Oluşturma Sistemi



Şekil 3.1. Yüksek Voltaj Ark Oluşturma Sistemi [89'dan değiştirilmiştir]

Tam köprü (full bridge) yükseltici devresi Şekil 3.1'de görülmektedir. Bu devrede 2 adet yükseltici trafo ve mosfet sürücülerini birbirinden izole etmek için çok sarımlı yardımcı trafo kullanılmıştır. Devre temel mantık olarak trafonun primer sarımdaki voltajı anahtarlama yöntemi ile sekonder sarım tarafına aktararak yükseltme işlemi yapmaktadır.

Devrede anahtarlama kontrol elemanı olarak LM3524 entegresi kullanılmıştır. Bu entegre trafonun primer kısmını mosfetler aracılığıyla anahtarlarken trafonun sekonder kısmındaki voltajın kilovolt seviyelerine çıkmasını sağlamaktadır. Trafoya uygulanan kontrol sinyalinin frekansı ve doluluk oranı sekonder kısmındaki voltaj ve aktarılan gücün ayarlanmasını sağlamaktadır.

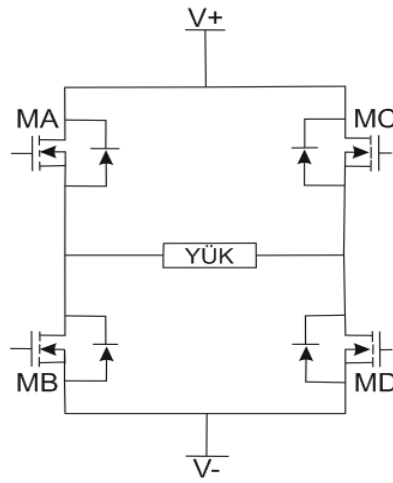


Şekil 3.2. P ve N Kanal Mosfet [90'dan değiştirilmiştir]

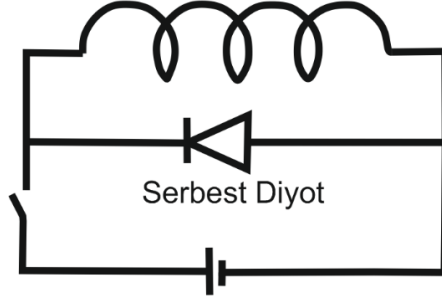
Yarı iletken; istenildiği zaman akım ve voltaj geçişine izin veren sistem anlamına gelmektedir. Mosfetler yarı iletkenlere güzel bir örnektir. Mosfetler kendi içerisinde iki çeşide ayrılmaktadır. İlki N kanal ikincisi ise P kanal mosfetlerdir (Şekil 3.2). Mosfetlerin üç ucu bulunmaktadır. Bunlar: kapı(gate), kanal(drain) ve kaynak(source) uçlarıdır. Akım;

kanal ve kaynak uçları arasından akmaktadır. Akımın kontrolü ise kapı ucundan yapılmaktadır. N kanal mosfetlerde akım ancak kapı ucundaki voltajın kaynak ucundaki voltajdan yüksek olması (genelde bu voltaj 12 volt seviyesindedir fakat yeni nesil lojik seviye mosfetlerde ise bu seviye 2.5 voltlara indirilmiştir.) durumunda akmaktadır. P kanalda ise durum tam tersidir. Yani akımın akabilmesi için kaynak ucundaki voltajın kapı ucundaki voltajdan yüksek olması gerekmektedir.

Şekil 3.3. Tam Köprü Devresi [91'den değiştirilmiştir]

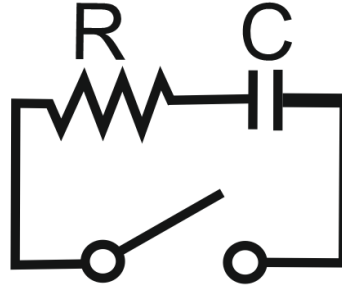


Şekil 3.3'te görülen tam köprü devresi, motor gibi endüktif yüklerin sürülmesinde, yön ve hız ayarlaması yapmakta kullanılmaktadır. MA ve MD anahtarlama elemanları birlikte açılarak yüke akım sağlanırken; MC ve MB anahtarlama elemanları birlikte açılarak yüke tam ters yönde akım sağlanmaktadır. Burada en kritik nokta ise aynı kolda yer alan elemanların (MA, MB ve MC, MD) aynı anda açılmaması gerektiğidir. Bu durumda akım en kısa yoldan akacak, kısa devre oluşacaktır. Bu gibi hataların önlenmesi için kontrol algoritmalarında koruma önlemleri alınmalıdır. Genel arızaların çoğu bu sebeple meydana gelmektedir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken bir başka konuda; çekilecek akıma uygun anahtarlama elemanı (genelde +%50 tolerans) seçilmesidir.



Şekil 3.4. Serbest(FreeWheel Diode) Diyot [92'den değiştirilmiştir]

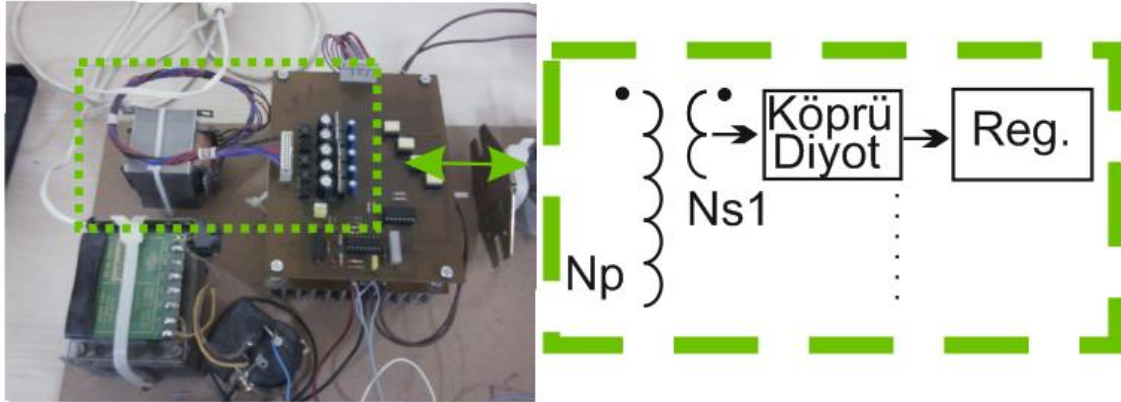
Anahtarlama elemanlarının korunması için alınan bir başka önlem ise Şekil 3.4'te görülen mosfetlere paralel olarak bağlanan diyotlardır. Diyotun görevi akımın tek yönde geçişine izin vermektir. Eğer yük motor, transformatör gibi endüktif bir yük ise, kendi üzerinde belli miktarda enerji depolamaktadır. Mosfetler kısa devre olduğundaki direnci neredeyse sıfıra yakındır ve teorik olarak üzerindeki voltaj düşümü sıfırdır. Fakat mosfet kapatıldığında direnci Mohm seviyelerine kadar yükselmektedir. Yük üzerinde depolanan enerji mosfet üzerinden akmaktadır. Mikro amper seviyelerinde bile bir akım aksa mosfet üzerinde anlık olarak ters yönde yüksek voltaj görülmektedir. Buda mosfetlerin bozulmasına sebep olmaktadır. Kullanılan bu diyotlar sayesinde akım diyot üzerinden güç kaynağına akmaktadır.



Şekil 3.5. Sönümleyici(Snubber) Devre [93'ten değiştirilmiştir]

Devrenin korunması için alınan bir diğer önlem ise şekil 3.5'te görülen sönümleyici (Snubber) devredir. Yüksek akım çeken endüktif yükler, anahtarlama sırasında yüksek voltaj sıçramalarına sebep olmaktadır. Buda anahtarlama elemanına zarar vermektedir. Bu oluşan yüksek voltaj-akım zıplamalarını bastırmak için filtre kullanılması gerekmektedir. Buradaki temel mantık oluşan zıplamaların direnç üzerinde sönümlenmesidir. Sadece direnç kullanmak yerine direnç ve kapasitörün seri bağlanması neticesinde devre sadece anahtarlama anlarında aktif olmaktadır. Çünkü bilindiği gibi kapasitörler sadece anahtarlama anlarında kısa devre olmaktadır.

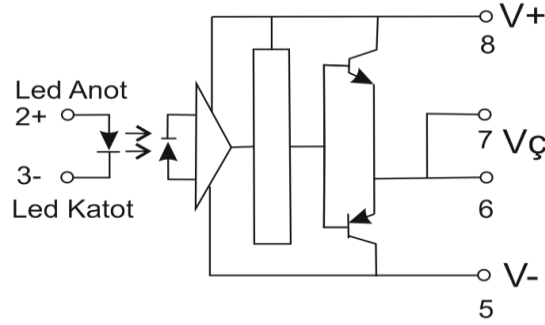
Genelde, tam köprü devresinin alt kısmındaki anahtarlama elemanları N kanal üst kısımdaki anahtarlama elemanı ise P kanal mosfetlerden seçilir. Piyasada sıkça kullanılan mosfetler incelendiğinde N kanal mosfetlerin hem daha yüksek voltajda ve en önemlisi ise daha yüksek akımlarda bulunduğu görülebilmektedir. N kanal seçimi beraberinde bir problemi de getirmektedir. N kanal mosfetlerin aktifleşmesi için kapı (gate) ucundaki potansiyelin kaynak (source) ucundaki potansiyelden yaklaşık 12 volt fazla olması gerekmektedir. Fakat tek bir güç kaynağı kullanarak bunun sağlıklı bir biçimde sağlanabilmesi mümkün değildir. Sistemin en kritik noktalarından birisinin bu olduğu bilindiği için mosfet sürücülerin her birisi için ayrı sarım yapıp bu sayede tüm mosfetlerin düzgün şekilde anahtarlanması sağlanmıştır. (Şekil 3.6)



Şekil 3.6. İzole Besleme Devresi

Mosfetlerin sürülmesi için yukarıda bahsettiğimiz gibi kapı (gate) ve kaynak (source) uçlarının arasında voltaj farkı oluşması gerekmektedir. Yavaş uygulamalarda herhangi bir sıkıntı çıkmadan bu voltaj farkı oluşturulabilmektedir (<100 Hz). Fakat yüksek frekans uygulamalarında (>10 kHz) bu durum ne yazık ki bu kadar basit değildir. Mosfetlerin kapı (gate) ve kaynak (source) uçları arasında giriş kapasitansı olarak adlandırılan ve değeri genelde pF mertebelerinde olan kapasiteler bulunmaktadır. Yüksek frekansta bu kapasiteler filtre görevi görüp uygulanan sinyali bozmaktadır. Bu problemin tek çözümü ise bu kapasitörleri hızlıca şarj ve deşarj etmektir. Bunun için yüksek akım kullanılmalıdır. Mikro denetleyicilerin çıkış akımları 25-30 mA'den yukarı olmadığından denetleyici ve mosfet arasında yüksek akım uygulayan devrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu devrelere mosfet sürücü denmektedir.

Devrenin son ve en önemli koruma yöntemi Şekil 3.7’de görüldüğü gibi optik izolatörlerdir (optocoupler). İzolatörler, ışık ile iletim sağlayan ve devrenin 2 tarafını birbirinden tamamen ayıran entegrelerdir. TLP250 entegresi hem optik izolatör hem de mosfet sürücü görevindedir. TLP250 entegresinin çıkışı itme-çekme(push-pull) olduğundan mosfetleri çok hızlı şekilde anahtarlayabilmektedir.

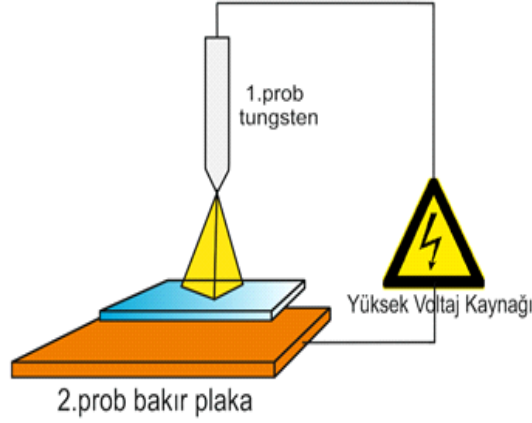


Şekil 3.7. TLP250 [94’ten değiştirilmiştir]

3.2. Analog Kontrol Çalışmaları

Yüksek voltaj ark oluşturma sistemi ile oda şartlarında ark oluşturulduktan sonra analog kontrol ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sistem dijital olarak yüksek voltaj üretmektedir. Fakat sistem parametreleri (frekans ve doluluk oranı) analog(trimpot) olarak ayarlandığı için yapılan çalışmalar analog kontrol olarak adlandırılmaktadır. Sistemin doluluk oranı ve frekans ölçümü osiloskop yardımıyla primer sargıdan yapılmaktadır. Sistem ölçümleri (doluluk oranı ve frekans) yüksek voltaj kısmından yapılabilmektedir. Fakat bu yöntem tercih edildiğinde yüksek voltaj probu kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple çalışma boyunca ölçümler düşük voltaj tarafından takip edilecektir. Sistem dijital kontrol moduna geçmeden önce; sistem bileşenlerinin etkilerini görmek için farklı prob yapıları kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Bakır plakalı prob çalışması



Şekil 3.8. Bakır Plakalı Prob Şeması

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi sistemin problarının ilki tungsten prob olup; diğer prob geniş bakır plaka seçilmiştir.

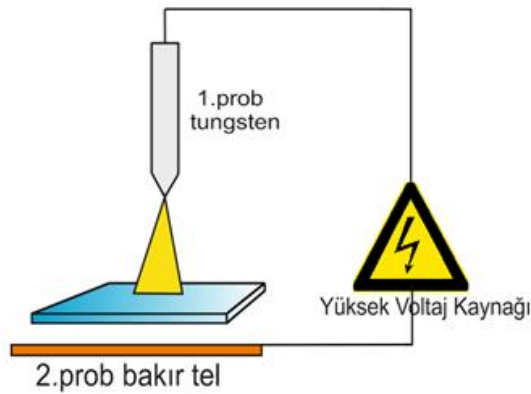
Sistem deney süresince gözlemlendiğinde;

- Ark yayılarak güç yoğunluğunun azaldığı,
- Güç yoğunluğunun azalmasından ötürü delme işleminin uzun sürdüğü,

belirlenmiştir.

Sistemin geri dönüşleri göz önüne alındığında bakır plaka yapısının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

3.2.2. Bakır telli prob çalışması



Şekil 3.9. Bakır Telli Prob Şeması

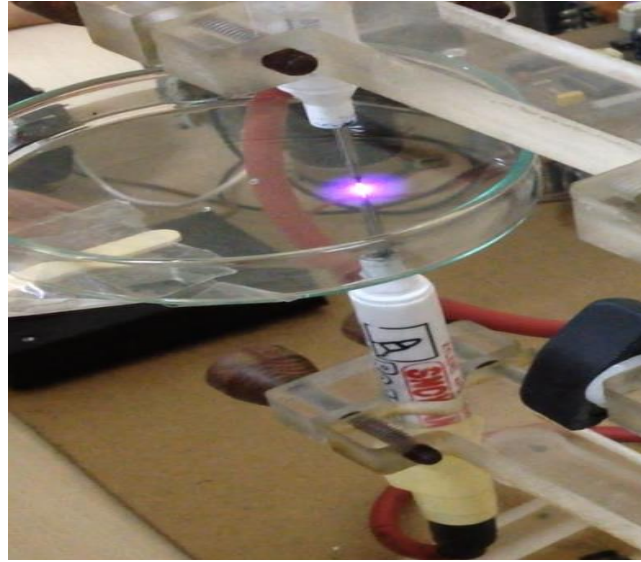
Şekil 3.9’da görüldüğü gibi ark yoğunluğunun azalmasını önlemek için 2 boyutlu bakır plaka yerine tek boyutlu (tel kalınlığı ihmal edilerek) bakır tel kullanılmıştır. Sistem deney süresinde gözlemlendiğinde;

- Ark yayılarak güç yoğunluğunun azaldığı,
 - Güç yoğunluğunun azalmasından ötürü delme işleminin uzun sürdüğü,
 - Bakırın erime sıcaklığının düşük olmasından telin zarar gördüğü,
- belirlenmiştir.

Sistem geri dönüşleri göz önüne alındığında;

- Bakır prob yerine erime sıcaklığı yüksek malzeme seçimi yapılması,
- Güç yoğunluğu azalmasını önlemek için noktasal prob seçimine karar verilmiştir.

3.2.3. Tungsten prob çalışması

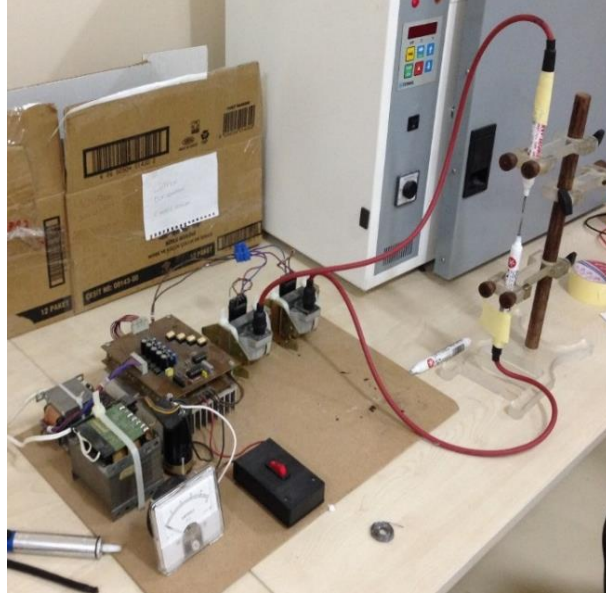


Şekil 3.10. Tungsten Prob Sistemi

Şekil 3.10’da görüldüğü gibi yukarıda bahsi geçen sonuçlar göz önüne alındığında; iki probunda erime sıcaklığı ve ark yoğunluğu yüksek, sivri uçlu tungsten prob seçilmesine karar verilmiştir.

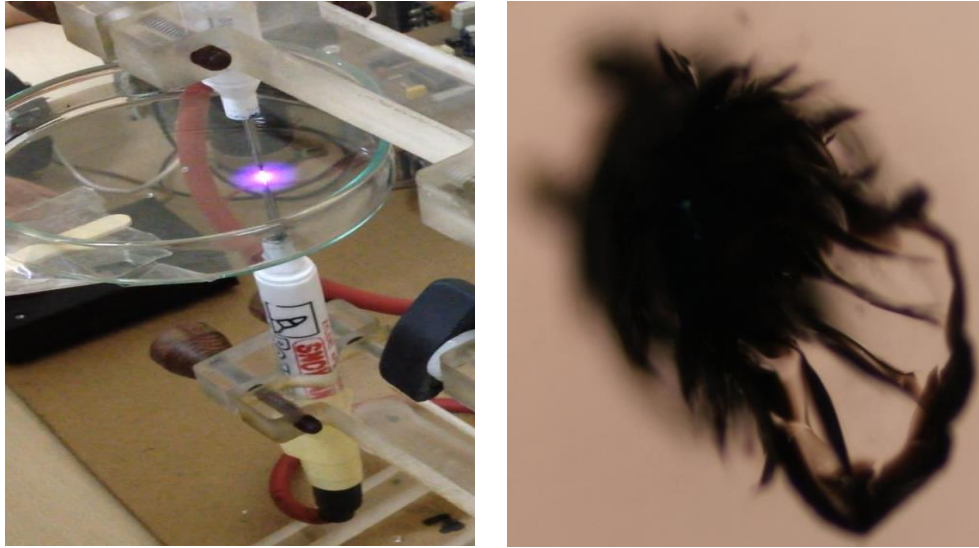
Sistem deney süresince incelendiğinde ;

- Güç yoğunluğunun yüksek olduğu,
- Cam delme süresinin kısa olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.11. Analog Kontrol Sistemi

Yüksek voltaj ark sisteminin analog kontrol modundaki görüntüsü Şekil 3.11’de görülmektedir.



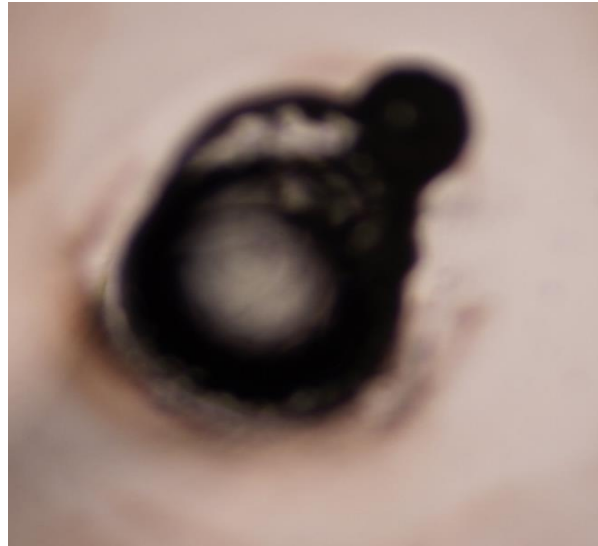
Şekil 3.12. Analog Kontrol Sistemi Cam Delme Çalışması

Şekil 3.12’de görüldüğü gibi mikro delik oluşturmak için ark sistemi çalıştırılıp numune el yardımıyla hareket ettirilmiştir. Uygulamada; delik delindiği anda analog akım sensörü gözle takip edilip manuel anahtar yardımıyla sistem durdurulmaktadır. Delik açılan numune optik mikroskop altında incelenmiştir. Uygulama süresinin elle kontrol edilmesinden ötürü delik çevresinde ısıdan kaynaklı çatlaklar oluştuğu belirlenmiştir.



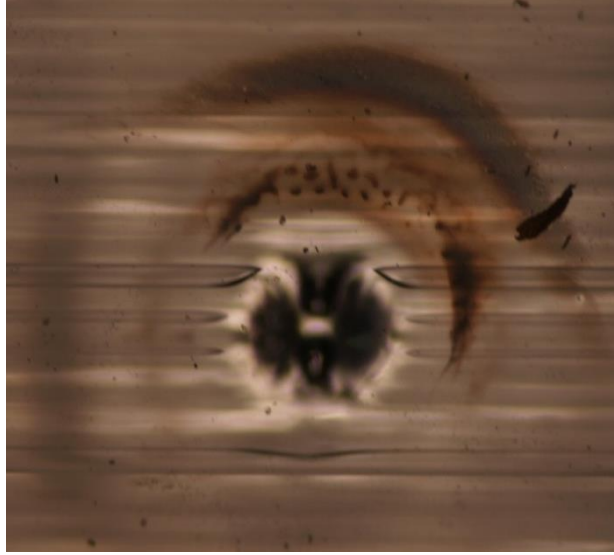
Şekil 3.13. Kaplamalı Cam Delme Çalışmaları

Şekil 3.13'te üzerinde kaplama olan cam ile denemeler yapılmış, kaplamanın yapısı nedeniyle performans alınamamıştır.



Şekil 3.14. Analog Kontrol Sistemi Payreks Delme Çalışması

Şekil 3.14'te görüldüğü gibi cam üzerinde çalışma yapıldıktan sonra daha sağlam ve işlemesi daha zor olan malzemeler üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İlk olarak payreks malzeme ile çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada da cam malzeme üzerinde takip edilen yöntemler birebir uygulanmıştır. Numunenin mikroskop altında incelenmesi neticesinde, üzerinde çatlaklar gözlenmemiştir. Bunun sebebi payreks malzemenin cama göre daha sağlam ve ısıya dayanıklı olmasıdır. Delik çevresinde istenmeyen yapılar oluştuğu gözlenmekle beraber, payreks gibi malzemeler üzerinde yapı oluşturulabileceği kanıtlanmıştır.

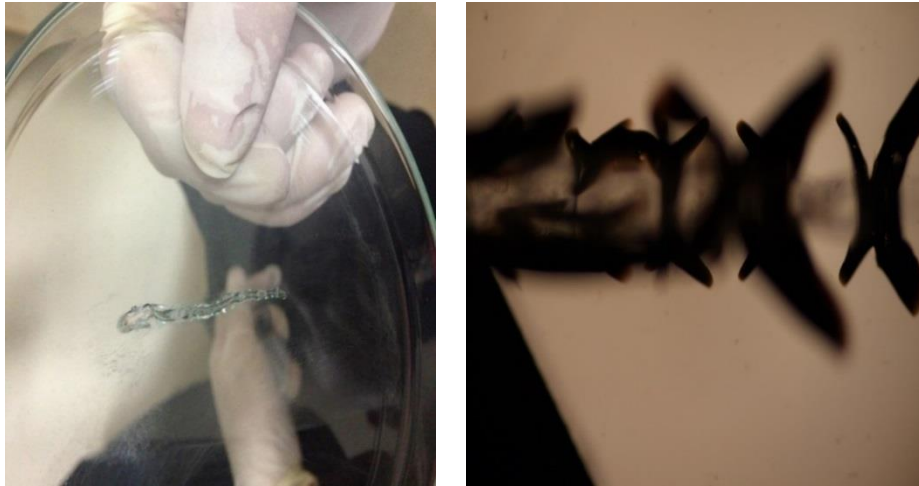


Şekil 3.15. Analog Kontrol Sistemi Kuvars Delme Çalışması

Şekil 3.15'te görüldüğü gibi işlenmesi mümkün olmayan kuvars malzemede, kullanılan yöntem sayesinde delinmiştir. Bu çalışmada diğerlerinde olduğu gibi elle kontrol edildiği için malzeme çevresinde deformasyonlar görülmüştür.

3.2.4. Mikro kanal çalışmaları

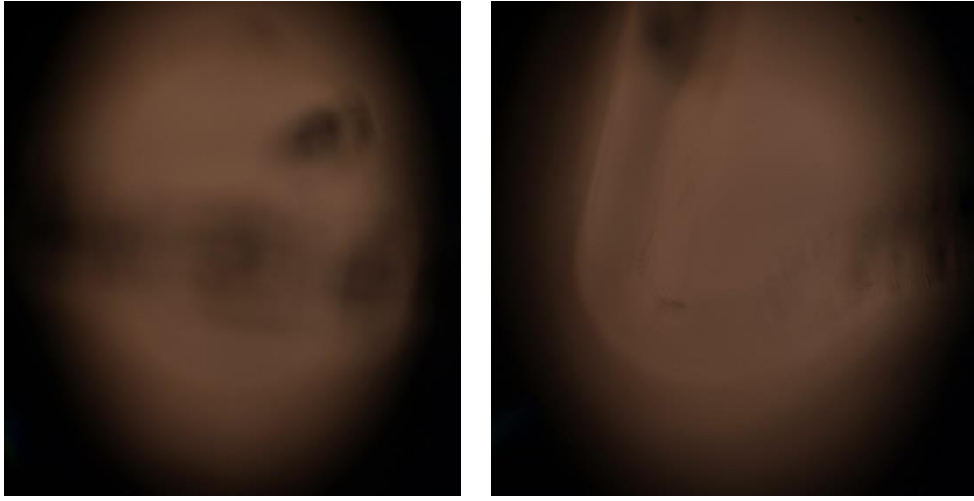
Delik açma çalışması yapıldıktan sonra sıra kanal açma çalışmasına gelmiştir. Bu çalışma, kuvars malzemenin çok sert oluşu ve istenilen şekillerde temin edilememesinden ötürü cam ve payreks malzeme üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16. Analog Kontrol Sistemi Cam Mikro Kanal Çalışması

İlk olarak cam malzeme ile kanal açma çalışmaları başlamıştır. Şekil 3.16'da görüldüğü gibi cam malzeme üzerinde kanal açma çalışması yapılmıştır. Sistem el ile hareket

ettirildiğinden ve cam malzemenin ısıya dayanıklı olmamasından ötürü deformasyonlar gözlenmiştir.



Şekil 3.17. Analog Kontrol Sistemi Payreks Mikro Kanal Çalışması

Şekil 3.17’de görüldüğü gibi payreks malzeme kullanılarak kanal açma çalışmaları yapılmıştır. Cam gibi deformasyona uğramamakla beraber elle kontrol edildiği için çok düzgün şekiller elde edilememiştir.

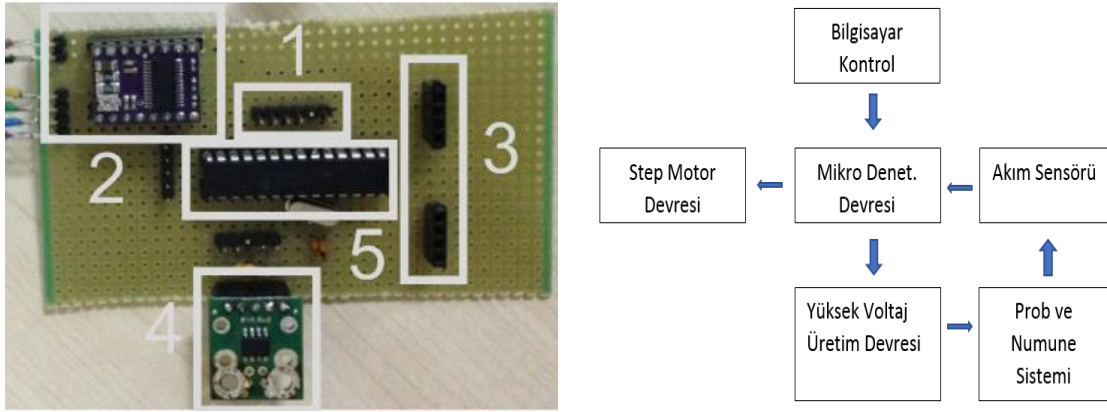
Yapılan çalışmalar neticesinde, plazma ark boşalım yöntemi ile cam, payreks ve kuvars gibi malzemeler üzerinde mikro yapılar oluşturulabileceği kanıtlanmıştır. Sistem parametreleri kontrol edilemediğinden ötürü delik çevresinde çatlama, yapısal bozulmalar oluşmuştur. Ayrıca mikro kanal çalışmaları için camın uygun olmadığı, payreks malzemenin ise kullanılabileceği belirlenmiştir. Bunun neticesinde;

- Sistem parametrelerinin dijital olarak kontrol edilebilmesi için dijital kontrol sistemi tasarlanmasına,
- Birden fazla delik açma ve mikro kanal çalışmaları gerçekleştirmek için hareketli eksen sistemi entegrasyonu çalışmaları yapmaya karar verilmiştir.

3.3. Dijital Kontrol Sistemi

Analog devre ile yapılan çalışmalar neticesinde cam, payreks ve kuvars üzerinde delik açma işlemleri başarılı olmuştur. Fakat sistem manuel kontrol edildiği için delik çevresinde çatlaklar, istenmeyen yapılar oluşmuştur. Bunun sebebinin, sistem parametrelerinin (frekans, doluluk oranı, akım ölçümü) analog olarak kontrol edilmesi olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzden sistem parametrelerinin dijital olarak kontrolünün yapılabilmesi ve

sistemin otomatik şekilde mikro yapı oluşturabilmesi için dijital kontrol sisteminin tasarlanmasına karar verilmiştir.



Şekil 3.18. Dijital Kontrol Sistemi

Yapılan çalışmalar sonunda şekil 3.18'de görülen dijital kontrol sistemi tamamlanmıştır. Sistem;

1. Yüksek voltaj kontrol ünitesi,
2. Adım motoru kontrol ünitesi,
3. Usb bağlantı noktası,
4. Akım algılama ünitesi,
5. Mikro denetleyici devresinden oluşmaktadır.

3.3.1. Mikro denetleyici devresi

Sistemin dijitalize edilmesi için yapılması gereken ilk şey; sistemin mikro denetleyici kontrollü hale getirilmesidir. Bu amaçla Microchip firmasının ürünü olan PIC18F2431 model mikro denetleyicisi seçilmiştir. Bu mikro denetleyicinin seçilme sebeplerinden ilki yüksek kristal hızlarında çalışabilmesidir. Piyasada bulunan standart denetleyiciler maksimum 16 Mhz kristal hızlarında çalışabilirken PIC18F2431 yaklaşık 40 Mhz de çalışabilmektedir. Bir diğer özelliği ise ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak bahsedeceğimiz akım algılama yönteminde, akım sensörünün analog olarak verdiği bilginin denetleyici tarafından dijital bilgiye çevirmesini sağlayan ADC modülünün hem yüksek çözünürlükte (10 bit) hem de yüksek hızlarda (200 ksps) olmasıdır. Denetleyicinin en önemli özelliği, sistem parametrelerinin (frekans, doluluk oranı) ayarlanmasını sağlayan yüksek

çözünürlüklü PWM modülüne sahip olmasıdır. Bu PWM modülünün en önemli özelliği ise tamamlayıcı PWM kanallarına sahip olmasıdır.

3.3.2. Yüksek voltaj kontrol ünitesi

Sistem; sarım sayıları farklı trafoların belirli frekanslarda sürülerek voltajın ayarlanması temeline dayanmaktadır. Sistemin tam anlamıyla kontrollü bir hale gelebilmesi için trafoların sürüldüğü frekansın ve doluluk oranının ayarlanması, ayrıca kullanılacak PWM sinyallerinin birbirinin tamamlayıcısı olması gerekmektedir. Kullanılan mikro denetleyicide toplam 4 adet zamanlayıcı (TIM0, TIM1, TIM2, TIM5) bulunmaktadır. Zamanlayıcılar sayesinde istenilen frekansta sinyaller üretilebilmektedir. Denetleyicinin veri sayfası dikkatlice incelendiğinde, PWM sinyallerinin TIMER2 modülüne bağlı olduğu görülmektedir. Her denetleyicinin bir saat sinyali ve uygun sinyali üretmek için yazmaçları (register) bulunmaktadır. Genel olarak tüm mikro denetleyici ailelerinde periyot ve önbölücü yazmaçları (register) bulunmaktadır ve sinyaller bu yazmaçların(registerlerin) içine girilecek değerler vasıtası ile belirlenmektedir. Kullanılan denetleyicinin ürettiği sinyalin periyodu;

$$\text{Periyot} = ((\text{PR2}) + 1) \cdot 4 \cdot \text{TOSC} \cdot (\text{TMR2 ön bölücü}) \quad (3.1)$$

Formülü kullanılarak bulunmaktadır. Burada;

Periyot, İstenilen sinyalin periyodu

PR2, TIM2 zamanlayıcısının periyot yazmacı,

TOSC, TIM2 zamanlayıcısının saat frekansını,

TMR2 ön bölücü, TIM2 modülünün ön bölücüsünü

temsil etmektedir. Formülden de anlaşılacağı gibi TOSC sabit bir sayı olduğu için PR2 ve ön bölücü yazmacına (register) girilecek sayılar sayesinde istenilen frekans değerine ulaşılabilmektedir. Formülde dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta bulunmaktadır. PR2 yazmacı (register) çarpım değerine girerken bir fazla ile çarpılmaktadır. Eğer PR2 değeri sıfır girilirse periyot değeri sıfır ve frekans değeri ise sonsuz olacaktır. Bu işlemin matematiksel olarak bir karşılığı bulunsa da mikro denetleyicilerde sonsuz mantığı bulunmamaktadır. Bu sebeple güvenlik olarak PR2, 1 ile toplanarak çarpılır. Bu noktaya dikkat edilmezse istenilen frekansta sinyaller oluşturulamaz.

Frekansı belli bir sinyal oluşturulduktan sonra sıra güç ayarlamasına gelmektedir. Güç iki şekilde ayarlanmaktadır. İlk yöntem sinyalin genliğini değiştirmektir. Sistemde sabit genlikte sinyaller uyguladığı için, doluluk oranını değiştirerek güç ayarlaması yapılmaktadır.

3.3.3. USB bağlantısı

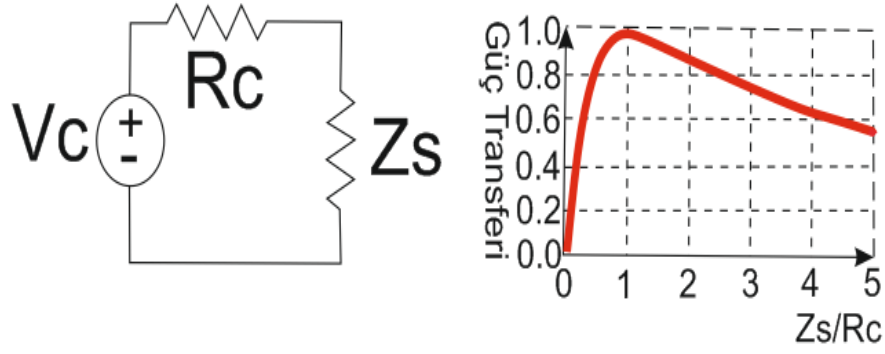
Sistemin bilgisayar tarafından kontrol edilebilmesi için çalışmalarda MICROCHIP firmasının MCP2200 UART-USB çeviricisi kullanılmıştır. Bu çip sayesinde sistemin tüm parametreleri bilgisayar üzerinden kontrol edilmektedir.

3.3.4. Adım motoru kontrol ünitesi

Sistemde kullanılan mikro-adım sürücü DRV8825'tir. M0, M1 VE M2 bacakları ile mikro adım seçenekleri ayarlanmaktadır. En yüksek çözünürlük 1/32 adımdır. Yani 0,05 derecelik açılarla adım atılabilmektedir. Toplamda iki giriş ile kontrol edilmektedir. Bu girişlerden ilki yön girişi, diğeri ise adım girişidir. Ayrıca sistemin üzerinde bulunan ayar potu ile adım motorunun uygulayacağı akım ayarı da yapılabilmektedir.

3.3.5. Akım algılama devresi

Çalışmada Allegro firmasının ACS 711 adlı ürünü kullanmaktadır. Ürün izole şekilde akım ölçümü gerçekleştirmektedir. Ayrıca sensör hem pozitif hemde negatif akım ölçümüne olanak sağlamak ve çok küçük yer kaplamaktadır. Mikro denetleyici 5 volt'a kadar ölçüm gerçekleştirmektedir. Yani 0 volt'dan düşük voltajlarda çalışmamaktadır. Bu ürünün seçilme sebeplerinden biride ölçüm voltajının 2.5 volt çevresinde değişmesidir. Ürün 0 amperi 2.5 volt olarak göstermekte; pozitif akımlar için 2.5 volt üstü negatifler içinse 2.5 volt altı çıkış vermektedir. Kullanılan işlemcide 10 bitlik çözünürlük ile çevrim yapılmakta olup yaklaşık 12 mA'lık çözünürlük sağlamaktadır. Bu çözünürlük yapılan çalışmalarda yeterli olmuştur. Yapılan çalışmalarda oluşan gürültüler 1. Derece pasif alçak geçiren filtre kullanarak bastırılmıştır. Akım algılama sistemi temel olarak sistemin en önemli bölümlerinden birini oluşturmaktadır. Sistemin algılama hızı numune üzerinde oluşturulan şeklin düzgünlüğü ile doğru orantılıdır. Sistemi modellemek gerekirse;



Şekil 3.19. Devre Modeli ve Güç Transferi İlişkisi [95'ten değiştirilmiştir]

Burada V_C besleme voltajını ve R_C devrenin empedansını, Z_S ise örneğin empedansını temsil etmektedir. Şekil 3.19'da görülen güç transfer eğrisine göre maksimum güç transferi örneğin empedansının devrenin empedansına eşit olduğu noktada gerçekleşmektedir. R_C 'yi daha ayrıntılı açıklamak gerekirse,

$$R_C = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (3.2)$$

Burada R rezistif empedansı, X_L indüktif empedansı, X_C ise kapasitif empedansı temsil etmektedir. Ohm kanununa dönülürse,

$$V = I \cdot R \quad (3.3)$$

Burada V besleme voltajı, I akım, R ise sistemin toplam empedansıdır. Devrenin empedans değişimi devreden geçen akım ile ters orantılıdır.

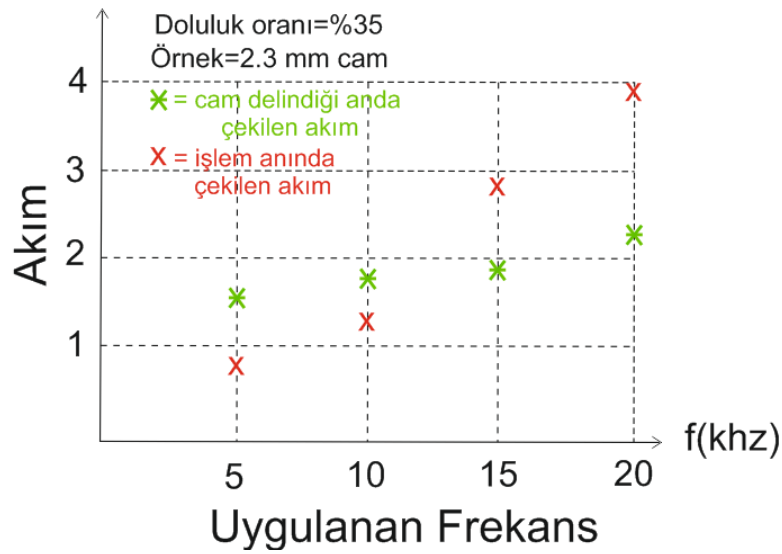
$$X_C = - \frac{1}{2\pi f C} \quad (3.4)$$

Burada f frekans, C kapasitans değeridir. Formülden anlaşılacağı gibi kapasitansın sabit olduğu yerde kapasitif empedansın değişmesi sadece devreye uygulanan frekansın değişmesi ile gerçekleşmektedir. Plazma oluşturmak için kullanılan frekans değerine göre problemlerin arasına yerleştirilen numunenin (cam, kuvars v.b.) kapasitans değeri ile havanın kapasitans değeri birbirinden farklıdır. Bu farkı baz alarak cam delindiği anda aradaki örneğin yerini hava almakta, empedans değişmekte ve buna paralel olarak devreden geçen akım değişmektedir.

Buradaki en kritik nokta örneğe göre frekans seçmektir. Bu frekans değeri maksimum güç transferinin olduğu değer olmalıdır. Bu değere, rezonans frekansı denmektedir. En fazla akım o noktada çekilmektedir. Çalışma frekansı akım algılama algoritmasını doğrudan etkilemektedir. Burada 2 seneryo söz konusudur;

İlk seneryoda seçilen frekansa göre örneğin empedansı, havanın empedansına göre rezonans frekansına daha uzaktır. Yani örnek delindiği anda çekilen akım artmaktadır. Cam kalınlığı arttıkça uygulanması gereken akım artacaktır. Bu sebeple her cam kalınlığı için ayrı ayrı uygulama akımları belirlenmek zorundadır.

İkinci ve patent başvurusunda yer alan akım algılama algoritmasına göre seçilen frekansta, numunenin empedansı, havanın empedansına göre rezonans frekansına daha yakındır. Yani cam delindiği anda çekilen akım azalmaktadır. Akım azalmasını algılama algoritması sayesinde cam kalınlığına bakılmaksızın cam delinmesi algılanmakta ve sistem her örnek için düzgün çalışmaktadır.



Şekil 3.20. Uygulanan Frekans ve Çekilen Akım İlişkisi

Şekil 3.20'de görüldüğü gibi 2.3 mm cam numune üzerine; 5, 10, 15 ve 20 khz frekasında %35 doluluk oranında sinyaller uygulanarak, delinme anında çekilen akımlar ölçülmüştür. Çalışma neticesinde 5 ve 10 Khz frekans değerlerinde, cam delindiğinde daha fazla akım geçerken, 15 ve 20 khz de ise çekilen akım azalmaktadır. Bu sonuç; 15 ve 20 khz frekans değerlerinin bu numune için rezonans frekansına havadan daha yakın olduğunu kanıtlamaktadır.

3.4. Dijital Kontrollü Sistem Çalışmaları

Analog kısımda yapılan çalışmalardan prob yapısının sivri çift prob ve malzeme olarak da tungsten seçilmesi gerektiği belirlenmiştir. Bunun sonucunda yapılan testlerde cam üzerinde delik açıldığı gözlemlenmiş fakat kontrollü şekilde durdurulamadığından camda çatlaklar oluştuğu görülmüştür. Bunun neticesinde sistem parametrelerinin ayarlanabildiği ve delinme anının algılanabildiği dijital kontrol sistemine geçilmiştir.

Çalışmalar ilk olarak akım algılama algoritması olmadan yapılmaya başlanmıştır. Yani akım değeri okunmakla beraber sabit bir değer belirlenip akım yükseldiği anda sistemi durduran bir algoritma ile çalışılmaya başlanmıştır.



Şekil 3.21. Dijital Kontrol Cam Delme Çalışması

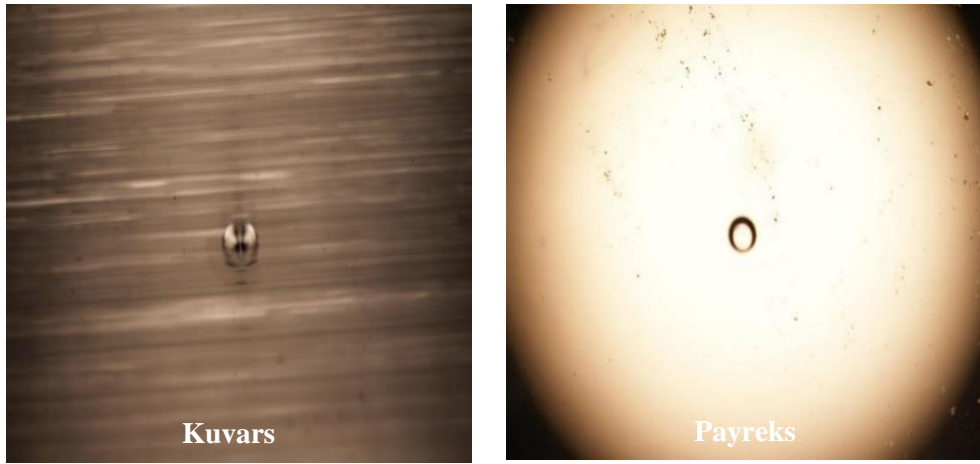
Şekil 3.21’de akım algılama algoritması kullanılmadan önceki delik şekli görülmektedir. Sistem manuel kontrole göre başarılı olmakla beraber, cam çevresinde ufak çatlaklar görülmektedir. Bu algoritma ilerideki çalışmalarda optimize edilmiş olup düzgün sonuçlar elde edilmiştir. Fakat bu yöntemde her numune için ayrı ayrı optimizasyon getirmesinden ötürü tercih edilmemiştir.



Şekil 3.22. Akım Algılamalı Cam Mikro Delik Çalışması

Şekil 3.22’de akım algoritmali sisteme geçildikten sonra elde edilen görüntü görülmektedir. Akım algılama algoritması sayesinde cam üzerinde çok düzgün şekiller oluşturulmuştur.

Yukarıdaki çalışmanın başarılı olması sebebiyle akım algılama algoritması kullanılarak payreks ve kuvars malzeme üzerinde de delik açma çalışması gerçekleştirilmiştir.



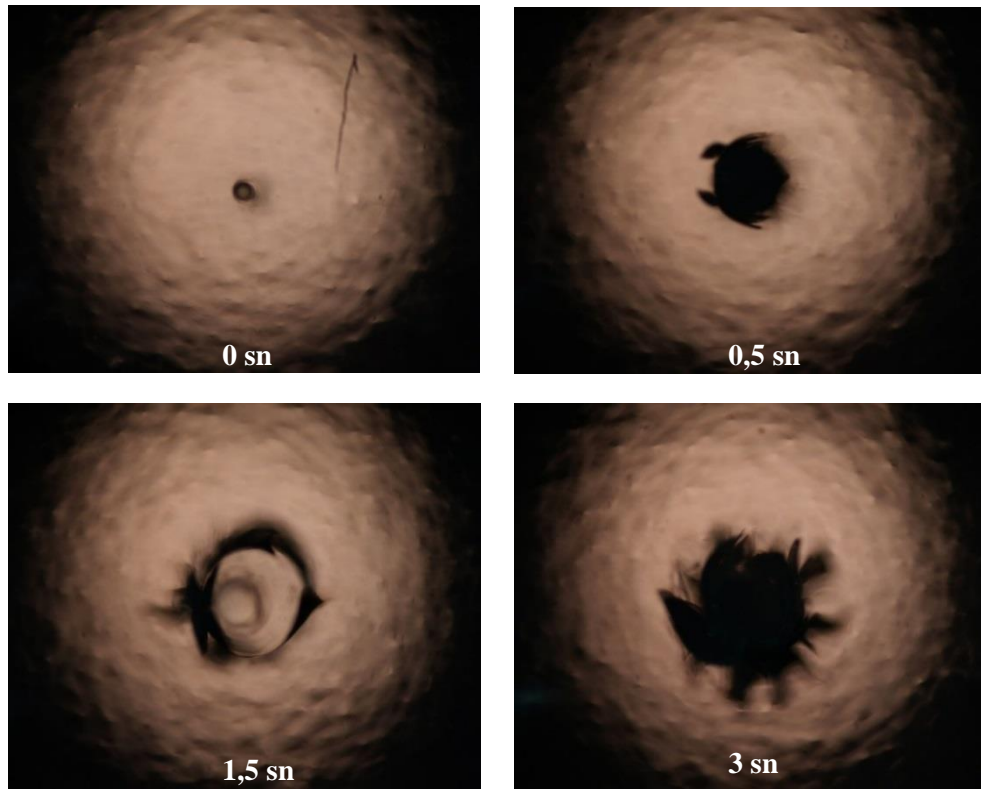
Şekil 3.23. Akım Algılamalı Kuvars-Payreks Mikro Delik Çalışması

Şekil 3.23’te görüldüğü gibi akım algılama algoritması ile payreks ve kuvars malzemeler üzerinde çok düzgün şekilde mikro yapılar oluşturmuştur. Yapılan çalışmaların ışığında sistemin kusursuza yakın şekilde çalıştığı belirlenmiştir.

Lazer mikro işleme tekniği hariç cam üzerinde mikro yapı uygulama çalışması bulunmamakla beraber; payreks ve kuvars malzemelerin işlenmesi, plazma tekniği dışında gerçekleştirilmemiştir.

Sistemin düzgün şekilde çalıştığı gözlemlendikten sonra delik çapını ve delik açma süresini etkileyen parametreler üzerinde çalışmalar yoğunlaştırılmıştır.

3.4.1. Akım Algılama süresi çalışması



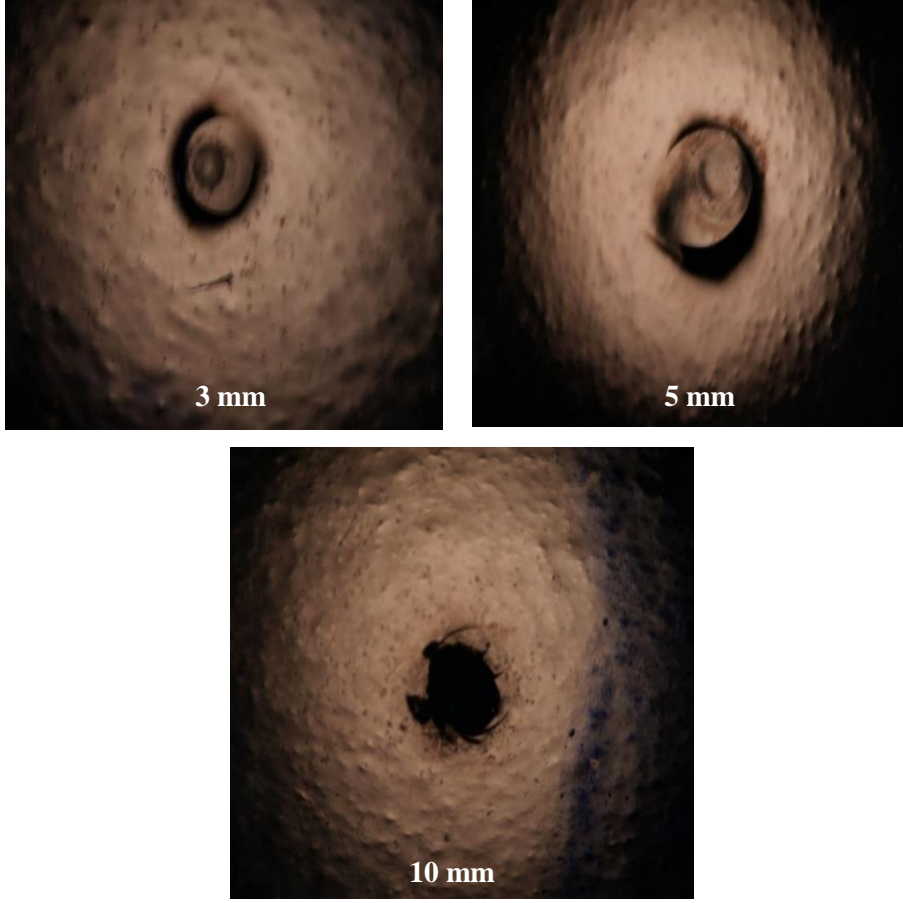
Şekil 3.24. Akım Algılama Süresi Çalışması

Şekil 3.24'te görüldüğü gibi ilk olarak algılama algoritmasının süre ile ilişkisi değerlendirilmiştir. Bunun için algılama sistemi algılama yaptıktan sonra, belirli aralıklarda beklemeler verilmiştir. Bu çalışma sonucunda;

- Zaman arttırıldıkça delik çapının büyüdüğü,
- Belli süreden sonra camda çatlama olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma sayesinde istenilen delik çaplarına, zaman ayarları yapılarak ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır. Delik çapının sadece parametrelerle ayarlanabilir olması (fiziksel olarak herhangi bir entegrasyon gerektirmemesi) diğer yöntemlere göre çok daha üstün bir özelliktir. Fakat belirli bir süreden sonra numunenin çatlama başladığına dikkat edilmelidir.

3.4.2. Problar arası mesafe çalışması



Şekil 3.25. Problar Arası Mesafe Çalışması

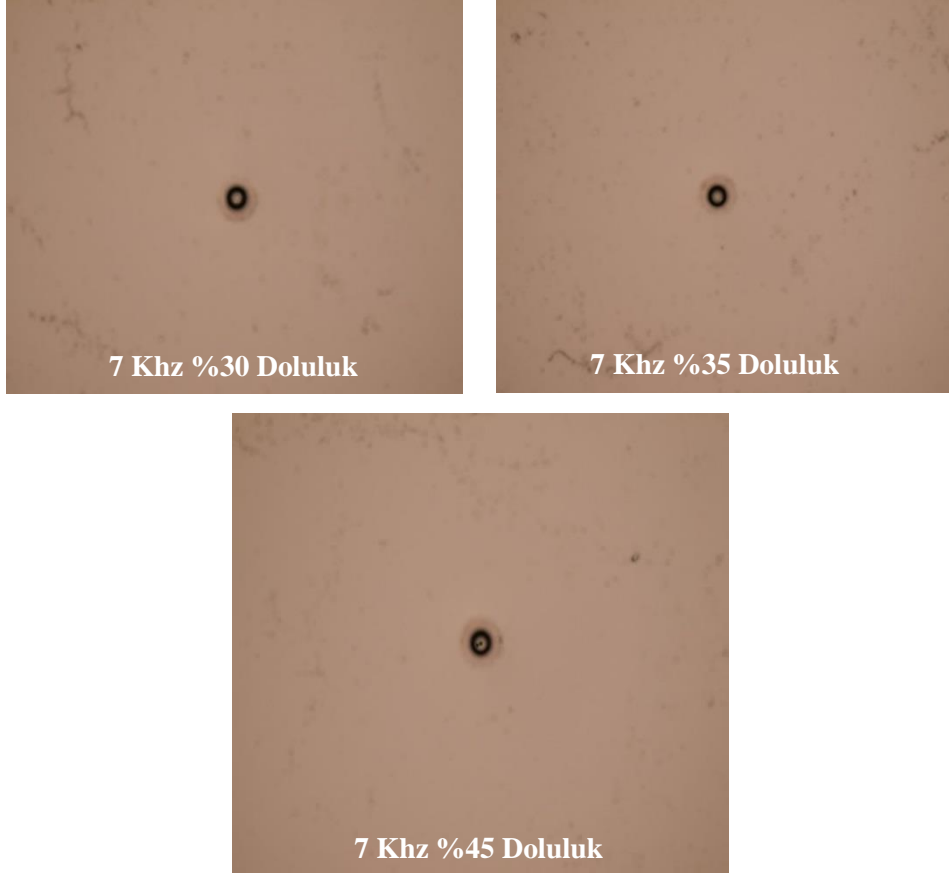
Şekil 3.25'te görüldüğü gibi problemlerin arasındaki mesafenin açılan delikler üzerindeki etkisini incelemek için problemleri farklı aralıklarla konumlandırarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İlk olarak problemler arası mesafe 3mm'ye daha sonra 5mm'ye en son 10 mm'ye ayarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında problemler arası mesafe arttığında;

- Delik çapının arttığı,
- Cam delme süresinin uzadığı,
- Camda çatlaklar oluştuğu

belirlenmiştir. Bu sonuçlar neticesinde problemlerin birbirine olduğunca yakın olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

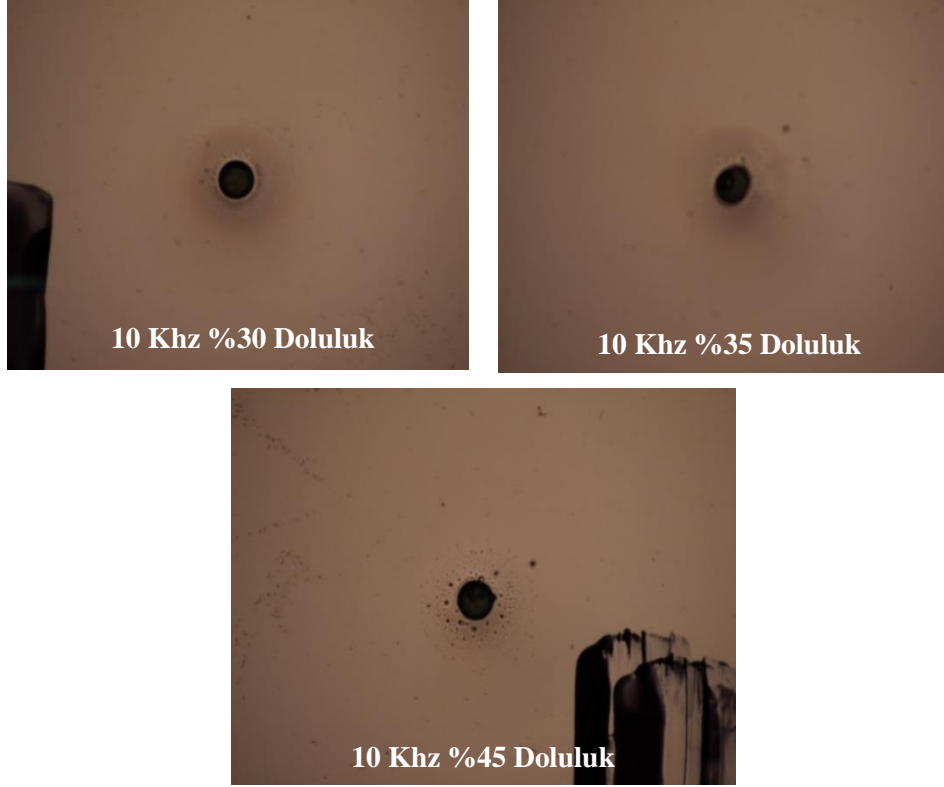
3.4.3. Doluluk oranı çalışmaları

Uygulanan doluluk oranının delik özelliklerine etkisini incelemek için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İlk olarak rezonans frekansına en uzak olan 7 khz sinyali seçilmiştir.



Şekil 3.26. 7 Khz Doluluk Oranları Çalışması

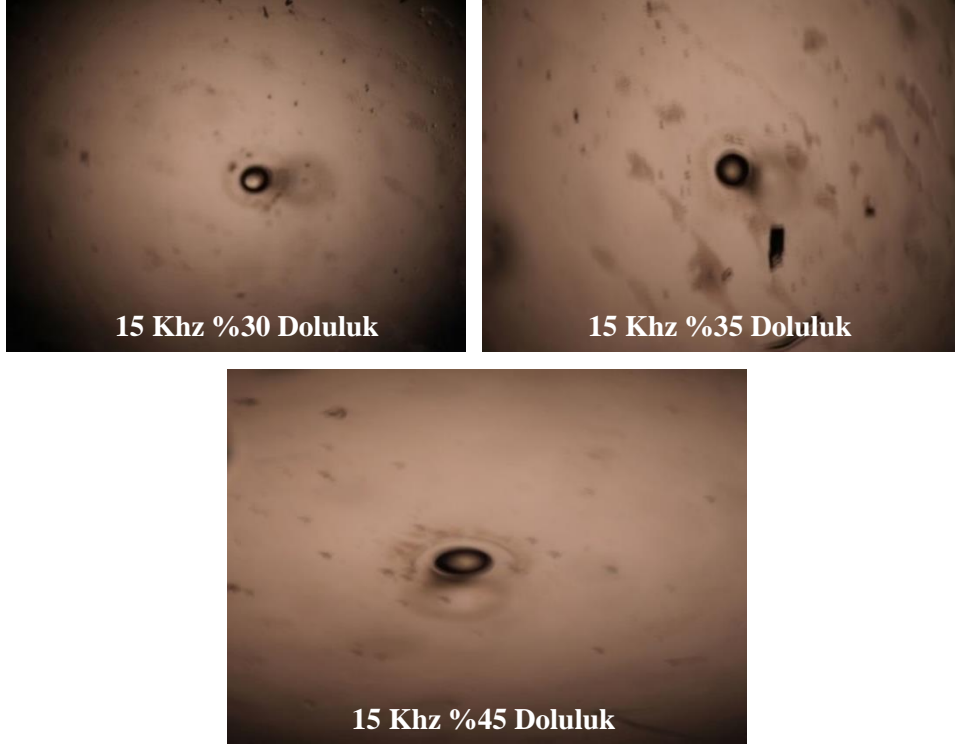
Şekil 3.26'da görüldüğü gibi 7 khz sinyal ve sırasıyla %30, %35 ve %45 doluluk oranları uygulanmıştır. Doluluk oranının delik çapına etkisi olmadığı görülmektedir. Doluluk oranı delik açma süresini değiştirmektedir. Uygulanan frekansın 7 khz seçilmesinin sebebi rezonans frekansına havadan daha uzak olması ve bunun neticesinde akım algılama algoritmasının delik açıldıktan sonra yükselmeye programlanmasıdır. Aktarılan enerji düşük olduğu için delik delme süresi artmaktadır.



Şekil 3.27. 10 Khz Doluluk Oranları Çalışması

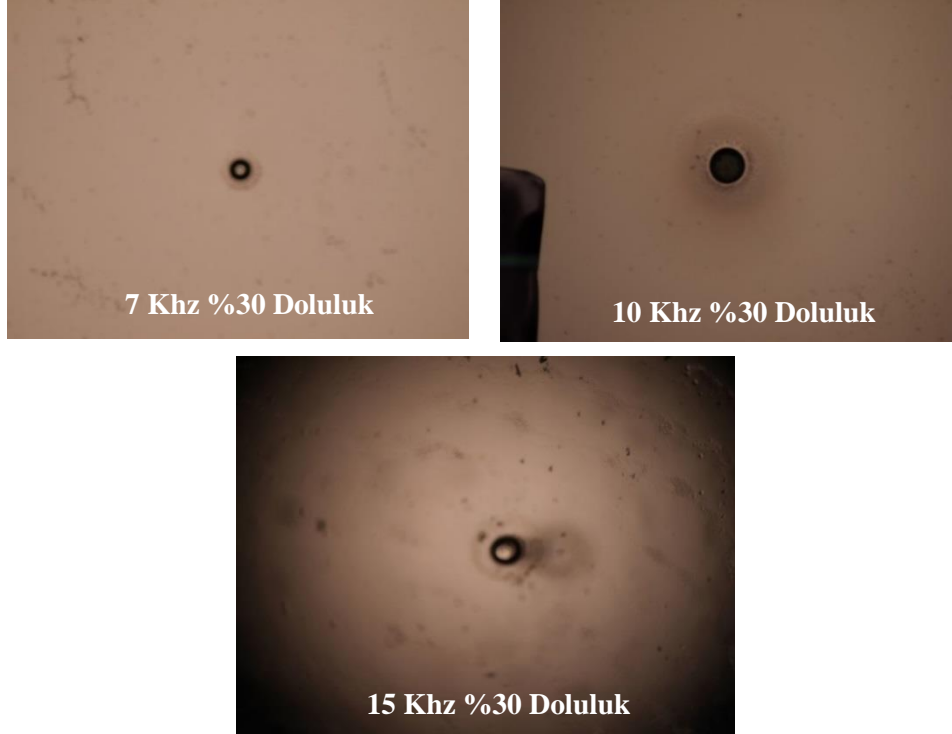
Şekil 3.27’de görüldüğü gibi 10 khz sinyal ve sırasıyla %30, %35 ve %45 doluluk oranları uygulanmıştır. Doluluk oranının delik çapına etkisi olmadığı bu frekansta da görülmektedir. 10khz, 7 khz ye göre rezonans frekansına daha yakın olmasından ötürü daha yüksek enerji aktarıldığı için delme süresi beklendiği gibi azalmıştır.

Şekil 3.28’de görüldüğü gibi 15 Khz sinyal ve sırasıyla %30, %35 ve %45 doluluk oranları uygulanmıştır. Doluluk oranının delik çapına etkisi olmadığı görülmektedir. Doluluk oranı delik açma süresini değiştirmektedir. Uygulanan frekansın 15 Khz seçilmesinin sebebi havaya oranla rezonans frekansına daha yakın olmasıdır. Bu sayede akım algılama algoritması çalıştırılarak çok kısa sürede düzgün delikler açılmıştır.



Şekil 3.28.15 KHz Doluluk Oranları Çalışması

3.4.4. Farklı frekans çalışmaları



Şekil 3.29. Farklı Frekans Çalışmaları

Doluluk oranının etkisi incelendikten sonra sıra frekans etkisine gelmiştir. Şekil 3.29’da doluluk oranlarının aynı fakat uygulanan frekansların farklı olduğu durumlardaki delik profilleri görülmektedir.

7 Khz’in rezonans frekansına en uzak frekans olmasından ötürü en düşük gücün uygulandığı değer olduğu anlaşılabilir. Bu frekansın bir diğer özelliği ise yukarıda bahsedildiği gibi havaya oranla rezonans frekansına daha uzak olmasından kaynaklı olarak, delik delme algoritmasının, akım artmasının algılanması yönünde düzenlenmesi gerekliliğidir. Buda bu yöntemin her bir ürün ve kalınlık için ayrı ayrı optimize edilmesi gerektiği problemini ortaya çıkarmaktadır. Daha kalın bir numune işlenmek istendiğinde uygulanacak akımın o numune için yeniden belirlenmesi gerekmektedir. Rezonans frekansına uzak olmaktan kaynaklı delik delme süresinin artması ve enerji transferindeki veriminde düşmesinin sistemin verimini düşürmesi de göz önüne alınmalıdır.

15 khz frekansının sistemin rezonans frekansına en yakın frekans olmasından ötürü aktarılan enerji miktarı yüksek olup, akım algılama algoritmasının akım azalma üzerine kurulmasından dolayı işlenecek numunenin kalınlığından bağımsız şekilde işlem yapılabilmesi avantajını getirmektedir.

3.4.5. Prob hizalama çalışması



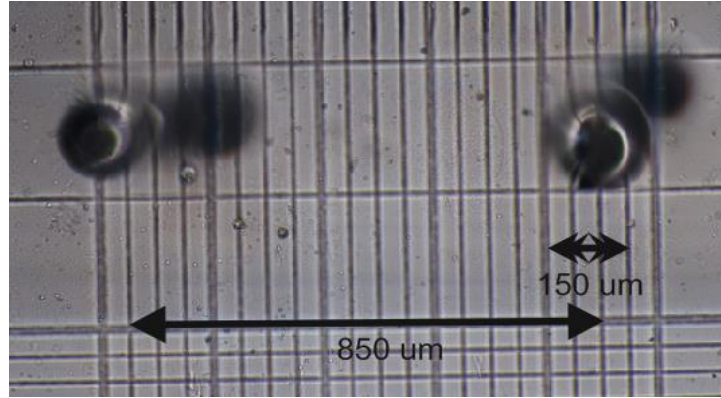
Şekil 3.30. Prob Hizalama Çalışması

Prob hizalanmasının delik yapısına etkisinin incelenmesi için şekil 3.30’da görüldüğü gibi problar 180°’den farklı şekilde konumlandırılarak çalışmalar yapılmıştır. Farklı açı ile hizalanan problar neticesinde açılan deliğinde numune içerisinde dik değil açılı şekilde oluştuğu görülmüştür. Açılı mikro yapı oluşturma çalışması bu zamana kadar yapılan

çalışma haricinde gerçekleştirilmemiş olup, yöntemlerden sadece mekanik mikro işleme tekniği ile uygulanabilir bir uygulamadır. Cam üzerinde mekanik mikro işleme mümkün olmamakla beraber metalik yapılarda açılı mikro işleme yapılabilir. Fakat açılı işlem yapılabilmesi için en az beş eksenli mekanik işleme tablası kullanılmak zorundadır. Buda cihaz maliyetini katlamaktadır.

3.4.6. Tek eksen hareket çalışmaları

Tek eksende yapılan çalışmalardan edinilen başarılı sonuçlar neticesinde; sistem hareketli bir düzeneğe oturtularak numune üzerinde işleme çalışmalarına devam edilmiştir. Sistemin hareketini sağlamak için adım motoru kullanılmıştır. Yeni gelişen motor kontrol entegrelerinin de yardımıyla adım motoru 1/32 mikro adımda kullanılmıştır. Bilindiği üzere piyasada kullanılan geleneksel adım motorları 1 tam adımda 1.8 derecelik adım atmaktadır. Toplamda 1 tam turu (360 derece) 200 adımda atmaktadır. Sistem içerisinde bu 200 adımı da 32'ye bölerek; 1 tam turu (360 derece) 6400 küçük adıma bölerek (0,056 derece) çok hassas hareket elde edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.31. Delik Çapı ve Delikler arası Mesafe

Şekil 3.31'de görüldüğü gibi 20 Khz ve %35 doluluk oranı ile 150 mikrometre delik çapına sahip mikro delik açılmıştır. Ayrıca mikro adım tekniği ile 1 mm içerisinde birden fazla delik oluşturulmuştur (10000 mikro adım).

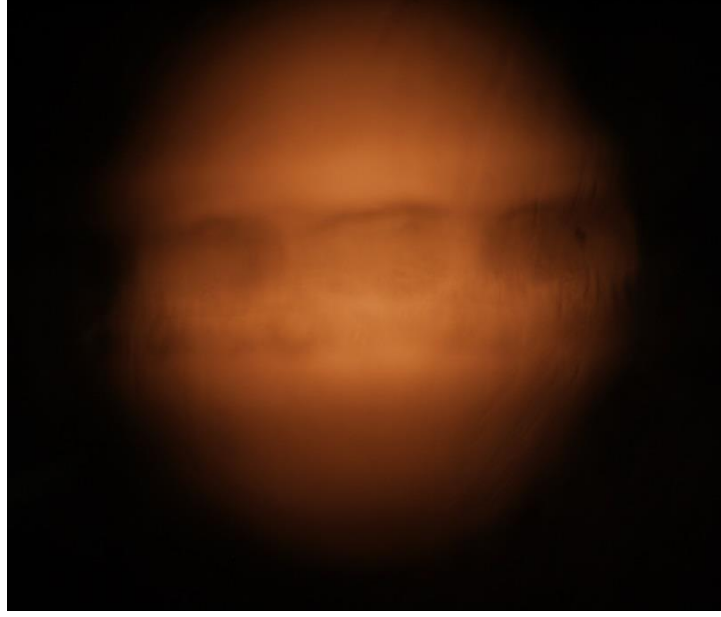


Şekil 3.32. Mikro Adım Çalışmaları

Şekil 3.32’de görüldüğü gibi 340 μm ’de (4000 adım) bir delik açılarak 1mm içerisinde yaklaşık 3 adet delik açılmıştır. Bu şekilde 1 mm^2 ’lik bir alanda 9 adet delik açılabilen olup; her bir mikro deliğin 1 ölçüm ünitesi olduğu varsayılırsa 1 mm^2 ’lik alanda 9 adet ölçüm yapılabilecektir. Bu sayede analizörler boyutları küçülecek, ölçüm için gerekli numune miktarı dramatik oranda azalacaktır. Küçük alanlarda birçok ölçüm gerçekleştirilmesi konseptine; çip üzerinde laboratuvar (lab on a chip) adı verilmektedir. Çalışma sayesinde cam üzerinde; çip üzerinde laboratuvar (lab on a chip) çalışmaları gerçekleştirilebilecektir.

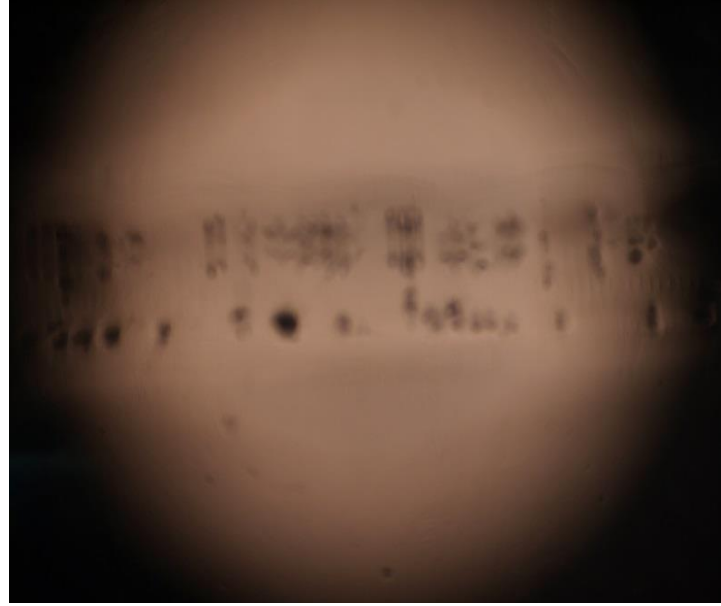
3.4.7. Mikro kanal çalışmaları

Mikro delik çalışmalarındaki başarıdan ötürü ve sistemin hareketli bir yapıya entegre edilmesinden dolayı, mikro kanal çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Mikro kanal çalışmaları; camın dayanıksız olması, kuvars malzemenin çok sert ve istenilen şekilde temin edilememesinden ötürü payreks malzemeler ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda kullanılan yazılımda delik açıldıktan sonra sistem hareket ettirilmiş ve numune üzerinde yapılar oluşturulması sağlanmıştır. Buradaki en kritik nokta uygulanan frekans ve motor hareket hızıdır. Sisteme maksimum enerji transferi için rezonans frekansına en yakın değer olan 20 Khz de %35 doluluk oranında sinyal uygulanmıştır. Yapılan denemelerden sonra; motoru optimum hızda hareket ettirip, payreks malzeme üstünde mikro kanal çalışmaları yapılmıştır.



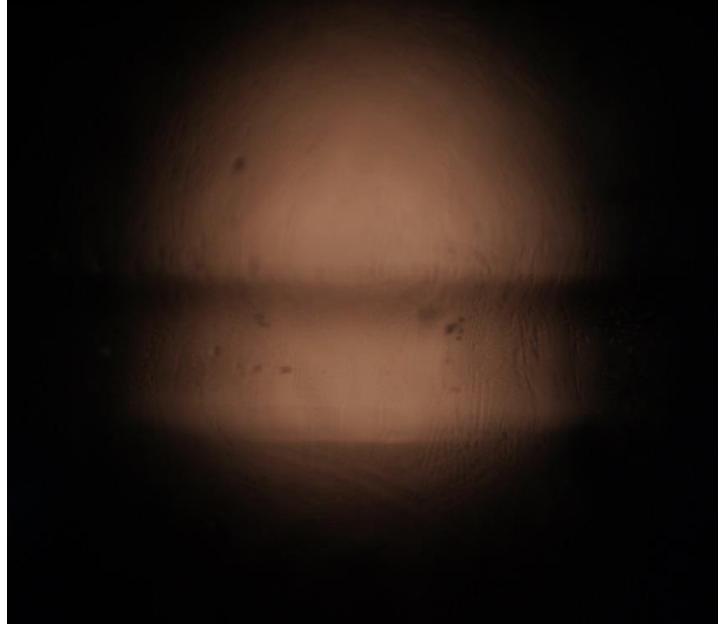
Şekil 3.33. Mikro Kanal Yüksek Hız Çalışması

Şekil 3.33'te motor hızlı hareket ettirildiğinde elde edilen kanal yapısı görünmektedir. Sistem yüksek hızda döndürüldüğünde kanal yapısı istenilen düzeyde olmamaktadır.



Şekil 3.34. Mikro Kanal Düşük Hız Çalışması

Şekil 3.34'te görülen yapıda motor yavaş hareket ettirildiğinde oluşan yapı görünmektedir. Sistem hızı yavaş olduğunda plazma işlem yapılan malzeme üzerinde istenmeyen yapılar oluşturmaktadır.



Şekil 3.35. Mikro Kanal Optimum Hız Çalışması

Yavaş ve hızlı hareket çalışmalarında elde edilen sonuçlar göz önüne alınarak; sistem uygun hıza getirilerek şekil 3.35'te görülen yapılar oluşturulmuştur.

Bu bölümde yapılan çalışmalarda;

İlk olarak bilgisayar kontrollü sistem ile delik delme işlemlerinden sonra, geliştirilen akım algılama algoritması sayesinde cam üzerinde kontrollü şekilde çok düzgün şekilli mikro delikler açılmıştır. Bununla beraber aynı uygulama kuvars ve payreks malzemeler ile tekrarlanıp akım algılama algoritmasının değişik malzemeler içinde düzgün şekilde çalıştığı kanıtlanmıştır.

Delik delme çalışmasının başarılı olmasından sonra delik çapı ve delik delme süresini etkileyen faktörler üzerine yoğunlaşılmasına karar verilmiştir.

İlk olarak delik açıldıktan sonra akım uygulanmaya devam edilmiş ve sonuçları gözlemlenmiştir. Uygulanan akımın süresi arttıkça malzemede çatlaklar ve deformasyonlar gözlemlenmiştir. Akım algılama algoritmasının numuneye herhangi bir zarar vermeden mikro yapılar oluşturulması için ideal bir yöntem olduğunu belirlenmiştir.

Daha sonra uygulanan frekansın ve doluluk oranının etkileri incelenmiştir. Uygulanan frekansın rezonans frekansına uzaklığıyla sistemin veriminin ters orantılı olduğu, delik delme süresinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca doluluk oranının delik çapına etki etmediğini sadece delik açma süresini değiştirdiği gözlemlenmiştir. Sistemin fiziksel özellikleri değiştirilerek denemeler sürdürülmüştür. Bunun için kullanılan problemlerin arasındaki 180

derecelik aç¸ı değiştirilerek delme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bunun sayesinde numune içerisinde farklı aırlarla yapı oluşturulmuştur.

Mikro delik çalışmalarının son adımı olarak, sistemi tek ekseninde hareket ettirecek düzeneği kurup mikro adımlar sayesinde birbirine çok yakın mesafelerde delikler açılmaya başlanmıştır. Çalışma sonunda yaklaşık 150 um çapında ve 340 um aralıklarla delik delme işlemi başarılmıştır. Bu sayede yaklaşık 1 mm²lik bir alana 9 tane mikro delik yerleştirme ihtimali mümkün kılınmıştır.

Mikro delik çalışmalarında elde edilen başarıdan sonra mikro kanal çalışmaları yapılmaya karar verilmiştir. Bunun için delik açıldıktan sonra akım kesilmeden sistem tek yönde hareket ettirilmiştir. Birkaç denemeden sonra optimum hıza ulaşılıp, payreks malzeme üzerinde mikro kanal açılmıştır.

Bu çalışmanın sonunda cam, kuvars ve payreks gibi malzemeler üzerinde mikro yapılar oluşturma işlemi başarılmıştır. Bu sayede kan analizi ya da bilimsel çalışmalarda kullanılacak analiz sistemlerin küçülmesi, gerekli numune ve sarf kimyasal miktarlarında azalma olması hedeflenmektedir.

4. SONUÇ

Nanoteknolojinin gelişmesiyle plazma teknolojisi de bu alanda kendine yer bulmaya başlamıştır. Plazma teknolojisinin en sık kullanıldığı alan ince film kaplama tekniğidir. İnce film kaplama, nanoteknolojinin getirdiği en önemli nimetlerden biridir. Genel olarak ince film kaplama teknolojisi, bir maddenin üzerine nano-mikrometre boyutlarında kaplama yaparak o maddeye yeni özellikler eklenmesini sağlamaktadır. Literatür incelendiğinde plazma ark boşalım yöntemi kullanarak birçok alanda ince film kaplama çalışmaları görülebilmektedir.

Plazma tekniğinin nanoteknoloji de kullanım alanlarından biri de nanoparçacık oluşturmaktır. Temel olarak büyük numunelerden plazma yardımıyla nanometre boyutlarında maddeler elde edilmektedir. Bütün halindeki maddelerin özellikleri ile nanoparçacık halindeki maddelerin özellikleri birbirinden farklıdır. Bu konu başka bir bilim dalı olan kuantum fiziğinin konusudur.

Nanoteknolojiyle bilim dünyasında kendinden çokça söz ettiren yeni bir yapı oluşmuştur. Bu yapının adı karbon nanotüptür. Plazma tekniği kullanarak karbon nanotüp oluşturmakta mümkündür.

Plazma tekniği yukarıdaki örneklerle sınırlı kalmayıp başka alanlarda da kullanılmaktadır. Yüzey temizleme, çevresel atık yönetimi gibi değişik alanlarda da kendine yer bulmaktadır.

Çalışmada yukarı belirtilen alanlar haricinde plazma yöntemi mikro işleme tekniği için kullanılmıştır. Mikro işleme tekniğinin kullanımı nanoteknolojinin gelişmesiyle birlikte logaritmik olarak artmaya başlamıştır. Mikro işleme tekniğine en güzel örnek evlerde kullanılan bilgisayarlardır. Eski bilgisayarlar oda büyüklüğünde olsa da günümüzdeki taşınabilir bilgisayarlar eskiye nazaran çok daha fazla özelliğe sahip olmaktadır. Bunun sebebi bilgisayarların içinde işlem yapan en küçük birimlerin milimetre seviyelerinden nanometre seviyelerine düşmesidir. Bu sayede çok küçük bir alanda çok yüksek işlem kabiliyetine ulaşılmaktadır.

Mikro işleme tekniklerini genel olarak kendi içinde iki ana başlık altında değerlendirilmektedir. Bunlar tabandan tepeye ve tepeden dibe teknikleridir.

Tabandan tepeye tekniğinde; yapı sıfırdan yukarı yönde inşa edilmektedir. Bu tekniğin en sık kullanıldığı teknoloji fotolitografidir. Bu teknikte ışık geçirgen ve ışık dirençli maddeler işleme yapılacak malzeme üzerine kaplanır. Daha sonra maskeler aracılığıyla

oluşturulmak istenen yapılar, malzeme üzerinde bir dizi işlemten sonra oluşturulur. Temel manada kaplamalar kendi içerisinde tepeden aşağı yönde işlense de, işlem sonunda sıfırdan bir yapıya ulaşılmış olmaktadır. Bu tekniğe güncel olarak verilecek örneklerin başında işlemciler, sensörler, güneş pilleri gelmektedir. Bu tekniğin en büyük dezavantajı kurulum ve kullanım maliyetlerinin çok fazla olmasıdır. Bir diğer olumsuz yönü ise yapı oluşturma sürelerinin çok uzun olmasıdır.

Tepeden dibe tekniğinde; malzeme üzerinde işlemler yapılarak istenilen yapılara ulaşılmaktadır. Bu teknikte en sık kullanılan yöntem lazer mikro işlemdir. Lazer mikro işleme tekniğinde; yüksek güçlü lazer çok küçük alanlara odaklanarak işleme yapılmakta; çok kısa atımlarla (femto saniye- nano saniye) çok yüksek enerji yoğunluğuna ulaşılmaktadır. Bu tekniğinde en büyük dezavantajı maliyetinin çok yüksek olmasıdır.

Bir diğer tepeden dibe tekniği ise mekanik mikro işlemdir. Bu yöntem bilgisayar kontrollü tezgahlarla aynı mantığa sahiptir. Mekanik olarak işleme parçası, işlem yapılacak yüzeyde kazıma işlemi gerçekleştirmektedir. Yöntemde diğer yöntemlerde bahsedilen dezavantaja sahiptir. Kurulum ve kullanım maliyeti oldukça fazladır. Yöntemin bir diğer olumsuz yönü ise, cam gibi kırılğan malzemeler üzerinde işlem yapılamamasıdır.

Tepeden dibe tekniğinde kullanılan bir başka yöntem ise elektrokimyasal mikro işleme tekniğidir. Bu teknikte işleme yapılacak malzeme anot olarak kullanılıp çeşitli kimyasal reaksiyonlar yardımıyla mikro işleme çalışmaları yapılmaktadır. Kullanılan malzemelerin yüksek maliyetli oluşu tekniğin olumsuz yönlerinin başında gelmektedir. Ayrıca oluşturulacak yapılar için çok zaman harcanması da başka bir olumsuz yöndür.

Yukarıda bahsi geçen teknolojilerin olumsuz yönlerinin iyileştirilmesi için yöntemlerin bazıları birlikte kullanılmışlardır. Hibrit olarak kullanılan teknikler genel olarak bilimsel çalışma düzeyinde kalmış olup endüstride kendisine yer bulamamıştır.

Mikro işleme tekniklerinin gelişmesiyle birlikte özellikle medikal ve bilimsel çalışmalarda ivme kazanmıştır. Özellikle ölçüm için gereken malzeme miktarı mikro yapı ve sensörler sayesinde minimum seviyeye inmiş, sarf olarak adlandırılan kimyasal ihtiyacını azaltmaya yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu noktada mikro kuyu, delik ve mikro kanal üretimi kritik bir ihtiyaç haline gelmektedir. Plastik türevleri ve metal malzemeler üzerinde mikro yapı oluşturma çalışmaları yapılmakla beraber, plastik malzemelerin kimyasal ve fiziksel olarak güçlü olmaması, metal malzemelerin ise hem üretiminin hem de birim maliyetinin fazla olmasından ötürü farklı gereksinimler ortaya çıkmaktadır. Cam gibi fiziksel ve kimyasal olarak sağlam, inert ve aynı anda üretimi ucuz olan hammaddelerle çalışmak çok büyük avantajlar getirmekle beraber, camın işlenmesinin

çok zor olması bu malzemenin mikro yapı oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmamasının sebebidir. Çalışmada geliştirilen sistem cam, payreks ve kuvars gibi işlenmesi mümkün olmayan, fiziksel ve kimyasal açıdan dayanıklı ve ucuz malzemeler üzerinde mikro yapılar oluşturulmasına olanak vermektedir. Sistemin en büyük avantajı; maliyetinin çok düşük olması ve aynı anda hızlı işlem yapılabilmesidir.

Mikro işleme çalışmalarının ilk adımı olarak yüksek voltaj üretme cihazı ile oda şartlarında ark oluşturulmaya başlanılmıştır. Bu adımdan sonra numune üzerinde işleme yapabilmek için ark oluşturulacak problemlerin geometrisi ve malzemesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak paralel bakır plakayı prob olarak kullanarak denemeler yapılmıştır. Bu çalışmada plaka alanının geniş olmasından kaynaklı olarak enerji yoğunluğunun düşük olduğu ve istenilen yapıların oluşturulamadığı belirlenmiştir.

İkinci olarak enerji yoğunluğunu artırmak adına paralel plaka yerine bakır tel prob olarak kullanılmaya karar verilmiştir. Yapılan çalışmalarda bakır telinde istenilen enerji yoğunluğuna ulaşmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca bakır telin sıcaklığının yükseldiği ve işleme yapmaya elverişli olmadığını gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde enerji yoğunluğunun artırılması için noktasal prob sisteminin kullanılmasına ve prob malzemesinin de ısıya dayanıklı olmasına karar verilmiştir. Bu noktadan sonra çalışmalara sivri uçlu tungsten prob çifti ile devam edilmiştir.

Prob seçimi tamamlandıktan sonra mikro yapı oluşturma çalışmalarına başlanmıştır. İşleme yapılacak cam numuneleri tungsten problemler arasına yerleştirdikten sonra anahtar yardımı ile numune üzerine ark uygulanmıştır. Analog akım ölçerden akım değeri gözle takip edilmiş, ani artış olduğunda anahtar ile sistem kapatılmıştır. Bu çalışmada sistemin cam üzerinde delik açtığı mikroskop yardımıyla belirlenmiştir. Cam üzerinde delik açılmakla beraber, yüksek enerjiye uzun süre maruz kalmaktan ötürü camda çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir.

Bu aşamadan sonra aynı çalışma payreks ve kuvars malzeme üzerinde tekrarlanmış, bu malzemeler üzerinde de mikro delikler oluşturulmuştur. Payreks ve kuvars malzemeler cama göre daha dayanıklı malzemeler olmasından ötürü çatlaklar meydana gelmemiş olsa da delik çevresinde istenmeyen yapılar oluştuğunu belirlenmiştir.

Mikro delik oluşturma işlemi başarıldıktan sonra cam ve payreks malzemeler üzerinde mikro kanal çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda cam malzemelerin çatladığı, payreks malzeme üzerinde ise yapı oluşturulabileceğini gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalar ışığında, plazma ark boşalım yöntemi ile cam, payreks ve kuvars gibi malzemeler üzerinde işlem yapılabileceği kanıtlanmıştır. Bu noktadan sonra çalışmalar, kontrollü mikro yapılar oluşturma üzerine yoğunlaştırılmıştır.

Sistemin uyguladığı frekansın ve doluluk oranının ayarlanabildiği ve uygulanan akımın ölçülebildiği mikro denetleyici tabanlı kontrol kartı üretilmiştir. Bu kart sayesinde tüm işlemler, bilgisayar üzerinden otomatik olarak yapılabilir hale getirilmiştir.

İlk denemelerde sistemin akımı belli bir seviyenin üzerine çıktığı anda sistemi durduran bir algoritma ile çalışmalar başlamıştır. Analog kontrole göre gayet başarılı bir yöntem olsa da uygulanacak akımın her numune ve kalınlık için farklı değerlerde ayarlanmasının gerekmesi ve enerji veriminin düşük olması sebebiyle farklı algoritmalar üzerinde çalışmalara başlanmıştır.

Bunun için sisteme uygulanan frekans ve çekilen akım, delindikten sonra çekilen akım grafiği oluşturulmuştur. Bu noktada bazı frekans değerlerinin havaya nazaran rezonans frekansına daha yakın olduğu keşfedilmiştir. Bu noktadan sonra enerjinin verimli şekilde kullanılması, numune çeşidi ve kalınlığından bağımsız olarak işlem yapılabilmesi adına akım algılama algoritması geliştirilmiştir.

Bu algoritma, sistemi rezonans frekansına yakın bir noktada çalıştırarak hem çok hızlı bir şekilde delik delinmesine, hem de delik delindiği anda akımın düşmesi sebebiyle çok hızlı kontrol edilmesine olanak sağlamıştır.

Akım algılama algoritması ile cam üzerinde delik çalışmasında mükemmel yakın yapılar oluşturulduktan sonra aynı sistem payreks ve kuvars malzemeler üzerinde de gerçekleştirerek aynı mükemmel sonuçlara ulaşılmıştır.

Çalışmanın bu kısmından sonra, oluşturulan deliğin yapısını ve delik delme süresini etkileyecek faktörler üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak delik delindikten sonra belirli sürelerde beklenerek gözlemlerde bulunulmuştur. Uygulama süresi arttıkça delik çapının arttığı, belli süreden sonra ise sistemde çatlaklar oluştuğu belirlenmiştir.

Daha sonra problemler arasındaki mesafeleri değiştirerek denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın neticesinde problemler arasındaki mesafe arttıkça delik çapının büyüdüğü, delik delme süresinin arttığı ve camda çatlaklar oluştuğu belirlenmiştir.

Daha sonraki çalışmalarda uygulanan frekans sabit tutularak doluluk oranı değiştirilmiştir. Doluluk oranının delik çapında etkisi olmadığı sadece delik delme süresini etkilediğini belirlenmiştir.

Doluluk oranının etkisi gözlemlendikten sonra frekansın etkisini gözlemlemek için sabit doluluk oranında farklı frekanslı sinyaller uygulanmıştır. Çalışma neticesinde rezonans frekansına en uzak uygulama frekansı ile enerji verimliliğinin düştüğü, delme süresinin arttığı, bunun neticesinde de rezonans frekansına yakın uygulama frekansı seçilmesinin daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Bir sonraki çalışmada ise problemler arasındaki açı değerinin 180 dereceden farklı olduğu durumlardaki delik profillerini incelenmiştir. Problemler birbirine açılı olduğu durumlarda açılan deliğinde açılı olduğu belirlenmiştir. Bu sayede malzeme içerisinde farklı şekillerde yapı oluşturulabileceği kanıtlanmıştır.

Delik delme çalışmalarında ulaşılan başarının neticesinde sistemi tek eksen boyunca hareketli hale getirmek için adım motoru ve eksen sistemi kurulmuştur. Bu sistemi kontrol edebilmek adına kurulan elektronik devreye adım motoru kontrol sistemi entegre edilmiştir. Adım motoru mikro adım tekniği ile kontrol edilerek, bir tur yaklaşık 6400 mikro adıma bölünmüştür.

Sistem hareketli hale geldikten sonra birbirlerine yakın mesafelerde delikler açılarak sonuçlar gözlemlenmiştir. Yaklaşık 150 µm çapta delikler açabildiği ve bu deliklerin yaklaşık 340 µm aralıklarla oluşturabildiği belirlenmiştir. Bu sayede 1mm²'lik bir alanda 9 adet mikro delik oluşturabilecektir.

Delik delme ve hareket sisteminde yapılan çalışmaların sonuçlarının başarılı olması neticesinde kontrollü olarak mikro kanal çalışması yapmaya karar verilmiştir. Önceki çalışmalardan edinilen tecrübe ile cam malzemenin mikro kanal için çok uygun olmadığı, payreks malzemenin daha uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Mikro kanal açmak için delik açıldıktan sonra sistem hareket ettirilmiştir. Sistemin yavaş ve hızlı hareketlerdeki tepkilerini gözlemlenmiştir. Sistem yavaş olduğunda oluşan yapılarda bozulmalar olduğu, sistem hızlı olduğunda ise düzgün yapıların oluşmadığını gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonunda optimum hız değerinde başarılı mikro kanallar oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmalardan edinilen tecrübelerin neticesinde, bundan sonra ilerleyen çalışmalarda bazı noktalara dikkat edilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Bunların ilki sistemin 2 eksenli hareket sistemine entegre edilmesidir. Bilindiği gibi mikro yapılar oluşturmak için malzemenin her bölgesinde işlem yapılması gerekmektedir. Sistemi 2 eksene çevirerek istenilen her türlü yapı oluşturulabilecektir.

Bunun haricinde numunenin sabit durması için vakumlu tabla ya da buna benzer çözümler üretilmelidir. Özellikle hareket sisteminin sonuçları incelendiğinde, numunenin az da olsa kaydığı gözlenmiştir.

Sistemin dış ortam etkilerinden etkilenmemesi için kapalı bir sistem tasarlanması da sistem performansını etkileyecektir.

Delik çapının küçültülmesi için tungsten prob uçlarının olabildiğince küçük hale getirilmesi gerekmektedir. Bu noktada daha ince problemlerin oluşturulabilmesi için yeni teknikler uygulanmalıdır. Bu teknikleri iki ana başlıkta değerlendirebiliriz. Bunlardan ilki prob ucunu mekanik yöntemlerle inceltmek; diğeri ise prob ucuna ekleme yaparak yeni prob ucu oluşturmaktır. İlk teknikte bilgisayar kontrollü işleme merkezlerinde(CNC) prob uçları mekanik olarak işlenerek daha ince uçlar meydana getirilmelidir. İkinci teknik ise temiz oda koşullarında mikro metre kalınlığındaki yapıların tungsten prob ucuna eklenerek mikro yapıda problemler oluşturulmasıdır. İlk teknikte tungsten probun inceletilebileceği limit kritik önem taşımaktadır. Aksi durumda prob ucu kırılabilir. İkinci teknikte ise mikro yapıdaki probun yüksek sıcaklıklara dayanması gerektiğinde farklı alaşımlar üzerinde çalışılması gerekmektedir.

Bu çalışmada toplam üç farklı malzeme kullanılmıştır(cam, payreks, kuvars). İlerideki çalışmalarda malzeme çeşitliliği artırılarak farklı numuneler üzerinde denemeler gerçekleştirilmelidir. Bu noktada da dikkat edilmesi gereken konu denenecek malzemenin yalıtkan olması ve ısıya dayanabilmesidir. İletken malzemeler üzerinde ark yoğunluğu oluşturulamadığı için kullanılan sistemle işleme yapmak mümkün olmamaktadır. Yalıtkan malzeme seçiminde ısıya dayanıklı malzeme kullanılması gerekmektedir. Tungsten problemler ve kontrol devresi sayesinde çok küçük alanlara yüksek güç aktarımı sağlanmaktadır. Bu sayede bölgesel olarak yüksek sıcaklıklar ortaya çıkmaktadır. İşlem görececek numune yüksek sıcaklıklara dayanabilecek malzemedan seçilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak yapılan bu çalışma neticesinde ucuz ve hızlı bir şekilde işlenmesi çok zor olan cam, payreks ve kuvars gibi malzemeler üzerinde çok düzgün şekilli mikro yapılar oluşturulmuştur. Aynı anda çok küçük alanlarda birden fazla mikro delik açılarak çip üzerinde laboratuvar (lab on a chip) çalışmalarında kullanılmak üzere yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bununla beraber cam üzerinde eğik eksenli delik delme çalışması var olan mikro işleme tekniklerinin hiçbirisiyle gerçekleştirilememektedir. Bu sebeple mikro işleme teknolojisine yepyeni bir bakış açısı getirilmiştir. Mikro kanal uygulamasıyla payreks malzeme üzerinde ilk defa mikro kanal oluşturulmuştur. Bu sayede payreks gibi fiziksel olarak sağlam, kimyasal olarak inert bir malzemenin mikro kanal çalışmalarında kullanılabilir hale getirilmesi sağlanmıştır.

Bu alışma neticesinde ortaya çıkan; fiyat olarak ucuz, hızlı ve başka teknolojilerle yapılması mümkün olmayan çalışmaların yapılmasını sağlayan sistem için patent başvurusu gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Y. Hirata et al., “Micro-arc discharge phenomena,” *Vacuum*, vol. 59, pp. 142-151, 2000
- [2] A. Bogaerts et al., “Gas discharge plasmas and their applications,” *Spectrochimica Acta Part B*, vol 57, pp. 609–658,2002
- [3] “IBS Thin Film Coatings,”
<https://www.perkinsprecision.com/ibs-thin-film-coatings-cid-1>, Aralık 2019
- [4] E. Restrepo-Parra et al., “ZnO thin films growth by pulsed vacuum arc discharge,” *Surface & Coatings Technology*, vol. 204, pp. 271–276, 2009
- [5] Y. Cui et al., “Porous nanostructured ZrO₂ coatings prepared by plasma spraying,” *Surface & Coatings Technology*, vol. 363, pp.112–119, 2019
- [6] C. Boudot et al., “Vacuum arc plasma deposition of thin titanium dioxide films on silicone elastomer as a functional coating for medical applications,” *Materials Science and Engineering C*, vol. 74, pp. 508–514, 2017
- [7] K. Yukimura et al., “Deposition of amorphous carbon using a shunting arc discharge,” *Surface and Coatings Technology*, vol. 174 –175, pp. 1187–1190, 2003
- [8] K. Yukimura et al., “High deposition rate of amorphous carbon film using a magneticallydriven shunting arc discharge,” *Surface & Coatings Technology*, vol. 196, pp. 203– 206, 2005
- [9] R. Chang et al., “Spark plasma coating of tungsten-coated SiC particles,” *Powder Technology*, vol. 310, pp. 282–286, 2017
- [10] V. Ambardekar et al., “Atmospheric plasma sprayed SnO₂ coating for ethanol detection,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 752, pp. 440-447, 2018

- [11] Q. Trinha et al., “Deposition of superhydrophobic coatings on glass substrates from hexamethyldisiloxane using a kHz-powered plasma jet,” *Surface & Coatings Technology*, vol. 361, pp. 377–385, 2019
- [12] A. Manakhov et al., “Carboxyl-anhydride and amine plasma coating of PCL nanofibers to improve their bioactivity,” *Materials and Design*, vol. 132, pp. 257–265, 2017
- [13] K. Bobzin et al., “Development of a FeCrMnBC-based economical wear and corrosion resistant coating,” *Surface & Coatings Technology*, vol. 362, pp. 12–20, 2019
- [14] G. K G et al., “Improvement of corrosion resistance of AISI 410 martensitic steel using plasma coating,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, pp. 7622–7627, 2018
- [15] C. Wanga et al., “Oxidation and ablation protection of plasma sprayed LaB₆-MoSi₂-ZrB₂ coating for carbon/carbon composites,” *Corrosion Science*, vol. 151 pp. 57–68, 2019
- [16] A. Islam et al., “Exceptionally high fracture toughness of carbon nanotube reinforced plasma sprayed lanthanum zirconate coatings,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 777 pp. 1133-1144, 2019
- [17] F. Sajedi Alvar et al., “Al₂O₃-TiB₂ nanocomposite coating deposition on Titanium by Air Plasma Spraying,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, pp. 15739–15743, 2018
- [18] H. Chen et al., “TiC/Ti₃AlC₂-Co plasma-sprayed coatings with excellent high-temperature tribological properties,” *Ceramics International*, vol. 44, pp. 22520–22528, 2018
- [19] L. Cao et al., “Plasma spray of biofunctional (Mg,Sr)-substituted hydroxyapatite coatings for titanium alloy implants,” *Journal of Materials Science & Technology*, vol. 35, pp. 719–726, 2019

- [20] S. Priyadershini et al., “Remarkable improvement in tribological behavior of plasma sprayed carbon nanotube and graphene nanoplatelets hybrid reinforced alumina nano composite coating,” *Ceramics International*, vol. 45, pp. 5768–5778, 2019
- [21] “Freeze Drying of Nanoparticles,”
<https://www.millrocktech.com/applications/nanoparticles/> , Aralık 2019
- [22] Z. Wei et al., “Efficient preparation for Ni nanopowders by anodic arc plasma,” *Materials Letters*, vol. 60, pp. 766–770, 2006
- [23] L. Shen et al., “Synthesis of nanocrystalline CrN by arc discharge,” *Materials Letters*, vol. 62, pp. 1469–1471, 2008
- [24] H. Lange et al., “Nanocarbon production by arc discharge in water,” *Carbon*, vol. 41, pp. 1617–1623, 2003
- [25] L. Li et al., “Synthesis of nano-AlN powders from Al wire by arc plasma at atmospheric pressure,” *Ceramics International*, vol. 44, pp. 21810–21815, 2018
- [26] J. Lee, “Synthesis of Mn–Al alloy nanoparticles by plasma arc discharge,” *Thin Solid Films*, vol. 519, pp. 81–85, 2010
- [27] S. Kim et al., “Ultra-small platinum and gold nanoparticles by arc plasma deposition,” *Applied Surface Science*, vol. 297, pp. 52–58, 2014
- [28] M. Kassae et al., “Diverse tungsten nanoparticles via arc discharge,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 12, pp. 85–91, 2010
- [29] A. Imran et al., “Carbon Nanotubes for Solar Energy (1/2),”
<https://medium.com/@alishbai734/carbon-nanotubes-for-solar-energy-1-2-f91d899097ac>, Aralık 2019
- [30] K. Maria et al., “Synthesis of single-walled carbon nanotubes by low-frequency bipolar pulsed arc discharge method,” *Vacuum*, vol. 113, pp. 11–18, 2015

- [31] Y. Su et al., "Low-cost synthesis of single-walled carbon nanotubes by low-pressure air arc discharge," *Materials Research Bulletin*, vol. 50, pp. 23–25, 2014
- [32] H. Zeng et al., "Synthesis of various forms of carbon nanotubes by ac arc discharge," *Carbon*, vol. 36, no. 3, pp. 259-261, 1998
- [33] X. Song et al., "Multi-walled carbon nanotubes produced by hydrogen DC arc discharge at elevated environment temperature," *Materials Letters*, vol. 61, pp. 389–391, 2007
- [34] T. Sagara et al., "Growth of linear Ni-filled carbon nanotubes by local arc discharge in liquid ethanol," *Applied Surface Science*, vol. 292, pp. 39–43, 2014
- [35] T. Okada et al., "Conversion of toluene into carbon nanotubes using arc discharge plasmas in solution," *Thin Solid Films*, vol. 515, pp. 4262–4265, 2007
- [36] Y. Su et al., "Synthesis of single-walled carbon nanotubes with selective diameter distributions using DC arc discharge under CO mixed atmosphere," *Applied Surface Science*, vol. 257, pp. 3123–3127, 2011
- [37] H. Kim et al., "Preparation of carbon nanotubes by DC arc discharge process under reduced pressure in an air atmosphere," *Materials Science and Engineering*, vol. B 133, pp. 241–244, 2006
- [38] S. Lee et al., "Large scale synthesis of carbon nanotubes by plasma rotating arc discharge technique," *Diamond and Related Materials*, vol. 11, pp. 914–917, 2002
- [39] L. Eykens et al., "Atmospheric plasma coatings for membrane distillation," *Journal of Membrane Science*, vol. 554, pp. 175–183, 2018
- [40] B. Jiang et al., "Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation," *Chemical Engineering Journal*, vol. 236, pp. 348–368, 2014

- [41] K. Pochner et al., “Atmospheric pressure gas discharges for surface treatment,” *Surface and Coatings Technology*, vol. 74-75, pp. 394-398, 1995
- [42] T. Hsieh et al., “Three-dimensional microstructured tissue scaffolds fabricated by two-photon laser scanning photolithography,” *Biomaterials*, vol. 31, pp. 7648-7652, 2010
- [43] C. Geng et al., “3D nanohole arrays generated by spherical-lens photolithography,” *Materials Letters*, vol. 209, pp. 178–181, 2017
- [44] M. Wu et al., “Generation of submicrometer structures by photolithography using arrays of spherical microlenses,” *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 265, pp. 304–309, 2003
- [45] K. Keem et al., “A fabrication technique for top-gate ZnO nanowire field-effect transistors by a photolithography process,” *Microelectronic Engineering*, vol. 84, pp. 1622–1626, 2007
- [46] T. Huong Au et al., “Free-floating magnetic microstructures by mask photolithography,” *Physica*, vol. B 532, pp. 59–63, 2018
- [47] N. Pratiwi et al., “Fabrication of Porous Silicon using Photolithography and Reactive Ion Etching (RIE),” *Materials Today: Proceedings*, vol. 13, pp. 92–96, 2019
- [48] C. Zamponi et al., “Structuring of sputtered superelastic NiTi thin films by photolithography and etching,” *Materials Science and Engineering A*, vol. 481–482, pp. 623–625, 2008
- [49] E. Makino et al., “Micromachining of fine ceramics by photolithography,” *Sensors and Actuators*, vol. 75, pp. 278–288, 1999
- [50] P. Girault et al., “Porous silicon micro-resonator implemented by standard photolithography process for sensing application,” *Optical Materials*, vol. 72, pp. 596-601, 2017

- [51] L. Wu et al., “Silicon nano crystal photo voltaic device fabricated via photolithography and its current–voltage temperature dependence,” *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 128, pp. 435–440, 2014
- [52] B. Cho et al., “The application of conventional photolithography to microscale organic resistive memory devices,” *Current Applied Physics*, vol. 12, pp. 940-944, 2012
- [53] F. Benyettou et al., “Contacting of Si/SiO₂ core/shell nanowires using laser photolithography,” *Energy Procedia*, vol. 119, pp. 131-138, 2017
- [54] S. Gorelick et al., “Fabrication of microfluidic devices using MeV ion beam Programmable Proximity Aperture Lithography (PPAL),” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, vol. B 266, pp. 2461–2465, 2008
- [55] M. Varašanec et al., “Creation of microstructures using heavy ion beam lithography,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, vol. B 269, pp. 2413–2416, 2011
- [56] F. Picollo et al., “Realization of a diamond based high density multi electrode array by means of Deep Ion Beam Lithography,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, vol. B 348, pp. 199–202, 2015
- [57] F. Picollo et al., “Fabrication of monolithic microfluidic channels in diamond with ion beam lithography,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, vol. B 404, pp. 193–197, 2017
- [58] “Laser Micromachining Workstation For Laboratory FemtoLAB,”
<https://www.wophotonics.com/product/laser-micromachining-workstation-femtolab/>, Ocak 2020
- [59] “Laser Micromachining,”
<https://3d-micromac.com/laser-micromachining/applications/fsla/fsla-2-2/>, Ocak 2020

- [60] K. Paula et al., “Femtosecond laser micromachining of polylactic acid/graphene composites for designing interdigitated microelectrodes for sensor applications,” *Optics and Laser Technology*, vol. 101, pp. 74–79, 2018
- [61] W. Zhou et al., “Laser direct micromilling of copper-based bioelectrode with surface microstructure array,” *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 73, pp. 7–15, 2015
- [62] K. Mandal et al., “Experimental investigation on laser micro-machining of Al 7075 Alloy,” *Optics and Laser Technology* vol. 107, pp. 260–267, 2018
- [63] S. Matsusaka et al., “Micro-machinability of silver–sodium ion-exchanged glass by UV nanosecond laser,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 202, pp. 514–520, 2008
- [64] V. Tangwarodomnukun et al., “Laser micromachining of silicon in air and ice layer,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 36, pp. 197–208, 2018
- [65] H. Zhu et al., “An experimental study of micro-machining of hydroxyapatite using an ultrashort picosecond laser,” *Precision Engineering*, vol. 54, pp. 154–162, 2018
- [66] “Micromachining,”
<https://engineering.purdue.edu/ManLab/micromachine.html>, Aralık 2019
- [67] Doug Picklyk, “The Big Picture of Micromachining,”
<https://www.canadianmetalworking.com/canadianmetalworking/article/metalworking/the-big-picture-of-micromachining>, Aralık 2019
- [68] M. Taka’cs et al., “Micromilling of metallic materials,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 138, pp. 152–155, 2003
- [69] A. Golshan et al., “Ultraprecision Machining of Silicon Wafer by Micromilling Process,” *Procedia Engineering*, vol 184, pp. 192 – 196, 2017

- [70] K. Xu et al., "Vibration assisted wire electrochemical micro machining of array micro tools," *Precision Engineering*, vol. 47, pp. 487–497, 2017
- [71] Y. Ye et al., "Electrochemical Micromachining under Mechanical Motion Mode," *Electrochimica Acta*, vol. 183, pp. 3–7, 2015
- [72] C. Gao et al., "Double-pulsed wire electrochemical micro-machining of type-304 stainless steel," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 266, pp. 381–387, 2019
- [73] X. Qi et al., "Investigation of electrochemical micromachining of tungsten microtools," *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, vol. 71, pp. 307–314, 2018
- [74] S. Kuriakose et al., "Machinability study of Zr-Cu-Ti metallic glass by micro hole drilling using micro-USM," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 240, pp. 42–51, 2017
- [75] A. Sun et al., "Metal micro-hole formation without recast layer by laser machining and electrochemical machining," *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, vol. 171, pp. 694–705, 2018
- [76] J. He et al., "Experiments and simulations of micro-hole manufacturing by electrophoresis-assisted micro-ultrasonic machining," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 264, pp. 10–20, 2019
- [77] Z. Mu et al., "Laser cooling arc plasma effect in laser-arc hybrid welding of 316L stainless steel," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 132, pp. 861–870, 2019
- [78] S. Hwang et al., "Fabrication of nanopatterned metal sheet using photolithography and electroplating," *Thin Solid Films*, vol. 546, pp. 132–135, 2013

- [79] T. Limongi et al., “Photolithography and micromolding techniques for the realization of 3D polycaprolactone scaffolds for tissue engineering applications,” *Microelectronic Engineering*, vol. 141, pp. 135–139, 2015
- [80] F. Khan. “DC-DC and AC-DC Zeta and Buck Converter Design and Analysis for High Efficiency Application,”
https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-a-step-down-converter-b-step-up-converter-a-b_fig41_326550662, Aralık 2019
- [81] “Voltage Multiplier,”
<https://www.electronics-tutorials.ws/blog/voltage-multiplier-circuit.html>, Aralık 2019
- [82] M. Kamil, ” Switch Mode Power Supply (SMPS) Topologies (Part I),”
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/01114a.pdf> , Aralık 2019
- [83] “PIC18F2431,”
<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F2431>, Aralık 2019
- [84] S. Evanczuk , “Current-Sense Amplifiers Handle High-Side Measurement in Energy-Harvesting Designs,”
<https://www.digikey.ro/en/articles/techzone/2014/feb/current-sense-amplifiers-handle-high-side-measurement-in-energy-harvesting-designs>, Aralık 2019
- [85] “MAGNETIC CURRENT SENSING,”
https://aerospace.honeywell.com/content/dam/aero/en-us/documents/learn/products/sensors/application-notes/AN209_Magnetic_Current_Sensing.pdf, Aralık 2019
- [86] “ACS711LC Current Sensor Carrier -12.5A to +12.5A,”
<https://www.pololu.com/product/2197/pictures> , Aralık 2019

- [87] “MCP2200,”
<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/en546923> , Aralık 2019
- [88] “DRV8825,”
<https://boyut3.com/elektronik/23-drv8825-motor-sueruecue.html> , Aralık 2019
- [89] C. Koçum et al., “Design and construction of uniform glow discharge plasma system operating under atmospheric condition,” *Review of Scientific Instruments*, vol.78, 2007
- [90] “JFET MOSFET,”
<https://320volt.com/jfet-mosfet/> , Aralık 2019
- [91] “Enhanced PWM Full-Bridge Mode,”
<https://microchipdeveloper.com/8bit:epwmfull>, Aralık 2019
- [92] “Freewheeling or Flyback Diode Working and Their Functions,”
<https://www.elprocus.com/freewheeling-or-flyback-diode-circuit-working-functions/> , Aralık 2019
- [93] “Pulse & Relay Outputs,”
<https://www.apcs.net.au/find/outputpulse.html>, Aralık 2019
- [94] “TLP250,”
https://cdn.ozdisan.com/ETicaret_Dosya/337101_2020711.pdf, Aralık 2019
- [95] “Maximum Power Transfer Theorem (MPTT),”
<https://www.electronicshub.org/maximum-power-transfer-theorem/> , Aralık 2019

EKLER

EK 1: GÖMÜLÜ SİSTEM YAZILIMI

```
#include <18F2431.h>

#device adc=10

#fuses h4,NOWDT,NOMCLR,NOLVP

#include <stdlib.h>

#use delay(clock=4000000)

#use rs232 (baud=38400,UART,errors)

#byte PIR1 = 0xF9E

#byte PTCON0 = 0xF7F

#byte PTCON1 = 0xF7E

#bit PTEN =PTCON1.7

#byte PWMCON0 = 0xF6F

#byte PWMCON1 = 0xF6E

#bit UDIS =PWMCON1.1

#byte PTMRL = 0xF7D

#byte PTMRH = 0xF7C

#byte PTPERL = 0xF7B

#byte PTPERH = 0xF7A

#byte PDC0L = 0xF79

#byte PDC0H = 0xF78

#byte PDC1L =0xF77

#byte PDC1H =0xF76

#byte DTCON = 0xF6D

#byte OVDCOND = 0xF6B

#byte OVDCONS = 0xF6A

#bit POVD0=OVDCOND.0

#bit POVD1=OVDCOND.1

#bit POVD2=OVDCOND.2

#bit RCIF=PIR1.5

#define dir pin_c3
```

```

#define enab pin_c2

#define step pin_c1

#define m1 pin_a2

#define m2 pin_a3

#define m3 pin_a4

unsigned int16 dutycycle=0, period=99, frekans, i,oran=0, oranr=0, dutycycle1=0;
unsigned int16 dutycycle2=0,xd=0,akim_o;

char klavye[50],s,k;

int1 t=0,m=0,dir1=0;

/* PWM UNITESI AKTIFLESTIRME*/

void pwm_init()

{
PTEN=0;

PTCON0=0;// PRESCALE VE FREE RUNNING MODE AYARLANDI

PTCON1=0b00000000;

OVDCONS=0;

PWMCON0=0B00110000;//COMPLEMETRY MODE VE PWM LER ENABLE

PTPERL=0;

PTPERH=0;

PDC0H=0;

PDC0L=0;

PDC1H=0;

PDC1L=0;

DTCON=0b00010100;

PTEN=1;

}

/*STEP ADIM ATMA*/

void adim_at()

{

if(dir1==1)

output_high(dir);

```

```

else
output_low(dir);
output_high(step);
delay_us(500);
output_low(step);
delay_us(250);
}
/*FREKANS AYARLAMA*/
void frekans_ayarlama(unsigned int16 frekan)
{
UDIS=1;//DUTY UPDATE DISABLE
period=10000/frekan;
duty_cycle1=(period*oran)/5;
duty_cycle2=(period*(20-oran))/5;
PTPERL=make8(period,0);
PTPERH=make8(period,1);
PDC0H=make8(duty_cycle1,1);
PDC0L=make8(duty_cycle1,0);
PDC1H=make8(duty_cycle2,1);
PDC1L=make8(duty_cycle2,0);
UDIS=0;//DUTY UPDATE ENABLE
}
/*DUTY AYARLAMA*/
void duty_ayarlama(unsigned int16 oranrs)
{
UDIS=1;//DUTY UPDATE DISABLE
oran=oranrs/5;
duty_cycle1=(period*oran)/5;
duty_cycle2=(period*(20-oran))/5;
PDC0H=make8(duty_cycle1,1);

```

```

PDC0L=make8(duty_cycle1,0);
PDC1H=make8(duty_cycle2,1);
PDC1L=make8(duty_cycle2,0);
UDIS=0;//DUTY UPDATE ENABLE
}
/*BILGISAYAR HABERLESME KESMESI*/
#int_rda
void serihaberlesme_kesmesi ()
{
    disable_interrupts(int_rda);
    s=getch();
    t=1;
    enable_interrupts(int_rda);
}
void main()
{
    /*ADC BIRIM AYARLAMALARI*/
    SETUP_ADC_PORTS(sAN0|VSS_VDD);
    SETUP_ADC(ADC_CLOCK_DIV_64);
    output_b(0);
    pwm_init();
    output_high(m1);
    output_low(m2);
    output_low(m3);
    set_adc_channel(0);
    delay_ms(1);
    frekans_ayarlama(20);
    duty_ayarlama(45);
    PWMCON0=0;
    output_high(enab);
}

```



```
dir1=0;
while(true)
{
k=getch();
PWMCON0=0B00110000;
akim_o=0;
while(akim_o<550)
{
akim_o=0;
for(i=0;i<5;i++)
akim_o+=read_adc();
akim_o/=5;
}
/* DELIK DELINME ANI ALGILANMASI*/
while(akim_o>520)
{
akim_o=0;
for(i=0;i<5;i++)
akim_o+=read_adc();
akim_o/=5;
}
PWMCON0=0;//CIKISLARIN DURDURULMASI
}
}
```