

Çok ince soğurucu katmanlı – ETA- güneş gözelerinin üretimi ve incelenmesi

Program Kodu: 1002

Proje No: 114F065

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Mehmet Parlak

Araştırmacı(lar):

Prof. Dr. Çiğdem Erçelebi

Araş.Gör. Hasan Hüseyin Güllü

Bursiyer(ler):

Arezoo Hosseini

Haziran 2015
ANKARA

Önsöz

Bu proje çalışmasında $TiO_2/CdTe/ZnTe$ -ETA güneş gözesi pencere tabakası ve n-tipi malzeme olarak nano gözenekli TiO_2 ince filmleri, cam (karakterizasyon için) ve ITO kaplı cam alttaşlar üzerine döndürmeli kaplama ve saçtırma tekniği ile büyütüldü. Soğurucu tabaka olarak CdTe ince filmleri, saçtırmalı kaplama tekniği kullanılarak cam ve TiO_2/ITO kaplı alttaşlar üzerine üretilerek özellikleri incelendi. Ayrıca, saçtırmalı kaplama tekniği ile cam ve cam/ITO/ $TiO_2/CdTe$ kaplı alttaşlara ZnTe ve ZnSnTe ince filmleri kaplandılar. Üretilen filmlerin yapısal, elektriksel ve optik özellikleri incelendi. Son olarak, cam/ITO/ $TiO_2/CdTe/ZnTe/Metal$ ve cam/ITO/ $TiO_2/CdTe/ZnSnTe/Metal$ güneş gözesi aygıt yapıları laboratuvar ölçeğinde üretildi ve karakterize edildi. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen ve bu proje kapsamında alınan sarflar ve kimyasallar sayesinde projenin gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen veriler ulusal ve uluslararası sözlü ve poster bildiri olarak sunulmuştur. Bu projeye verilmiş olan destek dolayı TÜBİTAK' a teşekkür ederiz.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
TABLO VE ŞEKİL LİSTESİ	iii
ÖZET	vi
ABSTRACT	vi
1. Genel Bilgiler ve Deneysel Yöntemler	1
1.1 Çok İnce Soğurucu (eta)Güneş Gözesi	1
1.2.Proje Özeti: TiO ₂ /CdTe/ZnSnTe ETA güneşgözesi yapısı	1
1.3 Deneysel Metodların Genel Tanımı	2
1.3.1 Döndürmeli Kaplama Tekniği ile üretilen TiO ₂	2
1.3.2. Saçtırmalı Kaplama Yöntemiyle TiO ₂ Filminin Üretilmesi	3
1.3.3 Saçtırma Yöntemi ile CdTe Film Büyütme	4
1.3.4. Saçtırma Yöntemi ile ZnTe ve ZnSnTe Filmlerin Büyütmesi	5
2. Sonuçlar ve Değerlendirme	6
2.1 Filmler ve aygıtların Karakterizasyonu	6
2.2 Üretilen Filmlerin Karakterizasyonu	6
2.2.1 Döndürme yöntemi ile Kaplanan TiO ₂ Filmlerin Yapısal Karakterizasyonu	6
2.2.2 Saçtırılmış TiO ₂ 'ın Yapısal Özellikleri	9
2.2.3 Saçtırılmış CdTe'in Yapısal Özellikleri	10
2.2.4 Saçtırılmış ZnTe ve ZnSnTe'in yapısal özellikleri	11
2.2.5 Saçtırma yöntemiyle Kaplanmış TiO ₂ 'nin Morfolojik Özellikleri	13
2.2.6 Saçtırılmış TiO ₂ Filmlerin Yapısal ve Morfolojik Karakterizasyonu	15
2.2.7 Saçtırılmış CdTe Filmlerin Yapısal ve Morfolojik Karakterizasyonu	16
2.2.8 Saçtırılmış ZnTe ve ZnSnTe'nin Yapısal Özellikleri	16
2.2.9 Farkli tabakalarının AFM ölçümleri	18
2.2.10 Döndürme yöntemiyle kaplanan TiO ₂ 'nin optik özellikleri	20
2.2.11 Saçtırılmış TiO ₂ 'nin Optik Özellikleri	23
2.2.12 Saçtırılmış CdTe'nin Optik Özellikleri	24
2.2.13 Saçtırılmış ZnTe ve ZnSnTe'nin optik özellikleri	25
2.2.14 Cam/ITO/TiO ₂ /CdTe/Au, Cam/ITO/TiO ₂ /CdTe/ZnTe/Al ve Cam/ITO/TiO ₂ /CdTe/ZnSnTe/In aygıtları in akım-voltaj karakteristiği	26
REFERANSLAR	30
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU	31

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 ETA güneş gözesinin şematik yapısı	1
Şekil 2.1 TiO ₂ toz XRD grafikleri (*rutil fazı temsil ediyor)	6
Şekil 2.2 Cam alttaş üzerine tek çalışma süresi ile kaplanmış TiO ₂ filmlerinin XRD grafikleri	7
Şekil 2.3 ITO kaplı cam alttaş üzerine tek çalışma süresi ile kaplanmış TiO ₂ filmlerin XRD grafikleri	7
Şekil 2.4 Cam alttaş üzerine iki çalışma süresi ile kaplanmış TiO ₂ filmlerin XRD grafikleri	8
Şekil 2.5 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan TiO ₂ filmlerinin XRD grafikleri farklı RF güçleriyle	9
Şekil 2.6 Cam ve ITO kaplı cam alttaşlarının üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan TiO ₂ filmlerinin XRD grafikleri tekli ve ikili çalışma süresi ile	10
Şekil 2.7 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan CdTe filmlerinin XRD grafikleri farklı tavlama sıcaklıkları ve süreleriyle	10
Şekil 2.8 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan ZnTe filmlerinin XRD grafikleri	11
Şekil 2.9 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan ZnSnTe filmlerinin XRD grafikleri a) örnek1 ve 2 b) örnek3 c) örnek4 d) örnek5 e) örnek6 f) örnek7	12
Şekil 2.10 Cam alttaş üzerine kaplanan TiO ₂ filmlerinin SEM resimleri farklı döndürme hızlarıyla (a) 2000, (b) 5000 and (c) 8000 rpm	13
Şekil 2.11 ITO kaplı cam alttaş üzerine kaplanan TiO ₂ filmlerinin SEM resimleri farklı döndürme hızlarıyla (a) 2000, (b) 5000 and (c) 8000 rpm	14
Şekil 2.12 Cam alttaş üzerine kaplanan TiO ₂ filmlerinin SEM resimleri farklı döndürme hızlarıyla (a) 2000-8000, (b) 5000-8000 and (c) 2000-5000 rpm	14
Şekil 2.13 Cam alttaş üzerine tek çalışma süresi saçtırma yöntemile kaplanan TiO ₂ filmlerinin SEM resimleri (P=120 W)	15
Şekil 2.14 Cam alttaş üzerine ikili çalışma süresi saçtırma yöntemiyle kaplanan TiO ₂ filmlerinin SEM resimleri (P=120 W)	15
Şekil 2.15 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan CdTe filmlerinin SEM resimleri (RF=70 W, t=60 dk, T=300°C)	16
Şekil 2.16 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan CdTe filmlerinin SEM resimleri (RF=70 W, t=60 dk, T _s =300°C, T _a =300°C)	16
Şekil 2.17 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan ZnTe filmlerinin SEM resimleri (tavlanmamış)	17
Şekil 2.18 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan yedinci set ZnSnTe filmlerinin SEM	

resimleri a) tavlınmamış and b) 5 dakika tavlınmış c) 30 dakika tavlınmış	17
Şekil 2.19 Cam alttaş üzerine döndürme yöntemi ile kaplanan TiO ₂ filmlerinin AFM resimleri farklı döndürme hızlarıyla (a) 2000, (b) 5000 and (c) 8000 rpm	18
Şekil 2.20 ITO kaplı cam alttaş üzerine döndürme yöntemi ile kaplanan TiO ₂ filmlerinin AFM resimleri farklı döndürme hızlarıyla 2000, (b) 5000 and (c) 8000 rpm	18
Şekil 2.21 Cam alttaş üzerine döndürme yöntemiyle kaplanan TiO ₂ filmlerinin AFM resimleri farklı döndürme hızlarıyla (a) 2000-8000, (b) 5000-8000 and (c) 2000-5000 rpm	19
Şekil 2.22 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan TiO ₂ filmlerinin AFM resimleri	20
Şekil 2.23 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan CdTe filmlerinin AFM resimleri (RF=70 W, t=60 dk, T=300 ⁰ C)	20
Şekil 2.24 Cam ve ITO kaplı cam alttaşlar üzerine tekli çalışma süresi ile döndürme yöntemi ile geçirgenlik tayfı	21
Şekil 2.25 Cam ve ITO kaplı cam alttaşlar üzerine tekli çalışma süresi ile döndürme yöntemi ile Tauc grafikleri	22
Şekil 2.26 Cam alttaşlar üzerine ikili çalışma süresi ile döndürme yöntemi ile kaplanan TiO ₂ filmlerinin geçirgenlik tayfı	22
Şekil 2.27 Cam alttaşlar üzerine ikili çalışma süresi ile döndürme yöntemi ile kaplanan TiO ₂ filmlerinin Tauc grafikleri	23
Şekil 2.28 Cam ve ITO kaplı cam alttaşlar üzerine saçtırma yöntemi ile kaplanan TiO ₂ filmlerinin geçirgenlik ve Tauc grafikleri	23
Şekil 2.29 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemi ile kaplanan CdTe filminin Tauc grafiki (RF=70 W, t=60 dk, T _s =300 ⁰ C, T _a =350 ⁰ C)	24
Şekil 2.30 Cam alttaş üzerine kaplanan CdTe filmlerinin Tauc grafikleri (RF=70 W, t=110 dk, T _s =300 ⁰ C, T _a =350 ⁰ C)	24
Şekil 2.31 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan ZnTe filmlerinin soğurma ve Tauc grafikleri	25
Şekil 2.32 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan ZnSnTe filmlerinin soğurma ve Tauc grafikleri (yedinci set)	26
Şekil 2.33 Cam/ITO/ saçtırma yöntemiyle kaplanan TiO ₂ filmleri (120W-2 saat) /CdTe (t=60 dk) / Au aygıt in akım voltaj karakteristiği	27
Şekil 2.34 Cam/ITO/ TiO ₂ /CdTe (t=60 dk)/Au aygıt in akım voltaj karakteristiği a) 2000 rpm b)5000 rpm c)8000 rpm d)2000-5000 rpm e)2000-8000 rpm f)5000-8000 rpm	27
Şekil 2.35 Cam/ITO/ saçtırma yöntemiyle kaplanan TiO ₂ film (P=120 W, T=200°, ikili çalışma süresi	

/CdTe (P=70W, t=60 dk, T= 300°C)/ ZnTe (P=75W, t=60 dk, T=300°C)/ Al aygıt in akım voltaj karakteristiği	28
Şekil 2.36 Cam/ITO/ saçtırma yöntemiyle kaplanan TiO ₂ film (P=60 W, T=200°C) /(P=70W, t=60 dk, T= 300°C)/ ZnTe (P=75W, t=60 dk, T=300°C)/ Al aygıt yapısının akım-voltaj karakteristiği	28
Şekil 2.37 Cam/ITO/ TiO ₂ / CdTe (t=60 dk)/ ZnSnTe/In aygıt in akım voltaj karakteristiği a) 5000 rpm b) 2000-8000 rpm c) 2000-5000 rpm	29

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Eta gözelerinin farklı katmanlarının bant aralığı enerjileri, elektron(affinity) yatkınlığı ve iş fonksiyonu değerleri	2
Tablo 1.2. Döndürmeli kaplama tekniği ile üretilen TiO ₂ filmlerinin üretim parametreleri	3
Tablo 1.3. Saçtırma yöntemi ile büyütülen TiO ₂ için proses parametreleri	4
Table 1.4. Saçtırma yöntemi ile büyütülen CdTe için proses parametreleri	5
Tablo 1.5. Farklı ZnSnTe örneklerinin film kalınlıkları	5
Tabo 2.1. Farklı ZnSnTe örnekleri için Zn:Sn:Te oranları ve direnç değerleri	12
Tablo 2.2. Pürüzlülük değerleri döndürme yöntemiyle kaplanan TiO ₂ filmlerin ve farklı alttaşlar için	19

ÖZET

Bu çalışmada, çok ince soğurucu güneş gözeleri uygulamalarında alt tabaka olan ve yüksek gözenekli ve nanoparçacıklı yapıya sahip TiO_2 katmanlarının üretimi için farklı TiO_2 solüsyonları hazırlanmıştır. Piyasada yaygın bulunan TiO_2 kaynağı ve döndürmeli kaplama (yada saçtırmalı kaplama) tekniği kullanılarak, ITO kaplı cam alttaşlar üzerine nano gözenekli TiO_2 katmanları üretilmiştir. İnce soğurucu tabaka olarak kullanılan yüksek gözenekli ve nano kristal yapısındaki TiO_2 üzerine saçtırma tekniği kullanılarak II-VI grubuna ait malzemelerin büyütülmesi incelenmiştir. Bu çalışmada, çok ince soğurucu tabaka olarak, yüksek dirençli CdTe ince filmleri incelenmiştir. Aygıt yapısını tamamlamak için, TCO kaplı cam/ TiO_2 /CdTe üzerine geniş bant aralığına sahip p-tipi yarıiletken olan ZnTe (ZnSnTe) kullanılmıştır. Bu çalışmanın başlıca amacı, ETA güneş gözeleri kullanımına uygun olan her bir yarıiletken tabakanın ve yeni jenerasyon güneş gözeleri uygulamalarının bir örneği olan ETA güneş gözelerinin laboratuvar ölçekli üretim basamaklarının araştırılmasıdır.

ABSTRACT

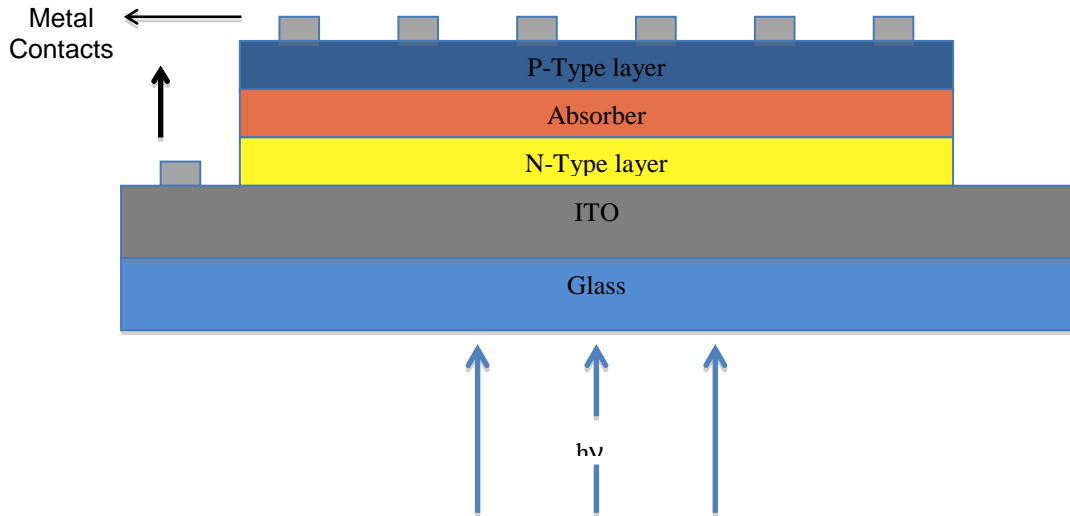
In this work, a modified TiO_2 paste were prepared for the deposition of very thin layers of TiO_2 with high porosity and nanoparticulate nature as the base layer for extremely thin absorber solar cell applications. By using a commercially available TiO_2 source and using spin coating/sputtering techniques, layers of TiO_2 were deposited onto ITO coated glass substrates.

The growth of II- VI materials on highly porous and nanocrystalline TiO_2 , as the extremely thin absorber layer, were realized by using the sputtering method. In this study, CdTe thin film were studied as the high resistive, extremely thin absorber layer. The wide band gap p-type semiconductor layer in the structure is ZnTe (ZnSnTe), which were deposited on ITO coated glass/ TiO_2 /CdTe to complete the device structure. The primary aim of this study was the investigation of each deposited semiconductor layer appropriate for the construction of ETA solar cell structure and the fabrication of laboratory scale device with application of new generation solar cell research.

1. Genel Bilgiler ve Deneysel Yöntemler

1.1. Çok İnce Soğurucu (eta) Güneş Gözesi

Son birkaç yılda, fotovoltaik aygıtlar için yüksek dönüşüm verimliliklerini üretmesi beklenen yeni tasarımlar önerilmiştir. Örnek olarak, aynı zamanda soğurucu tabaka içerisinde uyarılmış yük taşıyıcıları için taşıma yolunu azaltan çok iyi yapılandırılmış, alttaş kullanımı, foton soğurulması için optik yolu artırır. Çok İnce Soğurucu (ETA) güneş gözesi, çok ince ve ucuz üretilen soğurucu katmanların nanoyapılı alttaşlar üzerine avantajları ile inorganik soğurucu katmanlar ile kullanılan tüm katı hal güneş gözelerinin istikrar avantajlarını birleştirmek amacındadır. Bu kavramları birleştirerek, çok ince bir inorganik soğurucu ile kaplanan ve bir katı hal boşluk toplayıcı ile tamamlanan nanoyapılı bir alttaş ETA güneş gözesi olarak bilinir. Bu türdeki fotovoltaik aygıt, n-tipi yarıiletken ve p-tipi yarıiletken arasındaki ara yüzeydeki ince bir ışık soğurucu katmanın nanoyapılı iç içe geçmiş heteroeklemini kullanır. Çok iyi yapılandırılmış saydam alttaş tabakası, çok ince soğurulmuş tabakayla kaplanan iletken cam alttaş üzerine üretilmiştir. Ayrıca, boşlukları doldurulmuş saydam iletken ya da yansıtıcı metal yüzey arka kontakt olarak kullanılmıştır. Karakteristik ETA güneş gözesi yapısı Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. ETA güneş gözesinin şematik yapısı

1.2. Proje Özeti: $\text{TiO}_2/\text{CdTe}/\text{ZnSnTe}$ eta güneş gözesi yapısı

Bu üç-katmanlı inorganik yapı, Boya Duyarlı Güneş Gözesi (DSSC) yapısı ile benzer özelliktedir. Burada CdTe ve ZnSnTe yapılarının boya soğurucu ve iodide/triiodide elektrolit görevleri vardır. Bu gözenin farklı katmanlarının bant aralığı enerjileri, elektron(affinity)yatkınlığı ve iş fonksiyonu değerleri Tablo. 1.1 'de verilmiştir.

Tablo 1.1. eta gözelerinin farklı katmanlarının bant aralığı enerjileri, elektron(affinity)yatkınlığı ve iş fonksiyonu değerleri

	Bant aralığı	Elektron Yatkınlığı	İş Fonksiyonu
TiO ₂	3.5 eV	4.2 eV	5.25 eV
CdTe	1.5 eV	4.5 eV	5.1 eV
ZnTe	2.25 eV	2.8 eV	4.0 eV
Au	-	-	5.1 eV
In	-	-	4.15 eV

1.3 Deneysel Metodların Genel Tanımı

ITO/TiO₂/CdTe/ZnSnTe/Al eta güneş gözelerinin ilk adımı olarak, eta güneş gözelerinde n-tipi pencere tabakası olarak yaygın kullanılan nanogözenekli TiO₂ ince filmleri, döndürmeli kaplama ve saçtırma metodlarıyla, kaplanmamış cam, İndiyum Kalay Oksit (ITO) kaplı cam alttaşlar üzerine üretilmiştir. Saçtırma yöntemi ve fiziksel buharlaştırma tekniği (PVD) ile cam, ITO/TiO₂ kaplanmış cam alttaş üzerine üretilen, koruyucu ve soğurucu yarıiletken katman olan boşlukları doldurulmuş CdTe ince filmleri çalışılmıştır. Daha sonra, cam/ITO/TiO₂/CdTe/Au aygıt yapısı üretilmiş ve karakterize edilmiştir. Son basamak olarak, saçtırmalı kaplama yöntemiyle geniş bant aralıklı p-tipi ZnSnTe ince filmi, cam/ITO/TiO₂/CdTe yapısı ve cam alttaşlar üzerine kaplanmıştır. Bunu daha sonra In arka kontakt üretimi takip etmiştir. Tüm laboratuvar ölçekli ETA-güneş gözleleri yapıları, cam/ITO/TiO₂/CdTe/Au ve cam/ITO/TiO₂/CdTe/ZnSnTe/In aygıt yapıları, göze verimliliğini arttırmak için üretilmiş ve araştırılmıştır. Her adımda, ince film malzemeleri incelenmiş ve karakterize edilmiş ve ETA güneş gözeleri uygulamaları için üretim ve malzeme özellikleri optimize edilmiştir. Güneş gözeleri yapıları, SEM, AFM, UV-Vis spektrometre, BET, XRD ve karanlık I-V teknikleri kullanılarak yapılan kalınlık ölçümleri, optik, elektrik ve yüzey karakterizasyonları ile üretilmiş ve karakterize edilmiştir.

1.3.1 Döndürmeli Kaplama Tekniği ile üretilen TiO₂

TiO₂ ince filmleri, terpinol, etil selüloz, izopropanol içerisinde %30 oranında TiO₂ nanoparçacıkları içeren Degussa VP Disp LE 2730X ticari TiO₂ çözeltisi içeren az akışkanlı pasta kullanılarak üretilmiştir. Etil selüloz ilk önce izopropanol içerisinde çözündürülmüştür ve TiO₂ çözeltisiyle karıştırılmıştır. Bu karışım manyetik karıştırıcı ile homojenize edilmiştir ve 15 dakikalık ultrasonik işleme tabi tutulmuştur. Terpinol ekledikten ve homojenize işlemini tekrarlandıktan sonra, izopropanol 40 °C'de döner buharlaştırıcı ile buharlaştırılmıştır. İçerik malzemelerinin oranları sırasıyla TiO₂, etil

selüloz ve terpinol olan 2:1:28 olarak her üretim için sabit tutulmuştur. Bu formülasyon, daha çok boya duyarlı güneş gözeleri için kullanılan değiştirilmiş film baskısıdır [34]. Sonuç, daha fazla homojenize edilemeyen ve döndürmeli kaplama için kullanılan az akışkanlı pastadır. Kaplamasız cam ve ITO kaplı cam alttaşlar, temiz oda ortamında döndürmeli kaplama tekniği kullanılarak 2000, 5000, 8000, 2000-5000, 2000-8000 ve 5000-8000 rpm'de 1 dakika süresince kaplanmıştır. 2000-5000 döndürmeleri için, ilk başta 30 sn boyunca 2000 rpm ile yapılıp arkasından 30 sn 5000 rpm ile devam edilmiştir ve toplamda 1 dakika sürmüştür. Alttaşları 120 °C'de 5 dakika kuruttuktan sonra, bu filmler fırında 450 °C'de 30 dakika boyunca ısı işleme maruz edilmiştir. Üretim parametreleri Tablo. 1.2.'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Döndürmeli kaplama tekniği ile üretilen TiO₂ filmlerinin üretim parametreleri

Döndürmeli kaplama tekniği ile üretilen TiO ₂	Zaman (dk)	Kurutma (Zaman-Sıcaklık)	Isıl İşlem (Zaman/Sıcaklık)
2000 rpm	1 dk	5 dk /120 °C	30 dk /450 °C
5000 rpm	1 dk	5 dk /120 °C	30 dk /450 °C
8000 rpm	1 dk	5 dk /120 °C	30 dk /450 °C
2000-5000 rpm	30sn-30sn	5 dk /120 °C	30 dk /450 °C
2000-8000 rpm	30sn-30sn	5 dk /120 °C	30 dk /450 °C
5000-8000 rpm	30sn-30sn	5 dk /120 °C	30 dk /450 °C

1.3.2. TiO₂ Filminin Saçtırılması

Deneyler, hedef çapı 2 inç olan RF magnetron saçtırma sistemi kullanılarak filmler, cam ve ITO kaplı camlar üzerine üretilmiştir. Hedef ve alttaş uzaklığı 10 cm'dir. üretilmiştir. Bu çalışmada, saçtırma sistemi kullanılarak TiO₂ filmleri 2 saatlik sürelerde farklı alttaşlara, farklı RF güçlerinde (50 W, 60 W, 80 W, 100 W ve 120 W) kaplanırken alttaş sıcaklığı 200 °C'ye ayarlanmıştır. Daha sonra, aynı değişkenlerdeki üretim, kalın filmler elde etmek için uygulanmıştır. Bu üretimin film kalınlığını sadece 5-10 nm aralığında arttırdığı gözlemlenmiştir, ve ayrıca, farklı RF güçleri (120 W'a kadar) uygulanırsa bile cam alttaşlar üzerine kaplanan filmlerin hepsinin amorf yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak, farklı üretimler sonunda, eta güneş gözeleri yapılarının n-tipi malzemeleri için en uygun parametreler seçilmiştir. Bunlar, alttaşın sıcaklığı 200 °C'ye ve RF gücü

120 W'a ayarlanmıştır. Saçtırılmış TiO₂ filminin üretim parametreleri Tablo 1.3.'te verilmiştir.

Tablo 1.3. Saçtırma yöntemi ile büyütülen TiO₂ için proses parametreleri

TiO ₂	Güç (Watt)	Zaman (dakika)	Büyütme Sıcaklığı T (°C)
Set1 (tek büyütme)	50 Watt	120 dk.	200 °C
Set2 (tek büyütme)	60 Watt	120 dk.	200 °C
Set3 (tek büyütme)	80 Watt	120 dk.	200 °C
Set4 (tek büyütme)	100 Watt	120 dk.	200 °C
Set5 (tek büyütme)	120 Watt	120 dk.	200 °C
Set6 (İkili büyütme)	120W/120W	120 dk./120 dk.	200 °C

1.3.3 Saçtırma Yöntemi ile CdTe Film Büyütme

RF destekli saçtırma yöntemi ile büyütülen CdTe ince filmlerinin büyütme koşul ve parametreleri Tablo. 1.4' te gösterildiği gibidir. CdTe kaynağı olarak, % 99,999 saflıkta, 3-inç hedef kullanılmıştır. Hedef ile alttaş arasındaki mesafe 15cm olup, büyütme hızı elde edilen film kalınlığının büyütme süresine oranı olarak hesaplanmıştır. İlk büyütmede elde edilen CdTe ince filmler için; RF kaynağı gücü 70 Watt, alttaş sıcaklığı 100 °C'de tutulurken, büyütme zamanları 45 ve 60 dakika değiştirilmiştir. Daha sonraki büyütme için, alttaş sıcaklığı 200 °C olarak tutulup, büyütme sonrasında 300 °C'de 30 dakika fırınlama yapılmış ve ince filmleri daha iyi kristal yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak; alttaş sıcaklığının 300 °C, RF gücünün 70 Watt olduğu 60 dakikalık büyütme yapılmış, sonrasında elde edilen filmin 350 °C'de 30 dakika boyunca fırınlanarak daha iyi kristal yapısına sahip olması sağlanmıştır. Farklı bir proses olarak; aynı parametreler kullanarak 110 dakikalık daha uzun bir büyütme yapılarak daha kalın filmler elde edilmiştir.

Table 1.4. Saçtırma yöntemi ile büyütülen CdTe için proses parametreleri

CdTe	Güç (Watt)	Zaman (dakika)	Büyütme Sıcaklığı T (°C)	Fırınlama Sıcaklığı (°C)
Set1	70 Watt	45	100 °C	150 °C
Set2	70 Watt	60	100 °C	-
Set3	70 Watt	60	200 °C	300 °C
Set4	70 Watt	60	300 °C	350 °C
Set5	70 Watt	110	300 °C	350 °C

1.3.4. Saçtırma Yöntemi ile ZnTe ve ZnSnTe Filmlerin Büyütmesi

Cam alttaşlar üzerine, 75W sabit RF gücünde, farklı sıcaklıklarda ($T=300^{\circ}\text{C}$, 350°C), ZnTe ve ZnSnTe filmler için farklı büyütme yapılmıştır. 300°C 'de, cam üstüne büyütülen ZnTe ince filmler; 350°C 'de fırınlanmıştır. Üç magnetronlu DC/RF saçtırma sistemi kullanılarak üretilen ZnSnTe ince filmlerin büyütülmesi sırasında; SnTe ve ZnTe bileşikleri kaynak olarak kullanılmıştır. Büyütme sırasında sistem argon atmosferinde tutulup, alttaş sıcaklığı 300°C civarında sabitlenmiştir. Büyütme; cam ve cam/ITO/TiO₂/CdTe alttaşlar üzerinde yapılmıştır. RF ve DC destekli saçtırma yöntemi ile büyütülen ZnSnTe ince filmlerinin büyütme koşul ve parametreleri Tablo. 1.5' te gösterildiği gibidir.

Tablo 1.5. Farklı ZnSnTe örneklerinin film kalınlıkları

	ZnTe kalınlığı (nm)	SnTe kalınlığı (nm)
Örnek 1	280 nm	60 nm
Örnek 2	280 nm	30 nm
Örnek 3	280 nm	9 nm
Örnek 4	280 nm	6 nm
Örnek 5	360 nm	9 nm
Örnek 6	360 nm	11 nm
Örnek 7	315 nm	13.5 nm

2. Sonuçlar ve Değerlendirme

2.1 Filmler ve aygıtların Karakterizasyonu

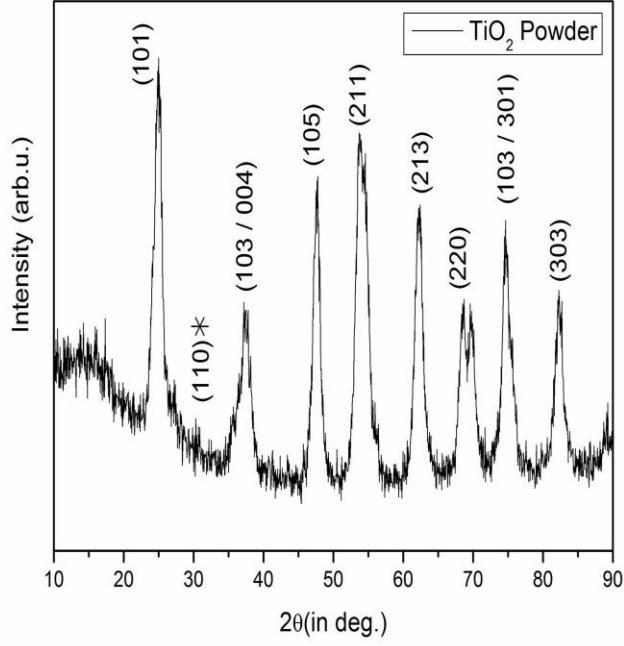
Bu çalışmada sunulan yüksek derecede soğurgan (ETA) güneş gözesi, camsı n-tipi tabaka olarak hem spin kaplanmış nano-poroz hem de saçtırılmış TiO₂ üzerine, saçtırılmış yöntemle kaplanmış CdTe tabakasından oluşur. Boşlukları dolduran CdTe soğurgan tabaka, boşluk iletken malzeme olan saçtırılmış ZnTe ve ZnSnTe ile kaplıdır. Bu yapıda, görünür dalga boylarında yasak enerji aralığından daha yüksek enerjiye sahip fotonlar CdTe iletkenlik bandında bulunan elektronları uyarır. Daha sonra, uyarılan elektronlar n-tipi elektron iletkeni TiO₂ tabaka içinde fotoakım olarak iletilir. Bu bölümde çeşitli tabakalar yapısal, optik ve elektriksel olarak karakterize edilmiş ve daha sonra üretilen aygıt yapısal, elektriksel ve optik olarak karakterize edilmiş ve değerlendirilmiştir.

2.2 Üretilen Filmlerin Karakterizasyonu

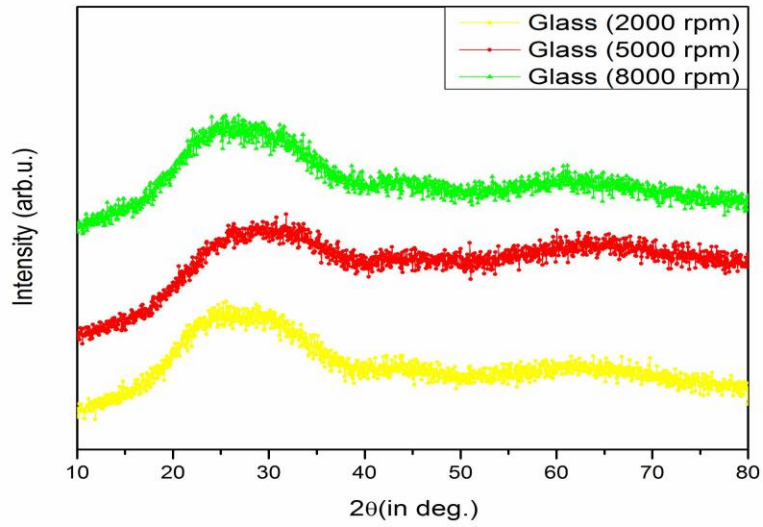
2.2.1 Döndürme Yöntemi ile Kaplanan TiO₂ Filmlerin Yapısal Karakterizasyonu

Cam ve ITO kaplı cam üzerine büyütülen ince filmlerin yapısal özelliklerini belirlemek için XRD ölçümleri kullanılmıştır. Tozun XRD analizi Şekil 2.1'de; sırasıyla cam ve ITO kaplı cam üzerine

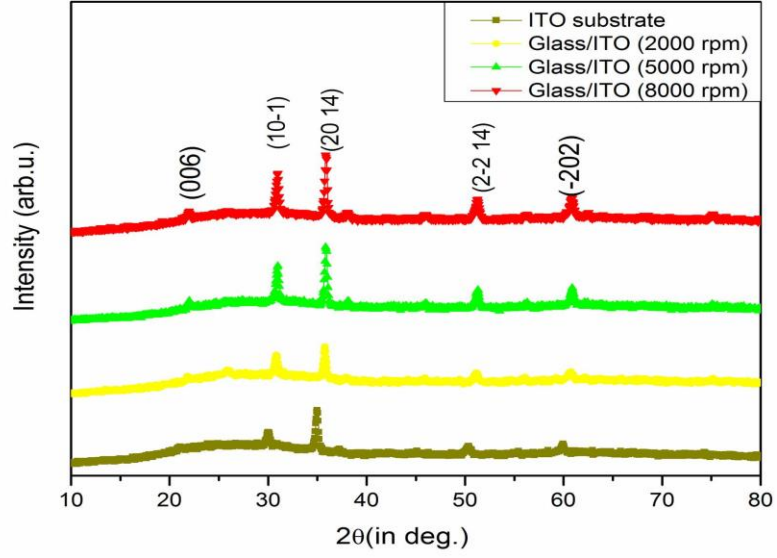
döndürme ile yapılan TiO₂ filmlerin analizleri Şekil 2.2 ve 2.3'da verilmiştir. Cam alttaş üzerine arda arda iki kere yapılan TiO₂ kaplamalarının XRD grafiği Şekli 2.4'da verilmiştir.



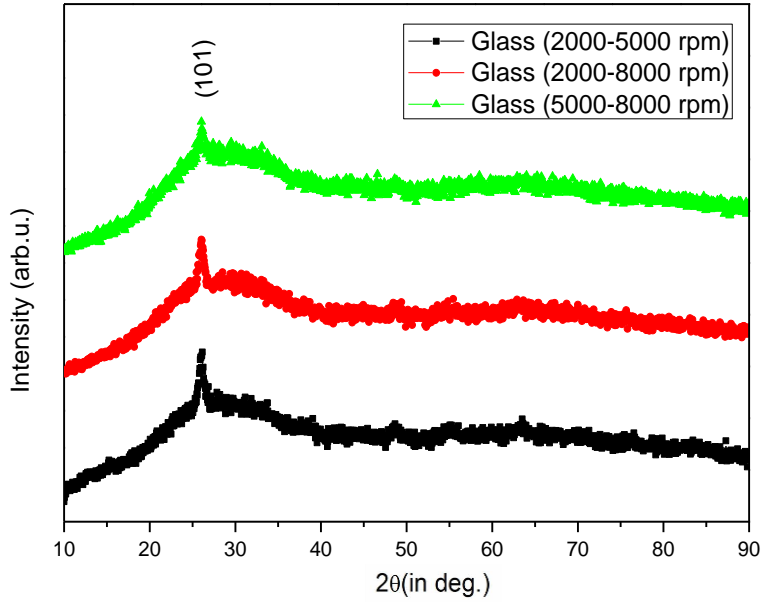
Şekil 2.1 TiO₂ toz XRD grafiği (*rutil fazı temsil ediyor)



Şekil 2.2 Cam alttaş üzerine tek çalışma süresi ile kaplanmış TiO₂ filmlerinin XRD grafikleri



Şekil 2.3 ITO kaplı cam alttaş üzerine tek çalışma süresi ile kaplanmış TiO₂ filmlerin XRD grafikleri



Şekil 2.4 Cam alttaş üzerine iki çalışma süresi ile kaplanmış TiO₂ filmlerin XRD grafikleri

Şekil 2.1'e göre, toz kristal fazları gösterir ve nano-parçacık yapısındadır. Tozun XRD spektrumu anataz fazındadır (JCPDS 21-1272 Anatase) ve tercih edilen yönelimi (101) yüzeyi ve 2θ açısı

yaklaşık 25°'dir [1]. Güneş gözesi uygulamaları açısından TiO₂ anataz evresi tercih edilmesine rağmen, çok az rutil (JCPDS 73-1765 Rutile) fazı da gözlemlenmekle beraber, bu faz yok sayılabilir. Şekil 2.2'de farklı spin hızları ile cam üzerine kaplanan TiO₂ filmleri XRD grafikleri, büyütülen filmlerin bütün spin hızları için amorf olduğunu gösterir. Şekil 2.3'de gösterilen, ITO kaplı cam üzerine büyütülmüş TiO₂ filmlerin XRD grafikleri anataz fazı işaret eder. Ek olarak, kaplama hızı arttıkça, saçılma pikleri daha sivri hale gelir. Aslında, spin kaplama yapılan TiO₂ filmlerin XRD davranışlarının alttaş malzemeye göre değiştiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, kristal yapısındaki farklılıklar alttaşların farkına dayandırılmıştır. Ek olarak, Şekli 2.4 'da gösterildiği üzere, iki kez spin kaplanan filmler, 2 θ ~26° değerinde (111) yönelim tercihli kristal yapılar göstermiştir. Aslında, filmlerin kristal yapısını belirlemek için sadece alttaşın yapısı değil, filmlerin kalınlığı da önemli bir etkidir. Spin kaplanmış TiO₂ filmler için, bu analizler, film yapılarındaki malzeme farkı ve spin kaplama hızı nedeniyle ortaya çıkan muhtemel farklılıkları gözlemlenmeye yardımcı olmuştur. TCO/TiO₂ filmleri için kaplama hızı arttıkça saçılma piklerinin yoğunluğu artar. Scherrer denklemi kullanılarak hesaplanan mikro kristal boyutu 24nm'dir. Bu çalışmada kullanılan tozların spesifik yüzey alanları BET gas adsorpsiyon ölçümleri ile hesaplanarak 108 m²/g ve ortalama delik çapı 17nm olarak hesaplanmıştır. Bu yüzey alanı nano-kristal ve güneş gözesi uygulamaları açısından kullanılabilir büyüklüktedir. Küresel parçacıklar varsayılırsa[2], ortalama parçacık boyutu:

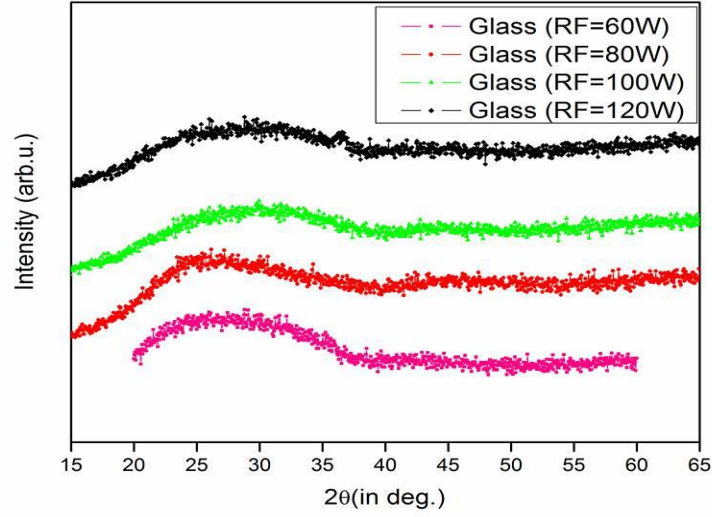
$$D = \frac{6000}{S_{sp} \cdot \rho_a} \quad (2)$$

İfadesi kullanılarak hesaplanır. Denklem 2'de S_{sp} tozların m²/g cinsinden spesifik yüzey alanı, ρ_a TiO₂'nin yoğunluğudur (4.23 g/cm³). BET ölçümlerinden hesaplanan 48 nm değeri, XRD ile elde edilen değer iki katıdır ve bu fark tozun BET ölçümünde topaklanmasına bağlıdır.

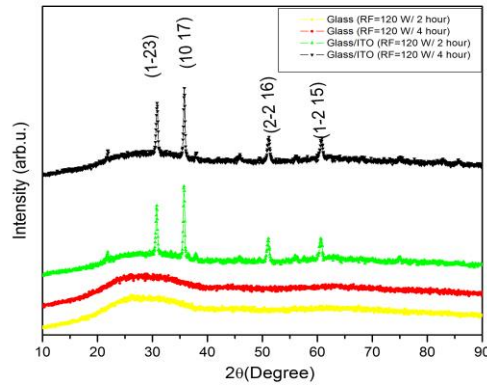
2.2.2 Saçtırılmış TiO₂ 'ın Yapısal Özellikleri

Saçtırılmış TiO₂ filmlerini karakterize etmek ve n-tipi eta güneş gözesi yapısı için elverişli parametreleri uygun hale getirmek için farklı üretimler yapıldı. Farklı RF güçlerinde cam alttaşlar üzerine kaplanan TiO₂ filmlerin XRD ölçümleri Şekil 2.5 'da gösterilmiştir ki cam alttaşlar üzerindeki filmlerin hepsi amorf yapıdadır. P=60 , T=200°C saçtırma parametreleri ile cam alttaşlar ve ITO kaplı camlar üzerine yapılan üretim1 (2 saat) ve üretim2 (4 saat) 'nin XRD ölçüm sonuçları Şekil 2.6 'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibicam alttaşlar üzerindeki filmler amorf yapıdayken ITO kaplı camlar üzerindeki filmler alttaşın doğası gereği kristal yapı göstermiştir. Ve ikinci üretim filmin yapısında herhangi önemli bir etki göstermemiştir. Tüm üretimler için, 2θ=30°, 35.75°-51 ve 62° pikleri ITO kaplı cam alttaşlar üzerine üretilmiş filmlerde ITO ve TiO₂ filmlerine aittir. Bu çalışmada

farklı cam ve cam/FTO alttaşlar üzerine alttaş sıcaklığı 200 °C'ye ve RF gücü 120 W 'a ayarlanarak saçtırılan TiO₂ filmler uygun n-tipi pencere katman olarak seçilmiştir.



Şekil 2.5 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle farklı RF güçleriyle kaplanan TiO₂ filmlerinin XRD grafikleri

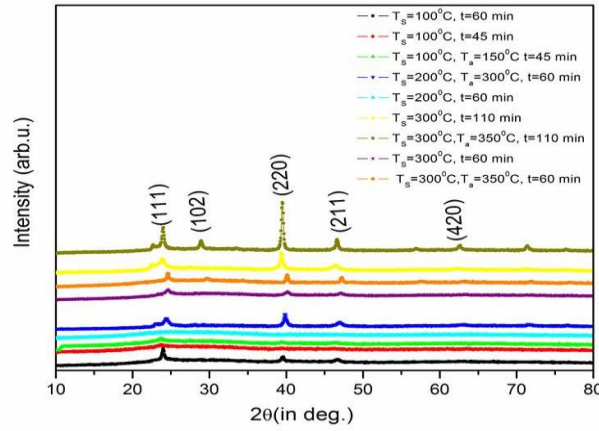


Şekil 2.6 Cam ve ITO kaplı cam alttaşlarının üzerine tekli ve ikili çalışma süresiyle saçtırma yöntemiyle kaplanan TiO₂ filmlerinin XRD grafikleri

2.2.3 Saçtırılmış CdTe'in Yapısal Özellikleri

Eta güneş gözesi yapılarının i-tipi CdTe soğurucu katmanının uygun parametrelerini anlamak için cam alttaşlar üzerine çeşitli RF güçleri, alttaş sıcaklıkları ve üretim zamanları ile farklı CdTe ince filmleri saçtırılmıştır. Farklı kalınlık değerlerindeki CdTe ince filmlerinin XRD ölçüm sonuçları Şekil 2.7'de verilmiştir. Saçtırılmış CdTe XRD şekillerinden Scherrer formülü kullanılarak hesaplanan

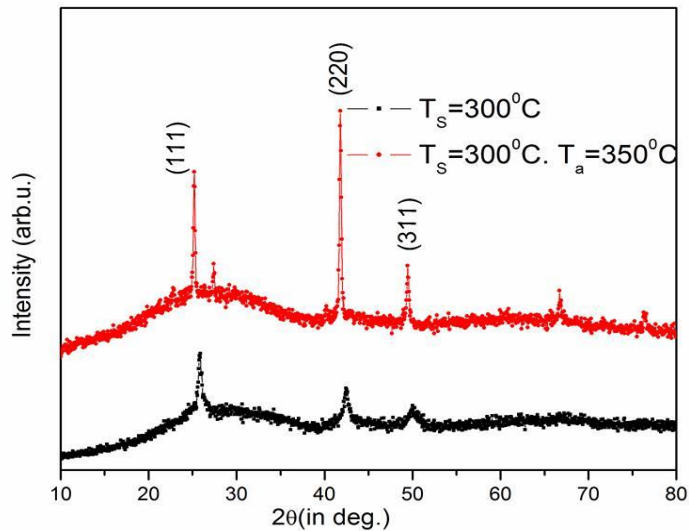
kristal büyüklükleri seri 1,2 ve 3 için sırası ile 47,80 ve 29,8 nm dir. XRD sonuçları, artan kalınlığın ve tavlama sıcaklığının kristalliği arttırdığını ima etmektedir. Veritabanı kart araştırmalarına dayalı olarak, Şekil-8'de de gösterildiği gibi, saçtırılmış CdTe (111) ana pikinin 2θ değerinin 15-0770 kart numaralı JCPDS kartı ile yaklaşık 24 derece civarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2.7 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan farklı tavlama sıcaklık ve sürelerine bağlı CdTe filmlerinin XRD grafikleri

2.2.4 Saçtırılmış ZnTe ve ZnSnTe'in yapısal özellikleri

Üretilmiş ve tavllanmış ZnTe ince filmlerinin XRD ölçüm sonuçları Şekil 2.8 'da verilmiştir. Scherrer formülünden XRD şekli kullanılarak hesaplanan ZnTe ince filmlerinin kristal büyüklükleri hem üretilmiş hem de tavllanmış filmler için hemen hemen 5 nm civarındadır.

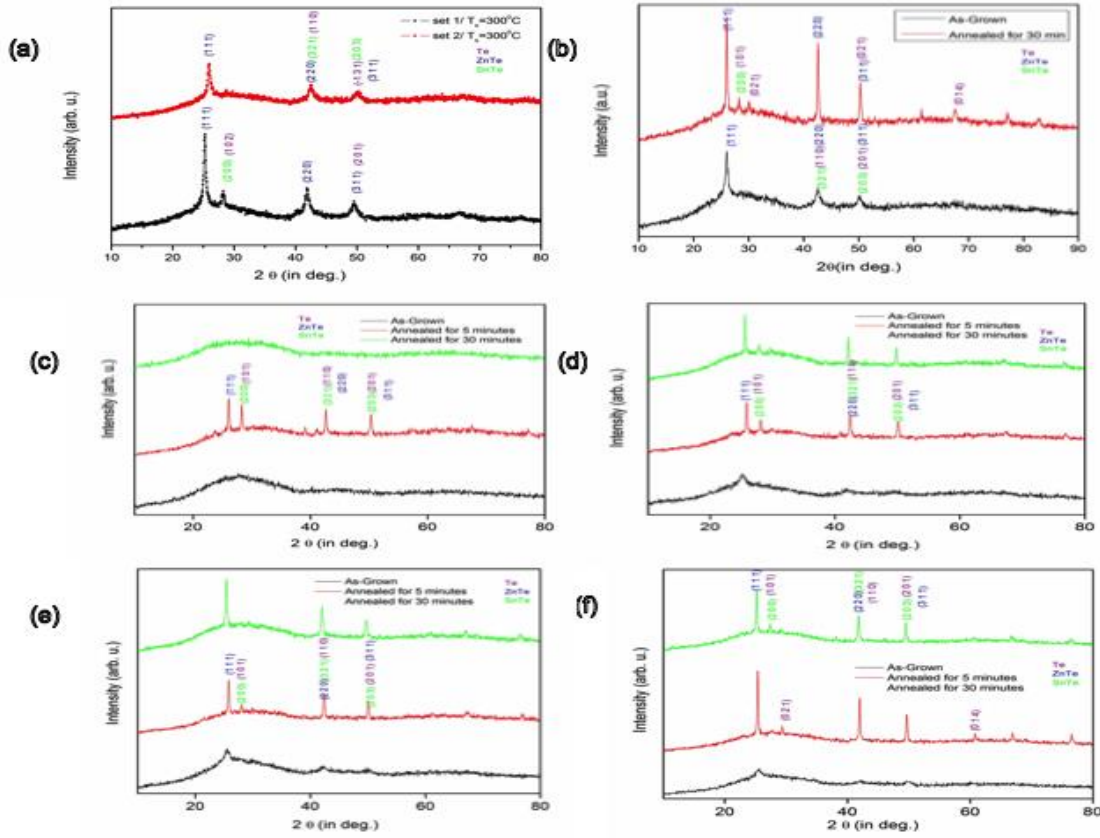


Şekil 2.8 cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan ZnTe filmlerinin XRD grafikleri

Farklı üretim parametreleri ile cam üzerine bileşik halindeki SnTe ve ZnTe hedeflerden argon ortamında ardarda saçtırılarak üçlü DC/RF magnetik saçtırmalı kaplama sisteminde hazırlanan farklı ZnSnTe ince film serileri Tablo 2.1 de verilmiştir. Farklı ZnSnTe serilerinin kırınım şekilleri ve aynı zamanda yönelim ve fazlarını belirlemek için XRD kırınım ölçümleri yapılmıştır ve Şekil 2.9 da verilmiştir. Şekil 2.9 (a) ve (b) deki XRD şekilleri filmlerin çoklu kristal doğaya sahip olduğunu ve saçtırılan filmin ZnSnTe fazı yöneliminde olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda filmlerin kristalliği ısısal iyileştirmeye birlikte artmıştır. Şekil 2.10 (c)'de verilen XRD sonuçları 30 dakika için yapılan tavlama sonrasında filmlerim amorf yapıya geçtiğini göstermektedir. Bu da filmdeki ayrılmalardan kaynaklı olabilir. Şekil 2.10 (d), (e) ve (f)'nin gösterdiği 3 örnekte, tavlama süresinin uzatılmasıyla kristallenme artsa da, tablo 2.1'de gösterilen direnç değerlerinden dolayı, ölçümlerde 350°C'de 5dk tavlama örnekler kullanıldı. Yüksek yoğunlukta yansıma, (111) düzleminde ZnSnTe fazında 25.25° olan 2θ'lık kırılma açısı ile elde edilmiştir. Şekil 10(a)'da gösterildiği gibi, Scherrer formülü kullanılarak elde edilen ortalama kristalite büyüklüğü ilk set için 29 nm ve ikinci set için 20 nm'dir. Şekil 2.10 (b) ise tavlamamış ve tavlama yapılmış ZnSnTe filmlerine ait ortalama kristal boyutlarının, sırasıyla 40.58 nm ve 22.69 nm olduğunu göstermektedir. Filmlerin içeriğini belirleyebilmek için enerji dağılım X-ray analizi (EDXA) gerçekleştirildi. Farklı setlerin direnç değerleri ve atomik oranların yüzdesi Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tabo 2.1. Farkli ZnSnTe örnekleri için Zn:Sn:Te oranları ve direnç değerleri

	Zn%	Sn%	Te%	R (Ω)
Örnek 1	42.0	6.0	52.0	3x10 ²
Ornek 2	40.0	7.0	53.0	8x10 ²
Ornek 3(Tavlama yapılmamış)	44.2	2.1	53.7	1x10 ³
Ornek 3(Tavlama yapılmış-30 dk)	45.4	4.3	50.2	1x10 ³
Ornek 7(Tavlama yapılmamış)	41.0	4.0	54.8	16x10 ⁶
Ornek 7(Tavlama yapılmamış-5 dk)	43.4	4.1	52.5	4.2x10 ⁶
Ornek 7(Tavlama yapılmamış-30 dk)	29.6	4.3	25.1	3x10 ¹⁰



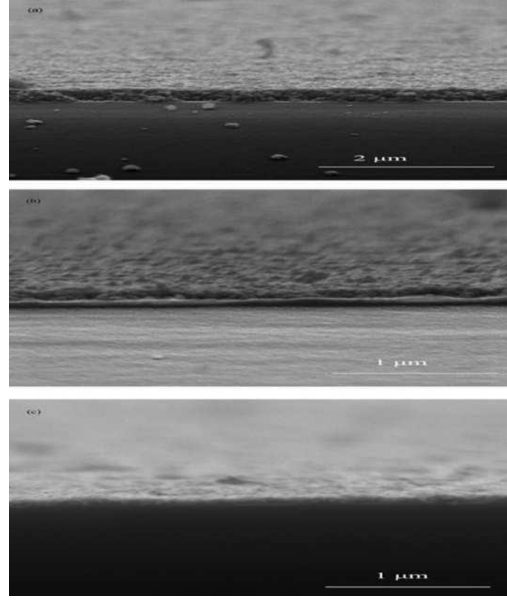
Şekil 2.9 Cam alttaş üzerine saçırma yöntemiyle kaplanan ZnSnTe filmlerinin XRD grafikleri

a) örnek 1 ve 2 b) örnek3 c) örnek4 d) örnek5 e) örnek6 f) örnek7

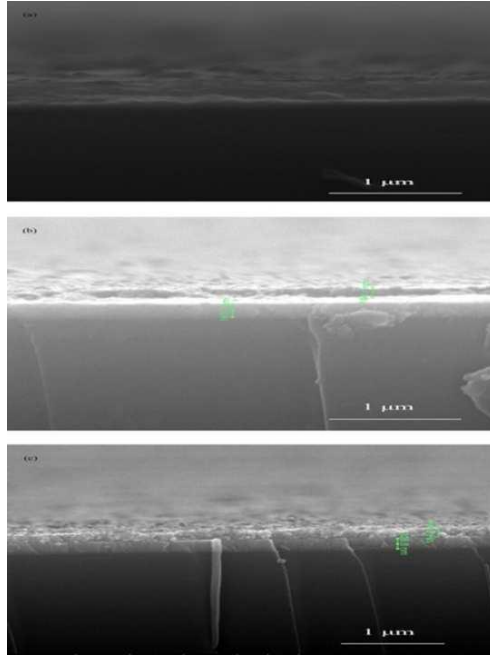
2.2.5 Saçırma yöntemiyle Kaplanmış TiO₂'nin Morfolojik Özellikleri

Spin döndürme yöntemi ile kaplanan ince filmlere ait yüksek çözünürlüklü SEM görüntüleri Şekil 2.10, 2.11 ve 2.12'de verilmiştir. Filmler yaklaşık olarak 50-100 nm büyüklüğünde delik içeren ve 20 nm'lik parçacık büyüklüğüne sahip, birbiri ile iç içe geçmiş yüksek delikli nanoparçacık ağı şeklindedirler. Bu değerler yapılan X-ışını ölçümleri ile uyumluluk göstermektedir. Bu uyum soğurucu katmanlar için bağlanma bölgeleri gerektiren birçok nanokristalli güneş pili yapıları için önemli bir faktör olan yüksek delik değeri ve geniş yüzey alanına sahip filmlerin oluşturulduğunu göstermektedir. Ayrıca açık delikler p-tipi katmanların difüz etmesi için yeterli alan oluşumunu sağlamaktadır. Böylelikle nanokristalli güneş pili malzemesi yapısını oluşturmak için gerekli olan en önemli faktör yanı geniş yüzey alanına sahip filmlerin oluşumu sağlanmıştır. Filmlerin kesit görüntüleri incelendiğinde, sadece döndürme hızlarını değiştirerek 80 nm inceliğe kadar inebilecek şekilde farklı kalınlıkta ince filmlerin elde edilebileceği gözlemlenmiştir. Filmler tüm yüzey boyunca homojen ve çatlaksız bir yapıya sahiptirler. Ayrıca yüzeyde hiç birikimin olmadığı gösterilmiştir ki bu da macunun çok iyi homojenize

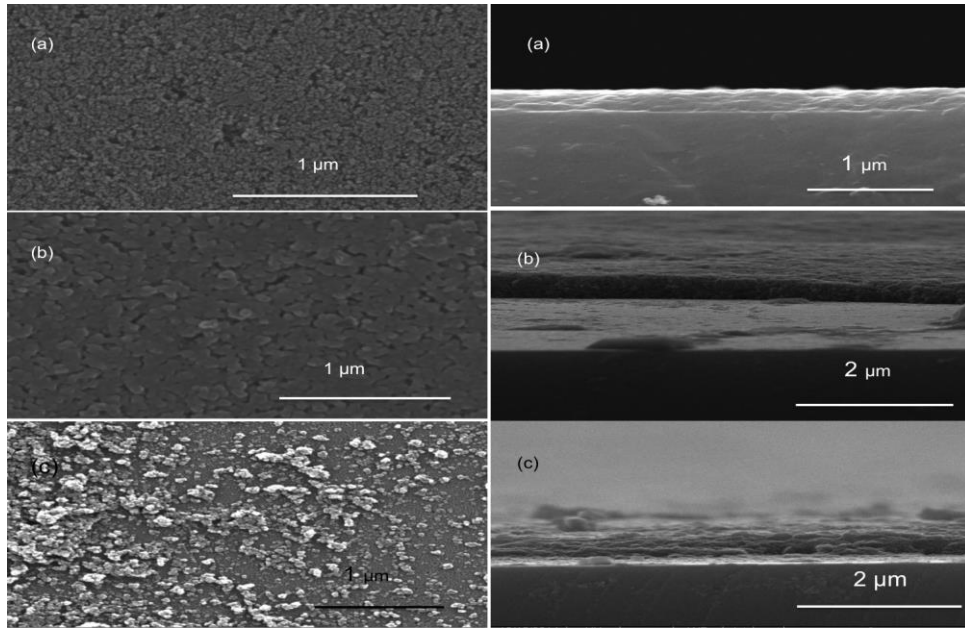
olduğunu göstermektedir. Şekil 2.10 ve 2.11’de tek seferlik döndürme işlemi ile elde edilen filmlerde bazı delikler gösterilmekte ve bu delikler anot ve soğurucu katman arasında teması sağlamaktadır. Farklı döndürme hızlarında cam ve ITO cam alttaşları üzerindeki filmlerin morfolojilerinde önemli bir farklılık gözlenmemesine rağmen, ard arda döndürme yöntemiyle elde edilen kalın TiO₂ filmleri için XRD ve SEM sonuçları, daha iyi bir kristallenme ve grain boyutunda artış olduğunu göstermiştir. Örneğin, 2000-5000 rpm’lik döndürme hızı tek seferlik 2000 ve 5000 rpm’lik döndürme-kaplama işlemi ile karşılaştırıldığında daha iyi kristal yapısı vermiştir.



Şekil 2.10. Cam alttaş üzerine kaplanan TiO₂ filmlerinin SEM resimleri farklı döndürme hızlarıyla (a) 2000, (b) 5000 and (c) 8000 rpm



Şekil 2.11 ITO kaplı cam alttaş üzerine kaplanan TiO₂ filmlerinin SEM resimleri farklı döndürme hızlarıyla (a) 2000, (b) 5000 and (c) 8000 rpm

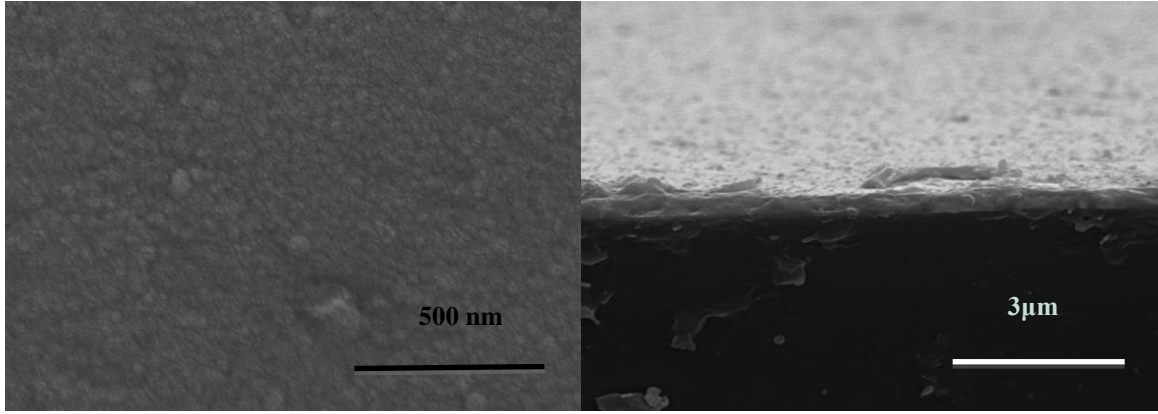


Şekil 2.12 Cam alttaş üzerine kaplanan TiO₂ filmlerinin SEM resimleri farklı döndürme hızlarıyla (a) 2000-8000, (b) 5000-8000 and (c) 2000-5000 rpm

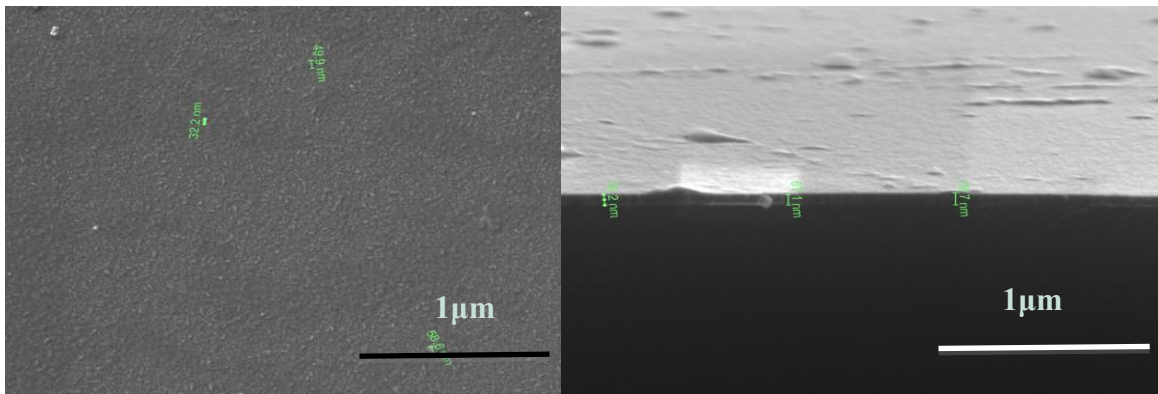
2.2.6 Saçtırma Yöntemiyle Kaplanmış TiO₂ Filmlerin Yapısal ve Morfolojik Karakterizasyonu

Bu çalışmada TiO₂ filmleri farklı kaplama parametreleri ile Cam ve Cam/ ITO alttaşlar üzerine kaplanmıştır. Saçtırılmış TiO₂ filmlerin yüksek çözünürlüklü SEM görüntüleri tek ve ikili çalışma süreleri için Şekil 2.13 ve 2.14’ de verilmektedir.

Kesit görüntüleri, aynı RF güçlerinde, tek seferli saçtırma yöntemi ile elde edilen TiO₂ filmlerinin ikili çalışma süreli kaplama ile karşılaştırıldığında önemli bir değişiklik olmadığını göstermektedir. Ayrıca kesit görüntüleri RF gücünün artırılması ile daha kalın saçtırılmış TiO₂ filmlerinin elde edilebildiğini göstermektedir. Saçtırma yöntemiyle kaplanmış TiO₂ filmlerin içeriklerini bulmak için EDXA yöntemi kullanılmıştır ve bu analizler sonucu, üretilen TiO₂ filmleri (RF=120W için) element oranlarının yüzdesi yaklaşık olarak O:Ti = % 68:32 bulunmuştur.



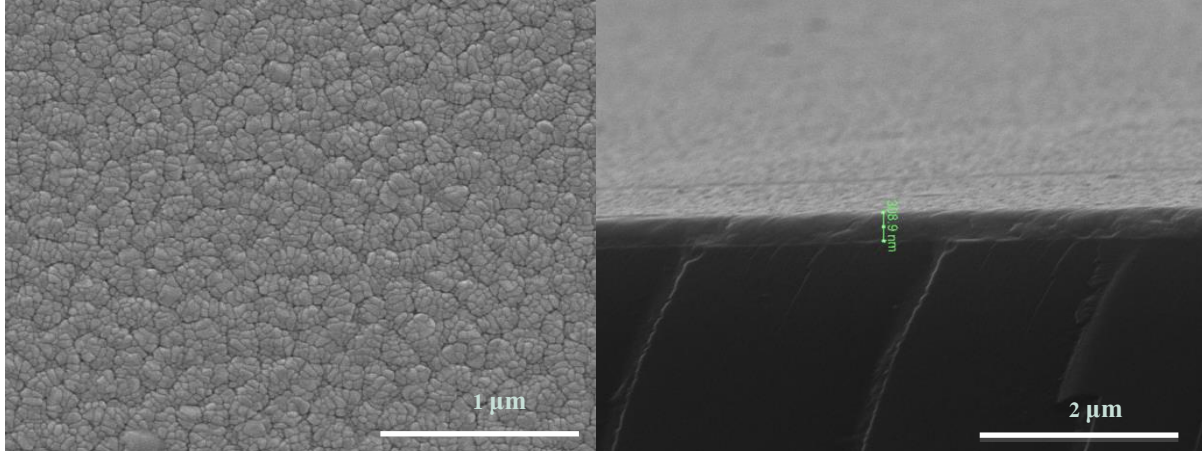
Şekil 2.13 Cam alttaş üzerine tek çalışma süresi saçtırma yöntemine kaplanan TiO₂ filmlerinin SEM resimleri (P=120 W)



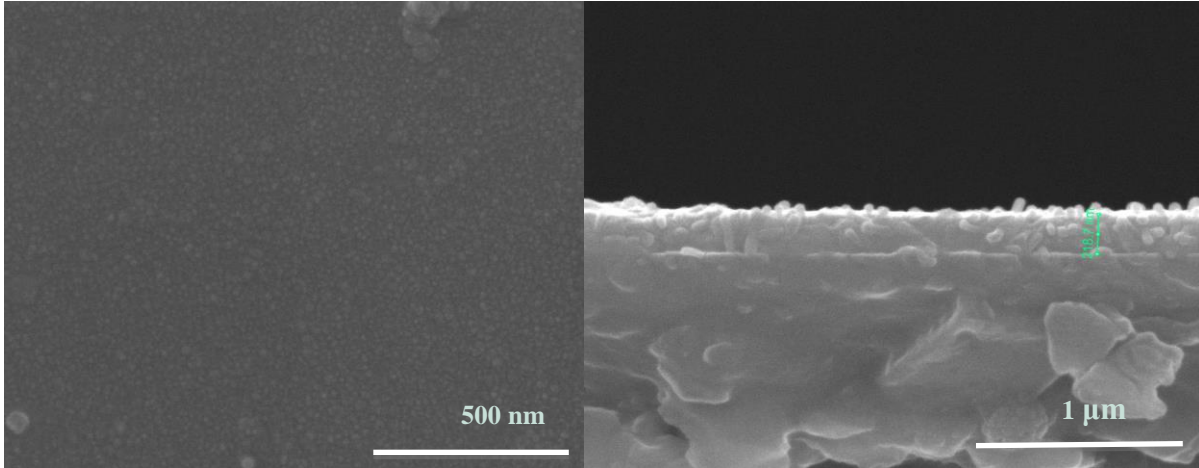
Şekil 2.14 Cam alttaş üzerine ikili çalışma süresi saçtırma yöntemine kaplanan TiO₂ filmlerinin SEM resimleri (P=120 W)

2.2.7 Saçtırma Yöntemiyle Kaplanmış CdTe Filmlerin Yapısal ve Morfolojik Karakterizasyonu

Şekil 2.15 ve 2.16'da gösterilen kristallenmiş CdTe soğurucu filmleri için en iyi parametrelere ulaşabilmek amacıyla farklı set CdTe filmleri cam alttaşlar üzerine kaplanmıştır. Bu filmler daha sonra 30 dakika daha tavlansınarak daha iyi kristalleşmiş bir yapı elde edilmiştir.



Şekil 2.15 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan CdTe filmlerinin SEM resimleri (RF=70 W, t=60 dk, T=300°C)

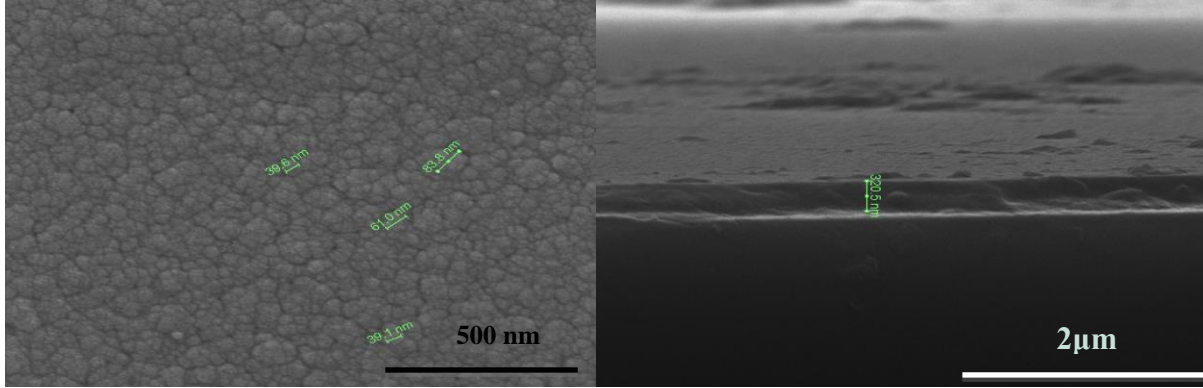


Şekil 2.16 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemiyle kaplanan CdTe filmlerinin SEM resimleri (RF=70 W, t=60 dk, T_s=300°C, T_a=300°C)

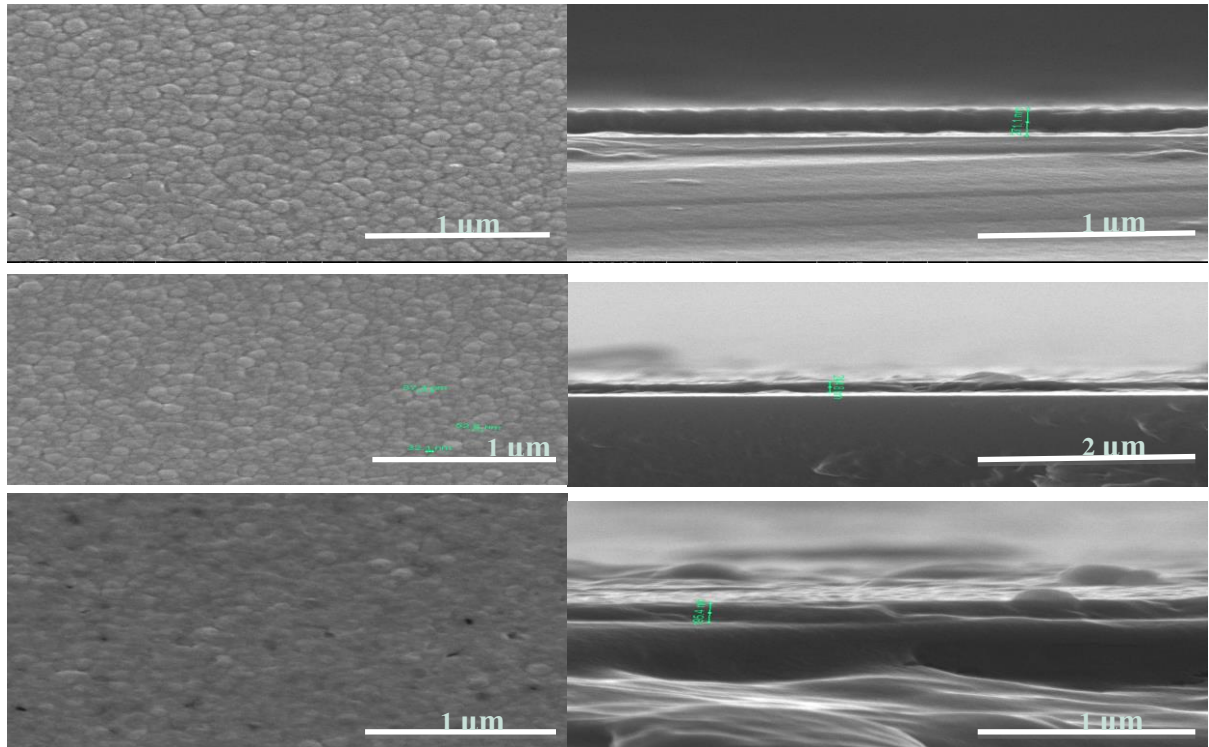
2.2.8 Saçtırma Yöntemiyle Kaplanmış ZnTe ve ZnSnTe'nin Yapısal Özellikleri

Saçtırma yöntemiyle üretilen ZnTn ince film cam alttaşlar üzerine hazırlanmıştır. Tavlansınmış ZnTe filmlerinin SEM görüntüleri Şekil 2.17 'de gösterilmektedir. Dektak 6M kalınlık profilometresi kullanılarak örneklerin kalınlığı ölçülmüştür ve yaklaşık olarak 340 nm olarak bulunmuştur. Ayrıca alternatif olarak düşük dirençli p-tipi malzeme olan ZnSnTe ince filmleri saçtırmalı kaplama yöntemi ile hazırlanmıştır. Bunun için, üçlü magnetron DC/RF saçtırma sistemi kullanılarak SnTe ve ZnTe

filmleri sıralı olarak üretilmiştir. Şekil 2.18’de yedinci set ZnSnTe filminin SEM görüntüleri verilmektedir. Bu sonuçlar 30 dakika boyunca tavlanan filmlerin boşluklu yapıya sahip olduğu ve böylelikle yapımızda temas noktaları oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca yüzeyde hiç birikimin oluşmaması homojen filmlerin elde edildiğini göstermektedir. SEM görüntüleri XRD sonuçları ile uyumluluk göstermektedir.



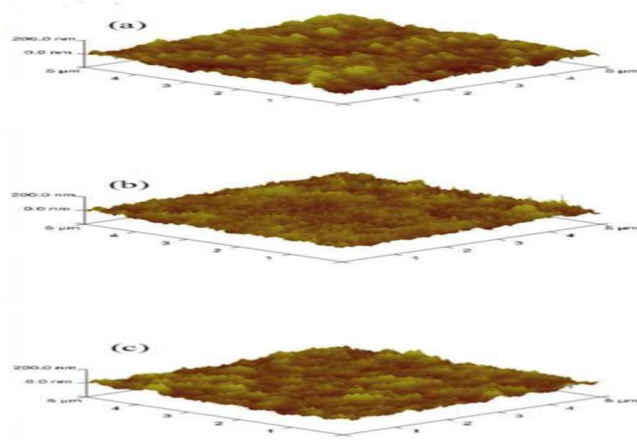
Şekil 2.17 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemile kaplanan tavlannmamış ZnTe filmlerinin SEM resimleri



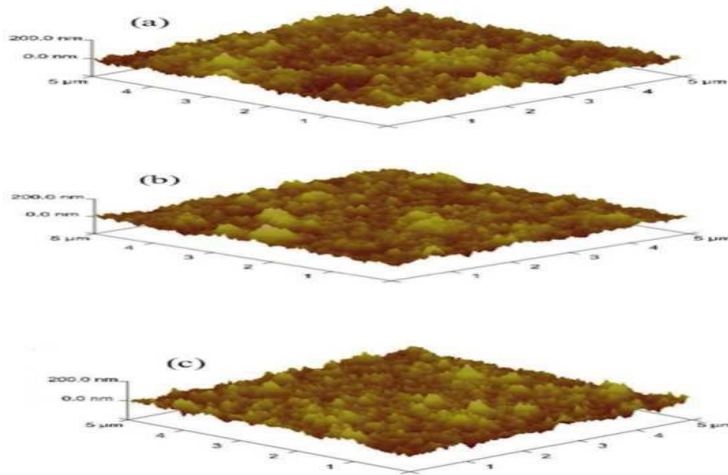
Şekil 2.18 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemile kaplanan yedinci set ZnSnTe filmlerinin SEM resimleri a) tavlannmamış and b) 5 dakika tavlannmış c) 30 dakika tavlannmış

2.2.9 Farklı Tabakaların AFM Ölçümleri

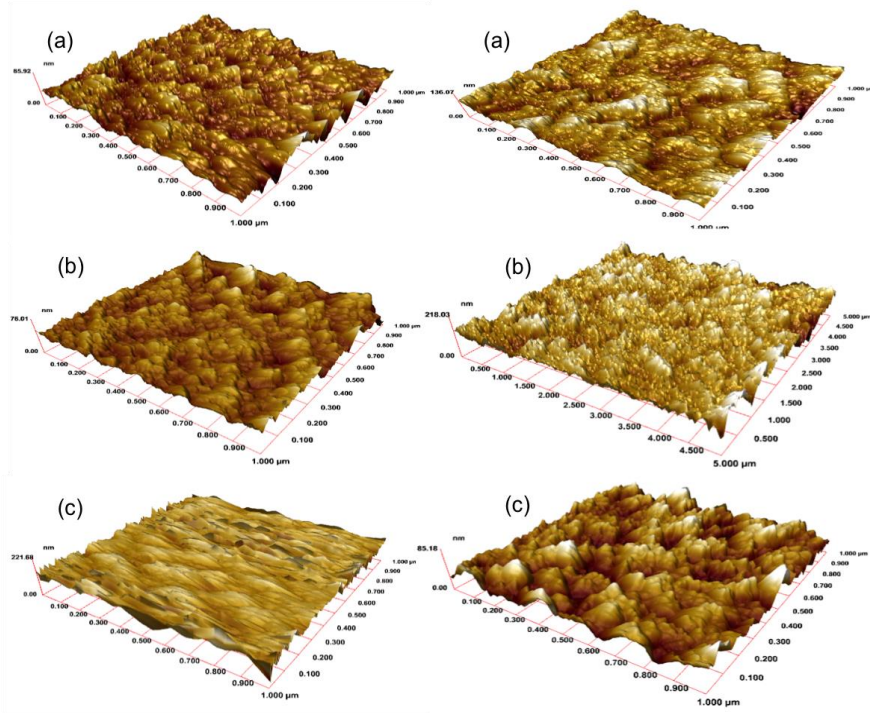
Şekil . 2.19, 2.20 ve 2.21’da AFM ölçümlerinin sonuçları döndürme yöntemi ile kaplanan TiO₂ filmleri için gösterilmektedir. Ayrıca Tablo 2.2 aynı filmlerin pürüzlülük değerlerini özetlemektedir. SEM sonuçları ile uyumluluk gösteren yüksek çözünürlüklü AFM görüntüsü, filmlerin delikli ve nano-parçacıklı yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Tek seferlik döndürme yöntemi ile elde edilen parçacık boyutu yaklaşık olarak 25-30 nm, delik genişlikleri ise yaklaşık olarak 50-100 nm’dir. Tüm örneklerde görülen 20 nm’lik pürüzlülük değeri, filmlerin homojenliğinde hiç büyük boşluk veya sapma olmadığını göstermektedir.



Şekil 2.19 Cam alttaş üzerine döndürme yöntemi ile kaplanan TiO₂ filmlerinin AFM resimleri farklı döndürme hızlarıyla (a) 2000, (b) 5000 and (c) 8000 rpm



Şekil 2.20 ITO kaplı cam alttaş üzerine döndürme yöntemi ile kaplanan TiO₂ filmlerinin AFM resimleri farklı döndürme hızlarıyla 2000, (b) 5000 and (c) 8000 rpm



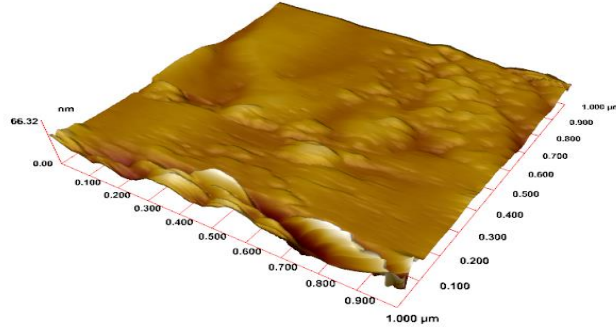
Şekil 2.21 Cam alttaş üzerine döndürme yöntemiyle kaplanan TiO_2 filmlerinin AFM resimleri farklı döndürme hızlarıyla (a) 2000-8000, (b) 5000-8000 and (c) 2000-5000 rpm

Tablo 2.2. Pürüzlülük değerleri döndürme yöntemile kaplanan TiO_2 filmlerine ve farklı alttaşlar için

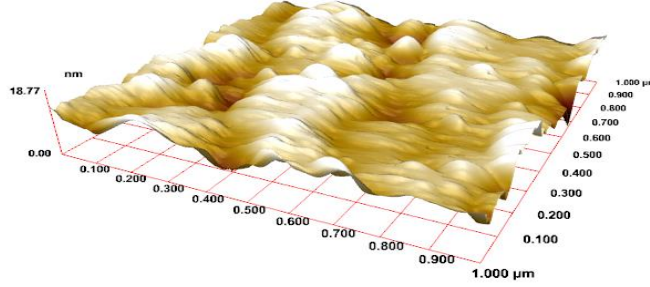
Örnek	Cam alttaş	Cam/ITO alttaş	TiO_2							
			Cam üzerine kaplanmış				Cam/ITO üzerine kaplanmış			
			2000 rpm	5000 rpm	8000 rpm	2000-5000 rpm	2000 rpm	5000 rpm	8000 rpm	2000-5000 rpm
Pürüzlülük değerleri	1.6 nm	2.9nm	18.9 nm	17.1 nm	18 nm	18.7 nm	20.8 nm	18.9 nm	20.3 nm	18.7 nm

Şekil 2.22'de saçtırılmış filme ait AFM görüntüsü verilmektedir ve bu görüntüde saçtırılmış TiO_2 filmlerinin yaklaşık olarak 22 nm'lik pürüz söz konusudur. Bu, SEM görüntüsünün aksine filmin düzenli olmamasından kaynaklanıyor olabilir. Pürüzlülük arttıkça daha aktif yüzey elde edilmekte. Yüksek pürüzlülük değeri, cihazlar için alttaş pencere katmanı seçmek için gerekli çok uygun bir özelliktir. Şekil 2.23'de verilen CdTe filminin AFM görüntüleri, uniform morfoloji ve yaklaşık 3.7 nm'lik

bir pürüzlülük değeri sergilemekte ve iyi bir CdTe soğurucu katmanı elde etmek için çok uygun olduğunu göstermektedir. bu düşük pürüzlülük değeri CdTe filmlerinin delikli TiO₂ filmlerindeki delikleri doldurduğunu ve böylelikle n-tipi TiO₂ pencere katmanı ile aşırı derece ince olan CdTe soğuru katmanı arasında çok iyi yapışma gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 2.22 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemile kaplanan TiO₂ filmlerinin AFM resimleri

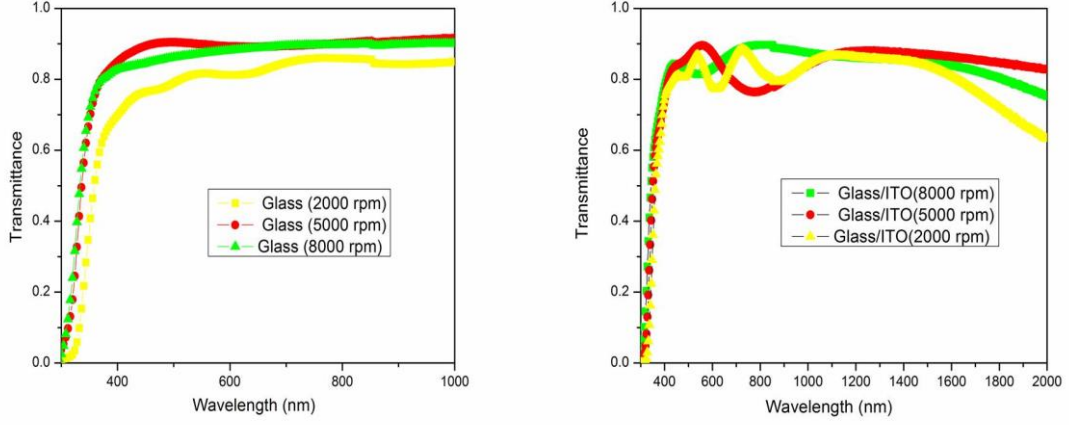


Şekil 2.23 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemile kaplanan CdTe filmlerinin AFM resimleri (RF=70 W, t=60 dk, T=300°C)

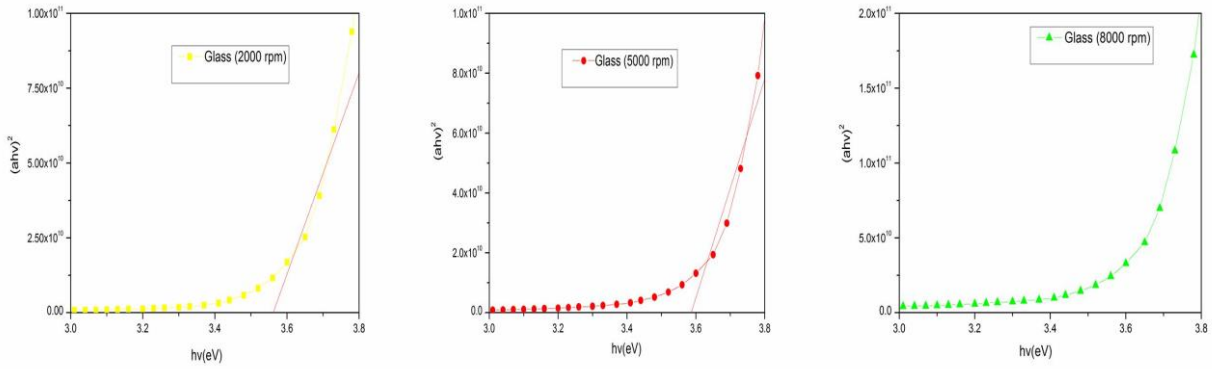
2.2.10 Döndürme Yöntemiyle Kaplanan TiO₂'nin Optik Özellikleri

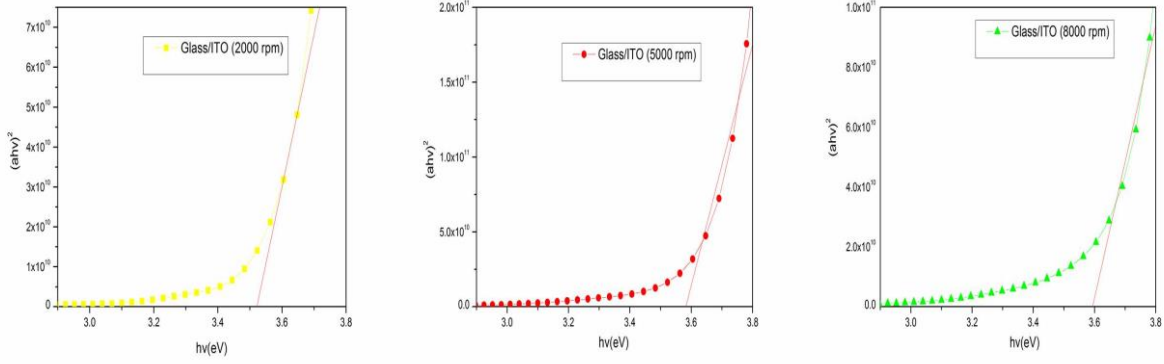
Farklı döndürme hızlarında, ITO ile kaplanmış cam alttaşlar ve cam üzerine kaplanan filmlerin optik özelliklerinin belirlenmesi için oda sıcaklığında geçirgenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tek seferlik döndürme yöntemi ile kaplanan filmlerin geçirgenlik tayfı ve tauc grafiği Şekil 2.24 ve 2.25 'de verilirken, iki seferlik döndürme işlemi içeren prosedüre ait tayf ve grafikler Şekil 2.26 ve 2.27'te gösterilmiştir. Şekil 2.24'da tüm örnekler için, geçirgenliğe karşı λ (dalga boyu) farklılıklarını gösteren grafikler, filmlerin maksimum geçirgenliğinin 375-600 nm dalga boyu aralıklarında yaklaşık olarak % 90 olduğunu göstermektedir. ITO ile kaplı cam alttaşların üzerine kaplanan örnekler için bu

dalga boyu, 425-800 nm aralığına doğru bir kayma göstermiştir. Bu değişim görünür ışığın iyi bir şekilde geçirildiğinin göstergesidir. Tek seferlik döndürme işlemi ile cam ve ITO üzerine kaplanan filmler, yaklaşık olarak $E_g=3.50-3.6$ eV direk bant aralığına sahiptir ve elde edilen değerler daha önce rapor edilen makaleler ile uyumluluk göstermektedir [3,4]. İki seferlik döndürme işlemi ile elde edilen filmler ise yaklaşık olarak 3.47 eV direk bant aralığı göstermiştir.

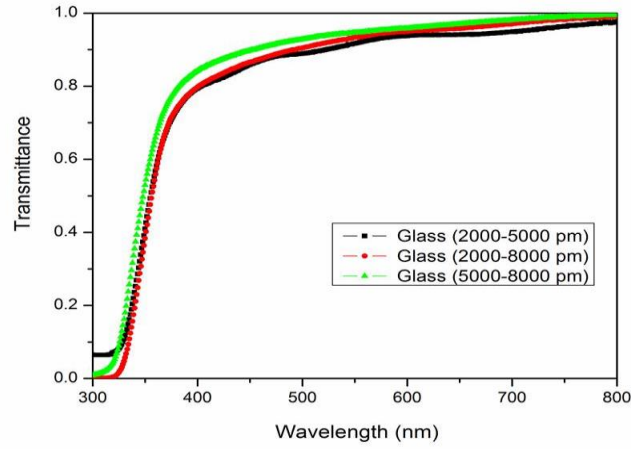


Şekil 2.24 Cam ve ITO kaplı cam alttaşlar üzerine tekli çalışma süresi ile döndürme yöntemi ile geçirgenlik tayfi

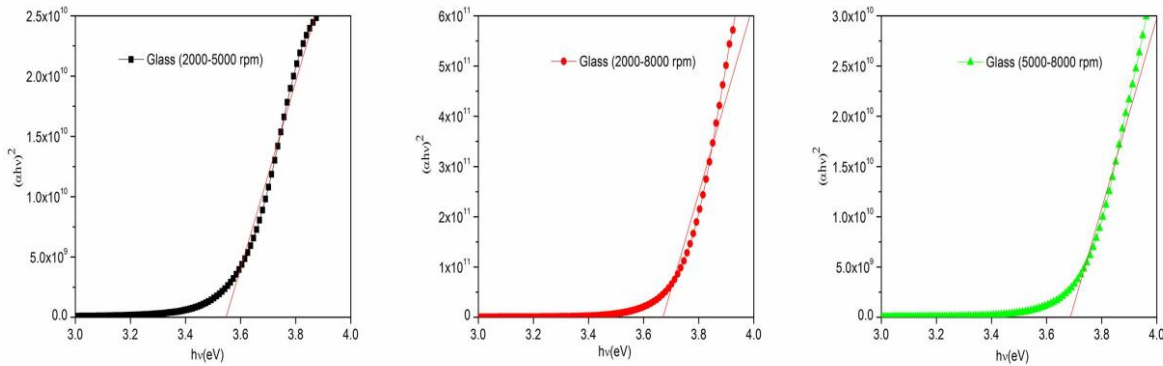




Şekil 2.25 Cam ve ITO kaplı cam alttaşlar üzerine tekli çalışma süresi ile döndürme yöntemi ile Tauc grafikleri



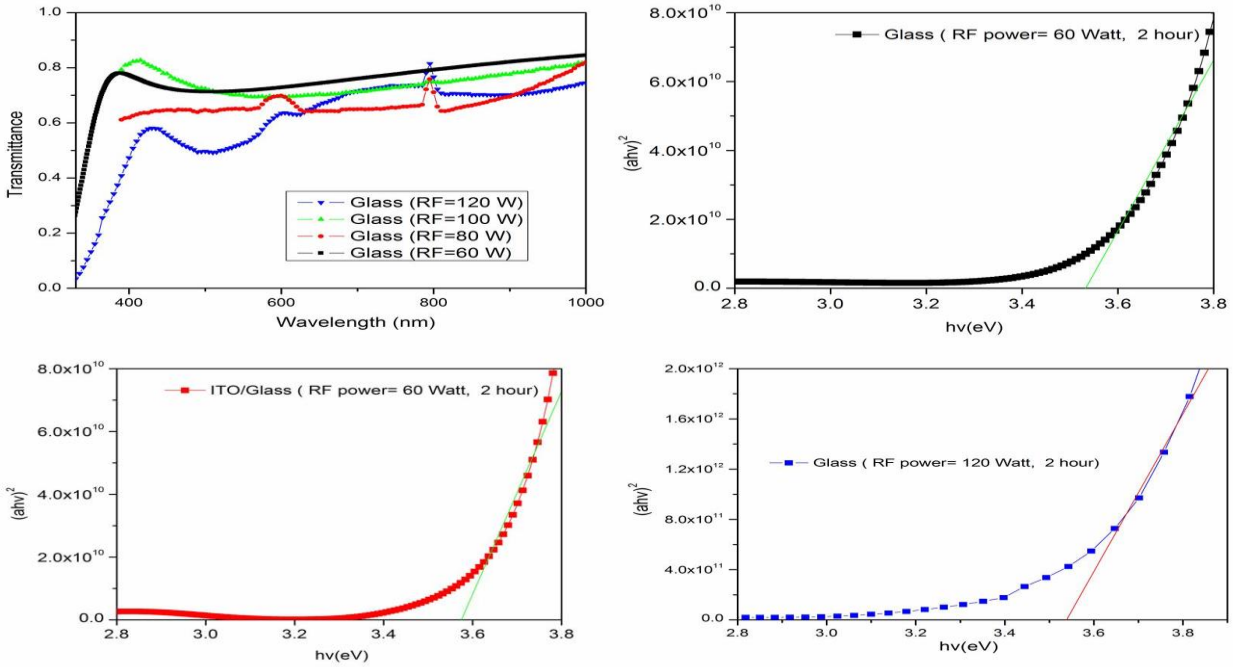
Şekil 2.26 Cam alttaşlar üzerine ikili çalışma süresi ile döndürme yöntemi ile kaplanan TiO_2 filmlerinin geçirgenlik tayfi



Şekil 2.27 Cam alttaşlar üzerine ikili çalışma süresi ile döndürme yöntemi ile kaplanan TiO_2 filmlerinin Tauc grafikleri

2.2.11 Saçtırılmış TiO₂'nin Optik Özellikleri

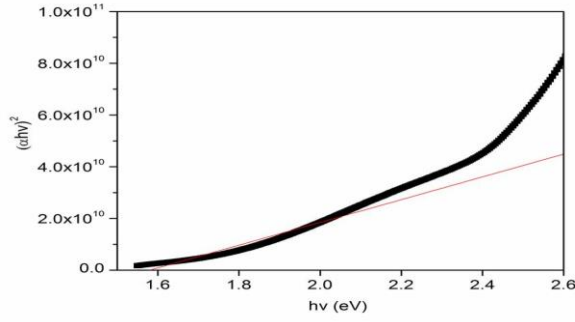
Cam alttaşlar üzerine kaplanan filmler, yaklaşık olarak 3.5 eV'lik bir Eg değeri vermektedir. Bu değer, döndürme işlemi ile kaplanan TiO₂ için gözlemlenen değer ile neredeyse aynıdır. Şekil 2.28, yüksek enerji seviyeleri için 375-600 nm aralığında, filmlerin maksimum geçirgenliğinin %75 olduğunu göstermektedir. Bu oran, döndürme işlemi ile elde edilen geçirgenlik değerinden düşüktür



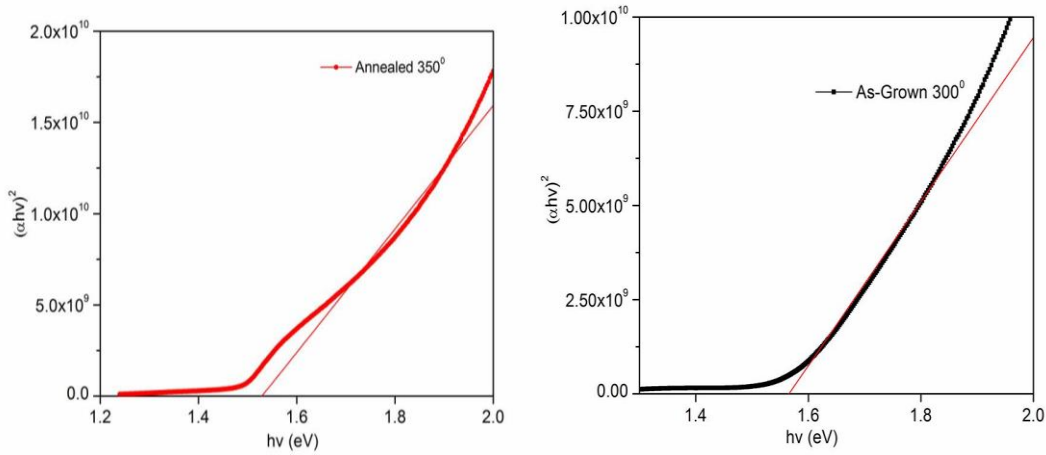
Şekil 2.28 Cam ve ITO kaplı cam alttaşlar üzerine saçtırma yöntemi ile kaplanan TiO₂ filmlerinin geçirgenlik ve Tauc grafikleri

2.2.12 Saçtırılmış CdTe'nin Optik Özellikleri

Hazırladığımız güneş pillerine uygun en iyi film parametrelerini bulabilmek için farklı setlerde saçtırılmış ince CdTe filmleri, farklı kaplama parametreleri kullanılarak saçtırma yöntemiyle hazırlanmıştır. Cam alttaşlar üzerine kaplanmış CdTe filmlerinin tauc grafikleri (RF=70 W, t=60 dk, T_s=300°C, T_a=350°C) ve (RF=70 W, t=110 dk, T_s=300°C, T_a=350°C) Şekil 29 ve 30'de gösterilmiştir. Cam alttaşlar üzerine kaplanmış filmler Eg=1.55 eV değeri vermiştir, ayrıca alttaşları tavlama, filmlerin Eg değerlerinde küçük bir artışa neden olmuştur. İ-tipi CdTe malzemesinin maksimum geçirgenliği, 375 ve 700 nm dalgaboyları aralığında % 20 olarak bulunmuştur. Bu emiş oranı ışığın mümkün olan en yüksek değerine sahiptir.



Şekil 2.29 Cam alttaş üzerine saçtırma yöntemi ile kaplanan CdTe filminin Tauc grafiki (RF=70 W, t=60 dk, $T_s=300^\circ\text{C}$, $T_a=350^\circ\text{C}$)

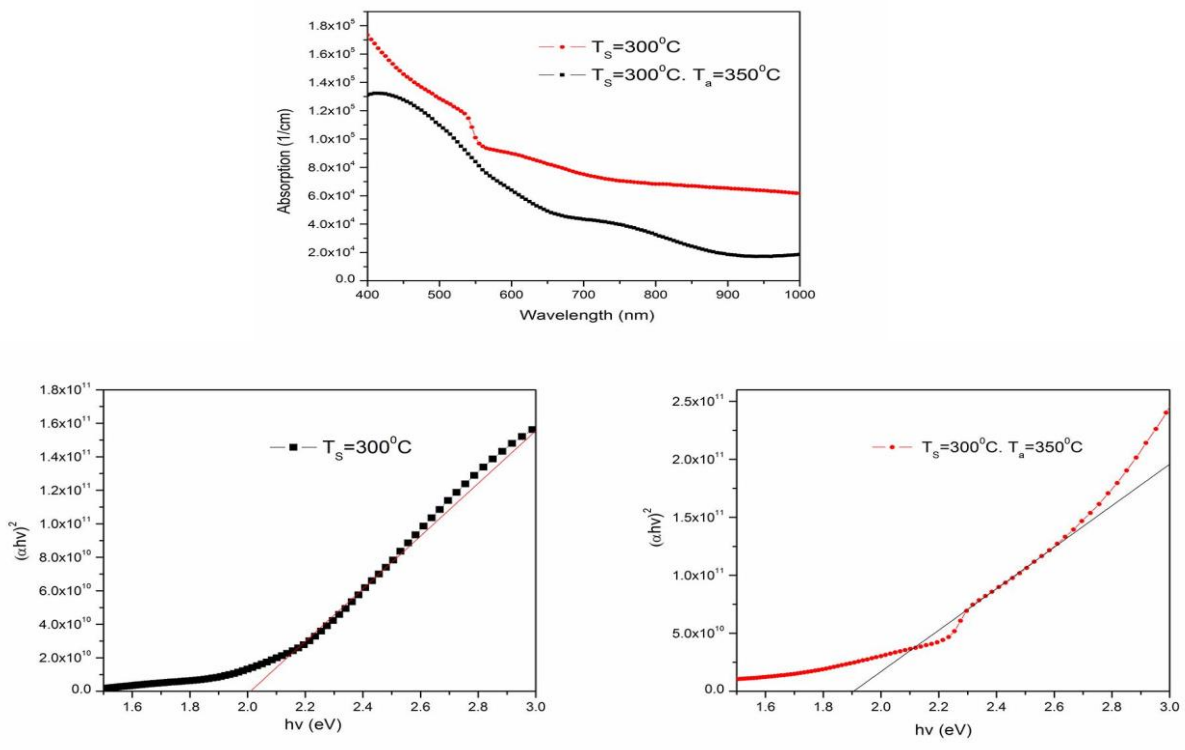


Şekil 2.30 Cam alttaş üzerine kaplanan CdTe filmlerinin Tauc grafikleri (RF=70 W, t=110 dk, $T_s=300^\circ\text{C}$, $T_a=350^\circ\text{C}$)

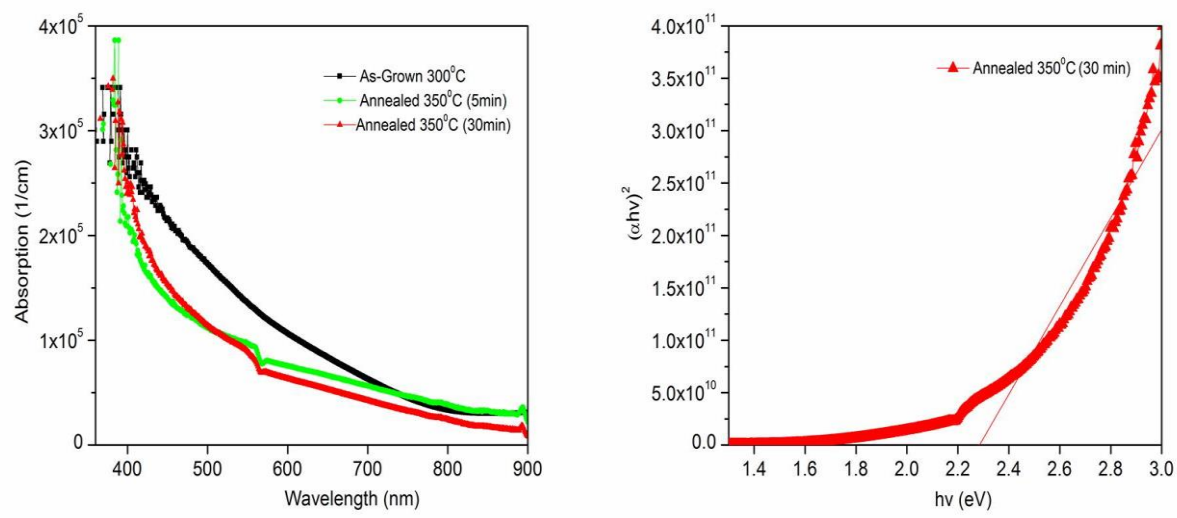
2.2.13 Saçtırılmış ZnTe ve ZnSnTe'nin Optik Özellikleri

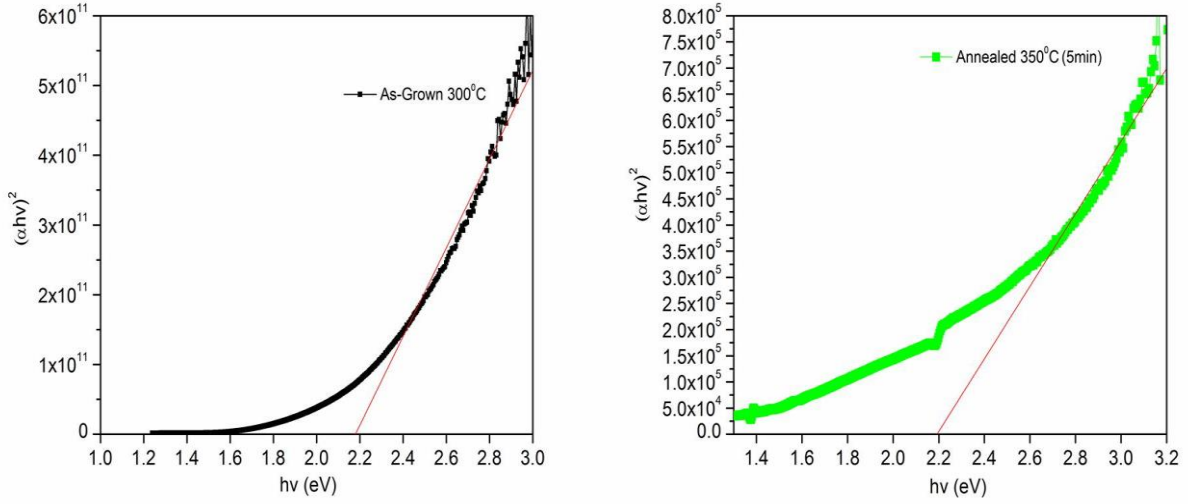
ZnTe yüksek emiş katsayısına sahip olan ve p-tipi özellik gösteren bir malzemedir. Oda sıcaklığında 1.7 ile 2.4 eV geniş bant aralığında direk geçişe sahiptir. ZnTe kolaylıkla katkılanabildiğinden güneş pillerinde genel olarak kullanılan yarı-iletken malzemelerden biridir. Düşük dirençli ZnTe ince filmleri kalay (Sn) ve bakır (Cu) gibi elementlerle katkılanarak elde edilebilir. Fakat çalışmamızda katkılama işlemi için Sn kullanılmıştır. Cam alttaşlar üzerine kaplanan filmler, saçtırılmış tavllanmış ve tavlınmamış ZnTe setleri için sırasıyla $E_g=2.4$ ve 2.2 eV değerlerini vermiştir. Şekil 31'e göre filmlerin emiş değerleri 10^5 aralığında bulunmaktadır. Bu değer, ışığın mümkün olan en yüksek değerinde emiş gösterebilmesi gereken p-tipi ZnTe malzemesi için iyi bir değerdir. Oda sıcaklığında ZnSnTe filmlerinin optik değerleri, tavlınmamış ve tavlınmış yedinci set için $E_g=2.2$ eV civarında bir bant aralığı göstermiştir. ZnSnTe filmlerinin geçirgenlik değerleri bu

aralık için %30'dan küçüktür. Bu da saçtırlmış ZnSnTe filminin p-tipi tabaka oluşturmak için iyi bir aday olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.31 Cam alttaş üzerine Saçtırma yöntemiyle kaplanan ZnTe filmlerinin soğurma ve Tauc grafikleri

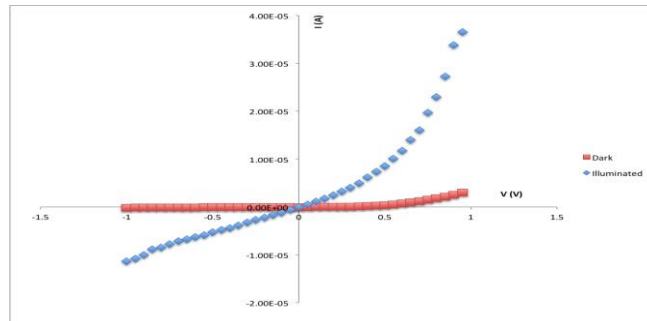




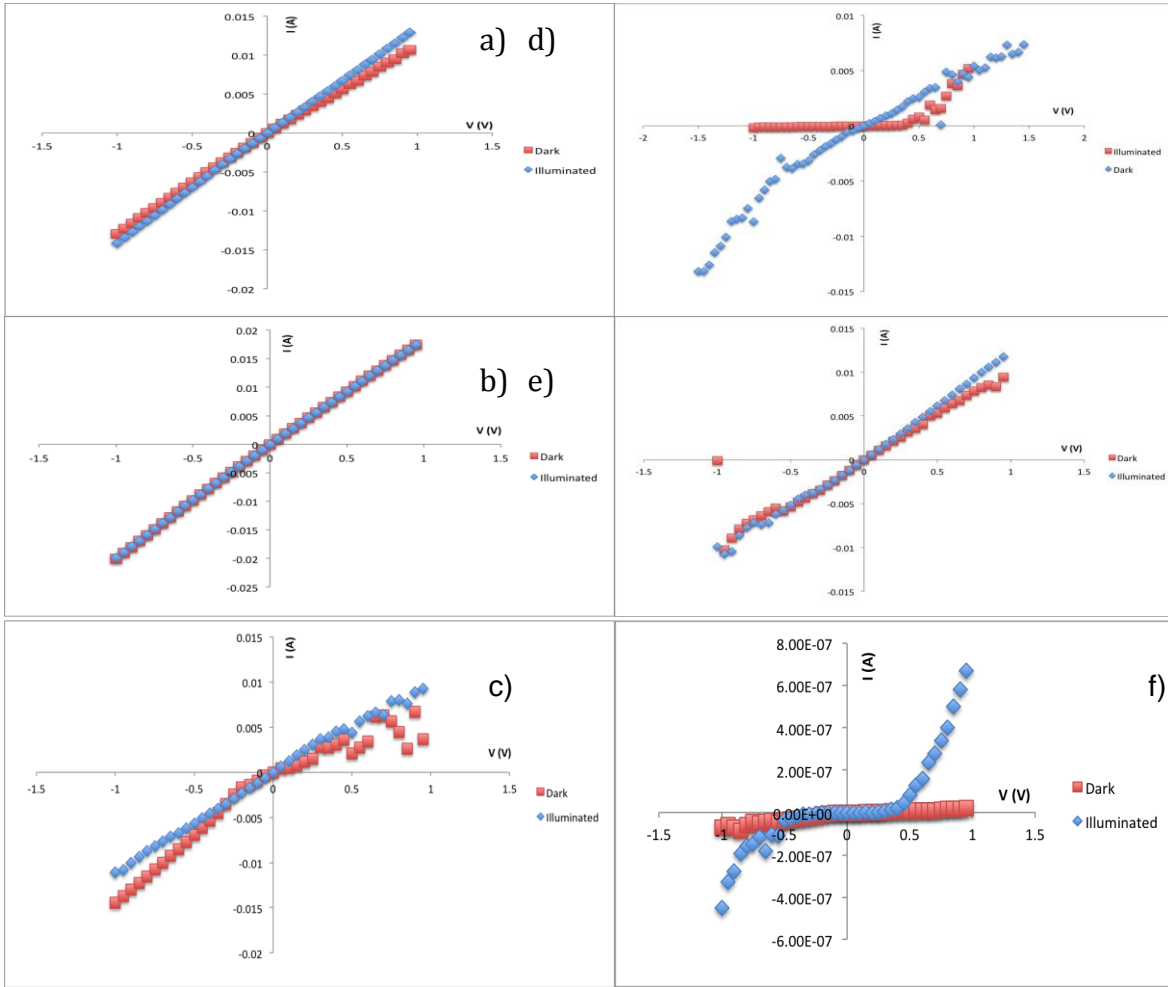
Şekil 2.32 Cam alttaş üzerine Saçtırma yöntemiyle kaplanan ZnSnTe filmlerinin soğurma ve Tauc grafikleri (yedinci set)

2.2.14 Cam/ITO/TiO₂/CdTe/Au, Cam/ITO/TiO₂/CdTe/ZnTe/Al ve Cam/ITO/TiO₂/CdTe/ZnSnTe/In aygıtları in akım voltaj karakteristiği

Döndürmeli ve saçtırmalı yöntemlerle ile kaplanmış TiO₂ filmler için, ITO kaplı camlar alttaş olarak kullanılmaktadır. Farklı saçtırma yöntemiyle kaplanmış CdTe filmleri bu alttaşlar üzerine üretilip ve diğer aşamada 100 nm olan Au kontaktları isisal yöntemiyle bu filmlerin üzerine kaplanıyor. Kontaktlar 100 °C de Ar akışında 30 dk için tavlaniyor. Tipik Cam/ITO/TiO₂/CdTe/Au aygıt in akım voltaj karakteristiği Şekil 2.32, 2.33 ve 2.34 te verilmektedir. Şekillerde sunulduğu gibi aygıtlar çok dirençliler ve aydınlatma sadece örneklerin direnç değerlerini değiştiriyor.



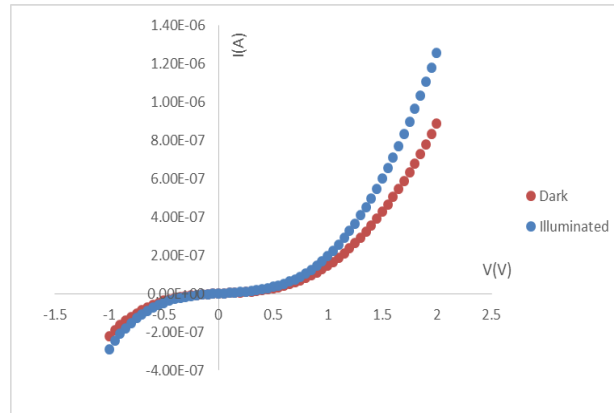
Şekil 2.33 Cam/ITO/ saçtırma yöntemiyle kaplanan TiO₂ filmleri (120W-2 saat) /CdTe (t=60 dk) / Au aygıt in akım voltaj karakteristiği



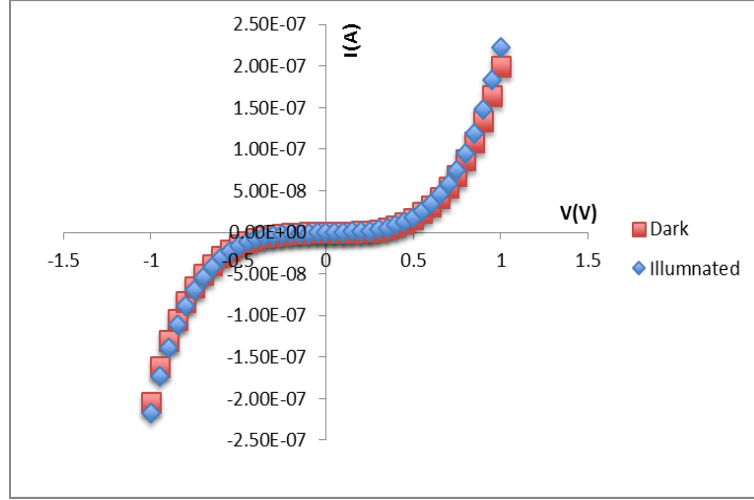
Şekil 2.34 Cam/ITO/ TiO₂ /CdTe (t=60 dk)/Au aygıt in akım voltaj karakteristiği

a) 2000 rpm b) 5000 rpm c) 8000 rpm d) 2000-5000 rpm e) 2000-8000 rpm f) 5000-8000 rpm

Tipik Cam/ITO/TiO₂/CdTe/ZnTe/In aygıtın karanlık ve aydınlatma akım voltaj karakteristiği Şekil 2.35 ve 2.36' da verilmektedir. Karanlık akım voltaj grafikleri üstel diyot davranışı gösteriyor ama ışık ortamında hiç bir değişim görülmemektedir.

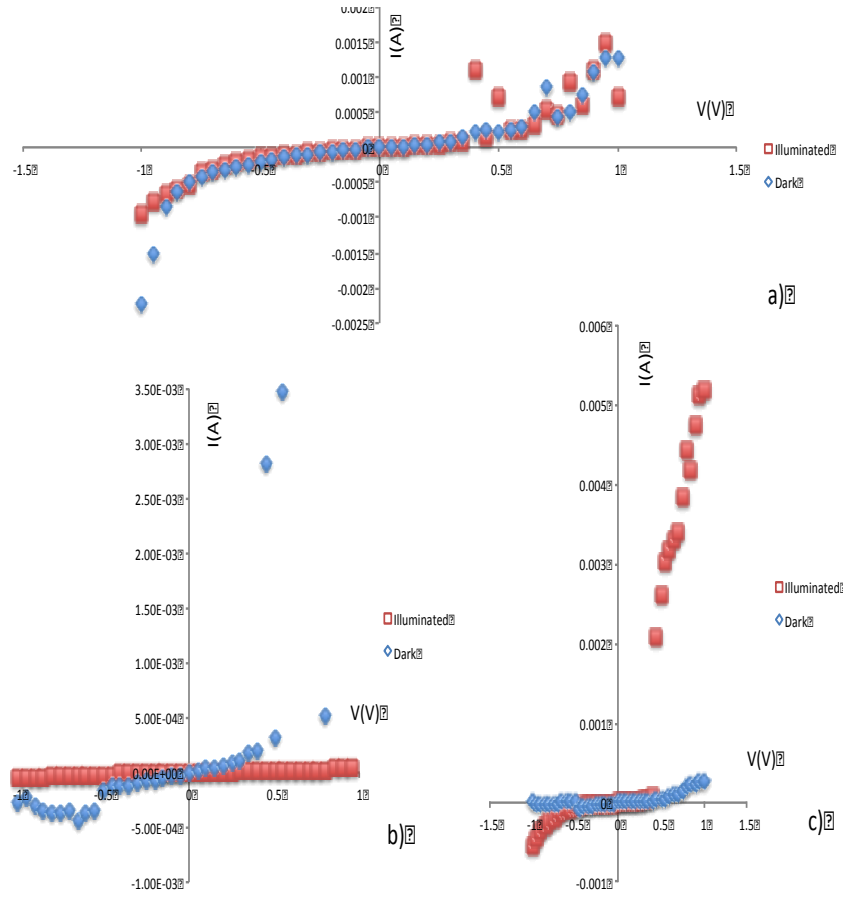


Şekil 2.35 Cam/ITO/ saçtırma yöntemiyle kaplanan TiO₂ film (P=120 W, T=200°, ikili çalışma süresi /CdTe (P=70W, t=60 dk, T= 300°C)/ ZnTe (P=75W, t=60 dk, T=300°C)/ Al aygıt in akım voltaj karakteristiği



Şekil 2.36. Cam/ITO/ saçtırma yöntemiyle kaplanan TiO₂ film (P=60 W, T=200°C) /(P=70W, t=60 dk, T= 300°C)/ ZnTe (P=75W, t=60 dk, T=300°C)/ Al aygıt in akım voltaj karakteristiği

Saçtırmalı yöntemle üretilmiş ZnSnTe filmler Cam/ITO/TiO₂/CdTe altaşlar üzerine kaplanmış ve diğer aşamada 100 nm olan Au kontaktari ısısal yöntemle bu filmlerin üzerine kaplanıyor. Tipik Cam/ITO TiO₂./CdTe/ZnSnTe/ In aygıtlarının akım voltaj karakteristiği Şekil 2.37' da verilmiştir. Diğer örneklere benzer, bu aygıtlarda çok dirençliler ve aydınlatma sadece örneklerin direnç değerlerini değiştiriyor. Diğer örneklerin hepsinde ITO anote ve P-tipi ZnSnTe filmleri arasında contact oluşmuştur.



Şekil 2.37 Cam/ITO/ TiO₂ / CdTe (t=60 dk)/ ZnSnTe/In aygıtın akım voltaj karakteristiği
a) 5000 rpm b) 2000-8000 rpm c) 2000-5000 rpm

KAYNAKLAR

- [1] Kasetart. J., Limsuwan. Pichet., Ngotawornchai. B., Thamaphat. Kh., (Nut. Sci), Vol. 42, (2008), p. 357 – 361
- [2] Brock. T., Groteklaes. M., Mischke. P., European coatings handbook, Vincentz Network GmbH & Co KG Vince.
- [3] Jiménez González. A. E., Santiago, S. G., Semicond. Sci. Technol. 22 (2007), p. 709–716.
- [4] Bedi. R. K., Mahajan. A., Pathak. D, Singh. M., J. Optoelectron Adv M. 14(2012), p. 624 – 629.

PROJE ÖZET BILGI FORMU

Proje No : 114F065
Proje Adı : Çok ince soğurucu katmanlı – ETA- güneş gözelerinin üretimi ve incelenmesi
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar : Prof. Dr. Mehmet Parlak Prof. Dr. Çiğdem Erçelebi Araş.Gör. Hasan Huseyin Gullu Doktora öğrencisi Arezoo Hosseini
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: O.D.T.Ü Fizik Bölümü 06531-Ankara
Desteklenen Kuruluş (ların) adi ve adresi: TÜRKİYE BİLİMSEL ve TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15-06-2014 ve 15-06-2015
Öz (en çok 70 kelime) <p>Bu projede, ETA güneş hücrelerinin üretimi ve karakterizasyonu yapılacaktır. Yeni malzeme kombinasyonlarını belirlemek amacıyla ETA aygıt yapılarının üretilmesinde kullanılan yarıiletken katmanlarının (geniş bant aralığına sahip n-tipi yarıiletken / düşük bant aralığına sahip ışık soğurucu yarıiletken / yüksek bant aralığına sahip p-tipi yarıiletken) yapı, elektrik, optik gibi malzeme özelliklerinin optimize edilmesi için çalışmalar gerçekleştirilecektir. İlk adım olarak, yüksek bant aralıklı metal oksit yarı iletkenin mikro-yapılı gözenekli film katmanı ITO alttaş üzerine döndürerek kaplama ve saçırma yöntemleri kullanılarak üretilecektir. Daha sonra, ışık soğurucu çok ince yarıiletken tabaka (örnek olarak, CuInS,</p>

CdTe) RF saçtırma yöntemi kullanılarak büyütülecektir.

Bu soğurucu tabaka üzerine, yüksek bant aralıklı p-tipi yarıiletken (örnek olarak, ZnTe, CuInS) saçtırma, ısısal buharlaştırma gibi farklı metodlar kullanılarak üretilecektir. Bu yarıiletken ince film katmanları, uygun malzeme özelliklerini belirlemek ve üretim parametrelerini optimize etmek için farklı karakterizasyon teknikleri kullanılarak ayrı ayrı araştırılacaktır. Güneş gözesi yapıları laboratuvar ölçeğinde üretilecek ve aygıt özellikleri, foto hasasiyet, foto-voltaj ve genel dönüşüm verimliliğinin iyileştirilmesi ve gözeler üzerindeki sınırlayıcı faktörleri belirlemek için yapısal, elektriksel ve optik karakterizasyon analizleri yapılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Güneş gözesi, ETA, İnce film, saçtırma, döndürerek(spın) kaplama

Projeden yapılan bildiri ve poster ler

- “Fabrication and Characterization of TiO₂Thin Films for Device Applications” E-MRS 2014 Spring Meeting, Lille (France), 26-30 May 2014.
- “Fabrication and characterization of spin-coated TiO₂ films”, E-MRS 2014 Spring Meeting, Lille (France), 26-30 May 2014.
- “Fabrication and Characterization of sputtered Zn-Sn-Te Thin Films for Extremely Thin Absorber-ETA Solar Cell Applications”, 29. EU PV Solar Energy Conference and Exhibition, Amsterdam (Netherlands), 22-26 September 2014.
- “Investigation of Si/ZnSnTe Hetero-junction Growth and Device Properties”, Science & Applications of Thin Films, Conference & Exhibition (SATF), Izmir (Turkey), 15-19 September 2014.
- “Fabrication and Characterization of Sputtered TiO₂ Thin Films”, 2014 MRS Fall Meeting & Exhibit (Boston, Massachusetts), November 30 - December 5, 2014
- “Fabrication and Characterization of TiO₂/CdTe/ZnSnTe Eta Solar Cell”, Solar TR-3, Ankara (Türkiye), 27-29 May 2015.

Tezler: Daha önce başlanmış ve devam etmektedir

Fabrication and Characterization of Extremely Thin Absorber Solar Cells
Arezoo Hosseini(2015) Doktora