

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYASYONA MARUZ KALMIŞ TA<sub>2</sub>O<sub>5</sub> İNCE FİMLERİN YAPISAL  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Banu ERKAN**

**Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji**

**HAZİRAN 2011**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYASYONA MARUZ KALMIŞ TA<sub>2</sub>O<sub>5</sub> İNCE FİMLERİN YAPISAL  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Banu ERKAN  
(301891003)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011  
Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2011**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nilgün BAYDOĞAN (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Beril TUĞRUL (İTÜ)  
Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU (İTÜ)**

**HAZİRAN 2011**



***Aileme,***



## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında sol-jel yöntemiyle Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ile kaplanmış soda-kireç-silika camların radyasyon karşısında davranışları amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında, destek ve yardımını esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Nilgün DOĞAN BAYDOĞAN' a, çalışmanın yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında, değerli fikir ve tecrübeleriyle beni yönlendiren saygıdeğer hocam Prof. Dr. Beril TUĞRUL' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca ince film kaplama laboratuvarı olanaklarından yararlanmama izini veren İ.T.Ü Kimya – Metalurji Fakültesi öğretim üyesi Sn. Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU' na teşekkür ederim. İ.T.Ü Kimya – Metalurji Fakültesinde XRD çalışmalarında bana yardımcı olan Arş. Gör. Mert GÜNYÜZ' e, SEM imajlarının çekiminde yardımcı olan Arş. Gör. Onur Mayadağlı' ya teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin her aşamasında benden yardımlarını esirgemeyen ablam Sn. T.C. Burgaz Başkonsolosu Sibel ERKAN'a, her tür olanağı sağlayarak beni bugünlere getiren, her zaman sevgi ilgi ve desteklerini yanımda hissettiğim anne ve babama en derin duygularıyla teşekkür ederim.

8 Haziran, 2011

Banu ERKAN

Matematik Mühendisi





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. RADYASYON VE RADYASYON TİPLERİ.....</b>	<b>5</b>
2.1 Gama ve X-Işınları.....	9
2.2 Gama ve X Işınlarının Malzemeyi Etkileme Mekanizmaları.....	10
2.2.1 Fotoelektrik Olay.....	12
2.2.2 Compton Saçılması.....	13
2.2.3 Çift Oluşumu.....	14
2.3 Beta Işınları.....	15
2.3.1 Beta Bozunması.....	15
2.4 Beta Işınlarının Malzemeyi Etkileme Mekanizmaları.....	17
<b>3. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> İNCE FİLMLER.....</b>	<b>19</b>
3.1 Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> İnce Filmlerin Özellikleri.....	19
3.2 Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> İnce Filmlerin Kullanım Alanları.....	20
<b>4. SOL - JEL YÖNTEMİ.....</b>	<b>21</b>
4.1 Sol-jel Kaplama Yönteminin Özellikleri ve Uygulamaları.....	22
4.2 Sol-jel Kaplama Yöntemleri.....	24
4.2.1 Daldırarak Kaplama Yöntemi.....	25
4.2.2 Döndürerek Kaplama Yöntemi.....	26
4.3 Yarıiletken Kristaller.....	27
4.3.1 Bant Aralığı.....	28
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>33</b>
5.1 Sol'ün Hazırlanması.....	34
5.2 Taşıyıcıların Hazırlanması.....	34
5.3 Döndürerek Kaplama Yöntemi ile Taşıyıcının Kaplanması.....	35
5.4 Işınlama İşlemleri.....	36
5.4.1 Işınlama İşleminde Kullanılan Co-60 Radyoizotopun Özellikleri.....	36
5.4.2 Işınlama İşleminde Kullanılan Sr-90 Radyoizotopun Özellikleri.....	40
<b>6. SONUÇ VE TARTIŞMALAR.....</b>	<b>43</b>
6.1 Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Filmlerin Optik Özellikleri.....	44
6.1.1 Optik Solma.....	46

6.1.2 Optik Yoğunluk .....	47
6.1.3 Solar Bölgede Optik Değişimler .....	48
6.2 Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Filmlerinin Yüzey Karakterizasyonu .....	58
<b>7. SONUÇLAR .....</b>	<b>63</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>65</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>71</b>

## KISALTMALAR

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri.
<b>ALD</b>	: Atomic Layer Deposition - Atomik Katman Biriktirme Yöntemi
<b>AR</b>	: Anti Reflective - Yansıtmayan.
<b>ASHRAE</b>	: American Society of Heating, Refrigerating and Air - Conditioning Engineers - Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Birliği
<b>CEN</b>	: European Committee for Standardization - Avrupa Standartlar Komitesi
<b>CVD</b>	: Chemical Vapor Deposition - Kimyasal Buhar Yöntemi
<b>DCD</b>	: Dip - Coating Process - Daldırarak Kaplama Yöntemi
<b>DRAM</b>	: Dynamic Random Access Memory - Dinamik Erişilebilir Bellek
<b>EBE</b>	: Electron Beam Evaporation - Elektron Demeti Buharlaştırma Yöntemi
<b>EN</b>	: European Standards - Avrupa Standartları
<b>IR</b>	: Kızılötesi Işıklar
<b>IBSD</b>	: Ion Beam Sputter Deposition - İyon Demeti Püskürtme Yöntemi
<b>ITO</b>	: İndiyum Kalay Oksit İnce Filmler.
<b>LED</b>	: Light Emitting Diode - Yarıiletken Işık Kaynağı
<b>LP</b>	: Leaching Process - Katı Ekstraksiyon Yöntemi
<b>LSD</b>	: Spray Process - Sıvı Püskürtme Yöntemi
<b>PVD</b>	: Physical Vacuum Process - Fiziksel Buhar Yöntemi
<b>RS</b>	: Reactive Sputtering - Reaktif Püskürtme Yöntemi
<b>SEM</b>	: Scanning Electron Microscope - Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>SCD</b>	: Spin Coating Process - Döndürerek Kaplama Yöntemi
<b>UV - A</b>	: Morötesi Işıklar A Bölgesi (315 nm - 380 nm)
<b>UV - B</b>	: Morötesi Işıklar B Bölgesi (280 nm - 315 nm)
<b>UV</b>	: Morötesi Işıklar
<b>VIS</b>	: Görünür Işıklar
<b>XRD</b>	: X - Ray Diffraction Spectroscopy - X - Işını Difraksiyon Spektroskopisi
<b>XRF</b>	: X - Ray Fluorescence Spectrometer - X - Işını Floresans Spektroskopisi



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 3.1</b> : Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 'in optik ve yapısal özellikleri .....	19
<b>Çizelge 5.1</b> : Soda-kireç silika camın kimyasal bileşimi .....	34
<b>Çizelge 5.2</b> : Kullanılan Co-60 Radyoizotopunun özellikleri .....	36
<b>Çizelge 5.3</b> : Sr-90 Radyoizotopunun özellikleri .....	41
<b>Çizelge 6.1</b> : Soda-kireç silika cam taşıyıcı üzerindeki Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmlerin geçiş elementleri .....	44
<b>Çizelge 6.2</b> : Cam altlık ve ışınlanmamış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filme ait $\tau_e$ , $\rho_e$ , $\alpha_e$ ve gölgeleme katsayısı değerleri.....	49
<b>Çizelge 6.3</b> : Co-60 Radyoizotopu ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filminin $\tau_e$ , $\rho_e$ , $\alpha_e$ ve gölgeleme katsayısındaki değişimler .....	51
<b>Çizelge 6.4</b> : Sr-90 Radyoizotopu ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filminin $\tau_e$ , $\rho_e$ , $\alpha_e$ ve gölgeleme katsayısındaki değişimler.....	51
<b>Çizelge 6.5</b> : Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filminin optik bant aralığındaki değişimler.....	57



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Güneş pillerindeki optik kayıplar .....	2
Şekil 1.2 : Silikona ait yansıma grafiği .....	2
Şekil 1.3 : Farklı silikon yapıdaki güneş piline ait yansıma grafiği (a) Yıkıcı etkileşim, (b) Yapıcı etkileşim.....	3
Şekil 1.4 : İnce filmin yapısal özelliklerindeki pürüzlülük .....	3
Şekil 2.1 : Elektromanyetik dalga yapısı .....	5
Şekil 2.2 : İyonlaştırıcı radyasyon ürünleri .....	6
Şekil 2.3 : Radyoaktif atomun yapısı .....	7
Şekil 2.4 : Elektromanyetik spektrum .....	8
Şekil 2.5 : Karakteristik X - ışını oluşumu .....	11
Şekil 2.6 : Bremsstrahlung (Frenleme) radyasyonu .....	11
Şekil 2.7 : Radyasyonun soğurulması .....	12
Şekil 2.8 : Fotoelektrik olay .....	13
Şekil 2.9 : Compton saçılması.....	14
Şekil 2.10 : Çift oluşumu .....	15
Şekil 2.11 : Negatif beta bozunumu.....	16
Şekil 2.12 : Pozitif beta bozunumu .....	17
Şekil 4.1 : Sol-jel yöntemi genel yapısı .....	21
Şekil 4.2 : Daldırarak kaplama prosesi .....	25
Şekil 4.3 : Film kalınlığının (a) dönme hızı ve (b) dönme süresine bağlı değişimi ...	27
Şekil 4.4 : Döndürerek kaplama yöntemi.....	27
Şekil 4.5 : Bir yarıiletkenle özgül iletkenlik için bant yapısı .....	28
Şekil 4.6 : Saf yalıtkanlarda mutlak sıfırda optik soğurma .....	29
Şekil 4.7 : Optik geçişler; ( a ) Doğrudan geçiş, ( b ) Dolaylı geçiş .....	30
Şekil 5.1 : GBC-MMA X - ışını difraktometresi.....	33
Şekil 5.2 : Ultrasonik banyo ekipmanı .....	35
Şekil 5.3 : Döndürerek kaplama cihazı .....	35
Şekil 5.4 : Co-60 radyoizotop zırhı .....	37
Şekil 5.5 : Projeksiyon tipi gama kaynağının ışınlama ucu .....	37
Şekil 5.6 : Hot Cell içerisinde Co-60 Radyoizotop kaynağı.....	38
Şekil 5.7 : Co-60 radyoizotopunun bozunum şeması .....	38
Şekil 5.8 : Örneklerin Co-60 kaynak etrafına panoramik yerleşimi.....	39
Şekil 5.9 : Sr-90 radyoizotopunun bozunum şeması .....	40
Şekil 5.10 : Sr-90 radyoizotop kaynağı.....	41
Şekil 5.11 : Sr-90 ile oluşturulan ışınlama düzeni.....	41

<b>Şekil 6.1</b> : Işınlama işlemlerinden itibaren 44 ay zaman geçtikten sonraki Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filminin T(%) değişimleri . (1) Işınlanmamış taşıyıcı için T(%), (2) taşıyıcı üzerindeki ışınlanmamış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmi, (3-4) 0.35 kGy dozlarda gama radyasyonu uygulanmış taşıyıcı üzerindeki Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmi, (5-6) 2,58 kGy, (9-10) 4.5 kGy ve 0,13 kGy de beta ışınlanmış (7-8) taşıyıcı üzerindeki Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmi .....	44
<b>Şekil 6.2</b> : Işınlama işlemlerinden itibaren 44 ay zaman geçtikten sonraki Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filminin A(%) değişimleri, T(%) deki değişimler ile birlikte arz edilmektedir. (1) Işınlanmamış taşıyıcı için T(%), (2) taşıyıcı üzerindeki ışınlanmamış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmi, (3-4) 0.35 kGy dozlarda gama radyasyonu uygulanmış taşıyıcı üzerindeki Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmi, (5-6) 2,58 kGy, (9-10) 4.5 kGy ve 0,13 kGy de beta ışınlanmış (7-8) taşıyıcı üzerindeki Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmi. ..	45
<b>Şekil 6.3</b> : ( 1-2 ) 4.5 kGy, ( 5-6 ) 0.35 kGy dozlarda gama ışınlamaları ve ( 3-4 ) 0,13 kGy beta ışınlaması sonrası geçen sürenin artması ile Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filminin ve taşıyıcının optik yoğunluğundaki değişiklikler ( 7 ) .....	47
<b>Şekil 6.4</b> : Kaplanmamış cam altlığa ait $\tau_e$ , $\rho_e$ , $\alpha_e$ ve gölgeleme katsayısı değerleri	49
<b>Şekil 6.5</b> : Işınlanmamış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmine ait $\tau_e$ , $\rho_e$ , $\alpha_e$ ve gölgeleme katsayısı değerleri .....	50
<b>Şekil 6.6</b> : 0.35 kGy Co-60 ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> filmlerin optik değişimleri .....	52
<b>Şekil 6.7</b> : 2.58 kGy Co-60 ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> filmlerin optik değişimleri .....	52
<b>Şekil 6.8</b> : 4.50 kGy Co-60 ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> filmlerin optik değişimleri .....	53
<b>Şekil 6.9</b> : Sr-90 ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> filmlerin optik değişimleri .....	53
<b>Şekil 6.10</b> : Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmlerin soğurma özelliklerinde oluşan değişimi .....	55
<b>Şekil 6.11</b> : Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmlerin geçirgenliğindeki değişim .....	55
<b>Şekil 6.12</b> : Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmlerin gölgeleme katsayısındaki değişim .....	54
<b>Şekil 6.13</b> : Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> filmlerin yansıtmadaki değişimi .....	56
<b>Şekil 6.14</b> : Işınlanmış ve ışınlanmamış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filmlere ait optik bant aralıkları	58
<b>Şekil 6.15</b> : Amorf yapıdaki Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filminin XRD spektrumu .....	59
<b>Şekil 6.16</b> : 4.5 kGy' de ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ince filminin XRD spektrumu. ....	59
<b>Şekil 6.17</b> : Işınlanmamış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> filmi için SEM imajı .....	60
<b>Şekil 6.18</b> : 4.5 kGy Co-60 ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> filmi için SEM imajı .....	60
<b>Şekil 6.19</b> : 0.13 kGy Sr-90 ile ışınlanmış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> filmi için SEM imajı .....	61



## SEMBOL LİSTESİ

<u>Sembol</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Birim</u>
A	Sabit	
$A_0$	Başlangıç aktivitesi	[ Ci , Bq ]
a	İvme	
BE	Bağlanma enerjisi	[ eV ]
c	Işık hızı	[ 2,9973 x 10 <sup>8</sup> m / s ]
Ci	Curie	[ 3,7 x 10 <sup>10</sup> bozunma / sn ]
D	Optik yoğunluk	
D( r )	r mesafede yayınlanan doz	[ Gy ]
E	Foton enerjisi	[ J ]
E*	Saçılan foton enerjisi	[ eV ]
$E_e$	Fotoelektron enerjisi	[ eV ]
$E_g$	Bant aralığı	[ eV ]
k	Sönme katsayısı	
$KE_n$	Maksimum kinetik enerji	[ J ]
$m_1$	Elektron kütlesi	[ akb ]
$m_2$	Soğurucu çekirdek kütlesi	[ akb ]
M	Parçacığın kütlesi	[ akb ]
r	Mesafe	[ cm ]
t	Film kalınlığı	[ nm ]
z	Parçacık üzerindeki yük sayısı	
Z	Etkileşen atom çekirdekleri üzerindeki elektron yük sayısı	
$\alpha$	Soğurma katsayısı	
$\alpha_e$	Direkt solar soğurma (%)	
$E_\gamma$	Soğrulan gama ışınının enerjisi	[ J ]
$\Phi_\gamma$	Gama akısı	[ parçacık / (s cm <sup>2</sup> ) ]
$h$	Planck sabiti	[ 6,625 x 10 <sup>-34</sup> j.sn ]
$\hbar$	Dirac / İndirgenmiş Planck sabiti	
I	Geçen radyasyon şiddeti	
$I_0$	Gelen radyasyon şiddeti	
$\vec{K}$	Fonon Dalga vektörü	
$\vec{k}$	Foton dalga vektörü	
$\vec{k}_c$	Momentum uzayında valas bandının maksimumu ile iletim bandının minimumu arasındaki farktır	
$K_\gamma$	İzotopun bozunma sabiti	[ R/Ci.s.m <sup>2</sup> ]
$\lambda$	Dalga boyu	[ m, Å°, nm ]

$\mu$	Doğrusal soğurma katsayısı	
$\nu$	Frekans	[ Hz ]
$\Omega$	Fonon frekansı	[ Hz ]
$\omega_g$	Eşik frekansı	[ Hz ]
$\rho$	Yansımaya (%)	
$\rho_e$	Direkt solar yansımaya (%)	
$\theta$	Fotonun sapma açısı	
$\tau$	Geçirgenlik (%)	
$\tau_e$	Direkt solar geçirgenlik (%)	

## **RADYASYONA MARUZ KALMIŞ $Ta_2O_5$ İNCE FİMLERİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

### **ÖZET**

İnce filmler nanometre boyutlarında kalınlıkta olan ince malzeme katmanlarıdır ve elektronik yarı-iletken cihazlar ile optik kaplamaların gelişiminde fayda sağlamıştır.  $Ta_2O_5$  ince filmler, çeşitli endüstriyel uygulamalara bağlı olarak antireflektif yapılar, optik dalga kılavuzlarında, otomotiv elektroniğinde kullanılan kapasitörlerde, cep telefonlarında, çağrı cihazlarında, elektronik devrelerde, güneş pilleri üzerindeki yansıtıcı kaplamalarda, ince-film bileşenlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.  $Ta_2O_5$  filmleri biriktirme/kaplama yöntemlerine bağlı olarak yüksek kırılma malzeme ve farklı optik özellikler gösteren pek çok uygulama alanında kullanılmaktadırlar.  $Ta_2O_5$  ince filminin yüksek kırılma indisinden dolayı, cam üretiminde ve çoğu fotoğraf lenslerinde halen yoğun bir şekilde kullanımı sürmektedir.

Bu tez çalışmasında, sol-jel döndürerek kaplama yöntemi ile kaplanan tantal pentoksit ( $Ta_2O_5$ ) ince filmlerin, iyonlaştırıcı radyasyona maruz bırakılması sonucu, yapının optik ve yapısal özelliklerinde oluşan değişimlerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Işınlama işlemleri için, gama ışın kaynağı olarak Co-60 ve beta kaynağı olarak ise Sr-90 radyoizotopları kullanılmıştır. Co-60 ve Sr-90 radyoizotopu ile oluşturulan radyasyon hasarları  $Ta_2O_5$  filmlerin yapısal özelliklerinde çeşitli farklılıklara neden olmuştur. Beta ışınlarına ve üç farklı dozda gama ışınlarına ile maruz kalması sonucu cam taşıyıcılar üzerindeki  $Ta_2O_5$  filmindeki oluşan yapısal değişiklikler, yapının soğurduğu doz ile artış göstermiştir. Bu tez çalışması kapsamında  $Ta_2O_5$  ince film yapısında, ışınlama sonrası oluşan radyasyon kusurlarının zamanla kararlılığı belirlenmiştir.



## **THE ANALYSIS OF STRUCTURAL PROPERTIES OF IRRADIATED Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> THIN FILM**

### **SUMMARY**

The thin films of nanoscale thickness are the layers of thin material and are provided the development of optical coatings for the electronic semi-conductor devices. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films and the thin-film components, depending on a variety of industrial applications in the antireflective structures, optical waveguides, capacitors are used in automotive electronics, mobile phones, paging devices, electronic circuits, reflective coatings on solar cells, are widely used. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films depending on the film deposition or coating methods are used in many applications have different optical characteristics and high-refractive material. Because of the high refractive index of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films, the most intensive usage is still going on with the glass manufacturing, and at the photo lenses.

In this study the aim is determination of the changes that occurred in the optical and structural properties of tantalum pentoxide ( Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ) thin films which deposited with sol-gel spin coating method, as a result of exposure to ionizing radiation. In order to irradiate the structure, Co-60 as a gamma-ray source and Sr-90 radioisotopes as the beta source are used as solar radiation source. Radiation damage induced by the Co-60 and Sr-90 radioisotopes has led to several differences of the structural properties of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> films. The structural changes has occurred as a result of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> film on the glass substrates were being exposed by beta rays and three different doses of gamma rays, has increased with the absorbed dose. In this thesis, consistency of the Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin-film structure radiation defects was determined within time after irradiation process.



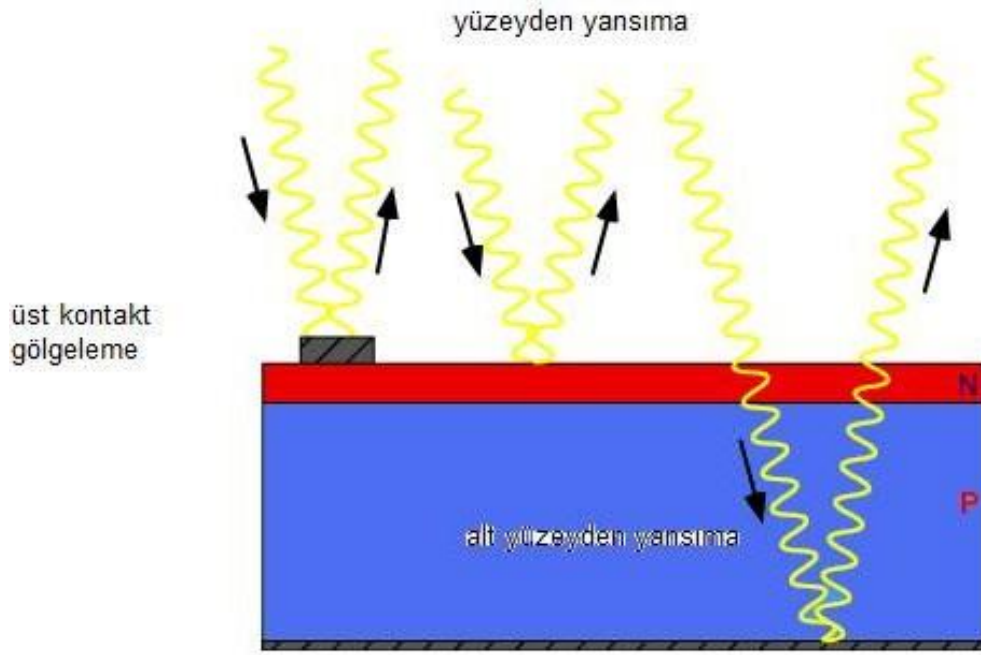
## 1. GİRİŞ

Tantal pentoksit (  $Ta_2O_5$  ) filmler, optik ve elektrik uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulan filmlerdir. Güncel uygulama alanları nedeniyle,  $Ta_2O_5$  filmlerin optik, elektrik ve yapısal davranışları pek çok araştırmacı tarafından günümüzde incelenmektedir. Elektronik devre elemanlarında, katı elektrot olarak kullanıldığı gibi silikon güneş pilleri üzerinde yansıtmayan tabaka olarak, ayrıca dalga kılavuzlarında, elektronik uygulamalarda kullanılmaktadırlar ( Berry, 1968; Saito, 1990; Tu, 1987; Masse, 2006 ).

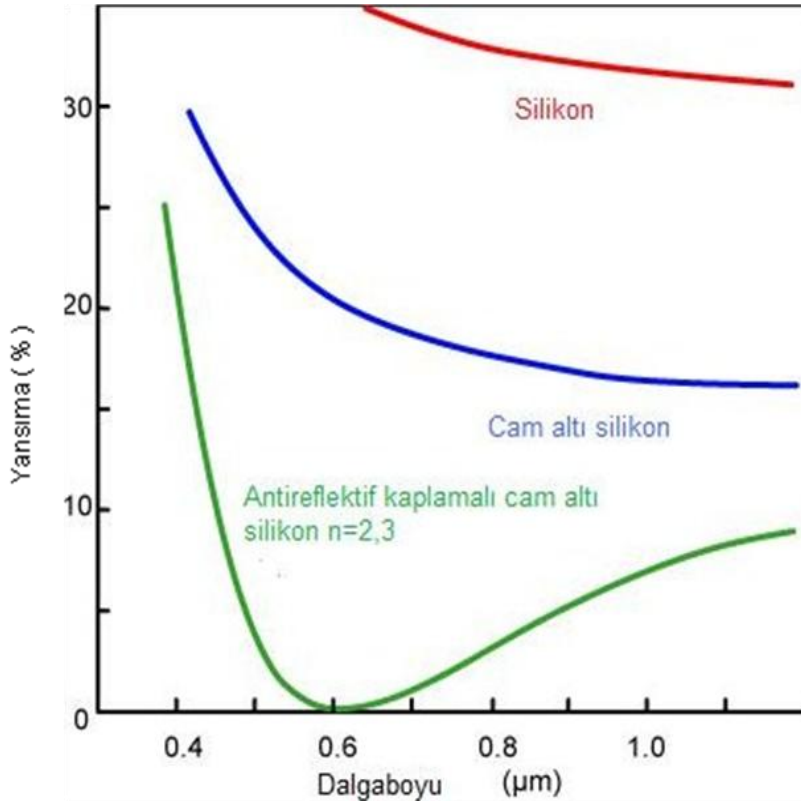
$Ta_2O_5$  filmlerinin üretiminde; CVD ( Chemical Vapor Deposition - Kimyasal Buhar Yöntemi ), EBE ( Electron Beam Evaporation - Elektron Demeti Buharlaştırma Yöntemi ), RS ( Reactive Sputtering - Reaktif Püskürtme Yöntemi ), IBSD ( Ion Beam Sputter Deposition - İyon Demeti Püskürtme Yöntemi ), ALD ( Atomic Layer Deposition - Atomik Katman Biriktirme Yöntemi ) şeklinde biriktirme yöntemleri ve Sol - jel kaplama teknikleri ( DCD: Dip - Coating Process - Daldırarak Kaplama Yöntemi ; SCD: Spin Coating Process - Döndürerek Kaplama Yöntemi ) gibi pek çok teknik kullanılmaktadır ( Boughabaa, 2005 ).  $Ta_2O_5$  filmlerin üretim yöntemleri, optik özellikleri etkilediği gibi, bu filmlerin radyasyona maruz kalmaları da bu filmlerin yapısal özelliklerini etkilemektedir ( Arshak, 2006; Boughabaa, 2000 ).

Yansıma, soğurma gibi optik özellikler yüksek akım elde etmede anahtar rol oynar. Optik kayıpların azaltılması yani yarıiletkenin soğurduğu ışığı arttırmak için yapılması gerekenler silikonda ve üst yüzeyde oluşan yansımanın azaltılmasıdır. Şekil 1.1' de güneş piline ait optik kayıplar gösterilmektedir ( Url-1 ).

Şekil 1.2' de görüldüğü şekilde  $Ta_2O_5$  antireflektif ( AR: yansıtmayan ) kaplamaların çeşitli kalınlıkta katman sayısı ve kırılma indislerine göre optik özellikleri değişmektedir. Burada kaplama kalınlığının artması halinde yansımanın, çıplak ve üzerinde cam bulunan silikona göre oldukça efektif bir şekilde azaldığı hatta sıfıra kadar düştüğü görülebilmektedir.



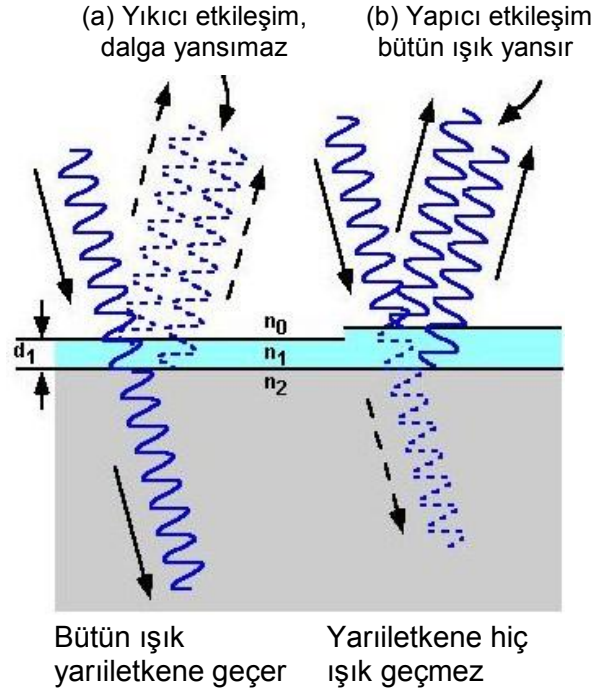
Şekil 1.1 : Güneş pillerindeki optik kayıplar.



Şekil 1.2 : Silikona ait yansırma grafiği.

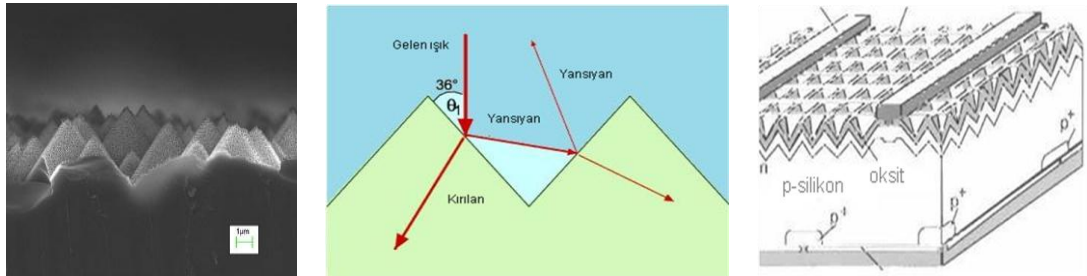


Şekil 1.3a ve Şekil 1.3b' de farklı silikon yapıdaki güneş piline ait yansımadaki değişim izlenmektedir.



**Şekil 1.3 :** Farklı silikon yapıdaki güneş piline ait yansıma grafiği (a) Yıkıcı etkileşim, (b) Yapıcı etkileşim.

Silikon yüzeye gelen ışığın kaybının önlenmesi için ince filmin yapısal özelliklerinde nanometre ölçeğinde piramit biçiminde pürüzlülükler istenir ( Şekil 1.4 ).



**Şekil 1.4 :** İnce filmin yapısal özelliklerindeki pürüzlülük.

Film yüzeyindeki bu pürüzlü yapı, gelen ışığın çarpılarak kırılmasına ve geri yansımadan içerde kalmasına neden olur. Bu özellik, güneş pilinin verimliliğini artırıcı önemli bir özelliktir.  $Ta_2O_5$  ince filmler optik özelliklerine bağlı olarak çeşitli avantajlara sahiptir. Kırılma özelliği oldukça yüksek bir malzeme olduğundan dolayı pek çok özel uygulamada kullanılırlar ve biriktirme yöntemlerine bağlı olarak, farklı optik özellikler gösterirler. Sol-jel yöntemi, sanayiye uygulanabilirliği ve bu

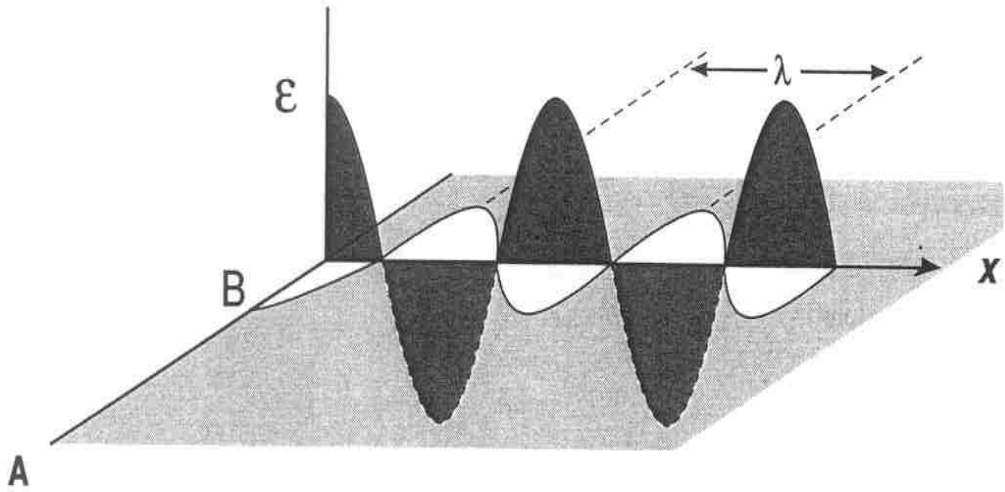
teknin pratik ve ekonomik olmasından dolayı, sol-jel tekniği tercih edilerek kullanılmaktadır( Saito, 1990; Berry, 1968; Koç, 2005; Tu, 1987, Çelebican, 2008 ).

Metal oksit filmler yaygın olarak optik ve mikro elektronik uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Optik uygulamalarda Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; optik kılavuzlar, parazit filtreleri, antirefleksif kaplamalar ( örneğin güneş pilleri ) ve elektroluminesan ( LED: Light Emitting Diode ) cihazlar için yüksek indeksli ve düşük kayıplı malzemeler olarak kullanılırlar ( Ndiege, 2007 ).

Radyasyona maruz bırakılarak malzemenin özelliklerinin geliştirilmesi, çeşitli sanayi alanlarında uygulanabilmektedir. Uygulanan radyasyon dozu ince filmlerin, fiziksel ve kimyasal özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilmektedir ( Baydoğan, Tuğrul 2007). Gama radyasyonu için olan Co-60 radyoizotopu, beta radyasyon kaynağı olarak ise Sr-90 radyoizotopu, ince filmlerin optik özelliklerinin değiştirilmesinde uygun radyoizotoplar olarak karşımıza çıkmaktadır.

## 2. RADYASYON VE RADYASYON TİPLERİ

Radyasyon, parçacık akımı veya dalga tabiatına uygun olarak maddeye veya bir ortama enerji transferi olarak tanımlanmaktadır ( Bel, 2010 ). Radyasyonun yapısı parçacıklar veya Şekil 2.1' de görüldüğü gibi elektromanyetik dalgalar şeklindedir.



**Şekil 2.1:** Elektromanyetik dalga yapısı.

İlk kez 1896' da, Becquerel uranyum tuzlarından bazı ışınların yayınlandığını ve bunların fotoğraf filmini etkilediğini gözlemiştir. Daha sonra Rutherford deneylere devam ederek 1897' de uranyum tarafından yayınlanan ışınların iki tip olduğunu ileri sürmüş ve bunları  $\alpha$  ve  $\beta$  ışınları olarak adlandırmıştır. Bu ışınların iyonlaştırma etkilerini ve madde içine giriciliğini incelemiştir.  $\alpha$  ışınlarının ince bir kâğıt tabakasından bile geçemeyecek kadar zayıf geçiş yeteneğine sahip olduğunu ancak yüksek iyonlaştırma özelliğinin olduğunu,  $\beta$  ışınlarının ise alfalardan daha girici, iyonlaştırıcı etkilerininse daha az olduğunu gözlemiştir. Aynı yıllarda Nillard, radyoaktif çekirdeklerden  $\alpha$  ve  $\beta$  ışınlarının dışında çok daha girici olan üçüncü tip bir ışının yayınlandığını gözlemlemiştir ve bunlara  $\gamma$  ışınları adını vermiştir. 1898' de Bayan Curie, bu şekilde ışınım yayınlamanın elementin kimyasal özelliklerinden bağımsız olduğunu, bunun atom çekirdeğine özgü bir davranış olduğunu göstermiştir ( Aybers ve Karasulu,1980 ).

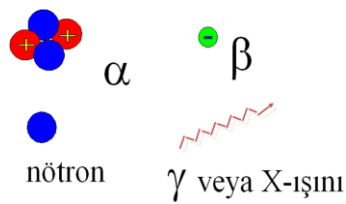
Bilindiği gibi maddenin temel yapısını atomlar meydana getirir. Atom ise, proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ile bunun çevresinde dönmekte olan elektronlardan oluşmaktadır. Doğal olarak bulunan 92 elementin 300' e yakın izotopundan 40 kadarı kararlı değildir. Kararsız olan çekirdekler, evrendeki diğer kararsız yapılarda olduğu gibi uygun bozunum biçimleri ile kararlı olan çekirdeklere dönüşürler. Becquerel tarafından gözlenen bu olay radyoaktivite olarak adlandırılmıştır. Radyoaktiflik özelliği gösteren kararsız çekirdeklere de radyoaktif çekirdekler denmektedir. Doğal ve yapay olmak üzere iki tip radyoaktiflik vardır ( Aybers ve Karasulu, 1980 ).

Radyasyonun özellikleri, bugün birçok alanda insanlığın yararına kullanılan yaş tayini, nem oranı, tahribatsız muayene yöntemleri, tarımsal ve biyolojik araştırmalar, teşhis ve tedavi, v.b. alanlar olması bakımından büyük önem taşımaktadır ( Eisebud, M., 1963; Gardner, 1967; Göksel, 1979; Valkovic, 2000 ).

İyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki tip radyasyon vardır. İyonlaştırıcı radyasyon; madde ile etkileşimde iyon üretme yeteneğine sahiptir. İyonlaştırıcı radyasyon yeterli enerjiye sahipse atomdan veya molekülden bir elektronu kopartabilir. İyonlaştırıcı radyasyonlar aşağıdaki şekilde başlıca iki grupta toplanabilmektedir;

- Partikül akımı (alfa ve beta)
- Dalgalar (gama ve X-ışınları).

Şekil 2.2' de iyonlaştırıcı radyasyon ürünleri arz edilmektedir.



**Şekil 2.2 :** İyonlaştırıcı radyasyon ürünleri.

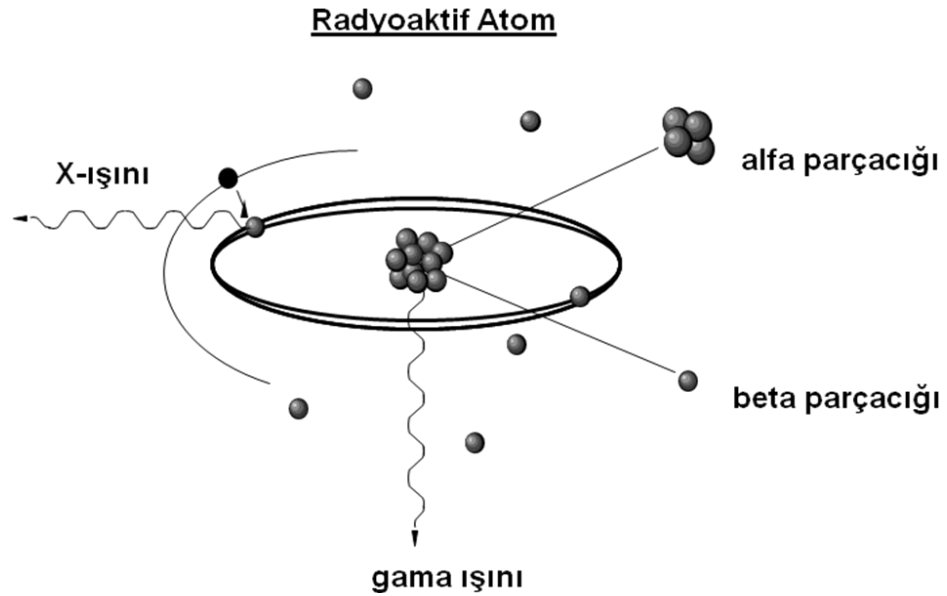
İyonlaştırıcı olmayan radyasyon ( elektromanyetik ); atomlardan elektronları kopartamaz. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar aşağıdakileri içerirler;

- Kızılötesi
- Görünür ışık
- Mikrodalgalar
- Radar
- Radyo dalgaları.

İyonlaştırıcı radyasyon iki ana kaynaktan yayınlanmaktadır:

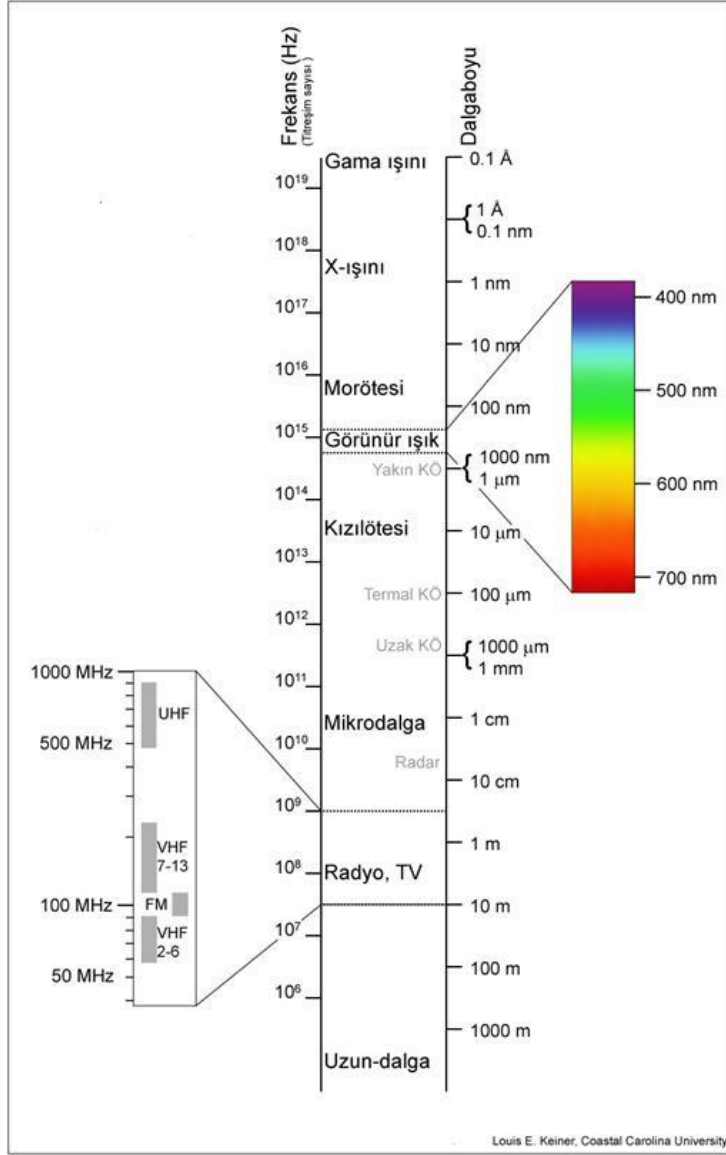
- Radyoaktif bozunma ile üretilebilir, örneğin; nükleer tıpta tedavilerde kullanılan Co-60 ünitelerindeki radyoizotoplardan yayınlanan  $\gamma$  ışınları (elektromanyetik radyasyon).  $\alpha$  ve  $\beta$  parçacıkları ile nötronlar iyonlaştırıcı radyasyon ailesinden sayılabilmektedir.
- Elektrikli aletler tarafından üretilebilir, örneğin; x-ışını makineleri ( tanı amaçlı inceleme ), güç kaynağı ile kontrol edilebilir.

İyonlaştırıcı radyasyon kararsız atomlar tarafından ya da elektrikli cihazlar tarafından üretilebilmektedir. Kararsız atomların kararlı atomlardan farklı olmasının nedeni, kararsız atomların aşırı enerji veya kütle ya da aynı anda her ikisine de sahip olmalarıdır. Kararsız atomlar radyoaktiftir ( Şekil 2.3 ). Kararlı hale ulaşabilmeleri için, bu atomlar ya fazla enerjilerini yayarlar veya fazla kütlelerini atarlar. Bu tip emisyonlara radyasyon denir ( Url-2 ).



**Şekil 2.3** : Radyoaktif atomun yapısı.

Gama ışınları, X - ışınları gibi elektromanyetik dalgalar olup, dalgaboyları daha düşüktür ve X - ışınlarından daha gericidirler ( Aybers ve Karasulu, 1980 ). X - ışınları, mor ötesi ışınlar, radyo dalgaları gibi elektromanyetik dalgaların dalga boylarına göre sıralandığı sisteme elektromanyetik spektrum ya da tayf denir ( Şekil 2.4 ). Morötesi ışınlar A bölgesi ( 315 nm - 380 nm ) ( UV - A ), Morötesi ışınlar B bölgesi ( 280 nm - 315 nm ) ( UV - B ) olmak üzere 380 nm' nin altındaki ışınlar mor ötesi ( UV ) ışınlarıdır. Görünür bölgede, 380 – 780 nm görünür ışık ( VIS ) aralığıdır.



**Şekil 2.4 :** Elektromanyetik spektrum.

Boşlukta, belirli bir dalgaboyundaki ( $\lambda$ ) elektromanyetik enerjinin bu dalgaboyu ile orantılı bir frekansı ( $\nu$ ) ve foton enerjisi ( $E$ ) bulunmaktadır. Bu yüzden elektromanyetik tayf bu üç değerden herhangi biri kullanılarak ifade edilebilir. Değerler birbirine aşağıdaki eşitlikler ile bağlıdır:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.1)$$

$$E = h\nu \quad (2.2)$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.3)$$

Burada  $c$  ışık hızı (  $c = 2,9973 \times 10^8 \text{ m / s}$  ),  $h$ ' de Planck sabitidir (  $h = 6,625 \times 10^{-34} \text{ j.sn}$  ). Buna göre;

- Yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar yüksek enerjiye ancak kısa dalga boyuna,
- Düşük frekanslı elektromanyetik dalgalar ise düşük enerjiye ancak uzun dalga boyuna

sahiptirler (  $U = hf$  ).

## 2.1 Gama ve X-Işınları

Gama ve x ışınlarının sahip olduğu önemli özellikler aşağıdaki şekildedir;

- Enerji paketçisi fotonlarla yayınırlar.
- Işık hızı ile yayınırlar.
- Dalga tabiatında yayınımları söz konusudur.
- Ters kare kanununa uyarlar, diğer bir deyişle radyasyonun şiddeti uzaklığın karesi ile ters orantılıdır.
- Elektrik yükleri yoktur.
- Giriş ışınlarıdır yani maddeye nüfuz ederler ancak madde içerisinde kısmen soğurulurlar.
- Saçılmaları söz konusudur. Burada, bir saçılma radyasyonu ile elektron oluşabilir.
- Doğrusal olarak yayılırlar.
- Fotoğraf kâğıdını etkilerler.
- İnsanlar tarafından beş duyu ile algılanmazlar.
- Uzun süre maruz kalındığında canlıları olumsuz yönde etkilerler.

Gamalar (  $\gamma$  ) ( Aybers ve Karasulu, 1980; Baydoğan, 2009 );

- Yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardır.
- Kütle ve yükleri sıfırdır.
- Radyoaktif atomların çekirdeğinden yayınırlar.
- Yüksek enerjili tehlikeli radyasyon yayırlar.

- Havada beta ışınlarına göre oldukça uzun mesafede ilerlerler.
- Maddeye giricilikleri yüksektir, 30-40 cm lik kalınlıkta bile etkili olabildiğinden endüstriyel önem taşımaktadır.
- Geniş ölçüde zırhlama gerektirirler.
- Kurşun veya çelik gibi yüksek atom numaralı elementler kullanılarak durdurulabilirler.
- Gama ışını yayınlayan radyoizotoplar arasında endüstride sıkça kullanılan, Co-60 veya Cs-137 radyoizotopları sayılabilir.

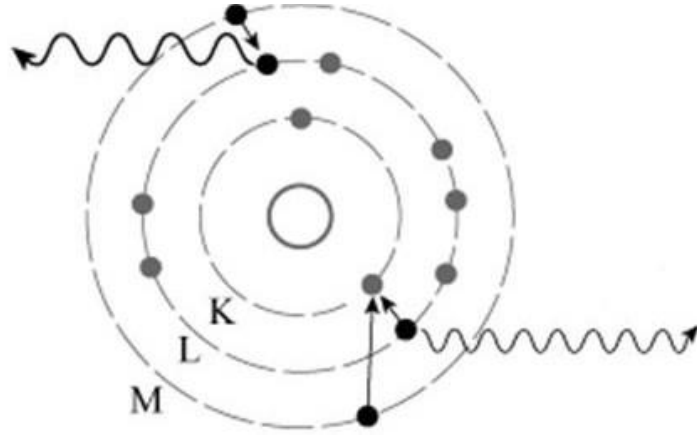
## 2. 2 Gama ve X Işınlarının Malzemeyi Etkileme Mekanizmaları

Radyasyonlar maddeden geçerken enerji kaybına uğrarlar veya soğrulurlar. X ya da gama ışınlarının cismin üzerine düştüğü zaman bir kısmı cisimden geçer, diğer bir kısmı ise çeşitli yönlerde saçılır. Bir fotonun madde ile olan reaksiyonunda; çarpışma bir elektronla ya da çekirdeğin alanı ile olur. Bu çarpışmalar elastik, inelastik ya da fotonun tamamıyla soğrulması şeklinde olur. Bu çerçevede meydana gelen olaylar aşağıda incelenecektir.

Etkileşme şekline göre iki tür x-ışını elde edilir;

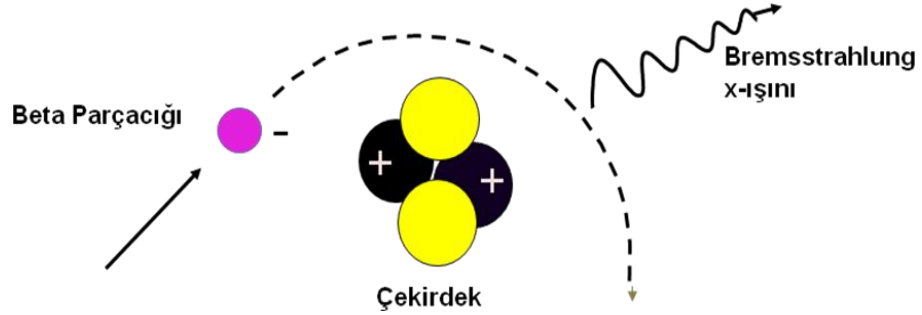
- Karakteristik X - ışınları: Bu tip X – ışınları, atomun enerji seviye farklarından meydana gelir. Elektronun herhangi bir uyarıyla bir üst seviyeye çıkmasından sonra atomun dengeli hale gelebilmesi için bu elektronun tekrar alt seviyeye dönmesi sırasında, fazla enerjisini X – ışını şeklinde verir. Atomun elektron enerji seviyeleri ve fazla olarak bu enerji seviyeleri arasındaki farklar o atoma özgü olduğundan salınan enerji söz konusu atom için karakteristiktir. Bu nedenle bu tip X – ışınlarına “Karakteristik X – ışınları” adı verilir ( Bilge ve Tuğrul, 1990 ). Şekil 2.5’ de karakteristik X – ışınlarının oluşumu görülmektedir ( Baydoğan, 2009 ) .





**Şekil 2.5 :** Karakteristik X-ışını oluşumu.

- Sürekli ( Frenleme ) X - ışınları: Bu tip X - ışınları hızlandırılmış elektronların ani olarak durdurulması sonucu meydana gelir. Hızlandırılmış elektronların bir hedef elemana çarptırıldığında, hedef elemanın atomları ile etkileşecek ve atomun elektron atmosferinde frenleme tesiriyle karşılaşacaktır. Başka bir deyişle elektron demeti, hedef atomun çekirdeğine yaklaştığında, çekirdeğin pozitif yükünden kaynaklanan elektrik alandan etkilenir ve ivmeli hareket yapmaya zorlanarak, enerjisini kaybetmesi sonucu foton yayınlar. Şekil 2.6' da gösterildiği şekilde ( Baydoğan, 2009 ) sürekli bir enerji spektrumuna sahip bu fotonlara sürekli x-ışınları, bu olaya da “Bremsstrahlung” veya “Frenleme Radyasyonu” adı verilir ( Bilge ve Tuğrul, 1990; Baydoğan 2009 )

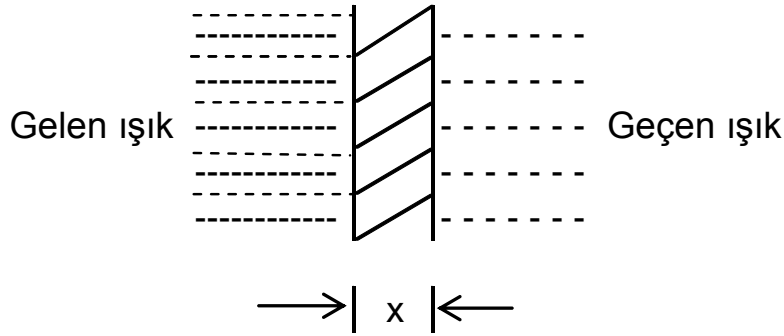


**Şekil 2.6 :** Bremsstrahlung ( Frenleme ) radyasyonu.

Gama ve X-ışınları, malzemedan geçerken şiddetlerini kaybederler. Bu olaya gama veya X-ışınlarının malzeme içinde soğrulması denir ( Bilge ve Tuğrul, 1990 ). Şekil 2.7' de görüldüğü gibi, x kalınlığında bir malzeme üzerine paralel bir elektromanyetik ışın geldiği zaman ilk gelen ışın şiddeti,  $I_0$  olarak kabul edildiğinde, geçen ışın şiddeti  $I$  olarak kabul edildiğinde Eşitlik 2.4 yazılabilir:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.4)$$

Burada  $\mu$  doğrusal soğurma katsayısı olup, gelen radyasyonun enerjisine ve malzemenin yoğunluğuna bağlıdır ( Bilge ve Tuğrul, 1990 ).



**Şekil 2.7 :** Radyasyonun soğurulması.

Gama ışınlarının madde ile etkileşiminde şu üç olay meydana gelmektedir:

- Fotoelektrik olay,
- Compton saçılması,
- Çift oluşum olayı.

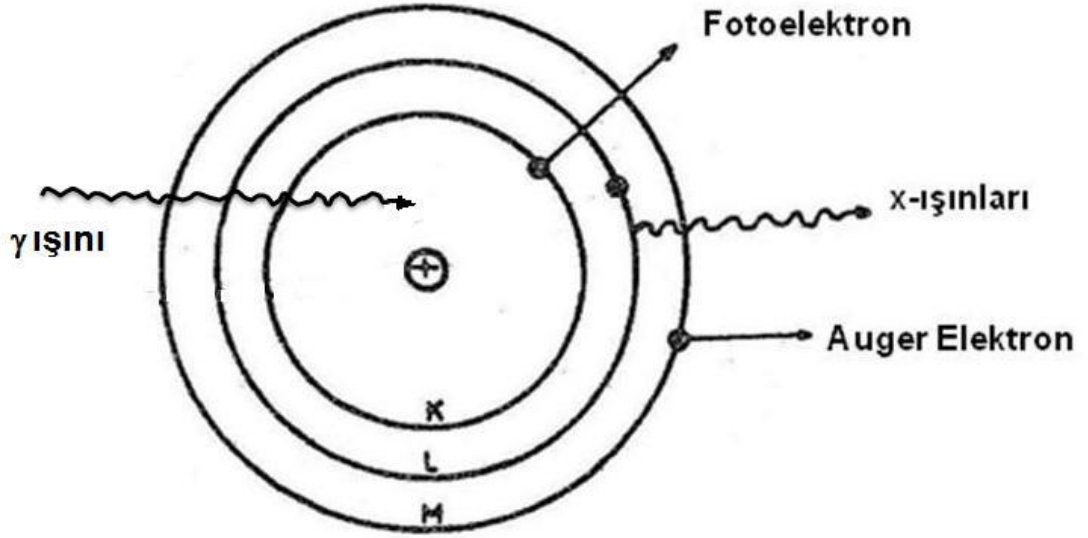
### 2.2.1 Fotoelektrik Olay

Fotonun bir atomla çarpışıp enerjisinin tamamının soğurulması ile meydana gelen olay, fotoelektrik olay olarak adlandırılır. Foton enerjisinin soğurulması sonucu iç yörüngeden Eşitlik 2.5' de arz edilen şekilde,  $E_e$  enerjili bir fotoelektron atılır ( Bilge ve Tuğrul, 1990 );

$$E_e = E_\gamma - BE \quad (2.5)$$

burada,  $E_e$  fotoelektronun enerjisi,  $E_\gamma$  soğrulan gama ışınının enerjisi ve  $BE$ ' de atılan elektronun bağlanma enerjisidir.

Fotoelektronun atılmasının ardından, dış yörüngeden diğer bir elektron, boşluk bulunan yörüngeye geçer. Bu geçişte karakteristik X-ışınları yayınlanır. Bunlar, ilk gama radyasyonu ile karşılaştırıldıklarında düşük enerjilidirler. X-ışını fotonunun atılması, sık sık yörünge elektronunun, Auger elektronunun atılmasına neden olur. Fotoelektrik olay şematik olarak Şekil 2.8' de gösterilmiştir.



**Şekil 2.8 :** Fotoelektrik olay.

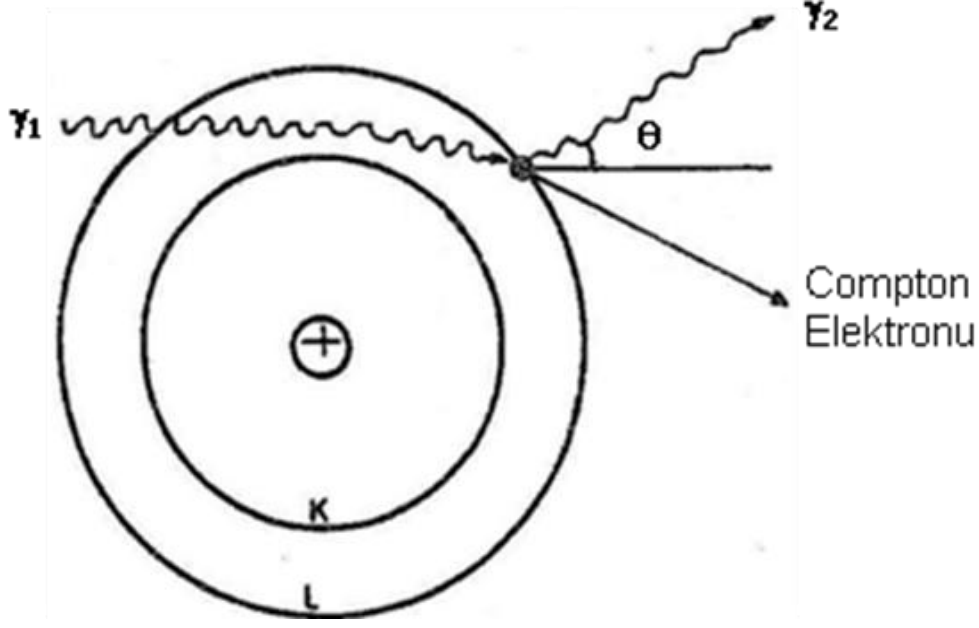
Diğer bir deyişle Fotoelektrik olay, yeter frekanslı bir radyasyonun bütün enerjisini kaybederek atomdan elektron koparması olayıdır. Böylece bir iyon çifti meydana gelir. Meydana gelen elektronlara fotoelektron denir. Fotoelektrik olayda, radyasyonunun enerjisi düşük olup, 0,5 MeV' dan daha azdır ( Sepet, 2009; Yaramış, 1985 ).

### 2.2.2 Compton Saçılması

Gama ışını soğurucu madde atomunun dış elektronuyla esnek çarpışma yaptığında Şekil 2.9' da görüldüğü şekilde Compton saçılması gerçekleşir. Çarpışmada momentum ve enerji korunur, gelen foton enerjisinin bir kısmı elektrona transfer edilir ve foton geliş yolundan sapar. Gelen foton enerjisi E ile saçılan foton enerjisi E\* arasındaki bağlantı Eşitlik 2.6' da gösterilmektedir;

$$E^* = \frac{0.51}{1 - \cos\theta + \frac{0.51}{E}} \quad (2.6)$$

Burada  $\theta$  fotonun sapma açısıdır. Eğer saçılma açısı küçükse  $\cos\theta = 1$  olur ve E\* yaklaşık olarak E' ye eşit olur. Bu da yüksek enerjide gelen gama ışınının enerji kaybının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğunu belirler.



**Şekil 2.9** : Compton saçılması.

Öte yandan sapma açısı  $90^\circ$  olursa  $\cos\theta = 0$  olur, buradan  $E^*$ ;

$$E^* = \frac{0.51 E}{E + 0.51} < 0.51 \text{ MeV} \quad (2.7)$$

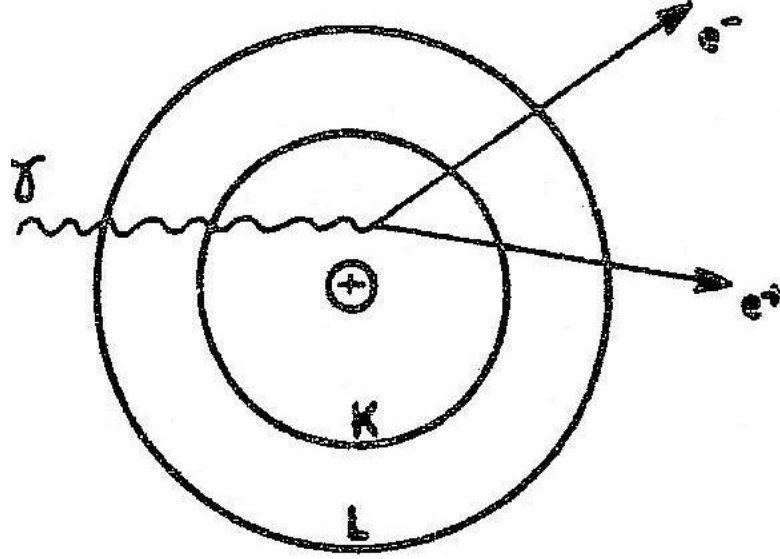
olarak elde edilir. Sonuç olarak saçılan foton enerjisi 0.51 MeV' den büyük olamaz.

Compton saçılması foton ve elektron arasında olduğundan miktarı, soğurucu atomun elektronlarının sayısına, yani atom numarasına bağlıdır. Saçılan foton ortamdaki kaçmaz ve daha düşük enerjili olduğundan ortamda fotoelektrik etkileşme yapmaya başlar ( Bilge, 1991 ).

### 2.2.3 Çift Oluşumu

Enerjisi 1,02 MeV' den büyük olan gama fotonu atom çekirdeğinin yanından geçerse, çekirdeğin kuvvetli elektrik alanında foton yok edilir. Elektron ve pozitron çifti oluşur. Elektron ve pozitronun toplam kütlelerinin eşdeğer enerjisi 1.02 MeV olduğundan, parçacık çiftinin oluşturulması için, gerekli minimum enerjinin 1.02 MeV olması gerekir. Gama foton enerjisi 1.02 MeV'in üstünde olduğu zaman bu enerji, elektron ve pozitronun kinetik enerjisi olarak, elektron ve pozitrona aktarılır, az bir kısmı da atom çekirdeğine transfer edilir. Gama foton enerjisinin artmasıyla Fotoelektrik ve Compton olayları azalır ve çift oluşumu olasılığı artar. Fotoelektrik olayda olduğu gibi çift oluşum olayı da gama fotonunun soğrulmasıyla sonuçlanır. Oluşan bazı elektron ve pozitronlar birbirlerini nötralize eder ve anihilasyon

radasyonu verirler. Çift oluşumun şematik gösterimi Şekil 2.10' da verilmektedir (Bilge, 1991 ).



Şekil 2.10 : Çift oluşumu.

### 2. 3 Beta Işınları

Beta ışınlarının, radyoaktif çekirdeklerden ışık hızına çok yakın hız ile atılmış elektronlar olduğu yapılan yük / kütle ölçümleri ile anlaşılmıştır. Betalar ile ilgili özellikler aşağıda sıralandığı şekildedir ( Aybers ve Karasulu, 1980; Göksel, 1979; Eisenbud, 1963; Aybers ve Bayülken, 1990; Baydoğan, 2009 ).

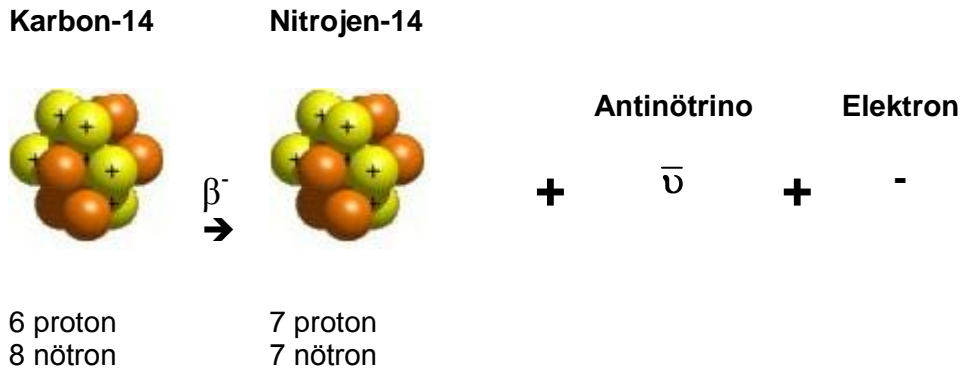
- Elektron veya pozitron formunda olup küçük kütle ve değişken enerjiye sahiptirler.
- Pozitif veya negatif yüklüdürler.
- Bir kitap ile durdurulabilirler.
- Ahşap, lüsit ve pleksicam gibi düşük yoğunluktaki malzemelerle zırhlanabilirler.
- Ortalama beta enerjisi,  $E_{av}$  yaklaşık olarak, maksimum elektron enerjisinin,  $E_{max}$  1/3 'ü olup;  $E_{av} \approx 1/3E_{max}$  olarak alınabilir.
- Beta ışınları  $\alpha$ -ışınlarına göre madde içinde daha girici özellikleri olmalarına rağmen, kütle ve yüklerinin küçük olması nedeniyle daha az iyonlaşma yaparlar.

- Maddeye giricilik kabiliyetleri enerjilerine bağlı olarak 1-2 cm'dir.
- Negatif yüklü beta parçacığı, enerjinin korunumu gereği sahip olduğu kinetik enerjisi dışında, sıradan bir elektronla benzer yapıya sahiptir
- Stronsiyum, Fosfor, Karbon ve Kükürt çeşitli endüstri alanlarında kullanılan beta kaynaklarıdır.
- Sr-90 tıpta ve endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılır.
- Fosfor-32 araştırmalarda radyo izleyici olarak kullanılan kısa ömürlü yüksek enerjili beta kaynağıdır. DNA araştırmalarında kullanılabilir.
- Karbon-14 organik bileşiklerde radyoaktif izleyici olarak yaygın bir şekilde kullanılır.

### 2.3.1. Beta Bozunması

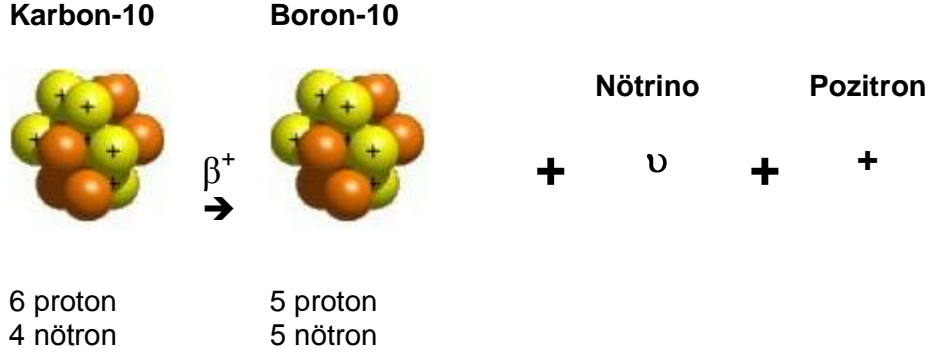
Beta ışınlarının bozunması Negatif ve Pozitif Beta bozunması olarak iki alt grupta incelenebilir;

- Negatif Beta (  $\beta^-$  ) bozunması esnasında aşağıdaki C-14 örneğinde görüldüğü gibi ( Şekil 2.11 ), çekirdekteki bir nötron; protona, elektrona ve antinötrinoya dönüşür.



**Şekil 2.11** : Negatif beta bozunumu.

- Pozitif Beta (  $\beta^+$  ) bozunması esnasında çekirdekteki proton; nötrona, pozitrona ve nötrinoya dönüşür. Pozitron yayınlanmasıyla bozunum daha çok yapay radyoaktif çekirdeklerde gözlenir ( Aybers, 1980 ). Buna örnek olarak C-10'nun  $\beta^+$  bozunması Şekil 2.12'de görüldüğü şekilde oluşur.



**Şekil 2.12** : Pozitif beta bozunumu.

#### 2. 4 Beta Işınlarının Malzemeyi Etkileme Mekanizmaları

Elektronların madde ile etkileşimleri elektriksel Coulomb etkileşimine uyarlar. Genel olarak esnek olmayan çarpışmalar kinetik enerjinin iyonizasyon, uyarma veya elektromanyetik radyasyon gibi diğer bir enerji şekline dönüşüm olayıdır. Esnek çarpışmalarda enerji diğer bir cisme nakledilir ( Bilge, 1991 ).

Atom çekirdekleriyle esnek olmayan çarpışmada, yüklü parçacıklar çekirdeğe çok yaklaşırlar ve elektrostatik alanın etkisinde kalarak ivme kazanırlar. Eşitlik 2.8' de ifade edilen,  $a$  ivmesi,  $e$  elektronun yükü,  $Z$  etkileşen atom çekirdekleri üzerindeki elektron yük sayısı ve  $z$  parçacık üzerindeki yük sayısı ile doğru ve parçacığın kütlesiyle ters orantılıdır ( Bilge, 1991 ).

$$a \propto \frac{Zeze}{M} \quad \dots\dots( 2.8 )$$

Küçük kütlelerinden dolayı elektronlar bu alanda çok hızlanırlar. Elektron gibi yüklü parçacıklar bu şekilde hızlandıklarında hızlarıyla orantılı olarak elektromanyetik ışınım yayarlar. Bu ışınım genelde frenleme ya da Bremsstrahlung radyasyonu olarak bilinir.

Elektronların atom çekirdekleriyle esnek çarpışmalarında enerji kaybı kütle farklarının fazlalığından dolayı ihmal edilebilecek kadar azdır. Enerji ve momentumun korunumu kanunundan, parçacığın maksimum kinetik enerji kaybı kafa kafaya çarpışmayla olur ( Bilge, 1991 );

$$(KE_n)_{kayıp} = \frac{4m_1m_2}{(m_1 + m_2)^2} (KE_n)_{ilk} \quad ( 2.9 )$$

Burada  $m_1$  elektronun kütlesi,  $m_2$ ' de soğurucu çekirdek kütlesi olup  $m_1 \gg m_2$  olduğundan;

$$(KE_n)_{kayıp} = \frac{4m_1}{m} (KE_n)_{ilk} \quad (2.10)$$

olur. Elektronun kütlesi, en küçük çekirdeğin 1/1840'ı kadar olduğundan esnek saçılmada enerji kaybı çok az olur.



### 3. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> İNCE FİMLER

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> İnce filmler; nanometre mertebelerinden mikrometre mertebelerine kadar uzanan bir kalınlık aralığında olan ince malzeme katmanlarıdır. Elektronik yarı-iletken cihazlar ve optik kaplamaların gelişiminde fayda sağlamıştır.

#### 3.1 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> İnce Filmlerin Özellikleri

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmleri biriktirme yöntemlerine bağlı olarak yüksek kırılma malzeme ve farklı optik özellikler gösteren pek çok uygulama alanında kullanılmaktadırlar.

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> yüksek kırılma indeksinden dolayı, cam üretiminde ve çoğu fotoğraf lenslerinde halen yoğun bir şekilde kullanımı sürmektedir. Optik özellik olarak, kırılma indeksi oldukça yüksek bir malzemedir ( Ngaruiya, 2003; Boughabaa, 2005; Babeva, 2005; Ndiege, 2007; Baydoğan ve Tugrul, 2006; Yildirim, 2005; Egelkrou, 1981; Atanassova, 2001; Brown ve Horne, 1967; Zayim ve Baydoğan, 2006; Cheng-Chung ve Der-Jun , 2005 ).

Tantal pentoksit veya Tantal ( V ) oksit olarak bilinen Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 'in optik ve yapısal özellikleri Çizelge 3.1' de görülmektedir.

**Çizelge 3.1 :** Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>' in optik ve yapısal özellikleri.

Molar kütle ( g/mol )	Yoğunluk ( g/cm <sup>3</sup> )	Erime noktası ( °C )	Görünüm
441.893	8.20	1872	Beyaz, kokusuz toz
Çözünürlük	<ul style="list-style-type: none"><li>• Suda ve etanolde çözünmez.</li><li>• Sıcak konsantrasyonlu hidroflorür asit çözeltisinde çözünür.</li></ul>		
Yapısı:	<ul style="list-style-type: none"><li>• İki tür yüksek sıcaklık formu bulunur;<ul style="list-style-type: none"><li>○ Düşük sıcaklıktaki formu β-fazı,</li><li>○ Yüksek sıcaklıktaki formu α-fazı olarak bilinir.</li></ul></li><li>• Her iki formun arasındaki geçiş noktası 1360 °C dir.</li><li>• Geçiş yavaş fakat tersinirdir.</li></ul>		

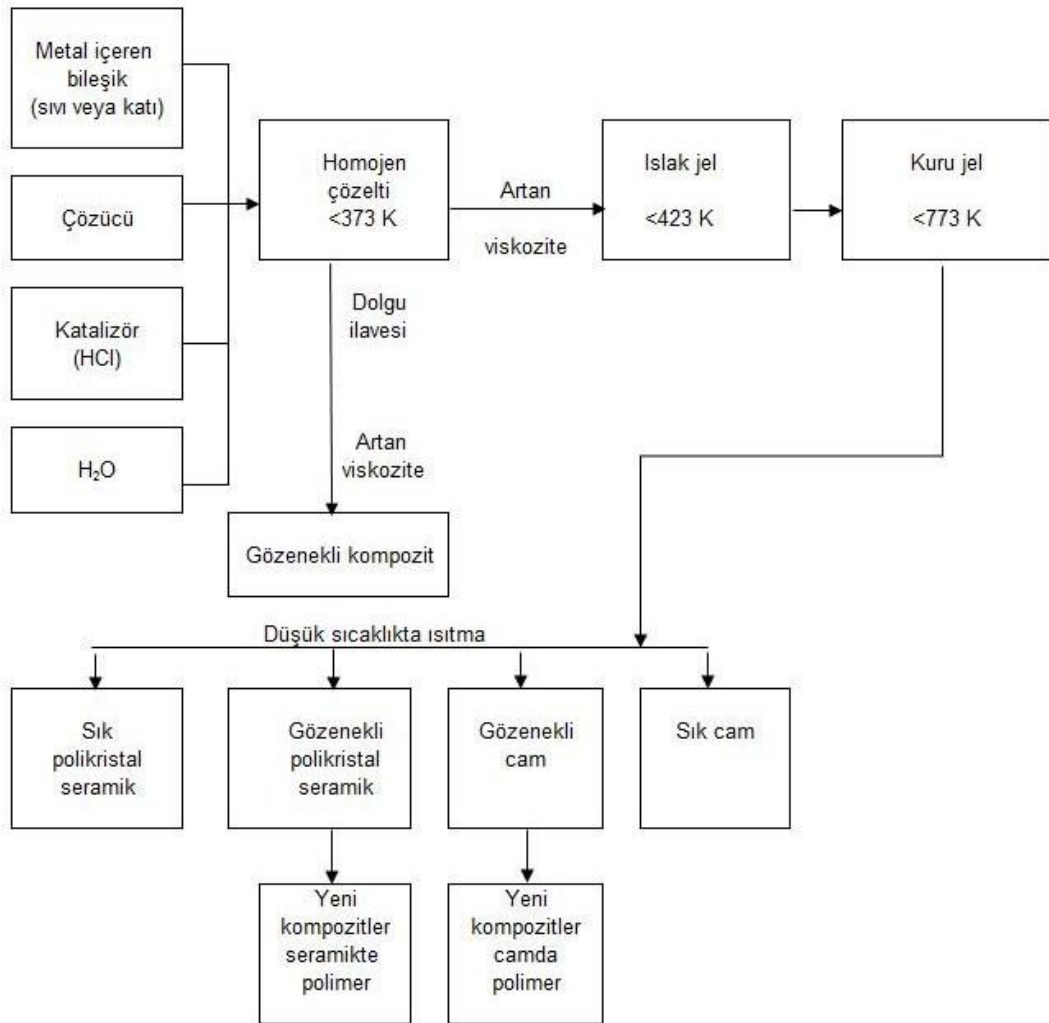
### 3.2 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> İnce Filmlerin Kullanım Alanları

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmler, çeşitli endüstriyel uygulamalara bağlı olarak antireflektif yapılarda, optik dalga klavuzlarında, otomotiv elektroniğinde kullanılan kapasitörlerde, cep telefonlarında, çağrı cihazlarında, elektronik devrelerde, güneş hücreleri üzerindeki yansıtıcı kaplamalarda, ince-film bileşenlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmler, çeşitli düzeneklerdeki antireflektif yapılarda, otomotiv elektroniğinde kullanılan kapasitörlerde, cep telefonlarında, çağrı cihazlarında, elektronik devrelerde, ince-film bileşenlerinde kullanılmaktadır ( Url-4 ).

Araştırmalara 1990' lı yıllarda başlanmış ve bir Japon firması olan Elpida Memory ultra ince tantal oksit filmlerle bilgisayarın bilgiye erişirken kullandığı, 0 ve 1' li yapıda bilgi depolayan dinamik erişilebilir bellek ( DRAM: Dynamic Random Access Memory ) kapasitör uygulamaları geliştirmiştir ( Url-5; Url-6; Babeva, 2005 ). 2000' li yıllarda Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>' e olan ilgi azalsa da, yüksek kırılma indeksinden dolayı cam üretiminde ve çoğu fotoğraf lenslerinde kullanımı halen sürmektedir ( Url-4 ).

#### 4. SOL-JEL YÖNTEMİ

Sol-jel yöntemi çözelti formundan yola çıkarak cam, seramik ve kompozit malzemeler gibi pek çok malzemenin üretim tekniğine verilen genel isimdir. Yeni bir yöntem olmasına rağmen, yüzeylere yeni özellikler kazandırılmasında önemli katkılarda bulunmaktadır. Şekil 4.1' de Sol-jel yöntemine ait genel yapı görülmektedir.



**Şekil 4.1** : Sol-jel yöntemi genel yapısı ( Akıncı, 1995 ).

Kullanım alanlarından bazıları cam üretimi, film, fiber, monolit, toz, kompozit, seramik, nanotanecek olarak özetlenebilir. Sol-jel yöntemi ile dünya'nın en hafif malzemeleri üretilebildiği gibi, en sert seramikler de elde edilebilir ( Evcin, 2006 ).

Genel yapıyı aşağıdaki başlıklar altında inceleyebiliriz;

- Başlangıç Malzemeleri
- Hidroliz ve Kondenzasyon
- Jelleşme
- Kurutma

Temel özelliği sulu bir çözücü içerisinde metal bileşiklerini, kendi başlangıç birimlerine dağıtmaktır. Bu amaçla çeşitli reaksiyon başlatıcı maddeler (precursor) kullanılmaktadır. Sol-jel sentezi reaksiyonu başlatıcı maddelere göre ikiye ayrılır; Metal organik; organik çözücülerde metal alkoksitlerle yapılır. İnorganik; sulu çözeltilerde (klorür, nitrat, vb) metal tuzları ile yapılır. Su, asit veya alkol ile karıştırılarak hazırlanan çözeltiler hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonları sonucu jel haline dönüşür. Hidroliz ürünlerinin ve organik kalıntıların kurutma ile uzaklaştırılması sırasında kristal bir yapı elde edilmektedir. Ancak bu sırada, kaplama yüzeyinde çatlaklar oluşabilmektedir.

#### **4.1 Sol-jel Kaplama Yönteminin Özellikleri ve Uygulamaları**

Sol-jel yöntemi; cam, seramik, metal ve plastik taşıyıcıların kaplanarak, yüzey özelliklerini iyileştirmek, yeni özellikler kazandırmak (optik, elektronik, kimyasal ve mekanik gibi) amacıyla uygulanan bir kaplama tekniğidir.

Sol-jel yönteminin günümüzdeki en önemli uygulaması kaplanmış camların üretilmesine yöneliktir. Bu uygulamadan başka bazı özel camlar bu yöntemle üretilmekte ya da yüzeyleri kaplanmaktadır. Sol-jel yönteminin uygulama örneklerinden bazıları aşağıda sıralanmıştır ( Akıncı, 1995; Evcin, 2006 ).

- Otomobil ayna camlarının yüzeylerinin  $TiO_2/SiO_2/TiO_2$  sistemi ile kaplanması ( 1959 ),
- Yansıtma amaçlı ( AR antirefleksif –antireflecting coating ) kaplamalar,
- İndiyum Titanyum Oksit ( ITO ) kaplamaları ile güneş ışınlarını yansıtan pencere camı üretimi ( 1969 ),
- Lazer koruyucu filtreler için silika-fosfat camları üretimi,

- Demir, kobalt, mangan, nikel ve krom gibi geçiş elemanları kullanarak renkli kaplama malzemelerinin üretimi,
- Radyasyona dayanıklı ve hızlı ölçümlere olanak sağlayan sintilasyon dedektörlerinin üretimi,
- Kırılma indisi radyal olarak değişen çubukların üretimi,
- Soda–kireç-silika camının, organik modifikasyonlu silikalar (ormosil) ile kaplanmasıyla aside ve suya dayanıklılığının artırılması,
- Silisyum ve titanyum alkoksitler ile kontakt lens malzemelerin üretim,
- Antik camların sol-jel yöntemiyle aşınmaya dirençli maddelerle kaplanması sonucu çevre etkilerinden korunması,
- Çelik malzemelerin paslanmaya, çizilmeye ve oksidasyona karşı korunması için yüzeylerin kaplanması,
- Birleştirilen döndürme ve püskürtme yöntemleri ile televizyon ekranlarının kaplanması kousunda sol-jel yöntemi kullanılmaktadır.

Tüm yöntemlerde olduğu gibi sol-jel yönteminin de avantajları ve dezavantajları vardır ( Şişecam, 1989 ). Sol-jel yönteminin avantajları şöyle sıralanabilir;

- Klasik eritme ile üretimi zor olan, erime sıcaklıkları yüksek ve soğuma sırasında kristalleşme eğilimi gösteren maddelerden düşük sıcaklarda camlar elde edilir.
- Çok çeşitli elementlerin katılımıyla yeni ve değişik türde seramik ve camlar yapılır.
- Ürünler yüksek saflıkta elde edilir. Ortamdan gelen safsızlıklar ve reaksiyon kabıyla etkileşim oldukça düşüktür. Bu özellikten dolayı optik ürünlerde önemli avantajlar sağlar.
- Proses sırasındaki karıştırma moleküler düzeyde olduğundan üretilen seramik ve camlar homojen bir yapıya sahiptir. Bu özellikten yine optik malzemelerin üretiminde yararlanır.
- Polimerizasyon sırasında jel içinde değişik zincir uzunluğunda polimer moleküllerinin bulunması ve ısı işlem sırasında bunların kısmen faz ayrımına uğramaları nedeniyle seramik yapıda bileşim farklılığı göstermeden yapısal değişiklikler gösteren bölgelerin oluşabilmesi mümkündür.

- Proses için gerekli ısı işlem sıcaklıkları genellikle 1000 °C' nin altında olduğundan önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanır.
- Eritme prosesinde buharlaşmadan kaynaklanan kayıplar bu yöntemde en aza indirilir.

Jel yapısındaki gözeneklerin (porların) büyüklük ve dağılımı kurutma işleminin kontrollü bir şekilde yapılmasıyla, asit veya baz katalizör kullanılmasıyla veya ısı işlem sıcaklığı gibi proses parametrelerinin değiştirilebilmesi ile ayarlanabilir. Bu şekilde istenilen porozitede ürünler üretilebilmektedir ( Şişecam, 1989 ).

Camların ve yüksek sıcaklığa dayanıklı olmayan plastik gibi maddelerin yüzeyleri seramikle kaplanarak bu maddelerin çizilme, sürtünme, aşınma, mukavemet gibi fiziksel, optik ve kimyasal özellikleri geliştirilebilir. Çözeltilerin reolojik özellikleri nedeniyle daldırma, enjeksiyon, döküm gibi yöntemler ile elyaf, film ve kompozit malzemeler üretilir. Sol-jel yöntemi ile organik-inorganik malzemelerin sentezi, seramik ile plastik malzeme özelliklerinin birleştiği yeni malzeme türlerinin üretilmesine olanak sağlar ( Akıncı, 1995; Evcin, 2006 ).

Sol-jel yönteminin dezavantajları şöyle sıralanabilir;

- Hammadde fiyatlarının yüksek olması nedeniyle uygulamalar bazı özel seramik ve kaplama üretimi ile sınırlıdır.
- İşlem süresinin uzunluğu üretim miktarını kısıtlayıcı bir faktördür. Yürüyen bant üzerinde kaplama mümkün olmamaktadır.
- Kullanılan organik maddelerin sağlığa zararlı olmaları uygulamalarda özel koruyucu tedbirler alınmasına neden olduğundan maliyet artar.
- Sinterleştirme esnasında görülen yüksek daralma şekillendirmeyi zorlaştırır.
- Jel içinde kalan gözenekler, hidroksil iyonları ( OH<sup>-</sup> ) ve karbon ( C ) atomları bazı özel amaçlı seramiklerde hataya neden olur.

#### 4.2 Sol-jel Kaplama Yöntemleri

Cam yüzeylerin kaplanmasında pek çok yöntemden faydalanılmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır;

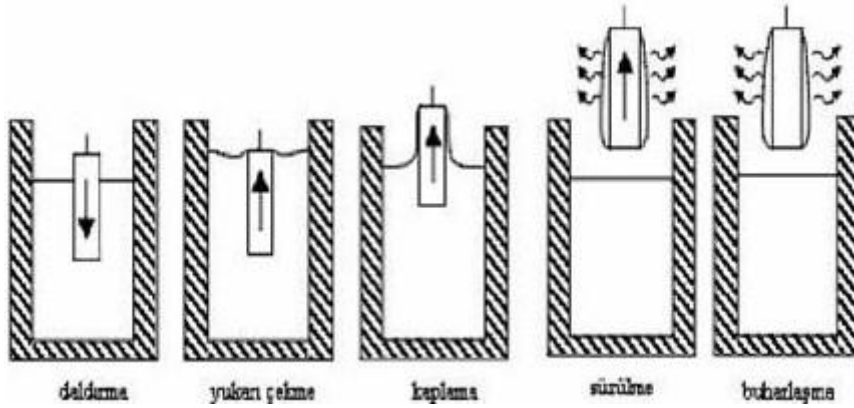
- Katı Ekstraksiyon ( Süzdürme-katı maddeler içindeki çözünmüş kısmı kütle transferi ile ayırmak ) Yöntemi ( LP: Leaching Process ),
- Fiziksel Buhar Yöntemi ( PVD: Physical Vacuum Process )

- Kimyasal Buhar Yöntemi ( CVD: Chemical Vapor Deposition )
- Sıvı Püskürtme Yöntemi ( LSD: Spray Process )
- Daldırarak Kaplama Yöntemi ( DCD: Dip - Coating Process )
- Döndürerek Kaplama Yöntemi ( SCD: Spin Coating )

Yukarıdaki yöntemlerden daldırma ve döndürme yöntemleri ile film hazırlama hakkında detaylı olarak bahsedeceğiz.

#### 4.2.1 Daldırarak Kaplama Yöntemi (Dip Coating Process)

Bu yöntem genelde saydam iletken tabakaların üretiminde kullanılır. Sol-jel daldırarak kaplama yöntemiyle özellikle pürüzsüz yüzeyler saydam oksit tabakalarıyla kaplanabilir. Proses sıcaklığı 500 °C' ye dayanıklı diğer pürüzsüz yüzeyler de kaplama için kullanılabilir. Yüzeyde 1000' nm ye kadar film kalınlığı elde edilebilir. Bu yöntemin temelini alkollü çözeltilerde kolayca hidroliz olabilen metal bileşiklerin reaksiyonları oluşturmaktadır. Daldırarak kaplama işleminin aşamaları Şekil 4.2' de görülmektedir;



**Şekil 4.2** : Daldırarak kaplama prosesi.

Yöntem, bir cam taşıyıcının hazırlanan sol içerisinde belli bir hızda daldırılıp aynı hızda geri çıkarılması yoluyla film kaplanması işlemidir. Bu yöntemle kaplama yapıldığı zaman film kalınlığı, taşıyıcı sole daldırılıp çıkarıldığı esnada, zamanla değişmez. Daldırma yöntemi daldırma, yukarı çekme, kaplama, süzülme ve buharlaşma olmak üzere beş aşamadan oluşur. Alkol gibi uçucu çözücüler kullanıldığında, buharlaşma olayı, normal olarak yukarı çekme, kaplama ve süzülme aşamalarında da gerçekleşir ( Akıncı, 1995; Evcin, 2006 ).

Yüzeyi kaplanacak olan cam, temizleme çözeltileriyle iyi bir şekilde temizlenir, kurutulur, metal bileşikleri içeren çözeltilere daldırılır ve sabit bir hızla nem içeren bir

atmosfere çekilir. Likid filmin bir kısmı cam yüzeyinden akar, diğer kısmı yüzeyde kalır ve çözücünün buharlaşmasıyla katılaştır. Kaplanmış yüzey daha sonra fırında 400-500 °C' de ısıtılarak şeffaf oksit yapısı elde edilir.

Daldırma işlemi sırasında yüzey ve çözelti sıcaklığı sabit tutulmalıdır. Bu durumda kaplama kalınlığı çözelti konsantrasyonuna, viskozitesine, camın çözücüden çekiliş hızına ve açısına bağlıdır. Kaplama kalınlığının plakanın her iki tarafında da eşit olabilmesi için çekiş açısı genelde 90° 'dir. Kaplama kalınlığını etkileyen diğer faktörler ise çözeltinin yüzey gerilimi, kaplama banyosu üzerindeki kısmi nem ve buhar basıncıdır. Reaksiyon ortamının temizliği ve hava akımlarına dikkat edilmelidir ( Evcin, 2006; Akıncı, 1995 ).

Daldırma yönteminin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır;

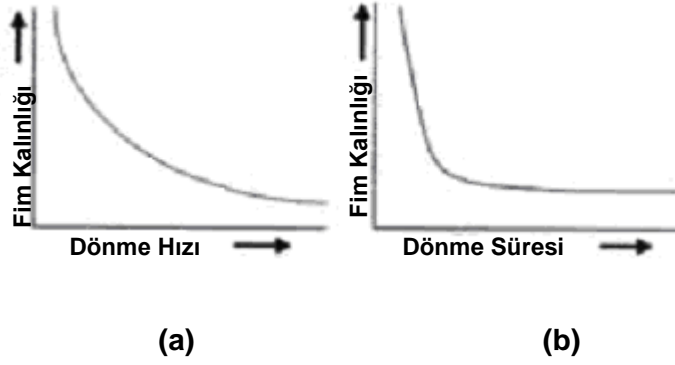
- Yüksek homojenlikte değişik kaplama kalınlıkları elde etmek mümkündür ve kalınlık kontrolü kolayca yapılır,
- Aynı işlemin tekrarlanmasıyla cam üzerine birden fazla kaplama yapılabilir,
- Birçok metal oksit tabaka birbirinin üstüne kaplanabilir, bu da geçirgenlik ve yansıtma gibi optik özelliklerin geliştirilmesine olanak sağlar.
- Boyutlar büyüdükçe kaplama maliyeti azalır,
- Bu yöntem tüp, boru ve çubukların kaplanmasına olanak sağlar,
- Elyaf kaplama da bu yöntemle yapılabilir.

Yöntemin belli başlı dezavantajı ise, sıvının kaplanmış yüzeyden akış hızını değiştiren kübik veya prizma gibi şekilli yüzeyler için elverişli olmamasıdır.

#### **4.2.2 Döndürerek Kaplama Yöntemi (Spin Coating)**

Bu yöntemde kaplama malzemesi çözelti olarak hazırlanır. Proses bir çözelti damlasının bir taşıyıcının merkezine damlatılması ve sonra taşıyıcının yüksek dönme hızlarında ( örneğin 3000 dev/dak ) döndürülmesi esasına dayanır. Merkezi hızlandırma fazla çözeltinin uzaklaştırılmasına ve kalan çözeltinin ise taşıyıcı yüzeyine ince film şeklinde yayılmasına neden olur. Dönmenin etkisiyle çözelti yüzeyde eşit olarak dağılır. Oksit şeklinde bir çözelti durumunda nemli bir atmosferde hidrojenasyon ve polimerizasyon reaksiyonları sonucunda kurutma ve sinterleme işlemleri de yapılarak kaplama elde edilir. Nihai film kalınlığı ve diğer özellikler, çözelti özellikleri ( viskozite, kuruma hızı, katı oranı ve yüzey gerilmeleri ) ile işlem şartlarına ( devir, hızlandırma ) bağlıdır (Şekil 4.3).





**Şekil 4.3 :** Film kalınlığının (a) dönme hızı ve (b) dönme süresine bağlı değişimi.

Şekil 4.4' de görüldüğü gibi, tipik olarak kaplama işlemi üç adımdan oluşur. Hazırlanan taşıyıcı üzerine çözelti damlatılır, yüksek hızlı döndürme ile fazla çözücünün uzaklaşması ve çözeltinin yayılması sağlanır. Kurutma işlemi ile çözeltinin buharlaştırılması, jelleştirme ile kaplama işlemi tamamlanır. Optik özellikteki kaplamaların kalitesi yüksek olmaktadır. Ancak ekonomik yönden bakıldığında maliyeti oldukça yüksek bir yöntemdir ( Akıncı, 1995; Evcin, 2006; Şişecam, 1998 ).



**Şekil 4.4 :** Döndürerek kaplama yöntemi.

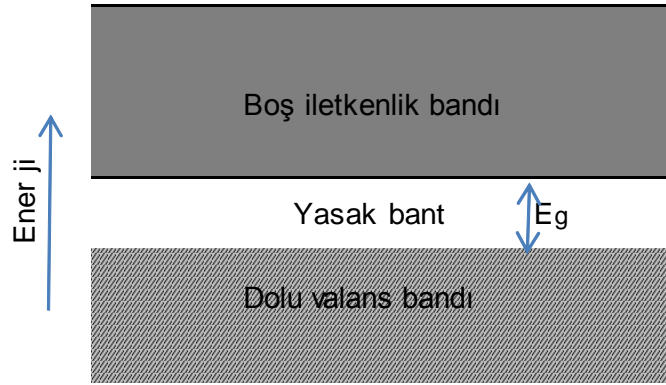
### 4.3 Yarıiletken Kristal Yapılar

Yarı iletkenler oda sıcaklığında  $10^{-2}$  den  $10^9$  ohm-cm ye kadar ve sıcaklıkla hızlı değişen elektrik özdirençleriyle sınıflandırılırlar. Özdirenci  $10^{14}$  ohm-cm'den büyük olan maddeler yalıtkan olarak isimlendirilir. Mutlak sıfırda saf yarıiletkenlerin çoğu yalıtandır ( Kittel, 2006 ).

Yarıiletken maddelerden yapılmış aygıtlar arasında anahtar, diyot, fotovoltaiik pil, detektör ve transistörleri sayabiliriz. Bu aygıtlar devre elemanı olarak tek başlarına kullanılabilir veya entegre devrelerin bir parçası olabilirler.

Saflık derecesi yüksek bir yarıiletken, daha az saf olan örneklerde görülen katkı özdirencinden farklı olarak özgün özdirenç gösterir. Özgün sıcaklık aralığında bir

yarıiletkenin elektriksel özellikleri kristaldeki katkı maddelerinden dolayı pek değişmez. Özgün iletkenliğe yol açan bir elektronik bant yapısı Şekil 4.5' de gösterilmiştir. Mutlak sıfırda iletkenlik bandı tamamen boş olup dolu valans bandından  $E_g$  kadar bir enerji aralığı ile ayrılmıştır.  $0^\circ\text{K}$  sıcaklıkta, valans bandındaki tüm yörüngeler dolu ve iletkenlik bandındaki tüm yörüngeler boş olduğundan, öziletkenlik sıfır olur. Sıcaklık arttırıldığında elektronlar valans bandından iletkenlik bandına ısısal uyarma yoluyla geçip hareketlilik kazanırlar.



**Şekil 4.5** : Bir yarıiletkende özgün iletkenlik için bant yapısı.

Bant aralığı, iletkenlik bandının en düşük enerjisi ile valans bandının en yüksek enerjisi arasındaki enerji farkıdır. İletkenlik bandının en düşük noktası iletkenlik bant kıyısı, valans bandının en yüksek noktası ise valans bant kıyısı olarak adlandırılır.

Sıcaklık arttıkça, elektronlar valans bandından iletkenlik bandına ısısal uyarma yoluyla geçerler. Hem iletkenlik bandındaki elektronlar, hem de bunların valans bandında bıraktıkları boşluklar elektrik iletkenliğine katılırlar.

Özgün koşullarda boşluk yoğunluğu ile elektron yoğunluğu birbirine eşittir. Belirli bir sıcaklıkta Ge'daki özgün yoğunluk Si'dakinden daha büyüktür, çünkü Ge' da enerji aralığı ( 0.66 eV ) Si' daki aralıktan ( 1.11 eV ) daha küçüktür.

#### 4.3.1 Bant Aralığı

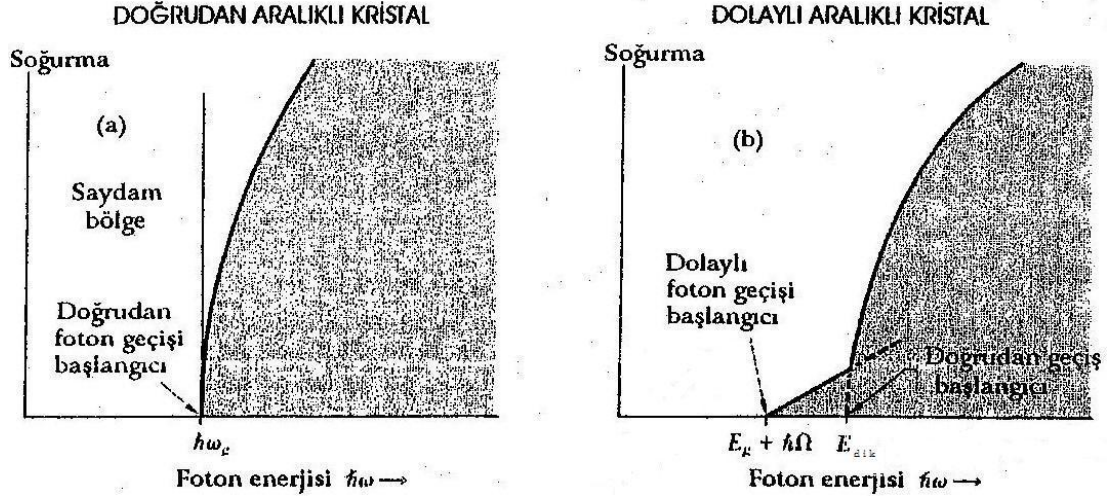
Bir yarıiletkeni belirleyen en önemli büyüklüklerden biri enerji bant aralığıdır (Kittel, 2006). Bant aralığında en iyi ölçüm sonucu veren yöntem optik soğurmadır. Sürekli optik soğurma bölgesinin eşik frekansı  $\omega_g$  ise bant aralığı  $E_g$ ;

$$E_g = \hbar\omega_g \quad (4.1)$$

ile tayin edilir ( Şekil 4.6a ve 4.7a ). Burada  $h$  Planck sabiti olmak üzere indirgenmiş Planck sabiti  $\hbar$  ;

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilir. Doğrudan soğurma olayında bir foton kristal tarafından soğrulurken bir elektron ve bir boşluk yaratılır.



**Şekil 4.6** : Saf yalıtkanlarda mutlak sıfırda optik soğurma.

Şekil 4.6a'da enerji aralığı eşik enerjisiyle bant aralığı belirlenir (Eşitlik 4.1). Şekil 4.6b'de görüldüğü gibi eşik enerjisi yakınında optik soğurma daha zayıf olur.

$$\hbar\omega = E_g + \hbar\Omega \quad (4.3)$$

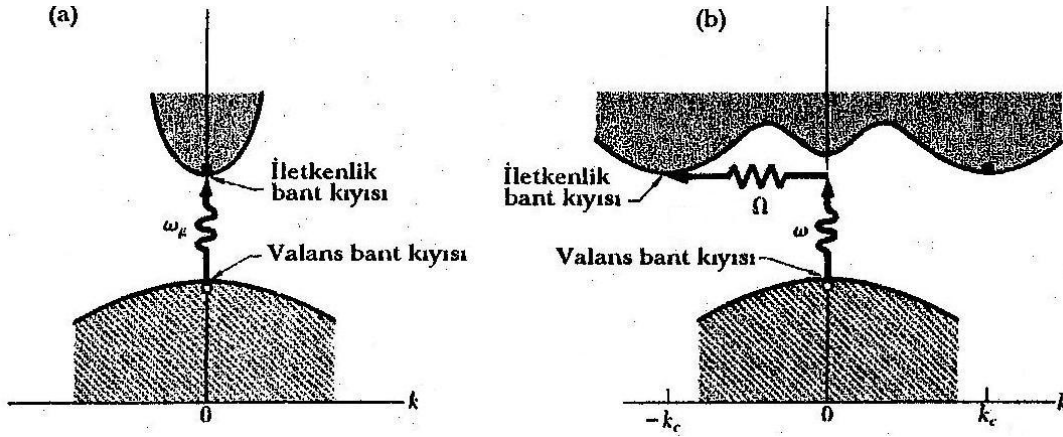
değerinde bir foton soğrulduğunda üç parçacık yaratılır: serbest elektron, serbest bir boşluk ve  $\hbar\Omega$  enerjili bir fonon. Kristal bir örgüde atomların yaptıkları titreşimler kuantumlanmıştır. Kuantum enerjisi, elektromanyetik dalgadaki fotona benzer şekilde, kristal bir örgü içerisinde fonon olarak isimlendirilir. Kristallerde elastik dalgalar fononlardan oluşmuştur ( Kittel, 2006 ). Şekil 4.7b' deki  $E_{dik}$  enerjisi, fonon olmadan serbest bir elektron ve serbest bir boşluk yaratılması için gereken eşik enerjisidir. Bu tür geçişlere "dikey" denir ve Şekil 4.7a'daki doğrudan geçişe benzer. Bu diyagramlarda bazen eşiğin alt kısmına yakın bölgede yer alan soğrulma geçişleri gösterilmemiştir. Bu geçişler "eksiton" denilen bağlı elektron-boşluk çifti yaratılmasından kaynaklanır.

Dolaylı soğurma olayındaki ( Şekil 4.6b ve 4.7b ) minimum enerji aralığı hesabı, aralarında büyük bir  $\vec{k}_c$  dalga vektörü farkı olan elektron ve boşluk durumlarını içerir.

Burada minimum enerji aralığında doğrudan bir foton geçişi, dalga vektörü korunumu koşuluyla sağlanamaz, çünkü bu enerji aralığında foton momentumu çok küçüktür. Ancak, bu olayda dalga vektörü  $\vec{K}$  ve frekansı  $\Omega$  olan bir fonon yaratılmışsa korunum yasalarına göre  $\vec{k}$  bağıntısı;

$$\vec{k} \text{ (foton)} = \vec{k}_c + K \approx 0 \quad (4.4)$$

şeklinde olmak zorundadır. Eşitlik 4.3' deki fonon enerjisi  $\hbar\Omega$  genellikle  $E_g$  bant aralığından çok küçük olacaktır. Çok büyük dalga vektörlü bir fonon bile kristal momentum kaynağı olabilir, çünkü buna karşılık gelen enerjiler ( 0.01 ile 0.03 eV ) olup enerji aralığına kıyasla küçüktür. Sıcaklık yeterince yüksekse, gerekli foton kristalin ısısal çalkantısı ile zaten ayrılmış olur. Ayrıca foton soğrulması ile aynı anda bir fonon soğrulabilir.



**Şekil 4.7 :** Optik geçişler; ( a ) Doğrudan geçiş, ( b ) Dolaylı geçiş.

Şekil 4.7a' da, iletkenlik bandının en alt noktası ile valans bandının en yüksek noktası aynı  $\vec{k}$  değerinde oluşur. Doğrudan bir optik geçiş ( dikey çizili )  $\vec{k}$  değerinde önemli bir değişikliğe yol açmaz, çünkü soğrulan fotonun dalga değeri küçüktür. Doğrudan geçişli soğrulmada eşik frekansı  $\omega_g$  enerji aralığını Eşitlik 4.1 ile belirler.

Şekil 4.7b' deki dolaylı geçiş hem foton hem fononla olur, çünkü  $\vec{k}$  uzayında valans ve iletkenlik bantları arasında geniş bir aralık vardır. (b) deki dolaylı geçişin eşik enerjisi gerçek bant aralığından daha büyük olur. Bant kıyıları arasındaki soğrulma için eşik enerjisi ( Eşitlik 4.3 ) olup,  $\Omega$  frekansı  $\vec{K} \approx -\vec{k}_c$  dalga vektörlü fononun frekansıdır. Öte yandan, yüksek sıcaklıklarda, ortamda zaten var olan fononlar bir fotonla birlikte soğrulabilirler ve bu geçişin eşik enerjisi;

$$\hbar\omega = E_g - \hbar\Omega \quad (4.5)$$

olur. Şekilde sadece eşikteki geçişler gösterilmiştir. Genelde iki bandın tüm noktaları arasında geçişler olabilir ve bu geçişler sırasında dalga vektörü ve enerji korunur. (Kittel, 2004 ).



## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında öncelikle tantal pentoksit solü hazırlanmış ve döndürerek kaplama yöntemiyle filmler oluşturulmuş ve aynı tarzda ( Baydogan ve Ozkan, 2007) tekrar filmler üretilerek belirli aralıklarla optik özellikleri incelenmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

XRD tekniği ile Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmin kimyasal kristalizasyonu değerlendirilmiştir. Tipik XRD paternleri GBC-MMA X - Ray Diffractomer kullanılarak, 2 deg / min sabit tarama hızında, 20°' den 80° aralığına kadar 2θ'da veri toplanmıştır. Hazırlanan filmlerin yüzey karakterizasyonunda kullanılan XRD cihazı Şekil 5.1' de görülmektedir.



**Şekil 5.1** : GBC-MMA X - ışını difraktometresi

Difraksiyon düzlemlerinin belirlenmesinde kullanılan difraktometre bir X - ışın tüpüne sahiptir. Tüp üzerinden geçen akım 28,5 mA ve voltaj ise 35 kV'dir. X - Işını Difraksiyon Spektroskopisi ( XRD ), X - ışını denilen ultraviyole ışıandan daha kuvvetli fakat gama ışınından daha zayıf enerjili ışın kullanılarak yapılan analizi temel alır. Çalışma prensibi olarak örneğe X - ışını göndererek kırılma ve dağılma verilerinin toplaması mümkün olmaktadır. Kristal yapısına göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran örnekler çok hassas biçimde analiz edilebilmektedir.

İnce filmlerin yüzey morfolojisini incelemek amacıyla, SEM ( Scanning Electron Microscope ) görüntüleri elde edilmiştir. Film kalınlığı yüzey profilometresi ile belirlenmiştir.

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmin ve soda-kireç silika cam taşıyıcının kimyasal kompozisyonundaki mevcut geçiş elementleri X - ışını Floresans Spektroskopisi cihazı ( XRF: X - Ray Fluorescence Spectrometer ) kullanılarak analiz edilmiştir.

Üretilen filmlerin geçirgenlik ve yansıtıcılık özellikleri ise 0.5 %T (0~100%T) fotometrik hassasiyetteki çift ışın demeti spektrofotometresi kullanılarak belirlenmiştir.

### 5.1 Solün Hazırlanması

Tantal pentoksit ( Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ) solü, tantal etoksitin saf etanolde hidrolizi ile elde edilmiştir. Tantal etoksit etanol içinde 0.25 molar oran ile eritilmiştir. Solüsyon 30 dakika karıştırıldıktan sonra, etanol ve az bir miktarda su karışımı ile seyreltilmiştir. Solüsyon asetik asit ile katalize edilerek, 18 saat karıştırılmıştır.

### 5.2 Taşıyıcıların Hazırlanması

Film taşıyıcı olarak, 1 mm kalınlıktaki soda-kireç-silika camlar kullanılmıştır. Soda-kireç-silika camların kimyasal kompozisyonunda başlıca; 70% SiO<sub>2</sub>, ve 15% Na<sub>2</sub>O mevcut bulunmaktadır. Çizelge 5.1' de taşıyıcı camın kimyasal bileşimi arz edilmektedir.

**Çizelge 5.1** : Soda-kireç silika camın kimyasal bileşimi.

Bileşim	SO <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	TiO <sub>2</sub>	CaO
İçerik % wt	0.23	4.15	71.73	0.05	13,07	0.18	1.37	0.091	0.00026	0.16	8.35

Silika' ya soda ( Na<sub>2</sub>O ) eklenmesi, erime noktasını 800 - 900 °C' ye düşürmektedir (Amstock, 1997; Glaser, 2000; Da Costa, 2006; Baydogan, N.D. ve Tugrul, A.B., 2006 ).

Cam taşıyıcıların temizlenmesinde ultrasonik temizleme için Sonoreks Ultrasonik Banyo RK-100 H ( Şekil 5.2 ) kullanılmıştır.





**Şekil 5. 2 :** Ultrasonik banyo ekipmanı.

### **5.3 Döndürerek Kaplama Yöntemi ile Taşıyıcının Kaplanması**

Bu çalışmada öncelikle  $Ta_2O_5$  solü hazırlanmış ve Şekil 5.3' de görülen kaplama cihazı kullanılarak, döndürerek kaplama yöntemiyle filmler oluşturulmuştur.



**Şekil 5.3 :** Döndürerek kaplama cihazı.

Saydam bir film elde etmek amacıyla, 2000 rpm' lik bir hızda ( dk.' da 2000 devir ) kaplama işlemi yapılarak Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmler üretilmiştir. Dört katmanlı Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin kalınlığı yaklaşık 150 nm.' dir. Bir sonraki kaplamadan önce, numune yaklaşık 1 saat 60 °C fırınlanmıştır. Üretilen Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmler son olarak, 100 °C' de tavlansmıştır.

#### 5.4 Işınlama İşlemleri

Bu tez çalışmasında incelenen dört adet ince filmin ışınlama işlemleri için İ.T.Ü Enerji Enstitüsü imkânlarından yararlanılmıştır. Gama ışın kaynağı olarak Co-60 radyoizotopu ve beta ışın kaynağı olarak Sr-90 radyoizotopu kullanılmıştır.

##### 5.4.1 Işınlama İşleminde Kullanılan Co-60 Radyoizotopunun Özellikleri

Yapay radyoizotoplardan biri olan, Co-60 radyoizotop kaynağı, endüstriyel ve tıp amaçlı kullanılan yaygın bir radyoizotop kaynaktır. Bu Radyoizotop diğer alternatif izotoplara göre, uzun sayılabilecek yarı ömrü, yüksek foton enerjisi ve nispeten düşük fiyatı nedeniyle tercih edilen bir radyasyon kaynağı olarak değerlendirilmektedir ( Földiak, 1985 ).

Co-60 Radyoizotopunun özellikleri Çizelge 5.2' de arz edilmiştir ( Baydoğan N.D., 2002 ).

**Çizelge 5.2 : Co-60 Radyoizotopunun özellikleri.**

Kaynak Aktivitesi	7.5 Ci
Enerji Pikleri ve Bolluğu	E <sub>g</sub> = 1.173 MeV %99 E <sub>g</sub> = 1.332 MeV %100
Zırh Malzemesi	Uranyum, Çelik
Yarı Ömür	5.26 yıl

Şekil 5.4' de Co 60 radyoizotopuna ait zırh görülmektedir. Şekil 5.5' de ise söz konusu projeksiyon tipi gama kaynağının ışınlama ucuna ait fotoğraf arz edilmektedir.



**Şekil 5.4 :** Co 60 radyoizotop zırhı.



**Şekil 5.5 :** Projeksiyon tipi gama kaynağının ışınlama ucu.

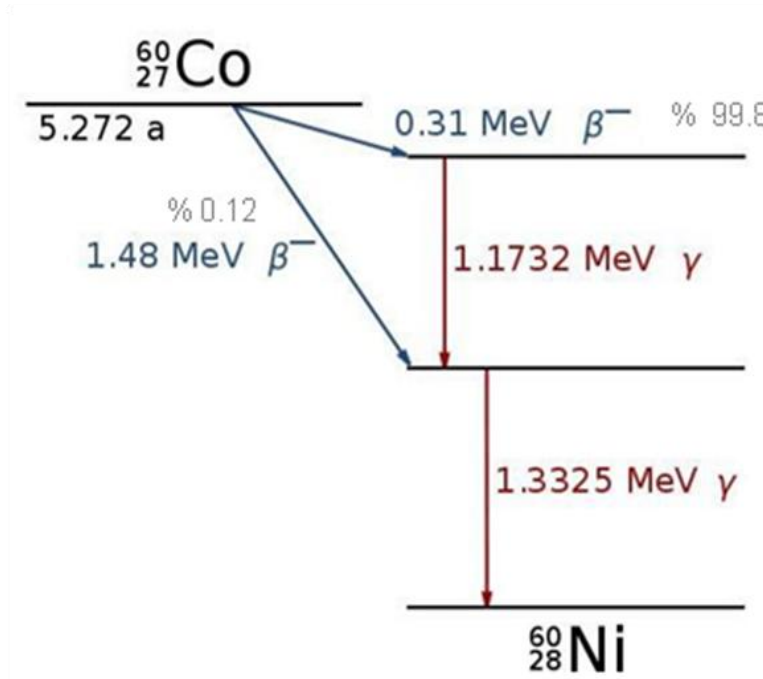
Genelde nükleer radyasyon muhafaza odaları, hot cell ( sıcak hücre ) olarak adlandırılan ve "sıcak" sözcüğü radyoaktif anlamına gelen, sıcak hücre hem nükleer

enerji hem de nükleer ilaç endüstrisinde kullanılmaktadır ( Uri-9 ). Güvenli bir muhafaza kutusu sağlayarak ortamın radyasyondan korunmasını sağlayan, projeksiyon tipi gama kaynağının ışınlama ucunun içinde bulunduğu sıcak hücre Şekil 5.6' da arz edilmektedir.



**Şekil 5.6 :** Hot Cell içerisinde Co-60 Radyoizotop kaynağı.

Co-60 radyoizotopunun bozunum şeması Şekil 5.7' de görülmektedir.



**Şekil 5.7:** Co-60 radyoizotopunun bozunum şeması.

Bir gama radyasyonu nokta kaynağının r ( R / saat ) mesafedeki yayınladığı doz değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

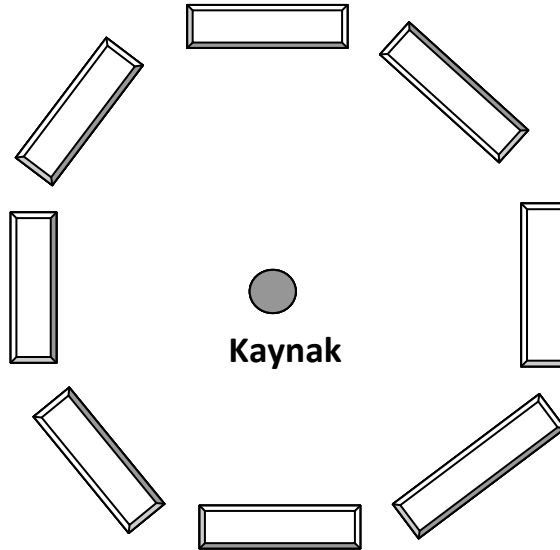
$$D(r) = \frac{K_{\gamma} \cdot A_0}{r^2} = 4\pi \cdot K_{\gamma} \cdot \Phi_{\gamma} \quad (5.1)$$

Burada  $K_{\gamma}$  gama izotopun bozunma sabiti;  $A_0$  aktivitesi ( m Ci );  $r$  kaynaktan akış düzlemine cm cinsinden uzaklığı;  $\Phi_{\gamma}$  parçacık / ( s cm<sup>2</sup>) cinsinden gama akısıdır.

Çeşitli izotoplar için gama sabiti değerleri aşağıda verilmektedir ( Url-7; Url-8 ) :

- Co – 60 için  $K_{\gamma} = 1.35 \text{ R/Ci.s.m}^2$
- Cs - 137 için  $K_{\gamma} = 0.38 \text{ R/Ci.s.m}^2$
- Ta - 182 için  $K_{\gamma} = 0.77 \text{ R/Ci.s.m}^2$

Co-60 radyoizotopu ile ışınlanacak ürünler Şekil 5.5' deki projeksiyon tipi gama kaynak ucunun etrafına yerleştirilmişlerdir. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmi Co-60 radyoizotopunun yaydığı gama ışınlarına maruz bırakılmıştır. Bu tür 360°'lik ışınlama tekniğine "Panoramik Işınlama" denir ve bu tekniğe ilişkin yerleşim Şekil 5.8.' de görülmektedir. Panoramik ışınlama ile süreden kazanım sağlanmaktadır ( Bilge ve Tuğrul, 1990 ). Örnekler belirli bir radyasyon dozu almışlardır. Işınlama oda sıcaklığında yapılmıştır.

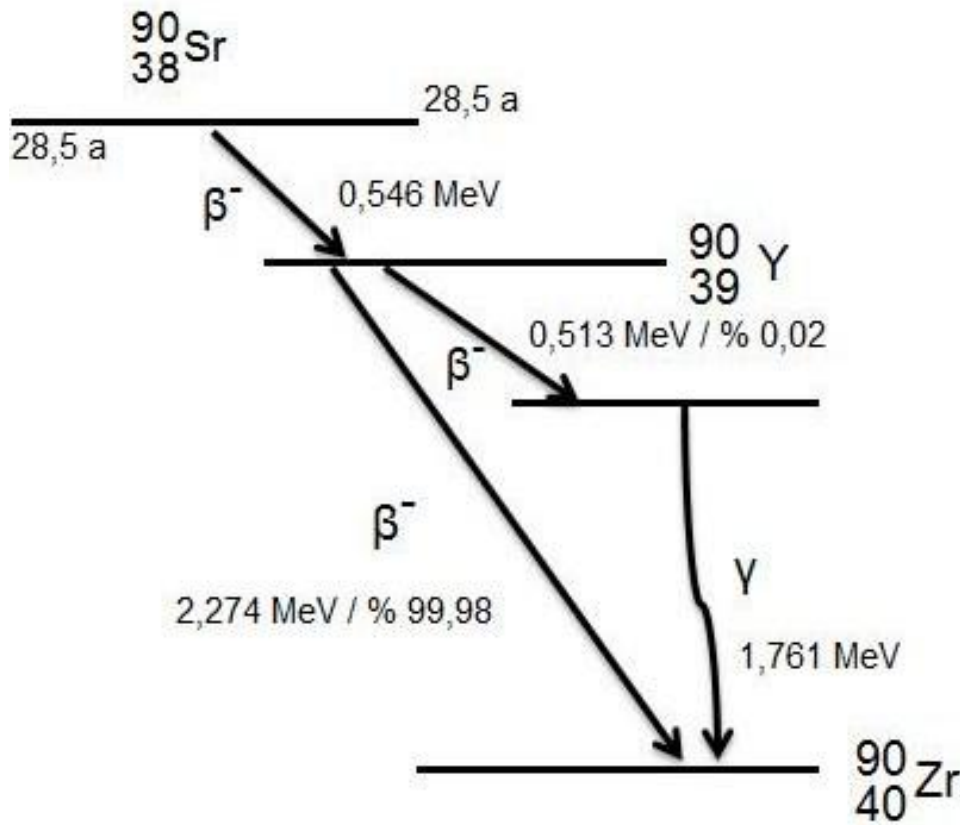


**Şekil 5.8:** Örneklerin Co-60 kaynak etrafına panoramik yerleşimi.

#### 5.4.2 Işınlama İşleminde Kullanılan Sr-90 Radyoizotopunun Özellikleri

Deneylerde Sr-90 radyoizotopu beta ışın kaynağı olarak seçilmiştir. Sr-90 radyoizotopunun kullanılmasının nedeni, en yüksek enerjisi 0.546 MeV olan beta ışınları meydana getirebilmesidir. Böylelikle cam altlık üzerindeki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerde uyarılma ve iyonizasyon oluşturulabilecek en küçük enerjili beta ışınları ile çalışmak mümkün olmuştur.

Sr-90 beta bozunumu ile bir elektron ve itriyum izotopu ( Y-90 ) oluşur, buda bir elektronda beta parçacıkları için bozunum enerjisi 2.28 MeV olan negatif yüklü bir beta bozunmasına uğrar. Sr-90 / Y-90 neredeyse kusursuz ve saf bir beta kaynağıdır; Y-90 bozunumundan gelen gama foton emisyonu çok zayıf olduğundan göz ardı edilir. Sr-90 radyoizotopunun bozunum şeması Şekil 5.9' da gösterilmektedir.

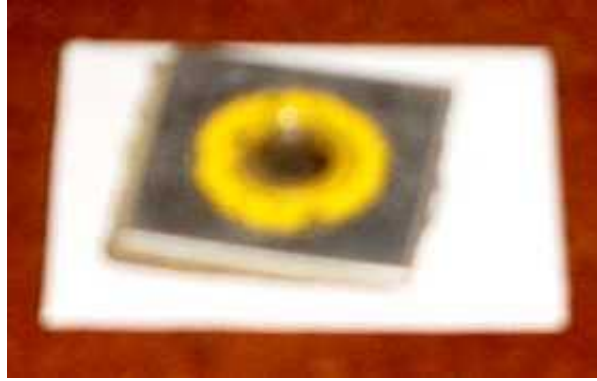


Şekil 5.9 : Sr-90 radyoizotopunun bozunum şeması.

Deneylerde kullanılan beta ışın kaynağının özellikleri Çizelge 5.3' de, fotoğrafı Şekil 5.10' da gösterilmektedir Sr-90 bir fisyon ürünüdür ve kolayca taşınabilen bu radyoizotopun fiyatı, diğer alternatif izotoplara göre daha düşüktür ( Földiak, 1985 ).

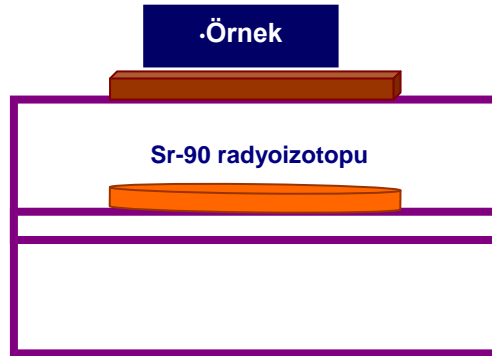
**Çizelge 5.3** : Kullanılan Sr-90 Radyoizotopunun özellikleri.

Kaynak Aktivitesi	2.86 mCi
Beta Enerjisi ve Bolluğu	$E_{\beta}$ : 0.546 MeV, %100
Yarı ömür	28.1 yıl



**Şekil 5.10** : Sr-90 radyoizotop kaynağı.

Hava içinde beta parçacıklarının menzili çok fazla değildir. ( 0.5 MeV enerjili beta parçacıkları için yaklaşık 1,5 m ). Bu nedenle ışınlama geometrisi önemlidir. Şekil 5.11' de görüldüğü gibi, örnek dışta kaynak içte olacak şekilde ışınlama düzeneği hazırlanmıştır.



**Şekil 5.11:** Sr-90 ile oluşturulan ışınlama düzeni.

Sr-90 radyoizotopunun yarıçapı 0.015 cm.' dir.  $Ta_2O_5$  film yapısı 0.13 kGy' lik doza maruz kalmıştır.





## 6. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Güneş pilleri için yaşam süresi ekonomik anlamda 30 yıl olarak beklenmektedir. Bugün üreticiler solar panelleri satarken 15-20 yıl ömür vermekte hem de verimliliğin %20 olacağını öne sürmektedirler. Oysa güneş pillerinin zamanla aşındığını göz önüne almamaktadırlar. Güneş panelini oluşturan elemanların çoğunda ise yaşam süresi 3 yıldır ( Url-10 ). Bu nedenle bu tez kapsamında yapılan ışınlama sonrasında optik ölçümler, 44 ve 88 aylık periyotlarda belirlenmiştir.

Radyasyonun Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmler üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları kullanılarak, optik özelliklerde oluşabilecek maksimum değişiklikler sağlanmaya çalışılmıştır.

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin optik özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla, gama ışınları ile hızlandırılmış optik testler için, 0.35, 2.58 ve 4.50 kGy şeklinde üç farklı doz seviyesi kullanılmıştır. Bu amaçla, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmleri oda sıcaklığında, sıcak hücrede, Co-60 radyoizotopu ( aktivite, 7.5 Ci ) kullanılarak gama radyasyonuna maruz bırakılmıştır.

Beta radyasyon kaynağı olarak 2,86 mCi aktiviteli, maksimum elektron enerjisi 0,546 MeV olan bir Sr-90 radyoizotopu kullanılmıştır. Beta parçacıkları ve gama ışınlarının Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince film yapısında oluşturdukları net radyasyon hasarı nedeniyle, ince filmlerin rengi kahverengimsi bir renge dönüşmüştür. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmleri ışınlama sürecinden sonra, film yapısında uyarılan renk merkezleri üzerinde ışık ve sıcaklık etkisini azaltmak için, ışınlanan bu filmler oda sıcaklığında karanlık bir yerde 88 ay süreyle muhafaza edilmiştir. Muhafaza edilen bu filmlerin optik ölçümleri, 88 ay süresince çeşitli zaman aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Böylece, ışınlanan filmlerdeki optik değişikliklerin, ışınlama sonrasında geçen zamana etkisini değerlendirmek mümkün olmuştur.

XRF Tekniği ile yapılan analizlerde, soda-kireç-silika cam taşıyıcı üzerindeki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerde, Ta ( 0.13 % ± 0.02 ) ve Fe ( 0.03 % ± 0.00 ) şeklinde geçiş elementleri tespit edilmiştir ( Çizelge 6.1 ). Analiz sırasında, X - ışınları taşıyıcıya nüfuz edebildiğinden, taşıyıcı kompozisyonundaki Fe iyonlarının da analiz sırasında tespit edildiği düşünülmüştür ( Baydoğan, 2007; Da Costa, 2006; Amstock, 1997; Glaser, 2000 ).

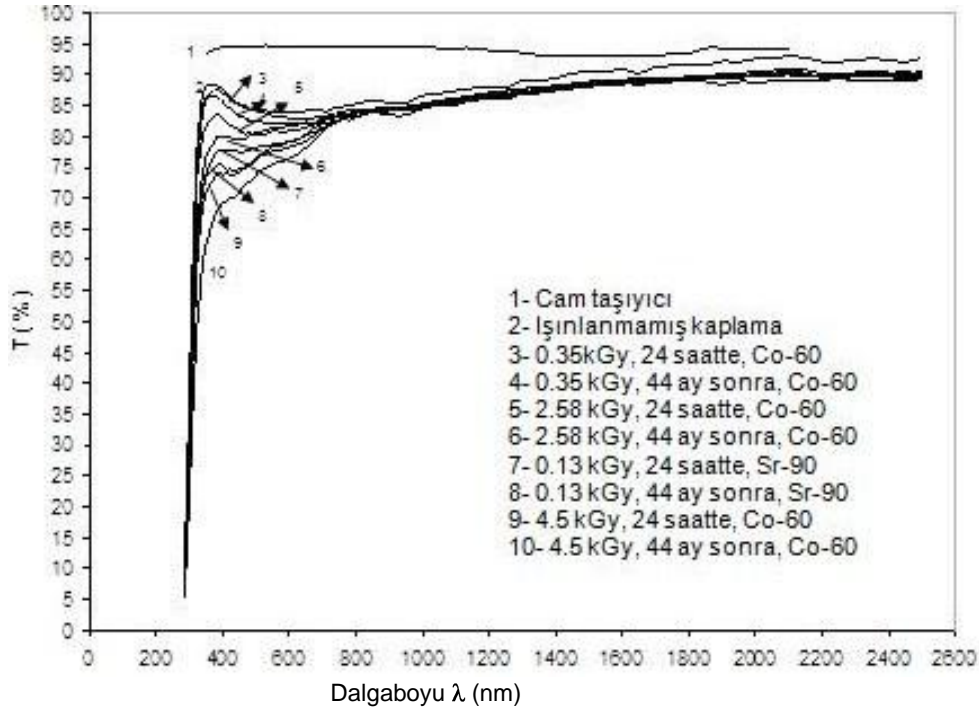
**Çizelge 6.1** : Soda-kireç-silika cam taşıyıcı üzerindeki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin geçiş elementleri.

Geçiş Elementleri	%	+/-
Ta	0,13	0,02
Fe	0,03	0,00

Bölüm 5.2 de incelendiği gibi 1 mm kalınlığında soda-kireç-silika cam solar aralıkta optik özelliklerini standartlaştırmak için taşıyıcı olarak kullanılmıştır ( Baydoğan, 2007; EN 410, 1998; CEN-European Committee for Standardization,1992 ). % 0.5 T(% 0 ~ 100 T) fotometrik doğruluktaki çift ışınli spektrofotometre, spektrofotometrik ölçümler için kullanılmıştır. Tahmini belirsizlik optik karakterizasyonda gözlenen değişikliklerin önemini değerlendirmek için kabul edilebilir mertebededir.

### 6.1 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Filmlerin Optik Özellikleri

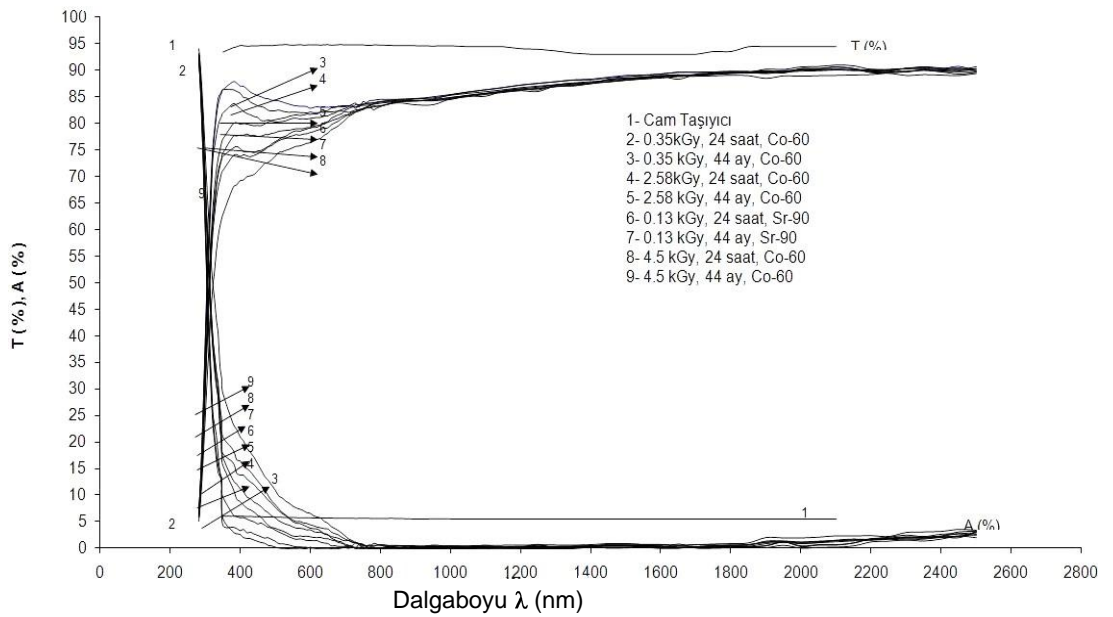
Şekil 6.1' de, gama ve beta radyasyon kaynakları kullanılarak ışınlanmış ve ışınlanmamış durumlardaki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmleri için, geçirgenlikteki T(%) değişiklikler gösterilmiştir.



**Şekil 6.1** : Işınlama işlemlerinden itibaren 44 ay zaman geçtikten sonraki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin T(%) değişimleri. (1) Işınlanmamış taşıyıcı için T(%), (2) taşıyıcı üzerindeki ışınlanmamış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmi, (3-4) 0.35 kGy dozlarında gama radyasyonu uygulanmış taşıyıcı üzerindeki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmi, (5-6) 2,58 kGy, (9-10) 4.5 kGy ve 0,13 kGy de beta ışınlanmış (7-8) taşıyıcı üzerindeki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmi.

Işınlanmamış ve ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin ~ 300 nm ötesinde soğuruculuğun azalmaya başladığı tespit edilmiştir. Soğurulan gama dozu arttıkça ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin optik geçirgenliğinin özellikle görünür bölgede ( 380-780 nm ) giderek azaldığı görülmektedir.

Geçirgenlik özelliklerinin azalmasının nedeni, ışınlama işlemi sonrasında kırılmış Ta-O bağları meydana gelmesi ve radyasyon kusurlarının oluşmasıdır. Işınlama sonrası geçen süre 44 aya ulaştığında, geçirgenlik giderek artmış ve ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin tamamı için geçirgenlik değerleri 88 ay sonunda korunmuştur. Şekil 6.2' de ise Soğurma A(%) değişimleri, Geçirgenlik T(%) değişimleri ile birlikte sunulmaktadır.



**Şekil 6.2 :** Işınlama işlemlerinden itibaren 44 ay zaman geçtikten sonraki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin A(%) değişimleri, T(%) deki değişimler ile birlikte arz edilmektedir. (1) Işınlanmamış taşıyıcı için T(%),A(%), (2-3) 0.35 kGy dozlarında gama radyasyonu uygulanmış taşıyıcı üzerindeki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmi, (4-5) 2,58 kGy, (8-9) 4.5 kGy ve 0,13 kGy de beta ışınlanmış (6-7) taşıyıcı üzerindeki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmi.

Optik malzemedeki renk değişikliğini açıklamak için, iyonik safsızlıklar, renk merkezleri ve kusurlar, saflık ve oksidasyon durumu (stokiyometri) optik yoğunluk için önem taşımaktadır ( Amstock, 1997; Ezz-Eldin, 2008; Ezz-Eldin, 1994; Bamford, 1977 ). Eşitlik 6.1' de optik yoğunluğu hesaplamak için, t film kalınlığı,  $\alpha$  soğurma,  $\rho$  yansıtma, D optik yoğunluk olarak alınabilir ( Doğan ve Tuğrul, 2001a; Baydoğan, 2004; Baydoğan ve Zayim, 2007; Baydoğan ve Tuğrul, 2006 ). Renk merkezlerinin incelenmesi amacıyla, optik yoğunlukta soğurma ile birlikte yansımının da değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

$$D = \alpha t \log_{10} e - \log_{10} (1 - \rho)^2 \quad (6.1)$$

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmdeki tantal atomları ve soda-kireç silika cam taşıyıcı kompozisyonundaki ferrik ( Fe<sup>3+</sup> ) ve ferrus ( Fe<sup>2+</sup> ) iyonları ile alüminyum ve titanyum atomları optik yoğunluğa katkıda bulunmaktadır. Ferrik demir ( Fe<sup>3+</sup> ) için soğurma spektrumu 380, 420 ve 435 nm'lik üç soğurma bandı içerir. Bu optik yoğunluk bantları cam yapılardaki kusur merkezleri ve radyolitik elektronlar veya boşlukların oluşması ile ilişkilidirler ( Baydogan ve Zayim, 2007; Zayim ve Baydogan, 2006; Baydogan ve Tugrul, 2006; Dogan ve Tugrul, 2001; Mishra ve Rao, 2004; Ezz-Eldin, 1994). Alüminyum, cam bileşiminde, 420 nm ve 600-650 nm arasında iki soğurma bandı sergileyerek, optik yoğunluğun artışında etkilidir ( Baydoğan ve Tugrul, 2006 ). Ti<sup>3+</sup>'un soğurma spektrumu 570 nm.' de yer almaktadır ( Baydogan ve Tugrul, 2006). Soda-kireç-silika camda bulunan 1050 nm.' deki ( Fe<sup>2+</sup> ) demir iyonu nedeniyle soğurma ve 900 ile 1300 nm. arasında Fe<sup>2+</sup> iyonlarının dalga boyu pozisyonu camın bileşimine bağlı olarak değişir ( Baydogan ve Tugrul, 2006; Zayim ve Baydoğan, 2006; Ezz-Eldin, 1994; Baydoğan ve Tuğrul, 2001; Ezz-Eldin, 2008 ). Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> yapıda Ta atomuna bağlı ~ 630 nm.' de karakteristik bir optik yoğunluk bandı oluşturmaktadır.

Tantal pentoksit filmin kırılma indeksinde benzer bir değişim, 630 nm de tespit edilmiştir ( Ngaruiya, 2003; Boughabaa, 2005; Babeva.2005 ). Geçiş elementleri optik yoğunluğu arttırarak renk ( Bamford, 1977) geliştirmeden özellikle sorumludur (Baydoğan ve Tuğrul, 2006; Dogan ve Zayim, 2007; Baydoğan ve Tuğrul, 2006, ; Dogan ve Tugrul, 2001a ). 300 - 2100 nm. arasındaki solar aralıkta soğurucu renk merkezleri dağılımı, uyarılmış renk merkezlerinin artması ile fotonların soğurulmasını sağlamıştır. Soğrulan doz 4,5 kGy'e yükseltildiğinde, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince bir film dokusu içinde geçiş elemanı olarak Ta, 630 nm. civarındaki optik yoğunluğu etkilemiştir. Renklenmedeki artış, uyarılmış serbest taşıyıcıların hareketi ve yeniden birleşmesi ile uyarılmış kusur merkezlerinin oluşturulmasının bir sonucudur.

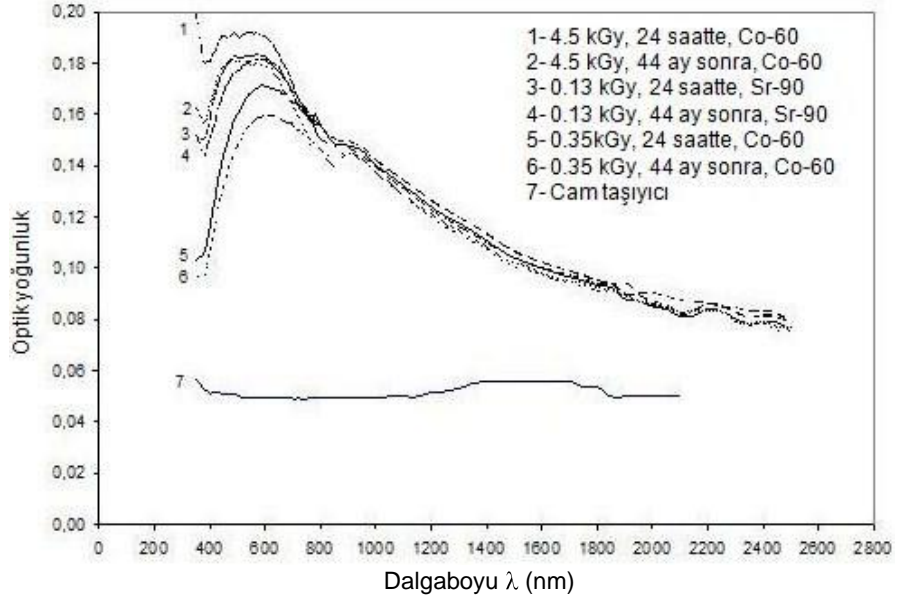
### 6.1.1 Optik Solma

Optik soğurma hassaslığı ve solma ( fading ) mekanizması ışınlama işlemi sonrasında oluşan değişimler literatürde değerlendirilmiştir ( Marzouk, 2006, Ezz-Eldin, 2008, Qingyan Wang, 2010, Fernández-Rodríguez, 2006). Uyarılmış renk merkezlerinin solma davranışı, geri dönüştürülebilir malzemelerin gelişimi için büyük önem taşımaktadır ( Ezz-Eldin, 2008 ). Solma davranışı optik malzemelerde istenilen bir özellik olduğu için bağlı renk merkezlerinin incelenmesi gereklidir ( Ezz-

Eldin, 2008 ). Solma özelliği bir malzemenin içinde depolanan herhangi bir sinyali ne kadar süreyle tuttuğunu söyler ve zamanla bu özellik nedeniyle optik yoğunluk azalır ( Ezz-Eldin, 2008 ). Uyarılmış hasarların kalıcılığını incelemek için, optik özelliklerin zaman ile değişimi, ışınlama işlemi sonrasında geçen bir süre içinde belirlenebilmektedir ( Qingyan Wang, 2010 ). Bu gama ışınları ile tetiklenen optik değişimlerin ışınlama işlemi sonrasında geçen zamanda kararlı gibi görünmemekte olduğu sonucuna varılmıştır ( Fernández-Rodríguez, 2006 ).

### 6.1.2 Optik Yoğunluk

Şekil 6.3' de ışınlanmamış ve ışınlanmış filmlerin optik yoğunluğunda oluşan değişimler karşılaştırıldığında, Co-60 tarafından ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerinin optik yoğunluğu ışınlanmamış filmlerden daha yüksektir. 44 ay sonunda ışınlanmış filmin optik yoğunluğu azalma göstermektedir.



**Şekil 6.3 :** ( 1-2 ) 4.5 kGy, ( 5-6 ) 0.35 kGy dozlarında gama ışınlamaları ve ( 3-4 ) 0,13 kGy beta ışınlaması sonrası geçen sürenin artması ile Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin ve taşıyıcısının optik yoğunluğundaki değişiklikler ( 7 ).

İtici Coulomb alanındaki elektron-elektron etkileşimi nedeniyle beta parçacıkları atom çekirdeğinin yakınından geçerken, atomun elektronları ve yayılan negatif beta parçacıkları ile etkileşirler ( Baydoğan ve Tuğrul, 2006 ). Bremstrahlung radyasyonu açısından bir x-ışını, beta parçacıkları orbital elektronları tarafından saçıldığı zaman üretilir. Bremstrahlung radyasyonunun sonucu olarak optik yoğunlukta hızlı artışa yol açan radyasyon, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin dokusunda yeni elektron-boşluk çiftleri yaratır. Filmin dokusuna yapılan yüksek elektron bombardımanı, renk merkezleri üzerinde

özel karakteristikler oluşturur. Oda sıcaklığında elektron ile ışınlama, özellikle 630 nm. civarında, renk merkezlerinin konsantrasyonunda artışa neden olmuştur.

Elektron ile ışınlama sonucu yeni renk merkezlerinin oluşması, optik yoğunluktaki artışa yol açar. Işınlama işleminin bir gün sonrasında, optik yoğunluk bantlarında oluşan uyarılma kalıcı renk merkezleri gibi görünür. İyonlaştırıcı radyasyonun başlangıçta yarattığı uzun ömürlü renk merkezleri, ışınlama işleminden sonra Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince film yapısında yeni elektron-boşluk çiftleri üremesi ile oluşur. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmindeki renk merkezlerinin ömrü 44 ay boyunca yarı kararlı düzeyde kalmıştır. Işınlama işleminden sonraki 44 ay sonunda, geçen sürenin artışı optik yoğunluğun ve koyu durumdan daha açık renk tonuna değişimi ile oluşturulan renk merkezlerinin bozulmasını tetiklemiştir. Optik yoğunluğun 88. ay sonunda 44. aydakiyle aynı durumda sürekli olması ilginçtir.

Işınlama işlemi ile yaratılan renk merkezlerinin yaşam süresi, ışınlama işleminden sonra geçen sürenin artması ile elektron-boşluk çiftlerinin bozunumuna bağlıdır. Işınlama işlemi sonunda geçen zamanın artması ile renk merkezlerindeki elektron boşluk çiftlerinin bozunumu nedeniyle Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin uyarılmış rengi yavaşça kaybolmuştur. Yarı kararlı düzeydeki renk merkezlerinin bozunumu, elektromanyetik radyasyonun soğurulmasındaki azalma ile yavaş yavaş azalır.

### 6.1.3 Solar Bölgede Optik Değişimler

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin direkt solar geçirgenlik ( $\tau_e$ ), yansımaya ( $\rho_e$ ) ve soğurma ( $\alpha_e$ ) anlamında optik parametreleri, Avrupa Standartlarında arz edilmektedir ( EN 410, 1998; CEN-European Committee for Standardization,1992 ). Bu üç değer arasında;

$$\tau_e + \rho_e + \alpha_e = 1 \quad (6.2)$$

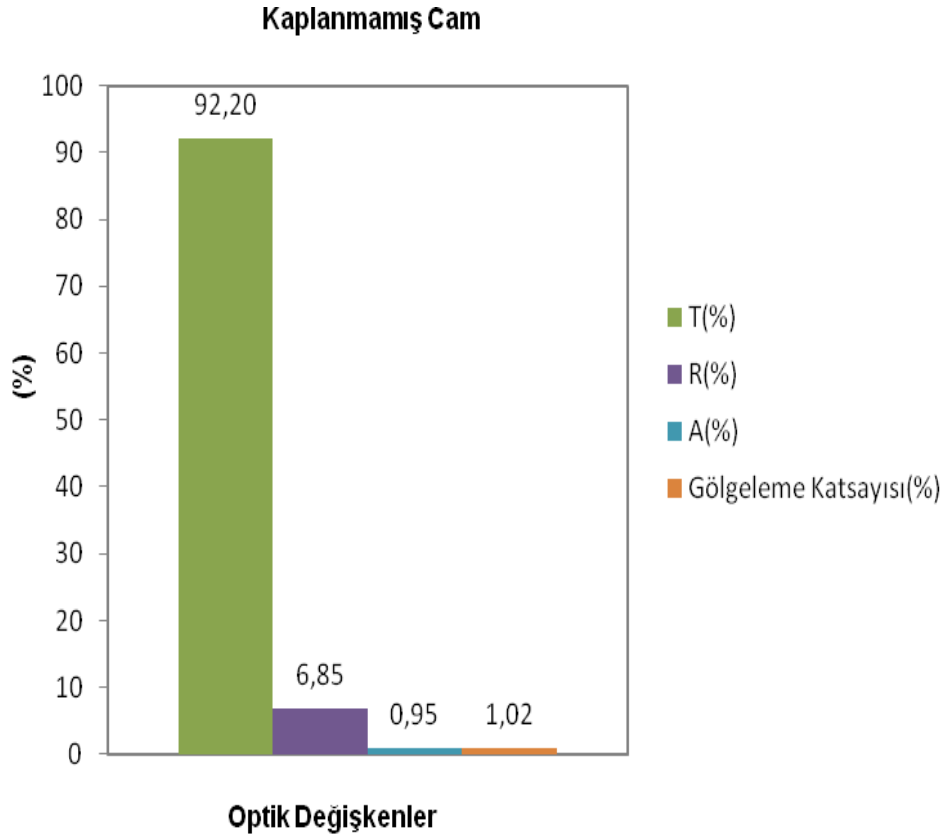
şeklinde bir bağıntı ifade edilebilmektedir.

Gölgeleme katsayısı değerlerine ilişkin ayrıntılar daha önce açıklanmıştır ( EN 410, 1998; CEN-European Committee for Standardization,1992 Doğan ve Tuğrul, 2011a; Baydoğan, 2007 ). Kaplanmamış cam altlık ve ışınlanmamış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmine ait optik parametreler ile gölgeleme katsayısı Çizelge 6.2'de verilmiştir.

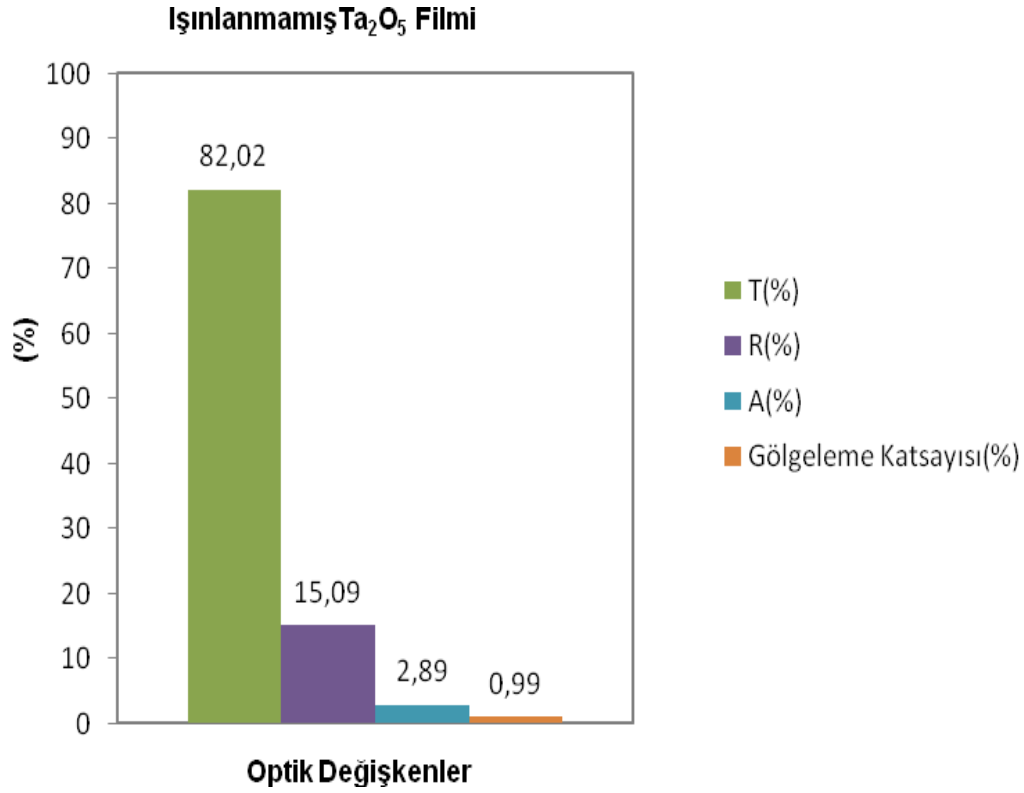
**Çizelge 6.2:** Cam altlık ve ışınlanmamış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filme ait  $\tau_e$ ,  $\rho_e$ ,  $\alpha_e$  ve gölgeleme katsayısı değerleri.

İncelenen Malzeme	$\tau_{sol}$ (%)	$\rho_{sol}$ (%)	$\alpha_{sol}$ (%)	Gölgeleme Katsayısı
Kaplanmamış cam	92.20	6,85	0.95	1,02
İşinlanmamış Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> İnce Filmi	82.02	15,09	2,89	0.99

Kaplanmamış cam altlık ve ışınlanmamış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmine ait optik parametreler ile gölgeleme katsayısı değerleri sırasıyla Şekil 6.4 ve Şekil 6.5' de grafik olarak verilmiştir.



**Şekil 6. 4 :** Kaplanmamış cam altlığına ait  $\tau_e$ ,  $\rho_e$ ,  $\alpha_e$  ve gölgeleme katsayısı değerleri.



**Şekil 6.5 :** Işınlanmamış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmine ait  $\tau_e$ ,  $\rho_e$ ,  $\alpha_e$  ve gölgeleme katsayısı değerleri.

Çizelge 6.3' de Co-60 ve Çizelge 6.4' de Sr-90 ışınlama işlemi sonrasında,  $\tau_e$ ,  $\rho_e$ ,  $\alpha_e$ ' da ve cam üzerinde uyarılan Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmin, solar aralıkta, gölgeleme katsayısında meydana gelen değişiklikler, standartlarda arz edilen işlemlere göre yapılarak sonuçlar verilmiştir ( EN 410, 1998; CEN-European Committee for Standardization,1992 ). Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 'e ait optik parametreler, direkt solar geçirgenlik (  $\tau_e$  ), yansıma (  $\rho_e$  ), soğurma (  $\alpha_e$  ) ve gölgeleme katsayısı açısından araştırılırken Avrupa Standartları ( EN 410, 1998; CEN-European Committee for Standardization,1992 ) kullanılmıştır.



**Çizelge 6.3** :Co-60 Radyoizotopu ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin  $\tau_e$ ,  $\rho_e$ ,  $\alpha_e$  ve gölgeleme katsayısındaki değişimler.

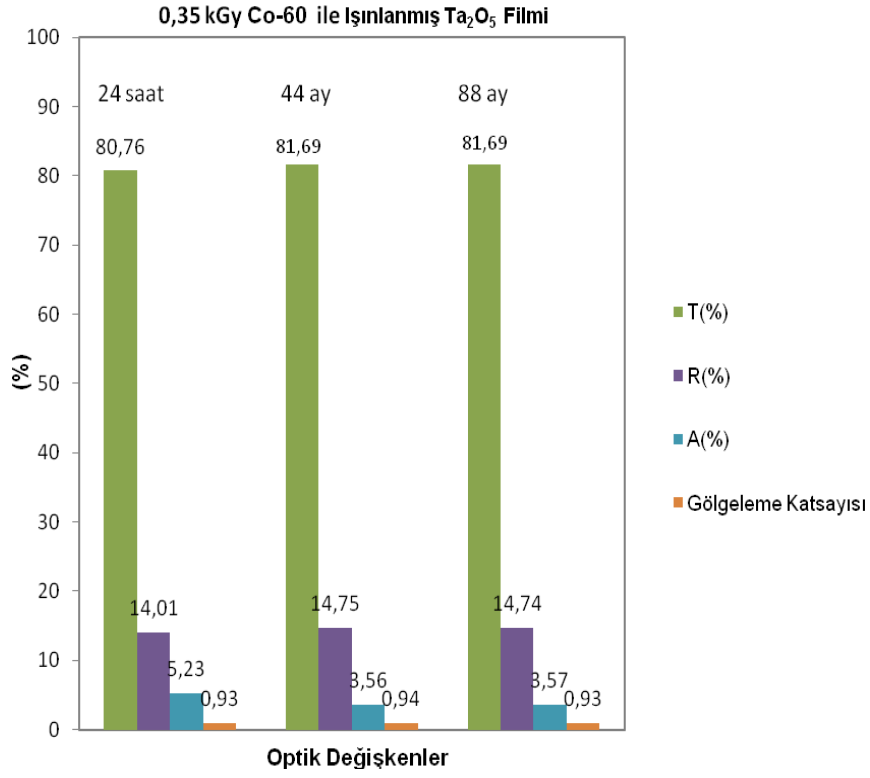
Co-60 Radyoizotopu												
Doz	$\tau_{sol}$ (%)			$\rho_{sol}$ (%)			$\alpha_{sol}$ (%)			Gölgeleme Katsayısı		
kGy	1 gün	44 ay	88 ay	1 gün	44 ay	88 ay	1 gün	44 ay	88 ay	1gün	44 ay	88 ay
0.35	80.76	81.69	81,69	14,01	14,75	14,74	5,23	3,56	3,57	0.93	0,94	0,93
2,58	72.70	73.94	73,93	11,92	12,02	12,01	15.38	14,04	14,06	0.87	0,88	0,87
4,50	66.63	70.02	70,03	11,78	11,85	11,86	21.59	18,13	18,11	0.82	0,85	0,84

Soğrulan doz, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin optik parametrelerindeki farklılaşmalarda anahtar rol oynamaktadır. Işınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmin,  $\tau_e$ ,  $\rho_e$ ,  $\alpha_e$  değerlerindeki ve gölgeleme katsayısındaki değişiklikleri, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4' de tam bir çalışma elde etmek için solar bölge göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

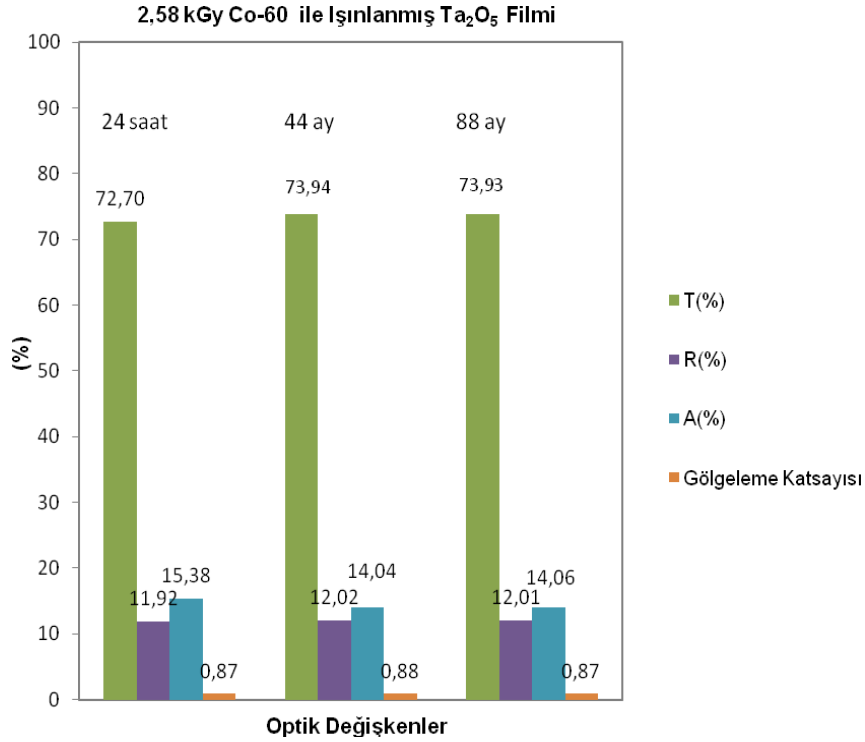
**Çizelge 6.4** :Sr-90 Radyoizotopu ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin  $\tau_e$ ,  $\rho_e$ ,  $\alpha_e$  ve gölgeleme katsayısındaki değişimler.

Sr-90 Radyoizotopu												
Doz	$\tau_{sol}$ (%)			$\rho_{sol}$ (%)			$\alpha_{sol}$ (%)			Gölgeleme Katsayısı		
kGy	1 gün	44 ay	88 ay	1 gün	44 ay	88 ay	1 gün	44 ay	88 ay	1gün	44 ay	88 ay
0.13	70.07	70.74	70,73	12,18	12,25	12,27	17.75	17,01	17,00	0.84	0,85	0,86

Şekil 6.6' da, 0.35 kGy'de, Şekil 6.7' de ise 2.58'de kGy Co-60 radyoizotopu ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerinin ışınlama sonrası geçen 24 saat, 44 ve 88 ay' lık periyotlara bağlı olarak optik değişimleri arz edilmektedir.

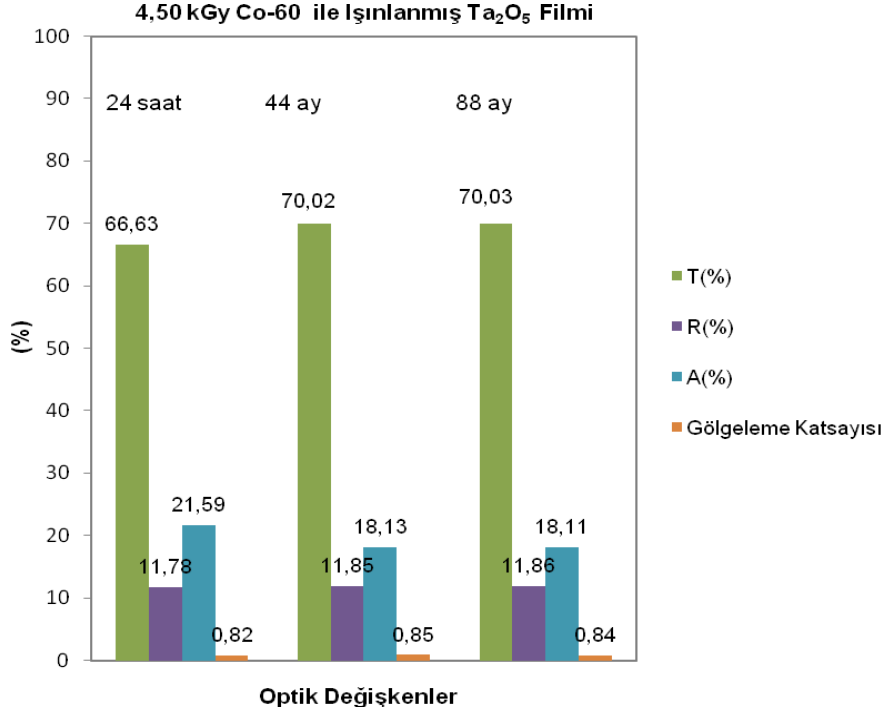


**Şekil 6.6** : 0.35 kGy Co-60 ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmlerin optik değişimleri.

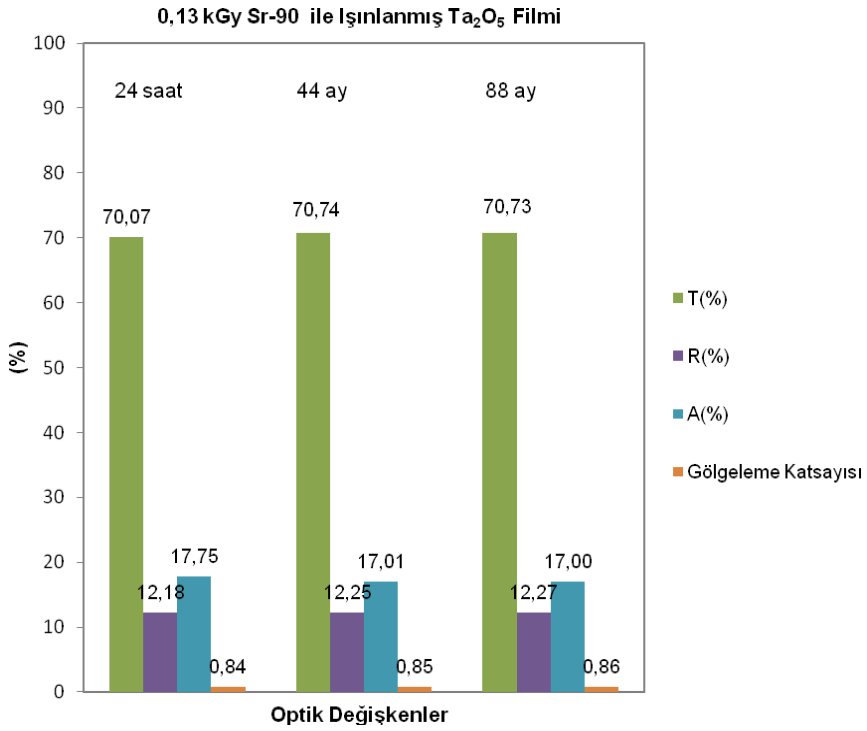


**Şekil 6.7** : 2.58 kGy Co-60 ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmlerin optik değişimleri.

Şekil 6.8' de Co-60 radyoizotopu ile 4.50 kGy' de ışınlanmış, Şekil 6.9' da ise Sr-90 radyoizotopu ile 0.13 kGy' de ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerinin ışınlama sonrası geçen zamana bağlı olarak optik değişimleri arz edilmektedir.



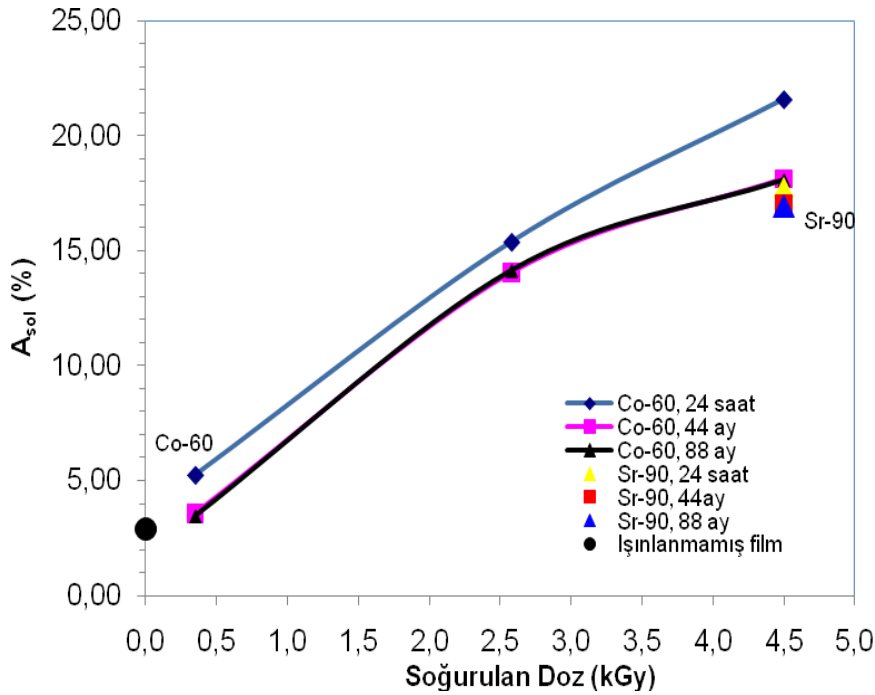
**Şekil 6.8 :** 4.50 kGy Co-60 ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmlerin optik değişimleri.



**Şekil 6.9 :** Sr-90 ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmlerin optik değişimleri.

Gölgeleme katsayısı, kaplamanın solar ısı kazancını reddetme yeterliliğinin bir oranıdır. Gölgeleme katsayısı söz konusu temiz camın, güneş faktörüne bölünmesiyle hesaplanır ki ABD'deki Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Birliği (ASHRAE) tarafından belirlenen bu standart değer 0,88'dir. Bu değer kaplamalı yüzeylerde de önem taşımaktadır (Babeva, 2005; Ndiege, 2007; Baydoğan ve Tugrul, 2006; Yildirim, 2005; Egelkrou, 1981; Atanassova, 2001; Brown ve Horne, 1967; Zayim ve Baydoğan, 2006; Baydoğan, 2007; EN 410, 1998; CEN-European Committee for Standardization,1992.; Da Costa, 2006; Amstock, 1997; Glaser, 2000; Ezz-Eldin; 2008; Imran, 2002; Ezz-Eldin; 1994a; Ezz-Eldin; 1994; Mishra ve Rao, 2004; Dogan ve Tugrul, 2001).

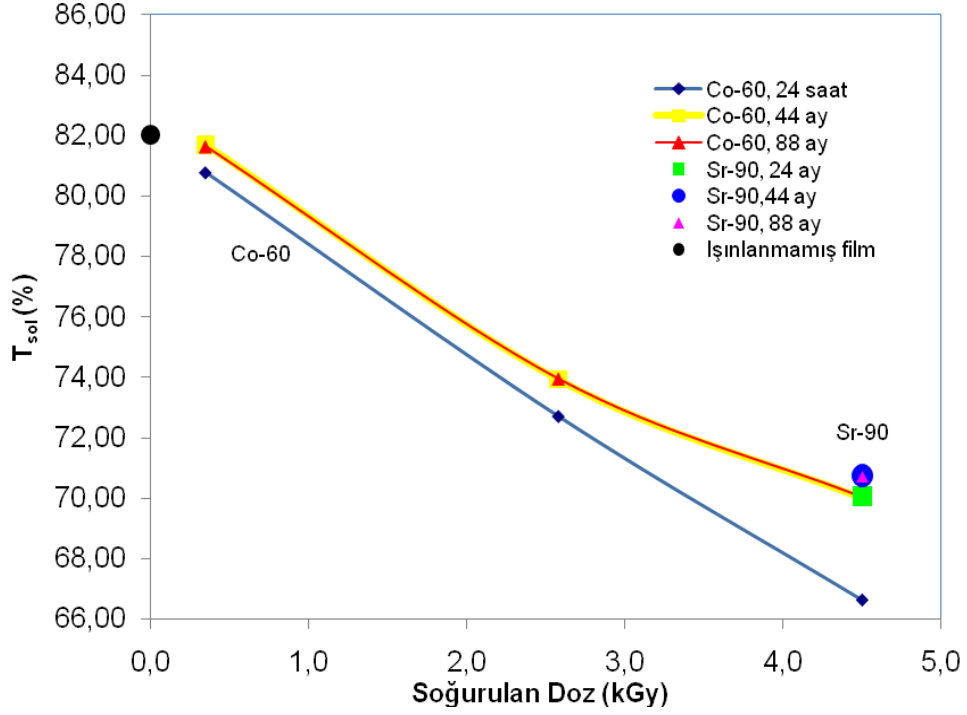
Işınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince film yapısında Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları ile ışınlama işlemi sonrasında geçen süre arttığı zaman solar soğurma ( $\alpha_e$ ) eksponansiyel bir şekilde artmaktadır (Şekil 6.10).



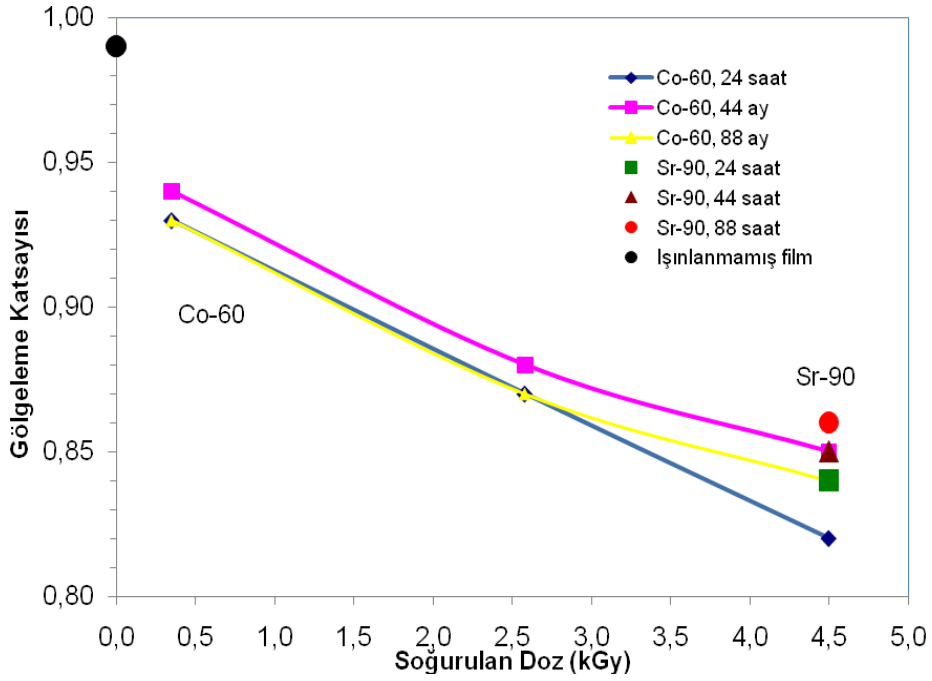
**Şekil 6.10:** Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin soğurma özelliklerinde oluşan değişimi.

Soğurulan dozun bir fonksiyonu olarak solar geçirgenlik ( $\tau_e$ ) azalmaktadır. Şekil 6.11' de Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin solar geçirgenliğindeki değişim mukayeseli olarak görülmektedir. Şekil 6.12' de Co-60 ve

Sr-90 radyoizotopları ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerinin soğurduğu doza göre, gölgeleme katsayısındaki değişimleri arz edilmektedir.



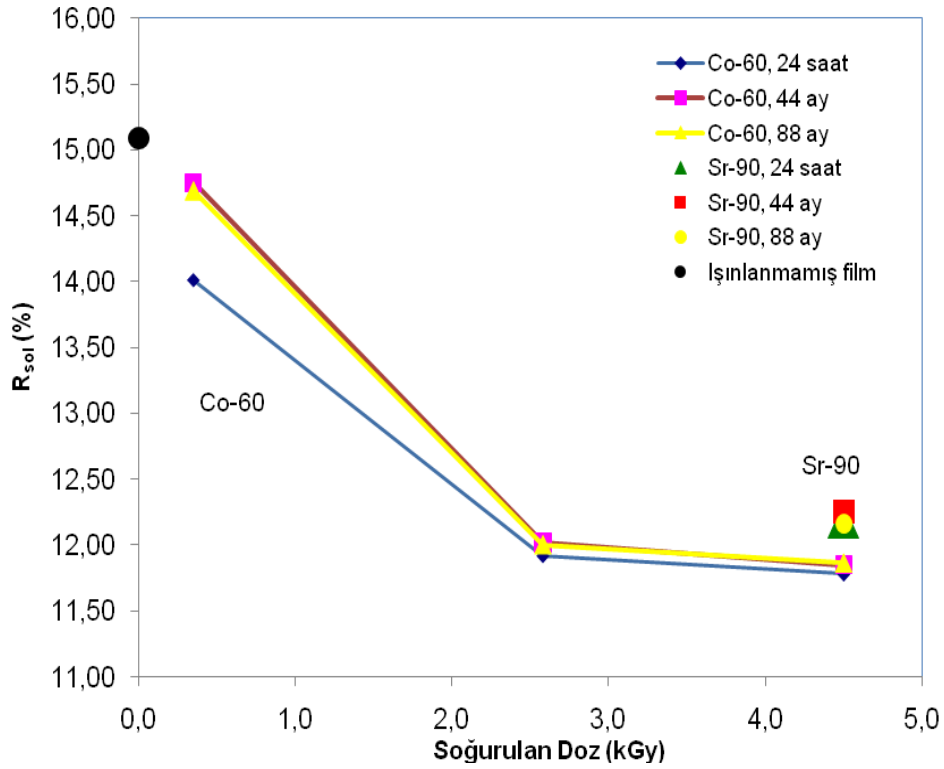
Şekil 6.11 : Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin geçirgenliğindeki değişim.



Şekil 6.12 : Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin gölgeleme katsayısındaki değişim.

Şekil 6.12' deki grafikte, soğurulan doz artarken gölgeleme katsayısı azalmıştır. Işınlama işlemleri sonrasında geçen zaman 44 aya ulaştığında gölgeleme katsayısı bir miktar artmış ve 88 ay sonunda bu durumun aynı seviyede kaldığı görülmüştür. Gölgeleme katsayısı standardizasyon işlemlerine göre, ısı transfer katsayısının bir fonksiyonu olarak hesaplanmıştır.

Soğurulan doz arttığında, solar yansıtma, ( $\rho_e$ ) bir miktar azalma olmuştur. Şekil 6.13' de Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmlerin solar yansıtma değişimleri mukayeseli olarak görülmektedir.



**Şekil 6.13** : Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmlerin yansıtmadaki değişimi.

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin, 4.50 kGy Co-60 radyoizotopu ve 0.13 kGy Sr-90 radyoizotopu ile ışınlanmalarının, filmlerin optik değişkenleri üzerinde, hemen hemen birbirine yakın değerler verdikleri Şekil 6.10 - 6.13' deki grafiklerimizde mukayeseli görülmektedir.

İçinde hiç bir fononun olmadığı geçişler doğrudan geçişlerdir, dolaylı geçişler ise fononlarla ilgilidir ( Qingyan Wang, 2010 ). Optik malzemelerde dolaylı geçişler için Eşitlik 6.3 verilmiş olup,

$$\alpha(E) = A(E - E_g)^2 \quad (6.3)$$

burada  $\alpha = 4\pi k/\lambda$  soğurma katsayısı,  $E = h\nu$  foton enerjisi,  $E_g$  bant aralığı ve  $A$  ise bir sabittir ( Tepehan, 1999; Fox, 2001 ). İzinli dolaylı geçişler için  $E_g$  lineer kısmın ekstrapolasyonu ( $\alpha E$ )<sup>1/2</sup> ile hesaplanmıştır. Işınlanmamış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin optik bant aralığı 3.55 (~ 350 nm) eV' dur. Işınlama işlemi yapıda yeni bir elektronik dağılım oluşturarak, optik bant aralığı içinde değişikliklere neden olmaktadır ( Zhu, 2005; Ezz-Eldin, 2008; Imran, 2002 ).

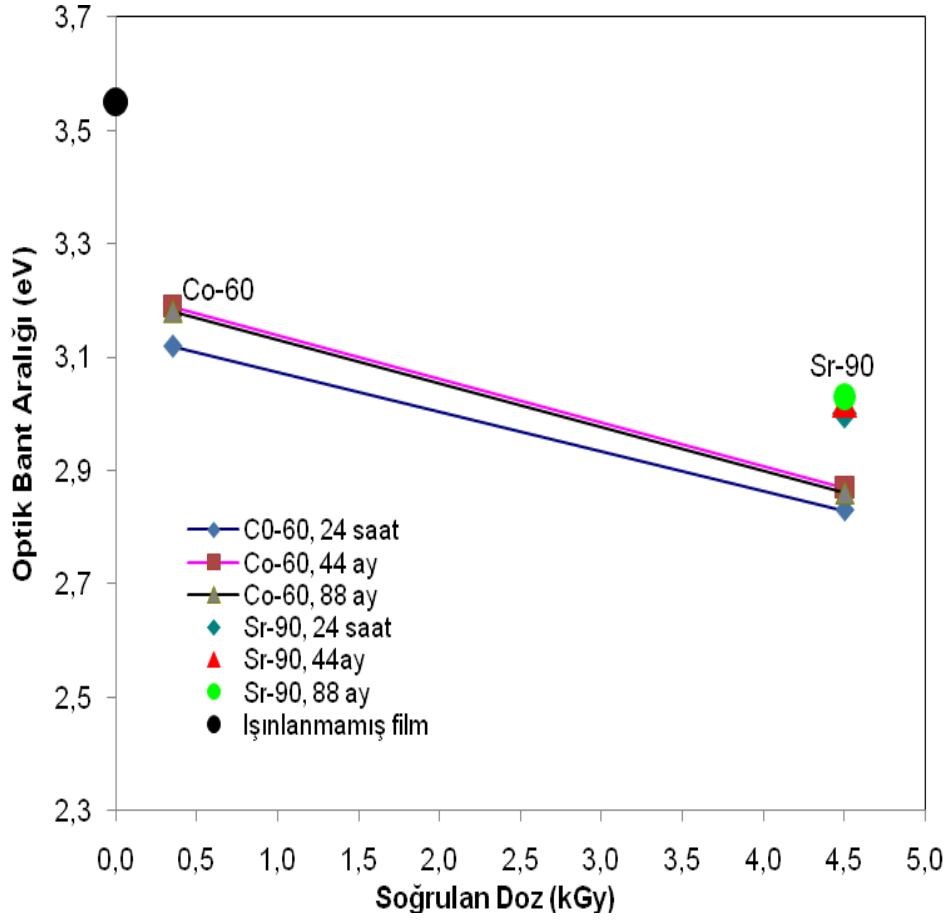
Çizelge 6.5' de gösterildiği gibi soğrulan doz bir Co-60 radyoizotopu kullanılarak 4.5 kGy'e yükseltildiğinde, yapıda oluşan yeni elektronik düzen nedeniyle, optik bant aralığı azalmıştır. 4.5 kGy de ışınlanmış ince film için 2.83 eV' luk ( ~ 440 nm görünür aralığında ) optik bant aralığı azalmıştır. Optik bant aralığı bozulma mekanizması Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin valans bandındaki elektronla gama foton etkileşimi nedeniyle optik duyarlılığını açıklar. Işınlanmış ince filmlerin optik bant aralığı çekici elektron-boşluk ( e-h ) etkileşiminden dolayı azalır. Ancak, ışınlama sonrası geçen süre 44 aya ulaşırken optik bant aralığı giderek artmış ve 88 ay sonunda ise 44. aydaki durumunu aynen korumuştur

**Çizelge 6.5 :** Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin optik bant aralığındaki değişimler.

Işınlama sonrası geçen süre	Optik Bant Aralığı (eV) (Co-60 Radyoizotopu için)		Optik Bant Aralığı (eV) (Sr-90 Radyoizotopu için)
	0.35 kGy	4.50 kGy	0.13 kGy
1 gün	3,12	2,83	3,00
44 ay	3,19	2,87	3,02
88 ay	3,18	2,86	3,03

Işınlama işlemi sonrasında bütün Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerde, izinli dolaylı geçiş meydana gelmiştir. Çizelge 6.5' de gösterildiği gibi Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince film yapısının optik bant aralığı için, Sr-90 radyoizotopu kullanılarak oluşturulan soğrulan doz etkisi, Co-60 radyoizotopu kullanılarak oluşturulan kadar güçlüdür. Beta parçacıklarının Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dokusunda ışınlama sonrası etkisi, geçen zamanın artışı ile incelenmektedir. Renk merkezlerinin yarı kararlı olduğu görülmüştür. Beta ışınlaması sonrasındaki 44. ay sonunda optik bant aralığı bir miktar artmıştır. 88. ay sonunda ise, aynı durumun devam ettiği görülerek, 44. ay sonundaki değerini muhafaza ettiği tespit edilmiştir.

Şekil 6.14' de ışınlanmamış ve ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlere ait optik bant aralıkları mukayeseli olarak arz edilmektedir.



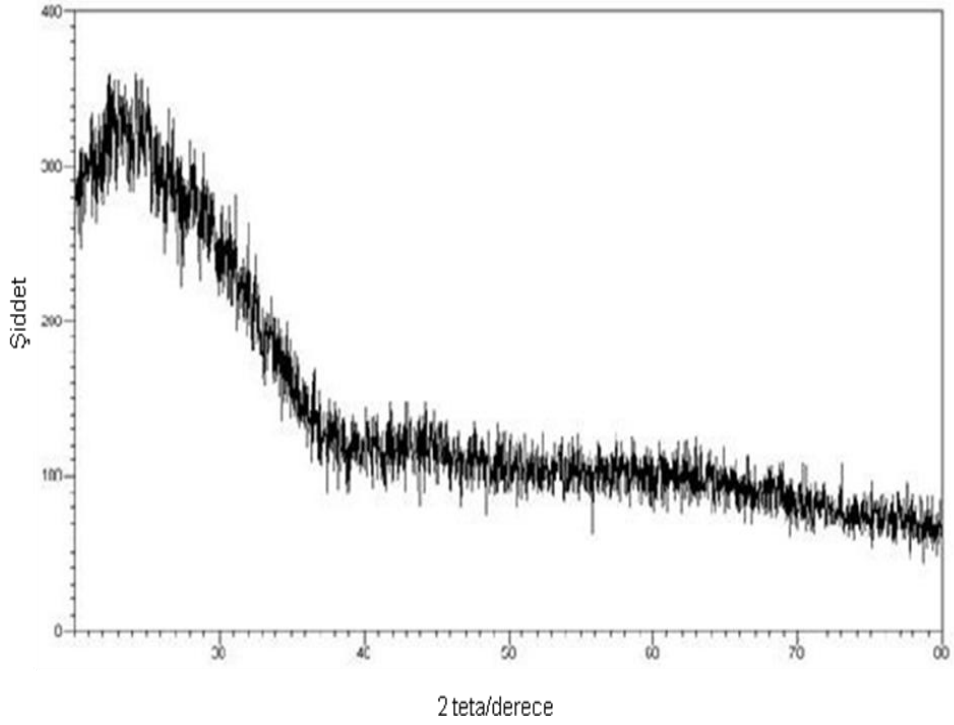
Şekil 6.14 : Işınlanmış ve ışınlanmamış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlere ait optik bant aralıkları.

## 6.2 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Filmlerin Yüzey Karakterizasyonu

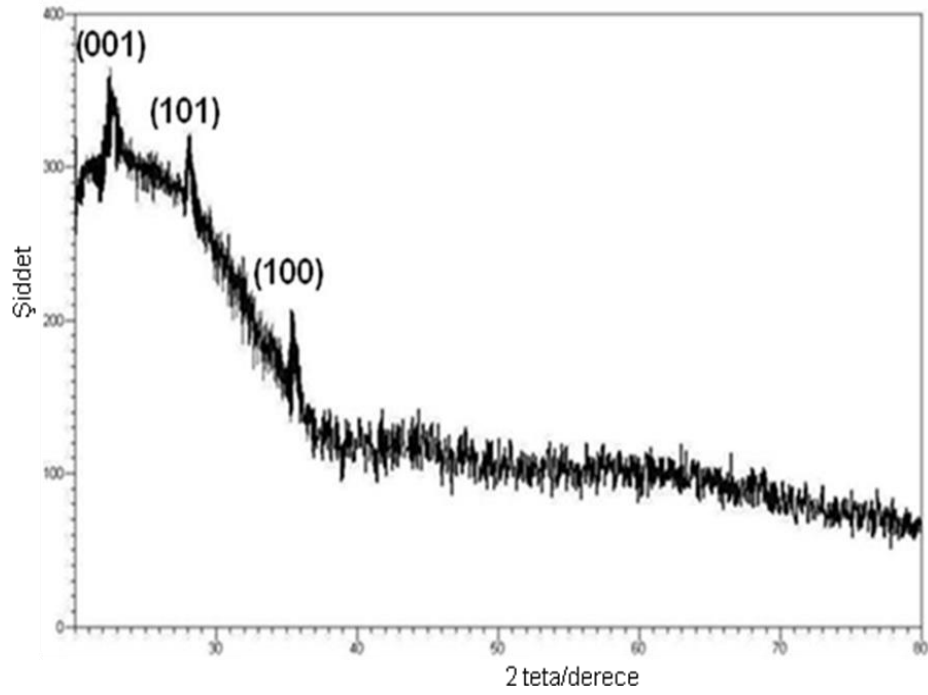
100°C' de tavllanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmlerin XRD modelleri tipik amorf durumda olup, kristal Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> film yapısı hiçbir difraksiyon pik özelliği göstermemiştir ( Şekil 6.15 ). Düşük sıcaklıkta tavlama işlemi amorf yapıya neden olmuştur. 100 °C ile 500 °C arasında yapılan araştırma Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerin amorf durumda olduklarını göstermektedir (Ghodsı ve Tepehan, 1999 ). Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince film, 600 °C' de kristalize olmaya başlayıp, 700 °C üzerinde mükemmel bir şekilde kristalize olmaktadır ( Zhu, 2005 ).

Zhu ( 2005 ) tarafından belirtilen difraksiyon düzlemleri, bu çalışmada Şekil 6.16' da gösterildiği gibi 100 °C' da tavllanmış ve 4,5 kGy' de ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmin pikleri gama ile ışınlandıktan sonra saptanmıştır. Söz konusu bu durumun amorf yapının bir miktar kristalize olduğunu düşündürmüştür ( Masse, 2006 ).



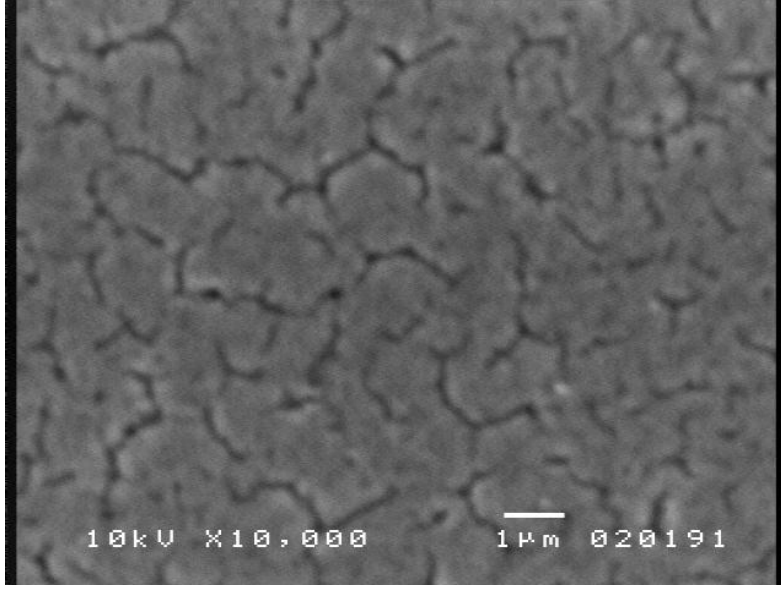


**Şekil 6.15** : Amorf yapıdaki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin XRD spektrumu.



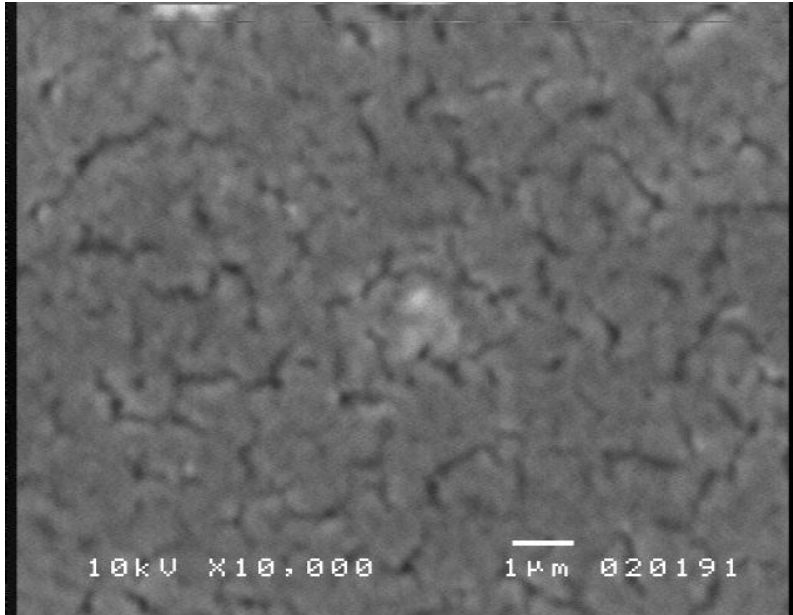
**Şekil 6.16** : 4.5 kGy' de ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filminin XRD spektrumu.

Işınlanmış ve radyasyon uygulanmamış ( Şekil 6.17 ) filmlere ait taramalı elektron mikroskop ( SEM ) mikrografikleri Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmlerinin yapısı üzerinde soğrulan dozun etkisini göstermektedir.



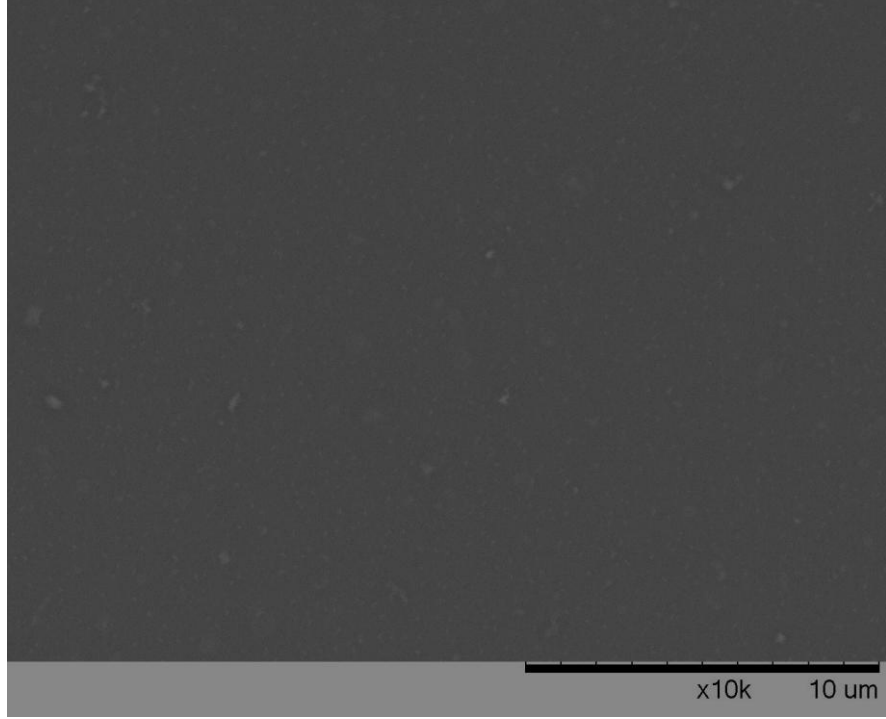
**Şekil 6.17** : Işınlanmamış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmi için SEM imajı

Radyasyon uygulanmamış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmin SEM mikrografikler tane sınırlarını ifade etmektedir. Tane büyüklüğü aynı değildir ve gözenekler tane sınırları boyunca bulunmaktadır. İnce filmin SEM topografları genel olarak soğurulan doza karşı tane sınırlarının duyarlılığını göstermektedir. İnce filmlerin morfolojik yapısı, soğurulan doz ile etkilenmiştir. Tane boyutları 4,5 kGy ile ışınlanmış ince film yüzeyinde küçülmüştür ( Şekil 6.18 ). Işınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> film’de taneler, ışınlanmamış olanlardan daha düşük boyutlardadır. Soğurulan doz etkisiyle, tanecikler birbiriyle bütünleşerek tane sınırları yok olmaktadır.



**Şekil 6.18** : 4.5 kGy Co-60 ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmi için SEM imajı.

Beta ışınlarının özellikle film yüzeyi ile etkileşmesi söz konusudur. Beta ışınlarına maruz kalan film yüzeyinde, tanecikler bütünleşerek tane sınırları yok olmaktadır (Şekil 6.19).



**Şekil 6.19** : 0.13 kGy Sr-90 ile ışınlanmış Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmi için SEM imajı.



## 7. SONUÇLAR

İyonlaştırıcı radyasyonun optik malzemeler üzerine etkisi, radyasyon bilimleri ile uzay ve havacılık bilimlerini içeren pek çok alanda önemli bir teknolojik etmenddir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmleri üzerindeki radyasyon etkileri araştırılarak yapısal özelliklerinde oluşan değişikliklerin tespit edilmesine çalışılmıştır. Soda-kireç-silika taşıyıcısı üzerindeki Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filmin ışınlama işleminden sonra, optik özelliklerde oluşan değişiklikler tespit edilmiştir. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in yapısında soğrulan doz önem taşımaktadır.

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmin optik ve yapısal özelliklerinde oluşan değişimlerin tespit edilmesi amacıyla film yapısı iyonlaştırıcı radyasyona maruz bırakılmıştır. Bu amaçla, Co-60 ve Sr-90 radyoizotopları kullanılmıştır. İyonlaştırıcı radyasyon, serbest taşıyıcıların uyarılmasına ve yeni elektron boşluk çiftlerinin oluşumuna bağlı olarak, film yapısının fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişimlere yol açmıştır. Işınlama sonrasındaki XRD analiz sonuçlarına göre, katmanlar kısmen kristalize olurken, renk merkezlerinin radyasyonla uyarılması nedeniyle, geçirgenlikte azalma meydana geldiği düşünülmüştür. Işınlama işlemi sonunda, solar aralık içersinde, 4.5 kGy'lik gama dozu güneş ışınlarının direkt geçirgenlik etkisini % 82 den % 67'ye azaltmıştır.

4.5 kGy'lik gama radyasyon dozu, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> filminde bir miktar kristalizasyona neden olmuş ve tane boyutlarında bir miktar küçülmeye yol açmıştır. Co-60 radyoizotopundan yayınlanan yüksek enerjili gama fotonlarının Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ince filmlerinin kristal yapısını etkileyebilmesi söz konusudur.

Güneş panelini oluşturan çoğu elemanlarda maksimum verim eldesi yaklaşık 3 yıl olduğundan, bu çalışma kapsamında ışınlama sonrası optik özelliklerde oluşan değişimler 44 ve 88 aylık periyotlarda belirlenmiştir.

Işınlama ile oluşan optik özelliklerin değişiminin kalıcılığı zaman faktörüne bağlı olarak test edilmiştir. Gama ışınları kullanılarak soğrulan doz 4,5 kGy'e yükseltildiğinde, gölgeleme katsayısı %17 azalmıştır. Ancak, 4.5 kGy'de yapılan ışınlama sonrasında, geçen süre 44. aya ulaştığında, gölgeleme katsayısı % 14' e ulaşmıştır. 88. ay sonunda ise, 44. aydaki optik özelliklerin korunduğu ve optik özelliklerde herhangi bir değişim oluşmayıp, 44. aydaki değerlerini muhafaza ettiği tespit edilmiştir.

Sr-90 radyoizotopundan yayınlanan negatif beta parçacıklarının Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> yapısının optik yoğunluk, optik bant aralığı ve gölgeleme katsayısında oluşturduğu değişimler, Co-60' daki gama fotonları ile benzer özellikler gösterir. Ancak, Sr-90 radyoizotopundan yayınlanan negatif beta parçacıklarının, elektriksel yüklerinden dolayı film yüzeyi ile yaptıkları Coulomb etkileşimi ve bu beta parçacıklarının sahip oldukları kütlelerinden dolayı giriciliğinin gama ışınlarına göre daha zayıf olmasından dolayı, film ile etkileşimi daha fazladır. Bu nedenle, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> film yapısına 0.13 kGy' deki negatif beta radyasyon etkisinin, 4.5 kGy' deki gama radyasyon etkisinden daha baskın olduğu tespit edilmiştir.

Güneş pillerinde optik kayıpların azaltılması diğer bir deyişle yarıiletkenin soğurma özelliğinin artırılması ve yansıtıcılığın azaltılması, güneş pillerinin etkin şekilde kullanılmasında anahtar rol oynamaktadır. Sr-90 ve Co-60 maruz kalan ince filmlerde, soğurmanın artması ve yansımanın azalması şeklindeki optik özelliklerdeki pozitif yönde değişim, söz konusu ince filmlerle kaplanmış yapılar için optik kayıpları azaltıcı etkiyi neden olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Akıncı, V.H.**, 1995. Nadir Element Katkılı Seramik Malzemenin Sol-Jel Daldırma Yöntemiyle Cam Üzerine Kaplanmasının İncelenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Amstock, J. S.**, 1997. *Handbook of Glass in Construction*, McGraw-Hill, New-York .
- Arshak, K., Korostynska, O.**, 2006. Response of metal oxide thin film structures to radiation, *Materials Science and Engineering B* 133, pp.1–7.
- Atanassova E., Paskaleva, A. Konakova, R. Spassov D. and Mitin, V. F.**, 2001. Influence of gamma radiation on thin Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Si structures, *Microelectronics Journal*, Volume 32, Issue 7, Pages 553-562.
- Aybers, N., Bayülken, A.** , 1990. *Nükleer Reaktör Mühendisliği-1 Temel Bilgiler*, İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı: 1414, İstanbul.
- Aybers, N., Karasulu, M.** , 1980. *Nükleer Enerjiye Giriş*, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, Genel Yayınlar, No. 15, İstanbul.
- Babeva Tz., Atanassova E., Koprinarova J.**, 2005. Optical characteristics of thin rf sputtered Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> layers, *Phys. Stat. Sol. (a)* 202, No. 2, pp. 330–336.
- Bamford, C.R.**, 1977. *Colour generation and control in glass*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Baydoğan N.D.**, 2002. Farklı Camların Radyasyon Karşısındaki Davranışlarının İncelenmesi, Dozimetrik Amaçlı Kullanımlarının Değerlendirilmesi ve Yeni Bir Korelasyon, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Baydoğan N.D.**, 2004. Evaluation of optical properties of the amorphous carbon film on fused silica, *Materials Science and Engineering B*107 pp.70–77.
- Baydoğan, N.D., Tugrul, A.B.** , 2006. Evaluation of the Optical Changes for a Soda–Lime–Silicate Glass Exposed to Radiation, *Glass Physics and Chemistry* 32 (3), pp. 309-314.
- Baydoğan N.D., Ozkan E. Z.**, 2007. Solar Control on Irradiated Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Thin Films, *13<sup>th</sup> International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems*, İstanbul, Turkey.
- Baydoğan N., Zayim E., Tugrul A. B.**, 2007. Solar parameters of induced WO<sub>3</sub>-coated glass, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 264 pp. 302–310.
- Baydoğan N.**, 2009. Radiation Protection Ders Notları, İ.T.Ü. Enerji Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Bel, T.** , 2010. Farklı Metallerin Beta Geçirgenliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Enerji Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Berry, R.W., Hall, P.M., HRRIS,M.T.** , 1968. *Thin Film Technology*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Bharat L. Newalkar, Sridhar Komarneni, Hiroaki Katsuki**, 2002. Synthesis and characterization of hexagonally packed mesoporous tantalum oxide thin film, *Materials Letters* 57 December 2002, pp. 444–447.
- Bilge, A. N. , Tuğrul, B.**, 1990. *Endüstriyel Radyografinin Esasları*, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, Genel Yayınlar, No. 20, İstanbul.
- Bilge, A. N.**, 1991. *Endüstride Nükleer Teknikler*, İ.T.Ü. Rektörlüğü, Yayın No. 1445, İstanbul.
- Boughabaa S., Sproule G.I., McCaffrey J.P., Islam M., Graham M.J.**, 2000. Synthesis of tantalum pentoxide films by pulsed laser deposition: material characterization and scale-up, *Thin Solid Films* 358, pp.104-113.
- Brown R. R. and Horne W E**, 1967. Space Radiation Equivalence For Effects on Transistors, *National Aeronautics and Space Administration*, NASA CR-814, Washington
- CEN-European Committee for Standardization**,1992. *Glass in Building-Determination of Light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance and ultraviolet transmittance, and related glazing characteristics*, CEN/TC 129/WG9/N.4E Rew.7, (Final Draft EN 410).
- Cheng-Chung Leea and Der-Jun Jana**, 2005. Optical properties and deposition rate of sputtered Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> films deposited by ion-beam oxidation, *Thin Solid Films* 483, pp.130– 135.
- Çelebican, Ö., Kim Uz 1257 Çel**, 2008. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Da Costa, Z.M., Pontuschka, W.M. Giehl, J.M., Da Costa, C.R.**, 2006. ESR dosimeter based on P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–CaO–Na<sub>2</sub>O glass system, *Journal of Non-Crystalline Solids* 352, pp. 3663–3667.
- Dharmaraj, N., Park, H.C., Kim, C.H., Viswanathamurthi, P., Kim, H.Y.**, 2006. Nanometer sized tantalum pentoxide fibers prepared by electrospinning, *Materials Research Bulletin* 41, pp. 612–619.
- Dogan, N., Tugrul, A.B.**, 2001. Optical and solar parameters of irradiated lead-alkali-silicate glass, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 69, 241-250.
- Dogan, N., Tugrul, A. B.**, 2001a., Dosimetric Evaluation of Gamma Doses Using Irradiated Lead-Alkali-Silicate Glass, *Radiation Measurements*, 33-2, 211-216.
- Egelkrou, D. W.**,1981. Electrostatic bonding of thin (cycle sine 3 mil) 7070 cover glass to Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> AR-coated thin (cycle sine 2 mil) silicon wafers and solar cells, NASA-CR-165240, D180-26200-1.
- Eisenbud, M.**, 1963 , *Environmental Radioactivity*, New York: McGraw-Hill Book Co., Inc, pp. 135–170.



- Evcin A.**, 2006, Kaplama Teknikleri Ders Notları, Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar [www.kimmuh.com /evcin / coating / coating8.pdf](http://www.kimmuh.com/evcin/coating/coating8.pdf), alındığı tarih 14.10.2010.
- EN 410**, 1998. *European Standard, Glass in building-Determination of luminous and solar characteristics of glazing*, ICS 81.040.20, CEN-European Committee for Standardization, Ref.No. EN 410:1998 E.
- Ezz-Eldin, F. M., Kashif, I El-Batal, H. A.**, 1994. *Radiation Physics and Chemistry*, 44, 1-2, 39-43.
- Ezz-Eldin, F. M., Abdel-Rehim, F., Abdel-Azim, A., Ahmed, A.**, 1994a. *Medical Physics*, 21-7 1085-1089.
- Ezz-Eldin, F.M., Mahmoud, H.H., Abd-Elaziz, T.D., El-Alaily, N.A.**, 2008. Response of commercial window glass to gamma doses, *Physica B* 403 pp.576–585.
- Fernández-Rodríguez, M., Alvarado, C. G., Núñez, A. and Álvarez-Herrero, A.** , 4, August 2006. Modeling of Absorption Induced by Space Radiation on Glass: A Two-Variable Function Depending on Radiation Dose and Post-Irradiation Time, *IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE*, VOL. 53, NO. 4.
- Fox, M.**, 2001. *Optical Properties of Solids*, Oxford University Press, New York.
- Földiak, G.**, 1986. *Industrial Applications of Radioisotopes*, Elsevier Ltd. Amsterdam.
- Gardner, R.P., Ely Jr. R.L.**, 1967. *Radioisotope Measurement Application in Engineering*, Reinhold Publishing Corp.
- Ghodsi, F. E. , Tepehan, F. Z.** , 1999. Heat treatment effects on the optical properties of Sol-gel Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin Films, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 59, pp.367-375.
- Glaser, H., J.**, 2000. *Large Area Coating*, Von Ardenne Anlagen Technk GMBH, Dresden.
- Göksel, S.**, 1979. *Radyasyonların Biyolojik Etkileri*, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, Genel Yayınlar, No. 9, İstanbul.
- Granqvist**, 2007. Review Transparent conductors as solar energy materials: A panoramic review, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, 1529–1598.
- Hitchens, W.R., Krusel W.C., Dobkim, D.M.** , 1993. Physical and Electrical Properties of Tantalum Oxide Thin Films Deposited by Low Pressure Chemical Vapor Deposition, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, Vol. 284, pp.499-504.
- Hermann, Jr., W.C.**, 1981. E-beam Deposition Characteristics of Reactively Evaporated Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> for Optical Interference Coatings, *J. Vac. Sci. Technol.*, Vol. 18, pp.1303-1305.
- Imran, M., Saxena, N.S., Vijay, Y.K., Vijayvergiya, R., Maharjan, N.B., Husain, M.**, 2002. Crystallization kinetics and optical band gap studies of Se<sub>96</sub>In<sub>4</sub> glass before and after slow neutron irradiation, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 298, 53–59.

- János Kristóf, Tamás Szilágyi, Erzsébet Horváth, Achille De Battisti, Ray L. Frost, Ákos Rédey**, 8 April 2004. Investigation of IrO<sub>2</sub>/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin film evolution *Thermochimica Acta*, Volume 413, Issues 1-2, Pages 93-99.
- Kim, Sun-Oo, Kim, H.J.**, 1994. The Effects of Substrate and Annealing Ambient on the Electrical Properties of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Thin Films Prepared by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, *Thin Solid Films.*, Vol. 253, pp.435-439.
- Kittel C.**, November 2004. *Introduction to Solid State Physics*, 8th Edition (Univ. of California, Berkeley) ©2005
- Kittel C.**, 2006., *Katıhal Fiziğine Giriş*, BilgiTek Yayıncılık, İstanbul.
- Klein, L.C.**, 1998. *Sol-Jel Technology for Thin Films, Fibers, Preforms, Electronics, And Specialty Shapes*, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, U.S.A.
- Koc, K., Tepehan, F. Z., Tepehan, G. G.**, 2005. Antireflecting coating from Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and SiO<sub>2</sub> multilayer films, *Journal of Materials Science* 40, pp.1363 – 1366.
- Marzouk, S.Y., Elalaily, N.A. Ezz-Eldin, F.M., Abd-Allah, W.M.**, 2006. Optical absorption of gamma-irradiated lithium-borate glasses doped with different transition metal oxides, *Physica B* 382 pp. 340–351.
- Masse, J.-P., Szymanowski, H., O. Zabeida, A. Amassian, J.E. Klemberg-Sapieha, L. Martinu**, 2006. Stability and effect of annealing on the optical properties of plasma-deposited Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> films, *Thin Solid Films* 515, pp.1674–1682,.
- Mishra, B., Rao, R.,G.**, 2004. Physicochemical and catalytic properties of Zr-pillared montmorillonite with varying pillar density, *Microporous and Mesoporous Materials*, 70, 43–50.
- Ngaruiya J. M., Venkataraj S., Drese R., Kappertz O., Leervad Pedersen T. P., Wuttig M.**, 2003. Preparation and characterization of tantalum oxide films produced by reactive DC magnetron sputtering, *Phys. Stat. Sol. (a)* 198, No. 1, pp.99– 110.
- Ndiege N., Wilhoite T., Vaidyanathan Subramanian, Mark A. Shannon, and Richard I. Masel.**, 2007. Sol-Gel Synthesis of Thick Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Films, *Chem. Mater.*, 19, pp. 3155-3161.
- Ozer, N., Lampert, C. M.**, 1997, Structural and Optical Properties of Sol-Gel Deposited Proton Conducting Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Films, *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 8, pp.703-709.
- Pulker H.K.**, 1984. *Coatings on Glass, Thin Films Science and Technology* 6, Elsevier, New York.
- Qingyan Wang, Hongbin Geng, Chengyue Sun, Zhonghua Zhang, Shiyu He**, 2010. Evolution of defects in a multicomponent glass irradiated by 1 MeV electrons, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 268 pp.1478–1481.
- Saito, T., Ushio, Y., Yamada, M., Niwa, T.**, 1990. Properties of Tantalum Oxide Thin Film for Solid Electrolyte, *Solid State Electronics*, Vol. 40/41, pp.489-501.

- Sepet, L.**, 2009. ZnO Nanokristallerinde Elektromanyetik Radyasyon Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Enerji Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şam, E.D.**, 2001. Camların Sol-Jel Yöntemiyle Silika Kaplanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şişecam**, 1989. *Sol-Jel Yöntemiyle Cam Üretimi Gelişme Raporu*, (Hizmete Özel), No:315.
- Tepehan, F.Z., Ghodsi, F. E., Ozer, N., Tepehan, G.G.**, 1997., Determination of optical properties of amorphous Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> films deposited by spin- and dip-coating methods, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 46, pp.311-321.
- Tepehan, F Z., Ghodsi, F., E., Ozer,N., Tepehan, G.,G.**, 1999. Optical properties of sol-gel dip-coated Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> films for electrochromic applications, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 59, pp. 265-275.
- Tu, Y.K., Lin, C.C., Wang, W.S.**, 1987. Characterization of Reactively RF-Sputtered Tantalum Oxide Waveguides, SPIE, 836 *Optoelectronic Materials, Devices, Packaging and Interconnects*, pp.40-43.
- Url-1** < <http://pvcdrom.pveducation.org> >, alındığı tarih 10.05.2010.
- Url-2** < <http://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/around-us/sources.html> >, alındığı tarih 31.03. 2011.
- Url-3** < [http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik\\_tayf](http://tr.wikipedia.org/wiki/Elektromanyetik_tayf) >, alındığı tarih 15.12.2010.
- Url-4** < <http://www.stanfordmaterials.com/tantalum-oxide.html> >, alındığı tarih 20.02.2011.
- Url-5** < [http://tr.wikipedia.org/wiki/DRAM\\_\(Bilgisayar\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/DRAM_(Bilgisayar)) >, alındığı tarih 20.02.2011.
- Url-6** < [http://www.timedomaincvd.com/CVD\\_Fundamentals/films/Ta2O5.html](http://www.timedomaincvd.com/CVD_Fundamentals/films/Ta2O5.html) >, alındığı tarih 22.02.2011.
- Url-7** < <http://www.iem-inc.com/toolgam.html> >, alındığı tarih 29.04.2011.
- Url-8** < [http://www.medcyclopaedia.com/library/topics/volume\\_i/s/ specific \\_ gamma \\_ ray \\_ constant.aspx](http://www.medcyclopaedia.com/library/topics/volume_i/s/ specific _ gamma _ ray _ constant.aspx) >, alındığı tarih 2.05.2011.
- Url-9** < [http://en.wikipedia.org/wiki/Hot\\_cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Hot_cell) >, alındığı tarih 25.05.2011.
- Url-10** < <http://www.lowtechmagazine.com/2008/03/the-ugly-side-o.htm> >, alındığı tarih 8.05.2011.
- Valkovic, V., Boskovic, R.** , 2000. *Radioactivity In The Environment*, Institute Zagreb, pp. 21-28, Croatia.
- Yildirim, S., Ulutas, K., Deger, D., Zayim, E.O., Turhan, I.**, 18 February 2005. Dielectric properties of sol-gel derived Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films, *Vacuum*, Volume 77, Issue 3, pp.329-335.
- Zayim, E.Ö., Baydoğan, N.D.**, 2006. Irradiation Effect in WO<sub>3</sub> Thin Films, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Volume 90, Pages 402-413.
- Zhu, Z.F., Yu, F., Man, Y., Tian, Q., He, Y., Wu, N.**, 2005. Preparation and performances of nanosized Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> powder photocatalyst, *J. Solid State Chem.* 178, 224.



## **ÖZGEÇMİŞ**



**Ad Soyad** : **Banu Erkan**  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : İstanbul 26.12.1966  
**Lisans Üniversite** : İTÜ, Matematik Mühendisliği, 1989  
**Yüksek Lisans** : Işık Üniversitesi, İşletme Yüksek Lisans MBA, 2002  
**Yüksek Lisans Öğrencisi** : İTÜ Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans, 1989-2011  
**Yabancı Dil** : İngilizce, İspanyolca

### **Yayın Listesi**

**Banu ERKAN, Prof Dr. Metin ÇAKICI**, 2002. Breaking down traditional hierarchies through project management: a case study in a leading home appliances company in Turkey, Işık University Institute Of Social Sciences, İstanbul.

### **Mesleki Deneyimler**

2007-2009 Anadolu Sigorta A.Ş.- İstanbul Bilgi İşlem - Programcı  
2005-2006 Denizbank İntertech A.Ş.- İstanbul Bilgi İşlem - Lojistik Proje Lideri  
2002-2004 OYTEK Oyak Teknoloji Bilişim Hiz. A.Ş. - İstanbul Bilgi İşlem Yönetmen  
1999-2001 DIA SA Süpermarketleri A.Ş. - İstanbul Bilgi İşlem Müdürü.  
1996-1999 FON Giyim Sanayi A.Ş. - İstanbul Bilgi İşlem Müdürü.  
1990-1993 TC Merkez Bankası – İstanbul Bilgi İşlem - Programcı