

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**Ag-Cu İNCE FİLM ALAŞIMLARINA AİT X-IŞINI FLORESANS
PARAMETRELERİNİN EDXRF YÖNTEMİYLE ÖLÇÜLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kazım KARABULUT

**ARALIK 2015
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Fizik Anabilim Dalında
Kazım KARABULUT Tarafından Hazırlanan**

**Ag-Cu İNCE FİLM ALAŞIMLARINA AİT X-IŞINI FLORESANS PARAMETRELERİNİN
EDXRF YÖNTEMİYLE ÖLÇÜLMESİ**

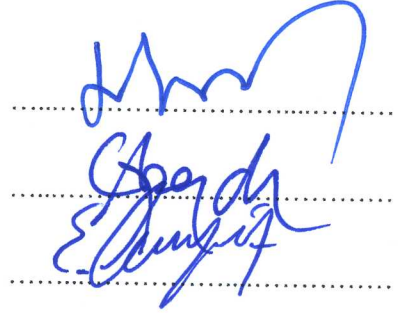
**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 08 / 12 / 2015 gün ve 1630 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Hasan BALTAŞ

Üye : Prof. Dr. Gökhan APAYDIN

Üye : Doç. Dr. Erhan CENGİZ



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım ve yüksek lisans öğrenciliğim boyunca değerli görüş ve yardımlarını esirgemeyen maddi ve manevi her konuda destek olan kıymetli hocam ve danışmanım sayın Prof. Dr. Gökhan APAYDIN' a; en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Gerekli yardımı ve ilgiyi esirgemeyen hocalarım sayın Prof. Dr. Engin TIRAŞOĞLUNA` na, Doç. Dr. Erhan CENGİZ` e, Arş. Gör. Oğuz Kağan KÖKSAL` a, Arş. Gör. Muhammet DOĞAN` a;

Numunelerin hazırlanmasında emeği geçen Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi Malzeme Bilimleri ve Nanoteknoloji Enstitüsü lisansüstü öğrencilerinden Sencer AYAS` a, Prof. Dr. Ömer SÖĞÜT` e;

Ayrıca maddi ve manevi destekleriyle bu günlere gelmemde en büyük pay sahibi olan aileme en içten saygı, sevgi, teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Kazım KARABULUT
Trabzon 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ag-Cu İnce Film Alaşımlarına Ait X-Işını Floresans Parametrelerinin EDXRF Yöntemiyle Ölçülmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Gökhan APAYDIN` ın sorumluluğunda tamamladığımı verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 07/12/2015

Kazım KARABULUT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. X-ışınları.....	4
1.3. X-ışınlarının Bulunuşu	5
1.4. X-ışınlarını Genel Özellikleri	5
1.5. Oluşum Şekillerine Göre X-ışınları	6
1.5.1. Doğal X-ışınları	6
1.5.2. Yapay X-ışınları	7
1.6. Verdikleri Spektrumlara Göre X-ışınları	7
1.6.1. Sürekli X-ışınları	7
1.6.2. Karakteristik X-ışınları	8
1.7. X-ışını Floresans (XRF) Tekniği	10
1.8. Radyasyon Ölçüm Sistemleri (Dedektörler)	11
1.8.1. Gazlı Dedektörler	13
1.8.2. Sintilasyon (Pırıldama) Dedektörleri	14
1.8.3. Yarı-iletken Dedektörler	16
1.8.3.1. Yarı-iletken Dedektörlerin Avantajları	17
1.8.3.2. Yarı-iletken Dedektörlerin Dezavantajları	18
1.9. Gümüş (Ag) ve Özellikleri	19
1.10. Bakır (Cu) ve Özellikleri	19
1.11. Alaşımlar	20

1.12.	İnce Filmler	22
1.13.	Fiziksel Buhar Biriktirme	23
1.14.	Alaşım Etkisini Açıklamada Kullanılan Bazı Temel Kavramlar	24
1.14.1.	Metalik Bağ	24
1.14.2.	Hibritleşme	25
1.14.3.	Perdeleme Etkisi	26
1.14.4.	Kovalent Karakterli Metal Bağları	26
1.14.5.	Elektronegatiflik	27
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	28
2.1.	Foton Dedektörlerinin Genel Karakteristikleri	28
2.2.	Yarıiletken Dedektörler	29
2.3.	Yarıiletken Dedektörlerin Fiziksel Özellikleri	30
2.4.	Rezolüsyon (Ayrırma Gücü)	33
2.5.	Sayma Sistemi	38
2.6.	Yüksek Voltaj Kaynağı	38
2.7.	Ön Yükseltici	39
2.8.	Yükseltici	39
2.9.	Analog Dijital Dönüştürücü	40
2.10.	Çok Kanallı Analizör (MCA)	40
2.11.	X-ışını Spektrumlarının İncelenmesi	40
2.11.1.	Koherent Pik	41
2.11.2.	İnkoherent (Compton) Pik	41
2.11.3.	Karakteristik X-ışını Pikleri	42
2.11.4.	Auger Pikleri	42
2.11.5.	Üst Üste Binme (Pile-Up) Pikleri	42
2.11.6.	Kaçak (Escape) Pikler	43
2.11.7.	Satellite Pikleri	43
2.12.	Dedektör Verimi	43
2.13.	Dedektör Verimliliğinin Ölçülmesi	44
2.14.	I_0Ge 'nin Tayini	46
2.15.	Ultra-LEGe Dedektörün Verim Eğrisinin Tayini	47
2.16.	Numunelerin Hazırlanması	48
2.17.	Numunelerin Kütle Azaltma Katsayıları ve Soğurma Düzeltmesi Faktörleri	48

2.18.	Deney Geometrisi, Numunelerin Uyarılması ve Karakteristik X-ışınlarının Sayılması	50
2.19.	²⁴¹ Am Radyoizotop kaynağı	51
2.20.	K X-ışını Floresans Verimleri ve Floresans Tesir Kesitlerinin Hesaplanması	52
3.	BULGULAR	54
3.1.	Numunelerin Uyarılmasıyla Elde Edilen X-ışınları ve Spektrumları	54
3.2.	K X-ışını Floresans Tesir Kesitleri ve Floresans Verim Değerleri	55
4.	SONUÇLAR	58
5.	KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

Ag-Cu İNCE FİLM ALAŞIMLARINA AİT X-IŞINI FLORESANS
PARAMETRELERİNİN EDXRF YÖNTEMİYLE ÖLÇÜLMESİ

Kazım KARABULUT

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gökhan APAYDIN

2015, 63 Sayfa

Bu çalışmada Ag-Cu ince film alaşımlarında bulunan Ag ve Cu elementlerinin K tabakası floresans tesir kesiti ve floresans verimi ED-XRF tekniği kullanılarak araştırıldı. Numuneler ²⁴¹Am radyoizotop halka kaynağından yayımlanan 59.5 keV enerjili γ -ışınları ile uyarıldı ve numunelerden yayımlanan karakteristik K X-ışınları, rezolüsyonu 5.9 keV'de 150 eV olan Ultra-LEGe dedektörü ile sayıldı. Bu çalışmadan elde edilen değerler teorik değerlerle karşılaştırıldı. XRF parametreleri arasındaki farkların alaşım konsantrasyonuna bağlı olmadığı gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: EDXRF, Alaşım Etkisi, Floresans Tesir kesiti, Floresans Verim

Master Thesis

SUMMARY

MEASUREMENT OF THE X-RAY FLOURESCENCE PARAMETERS FOR Ag-Cu
THIN FILM ALLOYS WITH THE EDXRF METHOD

Kazım KARABULUT

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Physics Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Gökhan APAYDIN
2015, 63 Pages

In this study, K shell X-ray production cross-sections and fluorescence yields of Ag and Cu elements were investigated for the Ag-Cu thin film alloys using the ED-XRF technique. The samples were excited by 59.5 keV γ -rays emitted from ^{241}Am radioisotope source and K X-rays emitted from samples were counted by means of Ultra-LEGe detector with a resolution 150 eV at 5.9 keV. The obtained values from this study have been compared with theoretical values. It was observed that differences between the XRF parameters are not depend on the concentrations of the elements in the alloys.

Key Words: EDXRF, Alloying Effect, Fluorescence Cross-section, Fluorescence Yield

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Atom modeli	2
Şekil 2. Elektro manyetik spektrum	4
Şekil 3. Sürekli X-ışını oluşumu	7
Şekil 4. Karakteristik X-ışını oluşumu	8
Şekil 5. Kabuklar arası X-ışınları geçişlerinin şematik gösterimi	9
Şekil 6. Radyasyon çeşitleri.....	12
Şekil 7. Gazlı dedektör sisteminin diyagramı.....	13
Şekil 8. Çeşitli tiplerdeki gazlı dedektörlerde gaz amplifikasyonu	14
Şekil 9. Sintilasyon sisteminin diyagramı	15
Şekil 10. Si(Li) dedektörün yapısı.....	16
Şekil 11. Si(Li) yarıiletken, Xe orantılı ve NaI(Tl) sintilasyon sayaçlarında Ag K α ve K β puls yükseklikleri	18
Şekil 12. İnce film üretim yöntemleri.....	22
Şekil 13. Fiziksel buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi	23
Şekil 14. Düzlem Ge(Li) dedektör	31
Şekil 15. Düzlem p-tipi yüksek saflıkta Ge dedektörü.....	32
Şekil 16. Puls ve pik	35
Şekil 17. Dedektör ve bölümleri.....	37
Şekil 18. X-ışınları floresans ölçüm sistemi diyagramı.....	38
Şekil 19. İdeal bir X-ışını spektrumu.....	41
Şekil 20. ²⁴¹ Am radyoaktif kaynağı kullanılarak elde edilen I ₀ Ge`nin enerji ile değişimi...48	48
Şekil 21. X-ışınları floresans(EDXRF) ölçümleri için deney geometrisi.....	50
Şekil 22. ²⁴¹ Am elementinin deneysel bozunma şeması.....	52
Şekil 23. 2 numunesine ait Ag elementi K X-ışını pikleri	54
Şekil 24. 5 numunesine ait Cu elementi K X-ışını pikleri	55

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Spektroskopi çeşitlerinin özeti	1
Tablo 2. X-ışınlarının genel özellikleri	6
Tablo 3. K ve L X-ışınlarının Siegbahn ve IUPAC(International Union of Applied and Pure Chemistry) gösterimleri	10
Tablo 4. Cu elementine ait K X-ışını floresans tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması... 56	56
Tablo 5. Ag elementine ait K X-ışını floresans tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması .. 56	56
Tablo 6. Cu elementine ait K X-ışını floresans verim değerlerinin karşılaştırılması	57
Tablo 7. Ag elementine ait K X-ışını floresans verim değerlerinin karşılaştırılması	57
Tablo 8. Deneysel hata kaynağı ve miktarları	60

SEMBOLLER DİZİNİ

E	: Gelen fotonun enerjisi
EDXRF	: Enerji ayırmalı X-ışını floresans
E_γ	: Gelen fotonun enerjisi
F	: Fono faktörü
FET	: Alan etkili transistör
FWHM	: Bir pulsun yarı maksimumdaki tam genişliği
F_{ij}	: X-ışınlarının yayımlanma kesri
HPGe	: Yüksek saflıkta germanyum
I	: Geçen ışının şiddeti
I_0	: Gelen ışının şiddeti
IUPAC	: International Union of Applied and Pure Chemistry
MEMS	: Mikro elektro-mekanik sistemler
N_{Kx}	: Karakteristik X-ışınlarının dedektörde ölçülen şiddetleri
P_E	: Kaynağın bozunma hızı
ppm	: Milyonda bir
R	: Dedektör rezölasyonu
t	: Maddenin kalınlığı
LEGe	: Düşük enerji germanyum
V	: Ortalama genişlik
Z	: Atom numarası
μ	: Lineer soğurma katsayısı
μ/ρ	: Toplam soğurma katsayısı
σ_K	: K kabuğu için fotoelektrik tesir kesiti
$\sigma_K(E)$: Toplam K kabuğu X-ışını iyonizasyon tesir kesiti
σ_C^Z	: Z atom numaralı element için tesir kesiti
ω_K	: K tabakasına ait floresans verim
W	: Yarı maksimumdaki puls genişliği
WDXRF	: Dalgaboyu ayırmalı X-ışını floresans
$\varepsilon(E)$: E enerjili bir foton için dedektör verimi
Ω	: Katı açısı

$\beta(E)$: E enerjisinde yayımlanan ışınlar için soğurma düzeltmesi faktörü
 ρD : Birim alan başına düşen madde miktarı

1. GENEL BİLGİLER

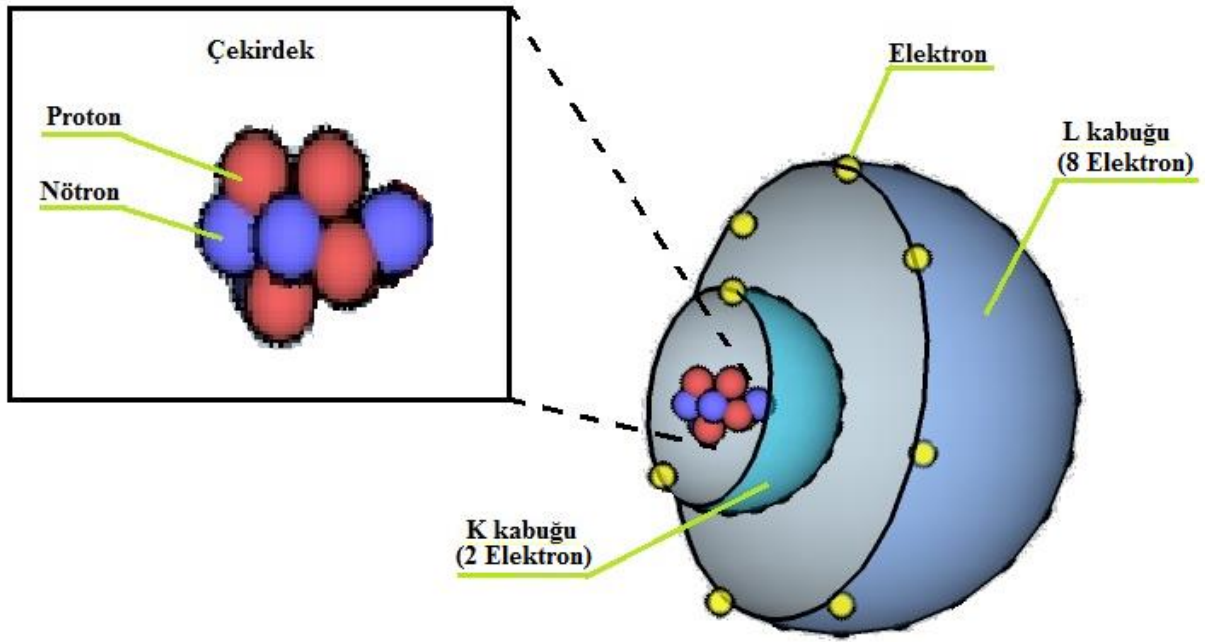
1.1. Giriş

Spektroskopi, incelenmek istenen numunedeki atom, molekül veya iyonların bir enerji düzeyinden başka bir enerji düzeyine geçişleri sırasında soğurduğu veya yayımladığı elektromanyetik ışımının ölçülüp fiziksel olarak yorumlanmasıdır (URL-1). Gelen veya yayımlanan tanecik veya elektromanyetik radyasyonun cinsine göre spektroskopi farklı isimler alır. Bu isimlendirme Tablo 1`de verilmiştir.

Tablo 1. Spektroskopi çeşitlerinin özeti (Şahin, 2013)

Gözlemlenen tanecik veya elektromanyetik radyasyon	Spektroskopi adı
İyon, atom veya molekül	İyon, atom, molekül saçılma spektroskopisi İyonik, atomik, moleküler kütle spektroskopisi
Elektron	Elektron spektroskopisi
Proton,nötron	Proton, nötron saçılma spektroskopisi
Fonon(ses)	Foto-akustik (opto-akustik) spektroskopisi
Foton	Optik spektroskopi, X-ışını ve Gama-ışını spektroskopisi

X-ışını floresans (XRF) spektroskopisi, numune içerisindeki atomik ve moleküller yapıların analizinde kullanılan en etkili spektroskopik yöntemlerden bir tanesidir (Cengiz, 2011). Bu yöntem ihtiyaç duyduğu numune miktarının fazla olmaması sebebiyle ekonomik, deney öncesi asgari düzeyde hazırlık gerektirmesi, çok elementli yapıların eş zamanlı analizine imkan vermesinden dolayı hızlı ve incelenen numuneye tahribat vermemesi nedeniyle analizlerde çok tercih edilen bir araçtır (URL-2). Bu spektroskopinin temel teknikleri, genellikle X-ışınlarının soğurulması, saçılması ya da yayılması esasına dayanmaktadır. Atomların üzerine düşürülen foton, proton, elektron veya iyon demetleri atom tarafından soğurulması ve yayılması esnasında iç yörüngelerinden bir elektron sökebilir. Bunun sonucunda atomda yeniden bir elektron düzenlenmesi gerçekleşir ve bazı kabuklarda boşluk oluşur. K kabuğunda meydana gelen bir boşluk ya L kabuğundan geçişler ya da M, N ve O kabuklarından geçişler ile doldurulabilir (Şekil 1).



Şekil 1. Atom modeli

Bu geçişler sırasında iki tabakanın bağlanma enerjileri arasındaki fark kadar enerjiye sahip bir foton yayımlanır ve bu foton karakteristik X-ışını fotonu olarak adlandırılır (Cengiz, 2011). Yayımlanan bu ışınlar kabuklar arası geçişlere bakılarak $K\alpha$ [K-L1,2,3], $K\beta$ [K-M2,3N2,3] gibi sembollerle ifade edilir (Apaydın, 2006).

Karakteristik X-ışınlarının her elementte farklı özellik göstermesi sebebiyle atomik parametre ölçümlerinde farklılıklar arz edecektir. Elementlere ait atomik parametrelerin, özellikle de tesir kesiti parametresinin ($\sigma_{K,L}$) doğru olarak tespit edilmesi, başta atom ve molekül fiziği, sağlık fiziği ve XRF yöntemi kullanılarak örneklerin kalitatif ve kantitatif analizlerinde oldukça önemlidir. Ayrıca, elementlerin K, L ve M kabuklarına ait floresans tesir kesitleri ve floresans verim değerlerinin bilinmesi; bilimsel araştırmalarda özellikle nükleer santrallerde ve diğer nükleer tesislerde radyasyondan korunma, radyoaktif maddelerin muhafazası, uzay çalışmalarında, hatta cep telefonlarının kullanımı ve üretilmesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte atom ve moleküllerde elektron ve kütle yoğunluğu, kütle soğurma katsayısı azalması gibi sabitlerin elde edilmesinde ve buna benzer birçok alanda kullanılmaktadır (Apaydın, 2006).

Bu çalışmanın amacı; Gümüş-Bakır alaşımı ince filmlerin K atomik parametrelerinin belirlenerek, verilerdeki farklılıkların alaşım etkisiyle açıklanması esasına dayanmaktadır.

İki ya da daha fazla metalin veya bir metal ile bir ametalin homojen karıştırılmasıyla oluşturulan metal niteliği taşıyan maddelere alaşım denir. Örneğin, bakır ile çinkonun

karıştırılmasıyla elde edilen pirinç iki metalin karışımından elde edilen bir alaşım iken; demir ile karbonun karışımıyla oluşturulan çelik bir metal ile bir ametalin karışımından oluşan bir alaşımdır. Alaşımlar kendilerini oluşturan metalden ya da ametalden farklı özellik taşıyan malzemelerdir. Günümüzde çelik (demir-karbon), pirinç (bakır-çinko), lehim (kurşun-kalay), amalgam (cıva-metal), vb. en çok bilinen alaşım türlerindedir (URL-4).

Geçmişten günümüze kadar üretilen alaşım türlerine baktığımızda, ilk zamanlar avlarda ve savaşlarda silah veya savunma aracı olarak tasarlanıp kullanılan alaşımlar, daha sonraları mutfak aracı olarak kullanılmaya başlayarak kullanım alanı arttırılmıştır. İlerleyen yıllarda mekanik sistemlerde de kullanılmaya başlanmış ve günümüzde elektronik sistemlerin en çok ihtiyaç duyulan malzemelerinden olmuştur (URL-4). Alaşımların kullanım alanları her geçen gün daha da artmaktadır. Alaşımların bir başka teknolojik uygulaması da ince film alaşım kaplamalarıdır. İnce film alaşımlar; optik sistemlerde, elektronik sistemlerde, dekoratif kaplamalarda, kuyumculukta ve bunun gibi daha birçok kullanılmaktadır (URL-3). Doğadaki en iyi elektrik iletkeni, en iyi ısı iletkeni (URL-6) ve elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi bölgesinde en iyi yansıtıma sahip metal gümüştür. Bu nedenle optik sistemlerde en çok tercih edilen alaşım metallerinden biri de gümüştür (URL-5). Gümüş-bakır alaşımlı ince filmler; güneş ışığı toplayıcı aynalarda, teleskoplarda, kontak noktalarında ve mikro elektro-mekanik sistemlerde kullanılmaktadır (URL-3).

İnce film alaşımlar; K kabuğuna ait X-ışını floresans parametreleri, özellikle tesir kesiti ve floresans verim ifadeleri, farklı dedektör, uyarıcı ve yöntem kullanılmak suretiyle günümüze kadar bazı bilim insanları tarafından araştırılmıştır(Apaydın, 2006). Literatüre baktığımızda ZnO ince film örneklerinin XRF parametreleri(Şirin, 2012) incelenmiş; K kabuğu floresans tesir kesitlerinin numune üretim şartlarına bağlı olduğu belirtilmiştir. CoNiCu ince film alaşımlar (Söğüt vd., 2014) EDXRF yöntemiyle incelenmiştir. NiTi şekil hafızalı alaşımların K kabuğu parametreleri üzerine alaşım etkileri(Cengiz vd., 2014) hesaplanmıştır.

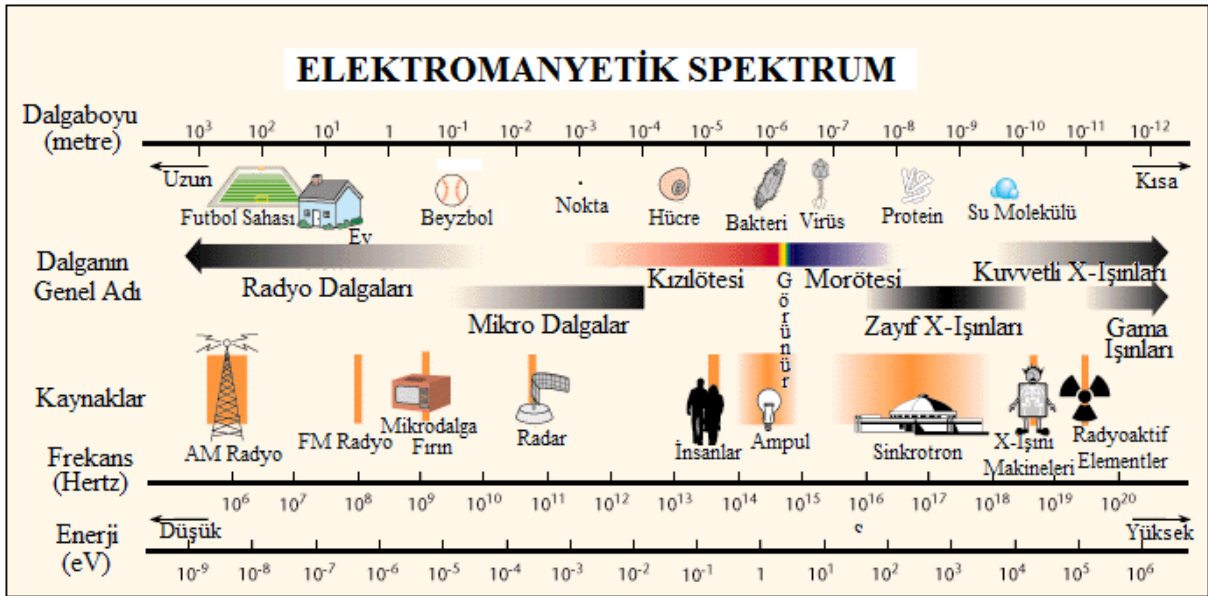
Zn ve Co alaşımlarının K-kabuğu X-ışını floresans parametreleri (Aylıkçı vd., 2009), pH değerleri farklı tutularak üretilen Zn-Co alaşımlarının K β tesir kesitleri hesaplanmıştır (Aylıkçı vd., 2011). Al, Ni ve Mo' den oluşan alaşımların K kabuğu X-ışını tesir incelenmiştir (Aylıkçı vd., 2010). CoCuAg alaşım filmlerin XRF parametreleri (Aylıkçı

vd., 2009) çalışılmıştır. Fe, Cu, Zn, Ge ve Mo`in K kabuğu toplam floresans verimi (Pious vd.,1992) hesaplanmıştır.

Literatüre bakıldığında EDXRF yöntemiyle incelenen ince film alaşımlara rastlanılmaktadır. Bu çalışmalardan bazılarındaki numuneler Ag-Cu içeren ince film numunelerden de oluşmaktadır. Bu çalışma ile daha önce çalışılmamış olan konsantrasyonlardaki Ag-Cu ince film alaşımların EDXRF yöntemiyle K kabuğu X-ışını tesir kesiti ve floresans verimleri çalışılmıştır.

1.2. X-ışınları

X- ışınları yüksek enerjili elektronların bir atom çekirdeği tarafından yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen dalga boyları 0.01 nm-10 nm arasında değişen yüksek enerjili elektromanyetik dalgalardır. X-ışınları için tanımlanan dalga boyu aralığının sınırları keskin değildir: kısa dalga boyu ucu gama ışınları ile, uzun dalga boyu ucu ise morötesi ışıkla karışır (Beise, 2008).



Şekil 2. Elektromanyetik spektrum (URL-10)

1.3. X-ışınlarının Bulunuşu

X-ışınlarının bulunuşu bir tesadüfi olaya dayanmaktadır. Değişik Alman üniversitelerinde görev aldıktan sonra, Würzburg`da fizik profesörü olan Wilhelm Konrad Röntgen, Würzburg Üniversitesi, Fizik Enstitüsü laboratuvarında katot ışınları üzerinde çalışırken, üstünü siyah bir kartonla örttüğü Crookes tüpünden yüksek gerilimli elektrik akımı geçirdiğinde, odada bulunan bir kavanoz içindeki baryumlu platinsiyanür kristallerinde kuvvetli bir floresans olayı meydana geldiğini fark etmiştir. Siyah kartonu geçebilen ve floresan yaratma özelliği olan yeni bir ışını bulduğunu anlayarak, bu ışın üzerindeki çalışmalarını sürdürmüştür. Yine bir rastlantı ile bu ışının nüfuz etme gücünün olduğunu ve bunun, değişik cisimlerde farklı olduğunu görmüştür. Örneğin, bir kurşun yaprağın ışın geçirmezliğini fark ederken, kendi parmak kemiklerinin gölgelerini görmüştür. Bunun üzerine karısının elini, içinde fotoğraf plağı bulunan bir kaset üzerine koyup 15 dk. ışınladıktan sonra banyo edip, parmak kemiklerinin ve iki yüzüğün fotoğraf plağında görüldüğünü ortaya koyarak, bu gözlemini kesinleştirmiştir.

Bulduğu bu ışına X-ışını adını verip, buna ilişkin "Yeni Bir Işın Hakkında Geçici Bildiri" isimli ünlü bildirisini 1895 Aralık ayı sonunda bilim dünyasına açıklamıştır. Röntgen, bu çalışması sayesinde, 1901 yılında tarihin ilk Nobel fizik ödülünü almıştır (URL-7).

1.4. X-ışınlarını Genel Özellikleri

X-ışınları, yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen dalga boyları 10^{-8} m ile 10^{-13} m arasında değişen, 0,125 keV-125 keV aralığındaki enerjiye sahip elektromanyetik dalgalardır. X-ışınlarının dalga boylarının katı cisimlerdeki atomlar arası uzaklık (10^{-10} m) büyüklüğünde olmasından dolayı, kristal yapının incelenmesinde kullanılmaktadır (Şahin, 2013).

Tablo 2. X-ışınlarının genel özellikleri (Şahin, 2013)

Genel Özellikler	Etkileşme sonucu maddeden çıkan tanecik
<ul style="list-style-type: none"> • Sürekli spektrum verir. • Karakteristik spektrum verir. • Işık hızı ile yayılır. • Doğrular halinde yayılır. • Elektrik ve magnetik alandan etkilenmezler. 	<ul style="list-style-type: none"> • İyon • Fotoelektron • Auger elektronu • Geri tepme elektronu • Elektron pozitron çifti
Yapabileceği fiziksel olaylar	X-ışını soğurmasının kalıcı sonuçları
<ul style="list-style-type: none"> • Transmisyon • Kırılma • Yansıma • Polarizasyon • Koherent saçılma • İnkohherent saçılma • Fotoelektrik olay 	<ul style="list-style-type: none"> • Radyasyon tahribatı • Sıcaklık artması • Fotoelektrik iyonizasyon • Genetik değişme • Hücrenin ölümü

1.5.Oluşum Şekillerine Göre X-ışınları

Oluşum şekillerine göre X-ışınları doğal x-ışınları ve yapay X-ışınları olmak üzere ikiye ayrılır.

1.5.1. Doğal X-ışınları

Atom çekirdeği tarafından iç kabuklardan (genellikle K kabuğu) elektron yakalanması, alfa bozunumu, iç dönüşüm ve beta bozunumu olaylarıyla meydana gelen X-ışınlarına denir. Örneğin; çekirdek içerisinde bulunan protonlardan bir tanesi hareketi esnasında atomun K kabuğundan bir elektronu yakalar ve nötrona dönüşür. Bu dönüşüm sonucunda uyarılmış durumda olan atom, yakalanan elektronun oluşturduğu boşluğun daha üst kabuk elektronları tarafından doldurulması ve iki kabuk arasındaki enerji farkına sahip bir X-ışını fotonu yayımlanmasıyla kararlı hale dönüşür.

1.5.2. Yapay X-ışınları

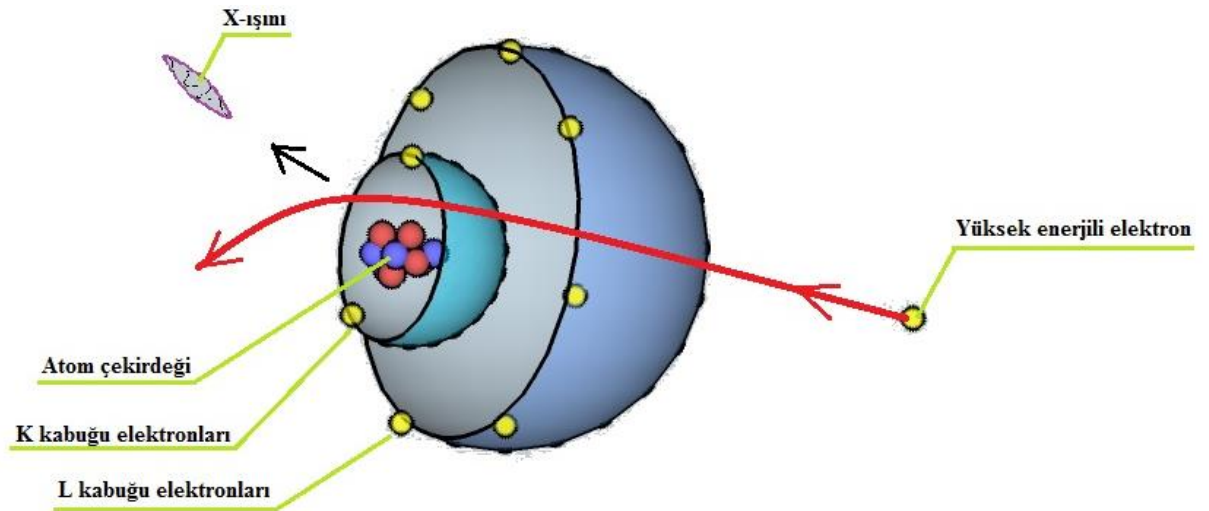
Maddenin; elektron, proton veya iyonlar gibi hızlandırılmış parçacıklarla etkileşmesinden, X-ışını tüpünden veya başka bir uygun radyoaktif kaynaktan çıkan fotonlarla etkileşmesinden meydana gelir. Örneğin; havası boşaltılmış bir Crookes tüpüne yüksek gerilim uygulanarak katottaki flamandan yayımlanan elektronlar, tüp içerisinde yüksek hızlara ulaşarak anottaki hedef metale ulaşınca X-ışını fotonu yayımlanır.

1.6. Verdikleri Spektrumlara Göre X-ışınları

Verdikleri spektrumlara göre X-ışınları sürekli X-ışınları ve karakteristik X-ışınları olmak üzere ikiye ayrılır.

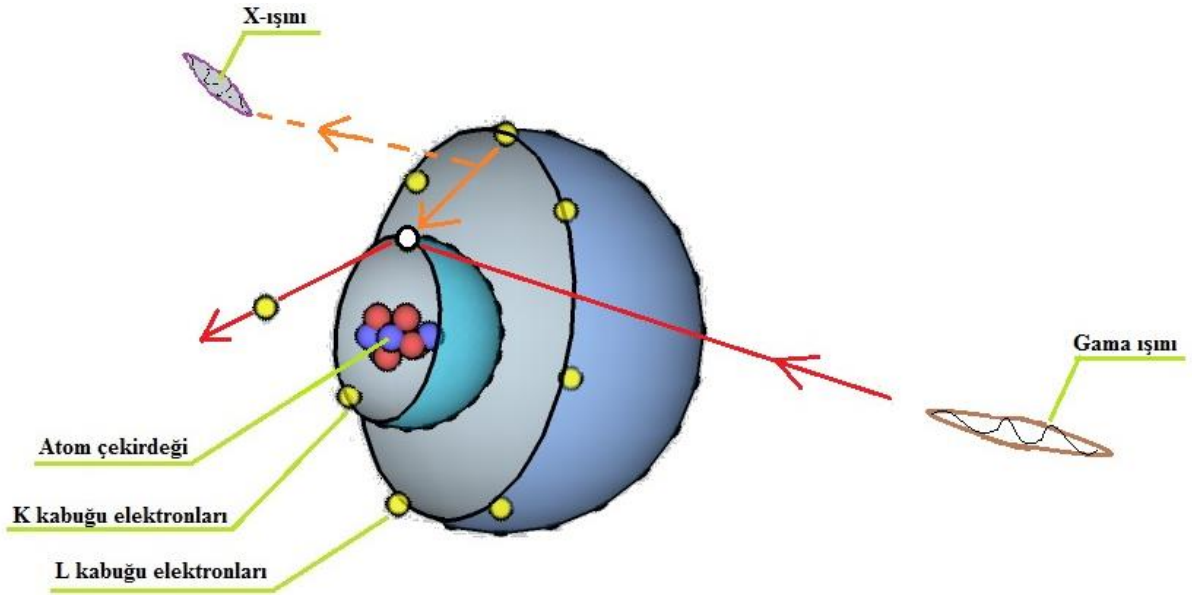
1.6.1. Sürekli X-ışınları

Hızlandırılmış elektronun, hedef atom çekirdeğine yaklaştığında, çekirdeğin pozitif yükünden kaynaklanan elektrik alandan etkilenip yörüngesinden saparak ivmeli hareket yapar ve dışarıya foton salar. Sürekli bir enerji spektrumuna sahip bu fotonlara sürekli x-ışınları, bremsstrahlung veya frenleme radyasyonu adı verilir.



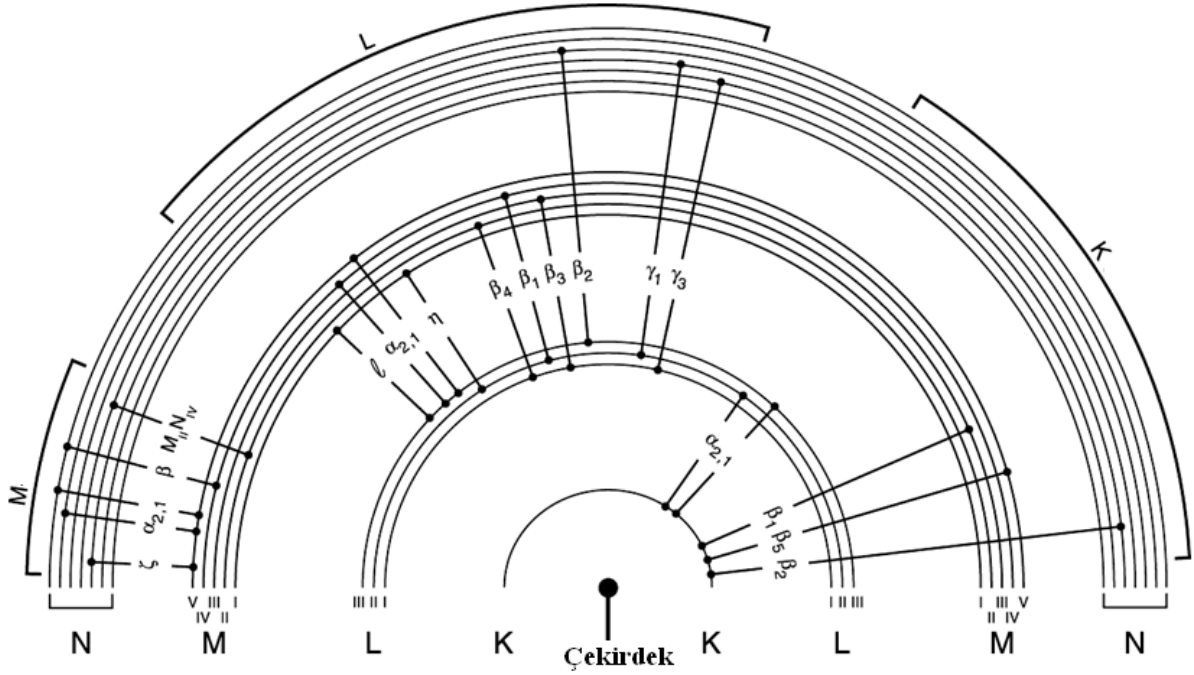
Şekil 3. Sürekli X-ışını oluşumu

1.6.2. Karakteristik X-ışınları



Şekil 4. Karakteristik X-ışını oluşumu

Klasik atom modeli; orbitallerde veya kabuklarda gruplanmış elektronlarla, pozitif yüklü protonlar ve yüksüz nötronlardan oluşmaktadır. En içteki kabuk K kabuğu olarak adlandırılır ve dışarı doğru gidildikçe sırasıyla L,M,N,O,P ve Q olmak üzere bir atom en fazla 7 kabuğa sahip olabilir. L kabuğunun LI, LII ve LIII olmak üzere 3 alt kabuğu vardır. M kabuğunun MI, MII, MIII, MIV ve MV olarak 5 alt kabuğu vardır. K kabuğu 2, L kabuğu 8 ve M kabuğu 18 elektron içerebilir. Bir elektronun enerjisi bulunduğu kabuğa ve ait olduğu elemente bağlıdır (Cengiz, 2011).



Şekil 5. Kabuklar arası X-ışınları geçişlerinin şematik gösterimi (Aksoy,2012)

Bir atomdan uyarılma sonucu iç kabuklarının herhangi birinden bir elektron sökülürse veya daha üst enerji seviyelerine çıkarılırsa atom uyarılmış olur. Uyarılan atomdan sökülen elektronun yerine 10^{-8} sn içerisinde dış kabuklardan bir elektron gelir ve bu geçiş esnasında bir foton yayımlanır. Yayımlanan bu foton ya karakteristik X-ışını olarak atomu terke eder, ya da atom kararlı hale dönmek için karakteristik X-ışını yayımlamak yerine atomdan elektron uzaklaştırmak için uyarma enerjisiyle direkt olarak dış elektronlardan birini atomdan uzaklaştırır (Apaydın, 2006).

Yayımlanan X-ışınlarının enerjisi, boşluğun bulunduğu kabuğun enerjisi ile boşluğu dolduran elektronun bulunduğu kabuğun enerji farkına bağlıdır. Her bir atom kendine özgü bir enerji seviyesine sahiptir. Bu nedenle yayımlanan radyasyon atom için ayırt edici bir özelliktir. Bir atom, bir enerjiden (veya çizgiden) daha çok enerji yayımlar, çünkü farklı boşluklar oluşturulabilir ve bu boşluklar farklı kabuklarda bulunan elektronlarla doldurulabilir. Yayımlanan çizgilerin toplamı element için karakteristiktir ve aşağı yukarı elementin parmak izidir (Cengiz, 2011).

K ve L X-ışınlarının Siegbahn ve International Union of Applied and Pure Chemistry (IUAPC) gösterimleri Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. X-ışını diyagram çizgilerinin eski (Siegbahn) ve yeni (IUPAC) gösterimleri

Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC
$K_{\alpha 1}$	K-L _{III}	$L_{\beta 17}$	L _{II} -M _{III}
$K_{\alpha 2}$	K-L _{II}	$L_{\gamma 1}$	L _{II} -N _{IV}
$K_{\beta 1}$	K-M _{III}	$L_{\gamma 2}$	L _I -N _{II}
$K_{\beta 2}'$	K-N _{III}	$L_{\gamma 3}$	L _I -N _{III}
$K_{\beta 2}''$	K-N _{II}	$L_{\gamma 4}$	L _I -O _{III}
$K_{\beta 3}$	K-M _{II}	$L_{\gamma 4}'$	L _I -O _{II}
$K_{\beta 4}'$	K-N _V	$L_{\gamma 5}$	L _{II} -N _I
$K_{\beta 4}''$	K-N _{IV}	$L_{\gamma 6}$	L _{II} -O _{IV}
$K_{\beta 5}'$	K-M _V	$L_{\gamma 8}$	L _{II} -O _I
$K_{\beta 5}''$	K-M _{IV}	$L_{\gamma 8}'$	L _{II} -O ₆
$K_{\beta 5}'''$	K-N _{III}	$L_{\gamma 13}$	L _I -P _{II}
L_1	L _{III} -M _I	$L_{\gamma 13}'$	L _I -P _{III}
$L_{\alpha 1}$	L _{III} -M _V	L_{η}	L _{II} -M _I
$L_{\alpha 2}$	L _{III} -M _{IV}	L_{λ}	L _{III} -M _I
$L_{\beta 1}$	L _{II} -M _{IV}	L_{ζ}	L _{III} -M _{III}
$L_{\beta 2}$	L _{III} -N _V	L_{ι}	L _{III} -M _{II}
$L_{\beta 3}$	L _I -M _{III}	L_{υ}	L _{II} -N _{IV}
$L_{\beta 4}$	L _I -M _{II}	L_{ν}	L _{II} -N _{V I}
$L_{\beta 5}$	L _{III} -O _{IV,V}	$M_{\alpha 1}$	M _V -N _{VII}
$L_{\beta 6}$	L _{III} -N _I	$M_{\alpha 2}$	M _V -N _{V I}
$L_{\beta 7}$	L _{III} -O _I	M_{β}	M _{IV} -N _{V I}
$L_{\beta 7}'$	L _{III} -N _{V I, VII}	M_{γ}	M _{III} -N _V
$L_{\beta 9}$	L _I -M _V	$M_{\xi 1}$	M _V -N _{III}
$L_{\beta 10}$	L _I -M _{IV}	$M_{\xi 2}$	M _{IV} -N _{II}
$L_{\beta 15}$	L _{III} -N _{V I}		

1.7. X-ışını Floresans (XRF) Tekniği

X-ışını floresans spektroskopisi (XRF) , atom numarası $Z > 4$ büyük elementlerin kalitatif ve kantitatif miktarını milyonda bir oranında hassasiyetle belirlemede kullanılan

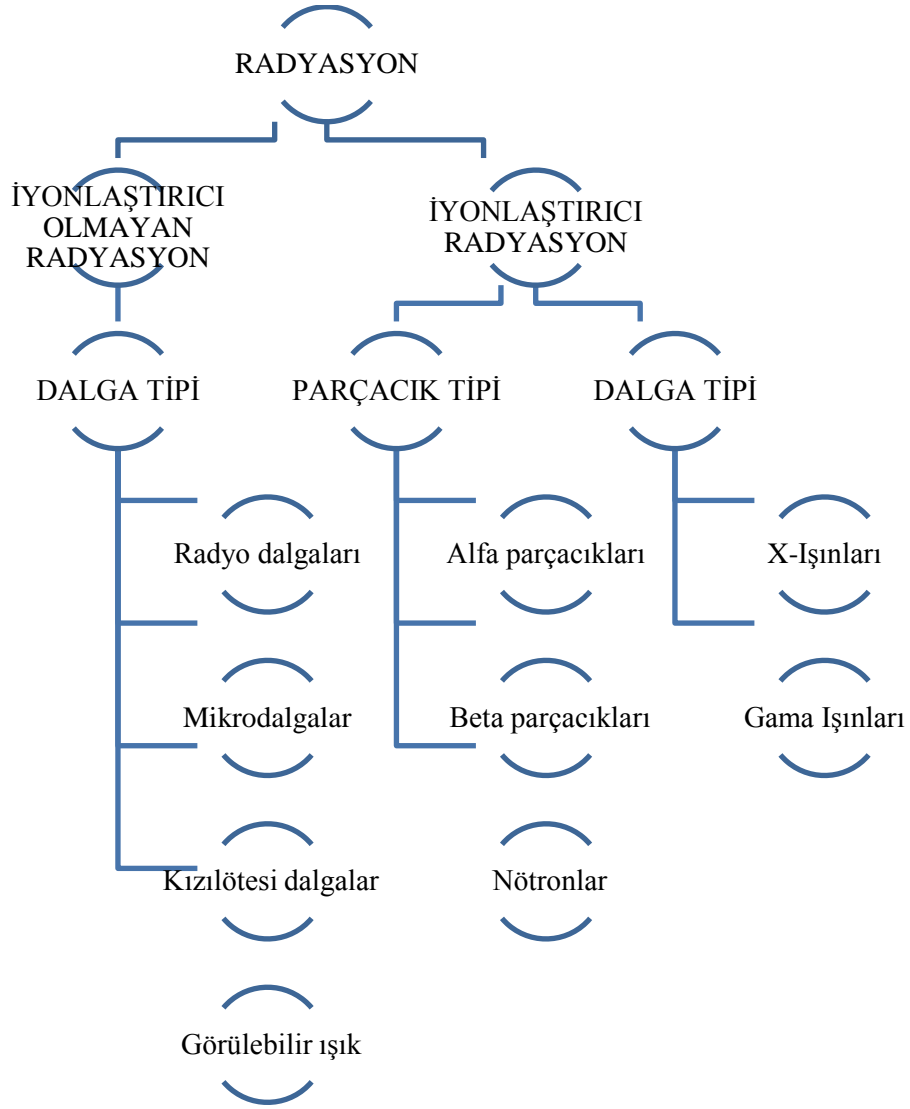
tahripsiz analitik metotlardan biridir. XRF metodunun en önemli avantajları; geniş dinamik aralık, yüksek hassasiyet ve numune hazırlamak için çok az miktarda örnek gerektirmesidir. XRF tekniği, atık mineraller, suyun çevresel analizi, madencilik, maden bilimi ve jeoloji ile birlikte gıda endüstrisi, metal, çimento, polimer ve plastiği kapsayan geniş bir uygulama alanını kapsar. XRF, ayrıca eczacılık ve araştırmaları için çok kullanışlı bir analiz yöntemi olup (Brouwer, 2003), XRF sistemi eş zamanlı elemental analiz yapabilmektedir (Manso vd., 2007). Bunun yanı sıra XRF kimi durumlarda tabakalar ve kaplamaların, kalınlık ve bileşimini tarif etmekte de kullanılabilir. XRF analizlerinin tekrarlanabilirliği ve hassasiyeti çok yüksek olup iyi standartlar kullanıldığında çok doğru sonuçlar almak mümkündür ancak uygulamalar için özel standartlar bulunmayabilir. Ölçüm zamanı, istenen doğrulukla tanımlanmış olan elementlerin numarasına bağlıdır ve ölçüm zamanı saniyelerden başlayıp 30 dakikaya kadar değişkenlik gösterebilir. Analiz zamanı ise ölçüm zamanından yalnızca birkaç saniye sonradır (Aydın, 2009). Ancak genel olarak yüksek atom numaralı elementlerin, düşük numaralı elementlerden daha iyi tespit edebilme limitlerine sahip olduğu söylenebilir.

Spektrometre sistemleri; enerji ayrımlı (EDXRF) ve dalga ayrımlı (WDXRF) sistemler olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Elementlerin analiz edilebilirliği ve onların sayılma düzeyleri temel olarak kullanılan spektrometre sistemine bağlıdır. EDXRF için element aralığı, sodyumdan uranyuma kadar uzanır. WDXRF için ise, berilyumdan uranyuma kadar uzanan daha geniş bir aralığı kapsar. Konsantrasyon aralıkları ise alt ppm seviyelerinden %100'e kadar değişir (Apaydın, 2015).

XRF tekniği ile analiz edilecek numunenin floresans verim, tesir kesiti, Coster-Kronig geçişleri, vb. temel parametreleri incelenebilir.

1.8. Radyasyon Ölçüm Sistemleri (Dedektörler)

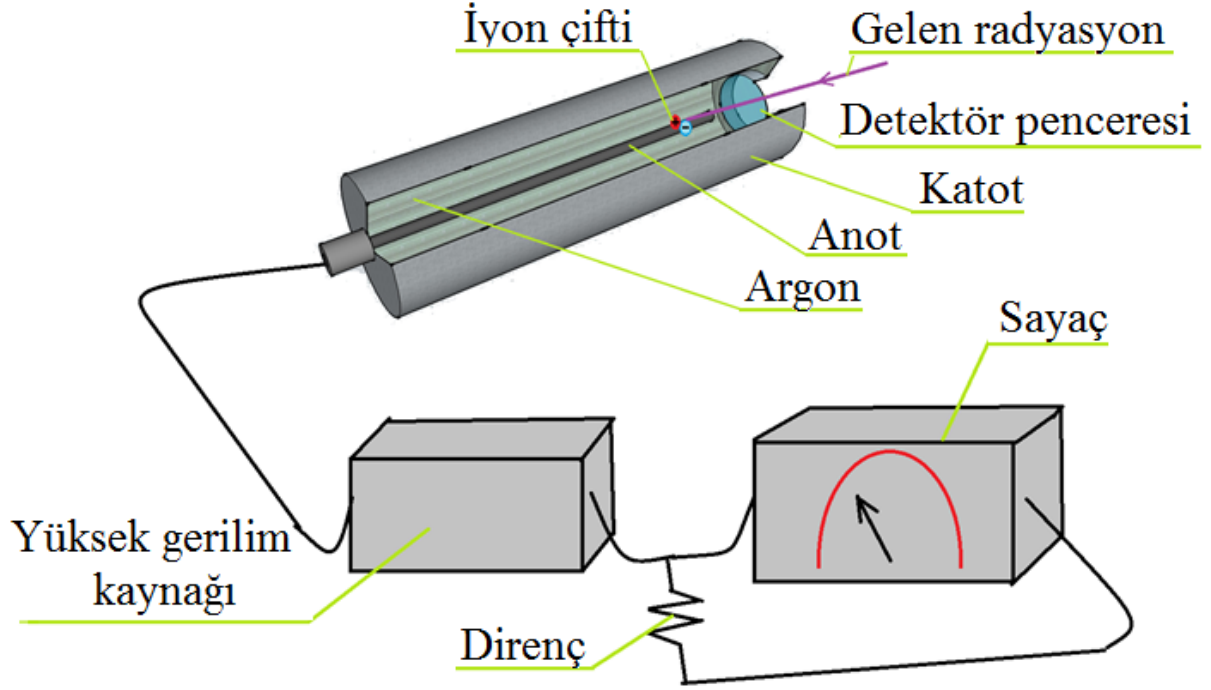
Radyasyon; parçacık, dalga veya foton şeklinde yayılan enerji paketidir.



Şekil 6. Radyasyon çeşitleri

Radyasyonun varlığının anlaşılması duyu organları ile mümkün olmadığından, algılanması ve ölçümleri radyasyona hassas cihazlar ile yapılır. Üzerine gelen radyasyonu anlamlı elektrik sinyaline çeviren cihazlara dedektör adı verilir. Radyasyonun ölçülmesinin temeli, radyasyon ile maddenin etkileşmesi esasına dayanır (URL-8). Bu işlemlerde en çok gazlar kullanılmasına rağmen, sıvı (sıvı argon) malzemeler ve hatta katı malzemelerde kullanılmaktadır (Lutz, 1999). Bu farklı hallerdeki(katı, sıvı, gaz) malzemeler kullanılarak, radyasyonun türüne uygun çeşitli radyasyon ölçüm sistemleri imal edilmiştir. Bir radyasyon çeşidi olan X-ışınlarının tespit edilmesi için gazlı dedektörler, sintilasyon dedektörleri ve yarı-iletken dedektörler geliştirilmiştir.

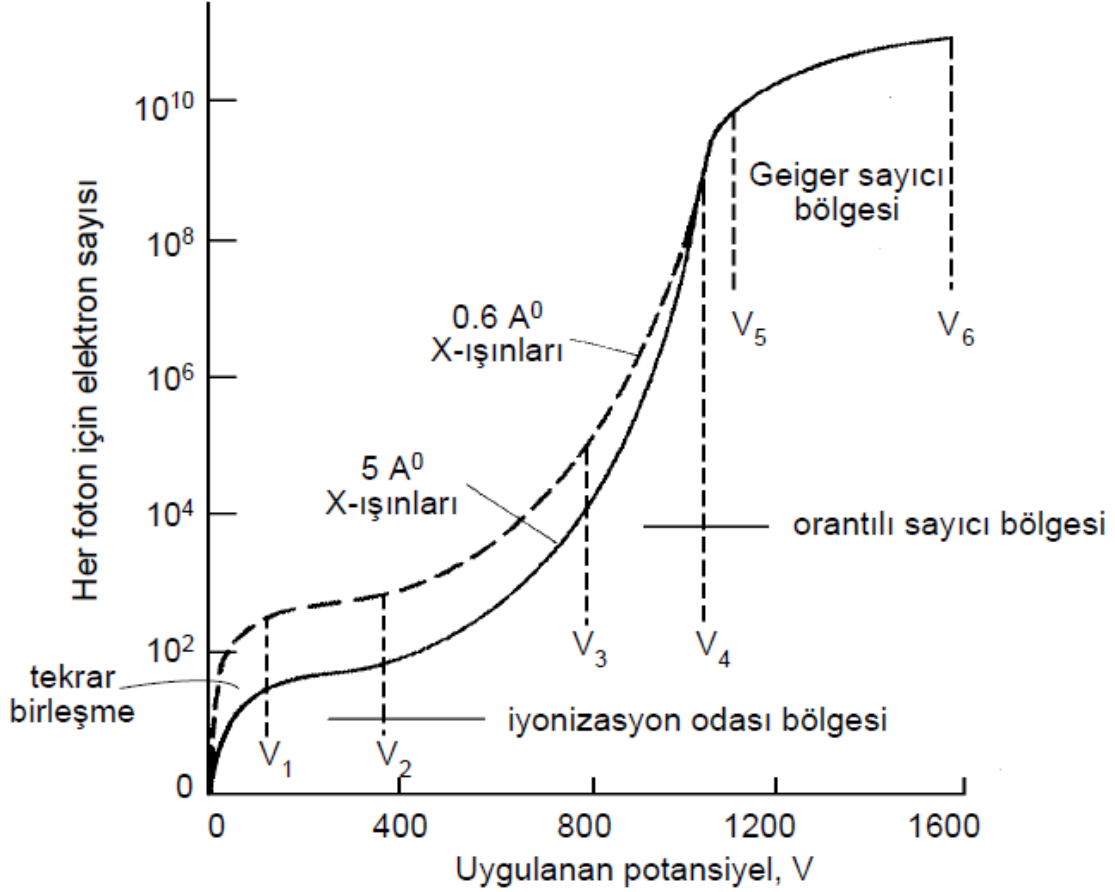
1.8.1. Gazlı Dedektörler



Şekil 7. Gazlı dedektör sisteminin diyagramı

Gazlı dedektörler, bir tüp içerisine doldurulmuş gazın radyasyonla etkileşmesi sonucunda iletkenliğindeki değişimi temel alan radyasyon sayaçlarıdır. Bu tip dedektörlerde tüpün içerisine argon, ksenon veya kripton gibi bir soygaz ile doldurulur. X-ışını tüp içerisine geçirgen bir mika, Be, Al veya Mylar pencereden girer. Bir soygazdan X-ışını geçirildiğinde her X-ışını fotonuna karşılık çok sayıda pozitif gaz iyonları ve elektronlar (iyon çiftleri) oluşur. X-ışınının her bir fotonu bir soygaz atomuyla etkileşerek soygazın en dıştaki elektronlarından birini çıkarır. Bu "fotoelektron"un kinetik enerjisi çok yüksektir ve X-ışını fotonunun enerjisi ile elektronun soygaz atomundaki bağlanma enerjisi arasındaki farka eşittir. Yüksek enerjili bu fotoelektron gazdaki atomlardan birkaç yüz tanesini iyonlaştırarak fazla enerjisini kaybeder. Uygulanan bir potansiyelle hareketli elektronlar merkezdeki anot tele geçerken, yavaşlayan katyonlar metal katoda yönlendirilirler. Yönlendirilen iyonların oluşturduğu elektriksel sinyal bilgisayar tarafından analiz edilerek spektrumun uygun enerji kanalına atanır.

Bu sistem temel alınarak "iyonizasyon odaları", "orantılı sayıcılar" ve "Geiger tüpleri" olmak üzere üç tip X-ışını dedektörü geliştirilmiştir. Bu dedektörlerin, uygulanan potansiyele göre çalışma bölgelerinin ayrımı aşağıdaki grafikte verilmiştir (URL-9).

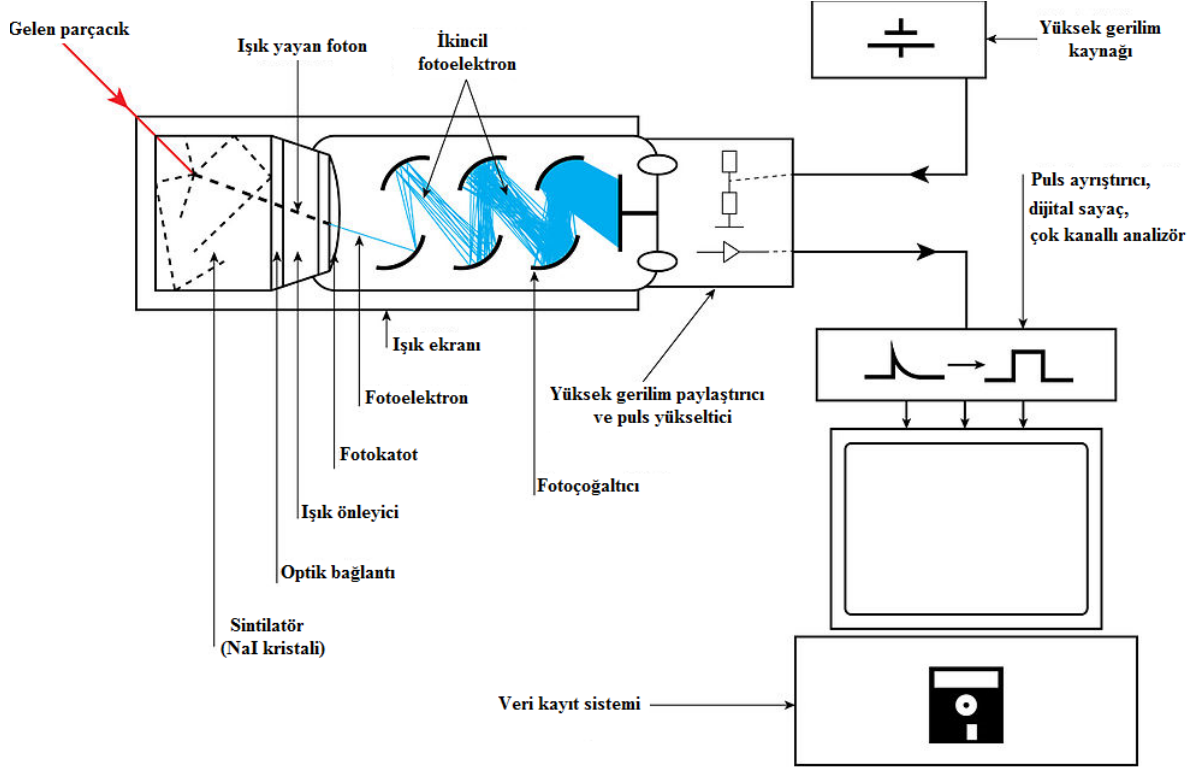


Şekil 8. Çeşitli tiplerdeki gazlı dedektörlerde gaz amplifikasyonu (URL-9)

1.8.2. Sintilasyon (Pırıldama) Dedektörleri

Işın bir fosfora çarptığında ışık yayımlanır. Bu özellik temel alınarak sintilasyon dedektörleri oluşturulmuştur. Bu yöntem radyoaktivite ve X-ışınlarını saptamada kullanılmaktadır. En çok kullanılan modern sintilasyon dedektörlerde, %1 kadar talyum ilavesiyle aktiflendirilmiş, geçirgen (şeffaf) bir sodyum iyodür (NaI) kristali bulunur. Kristal, boyutları silindir şeklinde bir parçadır; düzlem yüzeylerinden biri, bir fotoçoğaltıcı tüpün katoduna bağlıdır. Gelen ışın açıkta olan düzleminden kristal içerisine girip, kristal ile etkileşerek kristalin ışık yayımlamasını sağlar. Gelen her bir foton birkaç bin tane

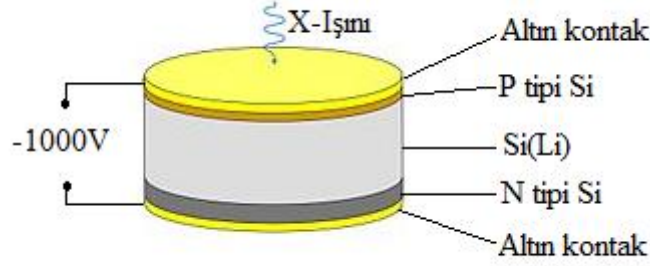
floresans foton (ışık) yayımlanmasını sağlar. Yayımlanan ışık fotonları, fotokatottan elektronlar kopartır.



Şekil 9 Sintilasyon sisteminin diyagramı (Altuner, 2013)

Bu elektronlar da fotoçoğaltıcı tüp içinde bulunan ve dinod adı verilen elektron çoğaltıcı elemanlar yardımıyla birkaç bin katına çoğaltılarak anotta toplanır ve genliği radyasyon enerjisiyle orantılı çıkış pulsları şekline dönüşür. Çıkış pulsları bilgisayar ile analiz edilerek spektrumun uygun enerji kanalına atanır (Saritaş, 2014). Günümüzde ticari ve bilimsel faaliyetlerde kullanılmak amacıyla üretilmiş NaI kristalli sintilasyon dedektörü haricinde, LiI(Eu) kristalli sintilasyon dedektörleri de kullanılmaktadır.

1.8.3. Yarı-iletken Dedektörler



Şekil 10. Si(Li) dedektörün yapısı

Karakteristik X-ışınları, hem enerjileri birbirine yakın hem de elektromanyetik spektrumun düşük enerji bölgesinde yer almaktadır. Bu yüzden bu enerji bölgesinde dedektör verimi ve ayırma gücü çok iyi olan yarıiletken dedektörler tercih edilmektedir. X-ışını şiddet ölçümlerinde en önemli gelişmelerden biri Si(Li), Ge(Li) ve HPGe gibi yüksek ayırma gücüne sahip yarıiletken katıhal dedektörlerinin yapılmasıdır (Çelik, 2006). Katıhal dedektörleri yarıiletkenlerin düşük sıcaklıklarda iyi bir yalıtkan davranışı göstermelerinden istifadeyle yapılmıştır ve genellikle sıvı azot sıcaklığında tutulurlar. Elektrotlar iyi bir iletken olan Au kaplamalar şeklindedir. Bu kaplamalar mikron kalınlığındadır. Altının iyi bir iletken olması yanında, K kabuğunu uyararak için çok yüksek enerjiye ihtiyaç vardır. Altının düşük enerjili fotonlarla uyarılamayışı sebebiyle pratikte kontaklar altından yapılmaktadır. Li sürüklenmiş bir Si(Li) dedektörün şematik gösterimi şekilde verilmiştir. Dedektör kristali girişinde sayıma katkısı olmayan bir tabaka vardır ki buna ölü tabaka denilmektedir. Dedektör kristali yapmak üzere p-tipi ve n-tipi kristaller bir kontakla bir araya getirildiğinde arada bir kontak potansiyeli oluşur. Bu potansiyelin meydana geldiği bölge, kristale bir ters besleme potansiyeli uygulanarak genişletilebilir. Sayımda hassas olan bu bölgeye deplasyon bölgesi, hassas bölge veya intrinsik bölge denilmektedir. Deplasyon bölgesinin alanı 30-100 mm²'dir. Katı hal dedektörüne foton geldiği zaman altın elektrot ve ölü tabakayı geçenler deplasyon bölgesinde + ve - iyon çiftleri oluştururlar. Aynı fotonun meydana getirdiği + ve - yükler çeşitli olaylardan sonra tekrar birleşebilirler. Bu olaya yeniden birleşme (rekombinasyon) denir. Yüksek sıcaklıklarda yarıiletken iletkenleştiğinden, elektrotlara uygulanan gerilim dolayısıyla yük geçişi olacaktır ve dedektör şoke olacaktır. Ayrıca dedektör kristalinin yalıtkanlığını ortadan

kaldırarak büyüklükteki yüksek gerilim uygulamaları da dedektörün şoke olmasına neden olur.

Bu dedektörlerin amplifikasyonu olmadığından düşük gürültülü, yüksek kazançlı ve yüke hassas amplifikatörlere ihtiyaç vardır. Bunun için alan etkili transistör (FET) kullanılmaktadır. FET toplanan yükü akım pulsuna dönüştürür. Düşük gürültü için, FET de sıvı azot sıcaklığında tutulmaktadır (Şahin, 2013).

1.8.3.1. Yarı-iletken Dedektörlerin Avantajları

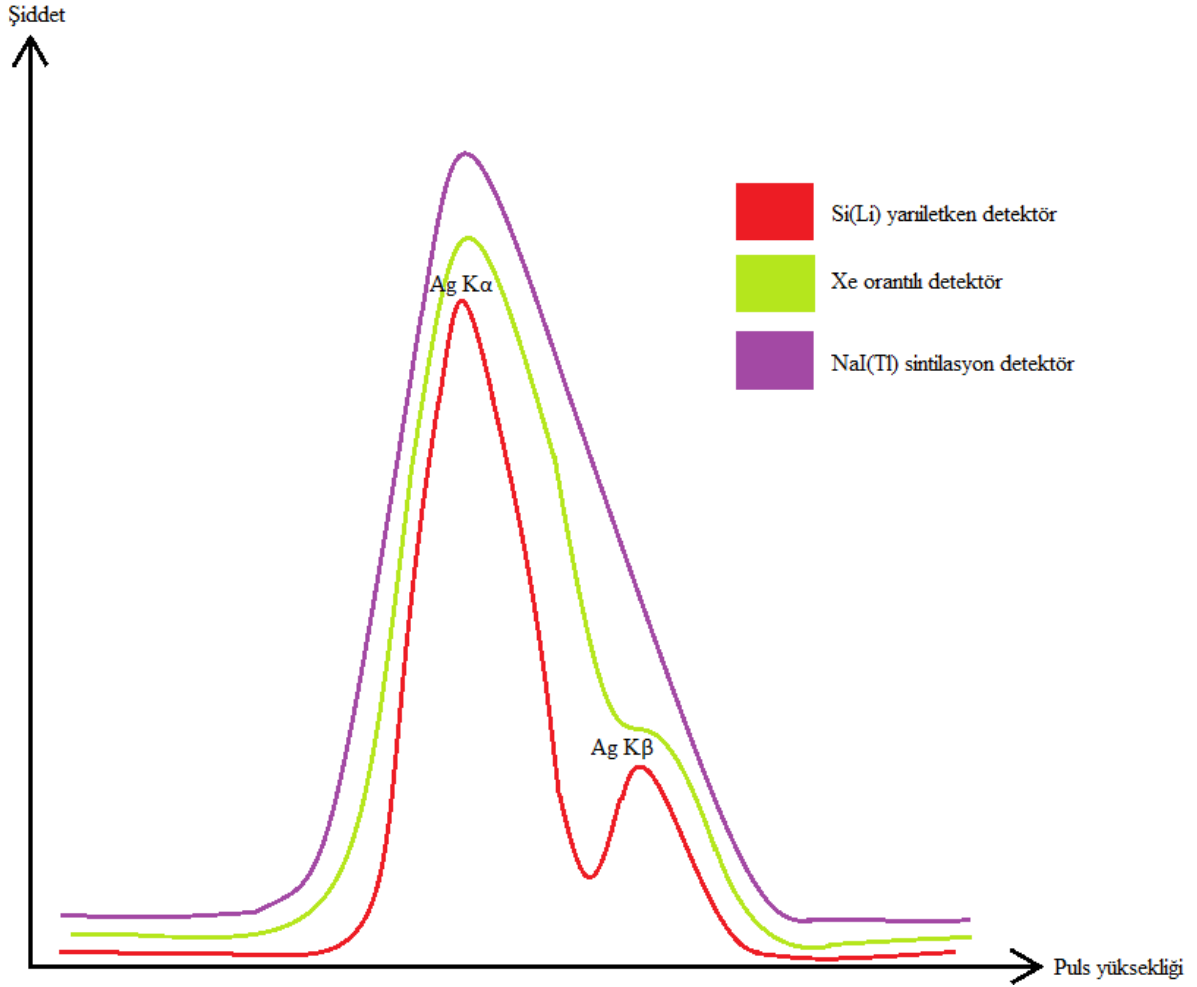
1-) Diğer dedektörlere göre enerji dönüşümü çok verimlidir: Bu dedektörlerde Si(Li) ve Ge(Li) için sırasıyla 3,8 eV ve 2,9 eV başına bir elektron-boşluk çifti meydana gelmektedir.

2-) ~10000 sayma/saniyeye kadar olan şiddetlerde puls-yükseklik kayması ve puls genişlemesi olmamaktadır.

3-) Dedektör hacminin küçük olması bakımından numunenin istenildiği kadar yakınında kullanılabilme imkânı vardır.

4-) Katı halde olduklarından, yeterli kalınlıktaki katı hal dedektörlerinin kullanıldıkları spektral bölgelerde, diğer dedektörlerinkilere kıyasla, verimleri çok fazla olmaktadır.

5-) Çok iyi rezolüsyona sahiptirler: 6-8 keV enerjili fotonlar için yarı-maksimumdaki tam genişlik (FWHM) bugün için 130 eV'a kadar düşmektedir. Dolayısıyla atom numaraları birbirine çok yakın elementlerin spektral çizgileri kolayca ayırt edilebilmektedir(Şahin, 2013).



Şekil 11. Si(Li) yarıiletken, Xe orantılı ve NaI(Tl) sintilasyon sayacılarında Ag K α ve Ag K β puls yükseklikleri (Şahin, 2013)

1.8.3.2. Yarı-iletken Dedektörlerin Dezavantajları

1-) Lityumun yüksek mobilitesinin önemli bir gürültü seviyesine neden olması ve yüksek sıcaklıklarda dedektör karakteristiklerinin değişebileceğinden sıvı azot sıcaklığına ihtiyaç duyulması,

2-) Sıvı azot sıcaklığında bile gürültü seviyesinin fazla olmasından dolayı dedektörün düşük atom numaralı elementlere uygulanabilirliğinin sınırlı olması,

3-) Dedektörün saniyede yaklaşık 20 000 sayımdan fazla şiddetler için rezolüsyonunun artan şiddetle hızla kötüleşmesi,

4-) Küçük atom numaralı elementlere rezolüsyonunun dalga boyu ayırmalı spektrometrelere göre kötü olması,

5-) İyi rezolüsyon için etkin alanın küçük olması,

6-) Düşük atom numaralı elementlerde dedektör çıplak olarak yandan pencereli olarak kullanılabilir. Ancak bu durumda kullanılan dedektör yüzey kirlenmesine karşı hassaslaşır (Şahin, 2013).

1.9. Gümüş (Ag) ve Özellikleri

Gümüş, simgesi Ag olan, beyaz, parlak, değerli bir metalik elementtir. Atom numarası 47, atom ağırlığı 107,87 gramdır. Ergime noktası 961,9 °C, kaynama noktası 1950 °C ve özgül ağırlığı da 10,5 g/cm³'tür. Gümüş, ışığı çok iyi yansıtan, dövülebilen, esnek bir metaldir. Bir gram gümüşten 2 km uzunluğunda ince tel çekilebilir. Elektrik sistemde küp ve altıgen olarak kristallenir. Atmosferde oksitlenmeye karşı büyük bir mukavemet gösterir. Bakırdan daha zor, altından ise daha kolay oksitlenir. Asitlere ve birkaç organik maddeye karşı dayanıklıdır. Fakat nitrik asit ve derişik sıcak sülfürik asitte kolayca eritilir. Ayrıca kükürt ve birçok kükürt bileşikleriyle hemen birleşir. Gümüş eşya üzerindeki kararmanın sebebi, havadaki hidrojen sülfür ve yumurta gibi bazı yiyeceklerde bulunan kükürttür. Periyodik tabloda ağır metaller grubu içinde yer alan gümüşün, çoğu özellikleri bakırın özelliklerine benzemekle beraber bakır, çoğu bileşiklerinde iki değerlikli olması ile gümüşten farklıdır (Altuner, 2013).

1.10. Bakır (Cu) ve Özellikleri

Bakır, simgesi Cu olan, atom numarası 29 ve atom ağırlığı Cu=63,546 olan elementtir. Kendine has kıvılcık bir rengi vardır. Yoğunluğu 8,96'dır. Erime noktası 1083°C ve kaynama noktası 2595°C'dir. Pek sert değildir, kolayca tel ve levha haline getirilebilir; dövülmekle, yeşil bir saydamlığı olan çok ince tabakalar verebilir. Isıyı ve elektriği en iyi ileten ikinci madendir. Gümüşe göre daha fazla bulunmasından dolayı sanayide ısı ve elektriğin iletimiyle ilgili sistemlerde gümüş yerine daha az maliyetli olan bakır tercih edilir (URL-11).

1.11. Alaşımalar

Madde boşlukta yer kaplayan ve kütle denilen bir özelliğe sahip olan herşeydir. Doğada bulunan maddeler saf maddeler ve karışımlar olarak ikiye ayrılır. Karışımlar; bileşimi ve özellikleri örneğin her yerinde aynı olan homojen karışımlar ile bileşimi ve özellikleri örneğin her yerinde farklı olan heterojen karışımlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Saf maddelere; sadece bir çeşit atomdan oluşmuşsa element, birden fazla element atomlarının birleşmesi neticesinde oluşmuşsa bileşik denir. Bilim adamları elementlerin bazı fiziksel özelliklerine göre birbirlerinden ayırt edilebildiklerini keşfetmelerinden sonra bu özelliklerdeki değişimlerin belli bir sistematiği olup olmadığını uzun yıllar araştırmışlardır. 1869 yılında, Dimitri Mendeleev ve Lothar Meyer, birbirlerinden bağımsız olarak, şu periyodik yasayı önerdiler: Elementler artan atom kütlelerine göre sıralandıklarında bazı özellikler periyodik olarak tekrarlanmaktadır. Sonraki yıllarda Niels Bohr, periyodik çizelge ile kuantum kuramı arasında ilişki kurarak tablonun sistematiğine bir başka özellik eklemiştir. Bohr'a göre çizelgenin aynı grubundaki elementler benzer elektron dağılımlarına sahiptirler. Buna göre elementlerin elektron dağılımlarına göre sınıflandırılmasıyla dört blok ortaya çıkar.

- s-bloku: En yüksek baş kuantum sayısına(n) sahip yörünge'nin s orbitali dolar. s-bloku 1A ve 2 A gruplarını kapsar.
- p-bloku: En yüksek baş kuantum sayısına(n) sahip yörünge'nin p orbitali dolar. p-bloku 3A, 4A, 5A, 6A, 7A ve 8A gruplarını kapsar.
- d-bloku: n-1 inci elektron kabuğunun (en dıştakinden bir önceki) d orbitalleri dolar. d-bloku 3B, 4B, 5B, 6B, 7B, 8B, 1B ve 2B gruplarını kapsar.
- f-bloku: n-2 inci elektron kabuğunun f orbitalleri dolar. f-bloku elementleri lantanitler ve aktinitlerdir.

Elementleri metaller ve ametaller diye iki büyük gruba ayırmak alışılmış bir sınıflama biçimidir. Metallerin özelliklerinden biri, oda sıcaklığında katı (cıva hariç) olmalarıdır. Metaller dövülebilirler ve çekilebilirler. Isıyı ve elektriği iyi iletirler ve yüzeyleri parlaktır. Ametallerin özellikleri genellikle metallerin özelliklerinin zıttıdır. Örneğin, ısı ve elektriği iyi iletmezler. Azot ve oksijen gibi birçok ametal oda sıcaklığında gazdır. Silisyum ve kükürt gibi bazı ametaller kırılğan katılardır. Ametallerden biri olan brom sıvıdır. Periyodik tablonun büyük bir kısmını metal atomlarından oluşmaktadır (Petrucci ve Harwood, 1994). Bu güne kadar bulunmuş olan elementlerin dörtte üçünden

fazlası metaldir. Periyodik tablonun basamaklı köşegen hat metallerle ametalleri birbirinden ayırır; ametaller ve ametallerin özel bir şekli olan soygazlar (8A) tablonun sağ üst bölümünde bulunurlar. Bu ayırım çok keskin olmayıp köşegen hatta komşu olan elementler metal-ametal arası özellikler gösterir (Altuner, 2013).

Yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahip, kendine özgü parlaklığı olan, şekillendirmeye yatkın, yaptığı bileşiklerinde katyon oluşturma eğilimi yüksek, oksijenle birleşerek çoğunlukla bazik oksitler veren elementlere metal denir. Metaller birbirleri ile bileşik oluşturamazlar ancak farklı yöntemler kullanılarak bir araya getirildiklerinde bir karışım türü meydana getirebilirler. İki veya daha fazla metalin herhangi bir oranda karıştırılmasıyla oluşan yeni yapıya alaşım denir. Alaşımlar, bir metalin atomları arasında diğer atomların gelişigüzel dağıldığı homojen katı çözeltiler olabilir.

Alaşımlar katı çözeltiler olarak da düşünülebilir. Böyle bir katı çözeltide, metal atomlarından biri diğerleri arasında rastgele dağılmıştır. Alaşımlar genel olarak yer değiştirmeye ve boşluklara yerleşmeye oluşmak üzere iki çeşittir. Eğer iki element erime sırasında birbirleriyle tam olarak karışabiliyorlarsa, geniş bir aralıkta katı çözelti verebilirler. Bu şekilde elde edilen karışımlara yer değiştirmeye oluşan alaşımlar denir. Alaşımda, miktarca az olan metal atomları, bu katı çözeltide çözücü olarak davranan ve miktarca fazla olan metal atomlarıyla rastgele yer değiştirir. Yani alaşımın kristal örgü noktalarında, çözücü metal atomlarının bazıları yerine çözünen metal atomları geçer. Genellikle atomlar rastgele dağılır ancak bazı özel durumlarda yer değiştirme düzenlilik gösterir. Bu tip alaşımlara süper-örgü alaşımı denir.

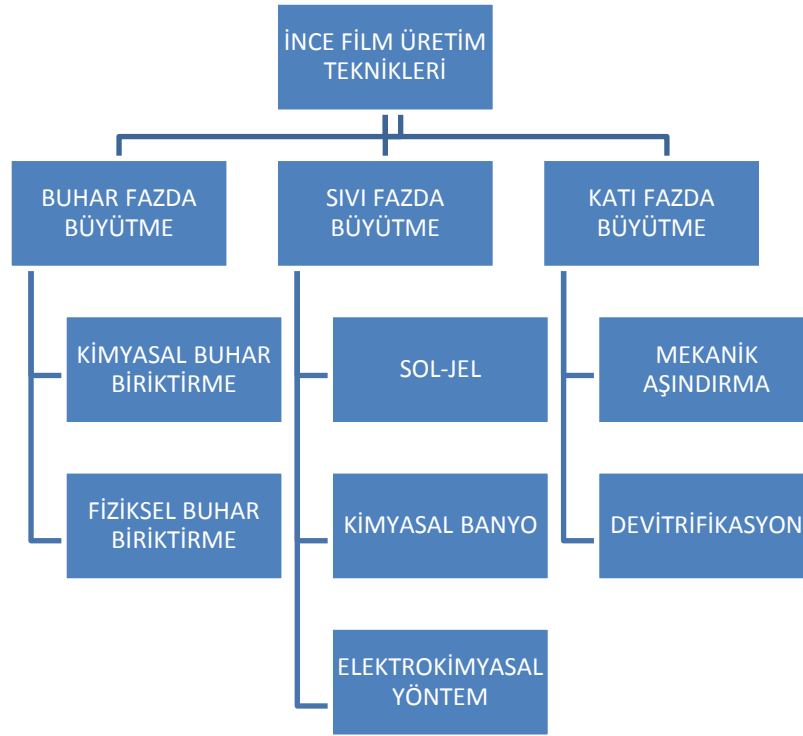
Bütün metaller yer değiştirme ile oluşan alaşımlar vermezler. Hangi metallerin bu tip alaşımlar vereceği Hume-Rothery tarafından önerilen üç kuralla belirlenir.

- Her iki metalin atomik büyüklüğü birbirine yakın olmalı ve metalik yarıçaplar arasında %15`den daha büyük fark olmamalıdır.
- Her iki metal aynı kristal yapıya sahip olmalıdır.
- Metallerin kimyasal özellikleri benzer olmalı ve özellikle değerlik elektron sayıları aynı olmalıdır.

Metal kristalleri sık istiflenmiş yapıdadır ve kristal örgünün %26 veya %32'si boşluktur. Eğer büyüklüğü bu boşlukların hacmine uygun bir element metalle karşılaşırsa, bu element, metalin yapısını değiştirmeden bu boşluklara yerleşebilir. Bu şekilde oluşmuş karışımlara boşluklara yerleşmeye oluşan alaşımlar denir (Ölmez ve Yılmaz, 2010).

1.12. İnce Filmler

Kalınlığı birkaç Angstromden ($1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}$), birkaç mikrometreye ($1\mu=10^{-6}\text{m}$) kadar olan tabakalara ince film denir. İnce film denen yapıların geçmişi insanoğlunun metallerin dövülebilme özelliğini keşfetmesine dayanmaktadır. İlk başlarda mekanik yöntemlerden yararlanılırken sonraki yıllarda başka fiziksel ve kimyasal yöntemlerden de yararlanılmıştır. İnce film üretim yöntemleri Şekil 12'deki şema ile özetlenmiştir.



Şekil 12. İnce film üretim teknikleri (URL-13)

Günümüzde;

- Elektronik sistemlerde,
- Dekoratif amaçlı,
- Kuyumculukta,
- Yüzeylerin dayanıklılığını arttırmada,
- Optik sistemlerde,

İhtiyaç duyulması halinde ince film materyallerden yararlanılmaktadır. Görüldüğü üzere ince filmler insanoğlunun hayatında birçok alanda kullanılmaktadır. Gümüş (Ag) içeren ince film alaşımlar, gümüşün görünür ve kızılötesi bölgesinde en iyi yansıtma

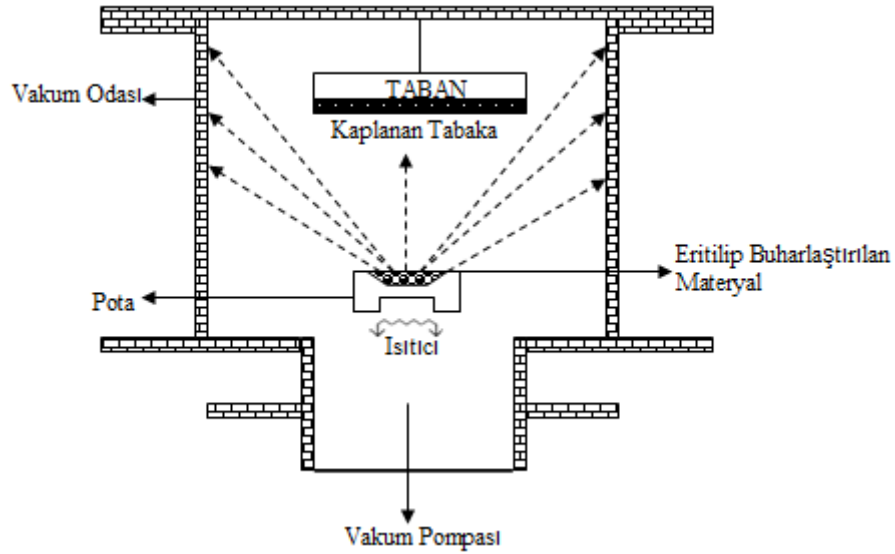
sahip metalin gümüş olmasından dolayı, ağırlıklı olarak optik sistemlerde kullanılmasının yanında Mikro-Elektro-Mekanik Sistemlerde (MEMS) de kullanılmaktadır. Teknolojide;

- Tam yansıtımlı aynalar(özellikle lazerlerde kullanılır),
- Teleskop aynalarında,
- Mikro-Elektro-Mekanik sistemlerde,

Ag-Cu ince film alaşımlardan yararlanılmaktadır (URL-5).

1.13. Fiziksel Buhar Biriktirme

Fiziksel buhar biriktirme; vakum ortamında katı veya sıvı halde bulunan malzemelerin, bir ısıtıcı (rezistans, lazer, elektron bombardımanı vb.) yardımıyla buharlaştırılarak veya sıçratarak atomlarının yüzeyden koparılması ve kaplanacak olan altlık malzemesi yüzeyine atomsal veya iyonik olarak biriktirilmesi esasına dayanmaktadır (URL-13).



Şekil 13. Fiziksel buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi (URL-13)

1.14. Alaşım Etkisini Açıklamada Kullanılan Bazı Temel Kavramlar

1.14.1. Metalik Bağ

Metalik madde içinde atomları bir arada tutan kuvvet metalik bağ olarak adlandırılır. Genel olarak metal atomların valans elektronlarının bulunduğu en dış kabuk komşu atomların valans elektronların bulunduğu kabukla örtüşür. Sonuç olarak metal atomlarının valans elektronları bir atomdan diğerine hareket eder ve belli bir atoma bağlı değildir. Bundan dolayı metalik maddelerde valans elektronları, kovalent bağlı maddelerde olduğu gibi yerleşmemiştir. Yani valans elektronları tüm kristal boyunca serbestçe dolaşabilir. Geride pozitif iyon bırakan elektronların atomları ile valans elektronları arasındaki etkileşme, bileşik ya da metalik kristali bir arada tutan bağlanma kuvvetinin oluşumuna neden olur.

Metalik bağlar iki kısımda incelenir. Birincisi valans elektronlarının metal iyonların sp kabuklarında olduğu durumdur ve bu tür bağlanma oldukça zayıftır. İkincisi ise kısmen dolu d kabuklarına ait valans elektronlarının bağlanmasıdır. Bu tür bağlanma oldukça kuvvetlidir. Metalik madde içinde bu iki tür bağ birlikte bulunsun bile d bağları daha baskın olur.

Basit metaller sp elektronları ile bağlanır. Bu metal atomlarının elektronları, doldurulmamış sp kabuklarındaki birkaç elektron hariç, dolu atomik kabuklarda bulunur. Doldurulmamış kabuklardaki elektronlar metal iyonundan ayrılmıştır ve kristal içinde serbestçe dolanır. Bu elektronlar iletim elektronlarıdır ve metallerde iletkenliğe neden olur. Elektrik alanı uygulandığında valans elektronları daima hareket etme serbestliğine sahiptir. Hareketli valans elektronlarının varlığı ve aynı zamanda metal iyonları arasındaki bağlanma kuvvetinin yöne bağlı olmayışı çoğu metalin yumuşaklık ve dövülebilme özelliklerini açıklar.

Metalik kristallerde iletim elektronları serbestçe hareket etse bile, bu elektronlar kristal içinde düzgün bir şekilde dağılmıştır. Negatif elektronlar ile pozitif iyonlar arasındaki kuvvetli çekim ve elektronlar arasındaki güçlü itme kuvveti metalik madde içindeki herhangi bir yük dengesizliğini önler. Elektronların karşılıklı etkileşimi elektron hareketinin birbiriyle ilişkili olduğu anlamına gelir ve her bir elektronun hareketi komşu elektronların konumlarına bağlıdır. Elektronlar arasındaki bu karşılıklı ilişki, kristal içindeki her bir birim hücrenin sahip olduğu ortalama elektron sayısının katyonun pozitif

yükünü karşılamasını sağlar ve bu yüzden metalik kristalin birim hücresi elektriksel olarak nötrdür.

Birleşme enerjisi kristal durumda bulunan atomların düzenlenmesiyle elde edilen enerjidir. Yalıtkanlar ve yarıiletkenler büyük birleşme enerjisine sahiptir ve bu katıların atomları güçlü bir şekilde birbirlerine bağlıdırlar ve sert katıları oluştururlar. sp bağlarında elektronu bulunan metaller çok küçük birleşme enerjisine sahiptir. Bağlanmanın bu çeşidi oldukça zayıftır ve kristalleri bir araya çok zor getirilir. Sodyum gibi basit metallerin tek kristalleri mekanik olarak zayıftır.

Metalik bağlanmanın farklı bir türü, doldurulmamış d kabuklarına sahip atomlardan oluşan geçiş metallerinde bulunur. d orbitalleri bir iyonun sp orbitallerine kıyasla daha sıkı bağlıdır ve d kabuklarındaki elektronlar iyonun uzaklaşmaz. d orbitalleri komşu atomların d orbitalleriyle bir kovalent bağ oluşturur. Geçiş metallerinde d elektronları ile oluşan kovalent bağlar basit metallerin sp elektronları ile yapılan zayıf bağlardan daha kuvvetlidir ve birleşme enerjisi daha büyüktür. Kristal düzenlenimler geçiş metallerinin davranışında önemlidir ve sıkı paket fcc, bcc ve hcp düzenlenimlerinde meydana gelirler.

Metalik bağlar polar değildir çünkü element halinde bulunan saf metallerde ve hatta alaşımlarda bile bağ etkileşmesine katılan atomlar arasında elektronegativite farkı yoktur veya bu fark çok küçüktür (URL-14, 2008).

Metalik bağın kuvveti metalik iyonun büyüklüğüne ve valans elektronlarının sayısına bağlıdır. İyon boyutu ne kadar küçükse metal bağı o kadar kuvvetlidir. Bu durum, iyon ne kadar küçük olursa elektron denizindeki elektronların iyonları daha iyi bir arada tutabilmelerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca elektron denizindeki valans elektronları ne kadar fazla olursa metal bağı o kadar güçlü olur (URL-15, 2008).

1.14.2. Hibritleşme

Bir ve birden fazla merkez atomu bulunan moleküllerdeki bağ yapısını daha iyi tanımlamak için kullanılan kavramdır. Kimyasal bağı oluşturan atom orbitallerinin birbiri ile karışarak bağ oluşumuna uygun simetride melez orbitaller oluşturduğu düşünülür. Bu şekilde atom orbitallerinin birleşimi ile amaca uygun orbitallerin oluşumuna hibritleşme ve oluşturulan melez orbitallere de hibrit orbitalleri adı verilir. Hibrit orbitallerinin sayısı kendilerini oluşturan atom orbitallerinin sayısına eşittir. Atom orbitallerinin hibritleşebilmesi için hibritleşmeye katılan orbitallerin enerjilerinin birbirine yakın olması

gerekir. Bu yüzden genel olarak baş kuantum sayıları aynı olan orbitaller hibritleşir. Ama bazı durumlarda baş kuantum sayısı farklı olan orbitaller de hibritleşmeye katılır. Bu duruma örnek olarak $(n-1)d$ ile ns orbitallerinin hibritleşmesi verilebilir çünkü bu orbitallerin enerjileri birbirine yakındır (Tunalı ve Özkar, 2005).

1.14.3. Perdeleme Etkisi

Perdeleme etkisi çok elektronlu atomlarda, atomun çekirdeği ile bir elektronu arasındaki çekimi tarif etmek için kullanılan bir terimdir. Hidrojen gibi tek elektronlu sistemlerde elektrona etkiyen net kuvvet tam olarak çekirdeğin elektriksel çekim kuvvetine eşittir. Fakat çok sayıda elektron atomik sistemlere eklendiğinde n kabuğundaki her bir elektron hem çekirdeğin hem de iç kabukta bulunan diğer elektronların itme kuvvetlerini hisseder. Bu durum dış kabuk üzerindeki net kuvvetin çok az olmasına yol açar ve bu tür elektronlar çekirdeğe çok sıkı bağlı değildirler. Perdeleme teorisi aynı zamanda valans kabuğuna ait elektronların atomdan kolaylıkla koparılabilme nedenini açıklamaktadır.

Kuantum mekanişel etkilerden dolayı perdeleme etkisinin boyutunu kesin olarak hesaplamak oldukça zordur çünkü elektronun çekirdeğe göre konumu söz konusu olduğunda elektronun belirtilen konumda bulunma olasılığı bilinmelidir. Etkin çekirdek yükünün gerçek değeri elektronun çekirdeğe göre konumundan ve aynı zamanda elektron-elektron itmesinden dolayı dalgalanma halindedir (URL-16, 2008).

1.14.4. Kovalent Karakterli Metal Bağları

Geçiş metalleriindeki metalik bağlar doldurulmamış d kabuklarındaki elektronlarla karakterize edilir. d hibrit orbitalleri sp hibrit orbitallerinden daha sıkı bağlıdır ve d orbitallerindeki elektronlar iyondan uzaklaşmaz. d orbitalleri komşu atomların d orbitalleri ile bir kovalent bağ oluşturur. Metal atomları valans elektronlarını ne komşu atomlarla paylaşır ne de iyon oluşturmak için elektron kaybeder. Bunun yerine metalin dış enerji seviyeleri örtüşür ve bu yüzden metalik bağlar kovalent bağlara benzerlik gösterir.

1.14.5. Elektronegatiflik

Atomların buldukları kimyasal yapı içerisinde elektronları kendine doğru çekme yeteneği elektronegatiflik olarak bilinir. Başka bir deyişle bir atomun elektronları çekme gücü elektronegatiflik kavramı ile belirlenir. Buna dayanarak elektronegatiflik, bir atomun yalnız başına bulunduğu halden ziyade herhangi bir kimyasal bağ içerisinde ki varlığının daha belirgin olduğu söylenebilir. Bir atomun elektron kazanma eğilimi büyükse, çok elektronegatif olduğu söylenir. Elektron kaybetme eğilimi varsa elektropozitif olduğu söylenir (Tunalı ve Özkar, 2009). Kimyasal elementlere ait elektronegatiflik değerlerinin yaygın olarak kullanılan ölçüsü Linus Pauling tarafından belirlenmiştir ve elementleri azalan elektronegatif değerlerine göre tablo haline getirmiştir. Elde edilen tablodan flor elementinin en fazla sezyumun ise en az elektronegatif değerine sahip olduğu görülür. Elektronegatiflik ölçeği atomların farklı kombinasyonları arasındaki bağların enerjilerinin kıyaslanmasıyla belirlenir.

Elektronegatiflik değerleri birbirinden oldukça farklı olan elementler iyonik bileşikleri oluştururlar. Alaşımları oluşturan elementler arasında iyonik bileşiklerdeki kadar belirgin miktarda olmasa da elektronegativite değerlerinde farklılıklar vardır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Foton Dedektörlerinin Genel Karakteristikleri

Foton dedektörlerinin ölçüm sırasındaki çalışma aşamaları birbirine benzemektedir. X-ışını floresans spektroskopisinde kullanılan dedektörlerin çoğu (gaz dedektörleri, NaI(Tl) sintilatörleri, Ge(Li), HpGe, Ultra-LEGe ve Si(Li) yarıiletken dedektörleri) aynı zamanda elektronları ve ağır yüklü parçacıkları saymakta da kullanılır. Bu dedektörlerin çalışması

- a) Fotoelektrik soğurma, Compton saçılması veya çift oluşumu olaylarıyla foton enerjisinin, elektronların ve pozitronların kinetik enerjisine dönüşümü.
- b) Elektronlarla uyarma sonucunda, uyarılmış moleküler seviyelerin, elektron-delik çiftlerinin veya elektron-iyon çiftlerinin oluşumu.
- c) Moleküler seviyelerin yeniden uyarılma ile yayımlanan fotonların veya yük taşıyıcılarının ölçümü ve toplanması.

alanlarını içerir.

Bir kaynaktan yayımlanan bir foton spektrumu genellikle her biri tek enerjili olan foton grupları tarafından oluşturulur. Bir dedektör bu tür bir çizgi spektrumunu çizgi ve sürekli spektrumun bir bileşenine dönüştürecektir. Çizgi spektrumları gözlenebildiği sürece, bu çizgi spektrumları fotonların gerçek şiddetlerini ve enerjilerini belirlemede kullanılabilir. Ancak tek enerjili foton gurubu için pik üretmede dedektörün kabiliyeti pik genişliği ve pik verimi ile karakterize edilir. Genişlik genellikle keV biriminde FWHM (yarı maksimumdaki tam genişlik) olarak tanımlanır ve aynı zamanda rezolüsyon (ayırma gücü) olarak da adlandırılır. Dedektörün pik verimi, tüm foton enerjisi soğurulduğunda uygun pikteki (tam enerji piki) sayıların sayısının, o enerjide kaynaktan yayımlanan fotonları sayısına oranıdır. Hem pik genişliği ve hem de pik verimi foton enerjisinin bir fonksiyonudur.

Fotoelektrik soğurma, Compton saçılması veya çift oluşumu olaylarıyla foton enerjisinin, elektronların ve pozitronların kinetik enerjisine dönüşümünde, dedektör materyalinin yoğunluğu, atom numarası ve hacmi önemlidir. Eğer materyal düşük yoğunluk, düşük atom numarası ve küçük hacimdeyse, dedektöre gelen fotonun etkileşme ihtimaliyeti düşük olacak ve şayet dedektörle gelen foton arasında bir etkileşme olursa

fotonun tüm enerjisinin dedektörde soğurulma ihtimaliyeti de düşük olacaktır. Bu yüzden bir çizgi spektrumunu ölçmek için böyle bir dedektörün kullanımı düşük enerjili fotonlarla sınırlandırılabilir. Yüksek enerjili fotonlar için tek enerjili çizgi spektrumları gözlenmeyebilir. Bunun yerine sadece sürekli bir spektrum gözlenir. Bundan dolayı, böyle bir dedektör gelen fotonları saymak için kullanışlı olabilir ancak bir enerji spektrumunun değerini ölçmede sınırlı kalacaktır.

2.2. Yarıiletken Dedektörler

Yarıiletken dedektörler esasen iyonizasyon odaları gibi çalışan katı hal cihazlardır. Bu tür dedektörlerde yük taşıyıcıları, gaz dedektörlerinde olduğu gibi elektronlar ve iyonlar değil, elektronlar ve deliklerdir. Yarıiletken dedektörler gaz dedektörlerine kıyasla bazı avantajlara sahiptirler fakat bu dedektörlerin kristalleri NaI(Tl) dedektörlerinkinden daha düşük atom numarasına sahiptirler ve boyut bakımından daha da küçüktürler. Bu sebeple, fotoelektrik soğurma, Compton saçılması veya çift oluşumu olaylarıyla foton enerjisinin, elektronların ve pozitronların kinetik enerjisine dönüşümü işlemine göre bu dedektörler, NaI(Tl) dedektörlerine göre bazı dezavantajlara sahiptirler. Si ve Ge yarıiletken dedektörleri kendi aralarında karşılaştırılırsa germanyumun hem atom numarası hem de yoğunluğu silisyumun atom numarası ve yoğunluğundan daha büyük olduğu için daha fazla avantaja sahiptir.

Işıktan ziyade yükün topladığı bu dedektörler için en önemli nicelik kaç tane elektron-delik çifti veya yük taşıyıcısının oluşacağıdır. Bu işlemde istatistiksel değişimler meydana gelebilir ve oluşan elektron-delik çiftlerinin sayısı ne kadar büyükse bu değişim o kadar sabit kalacaktır. Yani tek enerjili radyasyondan gelen çizgi spektrumlarının genişliği daha dar olacaktır.

Gazlı sayıcılar ile yarıiletken dedektörler arasındaki en büyük fark, bir yük taşıyıcı çifti oluşturmak için gerekli ortalama enerjidir. Bu enerji gazlı dedektörler için yaklaşık 30 eV, yarıiletken dedektörler için ise yaklaşık 3 eV'tur. Bu değerlerden yarıiletken kristallerden oluşan dedektörlerde çok daha az istatistiksel genişlemeyle piklere sahip olacağı söylenebilir (Debertin ve Helmer, 1988).

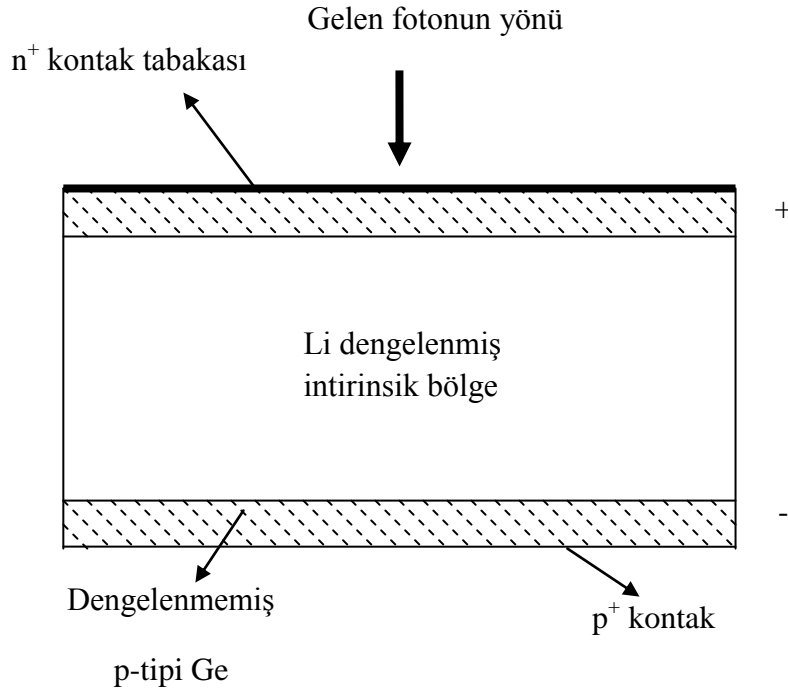
2.3. Yarıiletken Dedektörlerin Fiziksel Özellikleri

Silisyum ve germanyum gibi yarıiletken malzemelerin bir tek kristalinde tanımlanan atomik elektron durumları, bütün olarak kristalin karakteristiği olan enerji bantlarına genişletilebilir. Herhangi bir uyarı yokken, en dış yörüngede bulunan elektronlar valans bandı olarak adlandırılan bir enerji bandında bulunurlar. Sonraki yüksek durum, yasak enerji aralığı olarak bilinen bir enerjiyle valans bandından ayrılan iletim bandına bağlıdır. Eğer safsızlıklar mevcut değilse, yasak enerji aralığı izin verilmeyen durumları içermez. Bir elektron, en az yasak bant aralığınıninkine eşit olan bir enerjinin ona verilmesiyle, valans bandından iletim bandına geçebilir. İletim bandındaki elektron, uygulanan dış elektrik alanın etkisi altında hareket etmek için serbesttir ve bir elektrotta toplanabilir. Elektronun uyarılması sonucunda oluşturulan boşluk veya delik, elektronun yönüne zıt olan bir elektrik alanın yardımıyla hareket eder. Elektronların ve deliklerin hareket mekanizmaları farklı olduğu için, kristalin içinde hareket eden iki yükün hızı yani mobiliteleri farklı olacaktır.

Bir foton kristalle etkileştiği zaman valans bandında bulunan elektronlar gelen fotonlarla etkileşerek iletim bandına uyarılırlar. Bu birincil elektronlar, eğer yeterince enerjik ise, ilave ikincil elektronlar oluşabilir. Bu ardışık işlemler boyunca birincil elektron enerjisi, aygıtın elektrotlarında toplanmak için serbest olan birçok elektron-delik çifti üretiminde tüketilir. Bu yükü toplamak için yaklaşık 1000 V/cm'lik bir elektrik alan gereklidir. Her bir dedektör için farklı bir besleme voltajı olabilir. Bu voltaj, bir voltaj düşmesi ihtimalini minimum yapmak için yeterince küçük, iyi bir yük toplanmasını ve dolayısıyla iyi bir pik şekillenimi sağlamak için yeterince büyük seçilir.

Pratikte yarıiletken kristal malzeme, kusursuz yani tamamen saf olmadığından foton dedektörlerinin işleme daha karışıktır. Üç değerlik elektronu bulunan bor, alüminyum, galyum ve indiyum gibi elementlerin safsızlık etkisi, kristal yapının içine serbest deliklerin girmesidir. Bu tür safsızlıklar elektronları alabildiğinden akseptör (alıcı) safsızlıkları olarak adlandırılır. Aynı şekilde fosfor, arsenik, antimon gibi beş değerlikli elektronlara sahip safsızlıklar serbest elektronları yapıya sokar. Bunlar ise elektron verebildiğinden donör (verici) safsızlığı olarak adlandırılır. Böyle bir kristale uygulanan elektrik alanı, bu deliklerin veya elektronların varlığına dayanan bir elektrik akımıyla sonuçlanır. Bu akımdaki istatistiksel değişimler, foton etkileşmeleri için pulsların dedekte edilebildiği seviyenin altında bir gürültü seviyesine neden olur. Yarıiletken dedektörler ilk üretildiği

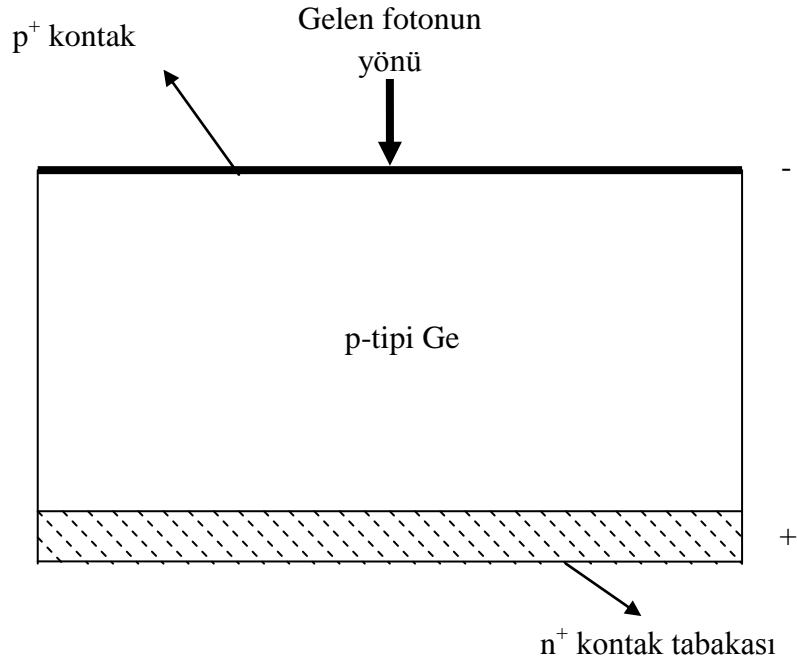
zamanlarda, akseptör safsızlıklarından kaynaklanan gürültü seviyesi herhangi bir fotondan meydana gelen pulsların görülmesini tamamen engelleyebilirdi. Bu kararlı durum akımını kabul edilebilir bir seviyeye indirmek için kristalin içinde serbest yük taşıyıcılarından yoksun bir intrinsik bölge oluşturmak gerekiyordu. Bu germanyum materyaline lityum iyonlarının sürüklenmesiyle yapıldı. Lityum, p-tipi kristalin üst yüzeyine bırakıldı ve germanyum kristalinin hacminin tamamına sürüklendi. Arayer donör safsızlığı olan lityum, bir intrinsik bölge oluşturmasıyla akseptör safsızlıklarını dengeler. Bu Ge(Li) dedektörü olarak adlandırılır. Bu tür bir düzlem dedektörün yapısı Şekil 14’da gösterilmektedir. Üst yüzeyde bulunan fazla lityum bir elektrik kontağı gibi görev yapan n^+ tabaka ile sonuçlanır ve karşı yüzeyde dengelenmemiş ince bir tabaka kalır. Böyle bir dedektörde lityum oda sıcaklığında sürüklenmeye devam edecektir. Dedektörün bu özelliğinden dolayı, nakliye süreci de dâhil olmak üzere, daima soğuk (genellikle sıvı azot sıcaklığı) saklanmalıdır.



Şekil 14. Düzlem Ge(Li) dedektör

Yeterince saf olan germanyum metali için intrinsik bölge doğrudan oluşturulabilir. Bu yapı p-tipi germanyumun bir yüzeyine lityum buharlaştırılmasıyla elde edilir ve kısa bir

zaman için germanyumun içine difüz edilmesine izin verilir. Bu n^+ -p kavşağına uygulanan bir ters besleme, bir intrinsik bölge oluşturmak için her iki yüzeydeki kavşaktan çoğunluk taşıyıcılarını iter. Serbest taşıyıcıların gerileme işlemi, yüklü atomlar tarafından indüklenen elektrostatik alanın uygulanan dış elektrik potansiyelden kaynaklanan alanı dengeleyene kadar kavşağın her iki tarafında da devam eder. Elektron-delik çiftinin oluşturduğu bölgenin kalınlığı uygulanan alan ve materyaldeki safsızlık konsantrasyonu ile ilgilidir. Şekil 15'de gösterilen bu dedektör, intrinsik veya yüksek saflıkta Ge dedektörü olarak adlandırılır ve bu dedektörler Ge(Li) dedektörünün aksine oda sıcaklığında saklanabilir.



Şekil 1. Düzlem p-tipi yüksek saflıkta Ge dedektör.

Foton etkileşmeleriyle iletim bandına uyarılan elektronlara ilave olarak, burada termal olarak uyarılan elektronlar da vardır. Uyarmanın bu şekli istatistiksel gürültü (temel sayma) meydana getirir. Bu gürültüyü azaltmak için yarıiletken foton dedektörleri düşük sıcaklarda çalıştırılmalıdır. Bu işlemin mümkün olduğu en yüksek sıcaklık, kristal safsızlıklarının ve kusurlarının çokluğu ve tipine bağlıdır ve pratik işlem sıcaklığı sıvı azot sıcaklığıdır (Debertin ve Helmer, 1988).

2.4. Rezolüsyon (Ayırma Gücü)

Yük oluşma işleminin istatistiği, her bir dedektörün kendisine ait özellikleri ve buna ek olarak yük toplama işleminin tamamlanabilirliği, elektronik gürültü gibi faktörler dedektörün ayırma gücünü veya pik genişliğini (FWHM) etkiler. Pik genişliğine yük oluşma işleminin istatistiğinden olan katkı her bir dedektör materyaline özgüdür. Tek kristal germanyumda bant genişliği 77 K'de 0,67 eV'tur. Ge kristalinde serbest elektron-delik çifti oluşturmak için $e=2,96$ eV'luk bir ortalama enerji gerekmektedir. Bu Si için $e=3,76$ eV'tur. Ekstra enerji örgü fononlarının oluşumunda harcanır. Çiftlerin ortalama sayısı $N=E_\gamma/e$ olsa da, farklı uyarma tipleri arasındaki foton enerjisinin bölünmesi, çiftlerin sayısında istatistik dağılıma neden olur. Böylece pulsların genliklerinin istatistiksel bir dağılımı dedektör hacminde tamamen soğurulan tek enerjili foton grupları tarafından üretilir. Eğer her bir çift bağımsız olarak oluşturulursa, Poisson istatistiği uygulanabilir ve N'nin dağılımının standart sapması $N^{1/2}$ olur. Buna karşın elektron-delik çiftlerinin oluşum istatistiği Poisson değildir. Fano tarafından sunulan teoriye göre çiftlerin sayısında gözlenen ortalama karekök sapma $(F.N)^{1/2}$ olarak tanımlanır. Burada F fano faktörüdür. Bu ifadeden gözlenen pik genişliğine katkı aşağıdaki gibi olur.

$$w_i=2,355(F \cdot E_\gamma \cdot e)^{1/2} \quad (1)$$

Fano faktörü her bir dedektör materyali için ölçülmelidir ve bu faktör materyalin kendine has özelliğidir. Germanyum ve silisyum için Fano faktörü sırasıyla 0,06 ve 0,08'dir. Yarıiletken dedektörlerde iyi bir rezolüsyon elde etmek için F'nin değerinin 1'den küçük olması gerekmektedir. Pik genişliğine bu katkı $E_\gamma^{1/2}$ ile artar. Pik genişliğine bir sonraki katkı birincil olarak yük taşıyıcılarının kaybına bağlıdır ve her bir dedektörün karakteristiğidir. Serbest elektronlar ve deliklerin eksik toplanmasından sorumlu olan en önemli işlem yük tuzaklanmasıdır. Bir yük taşıyıcı, safsızlıklar ve kristal kusurlarıyla enerji aralığına giren durumların birine yakalandığında tuzaklanma meydana gelir ve ayrıca uyarma tuzaklanmış yükün serbest kalması için gereklidir ve böylece yükün toplanmasına izin verir. Bir yük taşıyıcısının tuzaklanması, tuzak durumun enerjisinin, kristal ve standart soğutma metodunun karakteristiği ile sabittir. Elektrik alan ise besleme voltajı ile ilgilidir ve besleme voltajı ayarlanabilir bir büyüklüktür. Artan voltaj yük toplanmayı iyileştirdiğinden, dedektör normal olarak maksimum voltaj yakınlarına

ayarlanabilir. Yük taşıyıcılarının her bir tipinin yakalanabildiği, hem akseptör hem de donör tuzakları kristalin içinde mevcuttur.

Toplam pik genişliğinin karesi

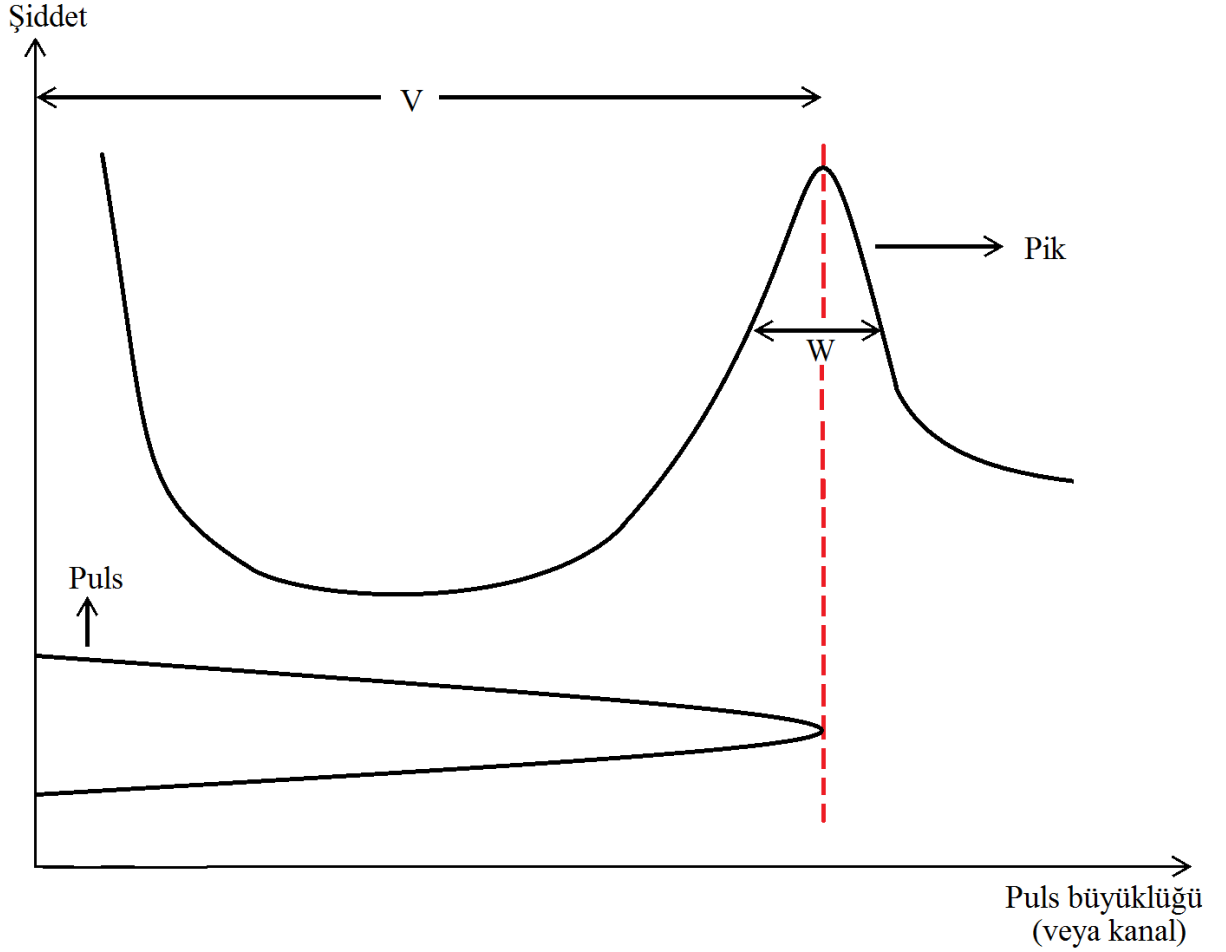
$$w^2 = w_i^2 + w_x^2 + w_e^2 \quad (2)$$

ile verilir. Burada w_i her bir dedektör materyaline özgü olan ve yk oluşma istatistiğinden gelen katkıdır. w_x tuzaklanma gibi dedektör etkilerinden gelen katkıdır. w_e elektronik devrelerden gelen katkıdır. Bu  terimin her biri Gaussian dağılıma sahiptir.

Dedektörün rezolüsyonu R,

$$R = \frac{W}{V} \quad (3)$$

şeklinde verilir. Bu bağıntıda W yarı maksimumdaki puls genişliği ve V ise ortalama genişliktir.



Şekil 16. Puls ve pik (Şahin, 2013)

Pikin yarı maksimumdaki tam genişliği ise;

$$FWHM=W \times E \quad (4)$$

şeklinde verilmektedir. Rezolüsyonu en iyi olan dedektörler yarı iletken dedektörlerdir. Yarı iletken dedektörlerde en çok Si ve Ge dedektörleri kullanılmaktadır.

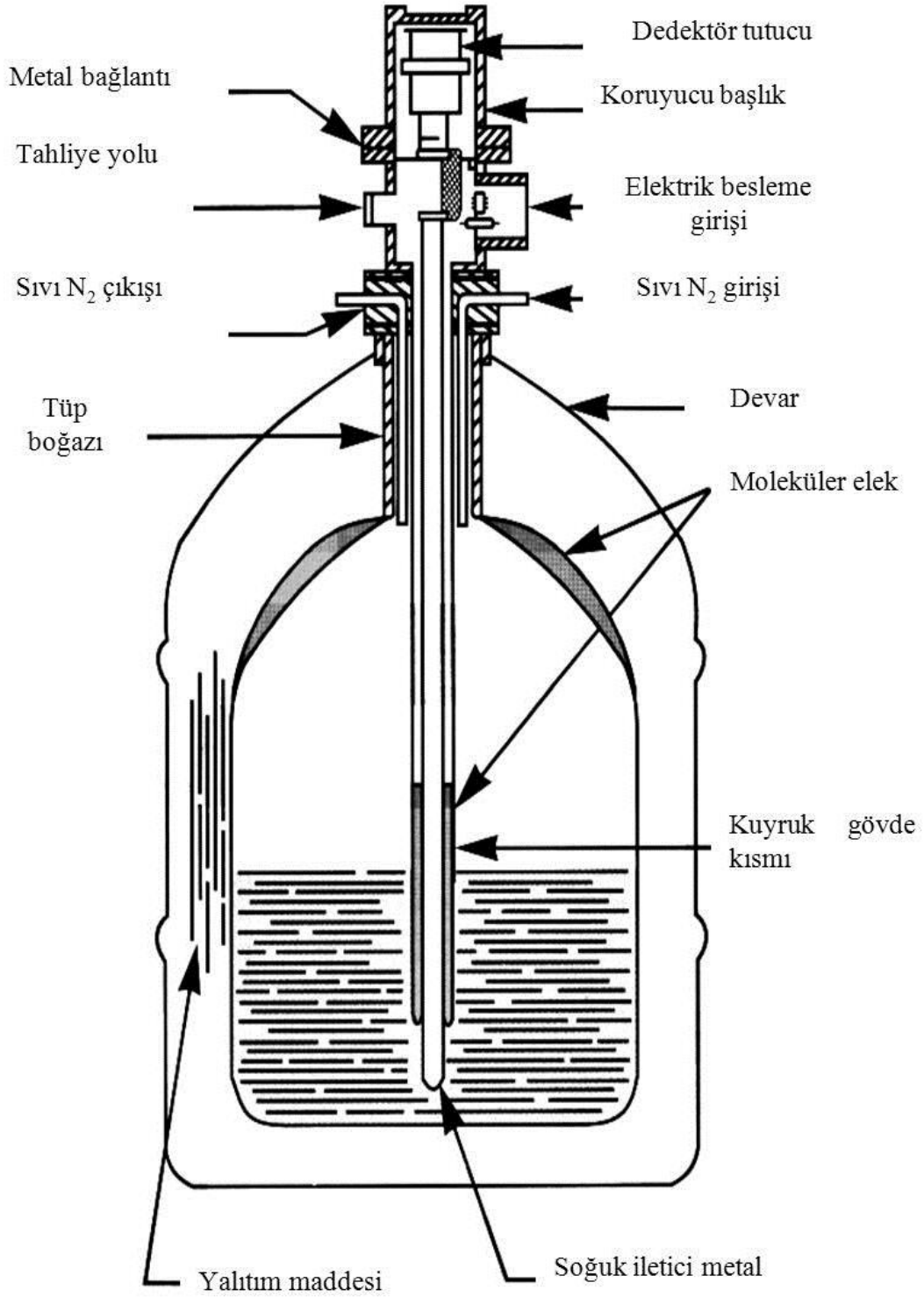
Yapılan bu çalışmada, karakteristik x-ışınlarının şiddetleri ölçülmüştür. İncelenen element ve bileşiklerine ait spektrumlar Ultra-LEGe dedektörü ve buna bağlı elektronik sistem kullanılarak elde edilmiştir. Bu dedektörler yaklaşık 200 eV'tan 500–600 keV'a kadar olan enerji bölgesini kapsamaktadır. Dedektörün iki önemli özelliği alanı ve kalınlığıdır. Sayım için önemli bir faktör olan geometrik verimlilik, dedektör alanı arttıkça artar. Kullandığımız dedektörün aktif alanı 30 mm² ve kalınlığı 5 mm'dir. Dedektör en

uygun ayırma gücü elde etmek ve gürültüyü azaltmak için sıvı azot sıcaklığında (-196°C) tutulmalıdır. Bunun için dedektör, 30 lt sıvı azot alabilecek bir devar kabına yerleştirilmiştir. Dedektör, dış ortamdan gelebilecek yüzey kirlenmelerini önlemek için 30 mikron kalınlığında berilyum pencere ile koruma altına alınmıştır.

Sayacın aktif bölgesine E enerjili bir foton düştüğü zaman germanyum atomları iyonlaşır. Foton enerjisinin tamamını fotoelektronlara verir ve fotoelektron enerjisi bitinceye kadar yolu boyunca elektron-delik çifti meydana getirerek dedektör içinde hareket eder.

Ultra-LEGe dedektöre yaklaşık 500 voltluk ters besleme gerilimi uygulanır. Meydana gelen elektrik alan, fotonların oluşturduğu elektron-delik çiftlerini toplar. Ters beslemeden dolayı elektronlar n-tipi bölgeye, boşluklar ise p-tipi bölgeye yönelirler.

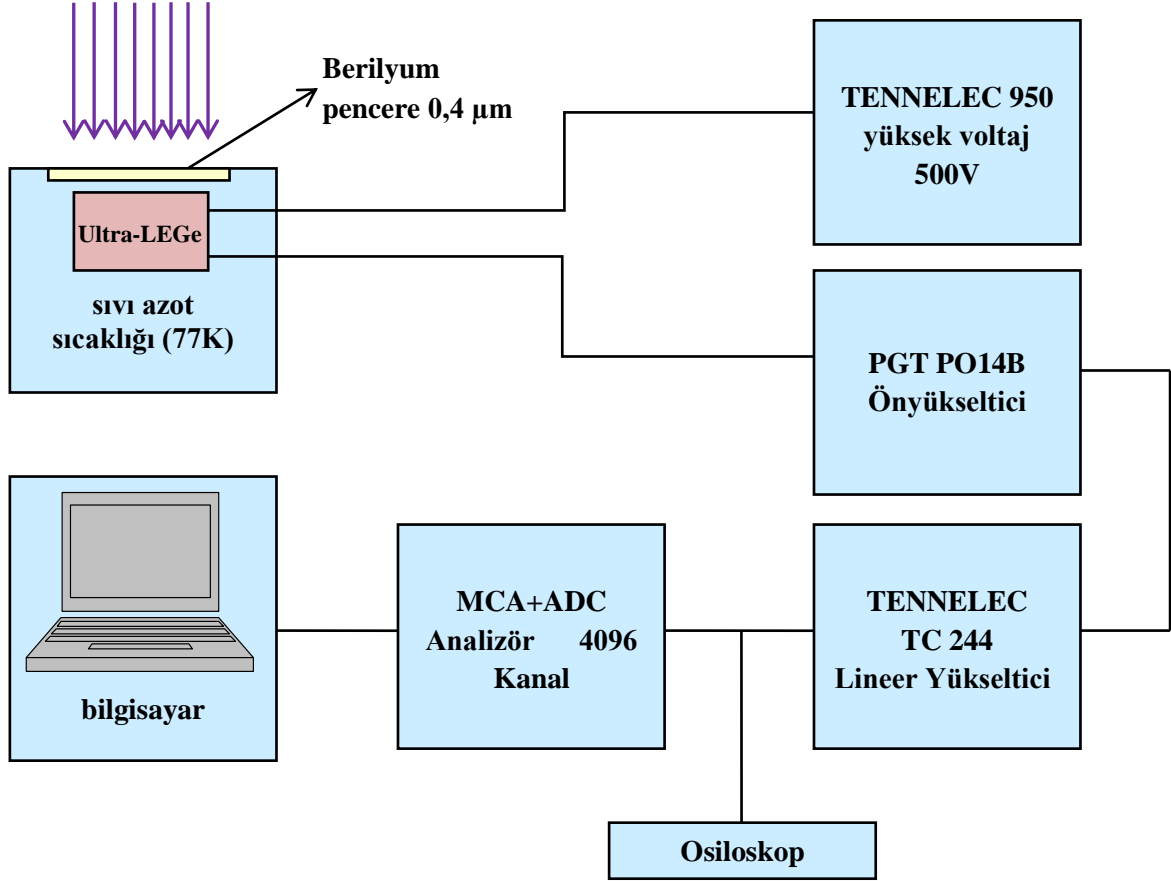
p-tipi ve n tipi bölgelerde elektrik alan vasıtasıyla toplanan yükler akım pulsundan potansiyel pulsuna dönüştürülür. Deney sisteminde kullanılan elektronik düzenek aracılığıyla potansiyel puls, puls yükseklik analizöründe enerjisine karşılık gelen kanala yerleştirilir. Dedektör şekil 17’de görüldüğü gibi sıvı azot kabının içine bağlanmış olan bir vakum odasına monte edilmiştir. Böylece dedektörün hassas yüzeyi rutubetten ve diğer kirleticilerden korunmuştur (Debertin ve Helmer, 1988).



Şekil 17. Dedektör ve bölümleri

2.5. Sayma Sistemi

Bir dedektör, ön yükseltici, analog sayısal dönüştürücü, puls yükseklik analizörü, osiloskop ve bir yüksek voltaj kaynağı sayma sistemini oluşturmaktadır. Şekil 18 sayma sisteminin şematik gösterimini vermektedir.



Şekil 28. X-ışınları floresans ölçüm sistemi diyagramı

2.6. Yüksek Voltaj Kaynağı

Yüksek voltaj kaynağı, dedektörün çalışması için gerekli olan negatif veya pozitif voltajı sağlar. Dedektörlerin birçoğu yüksek pozitif voltaja gereksinim duyar. Yüksek voltaj kaynağı, giriş voltajının değişebilmesine rağmen çıkış voltajının çok az değişeceği bir biçimde ayarlanır (Tsoulfanidis, 1995).

2.7. Ön Yükseltici

Ön yükselticinin temel görevi, dedektörün çıkışı ile sayma sisteminin geri kalan kısmı arasında en iyi bağlantıyı sağlamaktır. Aynı zamanda ön yükseltici, sinyali değiştirebilen gürültü kaynaklarını minimum yapmak için de kullanılır.

Dedektörden çıkan sinyal milivolt mertebesindedir ve çok zayıftır. Sinyal kaydedilmeden önce binlerce kez büyütülmelidir. Bunun yapılabilmesi için sayma sisteminde ön yükselticilere ihtiyaç duyulur. Herhangi bir sinyalin bir kablo içinden iletimi, sinyali belirli bir miktar azaltır. Dedektörün çıkışındaki sinyal zayıf olursa, iletme eşlik eden elektronik gürültüde kaybolabilir. Elektronik gürültüde sinyalin kaybolmasını önlemek için ön yükseltici mümkün olduğu kadar dedektörün yakınlıklarına yerleştirilir. Bundan dolayı ön yükselticinin girişi dedektörle aynı şekilde soğutulur. Ön yükseltici sinyale şekil verir yani dedektörden gelen yük pulsunu voltaj pulsuna dönüştürür ve yükseltici ile dedektörün empedansını eşleyerek sinyalin zayıflamasını azaltır (Tsoulfanidis, 1995).

2.8. Yükseltici

Bir yükselticinin esas iki görevi vardır ve bu görevler şu şekilde sıralanır.

- a) Ön yükselticinin çıkış puls genliklerini ayırt ederek sayılma için uygun seviyelerine yükseltmek.
- b) Pulsları, puls genliği ve X-ışını fotonu arasındaki orantılı ilişkiyi tamamen sürdürerek işleme uygun bir biçime getirmek.

Çıkış puls genliği modern sistemler için 2 V'tan 10 V'a kadar değişmektedir. Amplifikatörlerin çoğu hem unipolar çıkış (sinyalin ilk kısmı tamamen pozitif veya tamamen negatif) hem de bipolar (sinyal hem pozitif hem de negatif bileşene sahip) çıkış ile donatılmıştır. En iyi sinyal-gürültü (signal-to-noise) oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı tercih edilir. Kullanıcının bilerek seçmesi gereken başka bir yükseltici denetimi puls genişliğini belirleyen "shaping time" sabitidir. Bir spektrumdaki pikler için en iyi ayırma gücü genellikle, sistem daha uzun bir zaman üzerinden gürültünün ortalamasını alabileceği için, daha uzun zaman sabitiyle elde edilebilir. Bununla birlikte, daha uzun zaman sabitleri daha fazla rasgele toplanmaya da neden olur. Bundan dolayı,

eğer sistem 2.000 s^{-1} 'lik sayma hızlarında çalıştırılacaksa daha kısa zaman sabitleri kullanılabilir.

2.9. Analog Dijital Dönüştürücü

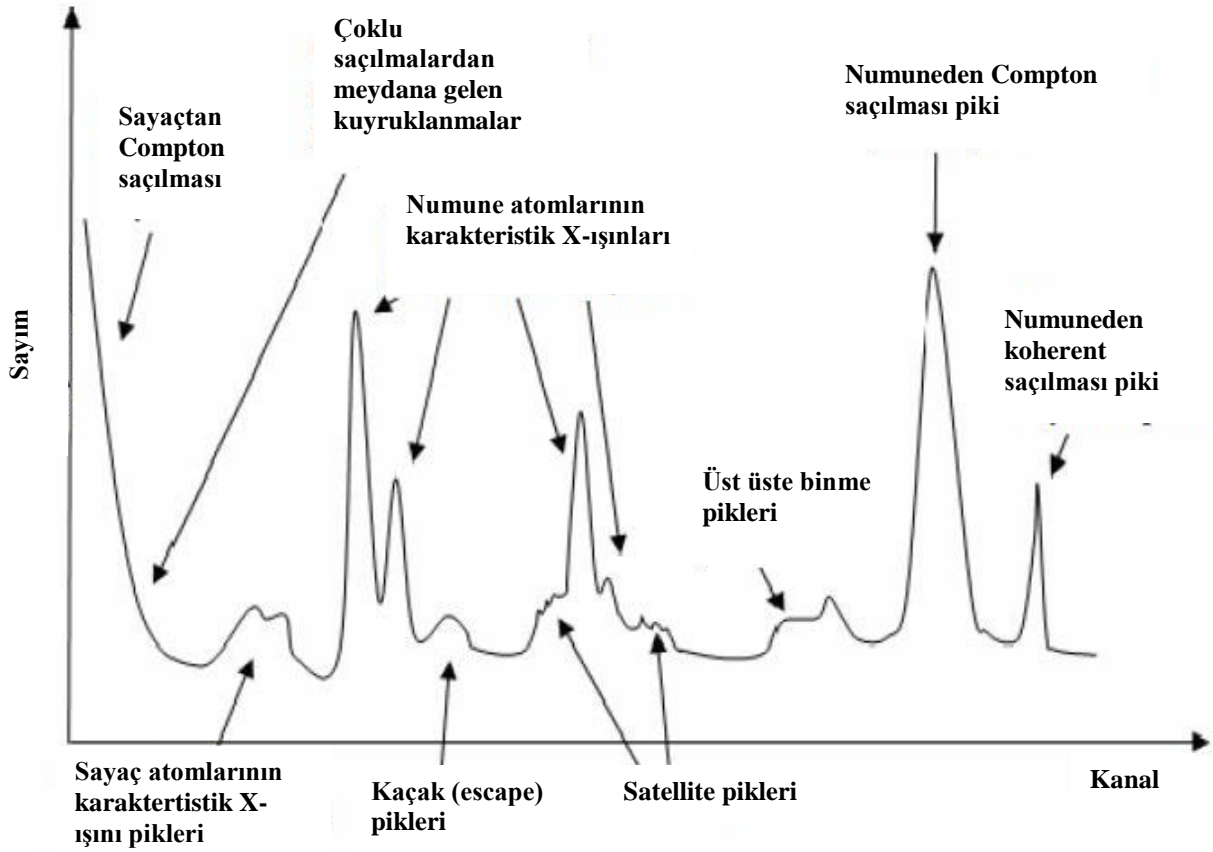
Sayma sisteminde analog dijital dönüştürücünün (ADC) amacı yükselticiden gelen analog pulsu, onun genliği ve dolayısıyla X-ışını fotonunun enerjisiyle orantılı bir tam sayıya çevirmektir. Bu işlem analoğu sayısala dönüştürme işlemi olarak adlandırılır. Sayılmış olan her bir puls yüksekliği kadar sayı, analizörün hafızasında biriktirilir ve sonuç olarak bu, bilinen bir enerji spektrumu olarak ekrana aktarılır.

2.10. Çok Kanallı Analizör (MCA)

Çok kanallı analizör sayısal hale getirilmiş pulsları kanallara yerleştirerek bilgisayar hafızasında kaydeder. Esasında, her bir kanal depolama yapmak için kullanılan bir kutudur ve X-ışını spektrumunda kesin olarak kalibre edilmiş sayısal enerji aralığı olan bir enerji aralığına düşen pulsları sayar. Kalibrasyon işlemi standart kaynaklar kullanılarak ölçüme başlamadan önce yapılır.

2.11. X-ışını Spektrumlarının İncelenmesi

X-ışını spektrometresiyle elde edilen bir spektrumda, incelenen numunenin karakteristik X-ışını pikleri dışında başka pikler de gözlenebilir. Bu pikler şekil 19'te gösterilmiştir ve oluşumları aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.



Şekil 19. İdeal bir X-ışını spektrumu (Çelik, 2006)

2.11.1. Koherent Pik

Uygun bir geometride uyarıcı kaynaktan çıkan primer fotonların doğrudan sayacı görmeleri önlenemesine rağmen spektrumda uyarıcı kaynak ışınlarının enerjilerine karşılık gelen enerjide spektrum pikleri meydana gelmektedir. Bu pikler kaynak ışınlarının numuneden koherent bir şekilde yani enerjilerini kaybetmeden aynı fazlı olarak saçılmasının neticesinde meydana gelmektedir.

2.11.2. İnkohherent (Compton) Pik

Uyarıcı kaynaktan çıkan ve numuneden Compton saçılmasına uğrayarak bir miktar enerjisini kaybeden fotonlara ait bu pik koherent pikinin düşük enerji bölgesinde meydana gelir. Numunenin iç kısmında meydana gelen karakteristik X-ışınlarının bir veya birkaç kez Compton saçılmasına uğramaları mümkündür. Ayrıca sayaca ulaşan fotonlar da sayaç

kristalinde Compton saçılmasına uğrayabilirler. Numune ve sayaçtaki saçılmaldan ve sayaçtaki tuzaklanmalardan dolayı gerek Compton pikinin gerekse diğer piklerin düşük enerjili yamaçları, yüksek enerjili yamaçlarına kıyasla daha az diktir. Sayaçta meydana gelen Compton saçılmasından dolayı spektrumun en düşük enerjili kısmında yüksek temel saymalı bir bölge meydana gelir.

2.11.3. Karakteristik X-ışını Pikleri

Uyarılma sonucu numuneden yayımlanan karakteristik X-ışını pikleri, kolimatör ve kaynak maddesinin karakteristik x-ışını pikleri enerjilerine bağlı olarak koherent saçılma tepesinin düşük enerjili tarafında meydana gelir. Dedektöre gelen X-ışınları, ölü tabakadaki sayaç atomlarını uyarabilir. Buradan yayımlanan sayaç atomlarının karakteristik çizgileri, numuneden gelenler gibi sayılırlar ve dedektör maddelerinin karakteristik çizgileri olarak kaydedilirler.

2.11.4. Auger Pikleri

Uyarılmış bir atomun yayımladığı karakteristik X-ışını yine aynı atomun daha dıştaki kabuklarından elektronlar sökebilir. Sökülen bu elektronlara Auger elektronları denir ve bunların oluşturacağı pik soğurulan X-ışını pikinin düşük enerji bölgesinde yer alır. Bu olay elektronları daha az bağlanma enerjisiyle bağlı bulunan düşük atom numaralı elementlerde, büyük atom numaralılarından daha çok meydana gelir.

2.11.5. Üst Üste Binme (Pile-Up) Pikleri

İki foton aynı anda veya elektronik sistemin pik ayırma zamanından daha kısa bir zaman aralığı ile sayaca gelirse sistem bu iki foton için tek puls verir. Bu pulsun büyüklüğü onu meydana getiren foton pulslarının ayrı ayrı büyüklükleri toplamına; iki puls arasındaki zaman ne kadar küçükse o kadar yaklaşır. İkinci veya daha yüksek mertebelerden de üst üste binme pulslarının meydana gelmesi mümkündür. Tamamlanmamış yük toplanması ve üst üste binme etkileri keskin piklerin genişlemesine ve kaymasına neden olur.

2.11.6. Kaçak (Escape) Pikler

Sayaca gelen herhangi bir foton, atomun iç kabuklarından bir elektron söküncü bu fotoelektron, elektron-hole çifti meydana getirerek ilerlerken bu atomun kendi karakteristik x-ışını da yayımlanır. Eğer bu olay sayaç yüzeylerine yakın bir yerlerde olursa bu karakteristik ışını başka etkileşimlere girmeden sayaçtan kaçabilir. Dolayısıyla sayaç gelen fotonu geliş enerjisinden daha düşük enerjili olarak sayar. Böylece oluşan kaçak pikler asıl piklerin düşük enerjili tarafında yer alırlar. Kaçak pik alanının asıl pik alanına oranı, asıl piklerin düşük enerjili bölgelerinden sayaç maddesinin soğurma kıyılarına yaklaştıkça artar.

2.11.7. Satellite Pikleri

Auger olayının bir başka sonucu da geride kalan iki kez iyonlaşmış, yani iç kabuklarında iki boşluk oluşmuş bir atomdur. Atomda önce K kabuğunda bir boşluk oluştuğunu, bunun L'den gelen elektronla doldurulduğunu ve bu esnada K_{α} fotonunun yayımlandığı, bu fotonun L kabuğundan bir başka elektron koparmasıyla Auger olayının gerçekleştiğini düşünelim. Böylece L kabuğunda iki elektron boşluğu oluşur. İki kere iyonlaşmış atom sadece Auger olayında gerçekleşmez. Primer ya da sekonder fotonlarla veya elektronlarla da atom aynı anda iki kere iyonlaştırılabilir. Ancak bir x-ışını halinin yarı ömrü $\sim 10^{-16}$ sn gibi çok kısa ve uyarıcı şüadaki elektron yoğunluğunun hedef atomdakine kıyasla az olmasından dolayı elektronlarla iyonlaştırmada, aynı atom için ard arda iki kez iyonlaşmış halde bulunma durumu hemen hemen mümkün değildir. İki kere iyonlaşmış atomlardan yayımlanan çizgilerin dalga boyları, bir kere iyonlaşmış atomlardan yayımlanan çizgilerin dalga boylarından biraz farklıdır. Bu tür çizgiler satellite (non-diagram) çizgileri olarak adlandırılmaktadır (Kaya, 2006).

2.12. Dedektör Verimi

Enerji ayrımlı X-ışını floresans sisteminde yapılan çalışmalarda dedektör verimi bilinmelidir. Dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların sayısının, dedektöre gelen fotonların sayısına oranı veya dedektörde sayılabilir büyüklükte puls üreten fotonların yüzdesi dedektör verimi olarak adlandırılır.

Kalibre edilmiş kaynaklar dedektör verimliliğinin tespit edilmesi için gereklidir. Bu kaynakların bozunmalarında foton yayımlanma olasılıkları bilinmelidir. Dedektör verimini etkileyen faktörler; kolimatör faktörü, dedektör maddesi, dedektörün hassas bölgesi, imalat faktörü ve kıyılarından kaçmalar şeklinde sıralanabilir.

2.13. Dedektör Verimliliğinin Ölçülmesi

Dedektör veriminin tayini için genellikle nokta kaynaklar kullanılır. Kaynağın şekli farklı olduğunda, kaynaktan homojen olarak foton yayımlanmayacağı için bu durum dedektörün verimini etkiler. Bu yüzden kaynağın en çok fotonları yaydığı bölgesi dedektörün ortasına gelecek şekilde yerleştirilmeli ve kaynak sabitleştirilmelidir.

Bir dedektörün bir enerjideki verimi, dedektörden sabit bir uzaklıkta bulunan standart kaynaktan birim zamanda dedektöre gelen ve sayılan fotonların sayısı bilinerek tayin edilebilir. Bu şekilde elde edilen verim bütün geometri ve soğurma faktörlerini içine almaktadır.

Kullanılan kaynağın verim tayini yapılırken şiddet (I);

$$I = I_0 \exp(-\lambda t) \quad (5)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada I_0 kaynağın şiddeti, λ bozunma sabiti ve t ise kaynağın imalatından ölçüm alınmaya kadar geçen süredir. Kaynaktan çıkan fotonlar farklı enerjilerde ise yayımlanan fotonların her enerjideki yayımlanma oranı tespit edilmelidir. Tespit edilen enerjideki yayımlanan foton sayısı (I_{Ex}),

$$I_{Ex} = [I_0 \exp(-\lambda t)] \cdot W_{Ex} \quad (6)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Burada W_{Ex} , E_x enerjisinde yayımlanan fotonların kesridir. (6) denkleminde bulunan şiddet, 360° lik geometrik sayımda olduğundan dedektörün bu enerjideki verimi

$$E_{fEx} = \frac{I_d}{I_{Ex}} \quad (7)$$

eşitliği ile verilir. Bu eşitlikte I_d , dedektörün ilgili enerjide saydığı fotonların sayısıdır. Deneysel olarak E enerjisindeki fotopik verimliliği,

$$\varepsilon(E) = \frac{4\pi N_E}{\Omega_0 TRP_E} \quad (8)$$

ile hesaplanabilir. Burada N_E , T zamanı içinde dedektörde sayılan fotonların sayısı, R ve P_E ise sırasıyla kaynağın bozunma hızı ve E enerjili fotonun kaynaktan yayımlanma olasılığıdır. Sayma için etkin katı açı Ω_0 ise,

$$\Omega_0 = \frac{\pi r^2}{(d + Z)^2} \quad (9)$$

denklemleri verilebilir. Mutlak verimlilik tayininde katı açı düzeltilmesi yoktur ve bu yüzden mutlak verimlilik

$$\varepsilon(E) = \frac{N_E}{TRP_E} \quad (10)$$

biçiminde yazılabilir.

Bağıl verimliliğin tayini, kaynaktan gelebilecek hataları ortadan kaldırmak için daha uygun yöntemdir. Dedektör yapısının bozulması, dedektör verimini zamanla değiştireceği de dikkate alınmalıdır. Ultra-LEGe dedektörünün verimlilik eğrisinin tayini yapılırken aşağıdaki sınıflandırma yapılabilir.

- a) Mutlak verimlilik: Sayaçta sayılan fotonların, radyoizotop kaynak tarafından tüm doğrultularda yayımlanan fotonlara oranıdır ve kaynak sayaç uzaklığına bağlıdır.
- b) İntrinsik verimlilik: Sayacın intrinsik bölgesinde sayılan fotonların, bu bölgeye gelen fotonların sayısına oranıdır.
- c) Bağıl verimlilik: Herhangi bir enerjideki sayaç verimliliğinin diğer enerjilerdeki sayaç verimliliğine oranı olarak tanımlanır.
- d) Fotopik (Sayma) verimliliği: Sayaçta, ilgili enerjide sayılabilir büyüklükte puls meydana gelme ihtimaliyetidir.

- e) Radyal verimlilik: Herhangi bir enerjide sayaç verimliliğinin sayaç yarıçapına bağlı olarak değişimini ifade eder (Ertuğral, 2004).

2.14. $I_0G\epsilon$ 'nin Tayini

Sayılan karakteristik X-ışını şiddeti, uyarıcı radyasyonun şiddetine, geometrik faktörüne, X-ışınlarının sayıldığı dedektörün verimliliğine, elementin miktarına, numune ve hava içerisindeki soğurma faktörüne ve ilgili elementin tesir kesitine bağlıdır. Böylece;

$$N = I_0 \cdot G \cdot \epsilon \cdot m_i \cdot \beta \cdot \sigma \quad (11)$$

yazılabilir. Bu eşitlikte N, birim zamanda ölçülen karakteristik X-ışınlarının şiddeti, I_0 birim zamanda numuneye gelen foton şiddeti (uyarıcı radyasyon şiddeti), G kaynak-numune ve numune-dedektör kompozisyonuna bağlı geometrik faktör, ϵ X-ışınları enerjisindeki dedektör verimi, σ fotoelektrik tesir kesiti ve β soğurma düzeltmesi faktörüdür. m_i ise numune içindeki analitik madde miktarı olup,

$$m_i = m \cdot w_i \quad (12)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada m, numunenin toplam kütesini, w_i ise analitin yoğunluğunu temsil etmektedir.

$I_0G\epsilon$ değeri çeşitli aralıktaki elementlerin uyarılması sonucu elde edilen bu elementlere ait karakteristik K X-ışınları yardımıyla ölçülmüştür. Deney süresince I_0G çarpanını sabit tutmak için geometri değiştirilmemiştir. $I_0G\epsilon_K$ değerinin tayininde

$$IG\epsilon_{K_i} = \frac{N_{K_i}}{\beta_{K_i} \cdot m_i \cdot \sigma_{K_i}} \quad [i = \alpha, \beta] \quad (13)$$

ifadesinden yararlanılmıştır. σ_{K_i} tesir kesiti ise;

$$\sigma_{K_i} = \sigma_K \cdot \omega_K \cdot f_{K_i} \quad (14)$$

eşitliğine göre teorik olarak hesaplanmıştır. Bu eşitlikte σ_K , K tabakasına ait fotoelektrik tesir kesiti olup Scofield'in (Scofield, 1973) tablosundan alınmıştır. ω_{K_i} , K tabakası için floresans verim olup Krause'nin (Krause, 1979) tablosundan ve f_{K_i} ($i=\alpha, \beta$) ise K tabakasından yayımlanan K_α veya K_β X-ışını ihtimaliyetleri olup Broll'un makalesinden alınmıştır (Broll, 1986).

2.15. Ultra-LEGe Dedektörün Verim Eğrisinin Tayini

Deney geometrisi ile birlikte dedektör verimi de değiştiğinden dolayı her deneysel çalışma için dedektör veriminin belirlenmesi gerekir. Dedektör verimi belirlendikten sonra, dedektör verimi yardımıyla şiddet oranları, floresans tesir kesitleri ve floresans verimlerin değerleri bulunur.

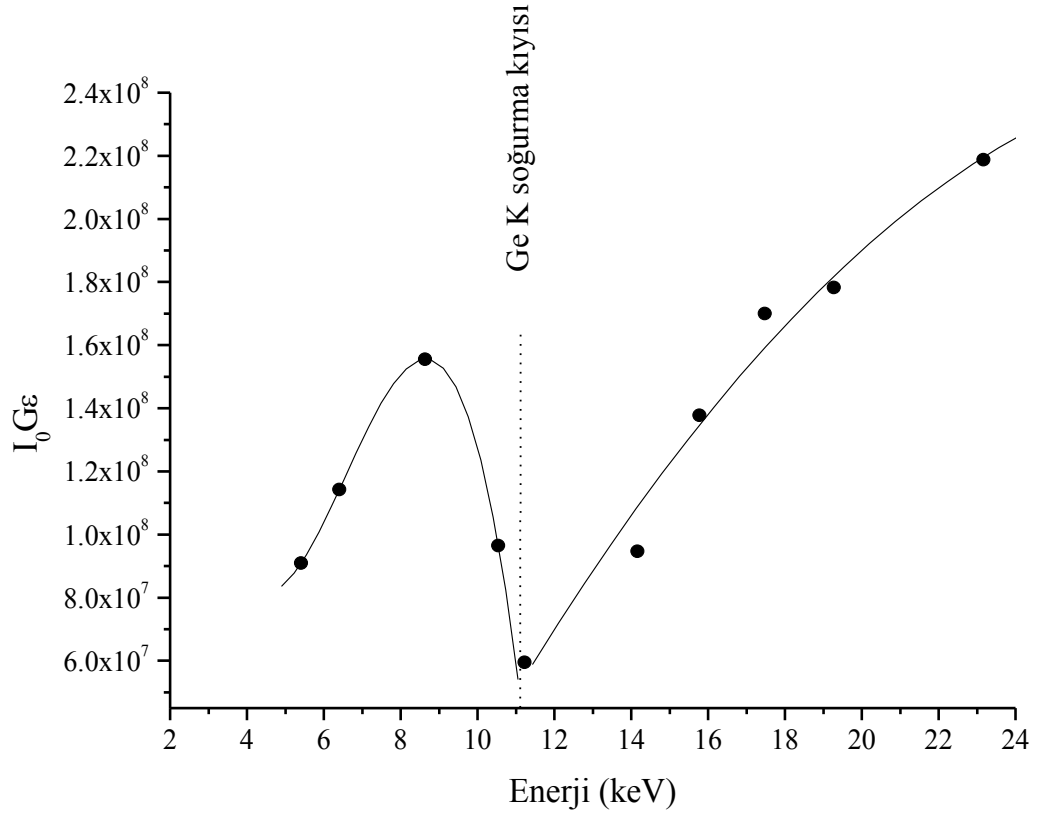
Yapılan bu çalışmada 59,5 keV enerjii foton yayımlayan ^{241}Am radyoaktif halka kaynağı için dedektör verimi $I_0G\epsilon$, değerlerinin ortalama karakteristik K X-ışınları enerjilerine karşı elde edilen grafik şekil 14'de verilmektedir. Şekilde Ge K soğurma kıyısı enerjisinden küçük olan enerjilerde verim hesabı;

$$Y = A + B_1 \times X + B_2 \times X^2 + B_3 \times X^3 \quad (15)$$

denklemleri ve Ge K soğurma kıyısı enerjisinden büyük enerjilerde verim hesabı

$$Y = A + B_1 \times X + B_2 \times X^2 \quad (16)$$

denklemleri sağlanmaktadır. Bu denklemlerde A, B_1 , B_2 ve B_3 katsayıları sabit sayılardır.



Şekil 20. ^{241}Am radyoaktif kaynağı kullanılarak elde edilen $I_0 \text{ Ge}$ 'nin enerji ile değişimi

2.16. Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan ince film alaşımlar Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Ömer SÖĞÜT ve ekibi tarafından Ulusal Nanoteknoloji Merkezinde (UNAM) hazırlanmıştır.

2.17. Numunelerin Kütle Azaltma Katsayıları ve Soğurma Düzeltmesi Faktörleri

Numunelerin uyarılmasıyla meydana gelen karakteristik X-ışınları numune içinden geçerken numunedeki atomlar tarafından soğurulmaktadır. Bu nedenle dedektör tarafından ölçülen X-ışını şiddeti yayımlanandan farklı olacaktır. Şiddet ölçümlerine dayanan bütün çalışmalarda bu fark, ölçülen X-ışını şiddetinin soğurma düzeltmesi faktörüne bölünmesiyle ortadan kalkmaktadır. Yayımlanan ve ölçülen X-ışını şiddeti arasında,

$$N_{ölç} = N_{yay} \cdot \beta \quad (17)$$

biçiminde bir ilişki olmalıdır. Bu eşitlikte β , soğurma faktörü olup enerjiye, numune atomlarına, X-ışınlarının numuneye geliş ve çıkış açıları ile numune kalınlığına bağlıdır. Dolayısıyla numuneden yayımlanan karakteristik X-ışınlarını bulmak için ölçülen X-ışını şiddeti β soğurma faktörüne bölünmelidir. Bu nedenle β 'ya soğurma düzeltmesi faktörü denir ve;

$$\beta_{(i)} = \frac{1 - \exp \left[- \left(\frac{(\mu/\rho)_{(\gamma)}}{\cos\theta_1} + \frac{(\mu/\rho)_{(i)}}{\cos\theta_2} \right) \rho D \right]}{\left(\frac{(\mu/\rho)_{(\gamma)}}{\cos\theta_1} + \frac{(\mu/\rho)_{(i)}}{\cos\theta_2} \right) \rho D} \quad (i=K,L) \quad (18)$$

olarak verilmektedir. Bu eşitlikte, sırasıyla $(\mu/\rho)_{(\gamma)}$ ve $(\mu/\rho)_{(i)}$ kaynaktan gelen radyasyon ve yayımlanan karakteristik X-ışınları için numunenin toplam kütle azaltma katsayılarıdır. θ_1 ve θ_2 sırasıyla kaynaktan gelen radyasyonun ve yayımlanan karakteristik X-ışınlarının numune yüzeyinin normali ile yaptıkları ortalama açılarıdır. Yaptığımız çalışmada kullanılan deney geometrisine göre θ_1 geliş açıları sabit tutularak 45° ve numuneden çıkan X-ışınlarının numune yüzeyi ile yaptığı açı 90° alınmıştır. Birim alan başına düşen madde miktarı ρD (g/cm^2) ise tartılan numune miktarının numune alanına bölünmesiyle ve

$$\mu/\rho = \sum w_i (\mu/\rho)_i \quad (19)$$

bağıntısı ile bulunur. Bu ifadede w_i , i. elementin ağırlık yüzdesi, $(\mu/\rho)_i$ ise i. elementin E enerjisindeki kütle azaltma katsayısıdır.

Elementlerin ilgili enerjilerindeki toplam kütle azaltma katsayılarının hesaplanmasında Berger ve Hubbel tarafından (Berger vd., 1998) geliştirilen XCOM bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu programın veri tabanı, 1–100 GeV enerji aralığında karışım, bileşik veya herhangi bir element için tesir kesiti ve kütle azaltma katsayılarını hesaplamak için kullanılır. XCOM hem standart hem de kullanıma bağlı olarak istenilen enerjide, tesir kesiti ve kütle azaltma katsayılarını verir. Ayrıca fotoelektrik, koherent ile

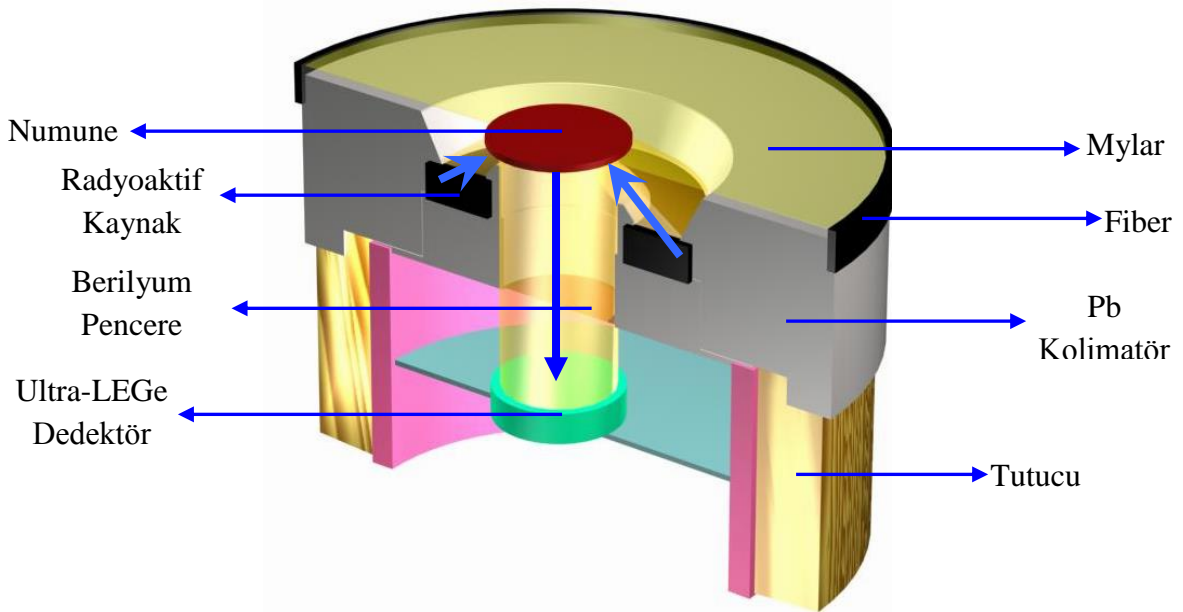
inkoherent saçılma ve çift oluşum gibi kısmi kütle azaltma katsayılarının hesaplanmasını da içerir.

2.18. Deney Geometrisi, Numunelerin Uyarılması ve Karakteristik X-ışınlarının Sayılması

Deney geometrisi, ölçümü iki şekilde etkileyebilir. Birincisi, kaynak ve dedektör arasındaki ortam bazı parçacıkları saçabilir ve soğurabilir. İkincisi kaynağın ve dedektörün şekli, boyutu, kaynak ve dedektör arasındaki uzaklık dedektöre gelecek olan parçacıkların oranını belirler (Tsoulfanidis, 1995).

Numuneler deneye hazır hale getirildikten sonra, 50 mCi'lik ^{241}Am halka kaynağından yayımlanan 59,5 keV enerjili fotonlarla uyarılmışlardır. Radyoizotop halka kaynak seçilirken, kaynağın enerjisinin, numunenin K tabakası soğurma kıyısından büyük olmasına ve aynı zamanda numuneden yayımlanan karakteristik K X-ışınlarının, spektrumun temiz bölgelerine düşmesine dikkat edilmiştir.

Karakteristik X ışınlarının sayılmasında, yarı maksimumdaki tam genişliği (rezolüsyonu) 5,9 keV'de 150 eV olan Ultra-LEGe dedektörü kullanılmıştır. Şekil 15'de ölçümlerin alındığı X-ışını floresans (EDXRF) sistemi için deney geometrisi gösterilmektedir.



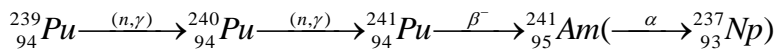
Şekil 21. X-ışınları floresans (EDXRF) ölçümleri için deney geometrisi

2.19. ²⁴¹Am Radyoizotop Kaynağı

Analizi yapılacak elementler; α parçacıklarıyla, elektronlarla, protonlarla, iyonlarla, ikincil X-ışını fotonuyla, γ - ışını fotonuyla, sinkratronla, X-ışını tüpüyle (sürekli fotonlarla) ve radyoizotop kaynaklarla uyarılabilir. Radyoizotop kaynaklar X-ışını analizlerinde yaygın olarak kullanılan uyarıcılardan biridir. Radyoizotop kaynaklar, X-ışını spektrometrik uygulamalarında dört temel özellikleri ile karakterize edilebilirler:

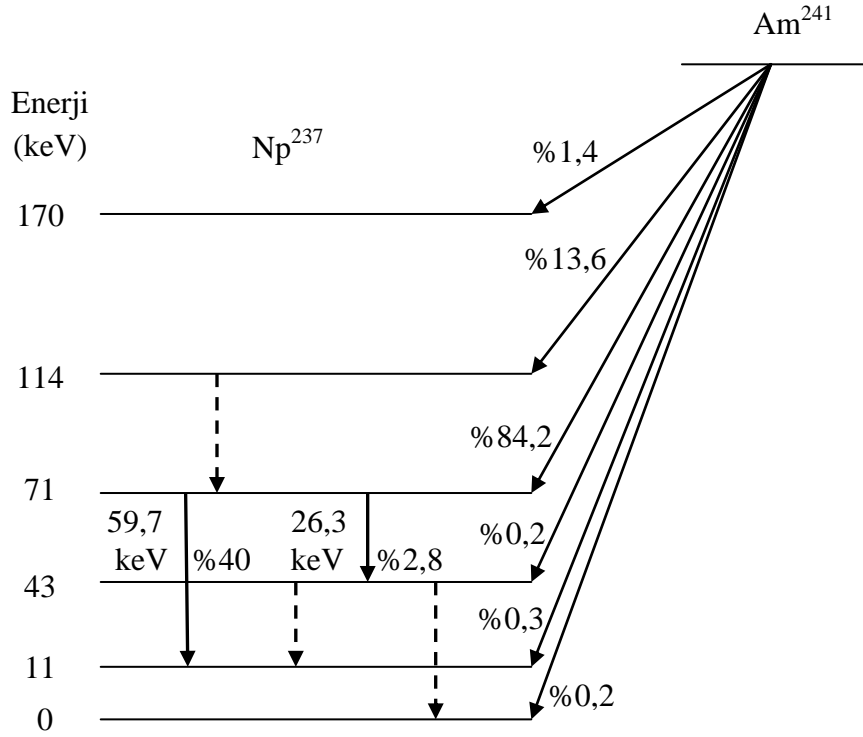
- a) Radyoaktif bozunma ve yayımlanan radyasyonun tipi, (α , β , γ yayımlama, K veya L elektronu yakalama)
- b) Yayımlanan radyasyonun enerjisi,
- c) Kaynak aktivitesi,
- d) Kaynağın yarı-ömürü (Apaydın, 2006),

Radyoaktif bozunma, radyoaktivite özelliğine sahip olan atomların kararsız çekirdeklerinin parçalanmasıyla yeni bir çekirdek oluşması ve atom çekirdeklerindeki bu değişiklikler sonucu radyasyon yayımlanması olayıdır. Sonuç olarak kararsız bir atom, kararlı hale gelinceye kadar bir seri dönüşüme uğrar ve böylece meydana gelen seriye bozunma zinciri denir. Bu bozunma sırasında dışarı (α , β) gibi radyoaktif parçacıklardan ve γ -ışını gibi fotonlardan bir veya birkaçı yayımlanabilir. ²⁴¹Am radyoizotopu, ²³⁹Pu'nun ardışık nötron yakalama reaksiyonlarından oluşan ²⁴¹Pu'un beta bozunumundan sonra meydana gelmektedir. Ardışık nötron yakalama ve β bozunumundan sonra oluşan ürünler;



şeklindedir. Bu radyoaktif çekirdek yapay olarak üretilir ve yarılanma süresi yaklaşık 432 yıl olan kararsız bir izotoptur. Daha sonra ²⁴¹Am elementi α bozunumuna uğrayarak neptünyum radyoaktif çekirdeğine dönüşür ve kararlı bizmut oluşana kadar bozunma süreci devam eder. Neptünyum ile başlayıp bizmuta kadar devam eden bozunma süreci neptünyum serisi olarak adlandırılır. Nötron yakalama, atomik çekirdeğin bir veya daha fazla nötronla çarpıştığı nükleer bir reaksiyon çeşididir ve ağır bir çekirdek oluşturmak için bir araya gelirler. Nötronlar elektriksel yükü olmadığı için, yüklü parçacıklara göre çekirdeğin içine kolaylıkla girer. β - bozunumunda zayıf etkileşme bir nötronu, bir protona dönüştürürken bir elektron ve bir tane antinötrino yayımlanır. Alfa bozunumu ise bir atomik çekirdeğin bir alfa parçacığı yayımladığı bozunma çeşididir ve alfa bozunumuna

uğrayan çekirdeğin atom numarası 2 ve kütle numarası 4 azalır. Gama bozunumunda da bir çekirdek yüksek enerji durumundan düşük enerji durumuna elektromanyetik radyasyon yayımlayarak geçer ve çekirdeğin içindeki protonların ve nötronların sayısı değişmez. Şekil-3 te ^{241}Am radyoizotopunun ^{237}Np izotopuna dönüşümünü göstermektedir (Saritaş, 2014).



Şekil 22. ^{241}Am elementinin deneysel bozunma şeması (Beling, Newton ve Rose, 1952)

2.20. K kabuğu X-ışını Floresans Verimleri ve Floresans Tesir Kesitlerinin Hesaplanması

Bir elemente ait karakteristik X-ışını şiddeti genel olarak,

$$I = \frac{N}{\epsilon \cdot \beta} \quad (20)$$

denklemleriyle ifade edilebilir. Bu denklemlerde N , söz konusu olan karakteristik X-ışınına ait piklerin net alanı, ϵ , karakteristik X-ışını enerjisinde dedektör verimi ve β aynı enerjide numuneye ait soğurma düzeltmesi faktörüdür.

K tabakası floresans verim ve floresans tesir kesiti verilerinin değerlendirilmesinde,

$$\sigma_{Ki} = \sigma_K \cdot \omega_K \cdot f_{Ki} \quad (i = \alpha, \beta) \quad (21)$$

$$\sigma_{Ki} = \frac{N_{Ki}}{I_0 G \epsilon_{Ki} \beta_{Ki} t_i} \quad (i = \alpha, \beta) \quad (22)$$

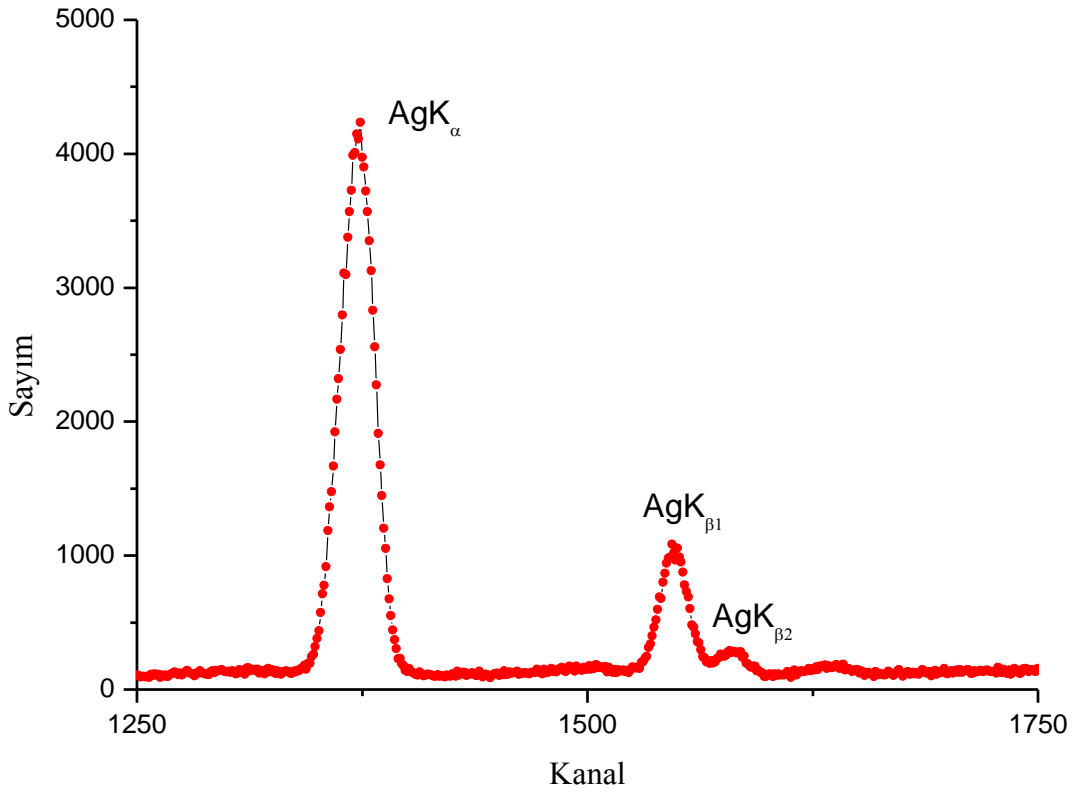
$$\omega_K = \frac{N_{Ki}}{I_0 G \epsilon_{Ki} \sigma_K^P \beta_{Ki} t_i} = \frac{\sum \sigma_{Ki}}{\sigma_K^P} \quad (i = \alpha, \beta) \quad (23)$$

denklemlerinden yararlanılmıştır. Denklem 23'de σ_K^P , K tabakasına ait fotoelektrik tesir kesiti olup Scofield'in (Scofield, 1973) tablosundan alınmıştır. (21) bağıntısındaki ω_K , K tabakası için floresans verim olup Krause'nin (Krause, 1979) tablosundan, f_{Ki} ($i = \alpha, \beta$) K tabakasından K_α veya K_β X-ışını yayılma ihtimaliyeti olup Broll'un makalesinden alınmıştır (Broll, 1986). N_{Ki} , ilgili enerjideki piklerin net alanları; I_0 numuneye birim zamanda gelen foton şiddeti; G geometrik faktör; ϵ_{Ki} , K X-ışınlarının enerjisinde dedektör verimi; β_{Ki} soğurma düzeltmesi faktörü; ω_K , K tabakasının deneysel floresans verimi ve t_i (g.cm^{-2}) numunenin kalınlığıdır ki birim alana düşen numune miktarını ifade eder.

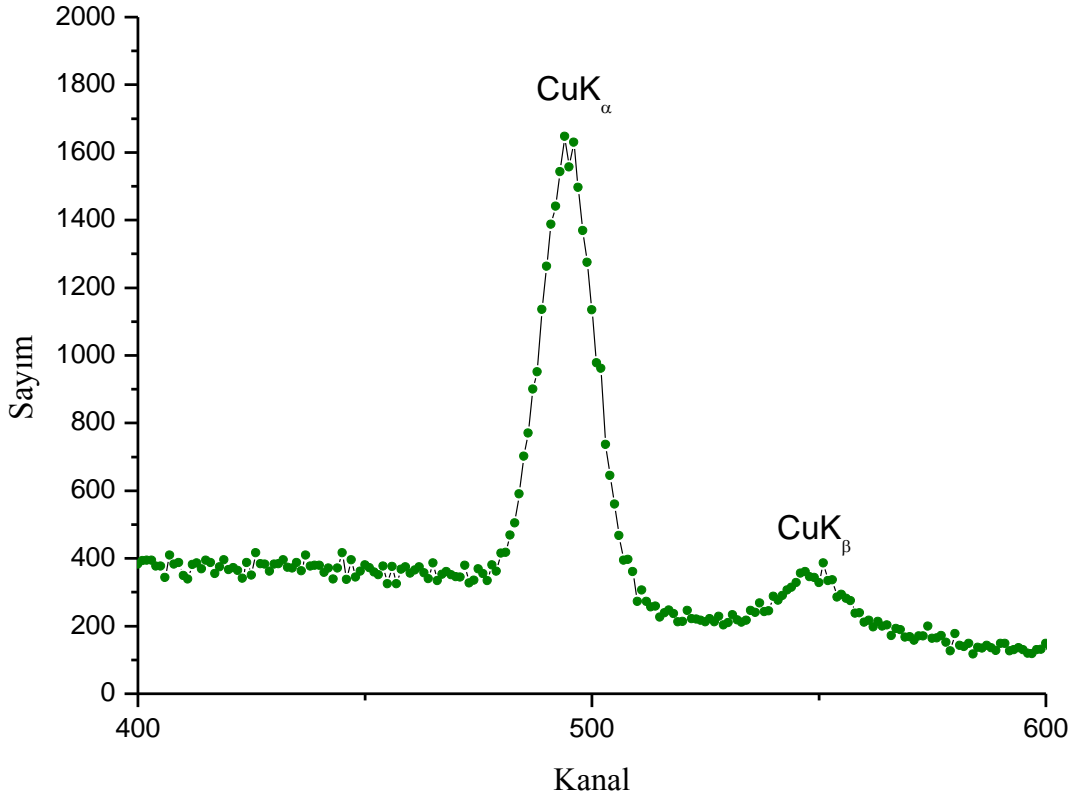
3. BULGULAR

3.1. Numunelerin Uyarılmasıyla Elde Edilen X-ışınları ve Spektrumları

Deneye hazır hale getirilen numunelerin, floresans tesir kesitleri ve floresans verimleri hesaplanması için 59,5 keV enerjili foton yayımlayan 50 mCi'lik ^{241}Am radyoaktif halka kaynağından çıkan ışınlarla numuneler uyarılmış ve 10000 saniyelik gerçek sayma zamanında sayılmışlardır. Numunelerin uyarılması sonucu meydana gelen K X-ışınlarının sayılmasında, yarı maksimumdaki tam genişliği 5,9 keV'de 150 eV olan Ultra-LEGe dedektörü kullanılmıştır.



Şekil 23. 2 Numunesine ait Ag elementi K X-ışını pikleri



Şekil 24. 5 Numunesine ait Cu elementi K X-ışını pikleri

3.2. K X-ışını Floresans Tesir Kesitleri ve Floresans Verim Değerleri

Yapılan çalışmada Ag ve Cu elementleri ve bu elementlerin oluşturduğu farklı konsantrasyonlardaki alaşımlar için K X-ışınları floresans tesir kesiti ve floresans verim değerleri deneysel olarak 59,5 keV enerjili foton yayımlayan ²⁴¹Am radyoaktif halka kaynağı kullanılarak ölçülmüştür. Ag ve Cu elementleri ile bu elementlerin oluşturduğu alaşımlar için deneysel olarak bulunan K X-ışını floresans tesir kesitleri ve floresans verimleri Tablo 4, 5, 6 ve 7'de teorik (Krause, 1979) değerlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4. Cu elementine ait K X-ışını floresans tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Numune	Ag/Cu Konsantrasyonu (%)	Cu K α		Cu K β	
		Deneysel (barns/atom)	Teorik (barns/atom)	Deneysel (barns/atom)	Teorik (barns/atom)
1	53,4/46,6	48,12	53,16	5,11	6,43
2	41,8/58,2	57,31		5,60	
3	25,5/74,5	38,48		4,26	
4	17/83	53,41		6,11	
5	12,5/87,5	44,21		4,65	
Cu	0/100	49,06		6,31	

Tablo 5. Ag elementine ait K X-ışını floresans tesir kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Numune	Ag/Cu Konsantrasyonu (%)	Ag K α		Ag K β	
		Deneysel (barns/atom)	Teorik (barns/atom)	Deneysel (barns/atom)	Teorik (barns/atom)
1	53,4/46,6	531,98	597,13	91,88	117,14
2	41,8/58,2	487,13		98,41	
3	25,5/74,5	587,67		93,01	
4	17/83	529,31		107,71	
5	12,5/87,5	502,90		101,13	
Ag	100/0	526,21		109,59	

Tablo 6. Cu elementine ait K X-ışını floresans verim değerlerinin karşılaştırılması

Numune	Ag/Cu Konsantrasyonu(%)	Cu ω_K	
		Deneysel	Teorik
1	53,4/46,6	0,399	0,445
2	41,8/58,2	0,381	
3	25,5/74,5	0,403	
4	17/83	0,402	
5	12,5/87,5	0,398	
Cu	0/100	0,421	

Tablo 7. Ag elementine ait K X-ışını floresans verim değerlerinin karşılaştırılması

Numune	Ag/Cu Konsantrasyonu(%)	Ag ω_K	
		Deneysel	Teorik
1	53,4/46,6	0,801	0,827
2	41,8/58,2	0,793	
3	25,5/74,5	0,789	
4	17/83	0,813	
5	12,5/87,5	0,809	
Ag	100/0	0,816	

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Ag ve Cu elementleri ve bu elementlerin konsantrasyonları farklı tutularak üretilen alaşımlarında K kabuğu floresans tesir kesitleri ve floresans verimleri incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar teorik değerlerle birlikte Tablo 4-7` de verilmiştir.

Alaşım etkisi alaşımı oluşturan elementlerin konsantrasyonlarına bağlı olarak, analitin K X-ışını şiddet oranlarında bazı değişiklikler meydana getirmektedir. Bu değişikliklerin sebebi geçiş elementlerinin 3d seviyesindeki elektron yoğunluğunun değişimi ile ilişkilidir. 3d elektron yoğunluğunun değişimi,

- a) Alaşımı oluşturan her bir elementin valans bandının yeniden düzenlenmesi
- b) Alaşımdaki metallere birinin 3d seviyesinden diğer elementin 3d seviyesine elektron transferi

mekanizmalarıyla açıklanmaktadır. Alaşımda, ilgilenilen elementin 3d elektron yoğunluğu yabancı bir atomun varlığından etkilenmektedir. Komşu atomun varlığından dolayı 3d elektron yoğunluğundaki değişim 2p orbitallerinden daha çok 3p orbitallerinin yapısını ve buna bağlı olarak K_{β}/K_{α} X-ışını şiddet oranlarını değiştirecektir.

Alaşımları oluşturan elementler metal bağları ile birbirine bağlıdırlar ve valans elektronları kristal yapı boyunca serbestçe hareket eder. Metal bağlarının oluşumunda metallere valans bantları birbiriyle örtüşür ancak alaşımları oluşturan metallere az da olsa elektronegatiflik farkı vardır ve bu tür metalik bağlar kovalent karaktere sahiptir. Elektronegatiflik değerleri birbirinden farklı olan iki geçiş elementi bir alaşım oluşturduğunda 3d bandının elektron yoğunluğundaki değişim elektron transferi mekanizmasıyla açıklanabilir. Yük transferi genellikle elektronegatifliği küçük olan elementten büyük olan elemente doğru olmaktadır ve bu şekildeki yük transferi alaşımdaki her bir elementin şiddet oranlarını saf metal değerlerine göre farklı yönde değiştirecektir. Alaşımda elektronegatifliği büyük olan elemente, diğer yabancı elementten 3d elektronları transfer edildiğinde, elektronegatifliği büyük olan elementin 3d elektronları üzerine perdelenme etkisi artacağından dış elektronların bağlanma enerjisi azalır ve bu durum geçiş oranlarını etkiler. Benzer şekilde valans elektronlarının bir kısmını komşu yabancı atomlara veren ve elektronegatifliği daha düşük olan elementin 3d elektronları daha az perdeleneneğinden dolayı çekirdeğin etkin yükünü daha fazla hissedecek ve bu valans

elektronlarının bağlanma enerjisi artacaktır. Valans elektronlarının bağlanma enerjisindeki değişim böylece X-ışını geçişlerini ve buna paralel olarak karakteristik X-ışını oranları, floresans verimleri ve Auger oranlarını etkileyecektir. Bundan başka K_{α} X-ışını pikleri 2p-1s seviyeleri arasındaki geçişlerden, K_{β} X-ışını pikleri ise 3d-1s seviyeleri arasındaki geçişlerden ortaya çıkar. Geçiş elementlerinde valans bandı 3d4s seviyelerinden oluşmaktadır ve alaşım etkisi en çok K_{β} geçişlerini etkilemektedir.

K kabuğu floresans parametreleri alaşımı oluşturan elementlerin konsantrasyonlarına ve oluşum şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Cengiz, 2011). Tablo 4` e göre Cu K_{α} deneysel ve teorik veriler arasındaki fark sırasıyla %9,4; %7,8; %27,6; %0,4; %16,7 ve %7,6 iken K_{β} verileri arasındaki fark ise %20,5; %12,9; %33,7; %4,9; %27,6 ve %1,8 olduğu görülürken, Tablo 5` e göre Ag K_{α} deneysel ve teorik veriler arasındaki fark sırasıyla %10,9; %18,4; %1,5; %11,3; %15,7 ve %11,8 iken K_{β} verileri arasındaki fark ise %21,5; %15,9; %20,5; %8; %13,6 ve %6,4 olduğu görülmektedir. Tablo 6` ya göre deneysel ve teorik değerler arasındaki fark sırasıyla %10,3; %14,3; %9,4; %9,6; %10,5 ve %5,3 iken Tablo 7` ye göre deneysel ve teorik değerler arasındaki fark sırasıyla %3,1; %4,1; %4,5; %1,6; %2,1 ve %1,3` tür.

Yapılan çalışma neticesinde numune konsantrasyonu ile X-ışını tesir kesiti ya da floresans verim arasında bir ilişki olmadığı görülmektedir. Bu durumun nedenlerinin; numune yüzeyindeki homojenlik, uyarıcı kaynağın numune üzerindeki tesir bölgesi, gümüş elementinin Bakır elementi K_{α} ışınları üzerindeki şiddetlendirme etkisinin neden oldukları düşünülmektedir. Bunlara ilaveten dedektör, numune, kaynak arası mesafe ve uyarıcı kaynağın numune yüzeyine geliş açıları gibi parametrelerden de kaynaklanan hatalar sonuçlara tesir etmektedir.

Ag-Cu alaşımlarının adi bir cam üzerine FBB yöntemiyle yapılması sonucunda altlık olarak kullanılan camdan gelen saçılma, soğurulma vb. etkiler, elde edilen sonuçlar üzerinde farklılıklara sebebiyet vermiştir.

Çalışmamızda tüm hatanın yaklaşık olarak olarak %6 olduğu hesaplandı. Bu hata, K floresans parametreleri hesaplamak için kullanılan parametrelerdeki belirsizliklerin kuadratik toplamına eşittir. Bu parametrelerin nerden geldiği ve miktarları Tablo 8`de verilmiştir.

Tablo 8. Deneysel hata kaynağı ve miktarları

Nicelik	Hatanın kaynağı	Hata (%)
$N(K_i) (i=\alpha, \beta)$	Pik Sayımı	≤ 3
$I_0 G \varepsilon_{K_i}$	İfadede bulunan parametrelerden gelen hata	≤ 2
β	Saçılan ve soğurulan foton enerjisinde soğurma d¼zeltme hatası	≤ 3
t	Numune ağırlığı ve kalınlığından gelen hatalar	≤ 2

5. KAYNAKLAR

- Altuner, E. E., 2013. Nano Kremlerin Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Aksoy, C., 2012. Bazı Elementler ve Bileşiklerin Floresans parametreleri ve Fe₂Se_{1-x}Te_x Süperiletken İnce Filmlerin Yapısal Analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Apaydın, A., 2015. Samsun-Artvin Arası Farklı Noktalardan Alınana Sediment Örneklerinde Element ve Radyoaktivite Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Apaydın, G., 2006. $65 \leq Z \leq 92$ Bölgesinde Bazı Elementlerin K ve L X-Işını Floresans Parametrelerinin Ölçülmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydın. M. F., 2009. İnsan Dişinin Sistemik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Aylıkçı Küp, N., Tıraşoğlu, E., Apaydın, G., Cengiz, E., Aylıkçı, V. ve Bakkaloğlu, F. Ö., 2009. Influence of alloying effect on X-ray fluorescence parameters of Co and Cu in CoCuAg alloy films, Chemical Physics Letters, 475, 135-142.
- Aylıkçı Küp, N., Tıraşoğlu, E., Karahan, H. İ., Aylıkçı, V., Cengiz, E ve Apaydın, G., 2009. Alloying effect on X-ray fluorescence parameters and radiative Auger ratios of Co and Zn in Zn_xCo_{1-x} alloys, Chemical Physics Letters, 484, 368-373.
- Aylıkçı Küp, N., Tıraşoğlu, E., Karahan, H. İ., Aylıkçı, V., Eskil, M., ve Cengiz, E., 2010. Alloying effect on K X-ray intensity ratios, K X-ray production cross-sections and radiative Auger ratios in superalloys constitute from Al, Ni and Mo elements, Chemical Physics Letters, 377, 100-108.
- Aylıkçı Küp, N., Aylıkçı, Kahoul, A., V., Tıraşoğlu, E., Karahan, H. İ. ve Cengiz, E., 2011. Effect of pH treatment on K-shell intensity ratios and K-shell x-ray production cross sections in ZnCo alloys, Physical Review A, 84, 042509.
- Beiser, A., 2008. Modern Fiziğin Kavramları, Akademi Yayın Hizmetleri, Ankara.
- Beling, J.K., Newton, J.O. ve Rose, B., 1952. The Decay of ²⁴¹Am, Physical Review, 87, 670-671.

- Berger, M. J., Hubbell, J. H., Seltzer, S. M., Coursey, J. S. ve Zucker, D. S., 1998. XCOM: Photon Cross Sections Database, NIST Standart Reference Database, 8, (XGAM)
- Broll, N., 1986. Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis, *X-Ray Spect.*, 15, 271-285.
- Brouwer, 2003. Theory of XRF, PANalytical B.V., P.71.
- Bütün, H., 2007. FexZn1-x İnce Filmlerinde K β /K α Şiddet Oranının Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Cengiz, E., 2011. 3. Sıra Geçiş Elementi Bileşiklerinin K ve L X-Işını Floresans Parametreleri, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Cengiz, E., Özkendir, M. O., Kaya, M., Tıraşoğlu, E., Karahan, H. İ., Kimura, S. ve Hajiri, T., 2014. Alloying Effect on K-shell Fluorescence Parameters of Porous NiTi shape Memory Alloys, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 192, 55-60.
- Çelik, A., 2006. EDXRF Tekniğini Kullanarak CuInSe2 İnce Filminin Kalınlık Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Debertin, K. ve Helmer, R. G., 1988. Gamma and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors, Elsevier Science Publishes, New York, U.S.A., 1-100.
- Doğan, M., 2012. Zn ve Cr Elementlerinin Oluşturduğu Alaşımların X-Işını Floresans Parametreleri Üzerine Alaşım Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Ertuğral, B., 2004. K Tabakasından L Tabakasına Boşluk Geçiş İhtimaliyetinin Ölçülmesi ve Hesaplanması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kaya, N., 2006. $69 \leq Z \leq 76$ Atom Numaralı Elementlerin K Tabakası Soğurma-Sıçrama Faktörlerinin Tayini, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Krause, M. O., 1979. Atomic Radiative and Radiotensionless Yields for K and L Shells, J. Phys. Chem. Ref. Data, 8, 307-327.
- Lutz, G., 1999. Semiconductor Radiation Detectors Springer, London, Germany.
- Manso, M., Corsta, M. ve Carvalho, M. L., 2007. From Papyrus to Paper: Elemental Characterization by X-ray Fluorescence Spectrometry, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 580, 732-734.

- Ölmez, H. ve Yılmaz, V. T., 2010. Anorganik Kimya Temel Kavramlar, MKM Yayıncılık, Bursa.
- Petrucci, R. H. ve Harwood, W. S., 1994. Genel Kimya, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Pious, J. K., Balakrishna, K. M., Lingappa, N. ve Siddappa, K., 1992. Total K Fluorescence Yields for Fe, Cu, Zn, Ge and Mo, Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, 25, 1155-1160
- Sarıtaş, N., 2014. EDXRF Yöntemi ile Bazı Elementlerin L_{III} Alt Tabakası Soğurma Sıçrama Faktörü ve Sıçrama Oranının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Scofield, J. H., 1973. Theoretical Photoionization Cross Sections from 1 to 1500 keV, Lawrence Livermore Laboratory (UCRL), No: 513626.
- Şahin, Y., 2013. X-Işını Spektroskopisi, Çimke Yayınları, Konya.
- Şirin, M., 2012. ZnO İnce Film Örneklerinde Optik Ve Xrf Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Rize Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- Tsoufanidis, N., 1995. Measurement and Detection of Radiation, Taylor&Francis, London, U.K., 157-158.
- Tunalı, N. K. ve Özkar, S., 2005. Anorganik Kimya, 5. Baskı, Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti., Ankara.
- URL-1, <http://w3.balikesir.edu.tr/~hnamli/oya/ir/irspk2.ppt> Spektroskopik Analiz Yöntemleri. 17 Kasım 2015.
- URL-2, www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument 11 Kasım 2015.
- URL-3, http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/30390517/ince_film01.ppt12 Kasım 2015.
- URL-4, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Ala%C5%9F%C4%B1m>. 10 Kasım 2015.
- URL-5, http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/30390581/optik_ince_film01.ppt12 Kasım 2015.
- URL-6, http://ismek.ibb.gov.tr/ismek-el-sanatları-kursları/webedition/file/2013_hboprogram_modülleri/alasim_metallerivekimyasallar.pdf. 15 Kasım 2015.
- URL-7, <http://www.dentistry.ankara.edu.tr/ders/odr-cp-09.doc>. 15 Kasım 2015.
- URL-8, <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf5.html>. 20 Kasım 2015.
- URL-9, http://www.bayar.edu.tr/besergil/15_BOLUM_12.pdf. 22 Kasım 2015.

- URL-10, <http://www.neyfa.com/tag/elektromanyetik-spektrum-nedir/>. 26 Kasım 2015.
- URL-11, <http://teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/periyodik/periodic/periodic/cu.html>. 5 Kasım 2015.
- URL-12, <http://www.nist.gov/data/PDFfiles/jpcrd52.pdf>. 8 Kasım 2015.
- URL-13, <http://fbe.erciyes.edu.tr/MKA-2005/Dergi/2012-vol28-no-/MAKALE5/FULL.pdf>. 5 Kasım 2015
- URL-14, www.britannica.com/EBchecked/topic/377591/metallic-bond Metallic Bond. 5 Kasım 2008.
- URL-15, www.saskschools.ca/curr_content/chem20/metals/strength.html The Strength of a Metallic Bond. 6 Kasım 2008.
- URL-16, www.nationmaster.com/encyclopedia/Effective-nuclear-charge Effective Nuclear Charge. 6 Kasım 2008.
- Zeren, A., 1991. Elektrokimya, Mimoza Yayınları, Konya.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Muğla Merkez'de doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Muğla Merkez'de tamamladı. 2004-2007 yılları arasında yaz aylarında Pelin Kuyumculukta çalıştı. 2006 yılında Muğla Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fatih Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği bölümünü kazandı. 2012 yılında bu bölümden mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans eğitimine başladı. Lisansüstü eğitimine devam eden Kazım KARABULUT aynı zamanda Fatih Eğitim Fakültesi İlköğretim Matematik Öğretmenliği Lisans programına kayıtlı olup orta düzeyde İngilizce bilmektedir.