

**SİLİSYUM NANOTEL DİZİLERİ ÜZERİNE BÜYÜTÜLEN Ge
NANOPARÇACIK KATKILI ZnO HETEROEKLEM GÜNEŞ
GÖZELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPMENT OF Ge NANOPARTICLES EMBEDDED
ZnO HETEROJUNCTION SOLAR CELLS GROWN ON
SILICON NANOWIRE ARRAYS.**

ALİ EMRE GÜMRÜKÇÜ

DOÇ. DR. ABDULLAH CEYLAN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2016

ALİ EMRE GÜMRÜKÇÜ' nün hazırladığı “**Silisyum Nanotel Dizileri Üzerine Büyütülen Ge Nanoparçacık Katkılı ZnO Heteroeklem Güneş Gözelerinin Geliştirilmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **NANOTEKNOLOJİ VE NANOTIP ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Şadan ÖZCAN

Başkan

.....

Doç. Dr. Abdullah CEYLAN

Danışman

.....

Yrd. Doç. Dr. Efe ESELLER

Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Salih Bülent ALTEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel , işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02/06/2016

ALİ EMRE GÜMRÜKÇÜ

ÖZET

SİLİSYUM NANOTEL DİZİLERİ ÜZERİNE BÜYÜTÜLEN Ge NANOPARÇACIK KATKILI ZnO HETEROEKLEM GÜNEŞ GÖZELERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Ali Emre Gümrükçü

Yüksek Lisans, Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilimdalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdullah Ceylan

Haziran 2016, 57 sayfa

Bu çalışmada magnetron sputter tekniği ile düzlemsel ve nanotel geometrideki p tipi Si alttaşlar üzerine büyütülen Ge nanoparçacık katkı ZnO ince filmlerin yapısal özellikleri araştırıldı. Ge nanoparçacıkların kuantum sınırlama etkisi ile bant yapısındaki değişim ve dikine geometri yardımıyla ışığın daha iyi tuzaklanması mekanizmalarından yararlanarak fotovoltaik verimi yüksek ince film yapılar elde edilmeye çalışıldı. İnce film kaplamalar reaktif ve reaktif olmayan ortamlarda gerçekleştirilerek büyütme koşullarının yapı üzerindeki etkileri incelendi. Reaktif ve reaktif olmayan ortamlarda hazırlanan örnekler, 3 dk süre ile Ge kaplandı ve 600°C 'de 60s RTA işlemi ile tavlanarak Ge nanoparçacıklar elde edildi. Hazırlanan örneklerde ZnO ve Ge ince filmler sırasıyla r.f ve d.c hedefler ile kaplandı. Yapısal karakterizasyonlar X ışını kırınımı (XRD), Raman saçılması, İkincil İyon Kütle Spektroskopisi (SIMS) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) teknikleri ile gerçekleştirildi. XRD ve Raman analizleri sonucunda reaktif ortamda yapılan kaplamalarda yapıda bulunan Ge'un hem kübik (DC-Ge) hem de tetragonal (ST-12) kristal yapıya sahip olduğu, reaktif olmayan kaplamalarda ise sadece DC-Ge yapısının olduğu bulundu. ST-12 yapısına sahip Ge nanoparçacıkların ZnO ince filmlerin arasına katılarak daha kolay olarak elde edilebilmesi, gelecekte geliştirilebilecek yeni nanokompozit ince filmlerin optoelektronik uygulamalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Nanotel geometrideki alttaşlar üzerine ince film büyütme işlemi hedeflenen şekilde gerçekleştirilemedi. Ara kesit SEM görüntüleri ile ZnO ve Ge tabakaların Si nanoteller arasına girmeden boşluklu yapı oluşturarak büyüdüğü belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Magnetron Sputter, ZnO: Ge, ince film, XRD, SEM, Raman, SIMS, Güneş hücresi, nanotel.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF Ge NANOPARTICLES EMBEDDED ZnO HETEROJUNCTION SOLAR CELLS GROWN ON SILICON NANOWIRE ARRAYS

Ali Emre Gümrükçü

**Master of Science, Department of Nanotechnology and
Nanomedicine**

Supervisor: Assoc. Prof. Abdullah Ceylan

June 2016, 57 pages

The magnetron sputter technique was applied to investigate the properties of Ge nanoparticles embedded on ZnO thin films, which were grown on p type Si substrate and p type Si nanowires substrate. The change of Ge band gap by the quantum confinement effect and the vertical type geometry of substrate, which are better at light emitting were the mechanisms we applied to obtain highly efficient photovoltaic thin films. These thin films were coated at reactive and non-reactive conditions in order to test the effects of growth conditions on the films. Prepared samples were coated with Ge for 3 minutes and annealed with rapid thermal annealing (RTA) process at 600°C. The ZnO and Ge thin films were coated with r.f and d.c targets. X-Ray Diffraction (XRD), Raman scattering, Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) and Scanning Electron Microscope (SEM) were used for the structural characterization. The results of XRD and Raman analysis revealed that the coatings performed at reactive conditions were resulted both cubic (DC-Ge) and tetragonal (ST-12) Ge crystals whereas at non-reactive conditions only DC-Ge crystals were formed. A simple way of obtaining Ge nanoparticles with ST-12 geometry by embedded them on ZnO thin films initiates that further developed novel nanocomposites can be promising for the future applications of optoelectronic devices. The growth of thin films on nanowire geometry was failed. The results of SEM spectroscopy showed that ZnO and Ge layers did not get into Si nanowires and thus form holes in the structure.

Keywords: Magnetron Sputter, ZnO: Ge, thin film, XRD, SEM, Raman, SIMS, solar cell, nanowire.

TEŞEKKÜR

Akademik hayatımı tamamiyle değiştiren, nanoteknoloji ile tanışmama vesile olan, bilgi ve tecrübesi ile her zaman bana destek olan değerli danışmanım Doç. Dr. Abdullah CEYLAN'a,

Bir bilim insanının nasıl olması gerektiğini yaşayarak bana ve diğer arkadaşlarıma gösteren, her zaman yol gösterici ve öğretici olan değerli hocam Prof. Dr. Şadan ÖZCAN'a,

Karşılaştığım her problemde tecrübeleri ve yardımseverlikleri ile her zaman desteğini hissettiğim hocalarım Dr. Burak KAYNAR ve Dr. Telem ŞİMŞEK'e,

Birlikte harika zamanlar geçirdiğim ve ekip ruhunun ne demek olduğunu öğrendiğim, her başım sıkıştığında yanımda olan değerli çalışma arkadaşlarım Mustafa DEVECİ, Çağkan PİYAN, Erdem ORUÇ, Ahmet Serhat DİNÇER, İbrahim YAVUZ, Buğra YAŞAR, Gökhan GİZER ve Gözde BAYAZIT'a

Bu yola birlikte girdiğim, ölçümlerimde bana yardımcı olan, kader ortağım dostlarım Gökhan MEHMETOĞLU, Taha HALİLOĞLU, Okan ATEŞAL'a

Son 10 yılımı birlikte geçirdiğim, hayatımın her alanında olduğu gibi tez çalışmamda da manevi olarak desteklerini esirgemeyen kardeşlerim Ertuğrul BİLKAN, Melih TOKER, Alperen AKARSLAN, Orhan Fatih KORKMAZ, Haydar UYSAL ve Esad BAYRAMOĞLU'na

Maddi manevi desteklerini hayatım boyunca hissettiğim, her zaman yanımda olan sevgili Ailem'e

Bu tezi yazabilmemin yegane sebebi, her zaman benim arkamda olan, beni hep daha yukarıya çıkaran sevgili Eşim Gülsüm Gümrükçü'ye

Çalışmaya değer veren ve 2210-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında destek veren TÜBİTAK'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER.....	4
2.1. Enerjini önemi.....	4
2.2 Enerji Kaynakları	4
2.3 Güneş Enerjisi	8
2.3.1 Güneş Enerji Sistemlerinden Enerji Eldesi	9
2.4. Nanobilim ve Nanoteknoloji	11
2.4.1 İnce Film Nanoyapıların Önemi	12
2.5 Fotovoltaik Sistemlerin Özellikleri	13
2.5.1 ZnO ve Ge İnce Filmlerin Fotovoltaik Özellikleri	14
2.5.2 Si Nanotellerin Fotovoltaik Özelliklere Katkısı	15
2.6 Si Nanotel Dizilerin Üretim Yöntemleri	17
3. DENEYSEL KISIM	20
3.1. Metal Destekli Kimyasal Aşındırma Yöntemi	20
3.1.1. Si Nanotel Dizilerin Üretilmesi	21
3.2. ZnO-Ge Çok Katmanlı İnce Filmlerin Hazırlanması.....	23
3.2.1. Reaktif ve Reaktif Olmayan İnce Filmlerin Özellikleri	24
3.3. Karakterizasyon Teknikleri	25
3.3.1. X-Işını Toz Kırınımı Analizi (XRD).....	25
3.3.2. Raman Spektroskopisi Analizi	26

3.3.3. Taramalı Elektron Mikroskopisi Analizi (SEM).....	27
3.3.4. İkincil İyon Kütle Spektroskopisi Analizi (SIMS).....	28
3.4 Örneklerin Hazırlanması.....	29
3.5. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma	31
3.5.1. Reaktif ve Reaktif Olmayan Kaplamaların Etkisi	31
3.5.2. Si Nanotel Yapıdaki Alttaşların Etkisi	36
3.5.3. Ge Kalınlığının Etkisi	39
3.5.4. Isıl İşlem Süresinin Etkisi.....	41
3.5.5. I-V KARAKTERİZASYONU	47
4. TARTIŞMA.....	50
KAYNAKLAR.....	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Å	Angstrom
Ar ⁺	Argon İyonu
Λ	Dalga boyu
β	Pik boyunun yarısının genişliği
θ_B	Bragg açısı

Kısaltmalar

Si	Silisyum
Ge	Germanyum
ZnO	Çinko-oksit
RTA	Hızlı ısı tavlama
r.f	Radyo frekansı
d.c	Direk akım
XRD	X ışını kırınımı
SIMS	İkincil iyon kütle spektroskopisi
SEM	Taramalı elektron mikroskopu
DC-Ge	Elmas-kübik Germanyum
ST-12 Ge	Tetragonal Germanyum
FV	Fotovoltaik
GaAs	Galyum-Arsenit
S-Q	Schottky-Queisser
AM1.5G	Hava kütlesi
GaN	Galyum-Nitrat

Si nt	Silisyum nanotel
CO ₂	Karbondioksit
SiO	Silisyum Oksit
SiO ₂	Silisyum Dioksit
Au	Altın
Ag	Gümüş
VLS	Buhar-Katı-Sıvı
CVD	Kimyasal Buhar Depolama
HF	Hidroflorik
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
R	Reaktif
RO	Reaktif Olmayan

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki hızlı nüfus artışı ve sanayileşme enerji talebinin hızla artmasına sebep olmaktadır. Enerji, üretim için zorunlu bir faktör olup, bir ülkenin sosyal ve ekonomik olarak ne kadar kalkındığını gösteren temel parametrelerden biridir. Enerji tüketimi ile sosyal gelişme arasında doğru bir orantı vardır, ülkenin sosyal ve ekonomik olarak gelişmesi o ülkenin enerji tüketimini arttırmaktadır.

Günlük yaşamda her yerde kullanılan enerji; kimyasal, mekanik, nükleer, jeotermal, termal (ısı), hidrolik, rüzgar, güneş, elektrik enerjisi gibi farklı türlerde bulunabilir ve birbirlerine dönüştürülebilir. Değişik yöntemler ile elde edilen enerji, enerji kaynakları olarak tanımlanmakta ve türlerine göre sınıflandırılmaktadır. Enerji kaynakları fosil yakıt enerjisi ve yenilenebilir enerji olarak ikiye ayrılmaktadır. Fosil yakıt enerjisi, fosil yakıtlardan enerji elde edilmesidir ve bu fosil yakıtların yakın gelecekte tükeneceği düşünülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise tükenmeyen ve kendini yenileyebilen temiz enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır.

Dünyadaki bir çok ülke, hem fosil yakıtlara olan bağımlılıklarını azaltmak, hem de bu yakıtların çevreye verdiği zararlı etkilerinden kurtulmak için yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çalışmalarını arttırmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemlisi Güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş çekirdeğindeki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi, yani füzyon reaksiyonu sonucu açığa çıkan ışıma enerjidir. Atmosferin dışında güneşten gelen enerjinin şiddeti yaklaşık olarak 1370 W/m^2 'dir. Yeryüzüne ulaşan miktarı ise 0 ile 1100 W/m^2 arasında değişim göstermektedir. Bu enerjinin küçük bir miktarı dahi tüm dünyanın enerji tüketiminden fazladır. Özellikle 1970 yılından sonra güneş enerjisi üzerine yapılan çalışmalar hız kazanmış, zamanla maliyetler düşürülmüş ve güneş enerjisi yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Güneş enerjisinden elektrik eldesi için fotovoltaik hücreler kullanılır. Birçok farklı malzemedен elde edilen fotovoltaik hücreler vardır. Bunlardan bazıları şunlardır;

Kristal Silisyum: Önce blok haline getirilip sonrasında 150-200 mikron kalınlığında dilimlenen Tek Kristal Silisyum fotovoltaik piller laboratuvar ortamında %24, ticari kullanımda ise %15 verim sağlamaktadır. Dökme bloklardan elde

edilen Çok Kristal Silisyum fotovoltaik piller ise daha ucuz olmalarına karşın verimler daha düşüktür. Laboratuvar şartlarında %18 verim alınabilen bu pillerin ticari kullanımdaki verimler yaklaşık %14 civarındadır.

Galyum Arsenit (GaAs): Bu malzemeyi kullanarak yapılan fotovoltaik hücrelerden laboratuvar şartlarında %25-28 (optik yoğunlaştırıcılı) verim elde edilmektedir. Farklı yarı iletkenler kullanılarak elde edilen çok eklemli GaAs pillerde ise verim %30'a kadar çıkmaktadır. GaAs fotovoltaik hücreler uzay uygulamalarında ve optik sistemlerde kullanılmaktadır.

Amorf Silisyum: Kristal yapı özelliği olmayan Si kullanılarak yapılan bu pillerde laboratuvar verimi %10, ticari uygulamalardaki verim ise % 5-7 dolayındadır. Daha çok küçük elektronik aletlerin güç kaynaklarında kullanılan bu piller binaların cam yüzeylerinin kaplanmasında da kullanılmaktadır.

Kadmiyum Tellürid (CdTe): Çok kristal yapısındaki bu malzemeyi kullanarak fotovoltaik hücre maliyetlerinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar şartlarında %15, ticari kullanımlarda ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂): Yine çok kristal yapıda olan bu malzemeden laboratuvar şartlarında %17, ticari kullanımda ise %10 verim elde edilmiştir.

Optik Yoğunlaştırıcılı Hücreler: Gelen ışığı 10 ila 500 kat arasında yoğunlaştırabilen bu sistemlerde modül verimi %20, hücre verimi ise %30 civarında olmaktadır.

Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren FV hücrelerin verimleri, Shockley-Queisser (S-Q) limiti olarak bilinen %32.9 ile sınırlıdır. Bu yüzden yukarıdaki maddeleri kullanarak yapılan güneş hücrelerinin verimi sınırlı olmaktadır. Bu limiti aşmak için önerilen modellerden biri, bant yapısı boyuta bağlı olarak değişen yarı iletkenlerin, geniş bant aralıklı başka bir yarı iletken matris içerisine eklenmesi ile elde edilen ara bant güneş hücreleridir. Burada temel prensip yük taşıyıcılarını de'Broglie dalgaboyu ya da eksiton Bohr yarıçapı (elektron ile hol arasındaki uzaklık) ile karşılaştırılabilir büyüklükte bir bölgeye hapsederek elektronik taşınım mekanizmasını değiştirmektir. Teorik çalışmalar, güneş spektrumundan en uygun verimi alacak şekilde ayarlanmış sıralı bantlara

sahip bir yapı için AM1.5G aydınlatma altında %66 gibi bir verim değerine ulaşılabilceğini göstermektedir. Deneysel çalışmalarla henüz bu değere yaklaşılammış olması bu alandaki çalışmalarda alternatif yapılara ve yaklaşımlara ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Elektrik dönüşüm verimini sınırlayan önemli etkenlerden biri olan optik kayıpları azaltmak amacıyla son yıllarda nanotel tabanlı FV yapılar üzerinde önemli çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Nanotel tabanlı FV yapılarda geometrinin getirdiği optik avantajlar ile yansıma önleyici katmandan kurtulmak ve daha az soğurucu malzeme ile ışığın yapıya tuzaklanmasını sağlamak mümkündür. Ayrıca ışıkla oluşturulan yük taşıyıcılarının ışığın soğurulma yönüne dik doğrultuda toplanması taşıyıcı difüzyon mesafesi kısa olan malzemeler açısından önemli bir avantajdır. Literatür çalışmaları çoğunlukla aktif soğurucu tabakanın Si olduğu radyal p-n eklemleri üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Ge' un bantlar arasında doğrudan ve dolaylı geçişler için gerekli enerjiler arasındaki küçük fark (0,12 eV), bant kenarında elektronik yapının değiştirilmesini kolaylaştırmakta ve Ge' u fotovoltaik sistemler için uygun bir element haline getirmektedir. Ge' un bir diğer önemli özelliği ise Si' dan daha yüksek taşıyıcı mobilitesine sahip olmasıdır ki bu, FV uygulamalar için önemli bir avantajdır. ZnO ise, diğer geniş bant aralıklı yarı iletkenlere (GaN ve ZnSe gibi) göre daha yüksek eksiton bağlanma enerjisine (~60 meV) sahip olması, doğada bol bulunması ve foto korozyona dayanıklı olması gibi özellikleri ile FV teknolojilerinde kullanıma potansiyeli yüksek bir malzemedir. Ge ve ZnO birbirine yakın yığın elektron ilgisine sahip olmalarından dolayı ışıkla üretilen taşıyıcıların sınırlanmaması ve bu iki malzemeden oluşturulan hetero eklemlerin değerlik bantları arasındaki farkın (2.7 eV) büyük olmasından dolayı kaçak akımlarının düşük olması, ZnO: Ge yapıyı FV uygulamalar için elektronik olarak uygun hale getirmektedir.

Bu çalışmada izlenecek yöntemde, metal destekli aşındırma ile P tipi Si alttaşlar üzerinde oluşturulacak çap, uzunluk ve aralarındaki mesafeler optimize edilmiş Si nanotel dizilerine magnetron kopartma tekniği ile uygun kalınlıklarda, çok katlı ZnO ve Ge ince filmlerin kaplanacak ve Ge nanoparçacıkların ZnO matris içerisinde kümelenmesi hızlı ısıl tavlama işlemiyle gerçekleştirilecektir. Elde edilecek Si-nt/ZnO: Ge nanokompozit yapının, yapısal özellikleri XRD, SEM, SIMS ve Raman ölçümleri ile incelenecektir.

2. KURAMSAL BİLGİLER

2.1. Enerjini önemi

Yaşamın vazgeçilmez parçalarından biri olan enerji, tarih boyunca ilgilenilen ve tartışılan konuların başında yer almaktadır. Enerji, toplumların sosyal ve ekonomik büyümelerinde en önemli etkenlerden biri olmaya devam etmektedir.

Enerji kısaca bir sistemin veya bir cismin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Başlıca enerji çeşitleri elektrik enerjisi, kimyasal enerji, ısı enerjisi ve mekanik enerjidir. Enerji çeşitleri birbirlerine dönüşebilmektedir. Dünyada ve ülkemizde enerjiye olan talebin sürekli artmaya devam etmesi ve mevcut enerji kaynaklarının sınırlı ve sürekli azalan bir profil çizmesi, ülkelerin enerji politikalarını gözden geçirmelerine ve mevcut enerjiyi daha verimli kullanmaya yöneltmiştir. Enerji kullanımı yılda yaklaşık olarak %2 oranında artmaktadır. Nüfus artışı, ekonomik gelişme ve yaşam standartlarının yükselmesi bu artışın nedenidir. 21. yüzyılın ortalarında bu artışın birkaç katına çıkacağı tahmin edilmektedir [1].

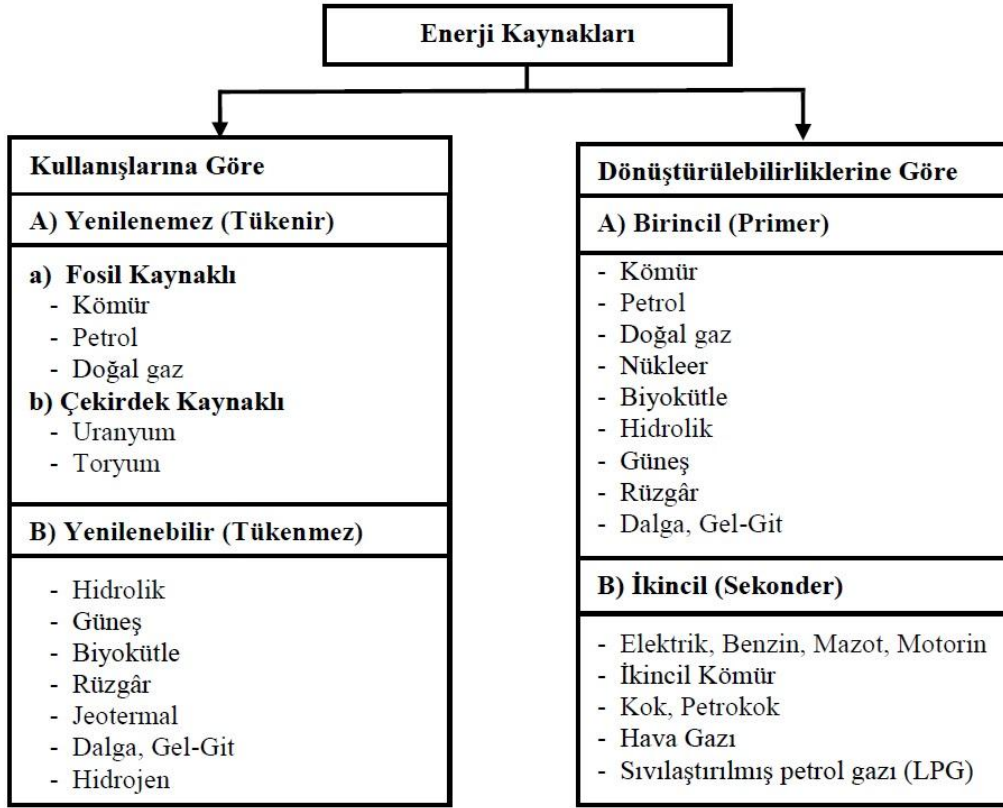
Dünya üzerinde kullanılan enerji kaynaklarının büyük bir çoğunluğu petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardır. Yapılan araştırmalar bu fosil yakıtların sınırlı olduğunu ve yakın bir gelecekte tükeneceğini göstermektedir. Dünya üzerindeki bilinen rezervleri şu andaki tüketim hızıyla kullanmaya devam edersek, petrolün 50-60 yıl, doğalgazın 60-65 yıl ve kömürün 100-120 yıl içerisinde tükeneceği düşünülmektedir [2]. Bunun yanında fosil yakıtların sera gazı kaynağı olması nedeni ile çevreye zarar verdiği ve küresel ısınmanın en önemli sebeplerinden biri olduğu bilinmektedir. Bu sebeple fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin maliyetinin içerisine çevreye verdiği zararların sonuçlarının da eklenmesi gerekmektedir.

Fosil yakıtların insan sağlığına ve çevreye olan olumsuz etkileri her geçen gün artmaktadır. Fosil yakıtlar yakıldığında ortaya çıkan sera gazları çevreye büyük zarar vermektedir. Bu sera gazlarından en bilinenleri karbondioksit (CO₂) ve metan gazlarıdır. Bunların haricinde kükürt, azot oksit (NO), kurum ve kül gibi atıklarda çevreye çok ciddi zarar vermektedir. Bu sebepten dolayı yaşanılabilir bir Dünya için yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları bulunmalı kullanılmalıdır.

2.2 Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları ikiye ayrılmaktadır. İlki kaynağından çıktığı gibi kullanılan her hangi bir değişime gerek duymayan kömür, doğalgaz ve petrol gibi birincil enerji

kaynaklarıdır. Diğerleri ise birincil kaynakları kullanarak elde edilen elektrik, kok, hava gazı gibi ikincil enerji kaynakları olarak adlandırılan kaynaklardır.



Şekil 2.1: Enerji kaynakları çeşitleri.

Dünyadaki bütün enerji kaynaklarının kökeni güneştir. Diğer enerji kaynakları güneş enerjisi kökenli kaynaklar olarak tanımlanmaktadır. Son zamanlarda enerji kaynakları iki ana başlıkta toplanmaktadır. Birincisi fosil yakıtların oluşturduğu, belli bir rezerve sahip olan fosil enerji kaynakları, ikincisi ise temiz ve tükenmez olarak belirtilen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

En önemli fosil yakıt kaynakları petrol, kömür, doğalgaz ve nükleerdir. Bu kaynaklar Dünyadaki enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamaktadır. 2011 yılı itibariyle dünya petrol rezervi 225,4 milyar ton, doğalgaz rezervi 280,4 trilyon m³, kömür rezervi ise 860,9 milyar ton olarak açıklanmıştır. Petrol, doğalgaz ve kömür kaynaklarının kalan kullanım süreleri sırasıyla 54 yıl, 64 yıl ve 112 yıldır [3].

Kaynaklar	Dünya Rezervi (2011)	Dünya Rezervlerinin Kullanılabilir Süreleri (Yıl)	Dünya Fosil Yakıt Değerleri (2011)			
			Üretim (Mtep)	Tüketim (Mtep)	Tüketim Payı (%)	
Petrol (Milyar ton)	225.4	54	3995.6	4059.1	38	
Doğal gaz (Trilyon m ³)	208.4	64	2954.8	2905.6	27.2	
Kömür (Milyar ton)	Taş kömürü	404.76	112	3955.5	3724.3	34.8
	Linyit	456.18				
TOPLAM			10905.9	10689	100	

Tablo 2.1: Fosil yakıtların tüketim oranları ve kalan rezerv miktarları.

Nükleer enerji üretimi için gerekli olan çekirdek kaynaklar uranyum ve toryumdur. Dünya üzerinde 2011 yılı itibarıyla çıkarılabilir uranyum rezervi 5327,2 bin tondur. Uranyum açısından en zengin rezervlere sahip ülkeler Avustralya (1661 bin ton), Kazakistan (629 bin ton), Rusya (487 bin ton) ve Kanada (468 bin ton) olup ülkemizin uranyum rezervi ise 9129 tondur. 2011 yılı itibarıyla Dünyadaki toryum rezervi ise 5385 bin tondur. Toryum elementi açısından zengin ülkeler ise Hindistan (846 bin ton), Türkiye (744 bin ton), Brezilya (606 bin ton), Avustralya (521 bin ton) ve ABD (434 bin ton) şeklinde sıralanmaktadır [4].

Dünyada en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları jeotermal enerji, hidrolik enerji, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisidir. Çin sahip olduğu 212 GW'lık hidrolik ve 62 GW rüzgâr enerjisi kapasitesiyle bu alanda Dünyada birinci sıradadır. Enerji üretiminde güneş enerjisinden en çok faydalanan ülke ise Almanya (25GW) olup, biyo yakıtlardan en çok faydalanan ülke ise 13,7 GW ile ABD'dir. Dünyanın, Avrupa Birliği'nin ve Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakların kullanma kapasiteleri sırası ile 1360 GW, 294 GW ve 19 GW olarak belirtilmiştir [5].

Dünya üzerinde 2011 yılı itibarıyla toplam kurulu hidrolik enerji gücü 970 GW olup, en yüksek paya sahip ülkeler sırasıyla Çin, ABD, Brezilya ve Kanada'dır. Ülkemizin hidrolik enerji kapasitesi 17,1 GW/yıl olarak belirtilmektedir. Bu santrallerden elde edilen elektrik 2011 yılında enerji ihtiyacımızın %22,8'ini karşılamıştır [5, 6].

Jeotermal enerji, Dünyanın iç kısmından gelen ısı enerjisidir. Bu ısı enerjisi, Dünyanın merkezinden dış kısımlara doğru yayılarak jeotermal enerji, tarım,

seracılık, evlerin ısıtılması gibi bir çok alanda kullanılır. Üretilen jeotermal enerji elektrik ve ısı olarak iki şekilde sınıflandırılır. Jeotermal elektrik gücü en yüksek ülkeler ABD, Endonezya, Filipinler ve Meksika iken, jeotermal ısı gücü en yüksek ülkeler ABD, Çin ve İsveç'tir [6, 7].

Kaynaklar	Çin	ABD	Hindistan	Almanya	Türkiye	Avrupa Birliği	Dünya
Rüzgâr	62	47	16	29	1.7	94	238
Biyokütle	4.4	13.7	3.8	7.2	~0	26	72
Güneş (Pv)	3.1	4	0.5	25	0	51	70
Jeotermal	~0	3.1	0	~0	0.1	0.9	11.2
Güneş (Termal)	0	0.5	~0	0	0	1.1	1.8
Okyanus	~0	~0	0	0	0	0.2	0.5
Hidrolik	212	79	42	4.4	17.1	120	970
Toplam	282	147	62	65	19	294	1360

Tablo 2.2: Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarları. (GW cinsinden)

Biyokütle enerji kaynakları, karbonhidrat bileşiklerine sahip bütün bitkisel ve hayvansal bütün maddelerdir. Bu maddeler kullanılarak biyoetanol, biyodizel ve biyogaz olmak üzere bazı yakıtlar elde edilmektedir. 2011 yılında Dünyada üretilen biyoetanol miktarı 86,1 milyar litre iken, biyodizel üretimi 21,4 milyar litredir. Biyoetanol üretimini en çok gerçekleştiren ülkeler ABD, Çin, Brezilya ve Kanada olurken, en çok biyodizel üreten ülkeler Almanya, Arjantin, ABD, Fransa ve Brezilya olmuştur [5].

Güneş enerjisi, güneş çekirdeğinde füzyon reaksiyonları ile açığa çıkan ışımaya enerjisidir. Atmosferin dışında güneş enerjisinin şiddeti 1370 W/m^2 iken, yeryüzünde bu değer $0-1100 \text{ W/m}^2$ arasında değişmektedir. Güneşten gelen enerjiden fotovoltaik piller, güneş santralleri ve güneş kolektörleri yardımı ile faydalanılmaktadır. Güneş kolektörleri genelde sıcak su temini için kullanılır. Dünya üzerindeki güneş kolektörü kapasitesi 2011 yılı itibariyle 182 GWt olup en yüksek kapasiteye sahip ülkeler Çin (118 GWt), Türkiye (9,3 GWt), Almanya (9,2 GWt) ve Japonya (4 GWt)'dir. Elektrik enerjisi için kullanılan fotovoltaik pillerin toplam kapasitesi aynı yıl için 70 GW olup en yüksek kapasiteye sahip ülkeler Almanya (24,8 GW), İtalya (12,8 GW), Japonya (4,9 GW) ve ABD (4 GW)'dir [5].

2.3 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi temiz, çevreye zarar vermeyen ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır. Birkaç yıl öncesine kadar ekonomik olmadığı için tercih edilmeyen güneş enerjisi, son yıllarda yakıt fiyatlarındaki artış nedeniyle bazı alanlarda ekonomik hale gelmiştir. Dünyaya her hangi bir zarar vermeyen güneş enerjisi petrol, kömür ve atom enerjisi gibi enerji kaynaklarına karşı en çok umut vadeden alternatif enerji kaynağı olarak gözükmektedir.

Güneş enerjisinin Dünya atmosferine gelen yoğunluğu m^2 başına 1,35 kW kadardır. Dünyanın bütün yüzeyine gelen toplam enerji ise 179×10^9 MW'dır. Bu değerde bir enerji bilinen kömür rezervlerinin enerjisinin 50, petrol rezervlerinin ise 800 katı kadardır [8].

Ülkemizin sahip olduğu güneş enerjisi gücü ilk olarak 1970 yılında hesaplanmıştır. Bu çalışmaya göre Türkiye'nin yıllık güneş alma süresi 2608,8 saat olup, en fazla 361,8 saat ile Temmuz ayında, en az ise 97,8 saat ile Aralık ayındadır. Güneşlenme süresi bakımından en zengin bölge 3015,8 saat ile Güneydoğu Anadolu bölgesi olurken, en fakir bölge 1965,9 saat ile Karadeniz bölgesidir. Güneşten gelen radyasyon yoğunluğuna bakacak olursak, Türkiye ortalaması yıllık $316,07 \text{ cal/cm}^2$ 'dir. En yüksek radyasyon yoğunluğu Temmuz ayında $503,13 \text{ cal/cm}^2$ olup, Aralık ayında $132,04 \text{ cal/cm}^2$ ile en düşük değeri alır. En yüksek radyasyon yoğunluğuna sahip bölgemiz $341,23 \text{ cal/cm}^2$ ile Güneydoğu Anadolu bölgesi olurken Karadeniz bölgesi $246,55 \text{ cal/cm}^2$ ile en düşük yoğunluğa sahip bölgedir [8].

Güneş enerjisi, gündelik yaşamdan konutlara, haberleşmeden elektrik santrallerine kadar hayatımızdaki bir çok alanda kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin kullanıldığı en önemli uygulamalar güneş enerjili su ısıtıcıları, güneşle ısınan binalar, güneş enerjisinden elektrik eldesidir. Güneş enerjisinin kullanıldığı daha genel alanlar olarak da hesap makineleri, radyo, TV, radarlar, mobil telefonlar ve sokak aydınlatmaları gösterilebilir [8].

Güneş enerjisinde ısı elde için kullanılan kolektörlerde son yıllarda ciddi bir artış vardır. ABD ve Japonya'da bir yılda üretilen kolektör büyüklüğü $1.800.000 \text{ m}^2$ düzeyindedir. 100 m^2 kolektör yüzeyinin 70kW ısıtma gücü verdiği ve %40 verimle

çalıştığını varsayarsak bu üretimin ne kadar önemli olduğu daha iyi anlaşılacaktır [9].

Fotovoltaik pil üretiminde en önde gelen ülkeler ABD ve Japonya'dır. Dünya fotovoltaik pil üretiminin %30'unu ABD sağlamaktadır. Hesap makinelerinde kullanılan küçük fotovoltaik pillerin ise %80'ini Japonya üretmektedir. Bu alanda önemli ülkelere Fransa Dünya fotovoltaik pil üretiminin %5'ini, Avrupa'nın ise %30'unu karşılamaktadır. Fransa'nın ardından Avrupa'daki ikinci büyük üretici %25 ile İtalya olurken, bu ülkeyi %20 ile Almanya ve %10 ile İspanya takip etmektedir [8].

Güneş enerjisinin geliştirilmesinde ki genel amaç, fosil yakıtların daha düzenli ve tutumlu kullanılmasını sağlamaktır. Bu sebeple güneş enerjisinin belli alanlarda kullanımı üzerine yoğunlaşmıştır. Bu alanlar;

- 1- Yapıların ısıtılmasında kullanılması.
- 2- Güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi.
- 3- Hidrojenin sudan üretilmesinde güneş enerjisi kullanılması.

Güneş enerjisini kullanan 10 MW büyüklüğünde güneş enerji santralleri yapılmış olmakla beraber, 800 MW büyüklüğünde fosil yakıtlı santrallerde güneş enerjisinin yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılması da planlanmaktadır [10]. Ayrıca yeryüzünden bağımsız, uzay güneş santrallerinin de yapılması planlanmaktadır. Bu santraller yeryüzünden 36000 km uzaklıkta uydu tipinde yapılacak olup 10000 MW güç üreteceği düşünülmektedir. Üretilen elektriğinde devasa boyuttaki antenler vasıtasıyla %65-70 verimle mikrodalga olarak iletilebileceği düşünülmektedir [11].

2.3.1 Güneş Enerji Sistemlerinden Enerji Eldesi

Güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla birçok sistem geliştirilmiştir. Bu sistemlerin bir kısmı Güneş'ten gelen ısı ve ışığı direk kullanarak ısı enerjisi üretirken bir kısmı da Güneş'ten gelen ısı ve ışığı elektrik enerjisine çevirerek kullanılmasını sağlar. Güneş'ten gelen ısıyı kullanarak çalışan sistemler sıcak su ve ısınma amacıyla kullanılmaktadır. Bu amaçla kurulan sistemlerin bazıları şunlardır.

Düzlemsel Güneş Kolektörleri: Türkiye’de, özellikle daha çok güneş alan güney ve sahil kesiminde, çok yaygın bir şekilde kullanılmakta olup, Güneş’ten gelen ısı ile sıcak su eldesi sağlayan sistemlerdir.

Ortak-odaklı Güneş Enerji Santralleri: Bir odak noktasına çevrilmiş dev aynalar yardımıyla yüksek sıcaklıkta ısı elde edilmesine ve bu ısıdan da elektrik üretilmesi esasına dayanır. Çok fazla yaygın değildir.



Şekil 2.2: Yek-odaklı güneş enerji santrallerine bir örnek.

Güneş Ocakları: Genellikle çanak şeklinde yapılırlar ve merkezinde ısıyı toplama amaçlarıdır. Gelişmekte olan ülkelerde sıklıkla kullanılmaktadır.

Güneş enerjisinden elektrik eldesi için daha çok fotovoltaik piller kullanılır. Fotovoltaik piller yarı iletkenlerin sahip olduğu fotoelektrik etkisi ile elektrik enerjisi elde etmemizi sağlar. 1956 yılında uzay araştırmalarında kullanılmaya başlanan fotovoltaik piller zaman içerisinde birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Şuan itibariyle kullanılan fotovoltaik pillerin ortalama verimi %20 civarında iken, araştırmalarda %40 seviyesine ulaşılmıştır.



Şekil 2.3: Fotovoltaik güneş panellerinden oluşan bir güneş enerji santrali.

Güneş'ten elektrik eldesi amacıyla kullanılan bir diğer sistemde yoğunlaştırıcı kolektörlerdir. Bu sistemlerde kolektörler yardımı ile ısıya dönüştürülen güneş enerjisi, suyun kaynatılarak buharlaştırılmasını sağlar ve elde edilen buhar, buhar türbinlerini döndürerek elektrik enerjisi üretir. Bu sistemlerde en yüksek verimi Stirling motorları verir. Bu motorlarda buhar kullanılmaz. Kendi içerisinde özel bir gazı olan kapalı devre bir sisteme sahiptir. Bu motorun çalışması için dışarıdan ısı enerjisi verilir. Stirling motorlarının verimi yaklaşık %30 civarındadır [12].

2.4. Nanobilim ve Nanoteknoloji

Nanoteknoloji kavramının temelleri ilk olarak Nobel ödüllü fizikçi Richard Feynman tarafından "There's Plenty of Room at the Bottom" adlı ünlü konuşmasında atılmıştır. Feynman bu konuşmasında atomları direk olarak kontrol ederek yeni sentezler yapılabileceğini söylemiştir. 1974 yılında Japon bilim adamı Norio Taniguchi "Nanoteknoloji" terimini ilk kez kullanmıştır. K. Eric Drexler'in 1986 yılında yazdığı Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology kitabında nanoteknoloji sayesinde kendimizin ve diğer maddelerin bir kopyasının yapılabileceğini öne sürmüştür. Nanoteknoloji hakkındaki çalışmalar, Taramalı Tünelleme Mikroskop'unun icat edilmesiyle hız kazanmıştır. Zaman içerisinde ticari ürünlerde de kullanılmaya başlanan nanoteknoloji, devletler tarafından da ciddi anlamda finanse edilmeye başlanmıştır.

Nanobilim, nanometre boyutlarındaki (10^{-9}) malzemelerin normal boyutlardaki aynı malzemeye arasındaki farklılıkları inceleyen bilim dalıdır. Nanoteknoloji ise bu farklılıkları kullanarak teknolojik ürünler elde edilmesidir.

Nanoboyuttaki malzemeler elektronik, optik, manyetik ve mekanik özellikleri açısından farklılıklar oluşturmakta ve bu farklılıklar yeni malzemelerin üretiminde birçok avantaj sağlamaktadır. Nanoteknoloji sayesinde Fizik, Kimya, Biyoloji, Tıp, Malzeme ve daha birçok alanda çığır açıcı gelişmeler yaşanmaktadır. Bu özelliklerinden ve elde edilen sonuçlardan dolayı nanoteknoloji geleceğin bilimi olarak görülmektedir.

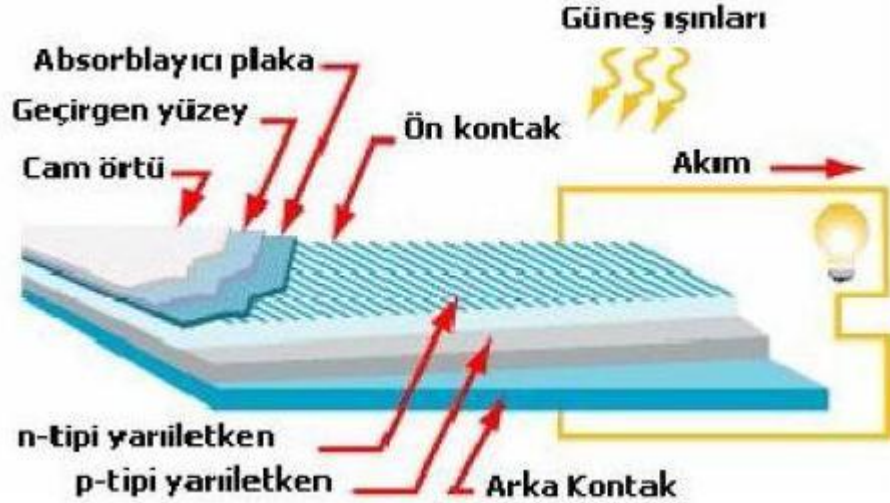
2.4.1 İnce Film Nanoyapıların Önemi

Çok uzun yıllardan beri cam ve seramiklerin üzerine soy metalleri ince film olarak kaplayarak dekorasyon amacıyla kullanılması, ince film konusunda bilgi ve ilginin her geçen gün artmasına neden olmaktadır. İnce film teknolojisi mikro ve nano yapıların kullanıldığı optoelektronik alanının temelini oluşturmaktadır. Son yıllarda özellikle nanoteknolojiye olan ilginin artması ince film teknolojisi üzerindeki çalışma sayısını arttırmıştır. İnce film, kaplanacak olan malzemenin atomlarının ve moleküllerinin üst üste dizilmesi ile elde edilen kalınlığı genellikle 1 mikrometrenin altında olan katmanlara verilen isimdir [13]. İnce film şeklinde hazırlanan nanokristal yapılar, kullanılan malzemenin optik, elektriksel ve mekanik özelliklerini olumlu yönde ciddi oranlarda geliştirmektedir [14]. İnce film teknolojisi şuanda kullanılan mevcut teknolojilerin en önemli parçalarından biridir. Kullanılan elektronik cihazların büyük bir çoğunluğunda ince film teknolojisinden faydalanılmaktadır. Elektriksel özelliklere olan katkısından dolayı yarıiletken teknolojilerinde, yalıtım kaplaması olarak kullanılır. Bunun yanında optik özelliklerinden dolayı yansıtıcı kaplamalarda, optik disklerde ve manyetik hafıza disklerinde kullanılmaktadır. Ayrıca gıda ürünlerinde ve diğer birçok üründe güneş ışınlarından ve oksidasyondan koruma amacıyla da kullanılmaktadır [15, 16]. İnce film teknolojisindeki hızlı değişim, yeni malzeme ve teknolojilerin gelişimine katkı sağlamaktadır. Elde edilen sonuçları geliştirmek adına birçok deney yapılmakta olup, yeni modeller teorik olarak geliştirilmektedir. İnce film teknolojisi günümüz teknolojisinde çok fazla kullanıldığı gibi gelecekte de teknolojinin en önemli yapı taşlarından biri olacağına şüphe yoktur.

2.5 Fotovoltaik Sistemlerin Özellikleri

Fotovoltaik sistemler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Fotovoltaik etkiyi ilk olarak 1839 yılında Fransız fizikçi Becquerel keşfetmiştir. İlk olarak sıvılar üzerinde keşfedilen fotovoltaik etki 1876 yılında selenyum kristallerinde görülmüştür. 1914 yılında ilk fotovoltaik güneş hücresi üretilmiş ancak %1 verimle çalışan bu hücrelerden elektrik üretilmemiştir. Chaplin ve Fuller 1956 yılında %6 verimle çalışan güneş hücresini üreterek fotovoltaik etki ile ilk elektriği üretmişlerdir [17].

Fotovoltaik sistemlerin en önemli bileşeni güneş hücreleridir. Bu hücreler yarı iletken malzemeden yapılır ve güneşten aldığı enerji ile elektrik üretilmesini sağlamaktadır. Kalınlıkları mikron seviyesinde olan güneş hücreleri ihtiyaca göre paralel ya da seri bağlanarak kullanılmakta böylece istenilen seviyede elektrik üretilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2.4: P-N tipi güneş hücrelerine bir örnek.

Fotovoltaik güneş hücresi üretiminde kullanılan ana malzeme silisyum yani kumdur. Geleceğin enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin gösterilmesinin bir sebebi de kum rezervinin çok fazla olması yani hammadde konusunda sıkıntı çekilmeyecek olmasıdır. Fotovoltaik güneş hücrelerinin farklı çeşitleri vardır. Bunların ilki kristal silisyum PV hücrelerdir. Bu tip hücreler en çok tercih edilen güneş hücresi tipidir. Çünkü kristal silisyum PV hücreler dayanıklı, uzun ömürlü ve maliyet olarak ucuzdur [18]. Diğer bir hücre tipi ince film güneş hücreleridir. Bu tip hücrelerin en önemli özelliği geniş alana uygulanabilir olması ve buna bağlı olarak da maliyetlerin düşük olmasıdır. Bu tarz hücrelerin %18'e kadar verim verdikleri

bulunmuştur. İnce film PV hücrelerin en büyük handikabı zaman içerisinde özelliklerini yitirmeleridir [17]. Üçüncü ve beşinci grup elementleri kullanarak üretilen PV hücreler en yüksek verim veren güneş hücresi tipidir. %25'e varan verimlere sahip olmasıyla birlikte bu hücrelerin maliyeti yüksektir [17]. Çok eklemlili PV hücreler, spektrumdaki aralıkların tamamından enerji yakalamaya çalışmaktadır. Üst üste konulan katmanlar ile üretilen bu hücrelerde farklı spektrum aralıklarında çalışan malzemeler kullanılır ve böylece güneş enerjisinden maksimum verim elde edilmeye çalışılır. Organik PV hücreler ise maliyetleri düşük olduğu için tercih edilmektedir. Ancak verim olarak inorganik PV hücrelerle kıyaslanamayacak kadar yetersizdir. Bununla birlikte çevre dostu olması ve düşük maliyeti organik güneş hücreleri üzerine çalışmalar yapılmasını sağlamaktadır [17].

Fotovoltaik sistemlerin avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- PV sistemlerin ömrü uzundur.
- Bakımı kolay ve masrafı azdır.
- Yakıt maliyeti yoktur.
- Çevreye zarar verecek bir atık bırakmaz.
- Kırsal kesimlerde veya mobil araçlarda kullanılabilir.

Dezavantajları ise;

- İlk etapdaki yatırım maliyeti yüksektir.
- Yüksek güç gerektiren sistemlerde uygulanması verimli değildir.
- Üretim potansiyeli hava değişimlerinden etkilenmektedir.
- Şuanda üretilen PV hücrelerin verimliliği tam anlamıyla kullanılması için yeterli değildir.

2.5.1 ZnO ve Ge İnce Filmlerin Fotovoltaik Özellikleri

ZnO'nin doğrudan geçiş aralığı 300 K sıcaklıkta yaklaşık olarak 3.3 eV'dur. Bu değer mor ötesi, beyaz ve yeşil ışık yayımında kullanılan aygıtlar için uygundur. ZnO'nin bir diğer önemli özelliği yüksek kalitede tek kristal yapıya sahip olması ve yaklaşık 60 meV gibi büyük eksiton bağlanma enerjisine sahip olmasıdır [19, 20]. ZnO'nin diğer geniş yasak bant aralıklı malzemelere göre tercih edilmiş olmasının

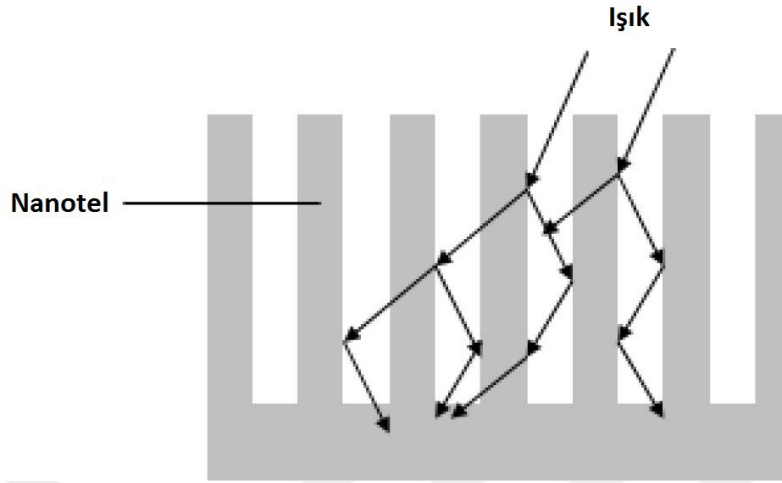
sebeplerinden bir tanesi de radyasyona ve sıvı kimyasallara karşı dirençli olmasıdır. ZnO bu özelliğinden dolayı uzay araştırmalarında da sıklıkla tercih edilen bir malzemedir [21]. ZnO malzemesinin optik aygıtlarda tercih edilmesinin sebebi ise çok iyi piezoelektrik özellik göstermesi ve farklı alttaş türleri için (kuartz, elmas, safir v.b) yönelimli (0001) olması ve doğada kolay bulunmasıdır.

Ge sahip olduğu 24.3 nm Bohr yarıçapı ile (Si için bu değer 5 nm) kuantum sınırlama etkisinin öne çıkarılması için uygun bir elementtir. Ayrıca Ge' un bantlar arasında doğrudan ve dolaylı geçişler için gerekli enerjiler arasındaki küçük fark (0,12 eV), bant kenarında elektronik yapının değiştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Ge' un bir diğer önemli özelliği ise Si' dan daha yüksek taşıyıcı mobilitesine sahip olmasıdır ki bu, FV uygulamalar için önemli bir avantajdır. Ge ve ZnO birbirine yakın yığın elektron ilgisine (affinity) sahip olmalarından dolayı ışıkla üretilen taşıyıcıların sınırlanmaması ve bu iki malzemedeki oluşturulan hetero eklemlerin değerlik bantları arasındaki farkın (2.7 eV) büyük olmasından dolayı kaçak akımlarının düşük olması, ZnO: Ge yapıyı FV uygulamalar için elektronik olarak uygun hale getirmektedir

2.5.2 Si Nanotellerin Fotovoltaik Özelliklere Katkısı

Son yıllarda güneş hücreleri ve nanoteller üzerine yapılan araştırmalar bilimin üzerinde çok durduğu alanlardır [22]. Düşük maliyetli ve yüksek verimli güneş hücreleri ihtiyacı, yüksek performanslı elektronik yapıların üretilmesini mümkün kılmıştır [23]. Nanotel tabanlı güneş hücreleri, geleneksel alttaş tabanlı veya ince film güneş hücrelerine kıyasla optik, elektronik, yük dağılımı ve maliyet anlamında çok daha avantajlıdır. Güneş hücrelerinin verimini en çok azaltan etkenler yansıma ve geçirgenliktir. Geleneksel güneş hücreleri gelen güneş ışığının yaklaşık olarak %10 ile %50'sini geri yansıtmaktadır [24]. Bu da güneş hücrelerinin verimini ciddi olarak düşürmektedir. Bu problemi çözmek için güneş hücrelerinin yüzeyi yansımaya engelleyecek maddelerle kaplanabilir. Ancak bu yöntem sadece belirli bir dalgaboyunun yansımaya engel olur. Bu çözümlerin aksine nanotel tabanlı güneş hücreleri daha geniş spektrumdaki ışığı daha az miktarda yansıtmaktadır. Çünkü nanotel dizileri bir anlamda ışığı tuzaklayıcı bir etki gösterir. Yansıyan ışık uzaklaşmadan nanotellerden birisine takılır ve bu da verimliliği artırır. Bu yapı aynı zamanda geçirgenliği de azaltır. Çünkü nanotel yapısı kalınlığı arttırmakla

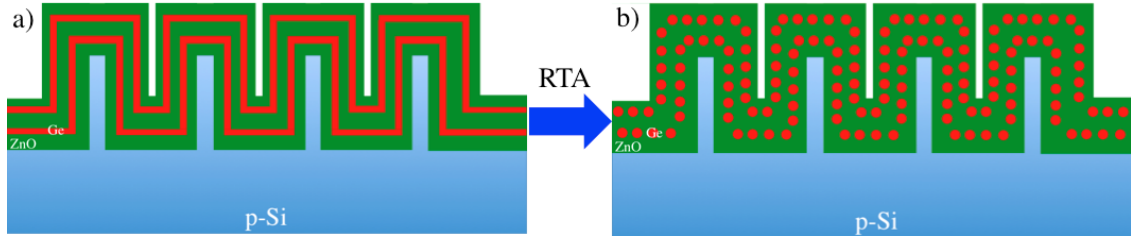
birlikte yine ışık tutucu özelliği ile ışığın güneş hücresinden geçip gitmesine engel olur.



Şekil 2.5: Gelen ışık nanotel yapısı sayesinde tutularak güneş hücresinin verimi artırılır.

Geleneksel güneş hücrelerinde verimi etkileyen bir diğer durumda sıcaklıktır. Kullanılan malzemenin eksiton bağlanma enerjisi, oda sıcaklığındaki termal enerji ile kıyaslandığında zayıf olursa (yığın silisyum), uyarılmış taşıyıcılar bant sınırında serbest taşıyıcılar haline gelir. Ancak eksiton bağlanma enerjisi kuvvetli olursa (çoğu yarıiletkenler), taşıyıcılar bir eksiton sınırı haline gelir. Bu taşıyıcıların relaksasyonu için ise enerji ısı olarak atılır. Bu durum güneş hücresinin ısınmasına yol açar ve bu ısınma güneş hücrelerinin verimini %30 ila %40 arasında azaltır [22]. Bu ısı kaybını azaltmak için uygun bant genişliğine sahip bir malzeme kullanılabilir ya da birden çok malzeme kullanılarak istenilen bant genişliği elde edilir. Ancak birçok malzeme kullanıldığında bu farklı malzemelerin örgüleri arasında uyumsuzluk meydana gelebilir ve bu bir gerilme oluşturur. Nanotel dizilerinden oluşmuş güneş hücrelerinde nanoteller gerilme relaksasyonunu artırarak absorblanan enerji aralığını genişletir ve ısınmaya engel olur [25]. Bütün bunların yanında nanotel tabanlı güneş hücreleri maliyet anlamında da geleneksel güneş hücrelerinden daha avantajlıdır. İlk olarak daha az malzeme kullanılmasını sağlar. Bunun sebebi nanotel tabanlı güneş hücrelerinde farklı bir malzeme kullanmadan düşük yansımaya ve ışığı hapsedme şansına sahip olunmasıdır. Bunun yanında nanotel tabanlı güneş hücreleri üretim aşamasında da maliyetleri azaltır. Geleneksel güneş hücrelerinde uygun örgüye sahip daha pahalı malzemeler

kullanmak gerekirken nanotel tabanlı güneş hücrelerinde daha geniş bir malzeme seçeneğine sahip olunur.

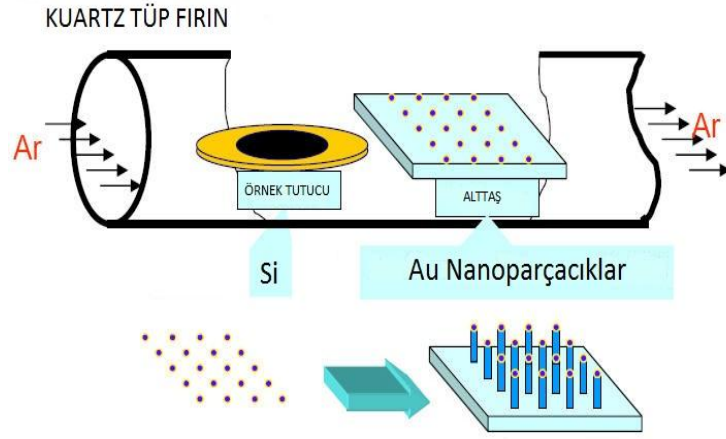


Şekil 2.6: ZnO-Ge ince filmlerle P tipi Si nanotellerin üzerine oluşturulmak istenen yapı.

2.6 Si Nanotel Dizilerin Üretim Yöntemleri

Si nanotel dizileri ilk olarak 1957 yılında Treuting ve Arnold tarafından keşfedilmiş ve yayınlanmıştır [26]. Zaman içerisinde Si nanotel dizileri üretmek için birçok farklı yöntem geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu yöntemlerin hepsinin kendine has özellikleri, avantajları ve dezavantajları vardır. Si nanotel dizileri üretim yöntemleri şunlardır;

1- Buhar- Sıvı- Katı (VLS): Bu yöntemler arasında en çok kullanılan yöntemdir. VLS yöntemi ilk olarak 1960'ların ortalarında Wagner ve Ellis tarafından geliştirilmiştir [27]. Bu yöntemde isminden de anlaşılacağı gibi Si ilk olarak buhar fazdan sıvı damlacık haline getirilir, daha sonrada katılaştırılır. Bu yöntem kullanılırken Au, Ag gibi metaller nanotellerin oluşturulacağı yüzeyde bulunur. Yüzeydeki metaller eriyik damlacıklar hale gelene kadar ısıtılır ve ortama buhar formunda gönderilen Si'un metal damlacıklara tutunması sağlanır. Sonrasında ortam soğutularak Si nanotel dizileri katı hale getirilir. Bu yöntemin çok yaygın olması ve tercih edilmesinin sebebi bu yöntem ile nanotellerin çaplarının ve boylarının istenildiği gibi ayarlanabilmesidir.



Şekil 2.7: Si nanotel büyütülebilen bir VLS sistemi.

2- Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD): CVD yöntemi daha çok ince film kaplama yöntemi olarak bilinmesine rağmen Si nanotel oluşturmak içinde kullanılmaktadır. Bu yöntemi kullanmak içinde yine yüzeyde Au metali kullanılır. Au metali ortama gönderilen Si atomlarının anizotropik olarak büyümesini sağlar bu da Si nanotelleri oluşturur. CVD yöntemi ile üretilen nanotellerin çapları ve boyları rahatlıkla ayarlanabilir [28]. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise özellikle çapı 50 nm'nin altındaki nanotellerde büyüme yönünde farklılıklar oluşmasıdır [29].



Şekil 2.8: CVD sistem diyagramı.

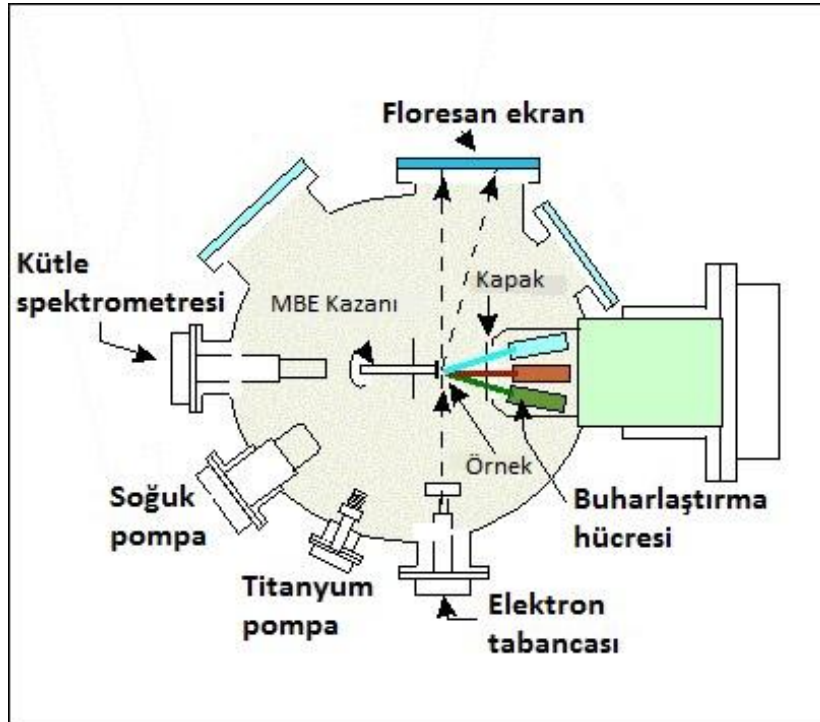
3- Termal Buharlaştırma: Bu yöntem genellikle büyük miktarda Si nanotel dizisi elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. İki bölmeli bir fırın kullanılır. Bir bölme yaklaşık olarak 1350°C, diğer bölme ise 900°C'de tutulur. Daha sıcak olan bölüme katı SiO konulur ve buharlaştırılır. Buharlaştıran SiO asal bir gaz yardımıyla daha soğuk olan bölüme taşınır, burada Si ve SiO₂ olarak ayrılarak nanotel formuna dönüşür [30]. Bu yöntem metal katalizör kullanılarak da uygulanabilir. Metal katalizör kullanıldığında nanotel büyütme işlemi daha hızlı gerçekleşir. Bu

yöntemde nanotellerin çapı tıpkı VLS yönteminde olduğu gibi metal katalizörün çapı değiştirilerek ayarlanır [31].



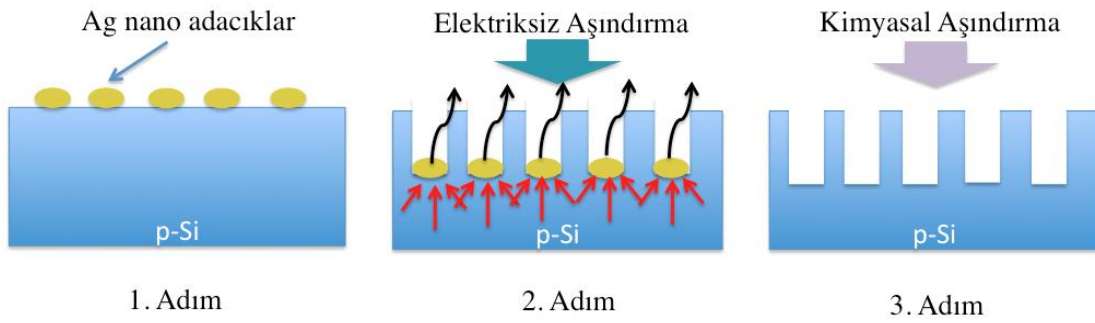
Şekil 2.9: Termal buharlaştırma sistemi.

4- Moleküler Demet Epitaksi (MBE): Bu yöntemde katı halde yüksek saflıktaki Si buharlaşana kadar ısıtılır. Alttışa yönlendirilen gaz halindeki Si atom demeti absorbe edilir ve kristalleşir. Etkileşimleri engellemek adına bu yöntem genellikle ultra yüksek vakum ortamında uygulanır [32]. Tıpkı CVD yönteminde olduğu gibi Si atomları katman katman birleşerek Si nanotel dizilerini oluşturur. CVD yönteminden farklı olarak bu yöntemde metal katalizör kullanılmaz. Bu yöntemin en önemli dezavantajları ise Si nanotel çaplarının Gibbs-Thomson etkisinden dolayı en az 40 nm olması ve nanotellerin büyüme hızının çok yavaş olmasıdır [32, 33].



Şekil 2.10: MBE sistemi diyagramı.

5- Metal Katalizörlü Kimyasal Aşındırma: Diğer yöntemlerden farklı olarak bu yöntemde Si nanoteller aşağıdan yukarıya doğru değil, yukarıdan aşağı doğru oluşturulur. Yığın haldeki Si alttaşın üzerine Au, Ag, Pt gibi metaller damlacık halinde yerleştirilir. Bu damlacıkların çapı aynı zamanda nanotellerin çaplarını da belirler. Hidroflorik asit (HF) ve hidrojen peroksit (HNO_2) kimyasalları kullanılarak metal damlacıklar aşındırılır ve böylece nanotel dizileri elde edilir [34]. Bu yöntemin kendi içerisinde farklı uygulamaları vardır. Nanoküre litografisi kullanılarak Si alttaşa mikro küreler yerleştirilir. Sonrasında Si alttaşın ve mikro kürelerin üzeri belirlenen metal ile kaplanır. Kimyasallar yardımı ile metal kısımlar aşındırılır ve böylece geriye mikro kürelerin altında kalan nanotel dizileri kalır [35]. Bu yöntemin en büyük avantajı büyük miktarlarda nanotel dizilerinin oldukça hızlı bir şekilde elde edilmesine olanak sağlamasıdır. Nanotel dizilerinin homojenliğinin kötü olması ve nanotellerin boylarının farklı olması bu yöntemin en önemli dezavantajıdır.



Şekil 2.11: Metal katalizörlü kimyasal aşındırma sistemi ile nanotel elde etme prosesi.

3. DENEYSEL KISIM

Bu tez çalışmasında Si nanotel alttaşların ve Si alttaşların üzerine ZnO-Ge çok katmanlı ince filmler hazırlandı. İnce film kaplama işlemleri magnetron kopartma tekniği kullanılarak gerçekleştirildi. Si nanotel alttaşlar ise metal destekli kimyasal aşındırma yöntemi ile elde edildi.

3.1. Metal Destekli Kimyasal Aşındırma Yöntemi

Metal destekli kimyasal aşındırma yöntemi ilk olarak 1997 yılında uygulanmış ve yayınlanmıştır [36]. Bu yöntemin sahip olduğu avantajlardan dolayı son yıllarda ise bu yöntemin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

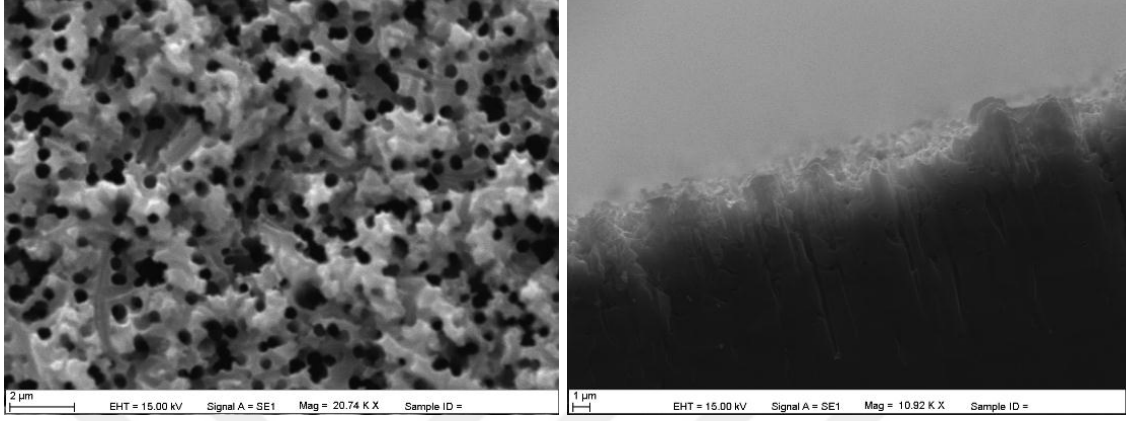
- İlk olarak bu yöntem ile oldukça basit bir şekilde ve ucuz maliyetle Si nanoyapılar elde edilebilmektedir. Elde edilen Si nanoyapıların şekli, çapı, uzunluğu ve yönelimi basit bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Bütün bu işlemler temel laboratuvar gereçleriyle, pahalı cihazlar kullanmadan gerçekleştirilebilir.
- İkinci bir avantaj, elde edilen Si nanoyapıların yönelimi kullanılan alttaşa göre değiştirilebilmektedir. Örnek olarak VLS yönteminde [110] yöneliminde Si nanotelleri uygun modeli kullanmadan (110) Si alttaşa büyütemezken, metal destekli kimyasal aşındırma yönteminde seçilen alttaşın yöneliminde Si nanoteller rahatlıkla elde edilebilir [37, 38].
- Üçüncü olarak VLS yöntemi ile sadece dairesel kesitte Si nanoteller elde edilebilirken, metal destekli aşındırma yönteminde daha çeşitli yapılar ve daha büyük yüzey-hacim oranı elde edilebilir [39, 40].
- Dördüncü olarak metal destekli kimyasal aşındırma yöntemi ile tek kristal alttaştan elde edilen Si nanotellerin kristal kalitesi daha yüksektir [41].
- Metal destekli kimyasal aşındırma yöntemi ile Si nanoteller elde ederken karşılaşılan sınırlamalar daha azdır. Bu yöntem ile çapı 5nm'den 1 μ m'ye kadar geniş bir aralıkta Si nanoteller elde edilebilir [42, 43].

Metal destekli kimyasal aşındırma yöntemi yapılan bir çok çalışmaya rağmen hala anlaşılamayan noktalara sahiptir ve bu konuda yapılan çalışmalar devam etmektedir. Bu yöntemin sahip olduğu avantajlar ise bu yöntemin tercih edilmesinin sebebidir.

3.1.1. Si Nanotel Dizilerin Üretilmesi

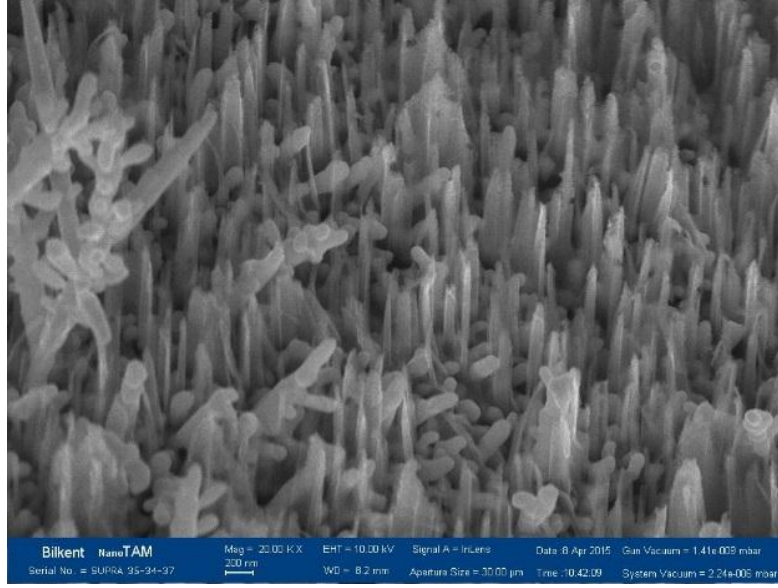
Bu tez çalışmasında kullanılan Si nanoteller Kimyasal Aşındırma yöntemi kullanılarak hazırlandı. Bunun için ilk olarak 4 adet P tipi Si (100) alttaş üzerine 3nm ve 7nm kalınlığında Au ince film tabakası kaplandı. Au kaplanan Si alttaşlara 600°C'de tavlama işlemi uygulandı. Bu tavlama işleminde fırının sıcaklığı 600°C'ye çıkartıldı sonrasında beklenmeden soğumaya bırakıldı. Hazırlanan örneklerden bir tanesi SEM ile incelenmek için bırakıldı, diğer 3 örnek sırasıyla 10, 20 ve 30 dk süre ile hazırlanan çözeltinin içerisine konuldu. Çözeltinin içeriği H. D. Um ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadaki çözelti temel alınarak hazırlandı [44]. Çözeltinin içerisine 4,8 M HF, 0,44 M H_2O_2 ve H_2O konuldu. Hazırlanan örnekler ve yapıyı incelemek için tavlınmamış olarak bırakılan örnek SEM ile görüntülendi. Yapı

incelendiğinde Au ince film tabakasının sıcaklığın etkisi ile çekirdeklendiği ve kısmen düzgün bir yapının elde edildiği görüldü. Hazırlanan örneklerin SEM görüntülerinde ise nanotel yapısının oluşmadığı, yüzeyde bozulmalar olduğu ve genellikle nanodelikler oluştuğu gözlemlendi.



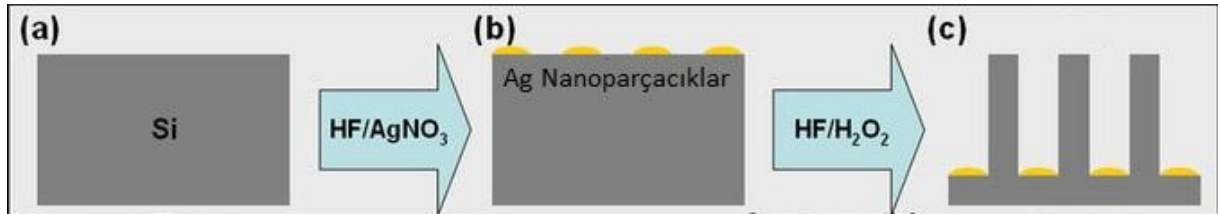
Şekil 3.1: Altın katalizör kullanarak kimyasal aşındırma yöntemi uygulanan örneğin SEM görüntüleri.

Bunun üzerine Au ince film kullanmaktan vazgeçildi ve Ag nanoparçacıklar kullanılmasına karar verildi. Ag nanoparçacıklar kullanılarak nanotel dizisi üretmek için ise Dr. Ünalın ve grubunun yaptığı çalışma temel alındı [34]. Bu çalışmada yüzeyi Ag nanoparçacıklarla kaplamak için $AgNO_3$ kullanıldığı görüldü. Ag nanoparçacıkları yüzeye kaplamak için bir çözelti hazırlandı. Çözeltinin içerisine 4,6 M HF, 0,02 M $AgNO_3$ ve H_2O konuldu. Si alttaşlar bu çözeltinin içerisine 10, 60 ve 120 saniye sürelerle batırıldı. Sonrasında Ag nanoparçacık kaplı örnekler daha önceki çalışmamızda kullanılan 4,8 M HF, 0,44 M H_2O_2 ve H_2O 'dan oluşan çözeltinin içerisine 5, 10 ve 15 dk'lık sürelerle batırıldı. Hazırlanan örnekler ve yine yapıyı görmek için aşındırma işlemi yapılmamış örneğimizi SEM ile inceledik. Aldığımız sonuçlarda Ag nanoparçacıkların yüzeye Au nanoparçacıklara oranla daha yoğun bir şekilde kaplandığı görüldü.



Şekil 3.2: Gümüş katalizör kullanarak kimyasal aşındırma yöntemiz uygulanan örneğin SEM görüntüleri.

Aşındırma işlemi yapılan örnekler incelendiğinde ise yüzeyde daha büyük bozunmalar olduğunu, nanodelikler ve nanotellerin yapıda birlikte bulunduğunu ancak istenilen düzenli nanotel yapısının elde edilemediği görüldü. Bu sebepten dolayı çalışmada kullanılan Si nanotel alttaşlar Dr. Ünal ve Grubu'ndan alındı.

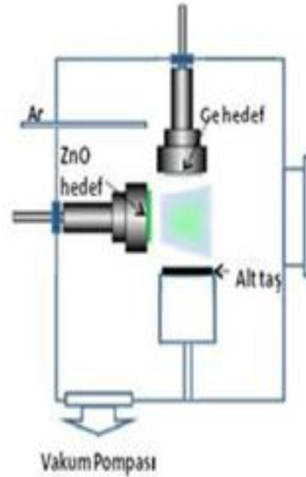


Şekil 3.3: Metal katalizörlü kimyasal aşındırma sistemi ile nanotel elde etme prosesi.

3.2. ZnO-Ge Çok Katmanlı İnce Filmlerin Hazırlanması

Bu tez çalışmasında ZnO-Ge ince filmleri hazırlamak için fiziksel kaplama yöntemlerinden biri olan Magnetron Kopartma tekniği tercih edildi. Bu teknik hedef malzemedeki atomların kopartılarak alttaş üzerine biriktirilmesi yöntemine dayanmaktadır. Kullanılan sistemde vakum ortamı 10^{-5} Torr civarında tutuldu. Sistem istenilen basınç seviyesine geldikten sonra sisteme Ar gazı gönderildi. Ar gazı asal bir gaz olduğu için hedef malzeme ile etkileşime girmez bu da istenmeyen reaksiyonların oluşmasına engel olur. Ayrıca Ar moleküllerinin büyük olması kopartma işlemini gerçekleştirmek içinde uygundur. Sisteme verilen Ar gazı

hedef malzemeye çarparak hedef malzemeden atomların kopmasını sağlar. Ar atomları ortamdaki serbest elektronlara çarparak Ar^+ iyonları haline gelir. Hedef malzemenin altına yerleştirilen mıknatısların oluşturduğu manyetik alan ortamdaki iyonları ve serbest elektronları bu manyetik alan içerisinde tutar ve böylece hazırlanan ince filmin daha kaliteli olmasını sağlar. Hedef malzemelerin daha kolay koparılabilmesi için hedeflerin önünde bir plazma oluşturulur. Plazmayı oluşturmak için hedef negatif olarak yüklenir. Bu sayede pozitif Ar^+ iyonları hedef malzemeye doğru kolayca yönelir. Serbest elektronlara çarparak oluşan Ar^+ iyonları ve elektronlar hedef malzemenin yüzeyinde bir plazma oluşur. Bu çalışmada hedef malzeme olarak ZnO ve Ge kullanıldı. ZnO hedefi negatif olarak yüklemek için DC güç kaynağı, Ge hedefi negatif olarak yüklemek için ise RF güç kaynağı tercih edildi. ZnO kaplanırken sisteme Ar gazı ile beraber O_2 gazı da verildi. Bunun nedeni yapıyı O_2 açısından zenginleştirmektir. Bu etkiyi gözlemlemek için ZnO kaplama işlemi hem O_2 'li ortamda hem de O_2 'siz ortamda hazırlandı. O_2 'li ortamda yapılan kaplamalara Reaktif (R) kaplamalar, O_2 'siz ortamda yapılan kaplamalar ise Reaktif Olmayan (RO) kaplamalar olarak adlandırılır. Ge kaplama işleminde ise ortama sadece Ar gazı verildi. Kopartılan atomlar alttaşın üzerinde yığılarak ince film haline gelmektedir. Bu yığılmanın her noktada eşit olmasını sağlamak için alttaş saat yönünde belli bir frekansta döndürüldü.



Şekil 3.4: Örneklerin hazırlandığı magnetron kopartma sistemi diyagramı.

3.2.1. Reaktif ve Reaktif Olmayan İnce Filmlerin Özellikleri

İnce filmlerin kopartma tekniği ile kaplanmasında iki çeşit kaplama tekniği vardır. Bu teknikler Reaktif (R) ve Reaktif Olmayan (RO) olarak adlandırılır. Eğer

kaplanacak malzeme tek elementli ise RO, kaplanacak malzeme birden fazla elemente sahipse bu ince filmlerin kaplanmasında R kaplama tercih edilebilir. Çünkü R kaplamalar ile bileşik halindeki kaplamalar gerçekleştirilebilir. R kaplamalarda vakum ortamına Ar gazı ile hedeflenen bileşiği oluşturmaya yarayacak olan gaz verilir. R kaplamalar genellikle metal-oksit ve metal-nitrür kaplamalar için kullanılır. Ancak bunun istisnaları mevcuttur. Eğer kullanılan hedef metal-oksit veya metal-nitrür ise R kaplama yapılmayabilir. Ancak hedefe çarpan Ar⁺ iyonları zaman zaman yapıdaki bağların kopmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle R kaplama yapmak yapıdaki O₂ ve N₂ eksikliğini giderilmesine yardımcı olur. Ayrıca yapılan çalışmalarda R kaplanan ince filmlerin yüzey morfolojisinin daha iyi olduğu belirtilmektedir [45]. Bu çalışmada metal-oksit ince film kaplanırken R yapılmasının nedeni de yüzey morfolojisinin daha iyi olmasının ve bileşikteki O₂ miktarının artırılmasının istenmesidir.

3.3. Karakterizasyon Teknikleri

Hazırlanan ince filmlerin karakterizasyonu için aşağıda belirtilen teknikler kullanıldı.

- X-Işını Toz Kırınımı Analizi (XRD)
- Raman Spektroskopisi Analizi
- Taramalı Elektron Mikroskopisi Analizi (SEM)
- İkincil İyon Kütle Spektroskopisi Analizi (SIMS)

3.3.1. X-Işını Toz Kırınımı Analizi (XRD)

X-Işını toz kırınımı analizi (XRD) angstrom (Å) mertebesindeki elektromanyetik dalgaların, incelenen örneğin kristal düzlemlerindeki atomlardan yansması ve bu yansımaların oluşturduğu girişim desenlerinin analizi ile yapılır. Kristal düzlemler arasındaki mesafe ile aynı mertebede olan elektromanyetik dalgalar incelenen örneğe gönderildiğinde, düzlemler üzerindeki atomlardan saçılırlar. Ancak bu saçılmaların şiddeti belli noktalarda yüksek olmaktadır. Şiddeti yüksek olan bu noktalar incelenen malzemenin karakteristik piklerini göstermektedir. Bu sayede incelenen malzemenin türü belirlenebilir. Ayrıca bu yöntemle incelenen malzemenin kristalit büyüklüğü de Scherrer formülü ile hesaplanabilmektedir.

$$t = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta_B}$$

Yukarıda verilen Scherrer formülünde t kristalit büyüklüğünü, λ ışının dalga boyunu, β radyal olarak pik boyunun yarısının genişliğini (FWHM) ve θ_B ise pikin bulunduğu 2θ değerinin yarısını yani Bragg açını verir.



Şekil 3.5: Hacettepe Üniversitesi Süperiletkenlik ve Nanoteknoloji Grubu laboratuvarında bulunan XRD ölçümlerinin yapıldığı sistem.

Hazırlanan örneklerin XRD analizleri Hacettepe Üniversitesi Süperiletkenlik ve Nanoteknoloji Grubu laboratuvarında, Rigaku marka cihaz ve 1.5418 \AA dalga boylu CuK_{α} ışını kaynağı ile yapılmıştır.

3.3.2. Raman Spektroskopisi Analizi

Raman spektroskopisi, moleküller arasındaki titreşimler hakkında bilgi veren analiz yöntemidir. Bu bilgiler sayesinde incelen malzemenin ne olduğu ve miktarı bulunabilir. Tekniğin çalışma prensibi monokromatik ışık kaynağının (genellikle lazer tercih edilir) örneğin üzerine düşürülerek, örnekten yansıyan fotonların analizine dayanmaktadır. Saçılan fotonların büyük bir çoğunluğu ışık kaynağı ile aynı frekansta olmaktadır. Bu saçılmaya Rayleigh ya da elastik saçılma denir. Saçılan fotonların küçük bir kısmının frekansı ise malzemenin titreşim enerjisi ve gelen elektromanyetik dalganın etkileşmesi sonucu değişir. Değişen fotonların yoğunluğuna karşılık frekansın sonucu ise malzemenin Raman spektroskopisini verir. Malzemelerin titreşim enerjileri birbirinden farklı olduğu için her malzemedeki frekansı değişen foton yoğunluğu farklı yerlerde çıkar. Bu sonuçlar ve literatürdeki veriler kullanılarak da malzemenin ne olduğu bulunmaktadır.



Şekil 3.6: Bilkent Üniversitesi UNAM’da bulunan Raman ölçümlerinin yapıldığı cihaz.

Hazırlanan örnekler Bilkent Üniversitesi UNAM’da bulunan, WITec alpha300 S model cihaz ve ışık kaynağı olarak da 40mW gücünde ve 532nm dalga boyuna sahip Neomydium YAG solid-state lazer ile analiz edilmiştir.

3.3.3. Taramalı Elektron Mikroskopisi Analizi (SEM)

SEM ölçümleri yüksek vakumdaki bir sistemde bulunan elektron tabancasından çıkan elektronların örneğin üzerine düşürülmesi ve örnekten yansıyan elektronların analiz edilerek örneğin fiziksel yapısının görüntüsünü elde etmeye yarayan bir yöntemdir. Bu yöntem ile 30nm seviyesindeki yapıların bile görüntüsü elde edilebilir. SEM ile 3 farklı analiz yöntemi vardır. İlki ikincil elektronlar yardımı ile yapılan analizdir. Bu analiz tekniği en çok tercih edilen analiz tekniğidir çünkü bu analiz yöntemi ile klasik yüzey topografisi elde edilir. İkinci teknik geri yansıyan elektronların yardımı ile yapılan analizdir. Bu teknik ile yapıdaki farklı malzemeler atom ağırlıklarına göre farklı parlaklıklarda görünerek yapıdaki malzeme dağılımı hakkında bilgi verir. Son teknik ise malzemedan saçılan x ışınlarını kullanarak yapılan analizdir. Bu analizin sonucunda ise incelenen malzemede bulunan elementler bulunabilir.



Şekil 3.7: Bilkent Üniversitesi UNAM’da bulunan SEM analizlerin yapıldığı sistem. Hazırlanan örneklerin ölçümleri Bilkent Üniversitesi UNAM’da bulunan cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.4. İkincil İyon Kütle Spektroskopisi Analizi (SIMS)

SIMS tekniği katı yüzeylerin ve ince filmlerin kompozisyonunu analiz etmemize yarayan bir tekniktir. Bu teknik örnek yüzeyinin iyon demeti yardımı ile kazınması ve bu esnada elde edilen ikincil iyonların toplanılarak analiz edilmesine dayanır. Bu ikincil iyonların kütle/yük oranlarının kütle spektroskopisi ile analiz edilerek yapıdaki moleküllerin kompozisyonu hakkında bilgi sahibi olunur. SIMS tekniği en hassas yüzey analizi tekniklerinden biridir.

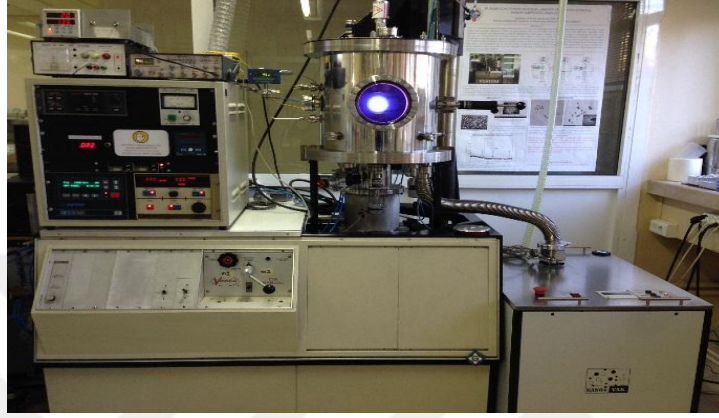


Şekil 3.8: SIMS ölçümlerinin yapıldığı sistem.

Hazırlanan örneklerin ölçümleri Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulamalar ve Araştırma Laboratuvarında Hiden Analytical SIMS/SNMS cihazı ile 10^{-10} mbar basınçta ve 3850 eV’luk O_2 bombardımanında gerçekleştirilmiştir.

3.4 Örneklerin Hazırlanması

Tez çalışmasında öncelikli olarak ZnO-Ge ince film kaplamaların yapı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla p tipi Si alttaş üzerine kaplamalar yapıldı. Bu kaplamaların analizleri yapıp sonrasında aynı kaplamalar p tipi Si nanoteller üzerine gerçekleştirildi. İnce film kaplama işlemleri Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği SNTG laboratuvarında bulunan Magnetron Sputter sistemi ile yapıldı.



Şekil 3.9: Hacettepe Üniversitesi Süperiletkenlik ve Nanoteknoloji Grubu laboratuvarında bulunan örneklerin hazırlandığı magnetron sputter sistemi.

Üzerlerine ince film kaplanacak olan p tipi Si alttaşlar sırasıyla HF, saf su ve alkol içerisinde batırılarak temizlendi ve üzerindeki oksit tabakası kaldırıldı. Ar gazı yardımı ile durulanan alttaşlar kaplama için hazır hale getirildi. Her deney setinde 4 adet Si alttaş hazırlandı. Hazırlanan alttaşlar vakum kazanına yerleştirildi ve sistem önce mekanik ardında turbo moleküler pompa yardımıyla vakuma alındı. Vakum seviyesi 1mTorr seviyesine indiğinde vakum kazanı kalan atmosfer gazlarını temizlemek için Ar gazı ile 3 kere arka arkaya temizlendi, soğutma suyu açıldı ve sonrasında kaplama işlemine başlandı. Şekilde görüldüğü gibi ilk olarak ZnO ince film tabakası olacak şekilde 6 kat ZnO ve 5 kat Ge ince film tabakaları kaplandı. R kaplamalarda ZnO ince film tabakalarını kaplarken vakum kazanının basıncı 45 mTorr Ar ve 5 mTorr O₂ olacak şekilde 50 mTorr olarak ayarlandı. RO kaplamalarda ise vakum kazanı basıncı 45 mTorr olacak şekilde sadece Ar gazı ile dolduruldu. ZnO hedef RF güç kaynağı ile 100 Watt güç ile beslendi. 10 dk süre ile kaplama gerçekleştirildikten sonra ZnO hedefe verilen güç kesildi, O₂ gaz vanası kapatıldı ve vakum kazanı basıncı Ar gazı ile 45 mTorr seviyesine indirildi. Sonrasında DC güç kaynağı ile Ge hedefe 100 Watt güç uygulandı ve Ge ince film tabakasının kaplanmasına başlandı. Farklı deney setlerinde olmak üzere 1dk, 2dk

ve 3dk süreler ile Ge ince filmleri kaplandı. Sonrasında aynı işlemler tekrarlanarak ZnO ve Ge ince film katmanları oluşturuldu. En üst tabakaya kaplanan ZnO ince film tabakası diğerlerinden farklı olacak şekilde 10 dk değil 20 dk süre ile kaplandı. Kaplama işlemleri bittikten sonra kazanın içi yaklaşık olarak 500 mTorr Ar gazı ile doldurularak hazırlanan örnekler soğumaya bırakıldı. Sonrasında çıkarılan örneklerden 3 tanesine 600°C'de 30s, 60s ve 90s süreler ile RTA işlemi yapıldı. 1 örnek ise ısı işlemsiz olan yapıyı görmek için tavlansız olarak bırakıldı. Bu deney setleri hem R hem de RO kaplamalar için tekrarlandı ve hazırlanan örnekler incelendi. Tablo 3.1'de hazırlanan deney setleri ve örnekler verilmektedir.

R Örnekler - Ge kaplama süreleri 1dk, 2dk ve 3dk	1. Örnek ZnO-Ge	2. Örnek ZnO-Ge	3. Örnek ZnO-Ge	4. Örnek ZnO-Ge
Tavlama Süresi (Saniye)	-	30	60	90
RO Örnekler – Ge kaplama süreleri 1dk, 2dk ve 3dk	1. Örnek ZnO-Ge	2. Örnek ZnO-Ge	3. Örnek ZnO-Ge	4. Örnek ZnO-Ge
Tavlama Süresi (Saniye)	-	30	60	90

Tablo 3.1: P tipi Si alttaş üzerine hazırlanan örnekler.

P tipi Si alttaş üzerinde hazırlanan örnekler elde edildikten sonra aynı işlemler p tipi Si nanotellerden oluşan alttaşlar üzerinde tekrarlandı. Si nanotel alttaş kullanılan örnekler yine R ve RO olarak hazırlandı. Diğer deney setlerinden farklı olarak Si nanotel alttaşlar ile hazırlanan örneklerde Ge tabakası 3 dk süre ile kaplandı ve RTA işlemi sadece 60s olacak şekilde yapıldı. Tablo 3.2'de Si nanotel alttaşlar ile hazırlanan deney setleri ve örnekler verilmektedir.

R Örnekler – Ge kaplama süresi 3dk	1. Örnek ZnO-Ge	2. Örnek ZnO-Ge
Tavlama Süresi (Saniye)	-	60
RO Örnekler – Ge kaplama süresi 3dk	1. Örnek ZnO-Ge	2. Örnek ZnO-Ge
Tavlama Süresi (Saniye)	-	60

Tablo 3.2: P tipi Si nanotel alttaş üzerine hazırlanan örnekler.

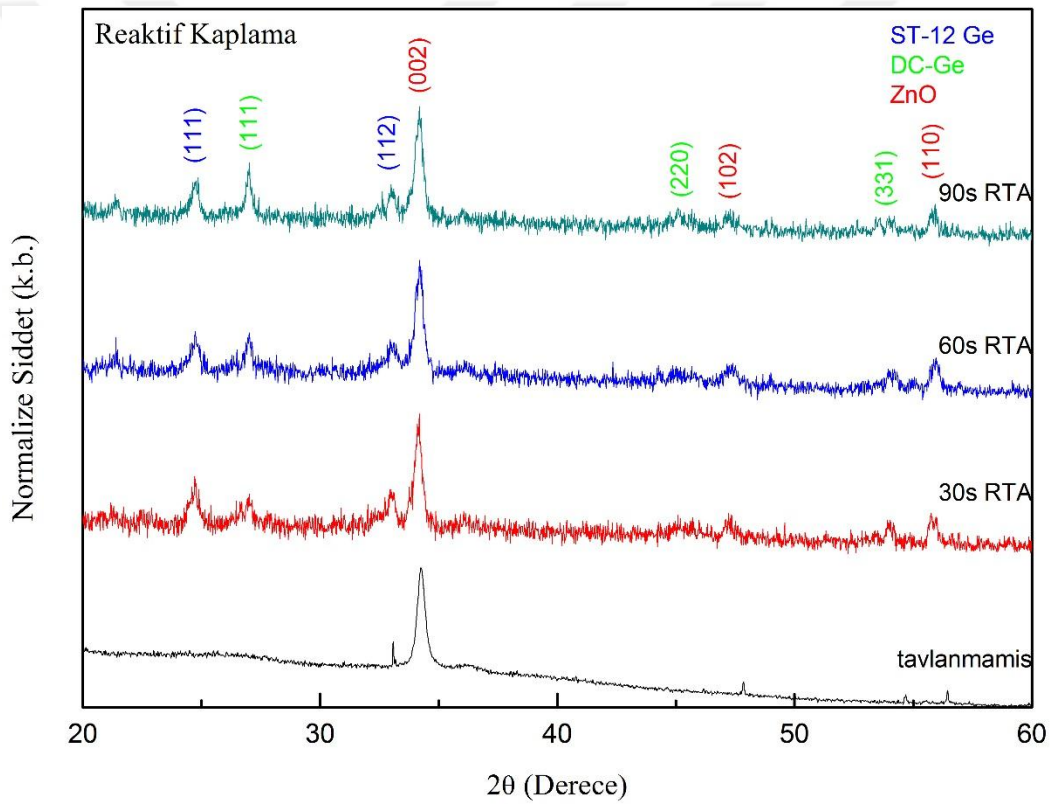
3.5. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

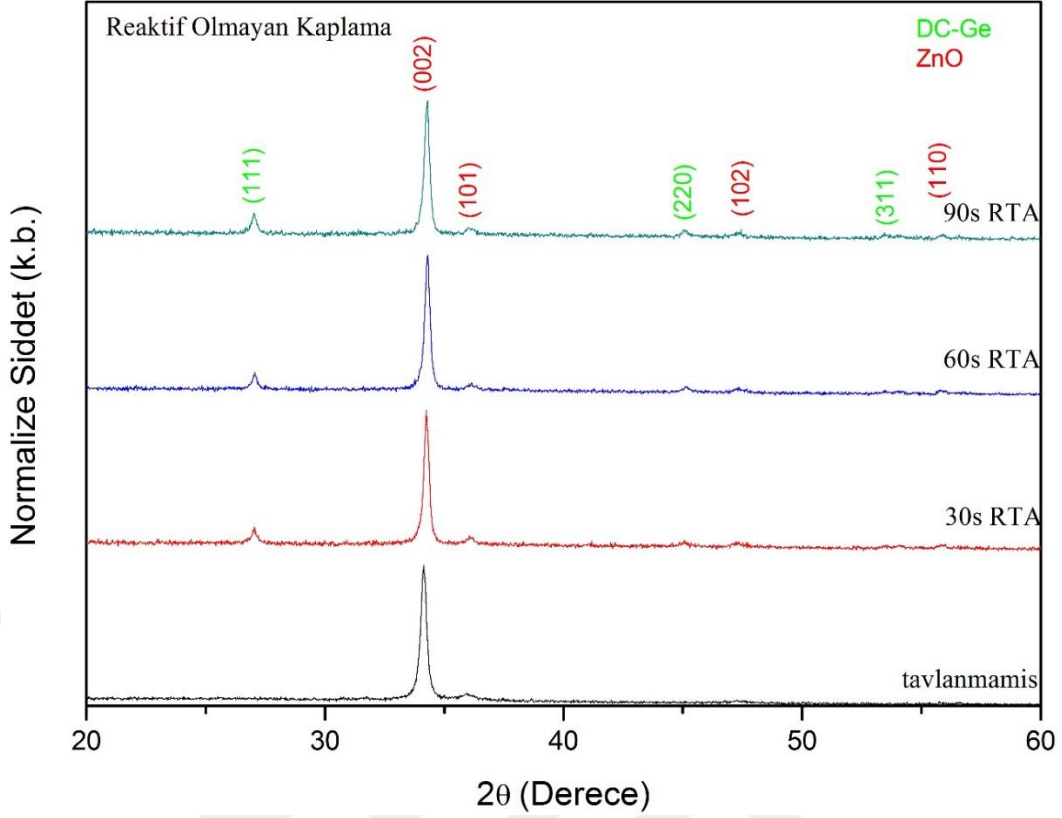
Yapılan deneyler sonucu elde edilen örneklerin analizlerinin sonuçları 4 başlık altında incelendi ve yorumlandı.

3.5.1. Reaktif ve Reaktif Olmayan Kaplamaların Etkisi

P tipi Si alttaşlar üzerinde hazırlanan örnekler R ve RO olmak üzere iki çeşitte hazırlandı. Bu örneklerin XRD, SIMS, SEM ve Raman analizleri sonuçları üzerinden R ve RO kaplamaların etkisi incelendi.

R ve RO ortamlarda hazırlanan örneklerin XRD desenleri Şekil 3.8' de gösterilmektedir. ZnO, DC-Ge ve ST-12 Ge'un XRD desenlerinde ki yerleri JCPDS 75-0576, 04-0545, ve 72-1089 kartları kullanılarak belirlendi.



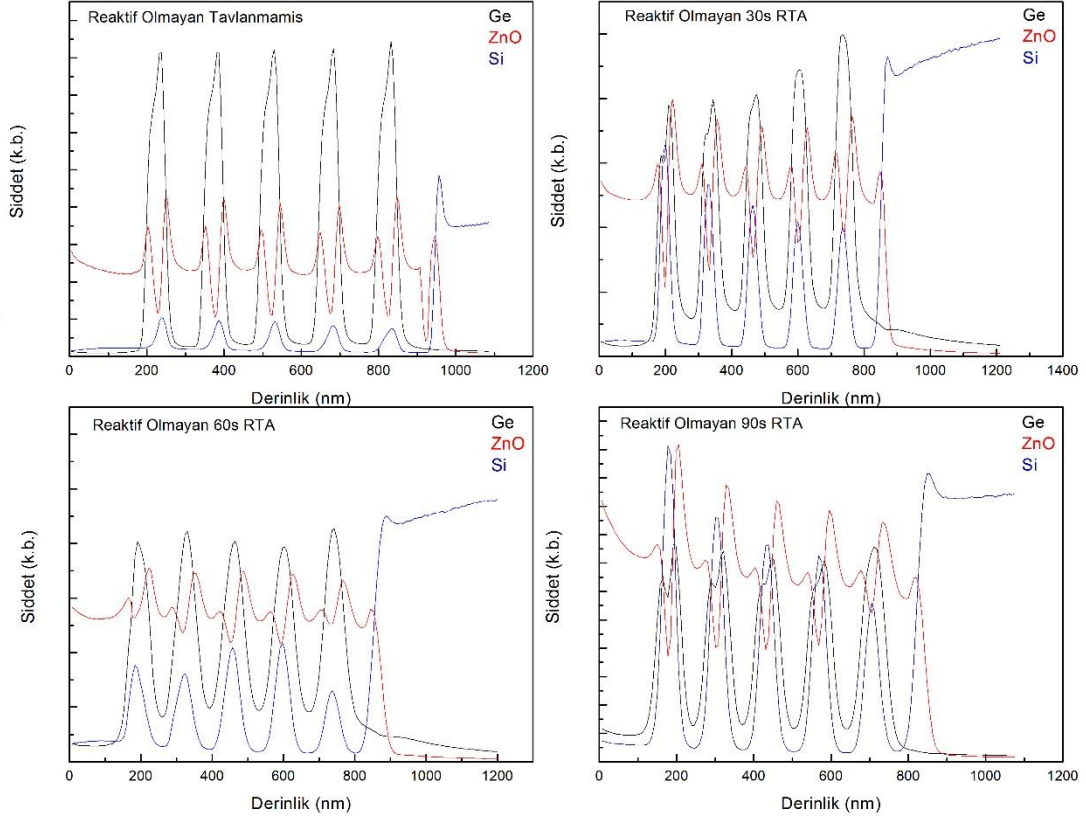


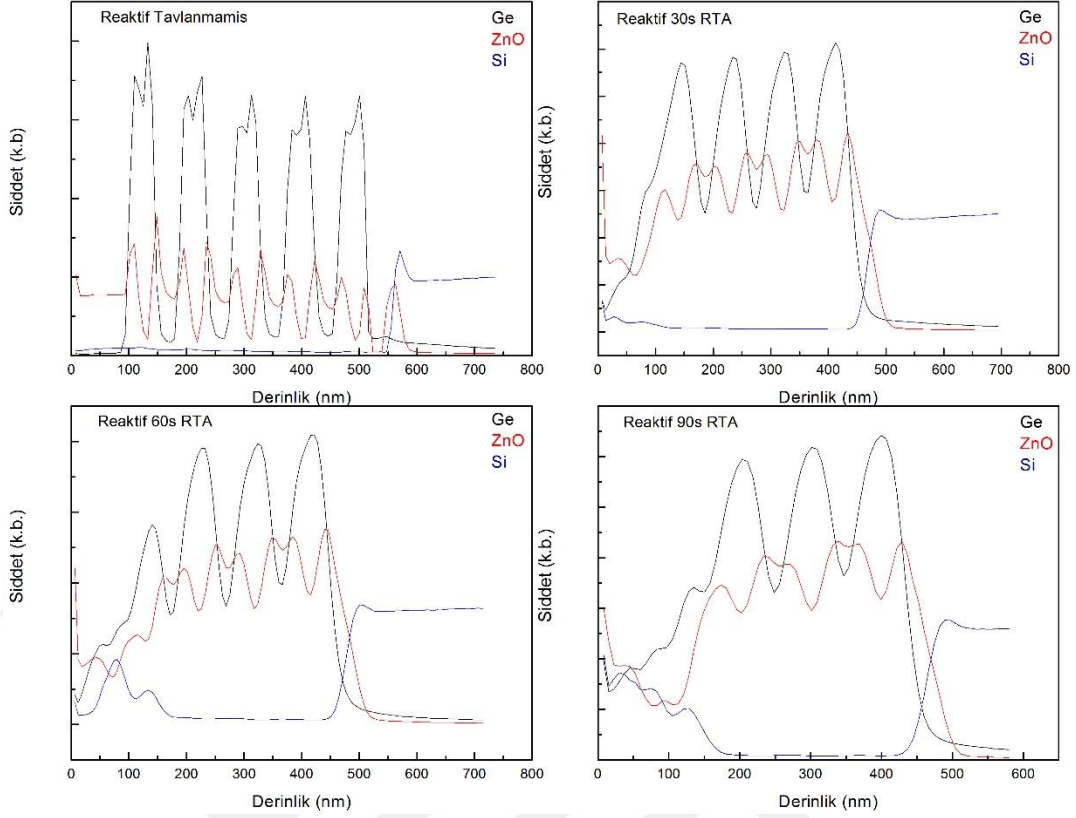
Şekil 3.10: P tipi Si alttaş üzerine hazırlanan örneklerin XRD desenleri.

R ve RO ortamlarda hazırlanan ince film örneklerin kristal yapılarının incelenebileceği başlıca analizlerden biri XRD analizidir. İlk olarak her iki ortamda hazırlanan 3dk süre ile Ge kaplanan tavlansız örneklerin XRD analizlerine bakılacak olursa, iki örnekte de sadece ZnO (002) pikinin elde edildiği görülmektedir. İnce filmlerin, atomların üstte üstte büyümesi sonucu elde edildiği düşünülecek olursa bu şekilde bir yönelime sahip olmaları zaten beklenmektedir.

RO ortamda hazırlanan örneklerde ST-12 Ge yapısı görülmemesinin sebebi yapıda olan boşluklardır. ZnO ince film tabakasının kaplanma hızı yüksek olduğu için ZnO atomları her yere kaplanmamakta, yığın halde birbiri üzerine büyümekte ve düzgün bir ince film yüzey oluşturamamaktadır. Bu yüzden kaplama işlemi sırasında yapıda boşluklar oluşmakta ve bu boşluklara da Ge atomları yerleşmektedir[46]. Boşlukların boyutu büyük olduğu için burada bulunan Ge atomları birleşerek 20nm kritik değerinin çok üzerine çıkarak DC-Ge yapısı oluşturur[47, 48]. R kaplamada ise, ZnO tabakası aynı kaplanma hızında kaplanmasına rağmen ortamda bulunan O₂ atomlarının da yapıya girmesiyle daha düzgün bir ince film katmanı oluşturur. Bu yapıda büyük boşluklar oluşmaz ve Ge atomları büyüebilecekleri yeterli alanı bulamazlar. Bazı yerlerde Ge atomlarının

kristal boyutu 20nm üzerinde olur ve buralarda DC-Ge yapısı görülürken, bazı yerlerde ise yeterli boşluğu bulamaz ve Ge atomlarının kristal boyutu 20nm civarında kalarak ST-12 Ge yapısı görülür. Bu boşluklu yapıyı daha iyi anlamak ve analiz etmek için SIMS analizi verilerini kullanmak daha doğru olur. Şekil 3.9 R ve RO ortamda hazırlanan örneklerin SIMS profillerini göstermektedir.



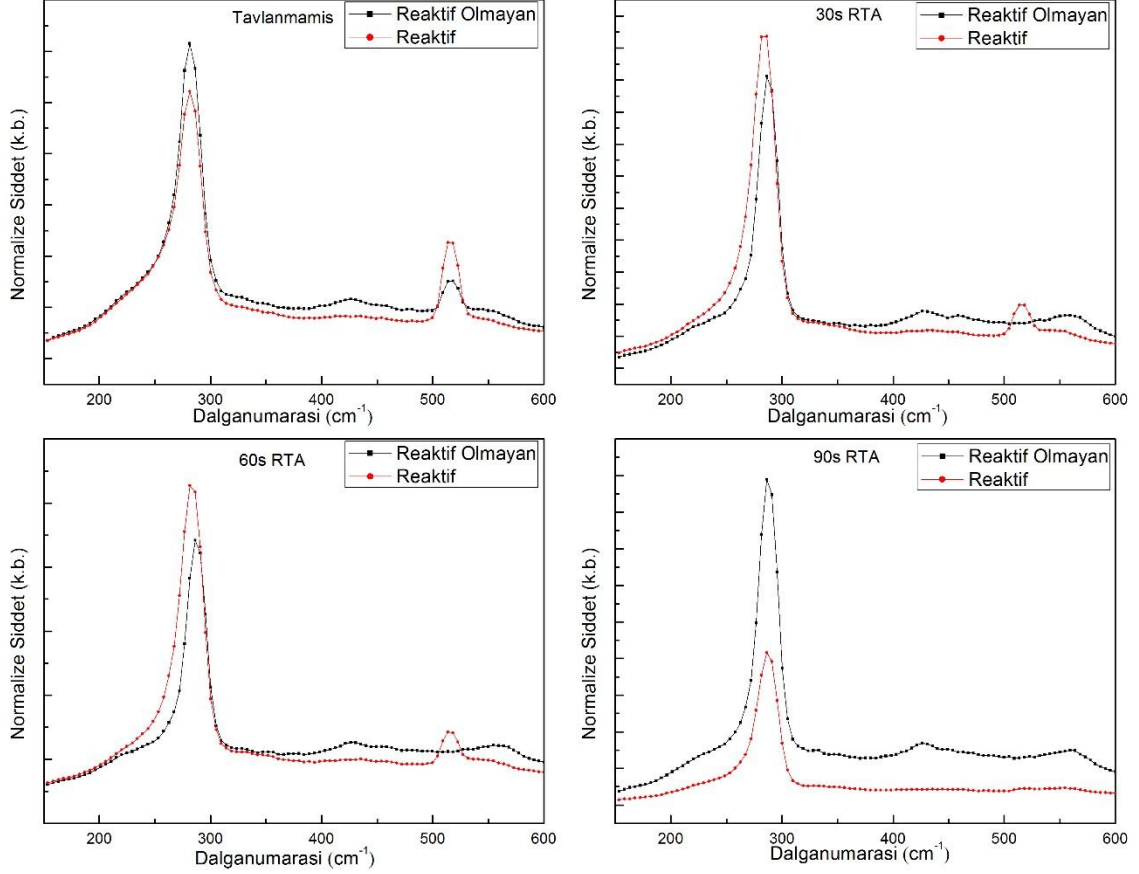


Şekil 3.11: P tipi Si alttaş üzerine hazırlanan örneklerin SIMS profilleri.

R ve RO ortamlarda hazırlanan tavlınmamış örneklerin SIMS profilleri incelendiğinde iki örnekte de ince film katmanları net bir şekilde görülmektedir. Ancak RO ortamda hazırlanan örnekte Ge ve ZnO piklerinin haricinde Si pikleri de Ge ince film tabakasının olduğu yerlerde görülüyor. Bu sonuç RO ortamda hazırlanan örneklerde boşluklu bir yapı olduğunu ve bu boşluklara da Ge atomlarının yerleştiğini gösterir. R ortamda hazırlanan örnekte ise Si piki gözükmemektedir. Bu sonuçta yine aynı şekilde R ortamda hazırlanan örneklerde boşlukların olmadığını ve daha düzgün bir ince film tabakası olduğunu kanıtlar.

İki farklı ortamda hazırlanan örneklerin SIMS profillerinden çıkan bir diğer önemli sonuç ise ince filmlerin kalınlıkları arasındaki farktır. RO ortamda kaplanan son katman olan 20 dakikalık ZnO katmanının kalınlığı yaklaşık olarak 200nm'dir. R ortamda kaplanan son katman olan 20 dakikalık ZnO katmanının kalınlığı ise yaklaşık olarak 100nm'dir. Ortaya çıkan bu büyük farkın sebebi ise kaplanma hızına bağlı olarak oluşan boşluklardır. RO ortamda hazırlanan örneklerde kaplama başladığı andan itibaren oluşan boşluklar kapanmamakta ve ZnO atomları hep birbiri üzerine büyümektedir bu yüzden bu şekilde oluşturulan ince film katmanının kalınlığı R ortamda hazırlanan örneklere göre yaklaşık iki katıdır.

Çünkü R ortamda hazırlanan örneklerde yapının içerisine giren O₂ atomları daha az boşluklu ve daha düzgün bir ince film oluşturmakta, ZnO atomları her noktada büyüebilmektedir. Hazırlanan ince film örneklerin kristal yapıları hakkında bilgi verebilecek bir diğer analiz ise Raman analizidir. Şekil 3.10 bize R ve RO ortamlarda hazırlanan örneklerin Raman analizlerini göstermektedir.

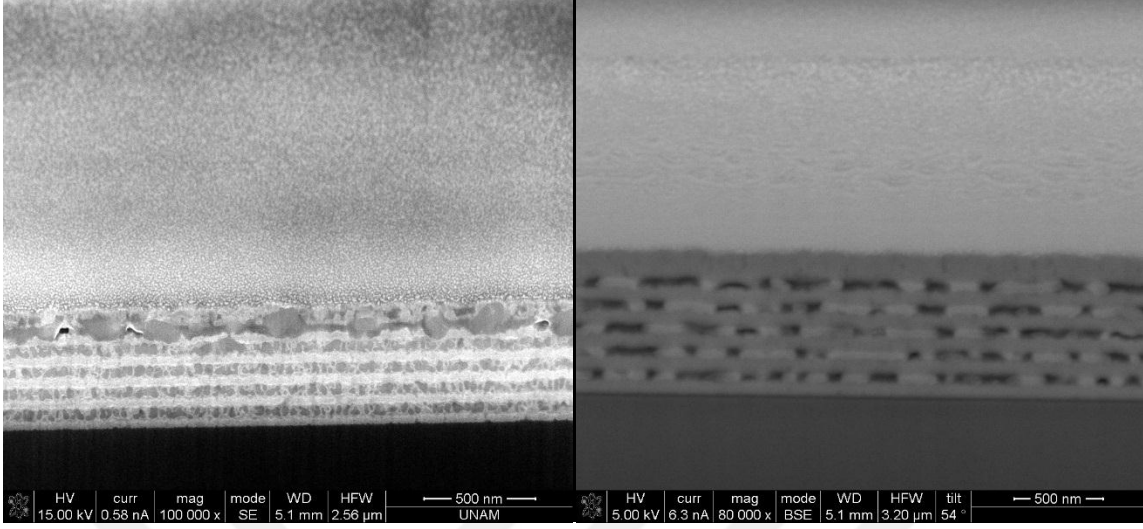


Şekil 3.12: P tipi Si alttaş üzerine hazırlanan örneklerin Raman analizleri.

R ve RO ortamlarda hazırlanan ince film örneklerin Raman analizleri incelendiğinde 281.21 cm^{-1} ve 297.22 cm^{-1} dalğanumarası arasında Ge-Ge piki görülmektedir. Bu pik bulk yapıdaki Ge'un Raman pikine göre (300 cm^{-1}) sol tarafa kaymıştır[49]. Bunun sebebi Ge ve ZnO arasındaki örgü yapının uyumsuzluğu sonucu oluşan gerilmedir[49]. Raman analizi sonucu elde edilen asimetric şeklindeki pikler amorf haldeki Ge'dan ve ST-12 Ge yapısından kaynaklıdır. Tavlınmamış örnekleri incelersek iki ortamda da hazırlanan örneklerin Ge-Ge bağıını gösteren pikleri asimetrictir. Bunun sebebi yapıdaki Ge'un amorf halde olmasından kaynaklanmaktadır.

R kaplama sonucu yapıdaki boşluklar az olduğu için ST-12 Ge yapısının oluştuğunu, RO kaplamada ise boşlukların büyük olduğunu bu yüzden ST-12 Ge

yapısının görülmediğinin bir diğer kanıtı ise iki örnek içinde alınan SEM görüntüleridir.

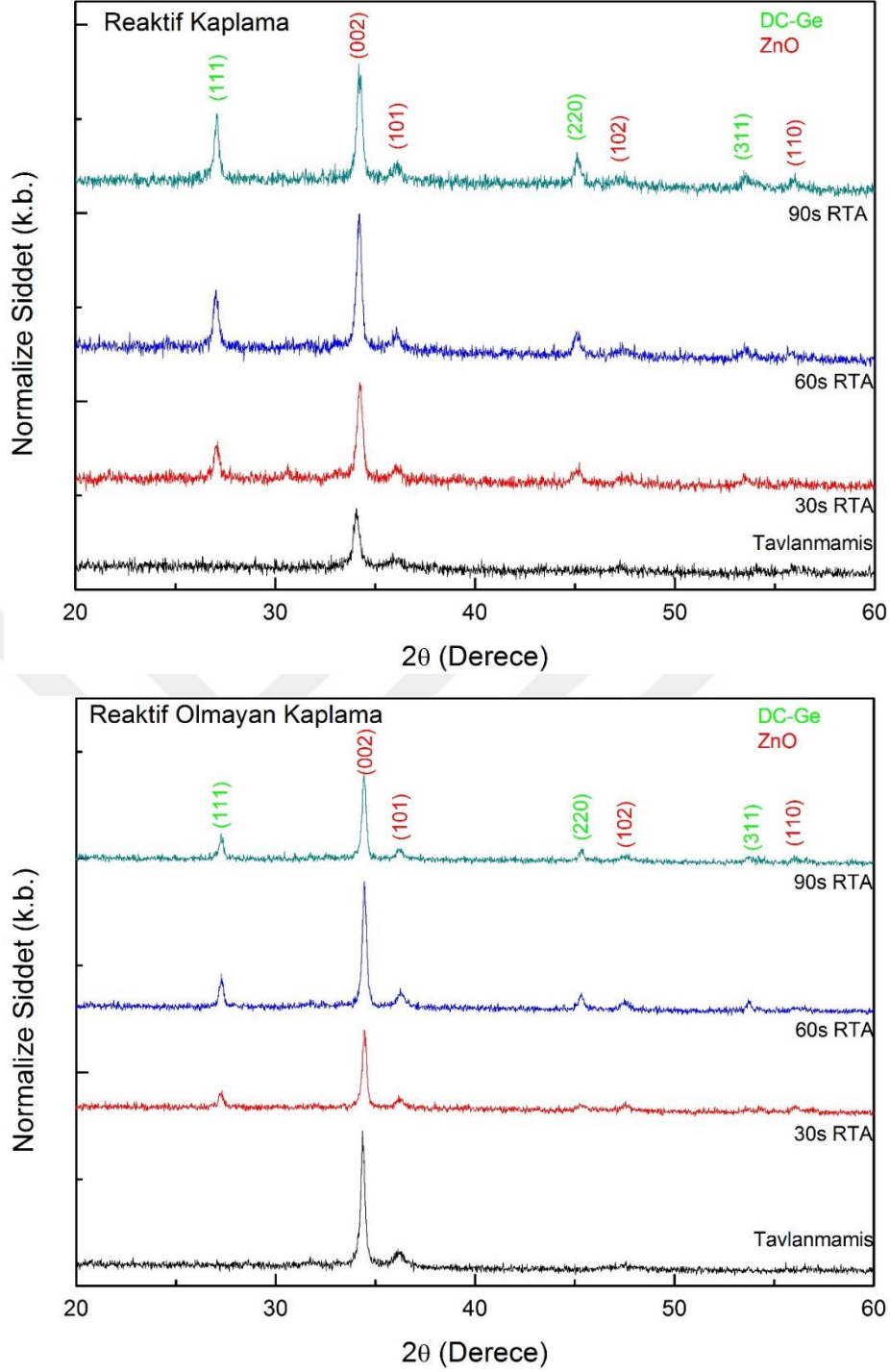


Şekil 3.13: P tipi Si alttaş üzerine hazırlanan örneklerin SEM görüntüleri.

Şekil 3.11'de gösterilen SEM görüntülerinden RO kaplama ile hazırlanan örneklerin yapısındaki boşluklar rahatlıkla görülmektedir. Aynı şekilde R kaplama ile hazırlanan örneklerde boşluklar daha azdır. Elde edilen bu SEM görüntüleri R kaplamalarda ST-12 Ge yapısının elde edilirken RO kaplamalarda bu yapının neden elde edilemediğini kanıtlar niteliktedir.

3.5.2. Si Nanotel Yapıdaki Alttaşların Etkisi

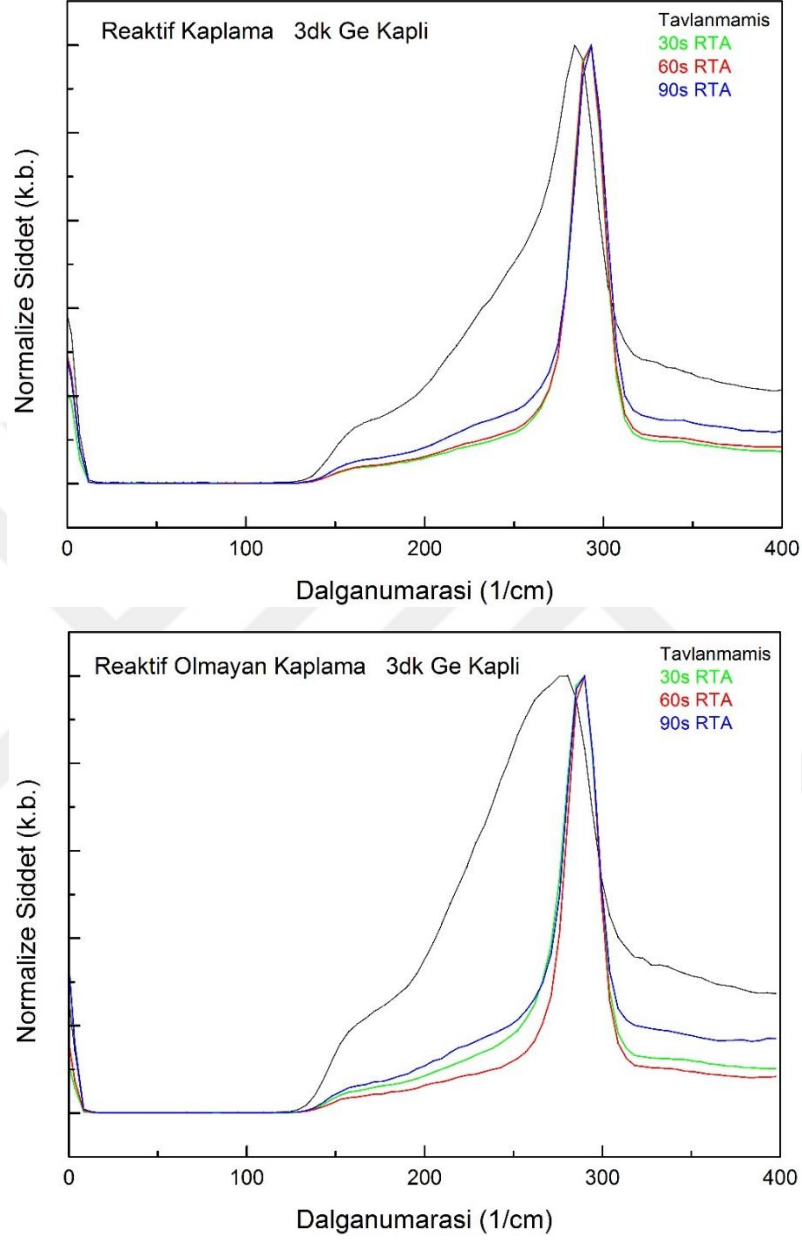
P tipi Si nanotellerin üzerinde hazırlanan örneklerin XRD deseni incelendiğinde ise P tipi Si alttaş üzerine hazırlanan örneklerden daha farklı sonuçların çıktığı görüldü.



Şekil 3.14: P tipi Si nanotel alttaş üzerine hazırlanan örneklerin XRD desenleri.

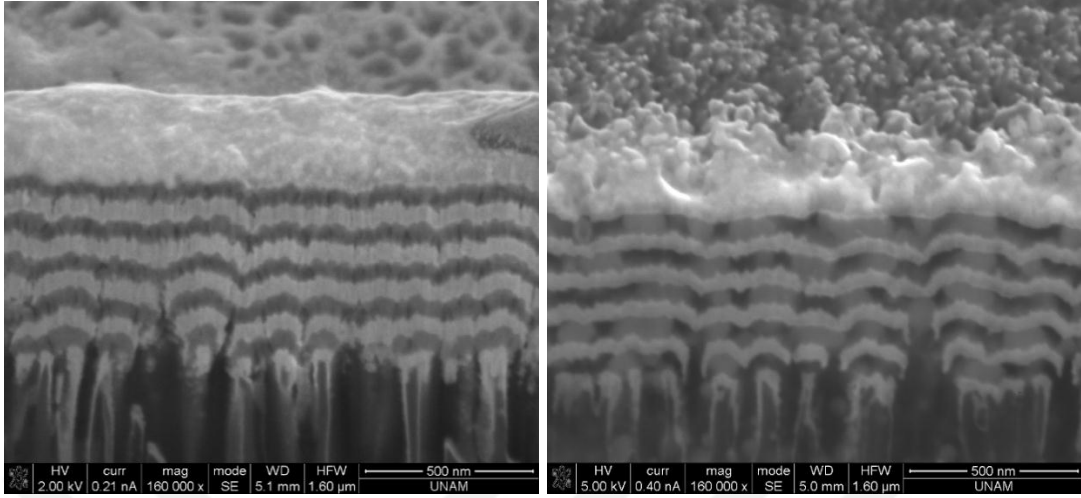
Şekilde görülen Si nanoteller üzerine hazırlanan örneklerin XRD desenlerinde yapının sadece ZnO ve DC-Ge'dan oluştuğu görülmektedir. R kaplama ile elde edilen örneklerde de Si alttaş üzerine hazırlanan örneklerden farklı olarak sadece DC-Ge yapısının olduğu görülüyor. Bunun sebebi Si nanotel yapısının yüzey alanının Si alttaşdan daha büyük olması Si nanotel yapısında yapıdan kaynaklı olarak boşlukların bulunmasıdır. Bu boşlukların Ge atomlarının birleşerek DC-Ge

yapısını oluşturmasına yardımcı olduğunu ve Ge atomlarının büyüklüklerinin ST-12 Ge yapısı için kritik değer olan 20 nm'den daha büyük hale geldiği için yapıda sadece DC-Ge'un görülmesine neden olmaktadır.



Şekil 3.15: P tipi Si nanotel alttaş üzerine hazırlanan örneklerin Raman analizleri. Si nanotel alttaşların üzerine hazırlanan örneklerin Raman analizleri incelendiğinde Ge-Ge piklerinin bulk yapıdaki Ge pikine göre sol tarafa kaydığı görülmektedir. Bunun sebebi ZnO ve Ge yapıları arasında oluşan gerilmeden dolaydır. Asmade rneklerin Ge-Ge piklerinin asimetrik olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Ge'un bulk yapıda olmasıdır. Isıl işlem görmüŐ örneklerin Ge-Ge

bağlarını gösteren pikler ise simetriktir. Bu sonuç yapıda DC-Ge'un bulunduğunu gösterir.

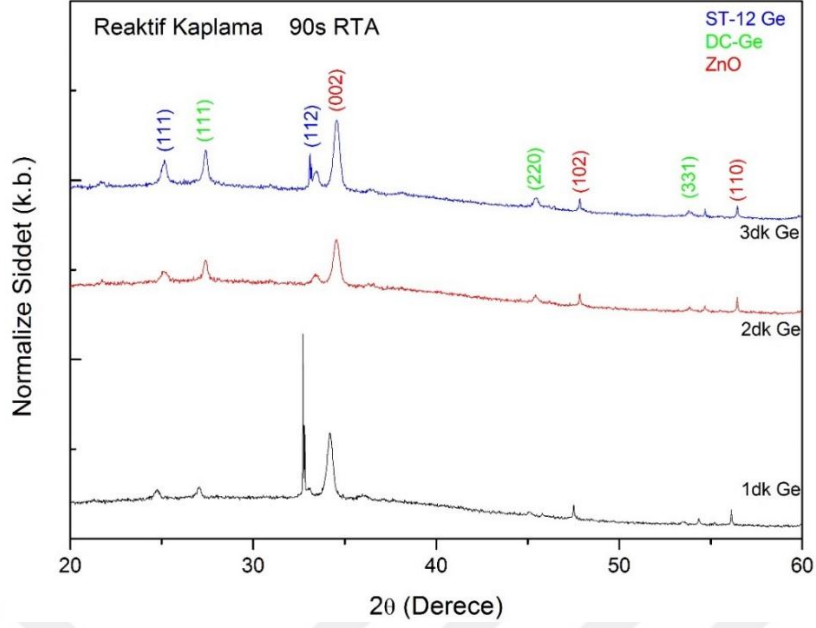


Şekil 3.16: P tipi Si nanotel alttaşların üzerine hazırlanan örneklerin SEM resimleri.

Hazırlanan örneklerin SEM görüntüleri incelendiğinde R olarak Si nanotel alttaşın üzerinde hazırlanan örneklerin Ge katmanlarındaki boşlukların RO olarak hazırlanan örneklere göre daha az olduğu görülmektedir. Ancak diğer analizlerin sonuçlarından yola çıkarak bu durumun ST-12 Ge fazının oluşması için yeterli olmadığı söylenebilir. Ayrıca yine bu SEM görüntülerinden ince filmin kaplandığı yüzey alanın büyüdüğü görülmektedir.

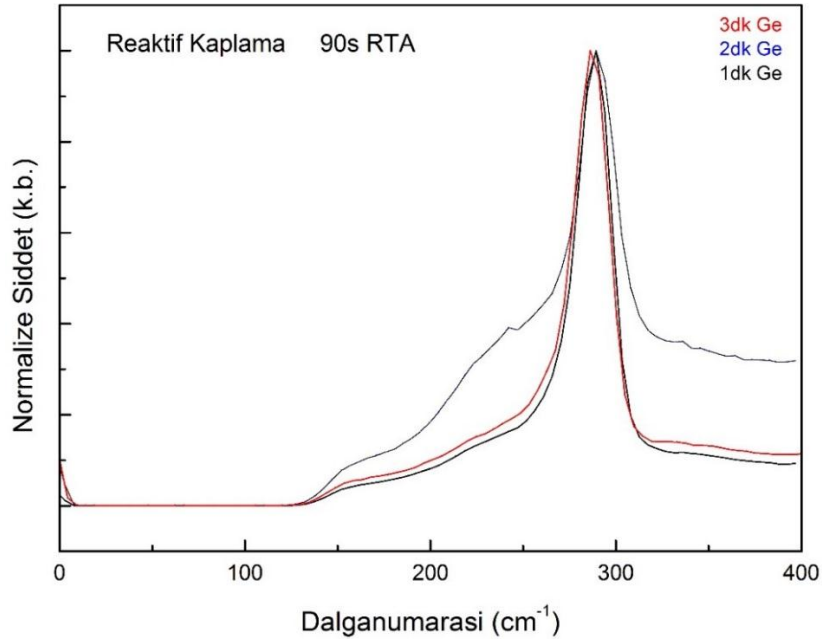
3.5.3. Ge Kalınlığının Etkisi

Ge kalınlığındaki değişimin örnekler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla p tipi Si alttaş üzerine ZnO-Ge çok katlı yapılar hazırlandı. Bu yapılar hazırlanırken üç farklı deney seti oluşturuldu. Bu deney setlerinde Ge kalınlığını değiştirmek için Ge elementinin kaplanma süreleri 1dk, 2dk ve 3dk olarak belirlendi. Kaplamaların hepsi R ortamda gerçekleştirildi.



Şekil 3.17: P tipi Si alttaş üzerine hazırlanan 90s RTA yapılmış örneklerin XRD desenleri.

Hazırlanan örneklerin XRD desenleri şekildeki gibidir. XRD sonuçlarından Ge kaplama süresinin arttıkça Ge piklerinin beklenildiği gibi şiddetinin arttığı gözlemlendi. Özellikle Ge'un ST-12 fazının piklerinin şiddetinin kaplama süresi yani Ge kalınlığı arttıkça büyüdüğü görüldü. Bunun sebebi ortamdaki Ge miktarının artması ve bunun sonucunda yapıdaki ST-12 Ge ve DC-Ge oluşumlarının artmış olmasıdır.



Şekil 3.18: P tipi Si alttaş üzerine hazırlanan 90s RTA yapılmış örneklerin Raman analizleri.

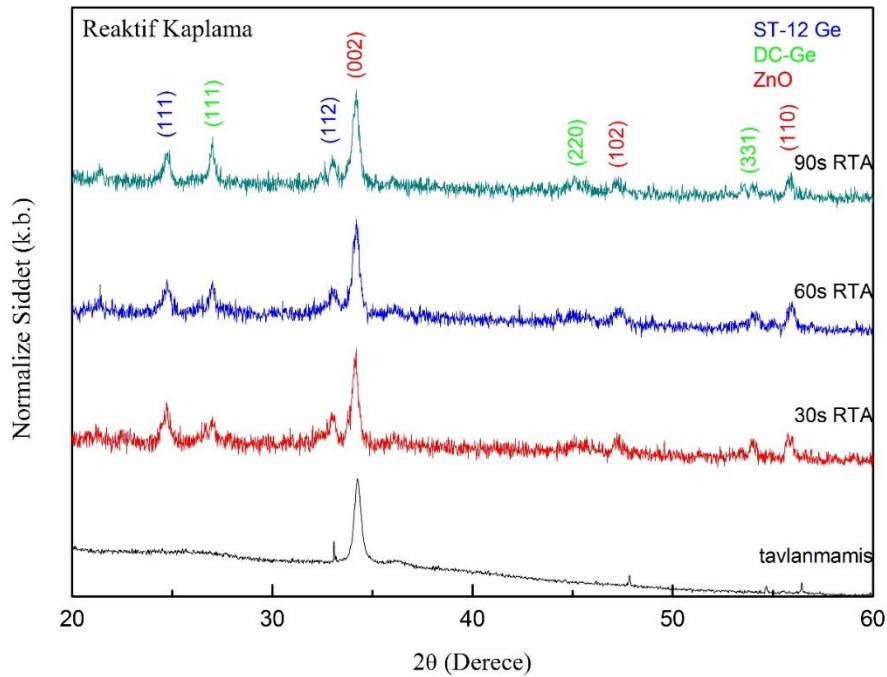
Hazırlanan örneklerin Raman analizlerini incelediğimizde de aynı etkiyi görebiliriz. 1dk kaplı örneklerin Ge-Ge pikleri daha simetrikken kaplama süresi arttıkça Ge-Ge piklerindeki simetrinin bozulduğu gözlenmektedir. Raman analizindeki Ge-Ge piklerinin asimetrik olmasının sebebini daha önce yapıdaki ST-12 fazındaki Ge'dan kaynaklandığı belirtilmişti. Bu elde ettiğimiz sonuçta Ge kaplama süresinin artmasıyla ST-12 fazındaki Ge miktarının arttığının kanıtıdır.

Yapılan değerlendirme sonucu yapıdaki ST-12 Ge fazının etkisini incelemek istediğimizden dolayı sonraki deney setlerinde Ge kaplama süresi 3dk olarak belirlendi.

3.5.4. Isıl İşlem Süresinin Etkisi

Hazırladığımız ZnO-Ge çok katlı yapıları RTA tekniği ile ısıl işleme tabi tutuldu. Yapının ısıl işlem süresinin değişmesiyle vereceği tepkileri ölçmek adına ısıl işlem süresini 30s, 60s ve 90s olarak değiştirilip farklı deney setleri hazırlandı.

P tipi Si alttaş üzerine Ge katmanları 3dk süre ile kaplanacak şekilde hazırlanan ZnO-Ge çok katlı yapıların ısıl işlem süresine göre değişimini incelemek için 4 adet örnek hazırlandı. Bu örneklerden bir tanesi tavlammış olarak bırakıldı. Diğer 3 örneğe ise 30s, 60s ve 90s sürelerle 600°C sıcaklıkta ısıl işlem uygulandı. Hazırlanan bu örneklerin XRD desenleri Şekil 3.17'de ki gibidir.



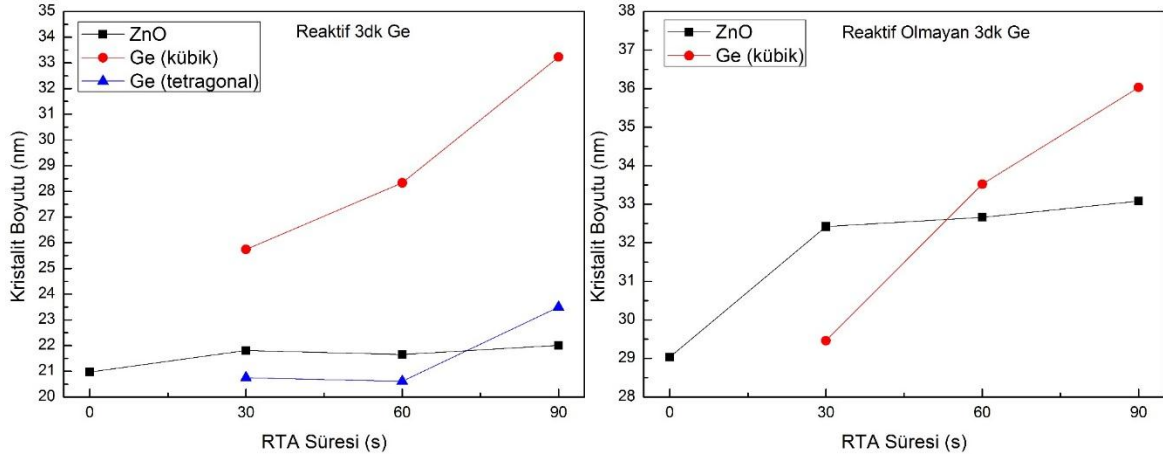
Şekil 3.19: P tipi Si alttaşların üzerine hazırlanan örneklerin XRD desenleri.

Tavlanmamış olan örnekte Ge katmanlarının kristal yapıda olmamasından dolayı Ge elementine ait pikler görülmektedir. Bu yüzden tavlanmamış olan örnekte sadece ZnO pikleri bulunmaktadır. Örnekler ısıtılma tabi tutulduğunda Ge katmanları kristallenmeye başlamakta ve farklı düzlemler ve kristal yapılara ait Ge pikleri görülmeye başlanmaktadır. Örnekler R ortamda hazırlandığı için yapıda Ge elementine ait hem ST-12 Ge hem de DC-Ge kristal yapısında ki pikler görülmektedir. Isıl işlem süresi arttıkça DC-Ge yapısına ait piklerin şiddetlerinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi ısı etkisi ile Ge atomlarının birleşmeye başlaması ve DC-Ge olarak kristallenmesidir. Ge yapısındaki ST-12 Ge'a ait piklerin şiddetinde büyük bir değişim gözlenmemektedir. Scherrer formülü ve XRD desenleri kullanılarak ZnO, DC-Ge ve ST-12 Ge kristal yapılarının kristal boyutları hesaplandı. Tablo 3.3 kristal boyutların değişimini göstermektedir.

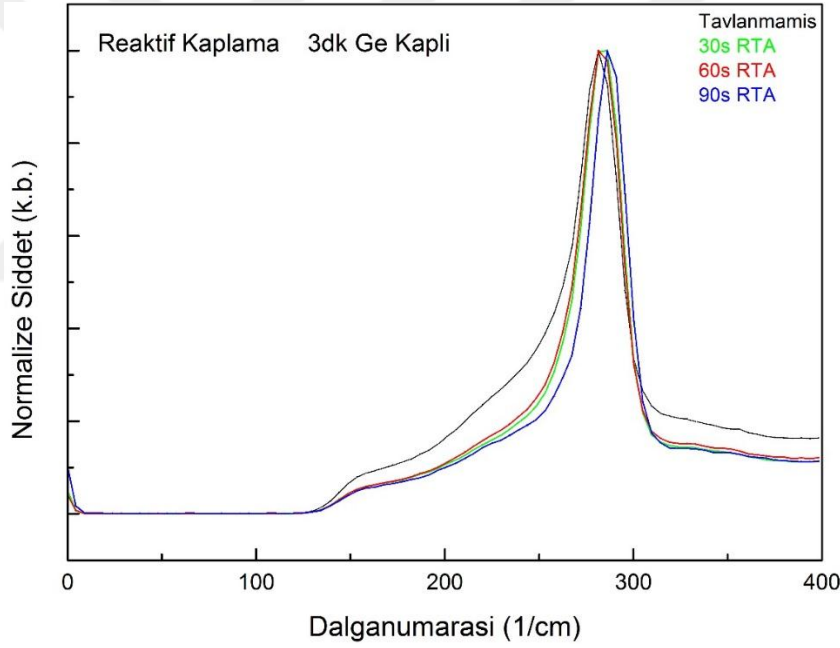
3dk Ge kaplı R örnekler	Kristal boyut – ST-12 Ge	Kristal boyut – DC-Ge	Kristal boyut – ZnO
90s RTA	20,75 nm	33,23 nm	22,01 nm
60s RTA	20,61 nm	28,33 nm	21,65 nm
30s RTA	21,08 nm	25,74 nm	21,81 nm
Tavlanmamış	-	-	20,97 nm

Tablo 3.3: P tipi Si alttaş üzerine 3dk Ge kaplı örneklerin kristal boyutları.

Hesaplanan kristal büyüklüklerine göre, ısıtılma süresi arttıkça DC-Ge'un kristal boyutu büyümektedir. Bu sonuç ortamdaki Ge atomlarının artan ısı ile birlikte birleştiklerini ve daha büyük yapılar oluşturduklarını göstermektedir. ST-12 Ge'un kristal boyutu ise ısıtılma sonucunda çok fazla bir değişim göstermemektedir. Bunun sebebi ise ST-12 yapısının oluşması için 20nm civarı kritik bir seviyedir[47, 48]. Kristal boyut 20nm'nin üzerine çıktığında yapı DC-Ge yapısına dönüşmeye başlamaktadır. Bu da bize ısıtılma sonucunda DC-Ge yapısının piklerinin şiddetlerinin neden arttığı açıklar. ZnO'in kristal boyutu ise ısıtılma sonucunda değişim göstermemektedir.



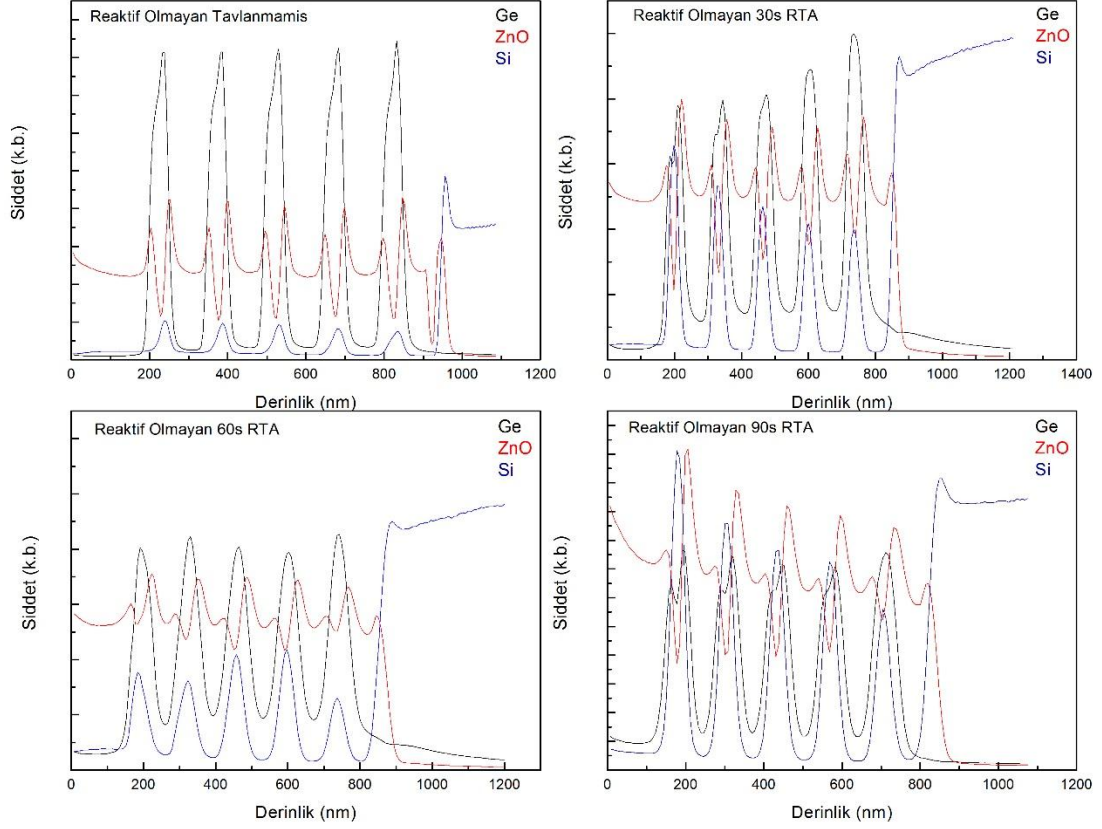
Şekil 3.20: P tipi Si alttaş üzerine 3dk Ge kaplı örneklerin kristal boyutlarını gösteren tablo

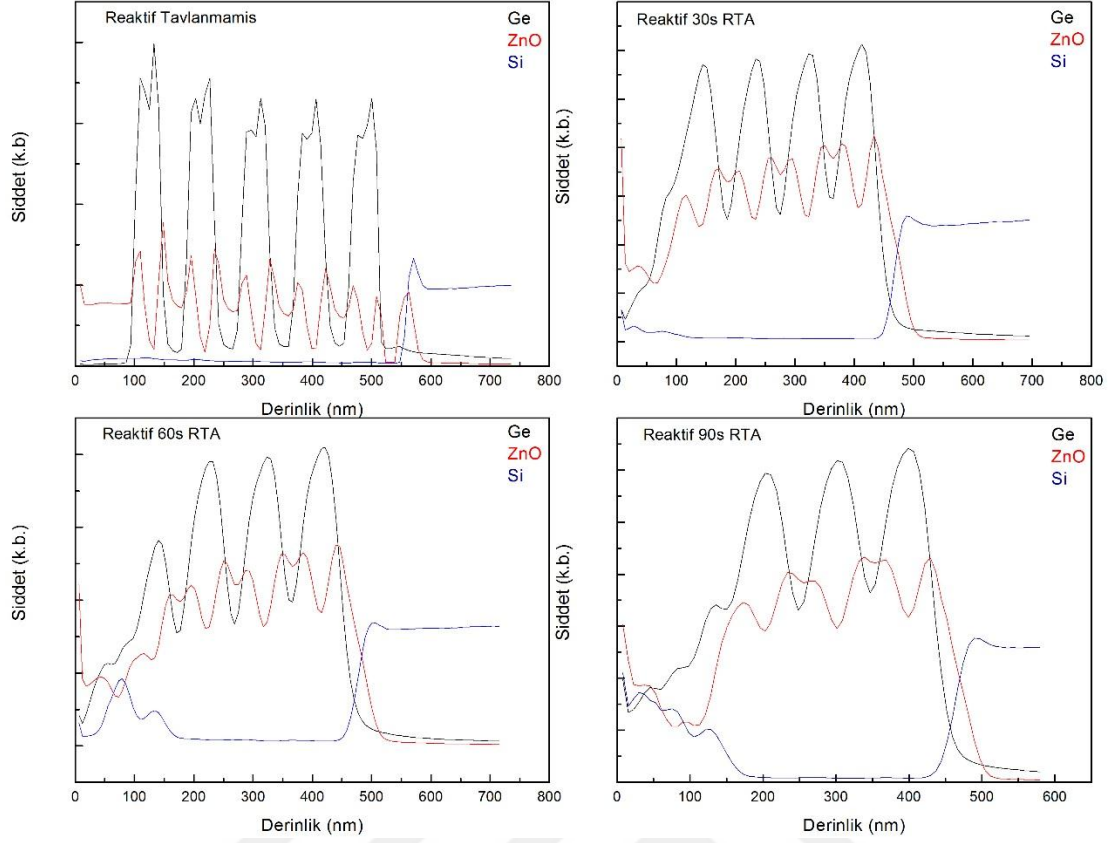


Şekil 3.21: P tipi Si alttaş üzerine 3dk Ge kaplı örneklerin Raman analizleri.

Hazırlanan bu örneklerin Raman analizleri incelendiğinde tavlanmamış olan örneğin yapıda bulunan bulk durumdaki Ge elementinden dolayı asimetric bir pik verdiği görülmektedir. Isıl işlem süresi 30s olduğunda bulk yapıdaki Ge kristallendiği için pikin daha simetric olduğu görülmektedir. Ancak pikin tam anlamıyla simetric olduğu söylenemez çünkü bulk yapıdaki Ge kristallenirken bu kristallenme sonucu ST-12 Ge fazı oluşmaya başlamakta ve bu fazda pikin asimetric olmasına neden olmaktadır. Isıl işlem süresi 60s'ye çıkarıldığında pikin simetrisinin daha fazla bozulmaya başladığı görülmektedir. Bunun nedeni yapıdaki

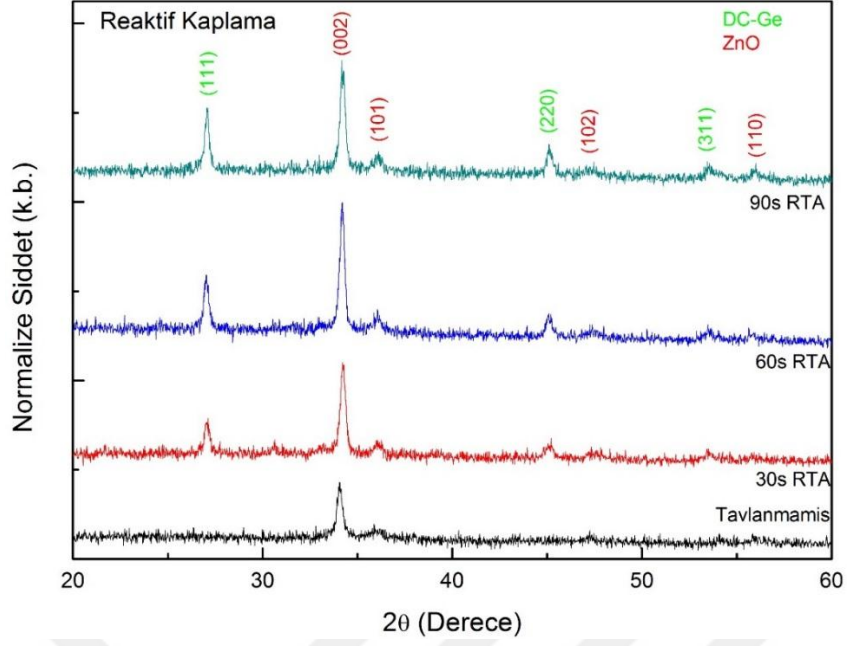
ST-12 Ge fazının ısı etkisi ile artmasıdır. Isı etkisiyle DC-Ge fazının arttığı XRD desenlerinde görülmüştü ancak ST-12 Ge fazının etkisinin 60s ısı işlem süresi için daha fazla olduğu söylenebilir. 90s ısı işleme tabi tutulmuş örneği incelediğimizde ise Ge-Ge bağlarını gösteren pikin simetrisinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi de ısı etkisi sonucu Ge atomlarının birleşmesi ve yapıdaki DC-Ge katkısının artmasıdır. Bu bağlamda yapıdaki ST-12 Ge fazının Ge atomlarının birleşerek büyümesi sonucu azaldığı söylenebilir.





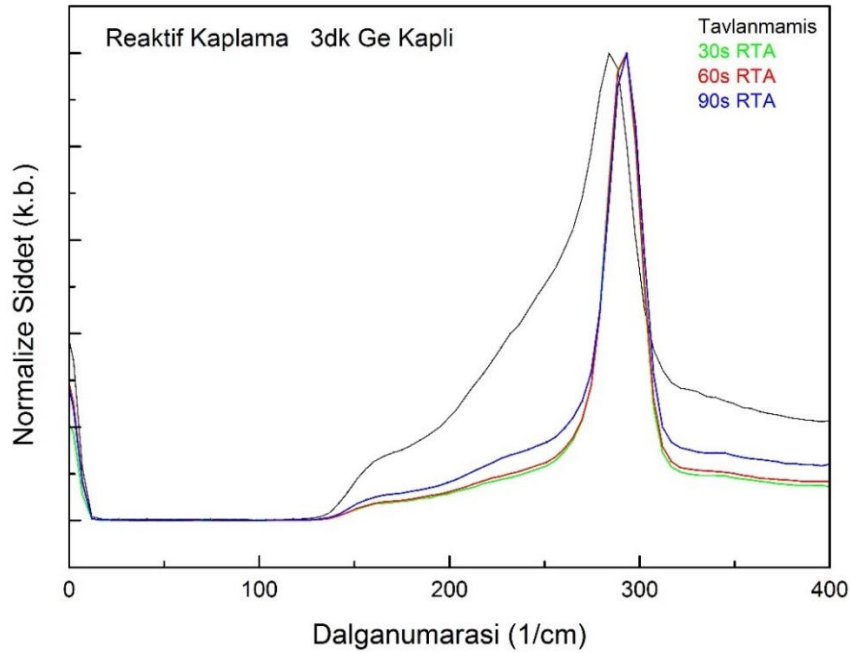
Şekil 3.22: P tipi Si alttaş üzerine 3dk Ge kaplı örneklerin SIMS profilleri.

Hazırlanan örneklerin SIMS analizleri incelendiğinde, RTA tekniği ile uygulanan ısıtılmanın süresi arttıkça, RO ortamda hazırlanan örneklerde Si piklerinin daha da belirginleştiği, Ge piklerinin ise şiddetlerinin azaldığı görülüyor. Bunun sebebi olarak Ge atomlarının ısıtılma ile birlikte genişlemesi ve boşluklardan diğer kısımlara doğru dağıldığı yorumu yapılabilir. R ortamda kaplanan örneklerde ise ısıtılma süresinin artmasıyla birlikte üst kısımdaki ince film tabakalarının birbirinde karışmaya başladığı söylenebilir. Ayrıca ısıtılma uygulandığında her iki ortamda hazırlanan örneklerin kalınlığı azalmaktadır. Bunun sebebi ısıtılma ile birlikte ince film katmanlarında bulunan boşlukların azalmasıdır.



Şekil 3.23: P tipi Si nanotel alttaş üzerine hazırlanan örneklerin XRD desenleri.

P tipi Si nanotel alttaşların üzerinde hazırlanan örneklerin yapısının ısı işlem sonucu değişimleri incelemek için XRD desenleri incelendiğinde tavlınmamış olan örneğin XRD deseninde sadece ZnO pikleri görülmektedir. Bunun nedeni yapıdaki Ge atomlarının bulk yapıda olmasıdır. Isıl işlem süresi arttıkça Ge yapısındaki kristallenme artmaktadır. XRD desenlerinden yapıda sadece DC-Ge fazının bulunduğu görülmektedir. Isıl işlem süresi arttıkça DC-Ge fazına ait piklerin şiddetlerinin artması Ge atomlarının kristallenmelerinin arttığının kanıtıdır.



Şekil 3.24: P tipi Si nanotel alttaş üzerine hazırlanan örneklerin Raman analizleri.

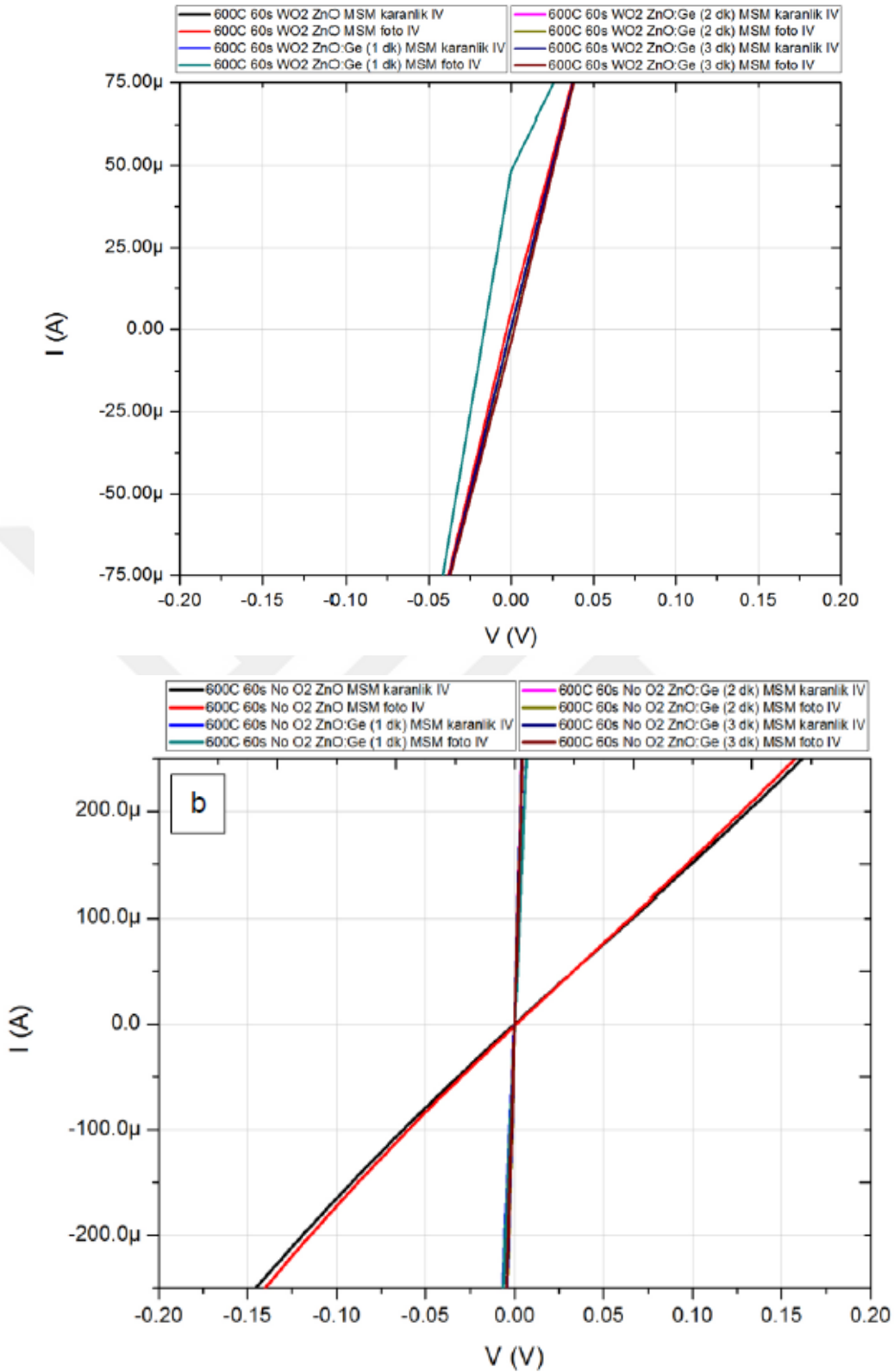
Si nanotel alttaşların üzerine hazırlanan örneklerin Raman analizleri incelendiğinde tavlınmamış olan örneğin Ge-Ge pikinin asimmetrik olduğu görölmektedir. Bunun nedeni yapıda bulunun Ge atomlarının bulk yapıda olmasıdır. Isıl işlem süresi arttıkça Ge-Ge pikinin simetrik hale geldiği görölmektedir. Bu sonuç yapıdaki Ge atomlarının DC-Ge fazında kristallendiğini gösterir.

Yapılan ölçümler sonucu R kaplamalarda ST-12 Ge yapısının en iyi görüldüğü ısıtım işlem süresinin 60s olduğu bulundu. Raman analizinin sonucunda 60s ısıtım uygulanan örneğin daha az simetrik olması bu sonuca ulaşmamızda yardımcı oldu.

3.5.5. I-V KARAKTERİZASYONU

Üretilen reaktif ve reaktif olmayan tavlınmış örneklerin I-V Karakterizasyonları gerçekleştirildi. İnce filmlerin yüzey dirençleri ölçölmek için MSM diyot ölçümleri, güneş hücresi olarak çalışacak örnekleri incelemek için ise PN diyot ölçümleri gerçekleştirildi. Ölçümler Bilkent Üniversitesi Nanotam'da Ahmet Akbaş tarafından gerçekleştirildi.

MSM Diyot Ölçümleri: Bu ölçümler ZnO-Ge ince filmlerin katkılamaaya bağlı olarak diyot dirençlerinin nasıl değiştirdiğini incelemek amacıyla gerçekleştirildi. Şekil 3.25 reaktif ve reaktif olmayan tavlınmış örneklerin MSM I-V ölçümlerini göstermektedir.

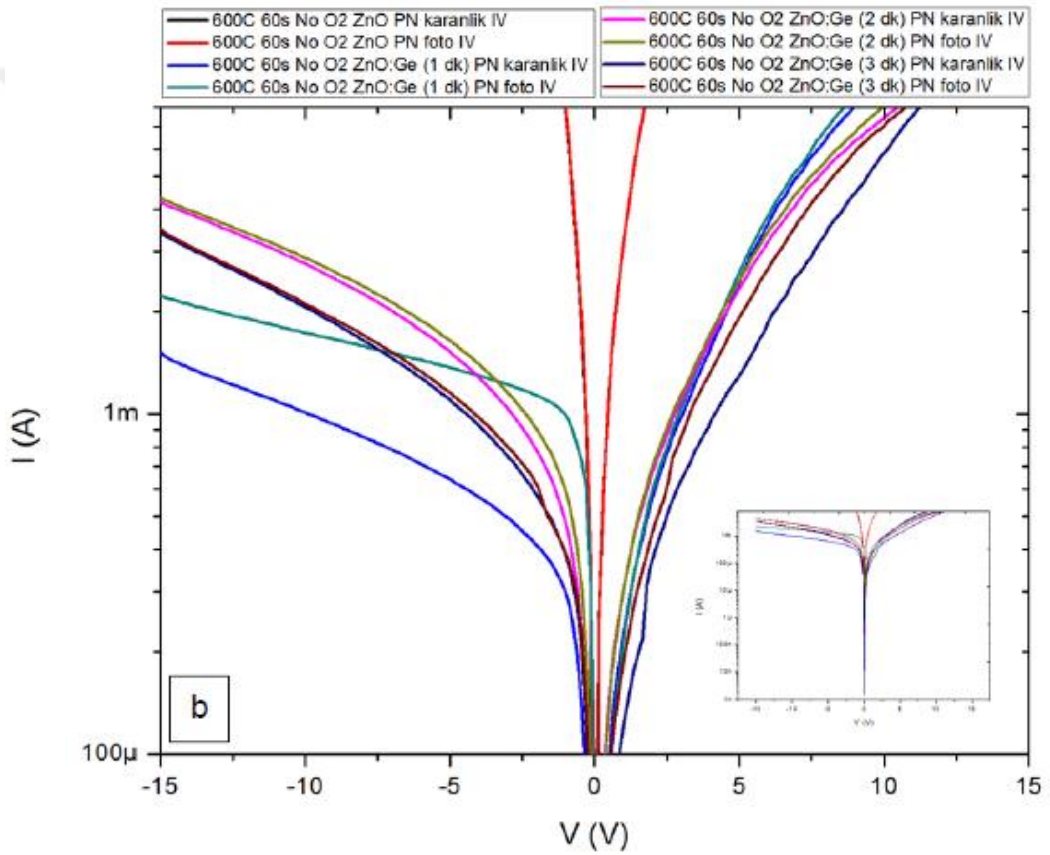


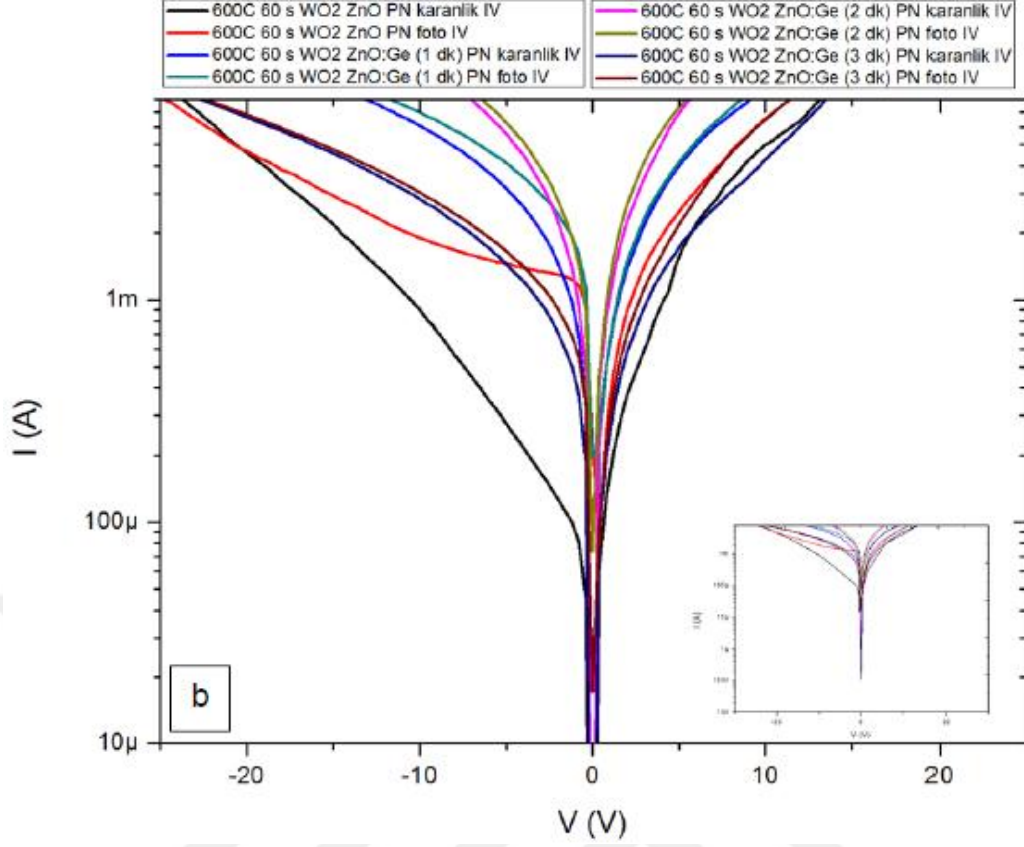
Şekil 3.25: Reaktif ve reaktif olmayan tavllanmış örneklerin MSM I-V ölçümleri.

Reaktif olmayan ortamda hazırlanan Ge katkılı örneklerde direnç değeri çok düşük çıkmaktadır. Bu örnekler metalik davranış göstermektedir. Bunun sebebi reaktif olmayan kaplamalarda ZnO yapısında oksijen eksikliğinin olmasıdır. Bu

eksiklik ZnO'nin n tipi özellik göstermesine yani daha iletken olmasına neden olmaktadır. Reaktif ortamda hazırlanan Ge katkılı örneklerin ise direnç değerleri reaktif olmayana kıyasla çok daha yüksek olmasına rağmen yine de istenilen seviyede değildir ve yapı metalik özellik göstermektedir. Direnç değerinin daha yüksek olmasının nedeni ZnO'nin yapısındaki oksijen eksikliğinin reaktif kaplama ile giderilmesidir.

PN Diyot Ölçümleri: Bu ölçümler örneklerin güneş hücresi olarak çalıştıkları durumu incelemek için gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.26 reaktif ve reaktif olmayan tavlanmış örneklerin PN I-V ölçümlerini göstermektedir.





Şekil 3.26: Reaktif ve reaktif olmayan tavlanmış örneklerin PN I-V ölçümleri.

Şekil 3.26'da görülen reaktif ve reaktif olmayan tavlanmış örneklerin PN I-V ölçümleri incelendiğinde reaktif ortamda hazırlanan ince filmlerin kaçak akım değerlerinin reaktif olmayan ortamda hazırlanan ince filmlere kıyasla daha küçük olduğu görülmüştür. Reaktif olmayan ortamda hazırlanan ince filmlerde 15V'dan sonra kırılmalar gözlenirken, reaktif ortamda hazırlanan ince filmlerde kırılmalar 40V'dan sonra gözlenmiştir. Bu sonuç reaktif ortamda hazırlanan örneklerin yaklaşık 1000 kat daha düşük kaçak akım değerine sahip olduğunu göstermektedir.

4. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında Si nanotel alttaş üzerine Ge katkılı ZnO heteroeklem güneş hücrelerinin geliştirilmesi amaçlandı. Bu doğrultuda çok katlı ZnO-Ge ince film yapıları Magnetron Sputter tekniği ile hazırlandı. İnce filmleri kaplamak için alttaş olarak hem p tipi Si, hem de p tipi Si nanotel alttaş kullanıldı. Bu sayede alttaşın ince filmlerin yapısında nasıl bir değişikliğe neden olduğu incelendi. Hazırlanan örneklerde Ge kaplama süresi değiştirilerek Ge kalınlığının yapının üzerindeki

etkilerine bakıldı. Kaplamalar hem R hem de RO ortamlarda hazırlanarak O₂ gazının varlığının ince film yapısında ne gibi sonuçlar doğuracağı görüldü. Bununla birlikte hazırlanan örnekler sabit sıcaklıkta farklı sürelerle ısıtılma tabii tutularak ısıtılmanın ince film yapısındaki etkileri incelendi.

Hazırlanan farklı deney setlerinin XRD analizleri incelendiğinde Ge piklerinin 3dk süre ile kaplandığında ve ısıtılma süresinin yapılan ölçümler arasında 60s olduğunda, en belirgin şekilde görüldüğünden dolayı yapılan deneylerde bu şartlarda hazırlanan örnekler üzerine yoğunlaştıldı.

P tipi Si alttaş üzerine R ortamda ZnO-Ge çok katmanlı ince film kaplandığında Ge'un hem DC-Ge hem de ST-12 Ge fazında kristallendiği XRD analizleri sonucu bulundu. Literatürde daha önce çok katlı ince filmler kullanılarak ST-12 Ge fazı elde edilememişti. Yapılan bu çalışma ile ST-12 Ge yapısının ince film katmanları arasında elde edilebileceği gösterildi. ST-12 Ge yapısının oluşması için 20nm'nin kritik bir değer olduğu literatürde bulunmaktadır. R ortamda hazırlanan ZnO ince filmlerde yapıdaki boşlukların daha az olduğu SEM görüntülerinde görüldü. Boşlukların daha az olduğu örneklerin SIMS profillerinden de görülmektedir. R ortamda hazırlanan örneklerde ZnO ince film kalınlığının daha az olduğu ve bu da R ortamda hazırlanan ZnO ince filmlerin RO ortamda hazırlanan ZnO ince filmlere kıyasla daha az boşluklu olduğunu göstermektedir. Boşlukların az olması sonucunda Ge atomlarının büyüklükleri bazı bölümlerde 20nm'nin altında olmakta ve bu da ST-12 Ge yapısının oluşmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte yapıda DC-Ge yapısının bulunduğu da yine XRD desenlerinde görüldü. Örnekler üzerine uygulanan ısıtılma süresi arttıkça DC-Ge fazının arttığı XRD ve Raman analizlerinde tespit edildi. Bunun sebebi ise ısı etkisi ile Ge atomlarının birleşmesi ve kristal boyutlarının 20nm'nin üzerine çıkarak ST-12 Ge yapısından DC-Ge yapısına dönüşmesidir.

R ortamda p tipi Si nanotel alttaş üzerine hazırlanan örneklerde yapıda sadece DC-Ge fazının olduğu XRD ve Raman analizlerinde görüldü. Bunun sebebinin nanotel yapısından kaynaklı olarak yüzey alanının geniş olması ve Ge atomlarının birleşerek kristal büyüklüklerinin ST-12 Ge yapısı için kritik seviye olan 20nm'den daha fazla olmasıdır. P tipi Si nanotel alttaş üzerine örnekler hazırlarken amaçlanan heteroeklem güneş hücresi düşüncesinin bu kaplama tekniği ile

gerçekleştirilemeyeceği görüldü. Çünkü magnetron sputter tekniği ile nanotel alttaşların üzerine hazırlanan ince filmlerin nanotellerin arasına tam olarak giremediği SEM görüntülerinde görüldü. Nanotel alttaş kullanılmasının amacı güneş hücresinin yüzey alanını genişletmek ve fotonların nanotel yapısında tuzaklanarak güneş hücresinin verimini arttırmaktır. Ancak SEM resimleri incelendiğinde ince film katmanları kaplandıktan sonra nanotel yapısının kaybolduğu görüldü. Bununla birlikte magnetron sputter tekniği ile kopartılan parçaların büyük olması sonucu nanotellerin arasına tam olarak giremediği, bu sebepten dolayı da teorik olarak düşünülen ve sadece nanotellerin üzerine kaplanması amaçlanan ince filmlerin oluşmadığı görüldü. Ayrıca I-V ölçümlerinden elde edilen sonuçlar ZnO ince filme Ge katılanmasının elektriksel sonuçlar açısından yararlı olmadığını gösterdi.

Elde edilen bu sonuçlar p tipi Si alttaş üzerine magnetron sputter tekniği ile R ortamda çok katmanlı ince filmler kaplanarak, ST-12 Ge fazının elde edilmesinin mümkün olduğunu ancak p tipi Si nanotel alttaş üzerine oluşturulmak istenen güneş hücresi için magnetron sputter tekniğinin uygun olmadığını çünkü bu teknikte kaplanan ince filmlerde hedeften kopartılan parçaların büyük olduğu ve bu sebeple nanotellerin arasına giremediğini gösterdi.

KAYNAKLAR

- [1] Koç, E., Kaplan, E. “*Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi*,” Termodinamik Dergisi, sayı: 187, s.70-80. **2008**.
- [2] BP Statistical Review of World Energy, June **2007**.
- [3] Şenel, M. C. “*Rüzgar Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış*,” Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun. **2012**.
- [4] World Nuclear Association, “*World Nuclear Power Reactors&Uranium Requirements*,” **2012**.
- [5] REN21, “*Renewables 2012 Global Status Report, Renewables Energy Policy Network for the 21st Century (REN21)*”, Paris, France. **2012**.
- [6] “*BP Statistical Review of World Energy*”, British Petroleum (BP), London, UK. **2012**.
- [7] The International Geothermal Association(IGA), “*Geothermal in the World*,” **2012**.
- [8] Uyar, T.S., “*Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı*”, Elektrik Mühendisliği, sayı:403, **1998**.
- [9] Yeager, K.E., “*Electric Vehicles and Solar Power: Enhancing the Advantages of Electricity*”, IEEE Power Engineering Review, Vol. 2, No.10, October **1992**.
- [10] Duffie, J.A., Beckman, W.A., “*Solar Engineering of Thermal Processes*”, John Wiley and Sons Inc, **1991**.
- [11] Gençoğlu M. T. “*Türkiye’nin Enerji Kaynakları Arasında Güneş Enerjisinin Yeri ve Önemi*” Fırat Üniversitesi Müh.Fak. Elektrik-Elektronik Müh.Böl. Elazığ.
- [12] http://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F_enerjisi
- [13] Bilgin, V., “*ZnO Filmlerinin Elektrik, Optik, Yapısal ve Yüzeysel Özellikleri Üzerine Kalay Katkısının Etkisi*,” Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, **2003**.

- [14] Pejova B., et al., “*Structural and Optical Properties of Chemically Deposited Thin Films of Quantum-Sized Bismuth (III) Sulfide*,” *Materials Chemistry and Physics*, 99, 39–49, **2006**.
- [15] Horzum, Ş., “*Kimyasal Olarak Kaplanmış CuO₂ İnce Filmlerin Yapısal, Elektriksel ve Optiksel Özelliklerinin İncelenmesi*,” Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2005**.
- [16] Eckertova, L., *Physics of Thin Films*, s. 340, Plenum Press, New York and London, **1986**.
- [17] Oktik, Ş., “*Güneş-Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri*,” Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Ankara. **2001**.
- [18] Sarıtaş, M., “*Review paper on Solar Cell Technology*”, Proceedings of ECA Electronics Technology Workshop, TUBITAK, Gebze, **1988**.
- [19] Özgür Ü., Alivov Ya.I., Liu C., Teke A., Reshchikov M. A., “*A comprehensive review of ZnO materials and devices*,” *Jornal of Applied Physics*, 98, 041301, **2005**.
- [20] Pal U., Cararrubias Segura G., Zarate Corona O., “*Preparation of Ge/ZnO nanocomposites by radio frequency alternate sputtering*,” *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 76, 305-312, **2003**.
- [21] Kanemitsu Y., Uto H., Masumoto Y., Maeda Y., *Applied Physics Letters*, 61, 2187, **1992**.
- [22] Ginley D, Green M, Collins R. “*Solar energy conversion toward 1 terawatt.*” *MRS Bull.* 33:355–73 **2008**.
- [23] Cao L, Park J, Fan P, Clemens B, Brongersma ML. “*Resonant germanium nanoantenna photodetectors.*” *Nano Lett.* 10(4):1229–33 **2010**.
- [24] Green MA. “*Solar Cells: Operating Principles, Technology and System Applications*” Kensington, NSW, Aust.: Univ. New SouthWales. 274 pp. **1982**.
- [25] Kuykendall T, Ulrich P, Aloni S, Yang P. “*Complete composition tunability of InGaN nanowires using a combinatorial approach.*” *Nat. Mater.* 6(12):951–56 **2007**.
- [26] R. G. Treuting, S. M. Arnold, *Acta Met.* 5, 598. **1957**.
- [27] R. S. Wagner, W. C. Ellis, *Appl. Phys. Lett.* 4, 89. **1964**.
- [28] Y. Cui, L. H. Lauhon, M. S. Gudiksen, J. Wang, C. M. Lieber, *Appl. Phys. Lett.* 78, 2214. **2001**.

- [29] V. Schmidt, S. Senz, U. Gösele, Nano Lett. 5, 931. **2005.**
- [30] Z. W. Pan, Z. R. Dai, J. Phys. Chem. B 105, 2507. **2001.**
- [31] Q. Gu, H. Dang, J. Cao, J. Zhao, S. Fan, Appl. Phys. Lett. 76, 3020 **2000.**
- [32] P. Werner, N. D. Zakharov, G. Gerth, L. Schubert, U. Gösele, Int. J. Mater. Res. 97, 1008. **2006.**
- [33] L. Schubert, P. Werner, N. D. Zakharov, G. Gerth, F. M. Kolb, L. Long, U. Gösele, T. Y. Tan, Appl. Phys. Lett. 84, 4968. **2004.**
- [34] B. Ozdemir, M. Kulakci, R. Turan, and H. E. Unalan, Nanotechnology 22, 15 **2011.**
- [35] C.-M. Hsu, S. T. Connor, M. X. Tang, Y. Cui, Appl. Phys. Lett. 93, 133109. **2008.**
- [36] D. Dimova Malinovska , M. Sendova Vassileva , N. Tzenov , M. Kamenova , Thin Solid Films 297 , 9 . **1997.**
- [37] Z. Huang , T. Shimizu , S. Senz , Z. Zhang , N. Geyer , U. Gösele , J. Phys. Chem. C 114 , 10683 . **2010.**
- [38] Z. P. Huang , T. Shimizu , S. Senz , Z. Zhang , X. X. Zhang , W. Lee , N. Geyer , U. Gösele , Nano Lett. 9 , 2519 . **2009.**
- [39] W. K. Choi , T. H. Liew , M. K. Dawood , Nano Lett. 8 , 3799 . **2008.**
- [40] J. de Boer , N. Geyer , J. V. Wittemann , U. Gösele , V. Schmidt , Nanotechnology 21 , 095302 . **2010.**
- [41] S. G. Cloutier , C. H. Hsu , P. A. Kossyrev , J. Xu , Adv. Mater. 18 , 841 . **2006.**
- [42] V. Lehmann , J. Electrochem. Soc. 140 , 2836 . **1993.**
- [43] P. Kleimann , X. Badel , J. Linnros , Appl. Phys. Lett. 86 , 183108 . **2005.**
- [44] Um H. D., Jung J. Y., Seo H. S., Park K. T., Jee S. W., Moiz S. A., Lee J. H., “*Silicon Nanowire Array Solar Cell Prepared by Metal-Induced Electroless Etching with a Novel Processing Technology*” Jpn. J. Appl. Phys. 49 **2010.**
- [45] J. H. Yang, H. S. Kim, J. H. Lim, D. K. Hwang, J. Y. Oh, S. J. Parkz, “*The Effect of Ar/O₂ Sputtering Gas on the Phosphorus-Doped p-Type ZnO Thin Films*”, Journal of The Electrochemical Society, 153, G242-G244, **2006.**
- [46] A. Ceylan, A. E. Gümrükçü, N. Akın, S. Özcan, S. Özçelik, “*Formation of ST 12 phase Ge nanoparticles in ZnO thin films*” Materials Science in Semiconductor Processing 40 407-411 **2015**

- [47] Saito Y. “*Crystal structure and habit of silicon and germanium particles grown in argon gas.*” J Crystal Growth **1979**.
- [48] Liu P, Cao YL, Chen XY, Yang GW. “*Trapping high-pressure nanophase of Ge upon laser ablation in liquid.*” Cryst. Growth and Des **2009**.
- [49] Choi WK, Ng V, Ho YW, Ng SP, Chen TB, Yu MB, Rusli, Yoon SF, Cheong BA, Chen GL. “*Raman and photoluminescence characterization of Ge nanocrystals in co-sputtered Ge+SiO₂ system.*” Mat Sci Eng C **2001**.
- [50] Liu JL, Wan J, Jiang ZM, Khitun A, Wang KL, Yu DP. “*Optical phonons in self assembled Ge quantum dot superlattices: Strain relaxation effects.*” J Appl Phys **2002**.



ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Ali Emre Gümrükçü
Doğum yeri : Ankara
Medeni hali : Evli
E – posta : aliemreg@hotmail.com
Adresi : Susuz mah. 3762. Sokak Panorama Garden Sitesi E/19
Yenimahalle - ANKARA

Eğitim

Lise : Özel Samanyolu Anadolu Lisesi (2004-2007)
Lisans : Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği (2007-2014)

Yabancı Dil ve Düzeyi : İngilizce, iyi

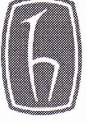
İş Deneyimi : Süperiletkenlik ve Nanoteknoloji Laboratuvarı , Kayseri – Yamula HES

Deneyim Alanları : İnce film kaplama, sentez ve karakterizasyonu. Manyetik malzemeler sentezi ve karakterizasyonu. Si nanotel sentezi. TGA, XRD, SEM, Raman, VSM ölçümleri. Mekanik öğütme, magnetron sputter ve ısı buharlaştırma teknikleri ile malzeme sentezi.

Tezden Üretilmiş Projeler ve bütçeleri : -

Tezden Üretilmiş Yayınlar : “Formation of ST 12 phase Ge nanoparticles in ZnO thin films” A. Ceylan, A. E. Gümrükçü, N. Akın, S. Özcan, S. Özçelik, Materials Science in Semiconductor Processing 40 407-411 **2015**

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar : -



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

..... ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: .../.../.....

Tez Başlığı / Konusu:

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam sayfalık kısmına ilişkin,/...../..... tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: _____

Öğrenci No: _____

Anabilim Dalı: _____

Programı: _____

Statüsü:

Y.Lisans

Doktora

Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

(Unvan, Ad Soyad, İmza)