

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ



**MÜREKKEP PÜSKÜRTME (INKJET) YÖNTEMİ ile a-Si İNCE
FİLMLEİN HAZIRLANMASI ve OPTİK, ELEKTRİK, YAPISAL
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Proje No:
FBA-2015-5317

Proje Türü
NORMAL ARAŞTIRMA PROJESİ

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Mehmet ARI
FEN FAKÜLTESİ/FİZİK

Araştırmacı
Dr. Yasin POLAT

Ekim 2017
KAYSERİ

İÇİNDEKİLER

Mürekkep püskürtme (Inkjet) yöntemi ile a-Si ince filmlerin hazırlanması ve optik, elektrik, yapısal özelliklerinin belirlenmesi

ÖZET	IV
ABSTRACT	V

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Güneş Pili Çeşitleri	2
1.3. a-Si Güneş Pilleri	4

2. BÖLÜM

MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	7
2.1.1 İnkjet (püskürtme) Cihazı.....	7
2.1.2 Dijital Yüksek Sıcaklık Kül Fırınları	10
2.1.3. X-Işınları Toz Difraktometresi.....	10
2.1.4. Dört Nokta d.c. İletkenlik Ölçüm Sistemi.....	12
2.1.4.1. Aktivasyon Enerjisi	13
2.1.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sistemi	16
2.2. Yöntem	16

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. a-Si İnce Filmlerin Hazırlanması	18
3.2. Ölçümlerin Sonuçları	19
3.2.1 XRD Ölçümlerinin Sonuçları.....	19
3.2.2. Optik Ölçümlerin Sonuçları	20
3.2.3. SEM Ölçümleri ve Sonuçları	21
3.2.4. EDX Ölçümleri ve Sonuçları	27

4. BÖLÜM

TARTIŞMA VE SONUÇ

TARTIŞMA VE SONUÇ.....	32
KAYNAKLAR.....	33

Mürekkep Püskürtme (Inkjet) yöntemi ile a-Si ince filmlerin hazırlanması ve optik, elektrik, yapısal özelliklerinin belirlenmesi

ÖZET

Güneş pillerinde kullanılan malzemenin ve işçiliğin azaltılması, teknolojinin basitleştirilerek maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, yarı-iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması yöntemi çekici bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Bu alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları güneş pilleri üretiminde kullanılabilecek birçok yarı-iletken malzemenin düşük maliyetlerde cam, metal ya da plastik folyo gibi tabakalar üzerinde geniş yüzeylere kaplanabileceğini göstermiştir. Güneş Pillerinde kullanılan en önemli malzemelerden biri de Amorf silisyumdur.

Bu proje çalışmasında a-Si örnek materyalleri inkjet püskürtme metodu ile sentezlendi. Güneş hücresi için geliştirilen bu ince filmlerin yapısal özellikleri X-Işınları Difraktometresi (XRD), optik özellikleri ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile elektriksel özellikleri 4 nokta probe yöntemi ile karakterize edildi. Farklı kalınlıklarda üretilen ince filmlerin XRD ölçümleri sonucunda karışık fazlı örnekler elde edildi. SEM görüntüleri sonucunda; a-Si numunesinin katmanı arttıkça SEM görüntüsünün kalınlığı artmaktadır. Ayrıca sistemde nano boyutlu yapıların olduğu açıkça görülmektedir. Çalışmada üretilen ince filmlerin esnek yüzeylere bile uygulanarak giyilebilir ve su geçirmez özellikli güneş pilleri yapmaya olanak tanıyan malzeme sentezlenmiş olmaktadır.

Anahtar Sözcükler: a-Si ince film, XRD, 4 nokta probe, optiksel özellik, elektriksel iletkenlik.

Preparation of a-Si Thin Films by InkJet Method and Determination of Optical, Electrical, Structural Properties

ABSTRACT

Research and development efforts to reduce the cost of materials and materials used in solar batteries, simplification of the technology and thin-film coating of semiconducting materials on large surfaces have emerged as an attractive approach. Research and development studies in this area have shown that many semiconducting materials that can be used in the production of solar cells can be coated on large surfaces on layers such as glass, metal or plastic foil at low cost. One of the most important materials used in solar cells is Amorphous Silicon.

In this study, a-Si samples were synthesized using Ink-Jet scattering method. Structural, optical properties and electrical properties of these thin film samples for solar cells have been evaluated by means of XRD, SEM and 4 Point Probe, characterization methods. XRD measurements of thin films produced at different thicknesses yielded mixed phases. As a result of SEM images; as the thickness of the a-Si sample increases, the thickness of the SEM image increases. It is also clear that there are nano-sized structures in the system. Thin films produced in work can be worn by applying even to flexible surfaces and the material that makes it possible to make waterproof solar cells is synthesized.

Keywords: a-Si thin film, XRD, 4 point probe, optical properties, electrical conductivity.

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgiler

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları haricinde yapılan enerji üretim çalışmalarının büyük çoğunluğu doğal çevreye ve ekolojik düzene zarar vermektedir. Ülkemiz ekonomisi için çok büyük maliyetlere yol açmaktadır. Bu çalışmanın amacı Türkiye’de yıllık 2600 saati bulan güneş ışını potansiyelinden yararlanarak düşük maliyetli ve yaygın kullanıma sahip güneş pili üretmektir.

Türkiye’de yıllık enerji tüketimi yaklaşık olarak 195×10^9 kWh’ tır. Güneşten gelen yıllık ışınım miktarı ise yatay ekseninde yaklaşık 1311×10^{15} kWh’tır. Bu değerler dikkate alındığında güneş enerjisini ülkemiz verimli kullandığı takdirde şu anki mevcut kullanımın yaklaşık olarak 5.000 katı büyüklükteki bir potansiyel mevcuttur. Fakat bu alanda yapılmış düşük maliyetli ve yaygın kullanıma sahip bir ürün olmadığı için ülkemiz doğal enerji kaynağını tam olarak kullanamamaktadır.

Günümüzde Dünya’da yapılan tüm çalışmalar fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaya ve fosil yakıtların çevreye olan zararlı etkilerini azaltmaya yöneliktir. Ayrıca bilim ve teknolojiye yapacağı katkılar da önemlidir. İnorganik malzemelerin güneş ışığını daha iyi soğurmasını sağlamak ve buna ek olarak ilk defa inkjet yöntemi kullanılarak üretilecek olması ülkemiz ekonomisine ve ülkemizin teknolojik olarak gelişmiş ülkeler arasındaki yerini almasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca Dünyada ilk defa bu proje kapsamında uygulanacak olan bu yöntem

malzeme esnekliği açısından diğerlerine göre daha fazla alanda kullanım imkânı sağlayacak özelliğe sahip olacağı düşünülmektedir. Bu proje sonucunda elde edilecek bilgi birikimi ve jenerik ürün (temel platform) sayesinde değişik yarıiletken malzemelerin kullanılması ile farklı tiplerde güneş pilleri geliştirilebilecektir.

1.1.1. Güneş Pili eşitleri

Güneş pillerinde kullanılan malzemenin ve işçiliğin azaltılması, teknolojinin basitleştirilerek maliyetlerinin düşürülmesi yönünde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, yarı-iletken malzemenin geniş yüzeyler üzerine ince film şeklinde kaplanması yöntemi çekici bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Bu alanda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları güneş pilleri üretiminde kullanılabilecek birçok yarı-iletken malzemenin düşük maliyetlerde cam, metal ya da plastik folyo gibi tabakalar üzerinde geniş yzeyele kaplanabileceğini göstermiştir. İnce film fotovoltaiik malzeme genellikle çok kristalli malzemelerdir. Başka bir değişle ince film yarı-iletken malzeme, büyüklükleri bir milimetrenin binde birinden milyonda birine değin değişen damarlardan oluşmaktadır.

Silikon levhalardan farklı olarak ışık emici tabakalar yaklaşık 350 mikron kalınlığındadır ve ince-film güneş hücreleri 1 mikron kalınlığında ışık emici tabakalar taşır. İnce-film güneş hücrelerinin 3 temel çeşidi bulunmaktadır. Bunlar kullanılan yarıiletkene göre farklılık gösteren amorf-silisyum (a-Si), kadmiyum tellürid (CdTe) ve bakır indiyum galyum deselenid (CIGS). Amorf silisyum basitçe geleneksel silisyum hücrelerin inceltilmişi olarak düşünülebilir. Bu yüzden en sık kullanılan çeşit a-Si' dir. a-Si solar hücrelerle ilgili en büyük problem silisyumun her zaman kolaylıkla ve ihtiyaç kadar bulunamamasıdır. a-Si solar hücreler verimsiz değildir. Ancak güneşe karşı korunmasız bırakıldıklarında çıkış glerinin önemli bir kısmını kaybederler. Daha ince a-Si hücreler bu sorunun üzerinden gelir ancak ince katmanların ışık emme kapasiteleri azalır. Tüm bu faktörleri incelediğimizde a-Si hücrelere hesap makinası vb gibi küçük çaplı uygulamalar için idealdir. Maliyetini geri ödeme süresi 1,5-3,5 yıl arasındır. Üretim için yüksek maliyetli donanımlar gerektirmektedir fakat üretim süreci ucuz olduğu için firmalar bu hücre tipine de yönelmektedir. İnce-film Solar hücrelerin yapılarına bakıldığında, Güneş enerji hücrelerinde yapı ve çalışma birbiriyle çok ilişkili olduğu için nasıl çalıştıklarını incelemek gerekir. Bu arada bu güneş hücrelerinin Fotovoltaiik (PV) olarak da bilindiğini belirtmek gerekir. Fotovoltaiik hücreler yarı iletken olarak bilinen

materyalden yapılırlar. Yarı iletkenler saf halde yalıtkandırlar. Ancak ısıtıldıklarında veya başka bir maddeyle karıştırıldıklarında iletken konuma geçebilirler. Yarı iletken fosfor gibi bir elementle birleştğinde açığa fazladan elektronlar çıkar. Bu tip yarı iletkenlere n-tipi yarı iletken denir. Yarı iletken boron gibi başka bir materyalle karıştırılırsa deşik olarak bilinen delikler açılır. Bu tip yarı iletkenlere ise p-tipi yarıiletken denir. PV hücre n-tip ve p-tip materyallerin birleşiminden oluşur. Bu materyallerin birleşme noktasına junction (eklem) denir. Işık yokken bile çok az miktarda elektron n-tip' ten p-tip' e eklem bölgesinden geçerek ulaşır. Bu geçiş az miktarda voltaj oluşmasına neden olur. Ortamda ışık varsa elektronların bu geçişi daha fazla olacak ve oluşacak akım elektrikli cihazlarda kullanılabilecek büyüklüğe ulaşacaktır. Geleneksel solar hücreler n-tip ve p-tip katmanlarda silisyum kullanmaktadır. Ancak yeni jenerasyon ince-film hücreler kadmiyum tellüryum veya bakır galyum deselenid kullanır.

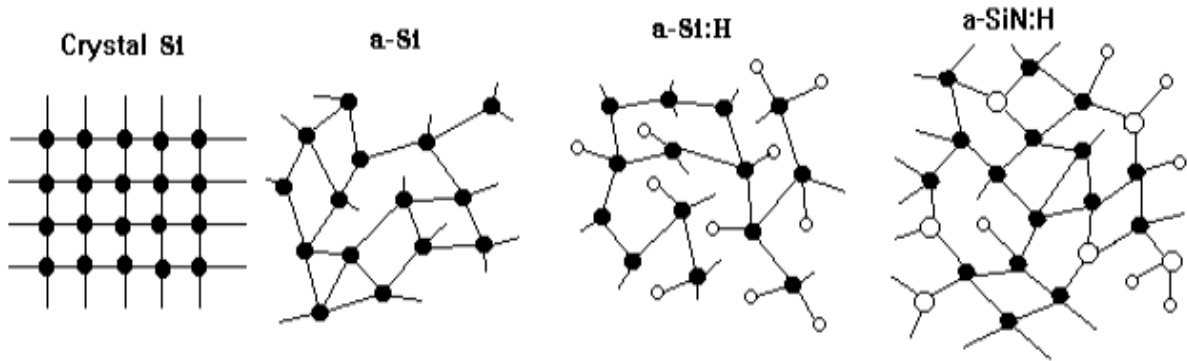
İnce-film güneş hücrelerini geleneksel güneş hücrelerinin verimlerini karşılaştırmak gerekirse; teorik olarak silisyum tabakalı geleneksel güneş pilleri % 40-45 enerji verimliliği sağlar. Bu üzerine düşen güneş enerjisinin sadece yarısını elektrik enerjisine çevirdiği anlamına gelir. Gerçekte ise silisyum tabakalı geleneksel güneş pilleri ancak %15 ~ %20 verimliliğe ulaşabilir. Son teknolojik gelişmelerle beraber ince-film güneş hücrelerinin verimleri de geleneksel güneş hücreleriyle yarışabilir hale gelmiştir. CdTe güneş hücrelerinin verimi %15-17, CIGS güneş hücrelerinin verimi ise %20' ye ulaşmıştır. Ancak kadmiyum sağlık açısından zararlı bir malzemedir. Çünkü kadmiyum yemek zincirine karışabilecek yüksek derecede zehirli civa maddesinden oluşur. İnce film güneş hücrelerinin üretimine bakacak olursak maliyetlerin büyüklüğü güneş enerji teknolojisinin yaygınlaşmasının önünde bir dezavantaj olarak görülmektedir. Klasik silisyum güneş hücrelerinin üretimi karmaşık, çok zaman alan bir işlemdir. Bu da watt başına üretim maliyetini arttırmaktadır. Silisyumdan yapılmayan ince-film güneş hücrelerinin üretimi ise çok daha kolaydır ve bu özelliği de üretim maliyetini düşürmekte ve zaman kaybını ortadan kaldırmaktadır.

İnce film güneş gözeleri arasında üç büyük aday öne çıkarmaktadır. Bunlar; amorf silisyum, kadmiyum (Cd) ve tellür (Te) elementlerinden meydana gelen birleşik yarı-iletken kadmiyum tellür (CdTe) ve Bakır, indiyum, Selenyum elementlerinin bir aralığı olan Bakır-İndiyum-Diselenid (CulnSe₂) bileşik yarı-iletkenidir [1].

1.2. a-Si Güneş pilleri

Bu proje çalışmasında üretilen a-Si tabanlı ince filmlerin, enerji üretim veriminin yüksek olması, düşük üretim maliyetli ve ileriye dönük seri üretime uygun olması gibi nedenlerle gelecekte güneş pillerinde daha yaygın kullanılabileceği öngörülmektedir. Kullanılan a-Si tabanlı ince filmlerin üretimlerinin kolay olması, en duyarlı olduğu bölgenin güneş ışığı tayfının en güçlü olduğu dalga boylarına karşılık gelmesi ve yeni bir teknik olan mürekkep püskürtme yönteminin de (inkjet) kolay ve üretime dönük olması sebebiyle verimi daha yüksek a-Si tabanlı ince filmler hazırlanmıştır. Elde edilen örneğin fabrikasyona en uygun yöntem olarak injekt yöntemi ile elde edilmiş olması projenin özgünlüğü ve sanayiye uygulanabilir olduğunun göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bu sayede en kaliteli ve seri üretime uygun a-Si ince film yapısının elde edilmesi ve optimize edilebilmiştir. Üretilen ince filmlerin yapısal, optiksel, elektriksel ve yapısal yüzey morfolojik özelliklerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Geçmiş yıllarda bilinen en önemli amorf yarı iletken (pek çok makinede aktif materyal olarak da kullanılan) selenyumun cam fazı olmuştur. Günümüzde en çok kullanılan yarı iletkenler; Kristal Silisyum, Amorf Silisyum, Galyum Arsenit, Kadmiyum Tellürid, Bakır İndiyum Diseleneid'tir.



Periyodik tablonun 6. grup elementlerinden olan Te, Se, S, O (kalsojen elementleri) 5. gruptan olan Bi, Sb, As, P elementleri ile 4. gruptan olan Si ve Ge elementlerini kapsayan muntazam dörtlü ve üçlü alaşımlar, ikili bileşikler ve elementler olmak üzere yarı iletken özelliklere sahip amorf maddeler vardır. Bunlar asıl katılanlar olmasına rağmen, bazı geçiş metal oksitleri

amorf yarı iletken form oluşturabilirler ve (CdAs_2Ge gibi) diğer elementler de yukarıda ismi geçen elementlerle bir arada bulunabilirler.

Amorf Yarı-iletken çalışmaları, hidrojenlendirilmiş amorf silisyum ve hidrojenlendirilmiş amorf silisyum-karbon (veya azot) alaşımı filmleri, plazma biriktirme yöntemi ile hazırlamakta ve bu filmlerin elektronik ve optik özelliklerini incelemektedir. Güneş pili ve ince film Transistor yapımında uygulama alanı bulan bu filmler öz-iletkenlik, ısı ıyarmalı akım, kararlı ve geçici fotoiletkenlik, optik geçirgenlik ve yansıma, Sabit Fotoakım spektroskopisi gibi ölçümlerde karakterize edilmektedir. Şu anda yürütölen araştırmalar henüz yapıları iyi anlaşılamamış amorf yarı iletkenlere özgü Yarı-kararlı kusurların incelenmesi üzerine yoğunlaşmıştır ve konvansiyonel malzemeler yerine kullanılan, yüksek teknoloji malzemeleridir.

Soğurma katsayısı çok büyük olan amorf silisyum, 250°C dolayındaki sıcaklıklarda geniş yüzeylere düzgün bir şekilde kaplanabilmektedir. Amorf-silisyum malzemesini kristalli silisyumdan ayıran özellik, silisyum atomlarının malzeme içindeki düzenlerinin, birinci yakınlıktaki komşu atomların ötesinde geliş güzel olmasıdır. Malzeme içerisindeki yapı taşlarının bu gelişigüzel diziliş amorf-silisyumun elektriksel iletim kalitesini düşürse de, uygun yaklaşımlarla yarı-iletken içerisine %5-10 oranında hidrojen katılarak elektriksel özellikler fotovoltaiik çevirime uygun seviyeye getirilmektedir. Amorf silisyum için kullanılan en yaygın teknoloji "Işımalı-boşalım (glow-discharge)"dır. Bu teknikte Silane (SiH_4) gazı ve hidrojen karışımı bir çift elektrot arasından geçirilirken elektrotların işaretleri yüksek frekanslarda değiştirilir: bunun sonucu olarak SiH_4 parçalanarak kararsız SiH_3 kökçesini (radikalini) oluşturur, izleyen aşamada, kararsız SiH_3 elektrotlardan birine giderek bağlanır ve kararlı hale gelir; ardından hidrojen yüzeyden ayrılarak geride silisyumu bırakır; böylece yüzey silisyumla kaplanmış olur. Elektrot üzerinde büyüyen silisyum gazın içerisine boron yada fosfor katılarak n- yada p-tipi yapılabilir. Karmaşık gibi görünen teknoloji, makaradan makaraya üretime uygundur. Amorf silisyum 1980'li yıllarda ince film fotovoltaiik alanın en gözde malzemesi olmuştur. 1982'de %10 verimlilik sınırı aşılmış ve 1987'de verimlilik % 12.7'lere kadar çıkarılmıştır. Son yıllarda bu değer laboratuarda %15 değerinin üzerine Japon-Amerikan ortaklığı olan Uni-Solar tarafından çıkarılmıştır. Ancak amorf silisyum gözelerin güneş altında verimliliklerinin hızla düşmesi bu tür gözden büyük ölçekli güç üretiminde

tasarım dışı bırakmıştır. 1980'lerin başında kararlı verimlilik değeri ancak %3.5 dolayında tutulabilirken, bugün bu değerin %6-6.5 dolayında olduğu belirtilmektedir. Bu tür sorunlara karşın küçük ölçekli güç gerektiren uygulamada amorf silisyum gözeler en çok kullanılan güç kaynaklarıdır. Kararsız performansın aşılması yönündeki yeni gelişmelerle bu tür güneş gözeleri büyük ölçekli güç gerektiren uygulamalarda da yerini almaya başlamıştır. Amorf silisyum alanında Solarex. New Jersey 10 Megawatt/yıl üretim kapasitesi ile başta giderken, onu 5 Megawatt/yıl kapasite ile Uni-Solar izlemektedir; bunun yanında 1 Megawatt/yıl üretim kapasitesine sahip bir alman firması olan ASEGmbH önümüzdeki iki üç yıl içerisinde bu kapasiteyi 15-20 Megawatt/yıl değerine çıkartmayı planlamaktadır [2,15].

2. BÖLÜM

MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

2.1.1 İnkjet (püskürtme) Cihazı

Son zamanlarda inkjet yöntemi; yarıiletken devre elemanlarında (bütünleşmiş devreler, baskı devreleri, dirençler) görüntü teknolojisinde (LED, OLED, renk filtreleri), biyomedikal teknolojilerde (sensor, array) üretim için kullanıldığından popüler hale gelmektedir.

Mürekkep püskürtme (Inkjet) yönteminde toz şeklindeki yarıiletken maddeler sıvı çözücülerle karıştırılarak farklı viskozite değerlerinde ve mürekkep kıvamına getirilebilmektedir. İnkjet materyal printer cihazında kullanılacak yarıiletken malzeme bir veya birkaç çözücü (solvent) (Cholorbenzene, Toluene, propylen, glycol, etanol-isopropnol, hexane, o-dichlorobenzene, dodecane, bithiophene, oligothenes organik çözücüler ve saf su) birlikte kullanılması mümkündür. Örneğin cholorobenzene ana solvent olmak üzere %20-25 diğer ikincil solventlerle karıştırılarak malzemenin viskozite değeri istenilen biçimde ayarlanabilir. Böylece çoklu çözücü kullanımı ile bir sonraki aşama olan yüzey üzerine püskürtme işlemi sonrası çözücülerin malzeme yapısının temel özelliklerini bozmadan kontrollü bir şekilde uzaklaştırılması (kontrollü buharlaştırma, soğutma, sıcaklık değişimi, konveksiyon akı süreçlerinin uygun şekilde yapılması) daha uygun ve istenilen şekilde yapılabilecektir. Seçilen çözücü güneş pil yapısında kullanılan yarıiletken maddelerle iyi uyum sağlayanlar arasında seçilmesi bir diğer önemli noktadır. Ayrıca, güneş pili arka kontak yapısı uygun bir şekilde oluşturulmalı ve kullanılacak çözücünün vereceği muhtemel zararın önüne geçilmelidir.

İnkjet malzeme printer cihazının yarıiletken malzemeyi püskürtmesi esnasında yüzeye gönderdiği damla hacminin kontrolü, seçilen çözücü cinsine ve miktarına bağlı olduğundan uygun oranda malzeme-çözücü karışımı seçilecektir. Aynı yöntemle püskürtülecek metal kontak yapılar, aynı noktalara dikkat edilerek, oluşturulacaktır. Cihazdan püskürtülecek sıvı malzemenin kararlılığı, viskozite, yoğunluk, yüzey gerilimi ve püskürtme uç yarıçapına bağlı olacaktır. Malzemenin üst üste istenilen kalitede büyütebilmek için yarıiletken madde+çözücü ile elde edilen sıvı üzerine püskürtülecek altlık(substrate) uyumlu ve etkileşimi istenilen özellikleri taşımali ve kontrol edilebilir olmalıdır. Isıl işlem sonucu sistemden çözücünün uzaklaştırılması sonucu, yüzeyde kalan malzemenin viskozite değişimi sonrası oluşacak farklılaşma durumlara karşı cam altlıkla uyumu iyi ayarlanmalıdır. Kontrollü bir şekilde çözücüler ısıl işlemlerle tamamen sistemden uzaklaştırılabilir. Güneş pilinin p-n eklemine oluşturulmasında kullanılacak olan yarıiletken maddeler parçacıklarının daha kararlı hale getirmek farklı işlemlerde yapılabilmektedir.

Elde edilen bu sıvı yarıiletken numune, piezoelektrik prensipler kullanan bir püskürtme aparatı(başlığı) ile istenilen hassaslıkta(μm mertebesinde) istenilen boyutlarda bir yüzeye püskürtmek mümkün olabilmektedir. Böylece bir kontrol ünitesi ile istenilen kalınlık ve boyutta bir yarıiletken malzeme bölgesi oluşturulabilmektedir.

Kullanılacak püskürtme cihazı şekil 2.1’de gösterilmektedir. Cihazın kullanımının esnekliği sayesinde ve malzeme koyma haznesinin portatifliği ve kolayca değiştirilebilir olması nedeniyle farklı malzemeleri püskürtme son derece kolay olabilmektedir ve farklı hazne kullanımı ile farklı maddelerin püskürtülmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca püskürtme yapılan altlık sıcaklığı istenildiğinde 60 ve 70 C kadar ısıtılabilir. Bu da yarıiletken tabaka ile altlık olarak kullanılan cam gibi maddelerin birbirleriyle çok iyi temas oluşturmaları sağlanabilmektedir.



Şekil 2.1. İnkjet malzeme püskürtme cihazına bir örnek

Günümüzde mikrometre boyutlu malzeme büyütme ile ilgili sorunlar püskürtme yöntemlerinin geliştirilmesiyle ortadan kalkmaktadır. Mürekkep püskürtme (Inkjet) büyütme yöntemi kullanılarak güneş pillerini istenilen boyutlarda, yapılarda, özelliklerde ve verimlilikte üretilmeleri mümkündür. Ayrıca farklı kimyasal yöntemlerle, nano ve mikro boyutlu parçacıklardan malzemeler üretmek mümkün olabilmektedir. Organik çözücüler kullanılarak yarıiletken malzemeler mürekkep kıvamına getirilebilmektedir. Mürekkep püskürtme (Inkjet) yöntemi ile altlıklara yani cam, alüminyum folyo veya plastik iletken üzerine püskürtülen yarıiletken malzemelerden uygun boyutlarda ve kalınlıkta güneş pilleri elde edilecektir. Elde edilen bu örnekler uygun sıcaklıkta ve asal gaz ortamlarında ısıtılma işlemi tabii tutulduğunda çözücü malzemelerden uzaklaştırmak suretiyle elde edilen numunelerin yeterli saflıkta elde edilmesi başarılmış olacaktır. Çalışmalar sırasında gereksinme duyulacak olan kimyasal işlemler proje ekibindeki Ar-Ge sorumlusu ve araştırmacılar tarafından yürütülecektir.

Bu malzemelerin elde edilmesinde kullanılan mürekkep püskürtme (Inkjet) yöntemi diğer yöntemlere göre daha kolay ve maliyeti çok daha az olmaktadır. Ayrıca istenilen boyutlarda (m^2 boyutlarına kadar) ve kalınlıkta (μm ve katları) numune kolayca hazırlanabilmektedir.

Diğer ince film üretim tekniklerine göre aşağıdaki avantajları saymak mümkündür:

- 1) x-y-z düzlemlerinde yüksek çözünürlükte uygulanabilmesi (mikro metre hassaslıkta)
- 2) Hızlı üretim
- 3) Düşük maliyet
- 4) Kontaklı yöntem

- 5) Gerçek zamanlı uygulanabilirlik
 - 6) Bilgisayar kontrolü sayesinde istenilen desende ve ebatta malzeme tabakası büyütülebilmesi
 - 7) Oluşturulacak malzeme tabaka çeşitliliğinin fazla olması
 - 8) m2 alana sahip büyüklükte ince filmlerin üst üste büyütülebilme olanağı
- gibi nedenlerden dolayı, inkjet yöntemi oldukça umut vaat eden bir yöntem olarak görülebilir.

2.1.2 Dijital Yüksek Sıcaklık Kül Fırınları

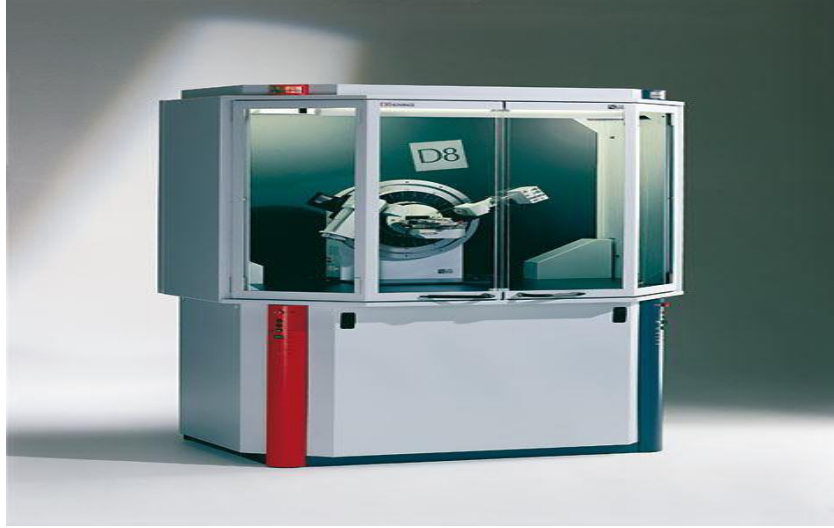
4 point probe yöntemi ile ölçülecek malzemenin sıcaklıkla artan iletkenlik değerinin tespiti için açık atmosferde çalışan kül fırınlar kullanıldı (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Katı hal reaksiyonları için kullanılan değişik düşük sıcaklık kül fırınları.

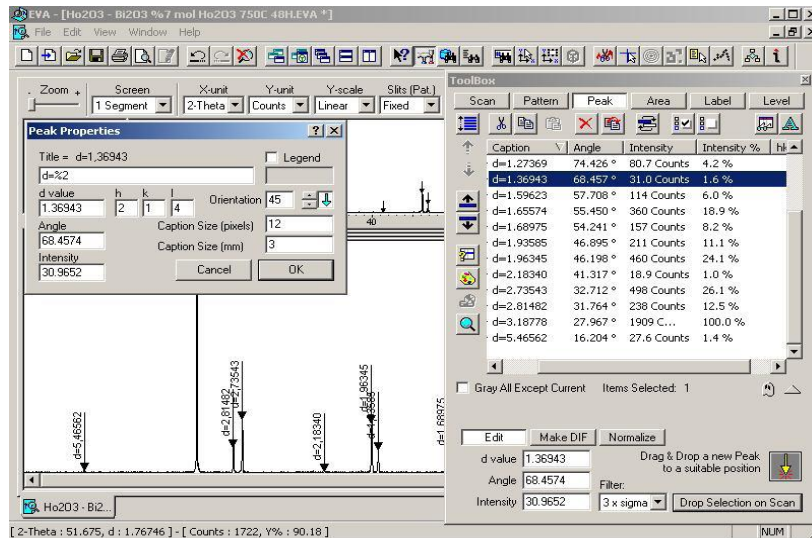
2.1.3. X-Işınları Toz Difraktometresi

X-ışınları toz difraksiyon (XRD) ölçümleri; Erciyes Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma Merkezinde mevcut olan Bruker AXS Marka D8 Advanced tipi XRD sistemi (Şekil 2.3) ile yapıldı.



Şekil 2.3. Bruker AXS D8 Advanced tipi XRD sisteminin görüntüsü.

Bilgisayar kontrollü olan XRD sistemi Bragg-Brentano geometrisine göre çalışan difraktometre sistemi olup, ölçümlerde 40 kV ve 40 mA’de, grafit monokromatör ile elde edilen $\text{CuK}\alpha$ ışması kullanıldı. Ölçümler 1 mm’lik giriş, 0.1 mm’lik çıkış slitleri ile $10^\circ \leq 2\theta \leq 90^\circ$ açı aralığında ve $0.002^\circ(2\theta)$ ’lik açı taramaları ile gerçekleştirildi. Sistemden elde edilen toz desenleri ve verilerinin; değerlendirilmeleri, yorumlanmaları, literatür verileri ile karşılaştırılmaları, indislemeleri, birim hücre tiplerinin belirlenmesi, birim hücre sabitlerinin hesaplanması gibi çalışmalar, laboratuvarımızda bulunan Bruker Topas-2 ve Bruker Diffrac Plus Eva, hazır paket programları kullanılarak yapıldı (Şekil 2.4)

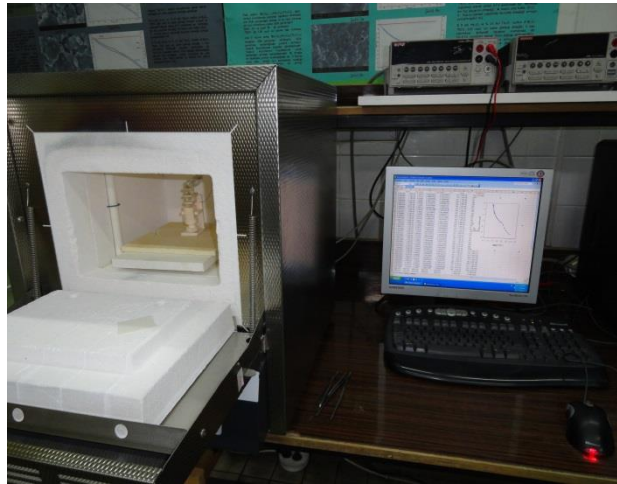


Şekil 2.4. XRD sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan paket programlarından alınan bazı görüntüler: Bruker Diffrac Plus Eva programı.

Paket programlar ile XRD toz desenlerinde zemin, sıfır noktası ve difraksiyon pik açısı düzeltmeleri, birim hücre tipinin belirlenmesi, örgü sabitlerinin ve h k l değerlerinin hesaplanması gibi işlemler otomatik olarak yapılabilmektedir. İndislemelerde maksimum ve minimum tolerans değerleri (hata oranları) otomatik olarak tanımlanabilmektedir.

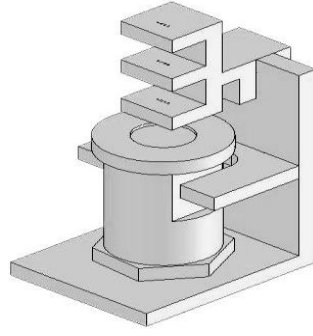
2.1.4. Dört Nokta d.c. İletkenlik Ölçüm Sistemi

Bu çalışma sırasında üretilen paletlerin maddelerinin elektriksel iletkenlik ölçümleri, dört nokta d.c. sistemi ile yapıldı. Ölçüm sistemi; PC, IEEE-488.2 Bus, Interface kart, scanner kartlı multimetre (Keithley marka 2700 model), programlanabilir akım kaynağı (Keithley marka 2400 model) ve bu amaç için özel olarak hazırlanmış paket programlardan oluşmaktadır. Bütün ölçümler DAQ (Data Acquisition) kontrol sistemi ile yapıldı. Katı elektrolitlerin elektriksel iletkenlikleri (toz ve ince tabaka) iletkenlik ölçümleri sıcaklığa ve doping konsantrasyonuna bağlı olarak bilgisayar kontrollü olarak yapıldı. İletkenliği ölçülen örneğin gerçek sıcaklığını belirlemek amacıyla örneğe 2-3 mm mesafede olacak şekilde termal çift yerleştirildi (Şekil 2. 5).



Şekil 2.5. Bilgisayar kontrollü elektriksel iletkenlik ölçüm sistemi

Her ölçüm sıcaklığında 10 verinin ortalaması alınarak, numunenin o sıcaklıktaki iletkenlik değeri belirlendi. İletkenlik ölçümleri için araştırma grubumuzca özel olarak tasarlanan ve üretilen seramik iletkenlik ölçüm kiti (Şekil 2.6) kullanıldı.



Şekil 2.6. Alümina iletkenlik ölçüm kiti.

İletkenlik ölçümleri sırasında paletler üzerine yaklaşık 0,5 mm çaplı platin teller, teller arasında 2 mm mesafe olacak şekilde dört ayrı noktasına temas ettirilerek direk kontak yapmaları sağlandı. Ölçümlerde, kontak direncini minimize etmek amacıyla bağlayıcı pasta (Ag pasta veya Pt pasta) kullanılmaksızın, doğrudan kontak sağlanması tercih edilmiştir.

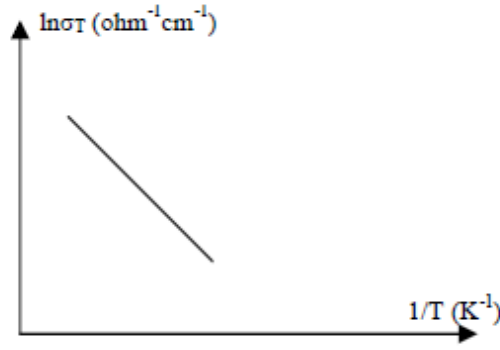
Ayrıca en yüksek iletkenliğe sahip olan numune belirlenmeye çalışıldı. En yüksek iletkenliğe sahip numune, yapılmış malzeme karakterizasyonlardan biri olan elektriksel iletkenlik değerlerinin tespiti yapılarak aktivasyon enerjileri hesaplandı.

2.1.4.1. Aktivasyon Enerjisi

İyonik iletkenlerin iletkenlik mekanizmasında örgüdeki iyonlar bulundukları örgü noktalarından boş olan başka konumlara göç ederek iletkenlik meydana getirirler. Bu durumda burada tanımlanan aktivasyon enerjisi, iyonların hareketi ile meydana gelen bu iyonik iletkenlik mekanizmasında iyonların örgüde bulundukları konumdan ayrılıp boş olan başka bir konuma geçmeleri için ihtiyaç duydukları eşik enerjisidir. İletkenlik denkleminde aktivasyon enerjisi belirlenebilir.

$$\ln(\sigma_T) = -(E_a/k) (1/T) + \ln(\sigma_0) \quad (2.1)$$

Bu denklemdeki sıcaklığa bağlı iletkenlik değişimi deneysel metotlarla elde edilir. Elde edilecek veriler ile çizilecek $\ln(\sigma_T) - (1/T)$ grafiği Şekil 2.7.'da görüldüğü gibidir.



Şekil 2.7. İletkenliğin sıcaklığa bağlı değişimi.

Grafikte görülen lineer doğrunun eğimi $-E_a/k$ değerine eşittir ve grafiğin eğiminden E_a hesaplanabilir. Doğrunun $\ln \sigma_T$ eksenini kestiği nokta ise $\ln \sigma_0$ değeridir ve $1/T$ değerinde $T \rightarrow \infty$ için iletkenliği verir.

Aktivasyon enerjilerini ölçmek, üretilen bileşikler karakterize etmede önemli bir değerlendirme yöntemidir. Ayrıca aktivasyon enerjisinin sabit olması, sabit olduğu sıcaklık aralığında iletkenlik mekanizmasının aynı kaldığını gösterir. İletkenlik mekanizması değişince enerji değeri de değişiklik gösterir. İletkenlik mekanizmasının değişimi numunelerde kristal yapının ve taşıyıcı yüklerinin cinsinin değişmesi gibi olgulara işaret eder.

İletkenlik için elde edilen $\sigma_T = \sigma_0 \cdot e^{-E_a/kbT}$ denklemi, bir kimyasal reaksiyonun gerçekleşme hızı ve ortam sıcaklığı arasındaki ilişkiyi veren Arrhenius denklemi ile çok benzerdir. Elektrokimya ve fizikokimya alanında önemli çalışmalar yapan İsveçli bilim adamı Svante Arrhenius (1859-1927), 1887’de Arrhenius Kanunu ile kimyasal reaksiyonlarda reaksiyon hızı, tepkimeye giren bileşenlerin reaksiyon oluşturmaları için sahip olmaları gereken minimum enerji ve ortam sıcaklığı arasındaki ilişkiyi açıkladı. Sisteme aktivasyon enerjisi verilmedikçe, termodinamik olarak gerçekleşmesi gereken bir tepkime yürümez. Aktivasyon enerjisini belirlemenin en iyi yolu deneysel yöntemlerdir. Sıcaklık arttıkça reaksiyon hızı artar ve bu durum parçacıkların enerjisinin de arttığı anlamına gelir. İki molekül arasında bir reaksiyonun oluşması için bu moleküller birbirleri ile temas ettiklerinde bunların eşik enerji denilen bir minimum enerjiye sahip olmaları gerekir. Gerekli enerji burada *aktivasyon (etkinleşme) enerjisi* olarak adlandırılır. Bu enerjiye sahip olan moleküllere de *aktifleşmiş (aktiflenmiş, etkinleşmiş) molekül* denir. Kimyasal bir reaksiyonun meydana gelme şart ve süreçlerini açıklayan Aktiflenmiş Kompleks kuramına (mutlak tepkime hızı veya geçiş hali kuramı) göre aktivasyon enerjisine sahip moleküllerden “aktiflenmiş kompleks” adı verilen kararsız bir ara ürün meydana gelir. Bu ara ürün ile reaktif maddeler arasında bir denge olduğu

varsayılır. Bir reaksiyonun gerçekleşmesi için aktifleşmiş molekül sayısının fazla olması gerekir. Bu da tanecik sayısı ve taneciklerin enerjilerine bağlıdır. Yani kimyasal reaksiyona girecek tanecik oranı artırılırsa reaksiyon daha hızlı gerçekleşir. Ayrıca bu taneciklerin enerjisi ısı yoluyla artırılarak taneciklerin daha kolay reaksiyona girmesi sağlanır ve reaksiyona girecek tanecik sayısı artırılır. Toplamda reaksiyonun gerçekleşme hızı artırılmış olur. Arrhenius'a göre bir reaksiyonun oluşma hızı ile E_a ($\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$) ve T (K) sıcaklığı arasındaki ilişki aşağıdaki şekildedir.

$$k \propto e^{-E_a/R\cdot T} \quad (2.2)$$

Burada k hız sabiti, R ideal gaz sabitidir ($8,31 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$). Arrhenius Denklemi ise aşağıdaki şekilde verilir.

$$k = k_0 \cdot e^{-E_a/R\cdot T} \quad (2.3)$$

(2.3) denkleminde *Arrhenius Denklemi* denir. Teorik olarak Arrhenius bağıntısındaki k_0 (frekans faktörü, ön-üstel faktör) sabitini açıklamak için farklı kuramlar öne sürülür ve bunlardan biri yukarıda da değinilen Aktiflenmiş Kompleks kuramıdır. Frekans faktörü sıcaklığa çok zayıf bağlı olmakla beraber, sıcaklık değişimi ile çok az değişir. Küçük değişimlerde sabit kabul edilir. Denklemin her iki tarafının logaritması alınmasıyla oluşacak $y = -ax + b$ fonksiyonunun grafiği çizilebilir.

$$\ln k = \ln k_0 - (E_a/R) \cdot (1/T) \quad (2.4)$$

(2.4) denkleminde ait $(\ln k - 1/T)$ grafiğinin eğiminden E_a bulunur. Çizilen grafiğe *Arrhenius Eğrisi* adı verilir.

Bu durum yukarıda açıkladığımız elektrik iletkenliği için de geçerlidir. Eğer ortamdaki yüklü tanecik sayısı artarsa ve sahip oldukları enerji de ısı yoluyla artırılırsa valans bandındaki yükler iletkenlik bandına geçip örgüde hareket ederek elektrik akımını başlatabildiği gibi aynı zamanda akım şiddetini de artıracaktır. Taneciklerin enerjilerinin artması ya da aktivasyon enerjisinin azalması yüklerin daha kolay hareket etmesi ve daha kolay iletme katkıda bulunması anlamına gelir. Bu nedenle elektrik iletkenlik denklemi deneysel olarak Arrhenius denkleminde benzetilebilir ve iletkenlik için yukarıda çizilen $\ln(\sigma_T) - (1/T)$ grafiği Arrhenius eğrisi olarak adlandırılabilir.

Oksijen iyonik malzemelerin Arrhenius eğrilerine ait yapılan çalışmalarda, bu malzemelerin Arrhenius eğrilerinin iki bölgesi olduğu yaygın olarak bildirilen tipik davranışıdır. Düzensiz başlayan eğri belirli bir sıcaklık bölgesi aralığında düzenli bir artış seyri gösterir ve kritik bir

sıcaklıkta ani bir zıplama yaparak yüksek bir iletkenlik gösterir ve bu noktadan itibaren tekrar sabit bir eğim gösterir. Farklı aktivasyon enerjisi değerler farklı iletkenlik mekanizmalarına işaret eder. Bu nedenle bu kırılma sıcaklığı ve öncesindeki iletkenlik mekanizmalarının da farklı olduğu söylenebilir. Eğrideki bu kırılma noktası civarındaki sıcaklıklarda faz dönüşümünün meydana geldiği bildirilmiştir.

Bi_2O_3 tipi katı elektrolitler O^{2-} iyonik iletkenlik karakterine sahiptirler ve elde edilen üçlü sistemlerde sentezi gerçekleştirilen kübik tipi katı çözeltilerin çoğunluk yük taşıyıcıları (mobil tanecikleri) O^{2-} iyonlarıdır. Sıcaklık artışının oksijen iyonlarının hareket hızlarını (mobilitelerini) artırmasından dolayı da elektrik iletkenliklerde artan sıcaklıkla beraber bir artış gözlenmektedir. Arrhenius eşitliğinde verilen E_a aktivasyon enerjisi oksijen iyonlarının örgü içerisinde hareketlerini başlatan minimum enerjidir. Yani oksijen iyonlarının elektrostatik çekim etkisini yenip, ilk harekete başlaması ve sonrasında da öngörülen atlamaları yapabilmesi için gerekli olan enerjiye karşılık gelmektedir.

2.1.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sistemi

Tez çalışması kapsamında, mikro yapısal, tanecik boyutları, porözlükler belirlenmesine yönelik çalışmalar, LEO 440 marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) sistemi ile yapıldı (Şekil 2.8). SEM görüntüleri tablet yüzeylerinden ölçümler alınarak elde edildi.



Şekil 2.8.Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) sisteminin görüntüsü.

2.2. Yöntem

Kullanılacak İnkjet yöntemi ile kontrollü olarak istenilen özelliklerde farklı yarıiletken maddeli, doping konsantrasyonlu ve farklı iletken elektrot biçimli ince filmlerin üretimi gerçekleştirilecektir. İletken elektrotlar ise inkjet cihazının bir başlığının haznesine epoxy maddesi ile karıştırılarak mürekkep kıvamına getirilen gümüş boya ile yapılacaktır. Elde edilen örnekler farklı sıcaklıklarda ısıtma işlemi tabii tutularak epoxy'nin örnekten

uzaklaştırılması sağlanacaktır. Farklı epoxy çeşitleri kullanılarak ısıtma işlem sıcaklığını düşürmek ve ayarlamak mümkün olacaktır. Böylece ince film yapısındaki epoxy etkisi ortadan kalkacaktır. Bir bilgisayar yardımı ile kontrol edilen inkjet sistemi ile a-Si tabanlı ince film kolayca elde edilebilecektir.

İnkjet sisteminin modifiye edilmesiyle, seri üretime uygun hale getirilmesinin başarılabileceği düşünülmektedir. Bütün bu noktalar göz önüne alındığında inkjet yönteminin kullanılması güneş pillerinde kullanılan ince filmlerin örneklerinin hazırlanmasının ve üretilmesinin başarı ile yapılacağına olan inancımız tamdır. Projenin yürütülmesi esnasında, çalışmalarımız aşağıda verilen sırayla yapılacaktır.

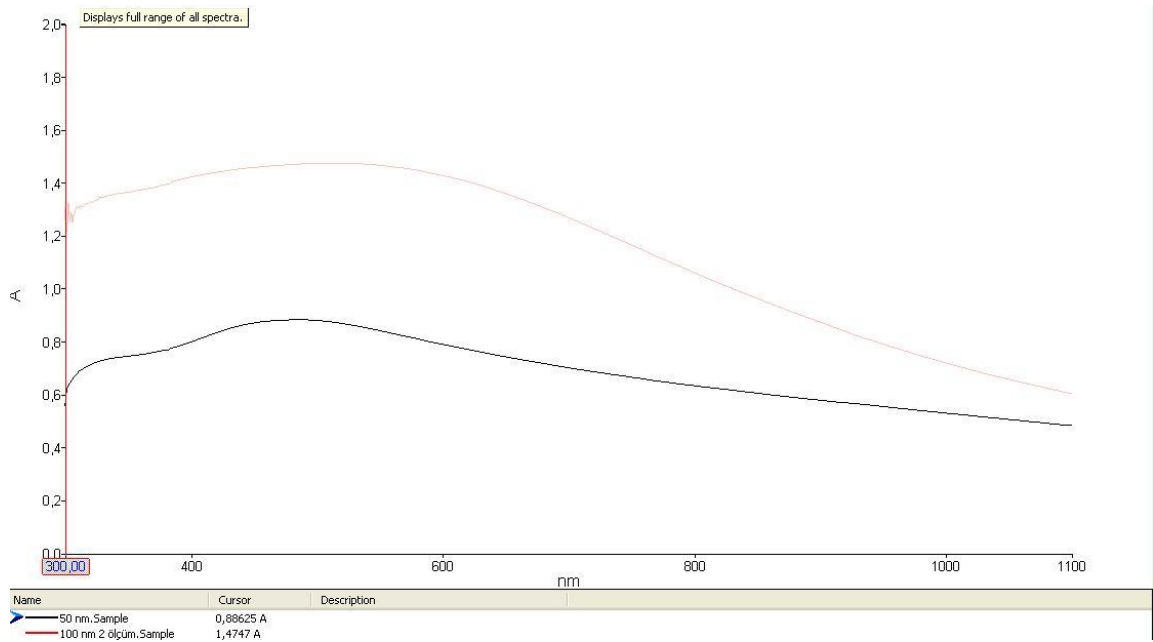
1. İlk etapta örnekler hazırlamaya başlanacaktır. Örnek hazırlamak için cihaz modifikasyonu gerekli ise yapılacaktır.
2. İnkjet yöntemi ile hazırlanan ince film örneklerinin optiksel, elektriksel ve mikro yapı analiz ve ölçümleri yapılmaya başlanacak ve malzemelerin özelliklerini etkileyen faktörler belirlenecektir.
3. Örneklerin elektriksel özelliklerinin sıcaklıkla nasıl değiştiği 4-nokta probe yöntemiyle ölçülecektir.
4. Kullanılan malzemelerin miktarına göre ince film örneklerinin iletkenlikleri incelenecektir.
5. Fiziksel parametrelerin belirlenmesinden sonra, sonuçların tutarlılığı kontrol edilecektir.
6. Elde edilen sonuçlardan malzemelerin özelliklerinde etkili olan fiziksel mekanizmaların belirlenmesi çalışmaları yapılacaktır.
7. Elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir şekilde değerlendirilecek, seri üretime uygunluğu tartışılacaktır.
8. Sonuçların yayınlanma hazırlıkları yapılacaktır.
9. Kullanılan inkjet yönteminin diğer yarıiletken malzemelere uygulanabilirliği araştırılacaktır.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. a-Si İnce Filmlerin Hazırlanması

Projemiz kapsamında gerekli kimyasal malzemeler temin edilmiştir. İlk olarak 100 nanometre boyutlu a-Si malzeme kullanıldı. Fakat kütlesi büyük olan parçacıklar çözücü sıvı içerisinde ağırlığından dolayı batarak homojen bir karışım elde edilememiştir. İkinci olarak 50 nanometre boyutlu a-Si malzeme kullanıldı. a-Si parçacıklar çözücü sıvı içerisinde batmadan homojen bir karışım elde edilebilmiştir. Şekil 3.1’de 50nm ve 100nm tek katmanlı yapılan ince film soğurma eğrileri görülmektedir.



Şekil 3.1: Tek katmanlı olarak yapılan a-Si filminin Geçirgenlik %T- λ grafiği.

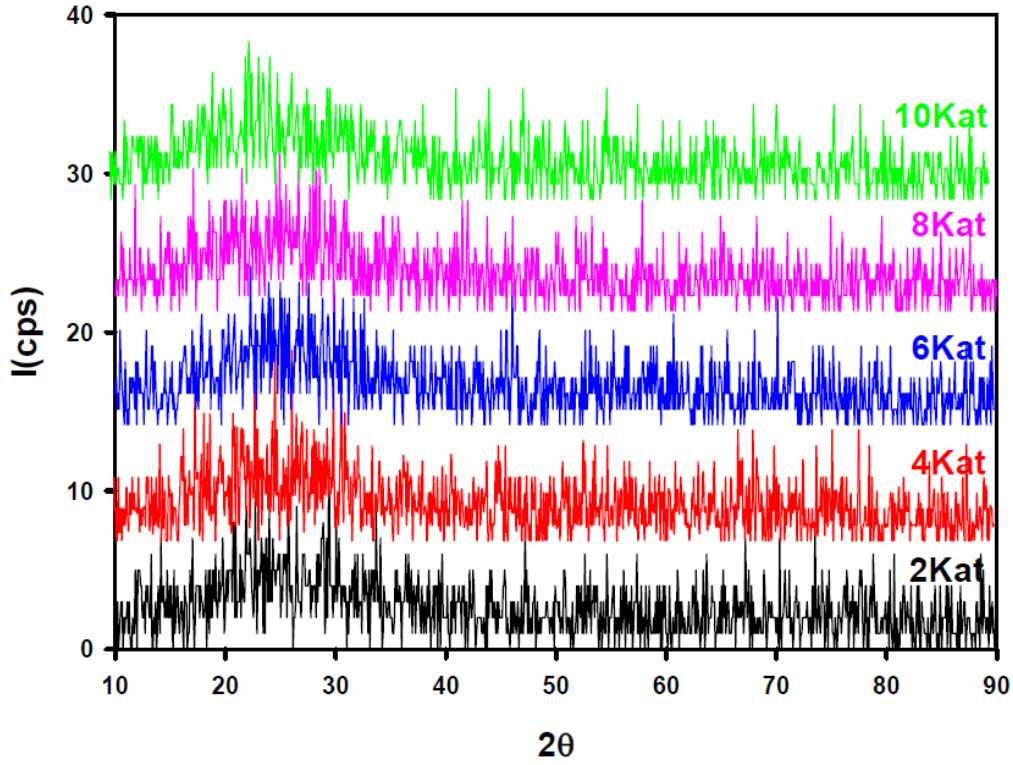
a-Si malzemesini belirledikten sonra ince film çalışmalarına başladık. Burada 50 nm’lik a-Si malzeme kullanılarak sırasıyla 2-4-6-8-10 katmanlı yapılar oluşturuldu. Bu yapılara ilişkin elde edilen sonuçlar aşağıda sırasıyla ele alınmıştır. Ayrıca 50 nm’lik çok küçük boyutlu malzeme kullanılmasıyla kalınmayıp homojenlik için çözücü sıvı içerisinde topaklaşan toz numuneleri Minisart filtre ile süzdükten sonra mürekkep kıvamlı püskürtme sıvısı elde edildi. Elde edilen çok katmanlı yapıların XRD (X ışınları toz difraktometrisi), UV–vis spectrometer, Taramalı elektron Mikroskobu (SEM) ve Energy Dispersive X-Ray Analyser (EDX) ölçümleri yapıldı.

3.2. Ölçümlerin Sonuçları

3.2.1. XRD Ölçümlerinin Sonuçları

a-Si katkılı mürekkep kıvamlı hale getirilmiş numune ile yapılan katmanlı ince film numunelerinin yapısal özellikleri X-ışınları toz difraksiyonu (XRD) yöntemi ile karakterize edildi.

X-ışını kırınım desenleri ölçümleri Bruker AXS D8 Advanced marka X-ışını difraktometresi ile Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma Merkezinde ölçüldü. CdS filmleri 40 kV ve 40 mA’ e ayarlanmış grafit kromatörden $\lambda=1,5406 \text{ \AA}$ $\text{CuK}\alpha_1$ radyasyonunda karakterize edildi. Farklı katmanlarda elde edilen a-Si filmlerin X-ışını kırınım desenleri Şekil 3.2’ de gösterilmiştir. Difraksiyon kırınimleri $2\theta=10-90^\circ$ aralığında elde edildi.



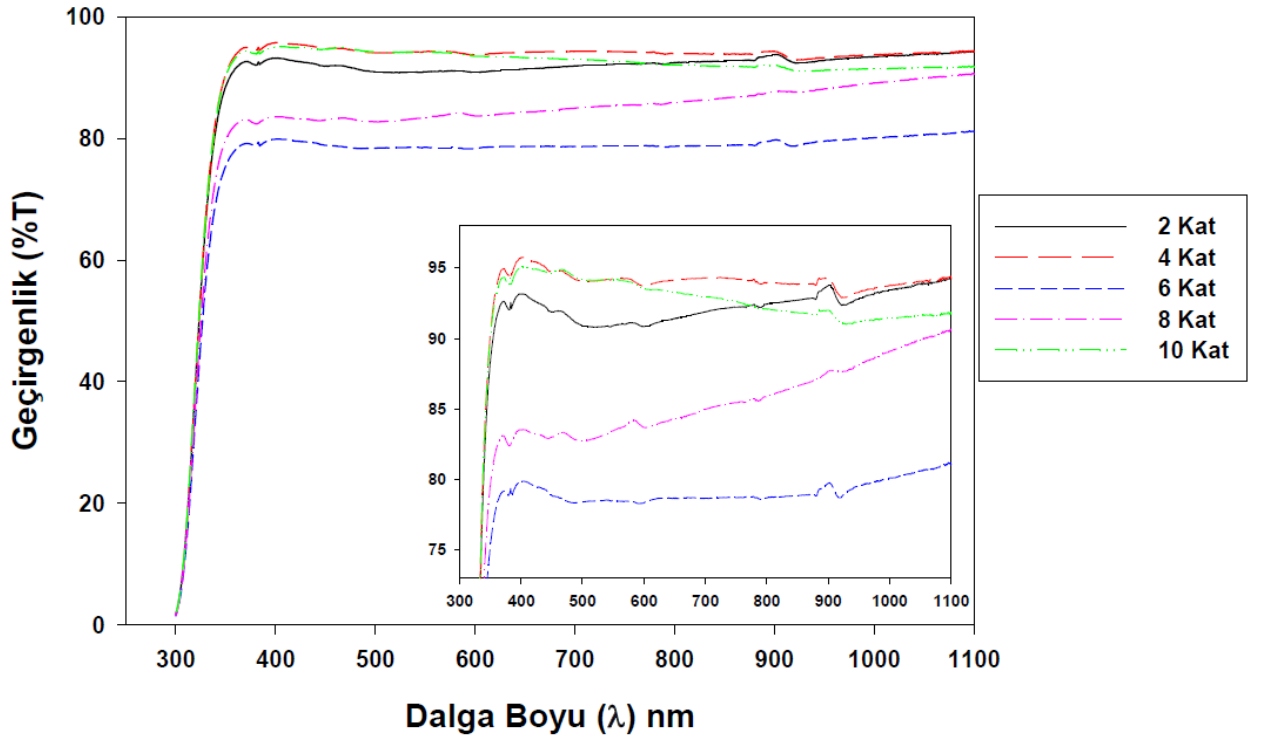
Şekil 3.2: 2-4-6-8-10 katmanla oluşturulan a-Si ince filmlerinin XRD spektrumlarının karşılaştırılması.

Gözlemlenen kırınım pikleri yapılan diğer çalışmalar tarafından a-Si ince filmleri için karakteristik pikleri olarak rapor edilmiştir [16].

3.2.2. Optik Ölçümlerin Sonuçları

Filmlerin geçirgenlikleri (%T), dalga boyu 300–1100 nm aralığında olan UV-Visible spektrofotometre (PERKİN ELMER UV-VIS LAMBDA 25) ile oda sıcaklığında ölçülmüştür.

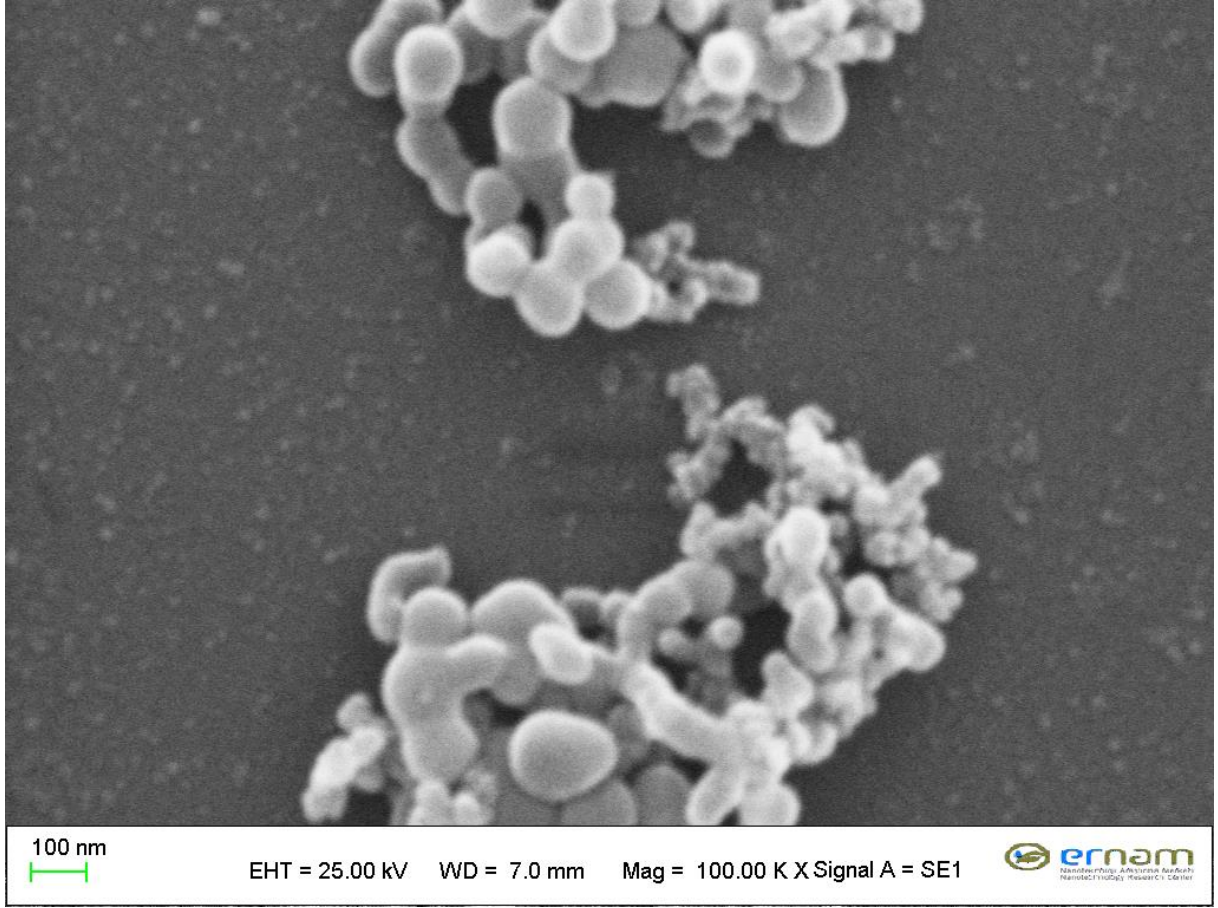
Farklı katmanlarda üretilen a-Si ince filmlerinin dalga boyuna karşı geçirgenlik grafiği Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3: Oda sıcaklığındaki a-Si filminin Geçirgenlik %T-λ grafiği.

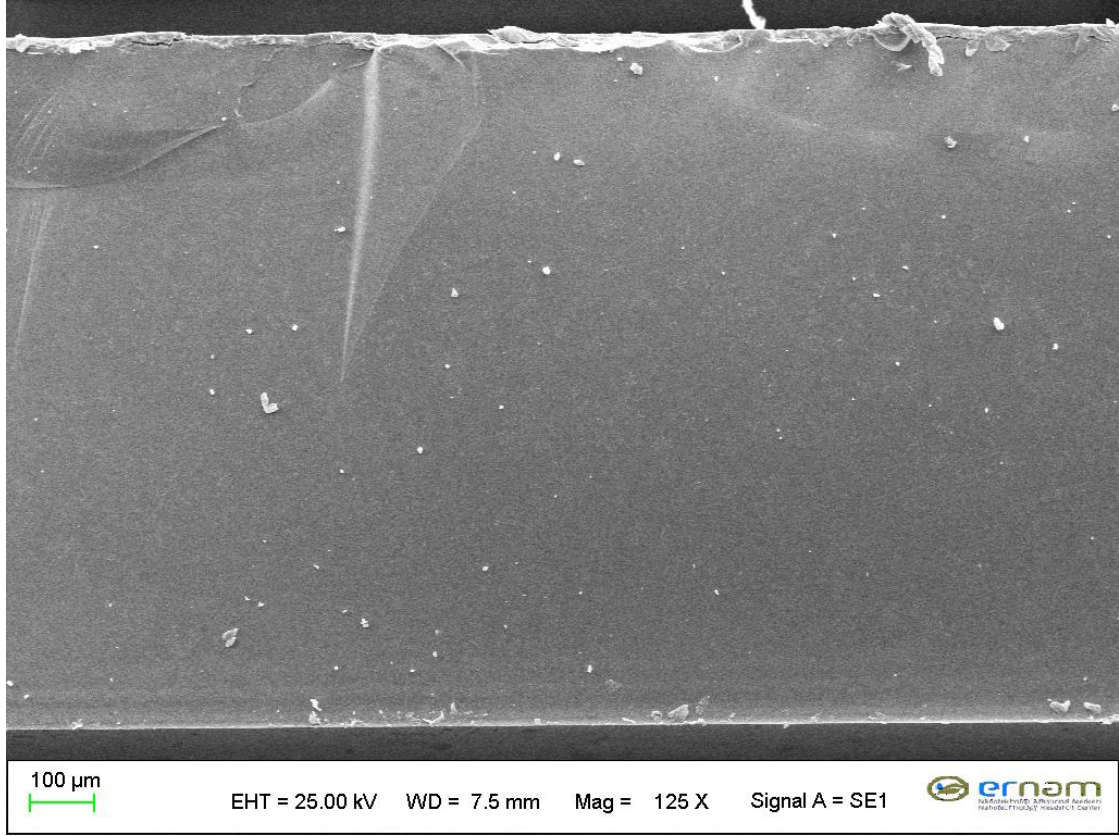
3.2.3. SEM Ölçümleri ve Sonuçları

Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri cam tabaka üzerindeki a-Si nano malzemesinin açıklanmasında bize yardımcı olur. Optiksel özellikleri ve X-ışını kırınımıyla yapısı tayin edilen tek katmanlı a-Si ince filminin SEM görüntüsü Şekil 3.4’de gösterilmiştir. SEM ölçümleri Erciyes Üniversitesi ERNAM’da yapılmıştır.

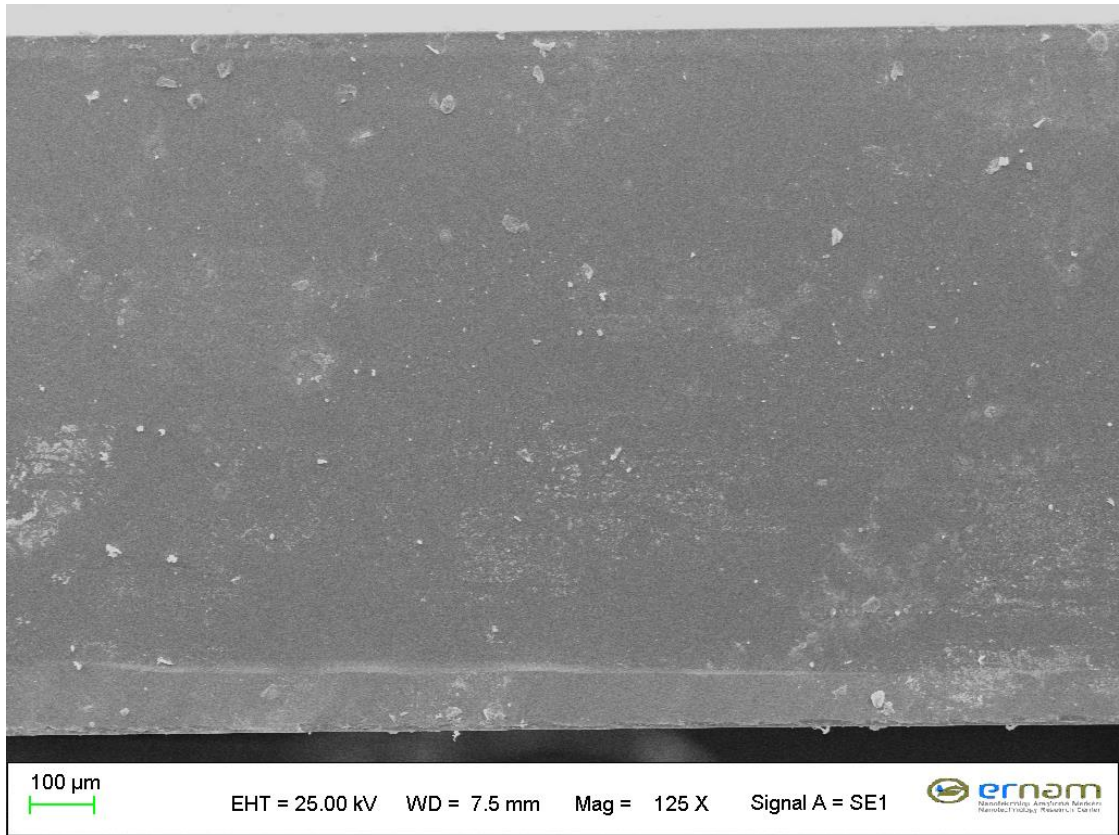


Şekil 3.4: Tek katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin SEM görüntüsü.

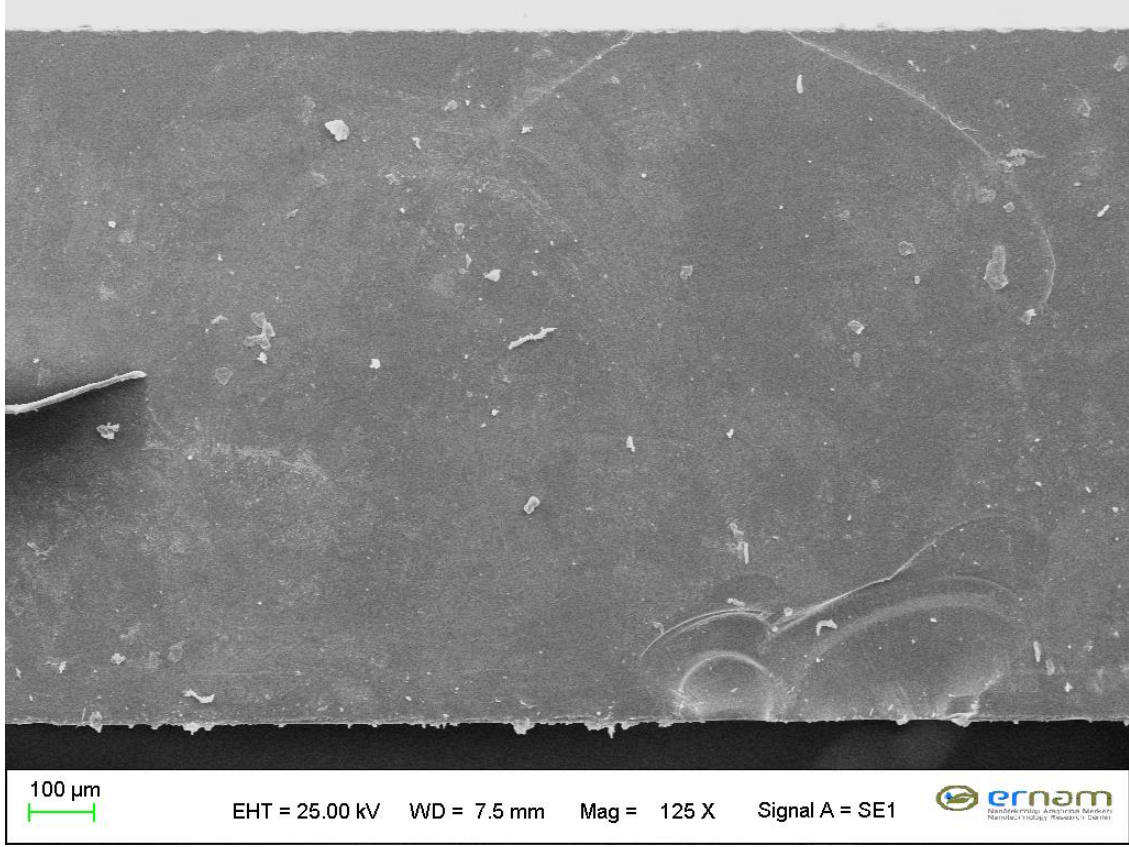
Şekil 3.5 ve Şekil 3.9 aralığındaki şekillerde sırasıyla 2-4-6-8-10 katlı numunelerin kaplandıktan sonraki görüntüleri gösterilmiştir.



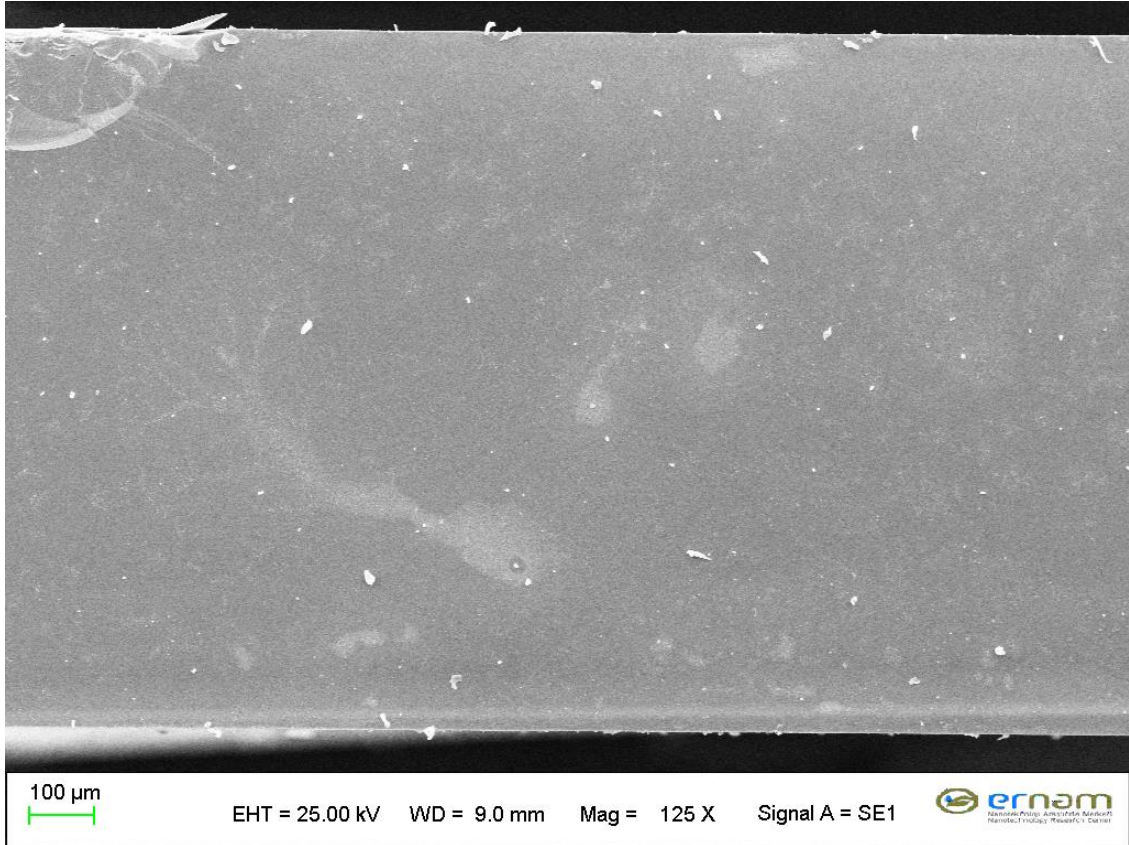
Şekil 3.5: 2 Katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin SEM görüntüsü.



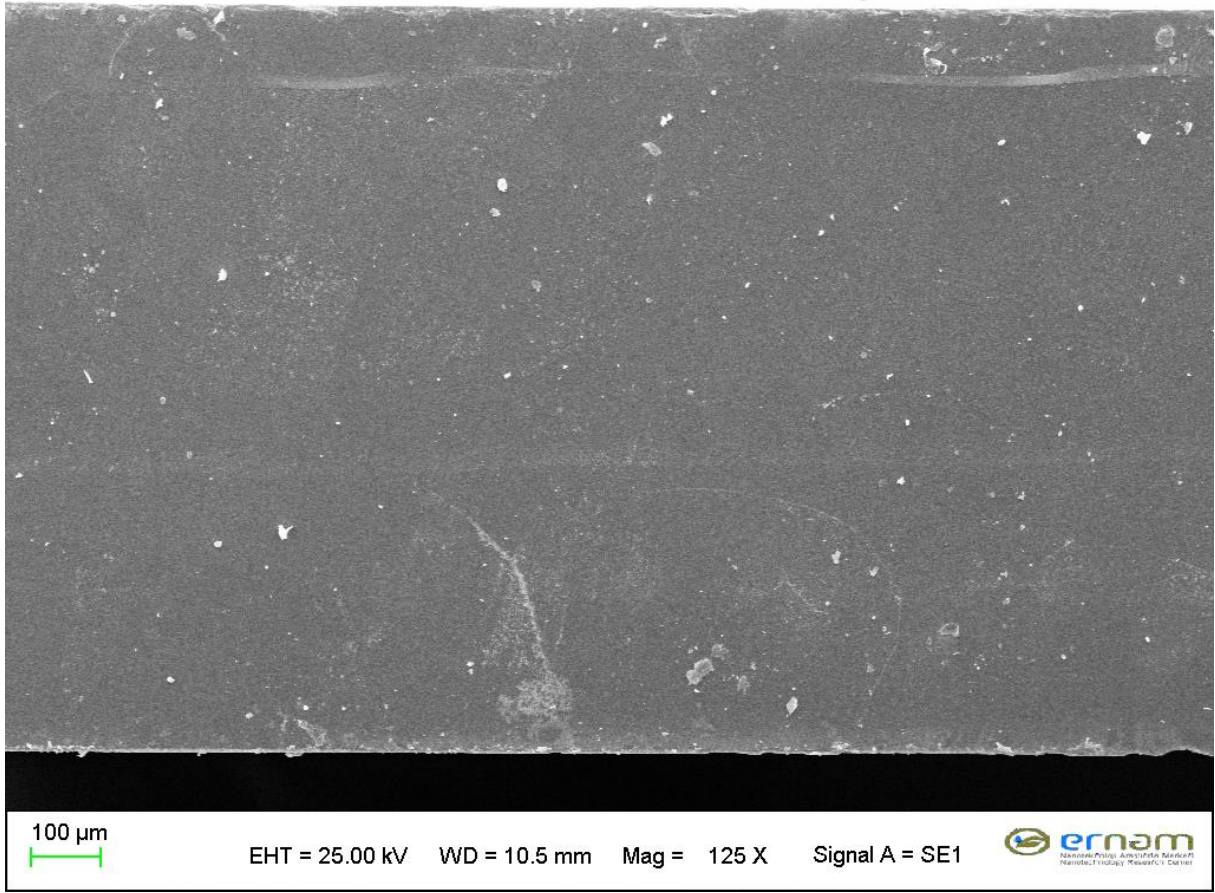
Şekil 3.6: 4 katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin SEM görüntüsü.



Şekil 3.7: 6 katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin SEM görüntüsü.



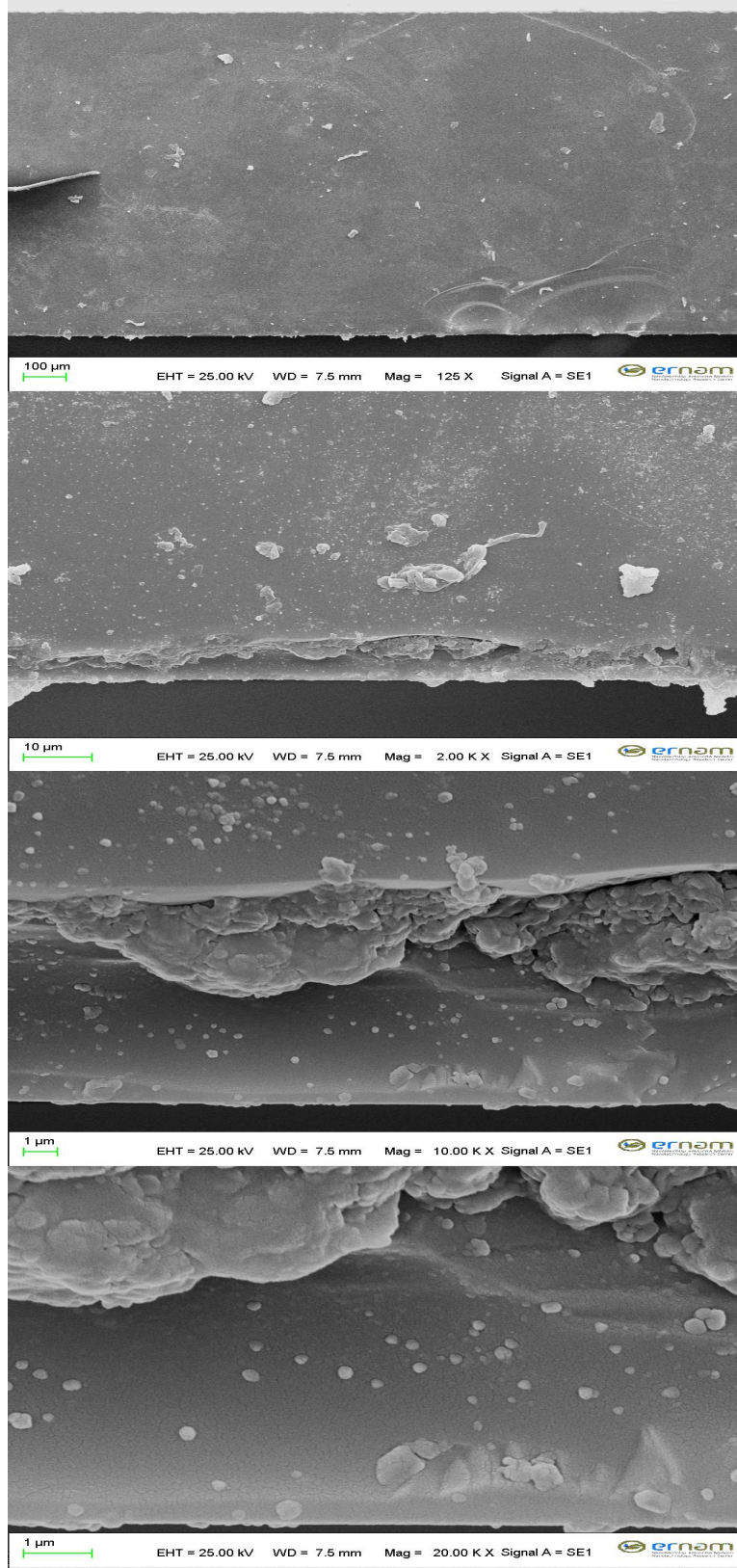
Şekil 3.8: 8 katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin SEM görüntüsü.



Şekil 3.9: 10 katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin SEM görüntüsü.

Farklı katmanlarda hazırlanan a-Si mürekkep kıvamlı solüsyonu cam alt tabakaya farklı katmanlarda iyi yapışmış ve hiçbir çatlak ya da delik olmaksızın yüzey düzgün yapılardan oluşmuştur. 50 nanometre boyutlu tanecikler zemin üzerinde çok düzgün homojen dağılmışlardır.

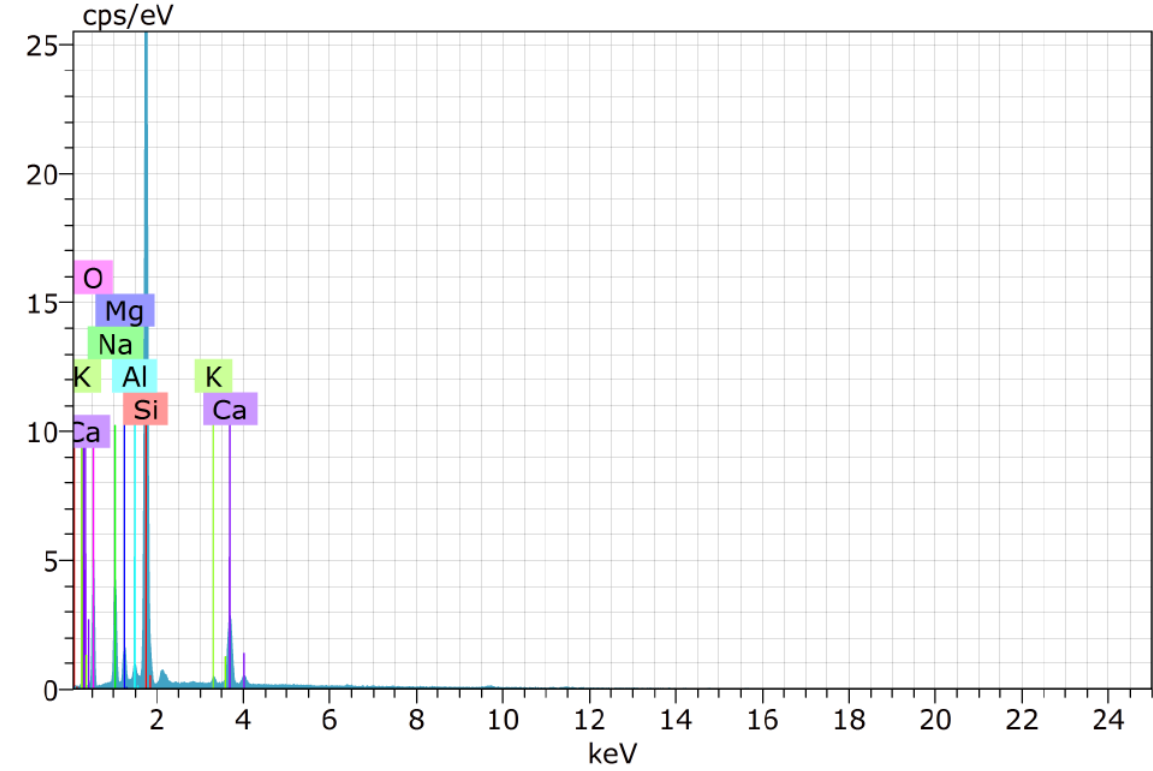
4 katlı ince filme ait kenar ve kalınlık görüntüleri ise Şekil 3.10’da görülmektedir.



Şekil 3.10: 4 katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin kenar ve kalınlıkları görülebilmesi için sırasıyla 100 μm - 10 μm - 1 μm boyutlu yandan SEM görüntüsü.

3.2.4. EDX Ölçümleri ve Sonuçları

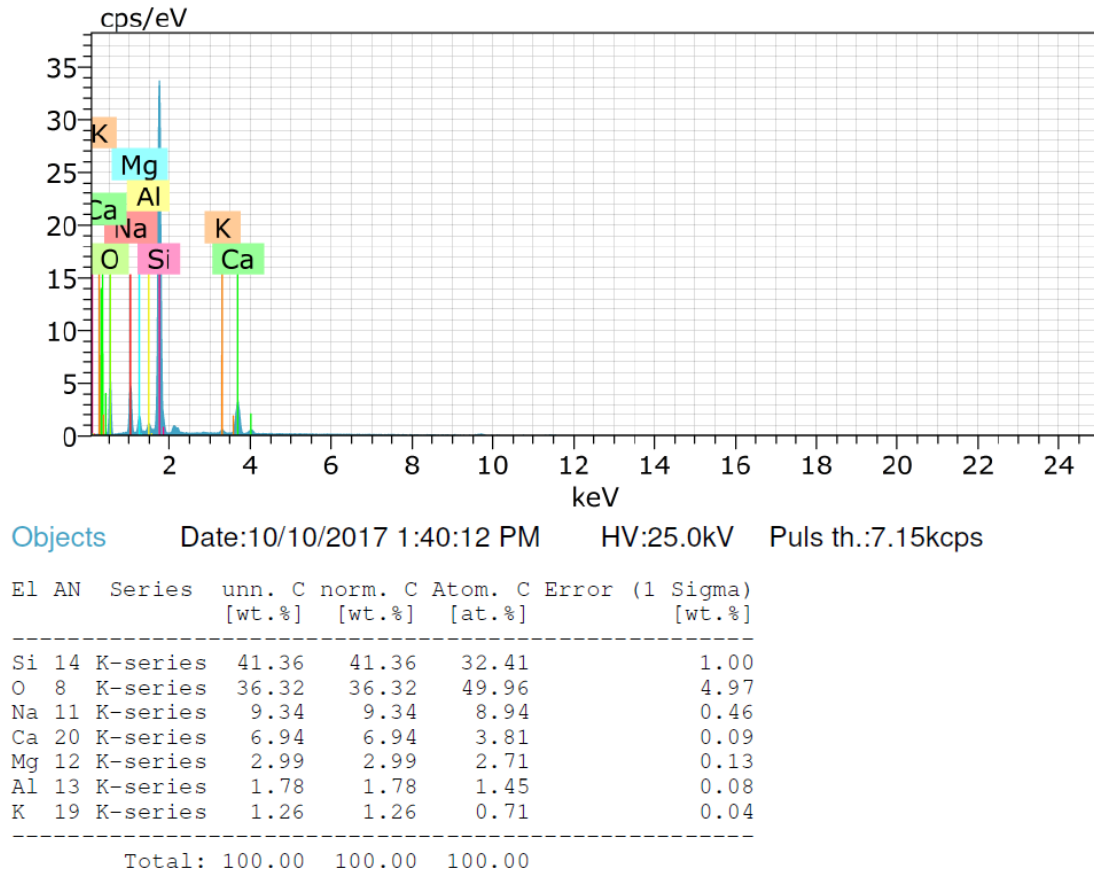
Filmlerin nicel analizi filmlerin gerçek nicelik oranlarını incelemek için farklı katmanlarda elde edilen filmler için EDX tekniği kullanılarak gerçekleştirildi. Bu filmlerin EDX analizleri Şekil 3.11- Şekil 3.15 arasında gösterilmiştir.



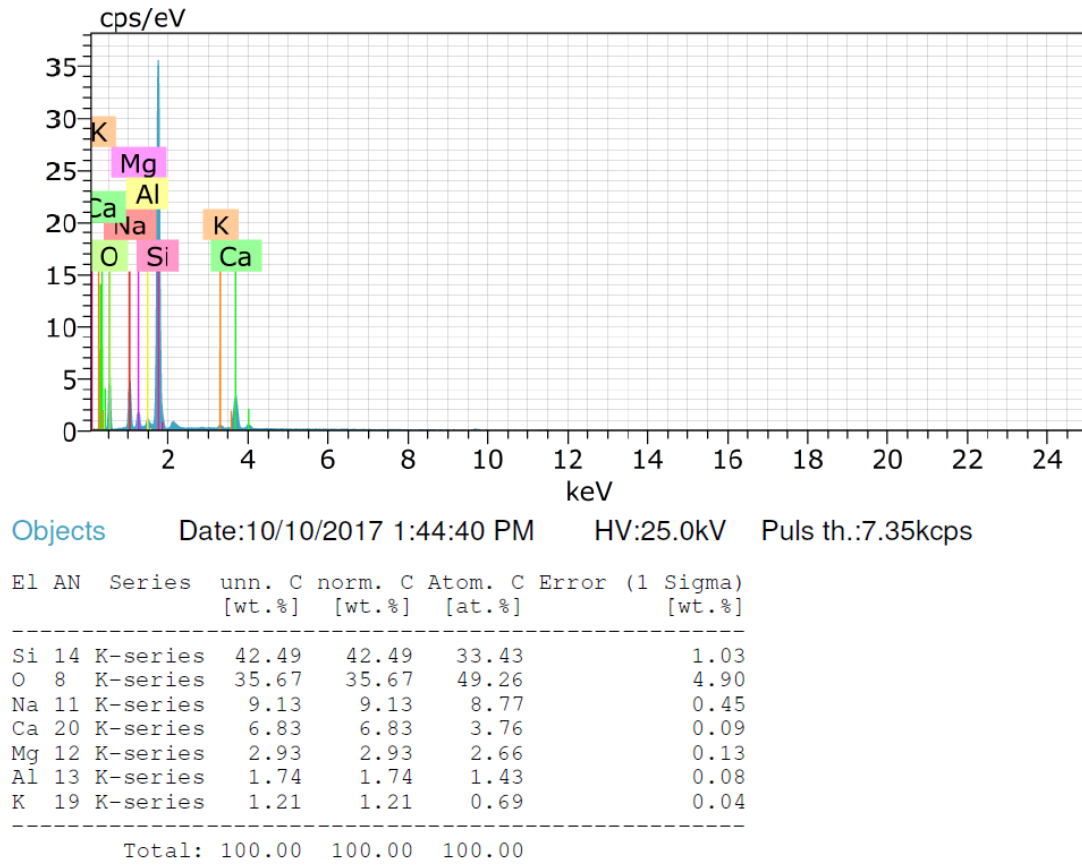
Spectrum: Objects

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Si	14	K-series	41.29	41.29	32.29	1.00
O	8	K-series	36.65	36.65	50.30	5.00
Na	11	K-series	9.40	9.40	8.98	0.46
Ca	20	K-series	6.86	6.86	3.76	0.09
Mg	12	K-series	2.90	2.90	2.62	0.13
Al	13	K-series	1.68	1.68	1.37	0.07
K	19	K-series	1.23	1.23	0.69	0.04
Total:			100.00	100.00	100.00	

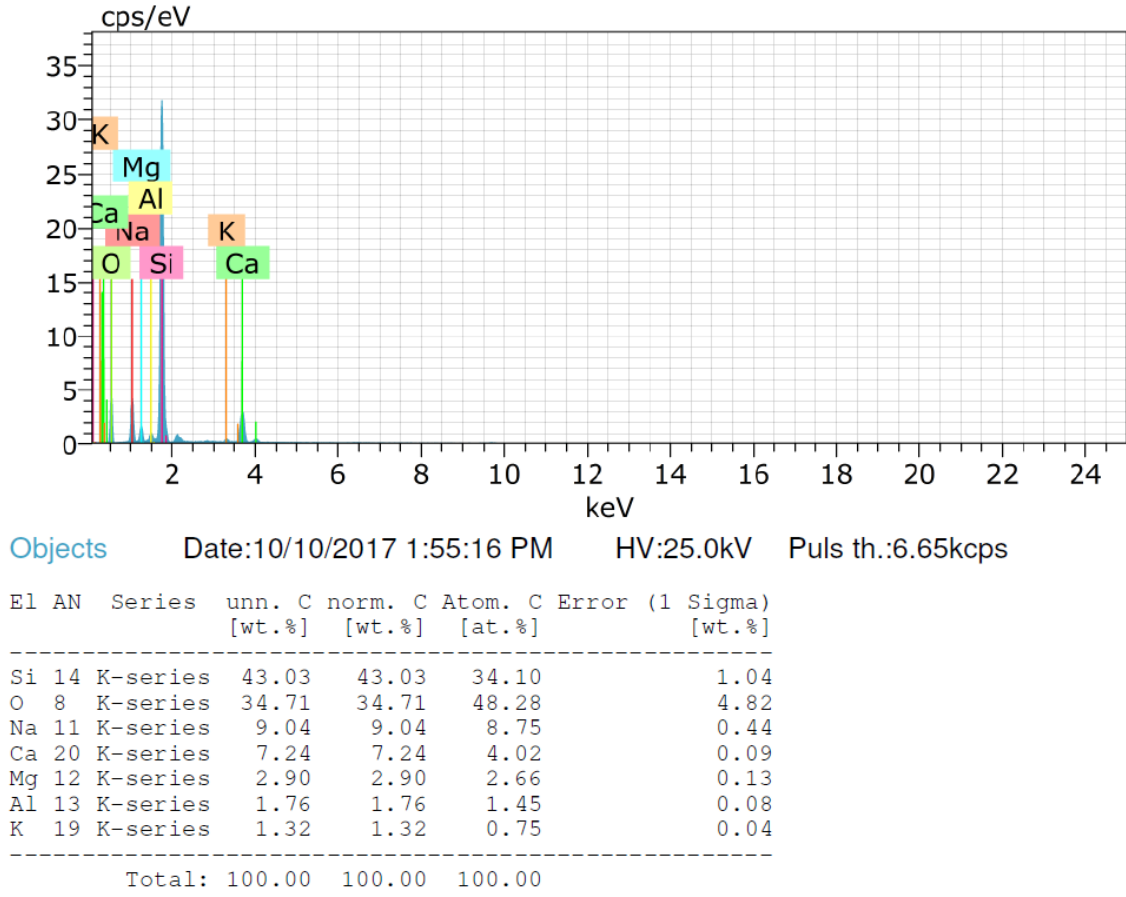
Şekil 3.11: 2 katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin EDX analizi.



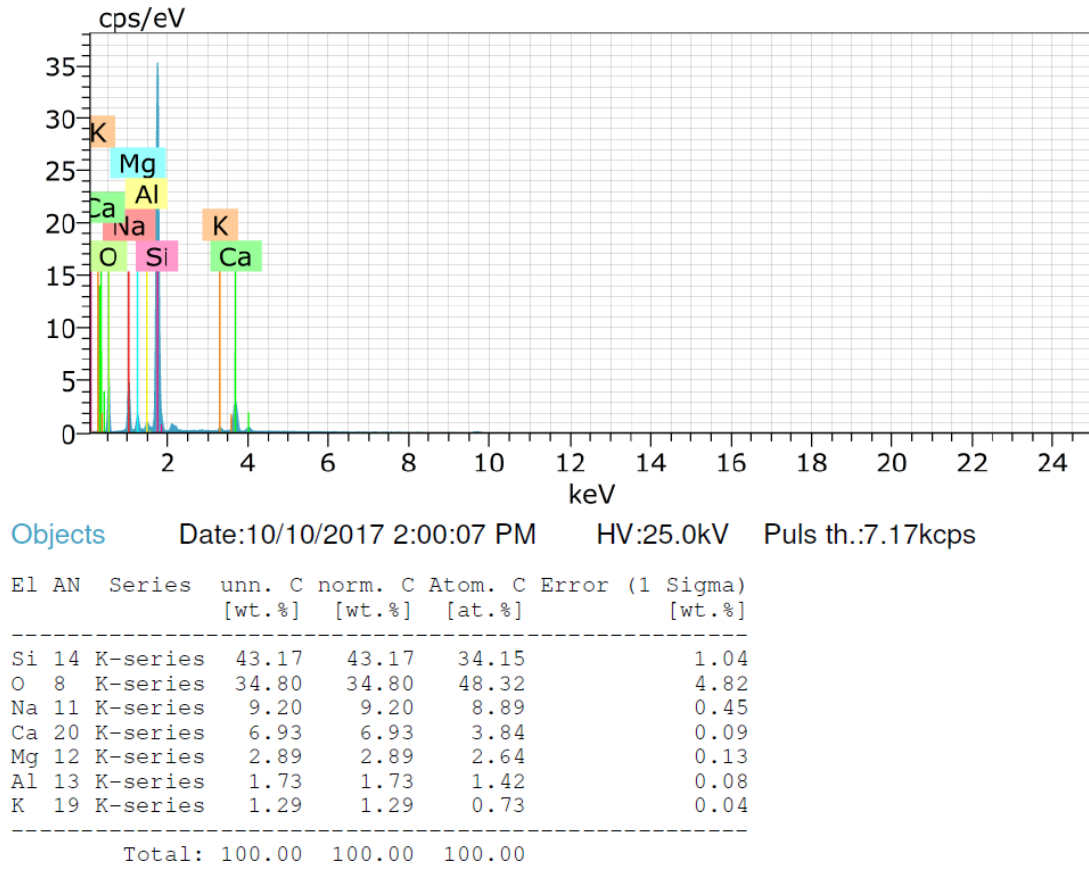
Şekil 3.12: 4 katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin EDX analizi.



Şekil 3.13: 6 katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin EDX analizi.



Şekil 3.14: 8 katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin EDX analizi.



Şekil 3.15: 10 katmanlı olarak hazırlanan a-Si filminin EDX analizi.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu proje çalışmasında elde edilen sonuçlar ve bu doğrultudaki sonuçları aşağıdaki gibi maddeler halinde özetleyebiliriz:

1. a-Si tabakalar cam üzerine püskürtme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.
2. a-Si nano toz malzemesi 50 nm olarak belirlenmiştir.
3. Püskürtme yöntemi ile 2 kat - 4 kat - 6 kat - 8 kat - 10 katlı uygulanarak a-Si ince filmleri hazırlanmıştır.
4. Oluşan çoklu katmanlı a-Si ince film yapıların kristallografik, optik, yapısal yüzey özellikleri karakterize edilmiştir.
5. X-ışını kırınım sonuçlarından XRD pikleri literatür ile tam uyumlu olduğu görülmüştür.
6. Geçirgenlik grafiklerinin ortalama dalga boyu 350 nm civarında stabil hale geldiği görüldü.
7. SEM görüntülerinden toz malzeme boyutları yaklaşık 50 nm ve yüzeye pürüzsüz bir şekilde kaplandığı görülmektedir.
8. EDX analizi sonucunda Si-O-Na-Ca-Mg-Al-K elementleri belirli oranlarda ince film üzerinde görülmüştür. Bazı safsızlıklar cam yüzeyinden geldiği anlaşılmaktadır.
9. Filmlerin kalitesini arttırmak için daha farklı alt tabanlar kullanılabilir ve alt tabanlılık etkisi incelenebilir.
10. Film oluşumunu etkileyen çözelti için farklı oranlar denenerek, farklı sıcaklıklarda tavlama yapılarak tavlama etkisi araştırılabilir.

Elde edilen sonuçlar SCI'da yer alan saygın bir dergiye gönderilmek için hazırlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Kılıç, Aysun., 2011. İnce Film fotovoltaik Teknolojileri, Hacettepe Üniversitesi
2. Purica, M., Budianu, E., Rusu, E. and Arabadji, P., 2006. Electrical Properties of the CdS/InP Heterostructures for Photovoltaic Applications, Thin Solid Films, 511- 512, 468-472.
3. Liu, G., Schulmeyer, T., Brötz, J., Klein, A. and Jaegermann, W., 2003. Interface Properties and Band Alignment of Cu₂S/CdS Thin Film Solar Cells, Thin Solid Films, 431-432, 477-482.
4. Ward, J.S., Ramanathan, K., Hasoon, F.S., Coutts, T.J., Keane, J., Contreras, M.A., Moriarty, T. and Noufi, R., 2002. A 21,5 % Efficient Cu(In,Ga)Se₂ Thin-Film Concentrator Solar Cell, Prog. Photovolt: Res. Appl., 10, 41-46.
5. Wu, X., Keane, J.C., Dhere, R.G., Dehart, C., Ablin, D.S., Duda, A., Gessert, T.A., Asher, S., Levi, D.H. and Sheldon, P., 2002. 16,5 % Efficiency CdS/CdTe Polycrystalline Thin-Film Solar Cells, Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Munich, Germany, 995-1000.
6. Basol, B., 1993. Preperation Techniques for Thin Films Solar Cells, Jpn. J. Appl. Phys., Suppl., 32-3, 35-40.
7. Adirovich, E. I., Yuaborand, Y.M. and Yagudaev, G.R., 1969. Photoelectric Effects in Films Diyotes with CdS-CdTe Heterojunctions, Fiz. Tekn. Popuprodnikov, 3, 81- 85.

8. Chu, T.L., Chu, S.S., Ferekides, C., Wu, C. Q., Britt, J. and Wang, C., 1992. High Efficiency Thin Film CdS/CdTe Heterojunction Solar Cells, Journal of Crystal Growth, 117, 1073.
9. Wu, X., Keane, J.C., Dhere, R.G., Dehart, C., Ablin, D.S., Duda, A., Gessert, T.A., Asher, S., Levi, D.H. and Sheldon, P., 2002. 16,5 % Efficiency CdS/CdTe Polycrystalline Thin-Film Solar Cells, Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Munich, Germany, 995-1000.
10. Salih YILMAZ, düşük altlık sıcaklıklarında üretilen CdTe ince filmlere CdCl₂'ün etkisinin incelenmesi, Temmuz 2007
11. Green, M. A., Emery, K., King, D. L., Hisikawa, Y., Warta, W. 2006. Solar Cell Efficiency Tables. Prog. Photovolt. Res. Appl., 14 : 45-51.
12. Fairbanks E, Gates M. 1997. Adaptation of Thin Film PV Technology For Use in Space, Twenty sixth IEEE PV Specialist Conference Anaheim, CA.
13. Steinberger H. 1997. HS & E for CdTe and CIS Thin Film Module Operation. IEA Expert Workshop, Environmental Aspects of PV Power Systems., Report No. 97072 (Nieuwlaar E, Alsema E, Utrecht University: The Netherlands).
14. Bengül ZENCİR, çok kristalli CdTe ince filmlerinin optiksel özellikleri: optiksel sabitlerin “zarf yöntemiyle” saptanması, Eylül 2007
15. Fthenakis V. M. 2004. Life Cycle Impact Analysis of Cadmium in CdTe PV Production. Renewable and Sustain Energy Rev., 8 : 303-334.

16. Q. Shabir, A. Pokale, A. Loni, D. R. Johnson, L. T. Canham, R. Fenollosa, M. Tymczenko, I. Rodríguez, F. Meseguer, A. Cros, A. Cantarero, 2011. Medically Biodegradable Hydrogenated Amorphous Silicon Microspheres. *Silicon* (2011) 3:173–176.