T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYASAL PÜSKÜRTME YÖNTEMIYLE HOMOJENLIĞI ARTTIRACAK SISLEŞTIRICI/PÜSKÜRTME ODACIK SISTEMININ TASARLANMASI VE GELİŞTİRİLMESİ

Melis ÖZŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Fizik Programı

Danışman

Prof. Dr. Orhan İÇELLİ

Temmuz, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYASAL PÜSKÜRTME YÖNTEMİYLE HOMOJENLİĞİ ARTTIRACAK SİSLEŞTİRİCİ/PÜSKÜRTME ODACIK SİSTEMİNİN TASARLANMASI VE GELİŞTİRİLMESİ

Melis ÖZŞAHİN tarafından hazırlanan tez çalışması 22.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Fizik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Orhan İÇELLİ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Orhan İÇELLİ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof.Dr. KADİR ESMER, Üye
Marmara Üniversitesi _____

Doç. Dr. Zeynep G. ÖZDEMİR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Orhan İÇELLİ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kimyasal Püskürtme Yöntemiyle Homojenliği Arttıracak Sisleştirici/Püskürtme Odacık Sisteminin Tasarlanması ve Geliştirilmesi" başlıklı çalışmada diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Melis ÖZŞAHİN

İmza

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamam sırasında bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Orhan İÇELLİ' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında özveriyle desteğini esirgemeyen bilgisi ile zenginleştiren çok değerli hocam Arş. Gör. Dr. Ayşe Evrim BULGURCUOĞLU'na, Arş. Gör. Dr. Mehmet KILIÇ'a ve Arş. Gör. Yaşar KARABUL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sistemin tasarlanması sürecinde çok değerli fikirleri ile sürecin tamamlanmasında gösterdiği emek için Prof. Dr. Sezgin BAKIRDERE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteği, bilgi ve deneyimini sabır ve özveri ile paylaşan, çalışmamda her zaman yanımda olan Arş. Gör. Ozan TOKER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak sabırla, özveriyle, sevgiyle bana destek veren her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Melis ÖZŞAHİN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vi

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ x

ÖZET xi

ABSTRACT xiii

1 Giriş 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 2

1.3 Hipotez 2

2 Kaplama ve Kaplama Yöntemleri 3

2.1 Kaplama nedir ? 3

2.2 Kaplama Yöntemleri 5

2.2.1 Döndürme ile Kaplama 7

2.2.2 Sprey Proliz Tekniği 10

3 Cihaz Tasarımı 17

3.1 Cihazın ana bileşenleri 17

3.1.1 Nebülizer 19

3.1.2. Peristaltik Pompa 20

3.1.3. Rezistans 22

3.1.4 Elektrik motoru 24

3.2 Cihaz bileşenlerinin bir araya getirilmesi 25

3.3 Cam üzerine CdO ince film uygulanması 25

4 Sonuç ve Öneriler **30**

4.1. Sonuç 30

4.2. Öneriler 31

Kaynakça **33**

Tezden Üretilmiş Yayınlar **37**

SİMGE LİSTESİ

cm^3	Santimetreküp
dk	Dakika
mm	Milimetre
Nm	Nanometre
pm	Pikometre
V	Volt
Zr	Zirkonyum
˚C	Santigrat Derece
µm	Mikrometre

KISALTMA LİSTESİ

AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
APCVD	Atmosferik Basınçta Kimyasal Buhar Biriktirme
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DC	Doğru Akım
FTO	Flor Katkılı Kalay Oksit
HP	Beygir Gücü
ITO	İndiyum-Kalay Oksit
IZO	İndiyum-Çinko Oksit
LPCVD	Düşük Basınçta Kimyasal Buhar Biriktirme
MBE	Moleküler Demet Epitaksi
MOSFET	Metal Oksit Alan Etkili Transistör
PECVD	Plazma ile Güçlendirilmiş Kimyasal Buhar Biriktirme
RFMS	Radyo Frekansı Magnetron Püskürtme
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SPT	Sprey Piroliz Tekniği

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kaplama Yöntemleri 6
Şekil 2.2 Döndürme ile Kaplama Cihazına Örnek 8
Şekil 2.3 Döndürme İle Kaplama Aşamaları 8
Şekil 2.4 Sprey Piroliz Genel Şema 11
Şekil 2.5 Sprey Piroliz Uygulama Örneği 12
Şekil 2.6 Sprey Piroliz Yönteminin Aşamaları 16
Şekil 3. 1 Cihaz Tasarımının İç Görünümü 18
Şekil 3. 2 Nebülizer Çeşitleri 20
Şekil 3. 3 Bu Çalışmada Kullanılan Nebülizerin Çalışma Prensibi 20
Şekil 3. 4 Peristaltik Pompa Çalışma Prensibi 21
Şekil 3. 5 Çalışmada Kullanılan Peristaltik Pompa 21
Şekil 3. 6 Çalışmada Kullanılan Rezistans 23
Şekil 3. 7 Taş Yünü İle Gerçekleştirilen Yalıtım 23
Şekil 3. 8 Çalışmada Kullanılan Elektrik Motoru 24
Şekil 3. 9 Çalışmada Kullanılan Ayarlanabilir Güç Kaynağı 25
Şekil 3. 10 Cihaz Tasarımının Genel Görünümü 26

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Sprey Piroliz Tekniği İçin Yaygın Olarak Kullanılan Atomizerlerin Karakteristik Özellikleri 15

ÖZET

Kimyasal Püskürtme Yöntemiyle Homojenliği Arttıracak Sisleştirici/Püskürtme Odacık Sisteminin Tasarlanması ve Geliştirilmesi

Melis ÖZŞAHİN

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Orhan İÇELLİ

Günümüzde, ince film kaplamanın birçok farklı sektör için ihtiyaç duyulan bir konu olması farklı kaplama tekniklerine yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları için büyük önem taşımaktadır. Literatürde birçok kaplama yöntemi yer almaktadır. Bu çalışmada, farklı yöntemlerde yer alan fonksiyonel teknikleri bir araya getiren bir cihaz tasarımı amaçlanmıştır.

Farklı kaplama malzemeleri için optimum sıcaklık değerlerinin de farklı olduğu bilinmektedir. Bu sebep ile farklı malzemelerle de verimli sonuç elde edebilmek amacıyla ayarlanabilir sıcaklık özelliği bu tezde ilk defa tasarıma eklenmiştir. Ayrıca, kaplanacak yüzeylerin yüksek devirlerde döndürülmesinin, kaplamanın homojenliğini arttıran bir unsur olduğu bilinmektedir. Tasarıma, bu tezde ilk defa ayarlanabilir dönme hızı özelliği eklenerek, farklı malzemeler için optimize edilebilmesi amaçlanmıştır. Kaplama malzemesinin kaplanacak yüzeye, nebule

edilerek küçük parçacıklar halinde gönderilebilmesi için tasarıma akış hızının isteğe göre ayarlanabileceği bir nebulizer eklenmiştir.

Bu tasarımla örnek bir uygulama yapılmış olup, nebule edilmiş kaplama malzemesinin özelliklerine ve amacına uygun olarak akış hızı, sıcaklık ve dönme hızı paremetrelerinin aynı anda optimize edilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelime: İnce film, nebulizer, döndürme ile kaplama, sprey piroliz

ABSTRACT

Design and Development Of Spray Chamber System to Improve Homogeneity by Chemical Spraying

Melis ÖZŞAHİN

Department of Physics

Master Thesis

Advisor: Prof. Dr. Orhan İÇELLİ

Thin film coating is a really important subject that is needed for many different sectors, research and development studies for different coating techniques are of great importance. There are many coating methods in the literature. In this study, it is aimed to design a device that combines high efficiency techniques in different methods.

First of all, it is known that the different optimum temperature values are needed for different coating materials. Because of that, the adjustable temperature feature is added to the design in order to achieve efficient results with different materials. It is also known that the rotation of the surfaces to be coated at high revolutions is a important factor that increases the homogeneity of the coating. The adjustable rotational speed feature is added to the design, allowing to work on different materials. Finally, a nebulizer is added to the design with adjustable flow rate. The coating material can be nebulized into small particles for the high homogeneity.

Briefly, the device provides a high-efficiency thin-film coating with combining the different techniques. The coating material in the form of nebulized particles can be

send to the surface at the optimized flow rate, temperature and rotational speed. Semiconductor materials, armor materials, glassy structures and various polymers can be coated using the device. For the different areas of application, the device can be developed with modifications to increase the coating efficiency of the device.

An example application has been made with this design and it has been shown that the flow rate, temperature and rotational speed parameters can be optimized simultaneously according to the properties and purpose of the coating material.

Keywords: Thin-film, nebulizer, spin coating, spray pyrolysis

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

Bir yüzey mühendisliği bakış açısı ile kaplama; korozyon ve aşınma koruması veya fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirmek üzere bir altlık (alt taş) üzerine biriken/biriktirilen bir malzeme tabakasıdır. Kaplama seçimini etkileyen faktörler arasında malzemenin kullanım amacı, kaplanan malzeme ile alt tabaka malzemesi uyumluluğu, bileşen şekli ve büyüklüğü ile maliyet sayılabilir [1].

Sadece birkaç nanometreden birkaç milimetreye kadar değişen kalınlıklarda birçok farklı tipte malzemeyi biriktirmek için çok çeşitli kaplama yöntemleri vardır. Farklı kaplama türleri birçok şekilde kategorize edilebilir. Yaygın bir yaklaşım, kaplama malzemesinin altlık yüzeyinde bırakılma şekline dayanır. Kaplama yöntemleri göz önüne alındığında; atomik biriktirme (deposition), partikül biriktirme, dökme kaplama veya boyama sayılabilir. Bu yöntemler, malzemede değiştirilmek istenen özelliklere göre farklılık göstermektedir. Malzemenin iletkenlik, yarı-iletkenlik veya yalıtkanlık gibi elektriksel özellikleri, manyetik özellikleri, mukavemeti, esnekliği vb. hemen hemen her fiziksel veya kimyasal özelliği değiştirebilecek bir kaplama yöntemi mevcuttur. Yüzyıllar önce soy metallerin ince filmleri cam ve seramik üzerine dekorasyon olarak kullanılmış olması, 1940"lı yıllardan itibaren ince film teknolojisi üzerine olan ilgiyi artırarak günümüze kadar taşımıştır. Mikro ve nano yapılı optoelektronik malzeme endüstrisinin temelini oluşturan, teknolojik ve bilimsel araştırmalarda önemli bir yer tutan ince filmler, son zamanlarda en çok çalışılan güncel araştırma konularından biridir. İnce filmler, farklı üretim teknikleri kullanılarak kaplanacak malzemenin atomlarının ya da moleküllerinin, filmi destekleyerek filmin oluşumuna yardımcı olan bir taban üzerine dizilmesi ile ince bir tabaka halinde oluşturulan ve kalınlıklıkları genel olarak 1 μm "nin altında olan malzemelerdir [2-3].

1.2 Tezin Amacı

Bilindiği üzere yüzyıllardır kullanılan birçok farklı kaplama yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler, kaplama malzemesine, kaplanacak olan yüzey türüne, elde edilmek istenen özelliklere göre farklı sıcaklıklar, farklı basınçlar veya vakum ortamı gibi farklı şartlar altında gerçekleştirilmektedir. Sıcaklık, kaplamada en önemli parametrelerden biridir. Kaplanacak olan yüzeyin döndürülmesi ise homojenliği arttıran bir faktördür. Kaplama malzemesinin bir nebulizer yardımıyla küçük parçacıklar haline getirilerek yüzeye gönderilmesi de yine verimi arttıran bir özelliktir. Tüm bu parametrelerin kontrol edilebildiği bir cihaz tasarımı, bu çalışmanın asıl amacıdır. Sprey proliz yöntemi, Spin kaplama (spin coating) gibi birkaç farklı yöntemde kullanılan teknikleri bir araya getiren, uygun maliyetli, kullanımı kolay ve geniş malzeme yelpazesinde çalışılabilecek bir cihaz tasarımı amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Birçok farklı kaplama malzemesinin kullanılabilir olması açısından istenilen sıcaklık ve dönme hız ayarının yapılabilmesi etkili parametrelerdendir. Kaplanacak yüzeyin dönme hız ayarı sayesinde daha homojen ve istenilen incelikle kaplama yapılabilmesi, geniş sıcaklık aralığın da (600˚C ye kadar) çalışılabilmesi ise birçok farklı kaplama malzemesinin, bu cihaz ile çalışabilmesine olanak sağlayacağı düşülmektedir. Nebulizer yardımıyla sisleştirilen malzemeler çok küçük parçacıklar halinde yüzeye gönderilerek birçok farklı avantajı bulunan nano kaplamaların da cihaz ile yapılabilmesi hedeflenmiştir. İstenen kalınlıkta ince film üretebilmek için dönme hızı, kaplama malzemesi ve kaplama malzemesinin püskürtme hız ayarları önemlidir ve bu ayarların optimizasyonu yapılarak istenilen kalınlıkta ince film elde edilebilinir. Özetle, farklı tekniklerde yer alan özellikleri bir araya getirerek uygun maliyetli, daha homojen ve geniş malzeme çeşitliliğine sahip kaplama çalışmaları için cihaz tasarımı, bu tezin asıl hedefidir.

2
Kaplama ve Kaplama Yöntemleri

2.1 Kaplama nedir ?

Bir kaplama, genellikle altlık (alt taş) olarak adlandırılan bir nesnenin yüzeyine istenilen malzemenin uygulanmasıdır. Kaplamaların amaçları çok çeşitli olabilir. Kaplamanın uygulanmasının amacı dekoratif, işlevsel(maliyeti düşürme, malzeme ömrünü arttırma, fiziksel veya kimyasal özelliklerini iyileştirme vb.) veya her ikisi de olabilir. Kaplama malzemesi, alttaşı tamamen de kaplayabilir veya yalnızca alttaşın bazı parçalarını kaplayabilir [1]. Boyama, dekoratif kaplamaya örnek olarak düşünülebilir. Bu tür bir kaplama, malzemenin görünümü dışında hiçbir özelliğini etkilemez, bazı durumlarda aşınmayı geciktirici özellikli boyalar veya vernikler kullanılarak dayanıklılığına da katkı sağlamak amacı ile uygulanabilir. Diğer yandan, fonksiyonel kaplama için düşünülecek olursa, yapıştırma, ıslanabilirlik, iletkenlik, zırhlama, korozyon direnci veya aşınma direnci gibi alttaşın yüzey özelliklerini değiştirmek için uygulanan kaplamalar fonksiyonel kaplamalara örnek olarak verilebilir [2, 3]. Örnek olarak yarı iletken cihaz imalatı için kaplama uygulamaları ile manyetik bir cevap veya elektriksel iletkenlik gibi tamamen yeni bir özellik eklenebilir [4]. Bu çalışmada fonksiyonel kaplama yöntemleri üzerinde durulmuştur ve farklı teknikleri bir araya getiren bir cihaz tasarımı hedeflenmiştir.

Tüm kaplama yöntemleri gözönüne alındığında, her birinin kullanılmasının ayrı ayrı sebepleri bulunmaktadır. Ek olarak, her bir yöntemin sahip olduğu avantajlar ve dezavantajlar vardır. Asıl önemli olan, üretilmek istenen malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri ve bunların hangi şartlar altında elde edilebileceğidir. Kaplamanın, yıllardır farklı farklı teknikler üzerinde çalışılan bir alan olmasıyla birlikte, günümüzde ve gelecekte de çalışılmaya devam edileceği açıktır. Bu sayede her geçen gün yeni, farklı bir bakış açısıyla tasarlanmış tekniklerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bu sayede de, benzer malzemelerden bambaşka özellikler gösteren malzemeler elde etmek mümkün olmaktadır [5-7].

İhtiyaçlar doğrultusunda üretilmeye çalışılan malzemelerin sahip olabileceği özellikler veya bu özelliklerin kombinasyonları tamamen hayal gücüyle sınırlıdır. Bu sebeple, konvensiyonel teknikler bazen yetersiz kalabilmektedir. Araştırmacılar, malzeme özellikleri bakımından farklı kombinasyonları bir araya getirebilmek adına birçok farklı yöntem geliştirme üzerinde çalışmaktadırlar. Çeşitli ihtiyaçlarla ortaya çıkan yeni teknikler, araştırmacılar tarafından farklı uygulamalar için de kullanıldıkça geliştirilmektedir. Bundan dolayı, özellikle malzeme bilimi ve mühendisliğinde yapılan araştırmalar, giderek çeşitli aygıtlardaki çalışmalara ve uygulamalara doğru kaymıştır [8-10].

Daha önce de bahsedildiği gibi ince film kaplamanın/biriktirmenin farklı farklı teknikleri vardır. İnce film kaplama yöntemleri, günümüzde kullanılanlar göz önüne alınarak geniş ölçüde Şekil 1'deki gibi sınıflandırılabilir. Kaplamanın hangi yöntemin kullanılarak gerçekleştirileceği, çeşitli faktörlere bağlıdır;

- İnce film olarak biriktirilecek malzeme
- Alttaşın yapısı
- Filmin istenilen kalınlığı
- Filmin yapısı
- Filmin uygulanma şartları,

Kaplama yöntemleri, genel olarak iki ana sınıfa ayırılabilir. Bunlar, kimyasal yöntemler ve fiziksel yöntemlerdir. Bu yöntemler arasında, kimyasal yöntemler nispeten daha ekonomik ve fiziksel yöntemlerden daha kolaydır. Ancak, bileşiklerin veya alaşımların tüm olası gereklilikleri karşılayacak şekilde ince film formunda hazırlanması için ideal bir yöntem yoktur. Her yöntemin avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Kimyasal yöntemler arasında, sprey piroliz tekniği (SPT), basitliğinden ve düşük maliyetinden dolayı en popüler olanıdır. Bu teknikle çok sayıda iletken, yarı iletken, asil metal oksitler, spinel oksitler, kalkojenit ve süper iletken malzemeler ince film formunda kolaylıkla hazırlanabilir [11, 12].

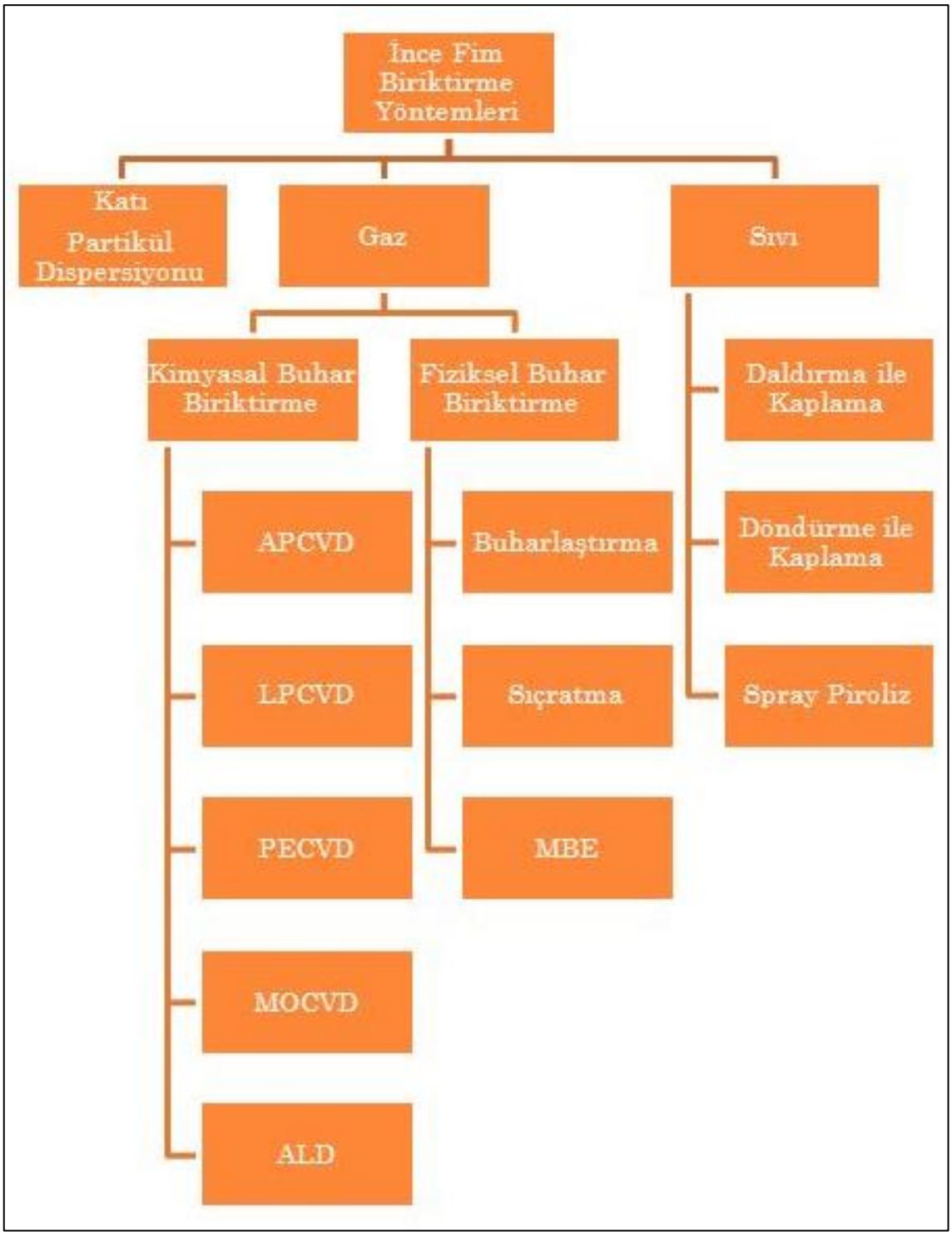
Kullanımı yaygın diğer bir teknik ise döndürme ile kaplama tekniğidir. İlk döndürme ile kaplama sistemi 1958 Emslie tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan model günümüzde daha karmaşık mikro elektronik sistemler için başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemin dezavantajı, çözücü ile sınırlandırılması ve hiçbir yanal çözünürlüğün mümkün olmamasıdır [13, 14].

2.2 Kaplama Yöntemleri

İnce film üretim yöntemleri veya kaplama yöntemleri açısından bakıldığında, ilk olarak göz önünde bulundurulması gereken parametre, kaplama malzemesinin fazıdır. Katı, sıvı veya gaz halde bulunan kaplama malzemeleri için kullanılan birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Katı fazdaki kaplama malzemeleri için kullanılan yöntem katı partikül dispersiyonu olarak adlandırılır (Büyük parçaların küçültülerek ince parçacıklar elde edilmesine dispersiyon denir) [15]. Gaz fazdaki kaplama yöntemleri; kimyasal buhar biriktirme ve fiziksel buhar biriktirme yöntemleri olarak iki ana kategoride incelenir. Kimyasal buhar biriktirme yöntemleri (Chemical Vapor Deposition - CVD); APCVD (atmosferik basınçta kimyasal buhar biriktirme) , LPCVD (düşük basınçta buhar biriktirme) , PECVD (plazma destekli buhar biriktirme) gibi çeşitleri bulunmaktadır [16, 17]. Fiziksel buhar biriktirme; buharlaştırma, sıçratma ve moleküler demet epitaksi (MBE) gibi farklı teknikler bulunmaktadır [18]. Sıvı fazda kaplama yöntemleri genel olarak 3 kategoride incelenmektedir. Bunlar; daldırma ile kaplama, döndürme ile kaplama ve sprey proliz teknikleridir. Şekil 2.1'de katı, sıvı ve gaz fazdaki kaplama malzemeleri için genel olarak kullanılan kaplama yöntemleri kategoriler halinde görülebilir.

Kaplama işlemlerinin çoğu için göz önünde bulundurulması gereken bir husus, kaplamanın kontrollü bir kalınlıkta uygulanmasıdır ve bu kalınlık kontrolünü elde etmek için, örnek olarak bir duvarın boyanması için basit bir fırça kullanılabilirken, nano boyutta kaplamalar için çok pahalı bazı cihazların kullanıldığı bir dizi farklı teknik kullanılmaktadır [19-21].

Bu çalışmada, sıvı fazda bulunan kaplama malzemeleri için kullanılan yöntemlerden olan döndürme ile kaplama (spin coating) ve sprey proliz (spray pyrolysis technique) tekniklerini bir araya getiren sıcaklık, alttaşı döndürme hızı, akış hızı kontrol edilebilen bir cihaz tasarımı hedeflenmiştir. Bu sebeple, ilerleyen kısımlarda döndürme ile kaplama ve sprey proliz tekniklerinin üzerinde durulmuştur.



Şekil 2.1 Kaplama Yöntemleri

2.2.1 Döndürme ile Kaplama

Döndürme ile kaplama (spin coating), ince filmlerin alttaşlara uygulanan en yaygın kullanılan tekniklerden biridir. Farklı endüstri ve teknoloji sektörlerinde kendine uygulama alanı bulmaktadır. Döndürme ile kaplamanın en büyük avantajı, birkaç nanometreden birkaç mikron kalınlığına kadar çok düzgün, homojen filmlerin oldukça hızlı ve kolay bir şekilde üretilebilmesidir. Özellikle organik elektronik ve nanoteknolojide döndürme ile kaplama kullanımı çok yaygındır ve diğer yarı iletken endüstrilerinde kullanılan birçok teknik de döndürme ile kaplama tekniği üzerine inşa edilmiştir [22, 23].

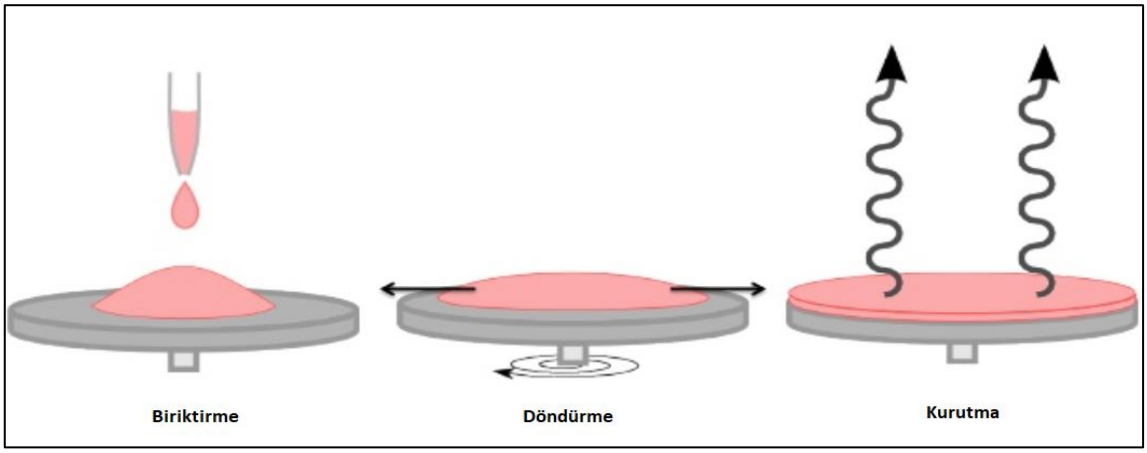
Düz yüzeylere düzgün ve homojen kaplanmış ince filmler, döndürerek kaplama yöntemi ile elde edilebilir. Bir alttaşa aşırı miktarda bir çözelti ya el ile ya da otomatik olarak (el ile: bir şırınga kullanarak veya otomatik olarak: bir dağıtım ünitesiyle veya püskürtme uçlarıyla) uygulanır. Alttaş daha sonra akışkanın merkezkaç kuvveti ile yayılması için yüksek hızda (örneğin 10.000 rpm'ye kadar) döndürülür. Döndürme ile kaplama için kullanılan bu makineye spin kaplayıcı (spin coater) veya basitçe spinner adı verilir [22, 23].

Kaplama malzemesi dönerken alttaşın kenarlarına doğru yayılmaya başlar. Film, istenen kalınlığa ulaşıncaya kadar dönme işlemine devam edilir. Uygulanan çözücü genellikle uçucudur ve aynı anda buharlaşır. Nihai film kalınlığı dönme hızı ile belirlenir. Dönme hızı arttıkça film kalınlığı düşer. Tasarımımızda güç kaynağı kullanarak gerilime bağlı dönme hızı ayarlanmaktadır. Gerekli olan hız miktarı malzemeye ve istenen kalınlığa göre optimize edilerek belirlenir. Film oluşumu sırasında alttaşlar için hızı sabit tutmak homojen kaplamalar ve tekrarlanabilir işlemler için çok büyük önem taşımaktadır.

Şekil 2.2'de örnek bir spin coater görülmektedir. Şekil 2.3'te ise döndürme ile kaplama süreçlerinin farklı aşamaları gösterilmiştir. Biriktirme aşamasında, kaplama malzemesi alttaş üzerine biriktirilir. Döndürme aşamasında, alttaş yüksek hızlarda döndürülerek kaplama malzemesinin alttaşa incelerek yayılması sağlanır. Kurutma aşamasında ise solüsyon içinde bulunan uçucu maddelerin uzaklaştırılması sağlanarak istenilen kaplama gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 2.2 Döndürme ile Kaplama Cihazına Örnek



Şekil 2.3 Döndürme İle Kaplama Aşamaları

Spin kaplama işleminin dört farklı aşaması vardır;

Kaplama sıvısının alttaş üzerine biriktirilmesi.

Bu biriktirme işlemi, bir şırınga kullanarak, kaplama çözeltisini dökerek veya yüzeye püskürtülerek yapılabilir. Uygulama sonrasında elde edilecek ince film miktarı ile karşılaştırıldığında, daha fazla miktarda kaplama çözeltisi uygulanması gerekmektedir.

Alt tabakanın nihai, istenen dönüş hızına kadar hızlanması.

Sabit hızda alttaşın döndürülmesi;

(İlk aşama: sıvı viskoz kuvvetleri, sıvı inceltme davranışına hakim)

Sabit hızda alttaşın döndürülmesi;

(İkinci aşama: çözücü buharlaşması kaplama inceltme davranışına hakim)

Döndürme ile kaplama, ihtiyaç kaynaklı sebepler, bilimsel merak kaynaklı sebepler, endüstriyel ihtiyaçlar, ticari ihtiyaçlar gibi farklı nedenlerle birçok sektörde kendine yer bulmaktadır. Bazı örnekler üzerinden gidilecek olunursa; bu yöntem yarı iletken endüstrisinde, ince film uygulamalarından biri olarak, 10 nm'nin altındaki kalınlıkta, yüksek kalitede ince filmler yaratan ve yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bir diğer örnek kulanım alanı ise fotolitografidir. Fotolitografide, yaklaşık 1 μm kalınlığındaki fotorezist katmanları biriktirilir. Fotorezist katman tipik olarak 30 ile 60 saniye boyunca dakikada 1000 ile 4000 devir döndürülür. Döndürme ile kaplama yöntemleri kullanılarak elde edilebilecek düşük kalınlık nedeniyle, bu yöntem aynı zamanda kuvars veya cam alttaşlar üzerine şeffaf titanyum dioksit ince filmlerin üretiminde de kullanılır, bu gibi ince film kaplamaları kendi kendini temizleyebilir ve kendi kendini sterilize edebilir [24].

Döndürme ile kaplama işlemi tamamlandıktan sonra, kaplanmış alttaş hızlı bir şekilde sıcak bir plakaya (100 ° C civarında bir yere kadar ısıtılmış bir plaka) birkaç saniye veya dakika süreyle, çözücüyü buharlaştırmak ve kaplamayı katılaştırmak için yerleştirilir. Numune, kalan çözücüyü yeterince uzaklaştırmak için yeterince yüksek bir sıcaklıkta bir fırında (veya vakumlu fırında) birkaç saat veya genellikle 24 saat boyunca pişirilir. Filmleri tozdan korumak amacı ile pişirme aşaması

sırasında bir petri kabına plakaların yerleştirilmesi gerekebilir. Çözücünün kaplama üzerinde yoğunlaşması, filmin düzgünlüğünü ve kalitesini etkileyebilmektedir.

2.2.2 Sprey Proliz Tekniği

Kimyasal püskürtme, çözelti püskürtme ya da sıcak püskürtme yöntemi olarak da adlandırılan sprey piroliz yöntemi elde edilecek filmler için hazırlanan sulu çözeltilerin karıştırılarak sıcak taban üzerine hava ya da azot gazı yardımı ile atomize edilerek püskürtülmesidir. Sprey proliz yönteminin genel şeması Şekil 2.4' te verilmiştir [25].

Sprey proliz tekniği; ince ve kalın film üretimleri, seramik kaplamalar ve tozların hazırlanması için birçok sektörde faydalanılan bir kaplama tekniğidir. Diğer birçok film kaplama tekniğinin aksine, sprey pirolizi, oldukça basit ve (özellikle ekipman maliyetleri açısından) nispeten uygun bir kaplama yöntemi olarak öne çıkmaktadır.

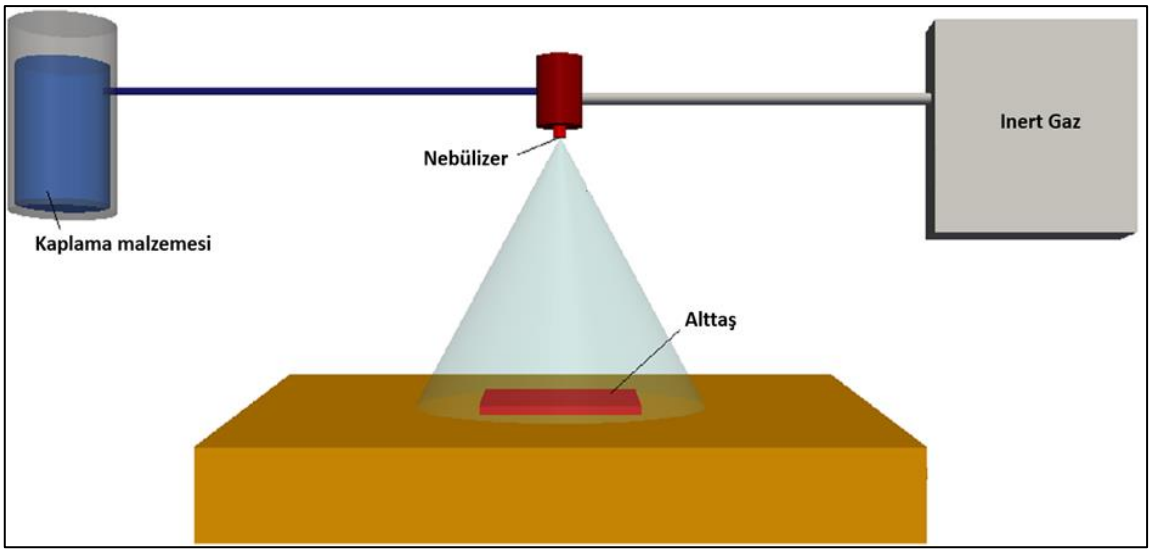
Sprey proliz tekniği, herhangi bir kompozisyonda film hazırlamak için son derece kolaylık sunan bir yöntemdir. Sprey pirolizi, yüksek kaliteli yüzeyler veya kimyasallar gerektirmez. Bu yöntem, yoğun filmlerin, gözenekli filmlerin veya tozların üretimi için kullanılmaktadır. Çok katmanlı filmler bile bu çok yönlü teknik kullanılarak kolayca hazırlanabilir. Sprey pirolizi, cam endüstrisinde ve güneş pili üretiminde uzun yıllardır kullanılmaktadır [25].

Malzemeleri toz veya film olarak sentezlemenin oldukça düşük maliyetli olması ve vakum gerektirmeyen bir teknik olması bu yöntemin en önemli avantajlarındandır. Sprey piroliz tekniği ile film sentezi için birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Genellikle büyük alanlarda biriktirilmesi ve endüstriyel üretim için kolayca uyarlanabilen çok çeşitli alttaşlar üzerinde biriktirilmesi bu yöntemin yaygın olarak kullanılmasının en önemli sebeplerinden biridir.

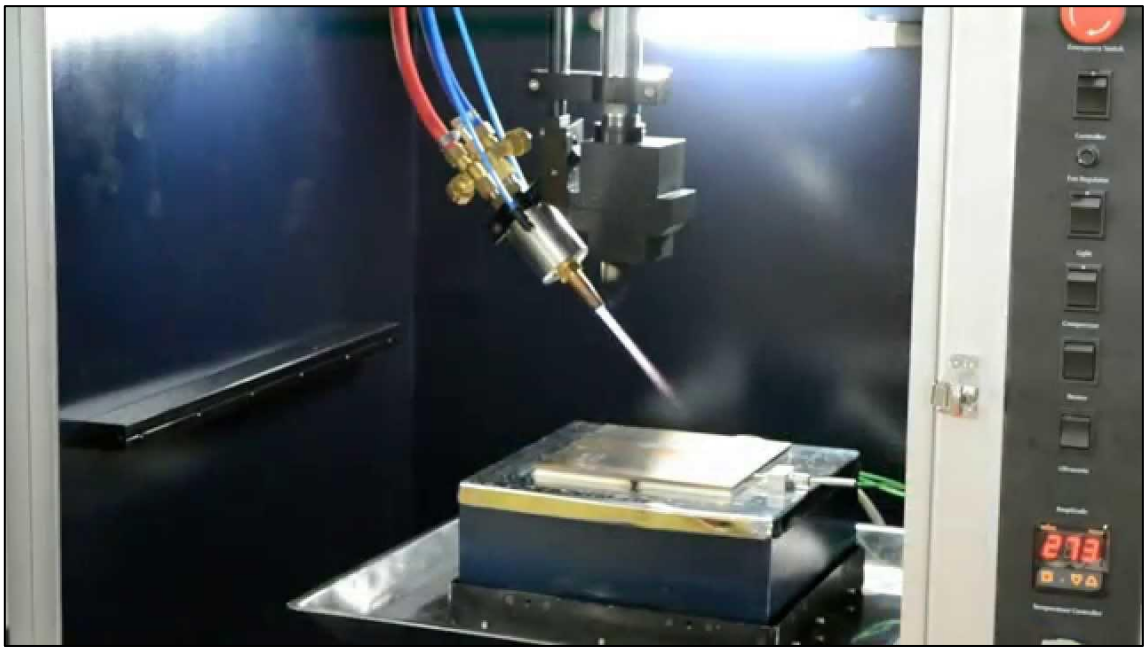
Bu tekniği kullanarak gerçekleştirilen çalışmaların büyük bir kısmı, elektrik iletkenlik özellikleriyle ilgili yarı iletkenler, metal ve şeffaf iletken oksitler (TCO) ile ilgilidir [26-28].

Özellikle, fotovoltaik uygulamalar açısından uygun olması sebebiyle, şeffaf iletken oksitler bu teknik kullanılarak sentezlenmektedir. Yıllardır yapılan birçok çalışma ile farklı farklı iletken oksit malzemeler için elektriksel iletkenlik özellikleri ve optik

şeffaflıklarının optimizasyonu amaçlanmaktadır. Bu duruma örnek olarak, İndiyum-Kalay Oksit (ITO), İndiyum-Çinko Oksit (IZO), Florin-Kalay Oksit (FTO) vb. malzemeler gösterilebilir [29-31]. Bu nedenle, otomotiv endüstrisi ve inşaat endüstrilerinde optik absorpsiyon, emisyon ve geçirgenliğini değiştirmek için kaplamalar geliştirilmiştir. Ayrıca, bu bahsedilen yarı iletken ve metal oksit tabakalarının yanı sıra, bu teknik, çok katmanlı kompleks yapılar için de uygulanmaktadır [32]. MOSFET (metal oksit alan etkili transistör) teknolojisinde de uygulamalar yapılmaktadır [33]. Sprey piroliz tekniğine ait uygulama örneği Şekil 2.5'te verilmiştir. Sprey piroliz yönteminin, uygulama alanı ve geliştirilebilirliği açısından oldukça avantajlı bir teknik olduğu görülmektedir.



Şekil 2.4 Sprey Piroliz Genel Şema



Şekil 2.5 Sprey Piroliz Uygulama Örneği

Sprey piroliz tekniğinin avantajları özetlenecek olursa;

1) Filmlerin sentezi için, sprey çözeltisine eklenen hemen hemen her element için herhangi bir oranda çalışmanın oldukça kolay bir yolunu sunar.

2) Kapalı buhar biriktirme yönteminden farklı olarak, sprey piroliz yöntemi, yüksek kalitede bir alttaş ve herhangi bir aşamada vakum gerektirmez. Özellikle sentezlenecek olan malzeme, endüstriyel uygulamalar için ölçeklendirilecekse büyük bir avantajdır.

3) Filmlerin kalınlığı ve biriktirme hızı, püskürtme parametreleri değiştirilerek geniş bir aralıkta kolaylıkla kontrol edilebilir. Böylece bu yöntem, sol-jel gibi kimyasal biriktirme yöntemlerinde karşılaşılan kalınlık açısından sınırlı çalışma aralığı gibi sıkıntıları ortadan kaldırır.

4) Orta dereceli sıcaklıklarda (100-500 ° C) çalışan sprey piroliz tekniği sayesinde, daha az dayanıklı alttaşlar üzerinde de filmler üretilebilir.

5) Radyo frekansı magnetron püskürtme (RFMS) gibi yüksek güçlü yöntemlerin aksine, malzemelerin birikme sürecinde zararlı olabilen aşırı ısınmalara neden olmaz. Alttaş malzemesi, boyutu ya da yüzey profili üzerinde neredeyse hiçbir kısıtlama yoktur.

6) Püskürtme işlemi sırasında, püskürtme çözeltisinin bileşiminin değiştirilmesiyle, kalınlık boyunca bileşim gradyanlarına sahip çok katmanlı filmler gibi kompleks yapılar da üretilebilir.

7) Filmlerin oldukça kompakt, homojen olması ve alttaş malzemesinin neredeyse hiçbir yan etkisinin olmaması sayesinde, yüzey analiz süreçlerinde güvenilir veriler elde ederek amaca uygun şekilde karakterize edilmiş filmlerin elde edilmesine olanak sağlanır.

Son zamanlarda, püskürtme piroliz tekniğinin çok yönlü kullanışlılığı, bu teknik kullanılarak biriktirilen geniş çeşitlilikteki malzemeler çeşitli çalışmalar ile literatürde yer almaktadır. Sistemin sadeliği ve tekniğin yüksek verimliliği nedeniyle, ince metal oksit filmleri, metalik spinel tipi oksitler, ikili kalkologid, üçlü kalkologid, süperiletken oksitler oluşumu için çok çekici bir yol sunmaktadır [34].

Sprey pirolizinin kimyasal çok yönlülüğü, çok bileşenli, oksit olmayan, kompozit tozların gözenekli veya nano partiküller halinde sentezlenebilmesidir. Teknik, gelişmiş imalat kalitesi, kimyasal saflık ve homojenlik gibi bir dizi özelliğe sahiptir. Bu nedenle sprey piroliz işlemleri, yukarıda bahsi geçen bileşenlerin sentezlenmesi için birçok fırsat sunar. Sprey pirolizinde, ince filmlerin yapısal özellikleri, morfolojisi ve kristallenmesi çalışmalarında öncü çözelti, buharlaşma süresi, termoliz ve otomasyon gibi işlem parametreleri çok önemlidir. Bu dört işlem parametresi ileriki kısımlarda tartışılmaktadır.

Öncüler: Öncü çözeltiler, (kaplama malzemesi olarak da adlandırılabilir) çeşitli bileşiklerin ince filmlerinin oluşumunda hayati bir rol oynar. Gerçek çözeltiler, kolloidal dispersiyonlar, emülsiyonlar ve çeşitli solusyonlar, aerosol öncüleri olarak kullanılabilir. Sulu çözeltiler, kullanım kolaylığı, düşük maliyet ve çok çeşitli suda çözünür metal tuzlarının mevcudiyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Solüsyon, işlemin parçacık veriminde yüksek bir çözünürlük artışına sahip olmalıdır. Giderek artan şekilde, metal organik ve inorganik malzemelerin sentezlenmesine ve metalik jelleşmeye veya polimerleşmeye maruz kalmaya ve oksit olmayan seramik çözeltilerinin sentezine duyulan ilgiye bağlı olarak alkollü ve organik çözeltiler üzerinde çalışılmaktadır.

Genel olarak metal klorürler ve oksit klorürler, diğer metal tuzlarına göre en yüksek suda çözünürlerdir ve endüstriyel üretimlerde kullanılır. Ürün gazlarının, artık klorin seramik sinterleme üzerindeki olumsuz etkisindeki aşındırıcı doğası, bu seramiklerin gelişmiş seramik çözelti sentezi için genel çekiciliğini azaltmaktadır, ancak bu tür sistemler için

teknoloji mevcuttur. Nitratlar, asetatlar ve sülfatlar gibi diğer suda çözünür metal tuzları ayrıca sonraki işlemleri, sinterlemeyi veya özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilecek safsızlıkları da beraberinde getirebilir. Metal asetatların düşük çözünürlüğü ve metal sülfatların yüksek ayrışma sıcaklığı bu suda çözünür tuzların kullanımını sınırlar. Bu nedenle, bileşenlerden birinin bir çözelti yoluyla ilave edildiği ve parçacıklar halinde kalan hibrid sistemler de bazı çalışmalarda bildirilmiştir. Çözünür kimyasal öncüllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, sprey piroliziyle oluşturulan parçacıkların karakteristiklerini güçlü bir şekilde etkilemektedir [35].

Atomizasyon: - solüsyon şeklinde hazırlanmış kaplama malzemesinin aerosol oluşumu için, pnömatik, ultrasonik ve elektrostatik gibi çeşitli atomizasyon teknikleri bulunmaktadır. Bu atomizörler damlacık büyüklüğü, atomizasyon hızı ve damlacık hızı bakımından farklılıklar göstermektedirler. Atomizörden ayrıldığı zaman damlacık hızı önemlidir çünkü sprey piroliz tekniği ile ısıtma hızı ve damlacıkta kalma süresi belirlenebilmektedir. Pnömatik veya basınçlı nozullarla üretilen damlacıkların boyutu nozul boyunca basınç farkı arttıkça azalır. İki akışkanlı atomizörler, 0.5 ila 20 m / s arası damlacık hızlarında büyük miktarlarda sıvıyı atomize edebilirler, 10 pm'lik minimum damlacık boyutlarıyla çalışılmasına imkan sunmaktadır [36].

Ultrasonik nozüller, nispeten daha az miktarda enerji uygular ve damlacık oluşumunu sağlamak için bu enerjiyi verimli bir şekilde kullanır. Ultrasonik atomizörler kolayca 2 ile 4 pm'e kadar damlacıklar üretebilir, ancak atomizasyon hızı 2 cm^3 / dk'dan az ile sınırlıdır. Sprey piroliz tekniği, damlacık başına bir parçacık üretmeyi amaçlar, çünkü örnek olarak seramiklerin en ileri uygulamalarında çok küçük parçacıklar gereklidir, düşük çıkış hızlarında yüksek kalitede küçük damlacıklar atomize edebilen teknikleri geliştirmek için ciddi bir ihtiyaç bulunmaktadır [36].

Spesifik bir atomizer için damlacık özellikleri; çözelti yoğunluğuna, viskoziteye ve yüzey gerilimine bağlıdır. Sprey proliz tekniği için yaygın olarak kullanılan atomizerlerin bazı özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Sprey Piroliz Tekniği İçin Yaygın Olarak Kullanılan Atomizerlerin Karakteristik Özellikleri

Atomizer	**Damlacık Boyutu (µm)**	**Atomizasyon hızı (cm^3/dk)**	**Damlacık Hızı (m/s)**
Basınç	10-100	3-sınırsız	5-20
Nebulizer	0.1-2.0	0.5-5.0	0.2-0.4
Ultrasonik	1-100	<2	0.2-0.4
Elektrostatik	0.1-10	-	-

Buharlaşma süresi: - Püskürtme pirolizi sırasındaki en önemli faktörleri belirlemek için bu işlemlerin karakteristik zaman sabitlerini karşılaştırmak faydalıdır. Karakteristik zaman, bir sürecin sabit duruma ulaşması için gereken süreyi ifade eder; süre kısaldıkça, sabit duruma erişilir. Partikül oluşumunu kontrol eden süreçler:

1) Sıvı damlacıklarının buharlaşması

2) Solüsyon damlacıklarının buharlaşması

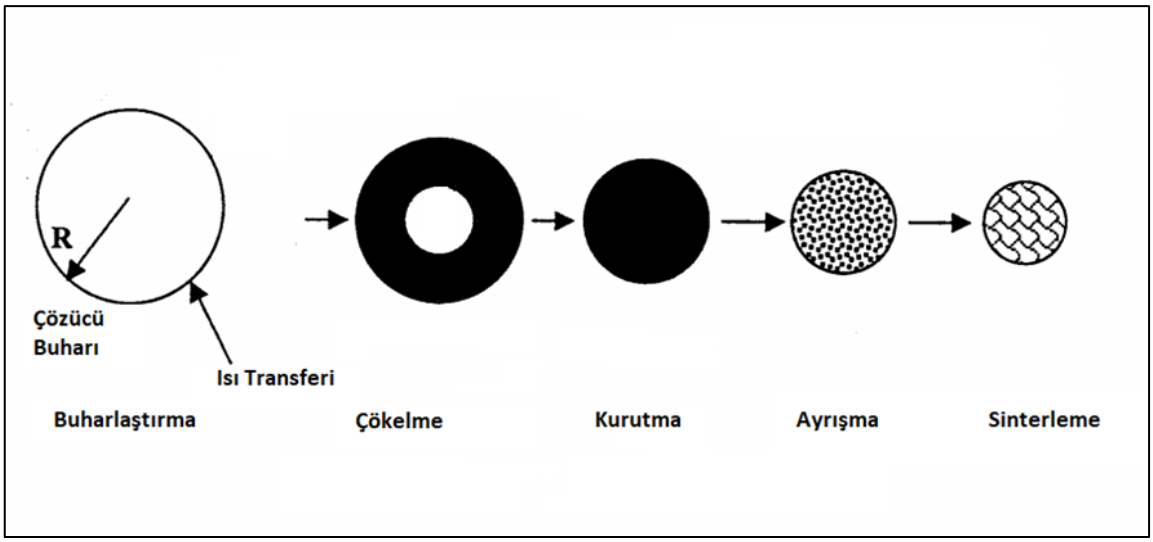
3) Sıvı damlacıklarının sıcaklığı

4) Solüsyon damlacıklarının sıcaklığı

5) Damlacıkta çözünme

6) Çözünen yoğuşma şeklinde sıralanabilir.

Şekil 2.6'dan, sprey piroliz tekniğinin aşamaları görülebilir;



Şekil 2.6 Sprey Piroliz Yönteminin Aşamaları

Piroliz: Buharlaşma ve sinterleme işlemlerinin, her bir sürecin maksimum kontrolünü elde etmek amacıyla ve sıcaklık koşulları önemli ölçüde farklı olduğu için ayrı bölgelerde yapılması gerektiğine inanılmaktadır. Parçacıklar pirolizden sonra reaktif olduklarından, sprey piroliz işlemi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, çoğu metal oksidin erime sıcaklığı genellikle, çoğu sprey piroliz işlemlerinin gerçekleştiği fırınların sıcaklık çalışma aralığının dışındadır [37].

3
Cihaz Tasarımı

3.1 Cihazın ana bileşenleri

Bu çalışmada gerçekleştirilen cihaz tasarımı, kaplama yapılmak istenilen malzemenin ihtiyaç duyacağı şartları ve geniş malzeme yelpazesinde çalışma imkanlarını sağlayabilmek adına, uygun bileşenlere sahip olması gözönünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasının amacı, daha önce de bahsedildiği gibi, sıcaklık, akış hızı ve alttaş dönme hızı ayarlanabilen bir cihaz tasarlamak ve bu cihaz sayesinde yüksek homojenliğe sahip kaplama uygulamaları gerçekleştirebilmektir. Cihaz ile gerçekleştirilecek kaplama uygulamasında kaplama malzemesinin seçiminde, sıvı fazda olma şartı dışında hiçbir sınırlama yapılmamıştır. İstenilen herhangi bir malzeme ile sıvı bir çözelti veya karışım hazırlanarak kaplamanın uygulanabilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda cihazın, farklı yöntemlerde kullanılan teknikleri bir araya getiren bileşenler ile tasarlandığı söylenebilir. Özetle bu bileşenler; nebülizer, rezistans ve motor elemanlarıdır. Şekil 3.1 'da da görülebileceği gibi cihazın parçaları, geliştirilebilir şekilde, hem temizlik açısından kolay, hem de kullanış kolaylığı sağlayan bir tasarımla bir araya getirilmiş olup mümkün olduğunca küçük boyutlarda bir tasarıma sahiptir. Nebülizer, kaplama malzemesini sisleştirerek çok küçük zerrecikler halinde alttaşa gönderilmesini sağlayan ana bileşendir. Resistans, malzemeye uygun sıcaklığın ayarlanarak geniş malzeme yelpazesinde uygulamaların gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Alttaşın yüksek hızlarda döndürülmesini sağlayan motor ise tasarımın diğer bir anabileşenidir. Ayrıca, nebulizere gelecek olan kaplama malzemesinin akış hızınının da ayarlanmasını sağlayan peristaltik pompa bulunmaktadır.

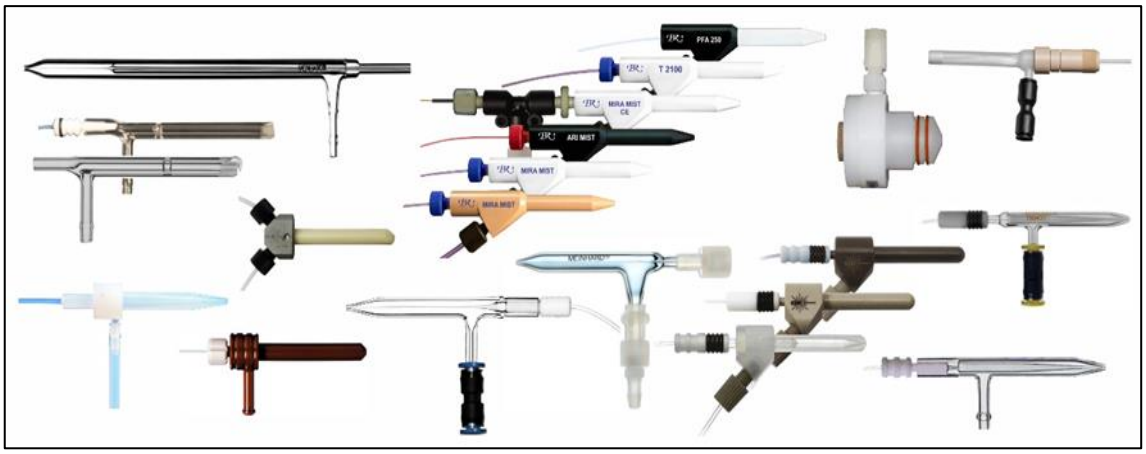


Şekil 3. 1 Cihaz Tasarımının İç Görünümü

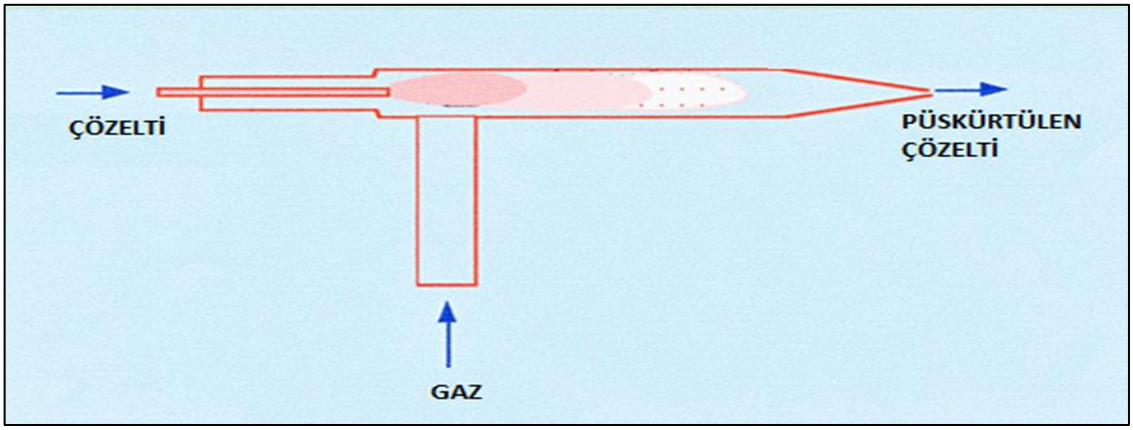
3.1.1 Nebülizer

Nebülizer, sıvı fazda bulunan malzemeleri sisleştiren (nebüle eden) bir sistemdir. Kirlenmeden kaçınmak için nebuülizerin, nebülizere gönderilen malzeme ile tepkimeye girmeyecek bir malzemeden yapımı önemlidir. Paslanmaz çelik, seramikler veya kuvars cam malzemeler bu amaca uygun olarak en yaygın biçimde tercih edilen malzemelerdendir. Analitik kimya uygulamaları, medikal uygulamalar, kaplama uygulamaları gibi birçok farklı uygulama alanında nebülizerler kullanılmaktadır. Şekil 3.2'de bazı farklı tipteki nebülizerler verilmiştir. Basitçe tanımlanacak olursa, bir nebülizer, sıvı fazda bulunan bir malzemeyi, basınçlı bir gaz yardımıyla buharlaştıran/sisleştiren bir sistemdir [38, 39]. Bu çalışmada, iki giriş ve bir çıkıştan oluşan, ani sıcaklık değişimlerinden etkilenmeyecek kuvars malzemeden yapılmış nebülizer kullanılmıştır. Nebülizerin tasarımı, malzeme seçimi ve üretimi İçelli Araştırma Grubu tarafından gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.3'den de görüleceği üzere, istenilen sıcaklıkta malzeme nebulizere gönderilebilmektedir. Nebülizere gelen sıvı fazdaki malzeme, ikinci girişten gelen yüksek basınçlı gaz yardımıyla sisleştirilmektedir. Peristaltik pompa sayesinde ise kaplama malzemesinin akış hızı ayarlanabilmektedir. Ayrıca, sisleştirmek için kullanılacak olan gazın kaplama malzemesiyle tepkimeye girmemesine dikkat edilmelidir. Bu bakımdan argon gazı vb. asal bir gazın seçilmesi, kaplanacak malzemeyi bozmaması açısından büyük önem taşımaktadır.



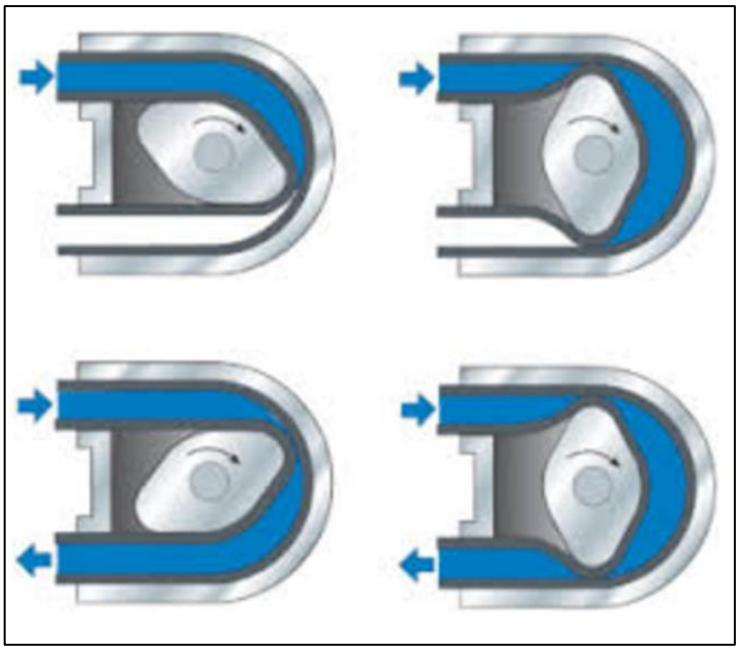
Şekil 3. 2 Nebülizer Çeşitleri



Şekil 3. 3 Bu Çalışmada Kullanılan Nebülizerin Çalışma Prensibi

3.1.2. Peristaltik Pompa

Peristaltik pompa, çeşitli sıvıları taşımak için yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Peristaltik pompanın çalışma prensibi, aktarılmak istenildiği borulara periyodik olarak oluşturulan basınç farkı sayesinde sıvının istenilen hızla hareket ettirilmesine dayanır. Bir peristaltik pompa sistemi temel olarak boruyu sıkıştırarak dönen bir yapıya sahiptir. Dönme esnasında gerçekleştirilen sıkıştırma işlemi, borunun farklı bölgelerinde basınç yaratarak, sıvının bu basınç farkı yardımıyla boru içerisinde ilerlemesi sağlanır. Dönme hızı ayarlanarak farklı akış hızları elde edilebilmektedir [40]. Şekil 3.4'te bir peristaltik pompa için temel çalışma prensibi gösterilmiştir. Şekil 3.5'te ise tasarımda kullanılan peristaltik pompanın resmi görülmektedir.



Şekil 3. 4 Peristaltik Pompa Çalışma Prensibi

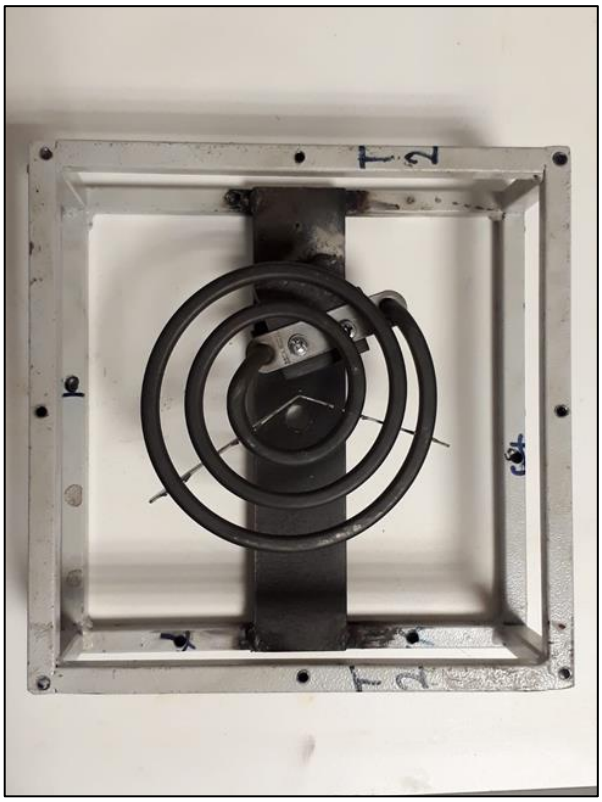


Şekil 3. 5 Çalışmada Kullanılan Peristaltik Pompa

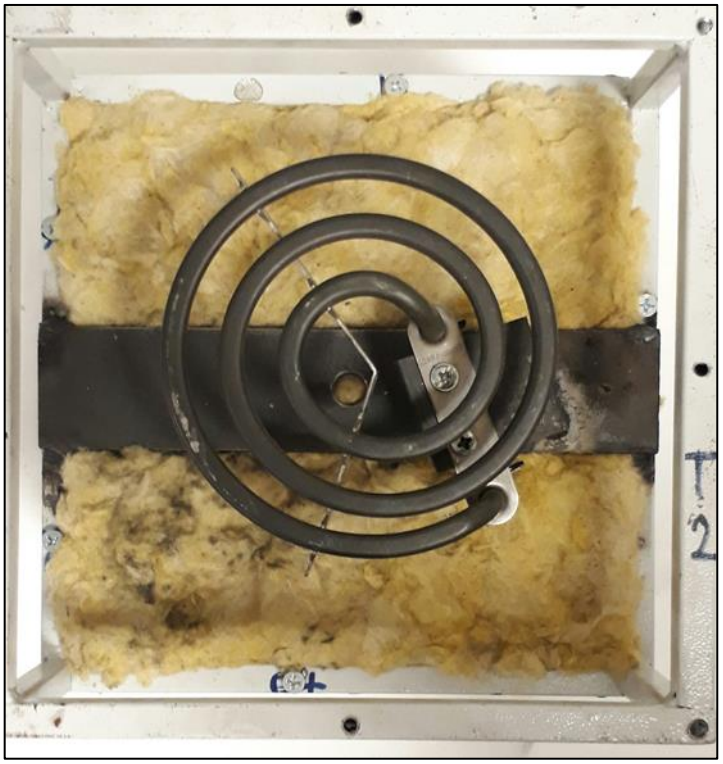
3.1.3. Rezistans

Günümüzde, birçok farklı amaç için kullanılan pek çok cihaz ve makinenin içerisinde rezistanslar yer almaktadır. Soğutucular, fırınlar, elektrikli ev aletleri (su ısıtıcısı, fön makinesi, çamaşır makinesi vb.) gibi oldukça geniş yelpazede kullanılan rezistans elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştüren direnç telleri olarak tanımlanır [41]. Günümüzde ilerleyen teknolojinin de yardımıyla çok sayıda farklı ısıtıcı modeli geliştirildiğinden, tel formundan daha farklı bir yapıya sahip rezistans tipleri de bulunmaktadır. Tekstil, ağır sanayi, elektrikli ev aletleri, plastik sanayi, cam sanayi ve daha pek çok farklı alanda ihtiyaca göre farklı rezistanslar kullanılmaktadır. Günümüzde, bu ısıtıcıların kullanım alanlarına her geçen gün yenilerinin eklendiği de söylenebilir [42].

Bu tez çalışmasında, tasarıma eklenen rezistans sayesinde, kaplama malzemesinin ihtiyaç duyacağı sıcaklık bölgesinde çalışılabilmesi hedeflenmiştir. Şekil 3.6'da, tasarım için kullanılan resiztans görülmektedir. Bu rezistans sayesinde 600oC sıcaklık seviyelerine kadar çıkılabilmektedir. Alttaşın tam altına yerleştirilen rezistans, yüksek sıcaklıklara ulaştığında, tasarımın diğer bileşenlerini etkilememesi adına taş yünü ile izole edilmiştir. (Bakınız Şekil 3.7) Gerçekleştirilen izolasyon sayesinde, rezistansın ürettiği ısı enerjisinin sadece kaplamanın gerçekleştiği bölgede hapsedilmesi amaçlanmıştır.



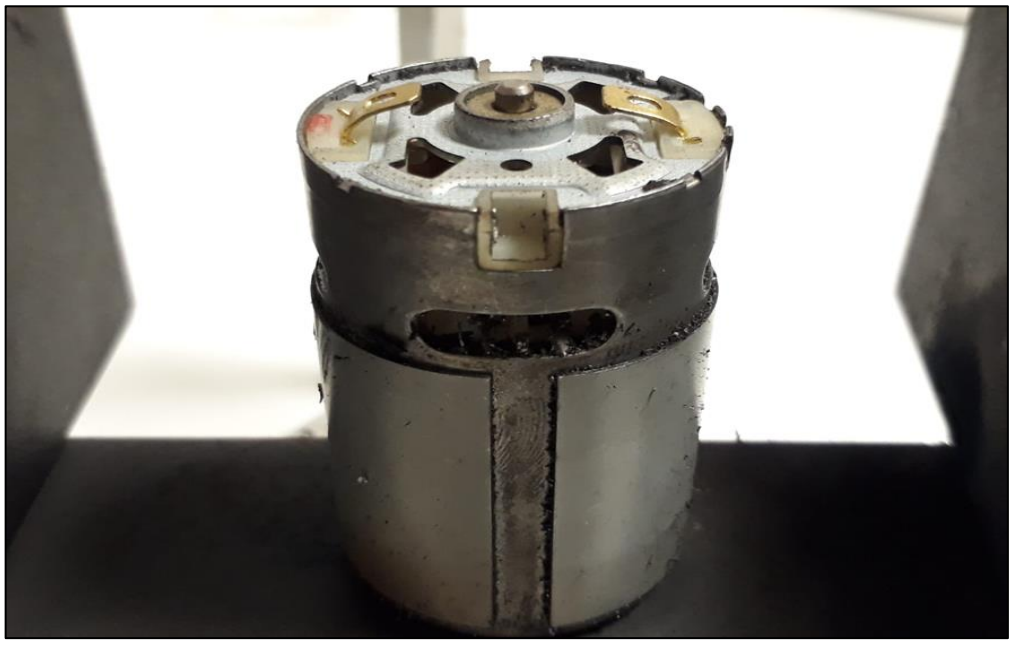
Şekil 3. 6 Çalışmada Kullanılan Rezistans



Şekil 3. 7 Taş Yünü İle Gerçekleştirilen Yalıtım

3.1.4 Elektrik motoru

Farklı enerji türlerini, hareket enerjisine çeviren sistemler motor olarak adlandırılır. Bilindiği üzere, birçok farklı tipte ve boyutta motor bulunmaktadır. Tüm motorların ortak amacı bir sisteme enerji sağlamaktır. Kullanılan bu enerji, yanma sayesinde açığa çıkan ısı enerjisi veya elektrik enerjisi olabilir [43]. Bu tez çalışmasında, kaplama sırasında alttaşı yüksek hızlarda döndürebilmek amacıyla tasarıma bir adet elektrik motoru eklenmiştir.Şekil 3.8'de görünen 18 Voltluk DC motorunun çapı 38mm, uzunluğu 87mm'dir. Şaft çapı 5mm, uzunluğu 10mm'dir. Şaft hızı 20.000 Rpm'dir. Çıkış gücü 1 Beygir'e (HP) kadar ulaşmaktadır. Ayrıca Şekil 3.9'da verilen ve 0-30 Volt aralığında gerilim farkı çıkışı olan DC güç kaynağı kullanılarak, dakikada 20.000 devire kadar dönüş hızı ayarlanabilmektedir. Bu hızlarda döndürülecek olan alttaş sayesinde kaplama malzemesinin homojen bir şekilde alttaşa yayılarak ihtiyaç duyulan incelikte kaplamaların gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 3. 8 Çalışmada Kullanılan Elektrik Motoru



Şekil 3. 9 Çalışmada Kullanılan Ayarlanabilir Güç Kaynağı

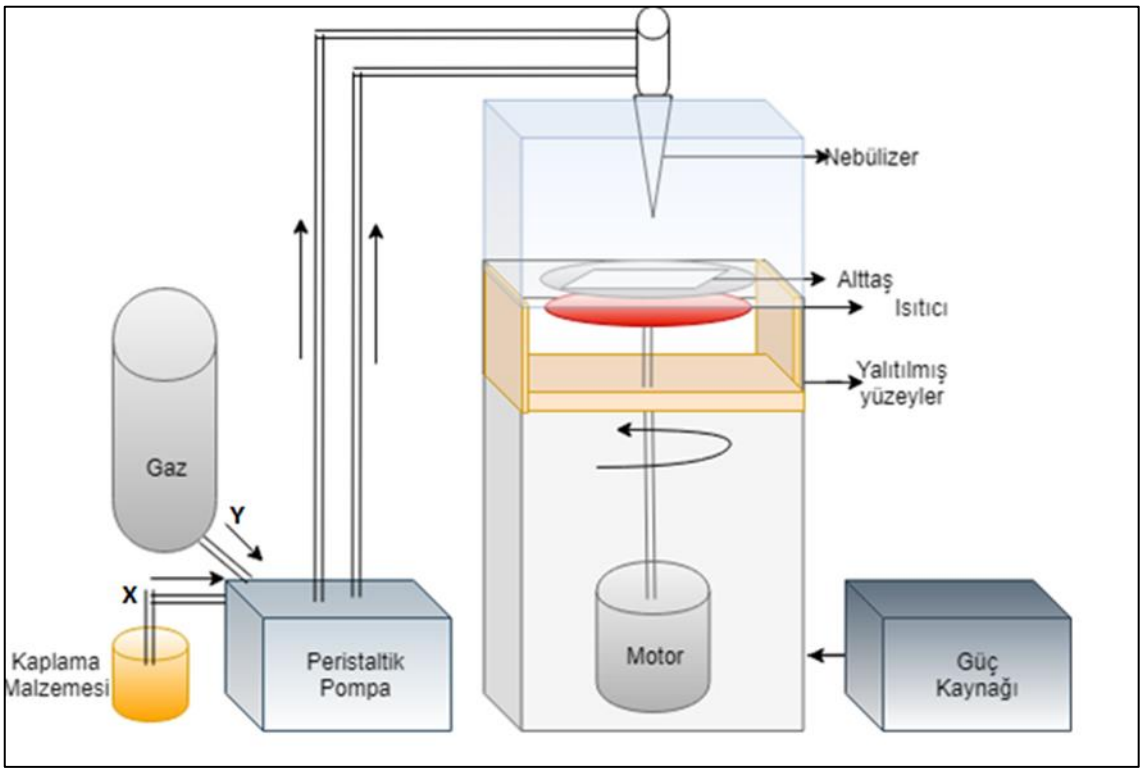
3.2 Cihaz bileşenlerinin bir araya getirilmesi

Daha öncede bahsedildiği üzere, bu tez çalışmasında amaç, spin coating ve spray proliz tekniklerinin avantajlarının bir arada kullanılmasını sağlayan ve hemen hemen her parametrenin (döndürme hızı, sıcaklık, akış hızı vb.) tercihe göre ayarlanabildiği bir cihaz tasarımının gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla, farklı voltajlarda dakikada farklı devirle dönebilen bir motor, 600C'ye kadar ısıtabilen bir rezistans ve kuvars malzemeden yapılmış bir nebülizer kullanılmıştır. Ana bileşenler haricinde, tasarımı tamamlayıcı olarak, ayarlanabilir bir DC güç kaynağı, akış hızının kontrol edilmesini sağlayan bir peristaltik pompa ve diğer bağlantılar için kullanılan malzemeler bulunmaktadır. Tasarımın tamamı bir bütün halinde Şekil 3.10'da şematik olarak gösterilmiştir.

Kaplama malzemesine ve alttaşa karar verdikten sonra, nebulizere gönderilecek gazın belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü malzeme ile tepkimeye girmeyecek bir gaz seçimi, kaplamayı olumsuz yönde etkilememek adına büyük önem arz etmektedir. Ayrıca, malzeme seçimine bağlı olarak uygun sıcaklık belirlenir, farklı sıcaklıklarda kaplama gerçekleştirilerek optimum değer elde edilir. Benzer şekilde, farklı devirlerde döndürülen alttaş sayesinde farklı incelikte kaplamalar elde edilerek,

ihtiyaca göre optimum devir sayısı belirlenir. Son olarak, akış hızının optimizasyonu için, farklı akış hızlarında kaplama gerçekleştirilerek optimum akış hızı elde edilir.

Sonuç olarak, akış hızı, dönme hızı, sıcaklık değerleri optimize edildikten sonra en verimli kaplama uygulanabilmektedir. Şekilde görülen X numaralı bölge, kaplama malzemesinin cihaza verildiği kısımdır. Y numaralı bölge, kaplama malzemesinin asal bir gazla birleşerek nebüle olduğu nebülizerdir. Nebülizerin ucundan sprey halinde çıkan kaplama malzemesi, alttaş tutucu tarafından döndürülen kaplanacak malzemeye püskürtülmektedir. Döndürmenin etkisiyle, kaplama malzemesi, alttaşın merkezinden dışarıya doğru yayılacaktır. Ne kadar hızlı döndürülürse o kadar ince kaplamalar elde edilebilir. Homojenliği sağlamak ve farklı malzemeler için gerektiğinde farklı hızlarla çalışabilmek adına farklı voltaj değerleri kullanılarak motorun alttaşı uygun devirde döndürmesi sağlanabilmektedir.

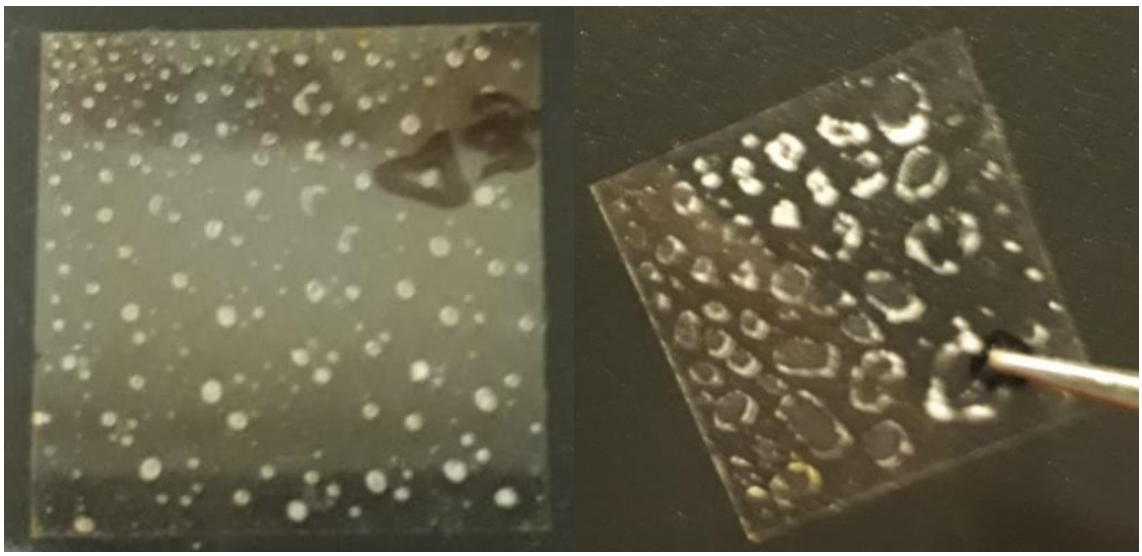


Şekil 3. 10 Cihaz Tasarımının Genel Görünümü

3.3 Cam üzerine CdO ince film uygulanması

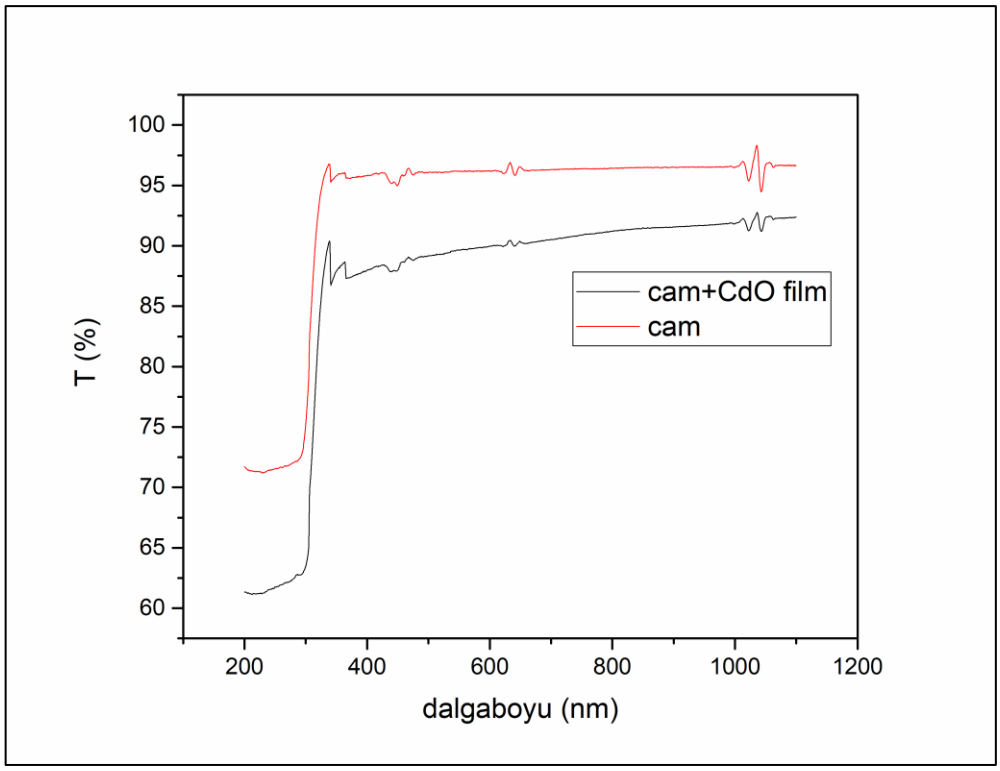
Kadmiyum oksit (CdO) doğrudan bant aralıklı ve bant aralığı 2.18 eV olan bir yarıiletkendir. CdO ince filmleri birçok farklı kullanım alanına sahiptir (transistörler, fotovoltaik uygulamalar, çeşitli dedektörler, sensörler, fotodirençler vb). CdO ince filmleri çeşitli yöntemlerle elde edilebilmektedir. Sputtering, hidrotermal, moleküler demet büyütme, kimyasal depolama, vakumda buharlaştırma, sol-jel ve püskürtme yöntemi bunlardan bazılarıdır. Bu çalışmada tasarlanan cihaz kullanılarak, cihazın çeşitli fonksiyonlarını deneme amaçlı bir uygulama gerçekleştirilmek istenmiştir. CdO için öncül kimyasal olarak kadmiyum asetat kullanılmıştır. Kaplama çözeltisi olarak farklı derişimlerde (0.1M-0.5M) kadmiyum asetat hazırlanmıştır. Püskürtme uzaklığı değiştirilerek (20cm-50cm) uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, farklı alttaş sıcaklıklarında (150C^{o}-250C^{o}) denemeler yapılarak optimum değerler belirlenmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi, püskürtme uzaklığı, damlacık boyutunu etkilediğinden, ince film üretiminde en çok dikkat edilmesi gereken parametrelerden biridir. Uygun mesafeden gerçekleştirilmeyen püskürtmeler çok büyük damlacık boyutuna sebep olmaktadır. Dolayısıyla ince film oluşumu gözlenememektedir. Cihaz ile gerçekleştirilen uygulamalardan ince film oluşumu gözlenmeyen 2 tane numune damlacık boyutlarındaki farkı gösterebilmek adına şekil 3. 11'de verilmiştir. Çok yakın mesafelerden püskürtmeyi gerçekleştirmek, çözeltinin nebüle olması için gerçekleşmesi gereken reaksiyonların tamamlanmadan alttaşa ulaşmasına

sebebiyet vermektedir. Mesafeyi arttırmak, yine şekil 3. 11'den görülebileceği gibi damlacık boyutunu küçültse de ince film oluşumu için yeterli olmayabilir.

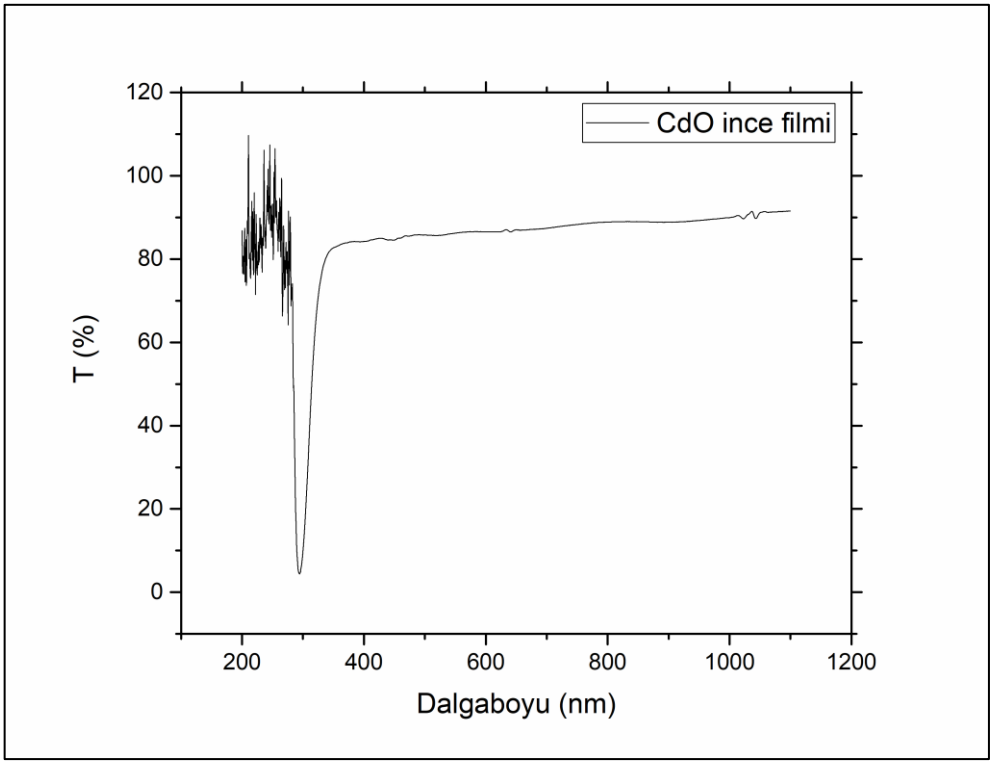


Şekil 3. 11 Uygun olmayan mesafelerden gerçekleştirilen püskürtmeler sonrası gözlenen farklı damlacık boyutları

Farklı uzaklıklar ve farklı sıcaklıklar ile gerçekleştirilen uygulamalar sonrası elde edilen cam üzerinde CdO ince film kaplamasının geçirgenliği UV Shimadzu 1280 cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Kıyaslama yapabilmek adına, şekil 3.12'de üzerinde hiçbir kaplama bulunmayan cam ile CdO ince filmi bulunan camın UV sonuçları gösterilmektedir. Ayrıca, sadece filmin (cam hariç) UV sonuçları şekil 3.13'de gösterilmektedir. UV sonuçları kullanılarak gerçekleştirilen bant aralığı hesaplamalarında, CdO'in literatür değeri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir (2.18eV).



Şekil 3. 12 Cam ve CdO ince film kaplamalı camın UV sonuçları



Şekil 3. 13 Üretilen CdO ince filmin UV sonuçları

4
Sonuç ve Öneriler

4.1. Sonuç

Bu tez çalışmasında, yaygın kullanılan kaplama yöntemlerinden olan sprey proliz yöntemi ve döndürme ile kaplama yöntemlerinin avantajlarını bir arada barındıran, sıcaklık, kaplama malzemesinin akış hızı, püskürtme mesafesi ve alttaş döndürme hızı gibi parametrelerin kontrol edilebildiği bir cihaz tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım, mümkün olduğunca küçük ebatlarda (en:20 cm, boy:20 cm, yükseklik:35 cm) gerçekleştirilerek, Arge laboratuvarlarında kullanımının sağlaması amaçlanmıştır.

Sprey proliz tekniğinin sahip olduğu en önemli avantajlardan biri olan yüksek kaliteli kimyasal gereksinimi olmadan yüzeylerin eldesi, bu çalışmada gerçekleştirilen tasarım için de geçerlidir. Yine bu yöntemin başka bir getirisi olarak, yoğun filmlerin, gözenekli filmlerin veya tozların üretimi için bu cihaz kullanılabilir. Bu yöntem sayesinde elde edilen nano boyutta malzemeler ile homojen kaplamalar, tasarladığımız cihaz sayesinde daha geniş yelpazede uygulama alanı bulmaktadır. Ayrıca, çok katmanlı filmler de bu çok yönlü teknik kullanılarak kolayca hazırlanabilir.

Döndürme ile kaplama tekniğinin en büyük avantajlarından biri, birkaç nanometreden birkaç mikron kalınlığına kadar çok düzgün, homojen filmlerin oldukça hızlı ve kolay bir şekilde üretilebilmesidir. Döndürme ile kaplamanın sahip olduğu bu avantaj, bu tez çalışması sonucunda gerçekleştirilen tasarıma, alttaşın bir elektrik motoru ile döndürülmesi ile dahil edilmiştir. Cihaz tasarımında yer alan elektrik motorunun, 20.000 Rpm'ye kadar istenilen devirde ayarlanabilir olması, birçok farklı malzeme için çeşitli kalınlıklarda uygulamalara imkan sağlayabilir.

Alttaşın hemen altına yerleştirilen rezistans sayesinde kaplama malzemesine ve alttaşa uygun sıcaklık değerinin 600^{o}C'ye kadar belirlenebilir olması daha çeşitli malzemelerin kullanılabilir olmasına olanak sağlamakta ve kaplama malzemesinin

alttaş ile homojen bir şekilde birleşmesine olumlu yönde etki etmektedir. Sıcaklığın kontrol edilebilir olmasının döndürme ile kaplama tekniğini geliştiren bir etken olduğu bu tez çalışmasında gözlenmiştir.

Alttaş üzerine püskürtülen kaplama malzemesinin akış hızının peristaltik pompa sayesinde ayarlanabilir olması, homojenliği arttırabilecek ve istenilen kalınlığın elde edilebilmesine olanak sağlayabilecek bir diğer parametredir.

Nebülizerin alttaşa olan mesafesinin ayarlanabilir olması, homojenliğe katkıda bulunan bir diğer etkendir ve ayrıca farklı boyutlardaki alttaşlar üzerine yapılacak uygulamalara imkân tanımaktadır.

Sonuç olarak, hemen hemen her malzemenin kullanımına olanak veren, yüksek kaliteli kimyasallar veya yüksek kaliteli alttaş yüzeyleri gerektirmeyen, vakum ortamı gerektirmeyen, maliyeti oldukça düşük, kolay ve hızlı uygulamalara imkan sağlayan, hemen hemen tüm parametrelerin kontrol edilebilir olması sayesinde birçok farklı malzeme için optimum koşulların elde edilmesine olanak veren bir cihaz tasarımı gerçekleştirilmiştir. Cihaz farklı disiplinlerde çalışmaya uygun olacak şekilde geliştirilmeye imkan tanımaktadır. Bu cihazın sunduğu avantajlar sayesinde, gerçekleştirikecek Arge çalışmalarında ihtiyaç duyulan pratik ve homojen kaplama uygulamaları gerçekleşebilir.

4.2. Öneriler

Bu tez çalışması sonucu elde edilen, farklı parametrelerin aynı anda değiştirilebilmesi sağlanarak geliştirilen bu cihaz sayesinde kaplama özelliklerinde iyileştirilme sağlanabilir. Bu cihazın sahip olduğu özellikler geliştirilerek veya bazı eklemeler yapılarak sonuçlar daha verimli hale getirilebilir.

Bu tez çalışmasının sonrasında geliştirilmesi düşünülen özelliklerden bir tanesi kaplama uygulamasının vakum ortamında gerçekleştirilmesinin sağlanmasıdır. Alttaşın bulunduğu kısmın vakumlanması, vakum ortamı gerektiren malzemeler ile de verimli bir şekilde çalışabilmesine imkan sağlayacaktır.

Bu tasarımda kullanılan rezistans değiştirilerek 600^{o}C'den daha yüksek sıcaklık gerektiren uygulamaların gerçekleştirilmesine de olanak sağlayan bir rezistans

seçimi yapılabilir. Fakat bu tercih sonrasında, cihazda kullanılan diğer tüm malzemelerin de bu yüksek sıcaklıklara dayanıklı olacak şekilde seçilmesi gerekecektir.

Alttaşın döndürülmesini sağlayan 18V'luk DC elektrik motoru yerine daha güçlü bir motor tercih edilerek 20.000 Rpm'den daha yüksek devirlere ihtiyaç duyulan uygulamalar da gerçekleştirilebilir. Bu sayede, kalınlık açısından daha geniş çalışma aralığına sahip uygulamalar gerçekleştirilebilir.

Nebülizerin x,y,z eksenlerinde istenilen yönde hareket ettirilmesini sağlayan bir mekanizma eklenerek farklı morfolojik yüzeylere sahip alttaşlar da verimli kaplamalar gerçekleştirilebilir.

Bu tez çalışmasının sonucunda elde edilen cihaz, arge çalışmaları düşünülerek mümkün olduğunca küçük boyutlarda tasarlanmıştır. Endüstriyel uygulamalar gibi büyük ebatlarda kaplamalar gerektirecek uygulamalara ihtiyaç duyulursa, aynı tasarım çok daha büyük uygulamalar için de kolaylıkla kullanılabilir.

Cihazın sahip olduğu hemen hemen tüm özellikler manuel olarak kontrol edilebilmektedir. Bu çalışmanın devamında, manuel olarak değiştirilen bu özelliklerin bir bilgisayar yazılımı yardımı ile dijital ortamda kontrol edilebilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede, daha hassas ve daha hızlı uygulamalar gerçekleştirilebilecek olup, tüm yapılan uygulamalar kolaylıkla kayıt altında tutulabilecektir.

Cihazın, bundan sonraki aşamada tamamen bilgisayar kontrollü olması hedeflenmekte ve gerekli kalibrasyonlar gerçekleştirilerek ileriye dönük patent çalışmaları düşünülmektedir.

Kaynakça

[1.] S. Sönmezoğlu, M. Koç, S. Akın, "İnce film üretim teknikleri," Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, vol 28, no. 5, pp. 389-404, 2012.

[2.] E. Pavlath and W. Orts, "Edible films and coatings: why, what, and how?," InEdible films and coatings for food applications," Springer, New York, 2009.

[3.] L. E. Scriven, "Physics and applications of dip coating and spin coating," MRS Online Proceedings Library Archive, 1998.

[4.] Y. Diao, B. Tee, C. Giri, G. Xu, D. H. Kim, H. A. Becerril and Z. Bao, "Solution coating of large-area organic semiconductor thin films with aligned single-crystalline domains," Nature Materials, vol. 12, no. 7, pp. 665, 2013.

[5.] S. Özel, "Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri," Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 2 no. 1, pp. 88-97, 2013.

[6.] F. C., Krebs, "Fabrication and processing of polymer solar cells: a review of printing and coating techniques," Solar energy materials and solar cells, vol. 93, no. 4, pp. 394-412 2009.

[7.] S. Sheng-Nan, W. Chao, Z. Zan-Zan, H. Yang-Long, S. S. Venkatraman, & X. Zhi-Chuan, "Magnetic iron oxide nanoparticles: Synthesis and surface coating techniques for biomedical applications," Chinese Physics B, vol. 23, no. 3, 037503, 2014.

[8.] B. Bhushan, & B. K. Gupta, "Handbook of tribology: materials, coatings, and surface treatments," 1991.

[9.] J. R. Nicholls, "Advances in coating design for high-performance gas turbines," MRS bulletin, vol. 28, no.9, pp. 659-670, 2003.

[10.] P. Ghosh, L. J. Gerenser, C. M. Jarman, & J. E. Fornalik, "Thin-film encapsulation of organic light-emitting devices," Applied physics letters, vol. 86, no.22, 223503, 2005.

[11.] D. Perednis, & L. J. Gauckler, "Thin film deposition using spray pyrolysis," Journal of electroceramics, vol. 14, no. 2, p. 103-111, 2005.

[12.] P. S. Patil, "Versatility of chemical spray pyrolysis technique," Materials Chemistry and physics, vol. 59, no.3, pp. 185-198, 1999.

[13.] D. E., Bornside, C. W. Macosko, & L. E. Scriven, "MODELING OF SPIN COATING," Journal of imaging technology, vol. 13, no. 4, pp. 122-130, 1987.

[14.] C. J., Lawrence, "The mechanics of spin coating of polymer films," The Physics of fluids, vol. 31, no. 10, pp. 2786-2795, 1988.

[15.] D. Basak, S. Karan, & B. Mallik, "Size selective photoluminescence in poly (methyl methacrylate) thin solid films with dispersed silver nanoparticles synthesized by a novel method," Chemical Physics Letters, vol. 420, no.1-3, pp. 115-119, 2006.

[16.] Y. H. Lee, X. Q. Zhang, W. Zhang, M. T. Chang, C. T. Lin, K. D. Chang, & T. W. Lin, "Synthesis of large-area MoS2 atomic layers with chemical vapor deposition," Advanced materials, vol. 24, no.17, pp. 2320-2325, 2012.

[17.] A. Reina, X. Jia, J. Ho, D. Nezich, H. Son, V. Bulovic, & J. Kong, "Large area, few-layer graphene films on arbitrary substrates by chemical vapor deposition," Nano letters, vol. 9, no. 1, pp. 30-35, 2008.
[18.] D. M., Mattox, "Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing," William Andrew, 2010.
[19.] D. Lee, M. F. Rubner, & R. E. Cohen, "All-nanoparticle thin-film coatings," Nano letters, vol. 6, no. 10, pp. 2305-2312, 2006.
[20.] M. Gell, E. H., Jordan, Y. H. Sohn, D. Goberman, L. Shaw & T. D. Xiao, "Development and implementation of plasma sprayed nanostructured ceramic coatings," Surface and Coatings Technology, vol. 146, pp. 48-54, 2001.
[21.] B. S. Xu, Z. W. Ou, S. N. Ma, Y. QIAO, & W. ZHANG, "Nano surface engineering," China Mechanical Engineering, vol. 11, no. 6, pp. 707-712, 2000.
[22.] J. Joo, D. Kim, D. J. Yun, H. Jun, S. W. Rhee, J. S. Lee & S. Jeon, "The fabrication of highly uniform ZnO/CdS core/shell structures using a spin-coating-based successive ion layer adsorption and reaction method," Nanotechnology, vol. 21, no. 32, 325604, 2010.
[23.] J. Meyer, R. Khalandovsky, P. Görrn & A. Kahn, "MoO3 films spin-coated from a nanoparticle suspension for efficient hole-injection in organic electronics," Advanced Materials, vol. 23, no. 1, pp. 70-73, 2011.
[24.] M. Okuya, K. Nakade & S. Kaneko, "Porous TiO2 thin films synthesized by a spray pyrolysis deposition (SPD) technique and their application to dye-sensitized solar cells," Solar energy materials and solar cells, vol. 70, no. 4, pp. 425-435, 2002.
[25.] A. Ashour, M. A. Kaid, N. Z. El-Sayed & A. A. Ibrahim, "Physical properties of ZnO thin films deposited by spray pyrolysis technique," Applied Surface Science, vol. 252, no. 22, pp. 7844-7848, 2006.
[26.] S. I. Inamdar, & K. Y. Rajpure, "High-performance metal–semiconductor–metal UV photodetector based on spray deposited ZnO thin films," Journal of Alloys and Compounds, vol. 595, pp. 55-59, 2014.
[27.] N. Kavasoglu, & A. S. Kavasoglu, "Metal–semiconductor transition in undoped ZnO films deposited by spray pyrolysis," Physica B: Condensed Matter, vol. 403, no. 17, pp. 2807-2810, 2008.
[28.] A. R. Babar, P. R. Deshamukh, R. J. Deokate, D. Haranath, C. H. Bhosale & K. Y. Rajpure, "Gallium doping in transparent conductive ZnO thin films prepared by chemical spray pyrolysis," Journal of physics d: applied physics, vol. 41, no. 13, 135404, 2008.
[29.] D. H. Kim, M. R. Park, H. J. Lee, & G. H. Lee, "Thickness dependence of electrical properties of ITO film deposited on a plastic substrate by RF magnetron sputtering," Applied Surface Science, vol. 253, no. 2, pp. 409-411, 2006.
[30.] N. Ito, Y. Sato, P. K. Song, A. Kaijio, K. Inoue & Y. Shigesato, "Electrical and optical properties of amorphous indium zinc oxide films," Thin solid films, vol. 496, no. 1, pp. 99-103, 2006.
[31.] M. Benhaliliba, C. E. Benouis, M. S. Aida, F. Yakuphanoglu, & A. S. Juarez, "Indium and aluminium-doped ZnO thin films deposited onto FTO substrates:

nanostructure, optical, photoluminescence and electrical properties," Journal of sol-gel science and technology, vol. 55, no. 3, pp. 335-342, 2010.

[32.] T. Sahm, W. Rong, N. Bârsan, L. Mädler, S. K. Friedlander, & U. Weimar, "Formation of multilayer films for gas sensing by in situ thermophoretic deposition of nanoparticles from aerosol phase," Journal of materials research, vol. 22 no. 4, pp. 850-857, 2007.

[33.] F. A. Sabah, N. M. Ahmed, Z. Hassan, M. A. Almessiere & N. H. Al-Hardan, "Sensitivity of CuS membrane pH sensor with and without MOSFET," JOM, vol. 69, no. 7, pp. 1134-1142, 2017.

[34.] D. F.Vaslow, G. H. Dieckmann, D. D. Elli, A. B. Ellis, D. S. Holmes, A. Lefkow, ... & Y. Yang, "Superconducting Bi-Ca-Sr-Cu oxide thin films by spray pyrolysis of metal acetates," Applied physics letters, vol. 53, no. 4, pp. 324-326, 1988.

[35.] L.Cattin, B. A. Reguig, A. Khelil, M. Morsli, K. Benchouk, & J. C. Bernede, "Properties of NiO thin films deposited by chemical spray pyrolysis using different precursor solutions," Applied Surface Science, vol. 254, no. 18, pp. 5814-5821, 2008.

[36.] J. D. Whitlow, & A. H. Lefebvre, "Effervescent atomizer operation and spray characteristics," Atomization and Sprays, vol. 3, no.2, 1993.

[37.] Q. N. Zhao, S. Wu & D. K. Miao, "Effect of substrate temperature on the haze and properties of SnO2: F thin film coated on glass (FTO) by spray pyrolysis process," In Advanced Materials Research vol. 150, pp. 1043-1048, 2011.

[38.] D. Hess, D. Fisher, P. Williams, S. Pooler, & R. M. Kacmarek, "Medication nebulizer performance: effects of diluent volume, nebulizer flow, and nebulizer brand," Chest, vol. 110, no. 2, pp. 498-505, 1996.

[39.] W. H. Finlay, K. W. Stapleton & P. Zuberbuhler, "Variations in predicted regional lung deposition of salbutamol sulphate between 19 nebulizer types," Journal of aerosol medicine, vol. 11, no. 2, pp. 65-80, 1998.

[40.] S. R. Dhumal, & S. S. Kadam, "Design and development of rotary peristaltic pump," International Journal of Science and Advanced Technology, vol. 2, no. 4, pp. 157-163, 2012.

[41.] Boglietti, A. Cavagnino, & D. Staton, "Determination of critical parameters in electrical machine thermal models," IEEE transactions on Industry Applications, vol. 44, no. 4, pp. 1150-1159, 2008.

[42.] D. Bauer, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen, & H. J. Diersch, "Thermal resistance and capacity models for borehole heat exchangers," International Journal of Energy Research, vol. 35, no. 4, pp. 312-320, 2011.

[43.] Z. Haishui, W. Dahu, Z. Tong & H. Keming, "Design on a dc motor speed control," In 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, vol. 2, pp. 59-63, 2010.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: melis_ozsahin@hotmail.com

Konferans Bildirileri

1. M. Özşahin, O. Toker, M. Kılıç, S. Bakırdere and O. İçelli, "The Devıce Desıgn For Thın-Fılm Coatıng That Combınes Dıfferent Technıques For Hıgh Effıcıency," 1st International Congress On Aplied Sciences, ISBN 978-605-69046-6-0, p.632, 2019.