

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GaAs ve Si YARI İLETKENLERİNİN ETKİN ATOM NUMARASI ve
KÜTLE SOĞURMA KATSAYISININ YÖNELİME BAĞLI
ÖLÇÜMÜ

BURAK CERAH

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. MEHMET ŞAHİN
TEZ JÜRİLERİ
PROF. DR. MUHAMMET YILDIRIM
DOÇ. DR. SONGÜL AKBULUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE-2016
Her Hakkı Saklıdır

T.C.

RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GaAs VE Si YARI İLETKENİNİN ETKİN ATOM NUMARASI VE KÜTLE
SOĞURMA KATSAYISININ YÖNELİME BAĞLI ÖLÇÜMÜ**

Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN'in danışmanlığında Burak CERAH tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 12.05.2016 tarihinde Fizik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Ünvanı Adı Soyadı

İmzası

Başkan

: Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM

Üye

: Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN

Üye

: Doç. Dr. Songül AKBULUT


Prof. Dr. Selami SAŞMAZ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma boyunca zamanını ve hoşgörüsünü hiçbir zaman benden esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan danışman hocam sayın Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Her türlü laboratuvar imkanını kullanmama müsaade eden Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fizik Bölümü hocalarına teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi her türlü konuda her zaman yanımda olan başta ailem olmak üzere Serkan Selçuk MERCAN, İsmail YILDIRIM, Hakan GENCER, Muhammet DEMİRCİ, Ali PEKER ve tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Burak CERAH

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan GaAs ve Si Yarı İletkenlerinin Etkin Atom Numarası ve Kütle Soğurma Katsayısının Yönelime Bağlı Ölçümü başlıklı bu tezin, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim.
12/05/2016

İmza

Burak CERAH

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

GaAs ve Si YARI İLETKENLERİNİN ETKİN ATOM NUMARASI ve KÜTLE SOĞURMA KATSAYISININ YÖNELİME BAĞLI ÖLÇÜMÜ

Burak CERAH

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN**

Bu çalışmada özellikle teknolojide çok kullanılan yarı iletkenlerden olan GaAs ve Si kristallerinin kütle soğurma katsayısı, toplam tesir kesiti ve elektron yoğunlukları ölçülmüştür. Özellikle GaAs kristali için etkin atom numarasında deney ve teori arasında bir farkın olduğu görülmüştür. Bu fark küçük gözüksede uygulamada önemlidir.

2016, 32 Sayfa

Anahtar Kelimeler: GaAs, Si, Yarı iletkenler

ABSTRACT

GaAs and Si SEMICONDUCTORS EFFECTIVE ATOMIC NUMBER and ORIENTATION DEPENDING ON THE MEASUREMENT OF THE MASS ABSORPTION COEFFICIENT

Burak CERAH

**Recep Tayyip Erdoğan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics**

Master Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN

In this study, the mass absorption coefficient and the total cross section of the electron density were measured of GaAs and Si semiconductors, materials which are of technological importance. A difference was determined between theory and experimental values, especially for GaAs crystals and its effective atomic number. Although this difference was small, it has important implications in practice.

2016, 32 Pages

Keywords: GaAs, Si, semiconductors

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
TABLolar DİZİNİ.....	VIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kristal Yapı	4
1.2.1. Kristal Kusurları	4
1.3. Yarı İletkenler	6
1.3.1. Katkılı Yarı İletkenler	7
1.4. Düzlemsel ve Doğrusal Atom Yoğunlukları Nedir ve Nasıl Hesaplanır?.....	10
1.5. X Işınları Nedir?.....	10
1.5.1. Karakteristik X Işınları.....	11
1.5.2. Sürekli X Işınları	12
1.6. X Işınlarının Madde İle Etkileşimi.....	12
1.6.1. Fotoelektrik Olay.....	12
1.6.2. Compton Saçılması	13
1.6.3. Çift Oluşum	15
1.7. Tesir Kesiti	17
1.8. Kütle Soğurma Katsayısı Nedir ve Nasıl Hesaplanır?	18
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	20
2.1. Materyal	20
2.2. Yöntem	20
3. BULGULAR	23
3.1. Analiz	23
3.2. Bulgular	23
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	26

5. ÖNERİLER.....	27
KAYNAKLAR	28
ÖZGEÇMİŞ	32



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Üç örgü tipi; basit kübik yapı, cisim merkezli kübik yapı ve yüzey merkezli kübik yapı	4
Şekil 2. İki boyutlu örgüde boşluk kusuru ve arayer kusuru	5
Şekil 3. Dislokasyonun üç boyutlu gösterimi	6
Şekil 4. Silisyum kristal örgüsü	8
Şekil 5. Silisyum (Si) Fosfor (P) katkılamanın gösterimi. Oluşan yapı n-tipi yarı iletkendir.	9
Şekil 6. Silisyuma (Si) Bor (B) atomu katkılamanın gösterimi. Oluşan yapı p-tipi yarı iletkendir.	9
Şekil 7. Elektromanyetik Spektrum	11
Şekil 8. Fotoelektrik Olay	12
Şekil 9. Compton saçılması	14
Şekil 10. Çift Oluşum	16
Şekil 11. Deneysel elektron-pozitron çifti oluşması	17
Şekil 12. Küçük bir dx kalınlığında absorblanan dI ışın demeti	18
Şekil 13. Deney geometrisinin üstten görünümü	21
Şekil 14. Silisyum birim hücreleri ve yönelimleri	24
Şekil 15. Si numunesi için 59,5 keV' de soğurma spektrum örneği	25

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Kütle soğurma katsayıları ve etkin atom numaraları 23

Tablo 2. Silisyum kristalinin yönelime bağlı kütle soğurma katsayıları..... 23



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Atomik ağırlık
c	Işık hızı
d	Birim alan başına düşen kütle miktarı
e	Elektronun yükü
E_k	Kinetik enerji
h	Planck sabiti
I	Soğurulup geçen fotonun şiddeti
I_0	Gelen fotonun şiddeti
m	Kütle
m_0	Elektronun durgun kütlesi
N_A	Avagadro sayısı
P	Sürekli ışımaya ihtimali
q	Elektriksel yük
V	Potansiyel
v	Hız
w_i	Ağırlık kesiri
x	Kalınlık
Z	Atom numarası
Z_{et}	Etkin atom numarası
α	İnce yapı sabiti
λ	Dalga boyu
μ	Lineer soğurma katsayısı
μ/ρ	Kütle soğurma katsayısı
ρ	Yoğunluk
σ	Perdeleme sabiti
$\sigma_{t,a}$	Toplam atomik tesir kesiti
$\sigma_{t,m}$	Toplam moleküler tesir kesiti
ϕ	Elektronun bağlanma enerjisi
ν	Frekans

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Katı hal fiziğinin 20. Yüzyıl teknolojisine getirdiği en büyük katkılardan biri yarı iletkenlerin elektronikte kullanılmasıdır. Elektronikte kullanılan yarı iletkenler; her türlü alanda uygulama imkanına sahip olmuştur. Yarı iletkenler; özellikle entegre devre elemanları, nükleer tıp, radyasyon dedektörleri, güneş enerjisi pilleri, (fotovoltaik uygulamalar) gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar. Kullanılacak olan yarı iletken malzemelerin nükleer reaktörler, nükleer silahlar, uydular, plazma fiziği, dozimetre ve astronomi gibi birçok uygulama alanında soğurma katsayılarının tam olarak bilinmesi gerekir. Malzemenin kalınlığının kontrol edilmesi ve belirlenmesi soğurma katsayıları ile hesaplanır. Uzay araştırmalarında nükleer reaktörlerde kullanılan yarı iletkenler radyasyona maruz kalabilirler. Bu radyasyon yarı iletkenin karakteristiklerini değiştirebilir. Bu değişiklikler çoğunlukla istenmeyen sonuçlar doğurur. Yarı iletkenlerin radyasyonla etkileşimlerini incelemek ve yarı iletkenlerde ne gibi değişikliklere yol açtığını bilmek çok önemlidir.

1990' dan sonra yarı iletkenlerin ve çeşitli x-ışını soğurma katsayılarının ölçümü artan bir ilgi ile devam etmektedir. Bu konu ile ilgili literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Silikonun x-ışını kütle soğurma katsayıları Tran ve ark. tarafından deneysel ve teorik sonuçlarla karşılaştırıldı. 5-50 keV enerjileri arasında önceki deneysel ölçümlerle ve teorik hesaplamalarla XERT (x-ray extended-range technique) ile elde edilen silikonun yeni deneysel toplam x-ışını kütle soğurma katsayıları karşılaştırılmıştır (Tran vd., 2003). Farklı enerjilerde holmiyum ile katkılanmış InSe ve katkılanmamış InSe yarı iletkeninin kütle soğurma katsayıları ölçülmüştür (Erzenelioğlu vd., 2005). BiPbSrCaCuO süper iletkeni için Çevik ve Baltaş farklı enerjilerde elektron yoğunluğu ve kütle soğurma katsayılarını deneysel olarak ölçüp teorik değerler ile karşılaştırmışlardır (Çevik ve Baltaş, 2007). Bazı doğal kristallerin kütle soğurma katsayıları ve etkin atom numaraları hesaplanmıştır. Quartz kristali elektronik cihazlarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Han vd., 2009). Bazı polimerler için kütle soğurma katsayısı dozimetrik potansiyel uygulamalar, tıbbi fizik için ise Monte Carlo' nun MCNP-4C kodlu simülasyonu kullanılarak gama ışınının farklı enerji

değerleri için hesaplanmıştır (Singh vd., 2015). Kolimatör çapları 2 ile 10 mm arasında değişen farklı dedektörlerin gama ışını enerjileri 59,5, 122, 276, 302, 356, 383 ve 662 keV için Sc, Ni ve W' nin deneysel olarak kütle soğurma katsayısı hesaplanmıştır (Çelik vd., 2012). Ti, V, Fe, Co, Ni, Cu ve Zn' in K_{α} ve K_{β} tabakalarının floresans verimleri K tabakasının $3,8 \leq E \leq 11$ keV aralığında emme ve sıçrama oranı ile kütle soğurma katsayısı için yeni ölçümler yapılmıştır (Menesguen vd., 2010). NaI sintilasyon dedektöründe kullanılan foton enerjileri 80,1, 302,9, 356,0, 661,7 ve 1250,0 keV' de PbO, kolemanit, uleksit ve tinkal için toplam kütle soğurma katsayısı hesaplanmıştır (Un vd., 2011). Kütle soğurma katsayısı; tıbbi fizik için seçilen bazı ilgili organik bileşikler Triaflo BN, Triaflo TN, Kapton ve Melineks bir kolimatör kullanılarak x-ışınının yaklaşık olarak 13 keV ile 40 keV enerji aralığında ölçülmüştür. Değişken enerjili x-ışını kaynağı ince Be pencerele yüksek saflıkta germanyum dedektörü tarafından sağlanmıştır (Angelone vd., 2001). Kütle soğurma katsayısı foton enerjileri 5,947, 6,460 ve 14,413 keV olan mono ve disakkaritler için ölçülmüştür. Ölçülen değerler teorik hesaplar ile karşılaştırılmıştır. Deneysel ölçüm değerleri ile teorik değerler arasındaki farkın % 5 olduğu gözlemlenmiştir (Chitrakha vd., 2004). Kütle soğurma katsayısı altın, bronz ve suyun matrislerinin saflığını bozan çeşitli ağır metallerin (Cu, Mn, Pb ve Zn) Baryum- 133 ve Amerikyum- 241' in 1 ve 100 keV enerji kaynaklı gelen fotonlar için hesaplanmıştır (Esfandiari vd., 2014). Alternatif bir yaklaşım olarak; kütle soğurma katsayısı malzemelerin bilinmeyen kalınlık ve yoğunluk ölçülerinin bulunmasında normalize edilerek kullanılmıştır (Kurudirek vd., 2014). Gama ışınlarının; kütle soğurma katsayısı, yarım değer tabakası, ortalama serbest yol, etkin atom numarası ve elektron yoğunluğu $x\text{PbO} - (50-x)$ ve $\text{BaO } B_2O_3$ cam sistemlerinde gama ışınının 0,356, 0,662, 1,173 ve 1,33 MeV foton enerjilerinde ölçülmüştür (Shams vd., 2015).

Bu tezin amacı; teknolojiye yaygın olarak kullanılan Si ve GaAs kristallerinin enerjiye bağlı kütle soğurma katsayılarını, GaAs kristalinin etkin kütle ve kristal yönelimine bağlı kütle soğurma katsayılarını ölçmektir. Kütle soğurma katsayılarının kristal yönelimine bağlı olarak değişimini ölçerek kristal yönelimini belirleyen XRD ye alternatif bir ölçme tekniği geliştirmek amaçlanmıştır.

Fotonların soğurulmasında soğurucu ortamın kalınlığının yanı sıra yoğunluğu da soğurmanın bir ölçüsüdür. Örneğin sıvı cıvanın 1 mm uzunluğunda x-ışınının soğurulması, buhar halindeki cıvadaki (aynı mesafe için) soğurulmadan çok daha büyüktür. Bu nedenle soğurucu maddeyi onun yoğunluğundan bağımsız olan kütle soğurma katsayısı ile belirtmek daha faydalı olur.

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho)\rho \cdot x} \quad (1)$$

şeklinde olur. Burada μ/ρ kütle soğurma katsayısı (cm^2/g) olarak adlandırılırken, ρx ifadesi ise soğurucunun d (gr/cm^2) yüzeyce yoğunluğudur. Bu ifadeleri denklem (1)'de yerine yazarsak,

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho) \cdot d} \quad (2)$$

eşitliği elde edilir. Denklem (2)'yi yeniden düzenlersek, kütle soğurma katsayısı için,

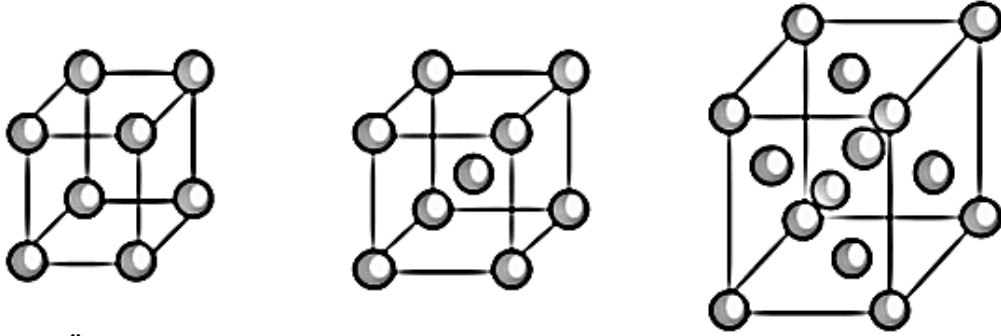
$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (3)$$

ifadesi ni elde etmiş oluruz. Çeşitli deneysel düzenlemeler ve tekniklerden (μ/ρ) elde edilebilir. Özellikle son zamanlarda kristolografide ve dalgaboyu değişiminde, Hubbell ve Creagh tarafından uygulandı ve değerlendirildi (Cregah ve Hubbell, 1987, Cregah ve Hubbell, 1990).

Yarı iletkenlerin kütle soğurma katsayılarının ölçümü, uzay fiziğinde, nükleer fizikte, dozimetri, katıhal fiziğinde kozmik ışın çalışmalarında jeolojide, plazma fiziğinde ve pekçok diğer radyasyon uygulamalarında önemlidir. Basitçe kütle soğurma katsayısı materyal kalınlığını belirleme ve kontrol etmek için de kullanılır. Deneysel ölçümler x-ışınlarının bulunduğu zamanlardan beri yapılmaktadır.

1.2. Kristal Yapı

Yarı iletkenler genel olarak kristal şeklindeki yapılara sahiptirler. Kristal yapı atomların, moleküllerin veya iyonların belli bir periyodikliğe göre birbirini tekrarlayarak oluşturdukları yapılardır. Örgü; atomların kristal yapı içerisinde birbirini tekrarlayan yapı olarak adlandırılır ve bu örgüdeki kesişim noktalarına örgü noktası adı verilir. Bu yapıyı oluşturan en küçük birime ise birim hücre denir. Birim hücre kristal yapının bütün özelliklerini gösteren en küçük yapı birimidir. En basit birim hücre, köşelerinde birer atom bulduran bir küpün oluşturduğu basit kübik yapıdır (Şekil 1.). Köşelerine ek olarak küpün merkezinde bir atomun bulunduğu yapılara ise cisim merkezli kübik yapı denir (Şekil 1.). Küpün köşelerine ek olarak yüzeylerinde de birer atomun bulunduğu yapılara yüzey merkezli kübik yapı denir (Şekil 1.). Bu hücreler yardımı ile birim hacimde ne kadar atom bulunduğu, yapıların doluluk oranları hesaplanabilir.

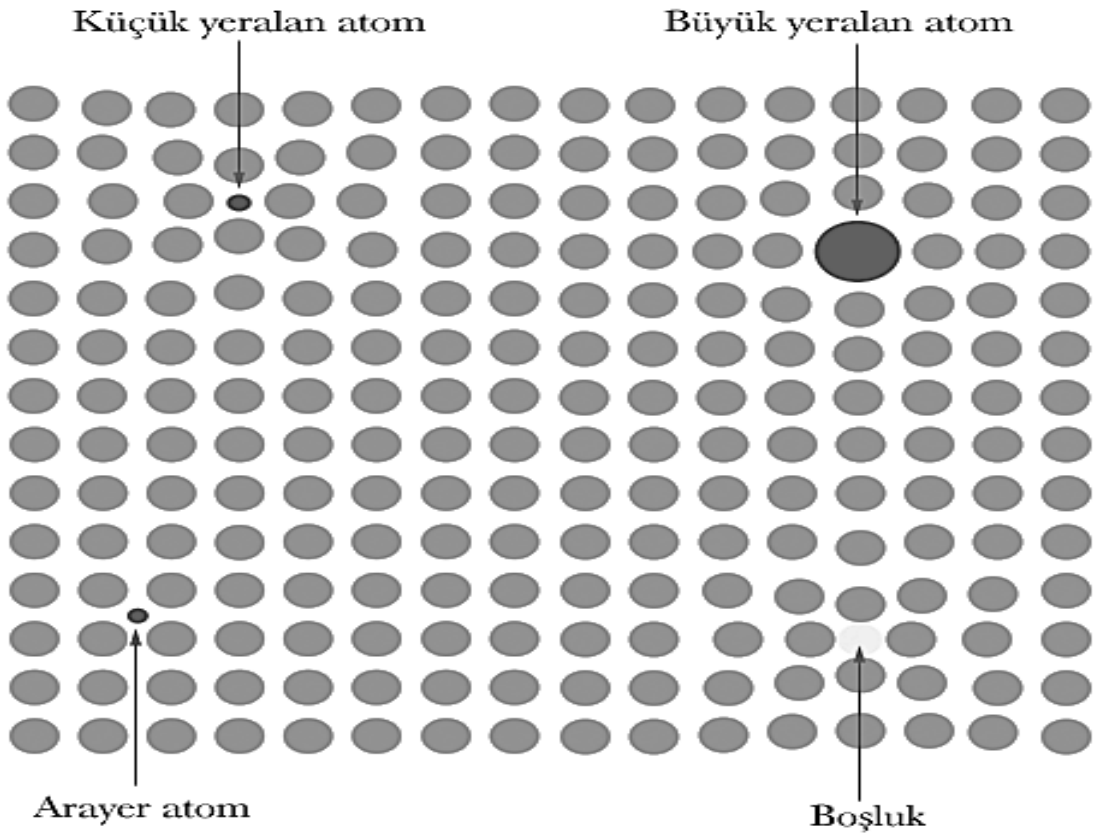


Şekil 1. Üç örgü tipi; basit kübik yapı, cisim merkezli kübik yapı ve yüzey merkezli kübik yapı

1.2.1. Kristal Kusurları

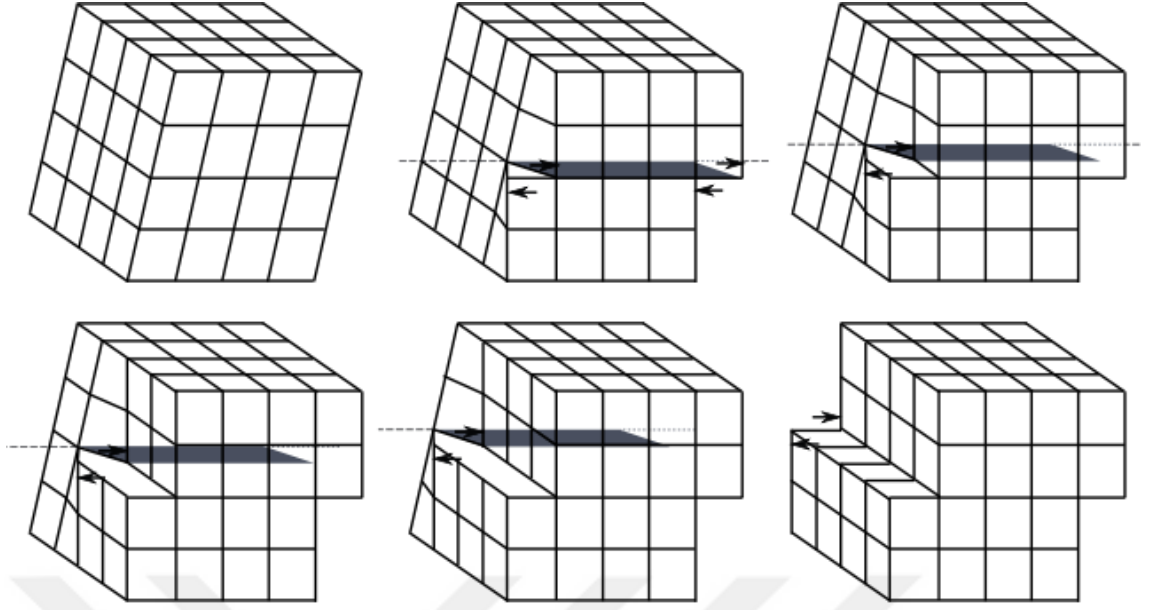
Kullandığımız tüm kristal kelimeleri kusursuz yapılar için kullandık. Ancak bir yarı iletken mutlak sıcaklıkta mükemmel yapıda bulunabilir. Atomlar çok çok düşük sıcaklıklarda bile titreşim enerjisine sahiptirler. Sahip oldukları bu enerjiden ötürü örgü noktalarında titreşmeler olur ve bu da kristal yapıyı yani atomların birbirleri arasındaki mesafeyi bozabilir. Atomlar sahip oldukları bu enerjiden dolayı buldukları örgü noktasından çıkabilirler. Bu durum kristal içerisinde istenmeyen katkı ya da eksiklik olarak adlandırılır. Bu istenmeyen katkı ya da eksikliğe kristal kusur adı verilir. Kristal

yapıda karşımıza çıkan en basit kusur noktasal kusurlardır. Örgüde bir atomun bulunması gereken yerin boş olması durumuna ise boşluk kusuru adı verilir (Şekil 2.). Atomun örgü atomlarının arasında yer almasına ise arayer kusuru denir (Şekil 2.). Kristal yapıda yabancı veya kirlilik atomları bulunabilir. Yer değiştirme (substitutional) kusuru örgü noktasındaki bir atomun yerine kirlilik atomları yerleşirse oluşur. Ara yer kusuru ise kirlilik atomunun örgü atomlarının arasına yerleşmesi durumunda ortaya çıkar (Neamen, 2007). Bu noktasal kusurlar yarı iletken malzemenin elektriksel özelliklerini değiştirirler.



Şekil 2. İki boyutlu örgüde boşluk kusuru ve arayer kusuru

Kristal yapılarda kusurlar yalnızca bir atom boyutundan oluşmayabilir. Birden fazla atomun çizgi halinde yerinden çıktığı durumlara çizgisel kusurlar (dislokasyon) denir (Şekil 3.). Yarı iletkenin elektriksel özelliklerini negatif yönde etkileyen bu kusurlar iki boyutlu ya da üç boyutlu kusurlar olabilirler. Ayrıca bu kusurların aşırı konsantrasyonu yarı iletkenlerin yasak enerji aralıklarını etkilerler. Buna Burstein-Moss etkisi denir (1954).



Şekil 3. Dislokasyonun üç boyutlu gösterimi

1.3. Yarı İletkenler

Yarı iletkenler; iletkenlik ve valans bandı arasındaki enerji aralığı $1eV$ mertebesinde olan maddelerdir. $T = 0K$ ' de bütün elektronlar en alt seviyeden başlamak üzere tüm seviyeleri doldurur. Dolu en üst seviyenin enerjisi fermi enerjisi olup, bu seviyenin üstündeki durumlar boştur. Fermi enerjisi enerji aralığının hemen hemen ortasındadır. Bundan dolayı $E > 0$ için elektronlar ısısal uyarımlarla rahatlıkla iletim bandına geçebilir. Bu özellik yarı iletkenlerin elektrik alanda yoğun olarak kullanılmasını sağlamıştır.

Yarı iletkenleri metallere ayıran en önemli özelliklerden birisi yarı iletkenlerde akım elektronların yanında pozitif yük taşıyıcılar tarafından da iletilir. Bir elektron değerlik bandından iletim bandına ısısal uyarma ve ya başka yollarla geçtiğinde geride bir boşluk kalır. Bu geride kalan boş yer valans bandında bir pozitif yük gibi gözüktür. Değerlik bandındaki bir elektron bu boşluğu doldurmak için hareket ettiğinde değerlik bandında bir akım oluşur. Saf bir kristalde eşit sayıda iletim elektronu ve değerlik elektronu vardır. Böyle bir kristalde elektrik alan uygulandığında elektronlar değerlik alana zıt yönde hareket ederler.

Yarı iletkenler genel olarak iki gruba ayrılabilirler. İlk olarak saf yarı iletkenler yani elemental olanlar ikinci olarak bileşik yarı iletkenler olarak ayrılabilirler. Elemental yarı iletkenler periyodik tablonun 4. grubunda bulunurlar. Bu yarı iletkenlerden en iyi bilinenleri ve en çok kullanılanları silisyum ve germanyumdur. Bileşik yarıiletkenler ise periyodik tablonun 3. ve 5. grup elementlerin bileşimi veya 2. ve 6. grup elementlerinin bileşimi ile oluşanlarıdır. En iyi bilinen bileşik yarı iletkenler galyumarsenik, indiyumselen, alüminyumarseniktir.

Silisyum ve germanyum yarı iletkenleri elektronik devre elemanlarında çok yaygın bir şekilde kullanılırlar. Ancak devre elemanlarında kullanılan silisyum ve germanyum yarı iletkenleri devre elemanları üretiminde saf olarak kullanılmazlar. Bu yarı iletkenler katkılama işlemi yapılarak kullanılırlar.

1.3.1. Katkılı Yarı İletkenler

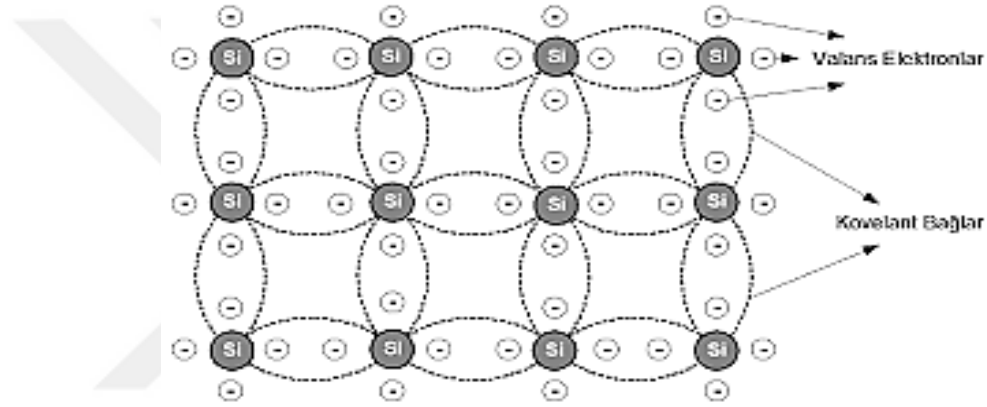
Yarı iletken malzemeler yabancı atomlardan etkilendiğinde bant yapıları değişir. Bu yabancı atom ekleme işlemine aşılama denir. Aşılama işlemine örnek olarak silisyuma çok az miktarda arsenik atomu aşıladığımızı düşünelim. Arsenik atomu silisyum ile kovalent bağ yapar fakat bir elektron boşta kalır. Bu elektronun bağlanma enerjisi oldukça küçüktür. Bu enerji seviyesi iletkenlik bandının hemen altında bir enerji seviyesine sahiptir. Böylece boş değerlik elektronuna sahip olan arsenik atomu yapıya bir elektron verir. Buna verici atom denir. Bu verici atomun yapıya sağladığı elektronun enerjisi iletim bandının enerjisinden yaklaşık $0,05eV$ küçük olduğundan asıl uyarma ile rahatlıkla iletim bandına geçer. Bu şekilde aşılama yapılan yarıiletkenlere n-tipi yarı iletkenler denir. Bunun denmesin sebebi artık bu yapılarda akımı oluşturan yüklerin çoğunluğu elektronlarca sağlanmasıdır.

Yarı iletken; indiyum ve alüminyum gibi üç valans elektronuna sahip atomlarla aşılırsa üç elektron kovalent bağa katılır. Silisyumun bir elektronu bağ yapmadan kalır. Bu elektron eksikliğine bir delik olarak bakıldığında bu deliğin enerjisi değerlik bandının hemen üzerindedir. Oda sıcaklığında değerlik bandındaki elektronlar ısı enerjisi ile uyarılarak bu delikleri doldurabilirler. Bu şekilde geride delikler bırakılırlar. Böylece valans bandından bir elektron almış olur. Bu yüzden bunlara alıcı denir.

Örneklere Si – Si bağından bir elektron aldığında silisyumun valans bandında bir boşluk kalır. Bu pozitif boşluk iletkenliğe katılır. Bor atomuna alıcı denir. 0 kelvinde boşluk bağlıdır. Ancak sıcaklık arttıkça serbest duruma geçer.

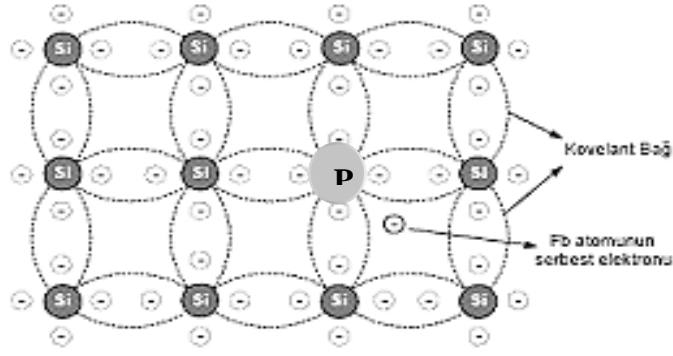
1.3.1.1. n- tipi Yarı İletkenler

Silisyum atomunun son yörüngesinde dört tane elektronu bulunur. Bu dört elektron silisyumun dört bağ yapmasını sağlar. Şekil 4’ te bir silisyum kristalinin örgüsünü görmekteyiz. Her bir silisyum atomunun dört bağ yaptığına dikkat edelim.



Şekil 4. Silisyum kristal örgüsü

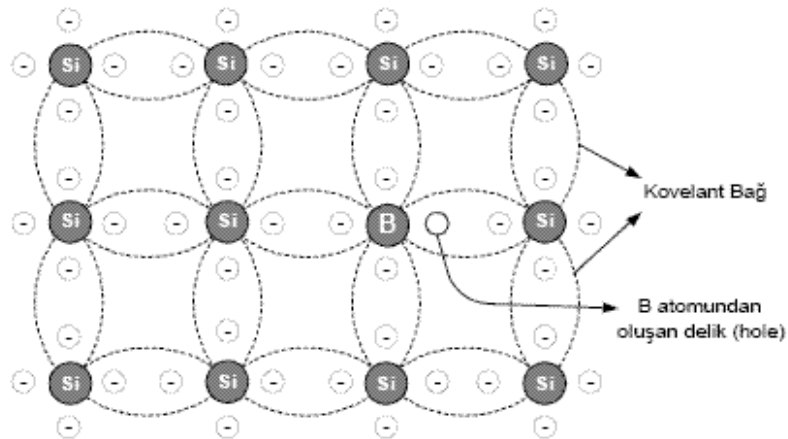
Şimdi bu örgüdeki silisyum atomlarının birinin yerine 5. grup elementi olan fosforu (P) yerleştirdiğimizi düşünelim (Şekil 5). Son yörüngesinde beş elektronu bulunan P nin 4 elektronu silisyum ile bağ yapar ve bir elektron boşta kalır. Boşta kalan bu elektron atoma çok zayıf bağlıdır ve küçük bir elektrik alanla veya başka bir dış etki ile yapıdan koparak serbest hale geçer. Yarı iletken içerisinde serbestçe dolaşarak iletkenliğe katkıda bulunur. Bu şekilde yapıya yük taşıyıcı olarak elektron katılarak elde edilen yarı iletkene n-tipi yarı iletken denir. Buradaki n negatif yüklenmiş anlamında kullanılır. Bu şekilde kristal yapıya katılan atoma donör kirlilik atomu denir.



Şekil 5. Silisyum (Si) Fosfor (P) katkılamanın gösterimi. Oluşan yapı n-tipi yarı iletkenidir.

1.3.1.2. p - tipi Yarı İletkenler

n-tipi yarı iletken için silisyuma 5. grup elementi olan bir atom eklemiştik. Şimdiyse silisyuma 3. grup elementi olan boru (B) ekleyelim. B' nin son yörüngesinde üç elektronu olduğu için silisyumun üç elektronuyla bağ yapar ve bir kovalent bağ pozisyonu boş kalır (Şekil 6). Bu boşluk yüksek derecede elektron yakalamaya meyilli olduğundan valans bandından bir elektronu yakalayabilir. Bu durumda valans bandında pozitif bir boşluk meydana gelir ve valans bandında serbestçe dolaşabilir. Oluşan bu yapıya boşluk anlamına gelen hole adı verilir. Bu şekilde oluşturulan iletkene p-tipi yarı iletken denir. Uygulanan bir elektrik alan ile valans bandı içerisindeki bu boşluk başka bir elektron tarafından doldurulur ve bu da yarı iletken içerisinde bir akım oluşmasına sebep olur. Bu yarı iletkenin elektriksel özelliklerini boşluklar belirlemiş olur.



Şekil 6. Silisyuma (Si) Bor (B) atomu katkılamanın gösterimi. Oluşan yapı p-tipi yarı iletkenidir.

1.4. Düzlemsel ve Doğrusal Atom Yoğunlukları Nedir ve Nasıl Hesaplanır?

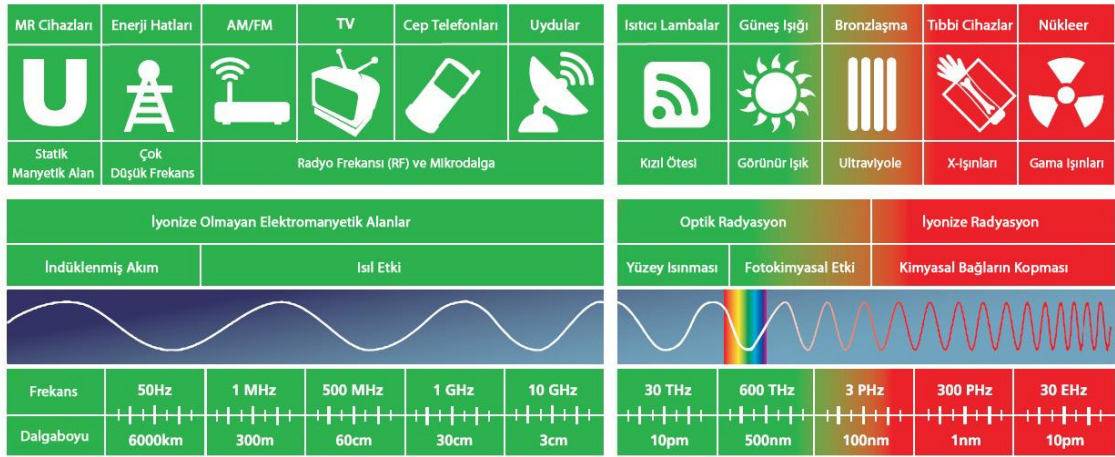
Kristal yapılar içerisindeki vektörleri sadece uzunlukları ve doğrultuları üzerinden değil aynı zamanda yoğunlukları üzerinden de değerlendirebiliyoruz. Doğrusal atom yoğunluğu adını verdiğimiz bir değerlendirme bu. En basit ifade şekliyle doğrusal yoğunluk bir vektörün atom merkezlerinden geçen kısmının uzunluğu vektörün toplam uzunluğuna olan oranını ifade ediyor. Bu şu anlama geliyor. Bir doğrultu üzerinde iki tane atom yer aldığını varsayalım. Bu iki atomun yarı çapları R olsun. İki atomun merkezlerinin birbirlerine olan uzunluğunda a dersek doğrusal yoğunluk; $2R$ ' nin a uzunluğuna olan oranı ile hesaplanır.

Doğrusal atom yoğunluğuna benzer şekilde düzlemlerde yoğunlukları üzerinden değerlendirebiliyoruz. Düzlemsel atom yoğunluğu dediğimiz zaman bir düzlem üzerindeki alanın atomlar tarafından kaplanan kısmını kastediyoruz. Diğer bir deyişle bir düzlemin atomlar tarafından kaplanan alanının düzlemin toplam alanına oranıdır.

1.5. X Işımları Nedir?

X-ışınları yüksek enerjili elektronların yavaşlatılması veya atomların iç yörüngelerindeki elektron geçişleri ile meydana gelen dalga boyları $0,1-100 \text{ \AA}$ arasında değişen elektromanyetik dalgalardır. Dalga boyları küçük, girginlik dereceleri fazla olan X-ışınına sert X-ışını, dalga boyları büyük, girginlik dereceleri az olan X-ışınına yumuşak X-ışını denir. Kristalografide $0,5-2,5 \text{ \AA}$ (yumuşak) radyolojide $0,5-1 \text{ \AA}$ (sert) dalga boylarındaki X-ışınları kullanılır. X-ışınlarının frekansı görünür ışığın frekansından ortalama 1000 defa daha büyüktür ve X-ışını fotonu (parçacığı) görülen ışığın fotonundan daha yüksek enerjiye sahiptir. Bu ışınları belirleyen iki özellik kısa dalga boyu ve yüksek enerjiye sahip olmalarıdır.

X-ışınları hem dalga hem de tanecik özelliği gösterirler. Dolayısıyla çift karakterlidirler. Fotoelektrik soğurulma, Compton saçılması, gaz iyonizasyonu ve sintilasyon tanecik özellikleri; hız, polarizasyon ve Rayleigh saçılması dalga özellikleridir. Tanecik karakteri gösteren elektromanyetik radyasyona foton denir.



Şekil 7. Elektromanyetik Spektrum

X-ışınları doğal ve yapay olmak üzere iki şekilde meydana gelirler. Doğal X-ışınları; atom çekirdeği tarafından K enerji kabuğundan elektron yakalanması, alfa bozunumu, iç dönüşüm ve beta bozunumu olaylarıyla meydana gelir. Dışarıdan gelen veya gönderilen yüksek enerjili elektronlar gönderildikleri atom üzerindeki ilk halkalarından elektron koparılır. Daha yüksek seviyedeki elektronlar atomdan kopan bu elektronun yerine atlayarak kopan elektronun yerindeki boşluğu doldururlar. Bu sırada ortaya çıkan enerji fazlalığı X-ışını şeklinde dışarı salınır. Çekirdek içerisinde bulunan protonlardan bir tanesi hareketi esnasında atomun ilk halkalarındaki elektronu yakalar ve nötrleşir. Yakalanan bu elektronun halkasındaki boşalan yere diğer bir halkadan bir elektron atlamasıyla X-ışını meydana gelebilir. Yapay X-ışınları; maddenin elektron, proton, parçacıkları veya iyonları gibi hızlandırılmış parçacıklarla etkileşmesinden ya da X-ışını tüpünden veya başka bir uygun radyoaktif kaynağından çıkan fotonlarla etkileşmesinden meydana gelir. Maddenin, fotonlarla etkileşmesinden karakteristik X-ışınları, yüklü parçacıklarla etkileşmesinden hem karakteristik hem de sürekli X-ışınları elde edilir.

1.5.1. Karakteristik X Işınları

Hedef atom üzerine gönderilen elektronların, hedef atomun yörüngesindeki elektronlarla etkileşimi sonrasında, aldıkları enerjiyle üst enerji seviyelerine çıkarlar. Kararsız durumdaki bu enerji seviyeleri geri bozduğunda dışarıya foton yayımlanır. Enerjileri, seviyeleri arasındaki farka eşit olan bu fotonlara karakteristik X-ışınları denir.

1.5.2. Sürekli X Işımları

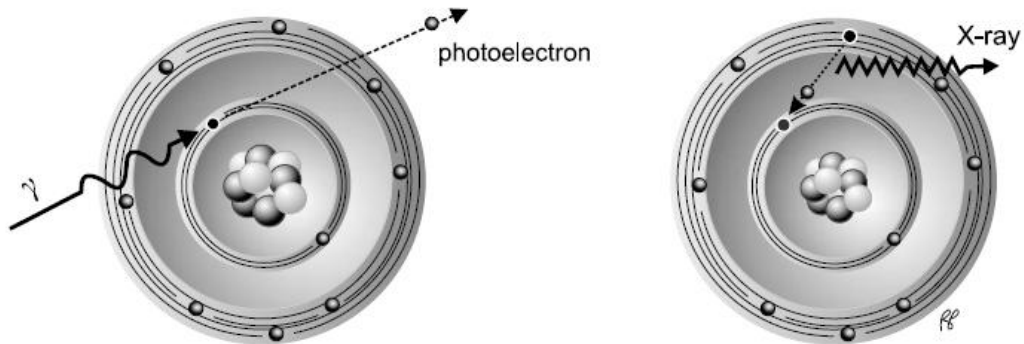
Elektron demeti, hedef atomun çekirdeğine yaklaştığında çekirdeğin pozitif yükünden kaynaklanan elektrik alandan etkilenir ve ivmeli hareket yapmaya zorlanarak dışarıya foton yayımlar. Sürekli bir enerji spektrumuna sahip bu fotonlara sürekli X-ışınları denir.

1.6. X Işımlarının Madde İle Etkileşimi

X-ışınları 10^{-9} - 10^{-10} m dalgaboyları ile atom ve subatomik parçalarla etkileşir. X-ışınları; enerjisi düşük atomların tümüyle, enerjisi orta olan yörünge elektronlarıyla ve enerjisi yüksek çekirdeklerle etkileşirler. Bu etkileşimler sonucu X-ışını fotonları; soğurularak tamamen kaybolabilir ya da yönleri değişerek saçılmaya uğrarlar.

1.6.1. Fotoelektrik Olay

Düşük enerjili bir fotonun soğurucu ortamdaki bağlı elektron tarafından soğurularak K_e kinetik enerjisine sahip bir elektronun yayınlanmasıdır. Atomun iç tabakalarından elektron yayınlanırsa, dış tabakalardaki elektronlardan biri daha düşük boş seviyeyi doldurur ve bunun sonucunda elektronla birlikte X-ışını da yayınlanır (Şekil 8).



Şekil 8. Fotoelektrik Olay

Bir atomik elektronun serbest hale gelebilmesi için gerekli enerji I_B ve gelen fotonun enerjisi $h\nu$ ise enerji korunumundan, fotoelektrik olayda aşağıdaki şekilde verilen Einstein bağıntısı geçerli olacaktır;

$$E_\gamma = h\nu = I_B + K_e \quad (4)$$

Fotoelektrik olay, X-ışını enerji aralığında (keV) büyük tesir kesitine sahiptir. Bu tesir kesiti yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır;

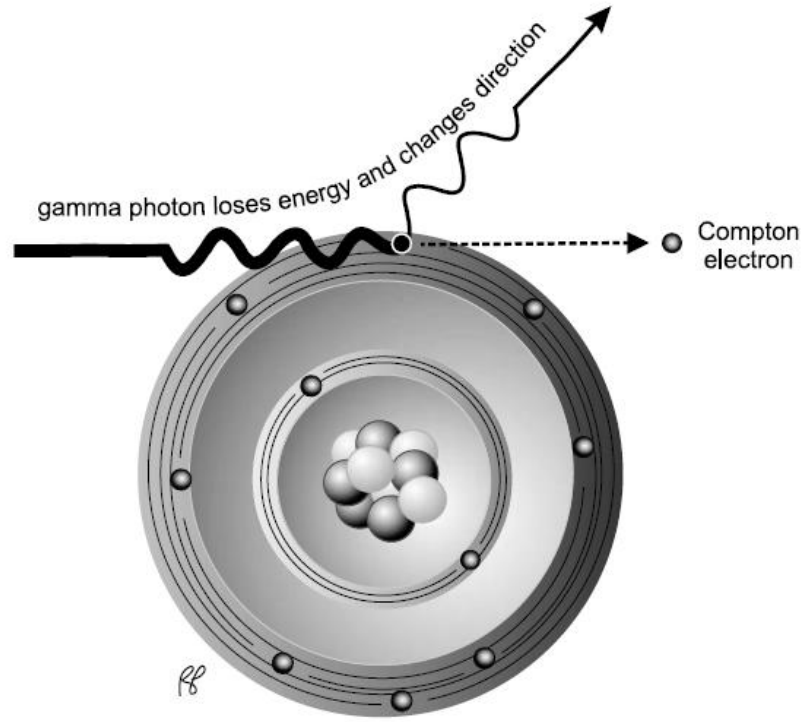
$$\sigma \approx \frac{Z^5}{(h\nu)^7} \quad E_\gamma < m_e c^2 \quad (5)$$

$$\sigma \approx \frac{Z^5}{(h\nu)} \quad E_\gamma > m_e c^2 \quad (6)$$

Bu etkileşme mekanizması yüksek atom numaralı atomlar için oldukça önemlidir ve 1 MeV lik foton enerjilerinde önemini kaybetmektedir.

1.6.2. Compton Saçılması

Fotonun madde ile etkileşmesinde en iyi anlaşılan mekanizmalardan birisi Compton saçılmasıdır. Bu olay fotonun serbest bir elektronda esnek saçılmasıdır. Tabiki elektronlar madde içinde bağlı durumdadır. Fakat, eğer fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden yüksek ise, bağlanma enerjisi göz ardı edilip elektronun serbest olduğu düşünülür. Gelen foton atomik bağlanma enerjisinin önemli olduğu enerjiye (100 keV altı) sahipse bu olay gerçekleşemez.



Şekil 9. Compton saçılması

Serbest bir elektron üzerine $h\nu$ enerjili, $h\nu/c$ momentumlu foton düştüğünde, foton θ açısı altında daha düşük frekansta saçılmakta ve p momentumuna sahip elektron ϕ açısında ortamdan yayınlanmaktadır (Şekil 9.). Fotonun saçılma açısı fotondan elektrona aktarılan enerji miktarına bağlıdır. Compton olayına enerji ve momentum korunumu kanunlarını uygulayarak, saçılan foton ve yayınlanan elektronun enerjileri için aşağıdaki bağıntıları elde ederiz;

$$h\nu' = h\nu / (1 + \gamma(1 - \cos\theta)) \quad (7)$$

burada

$$\gamma \equiv h\nu / m_e c^2 \quad (8)$$

$$K_e = h\nu - h\nu' = h\nu (\gamma(1 - \cos\theta)) / (1 + \gamma(1 - \cos\theta)) \quad (9)$$

Compton saçılması tesir kesiti yaklaşık olarak

$$\sigma \approx \frac{Z}{hv} \quad (10)$$

ile verilir. Foton enerjisinin 0,1 ile 10 MeV olduğu aralıkta ortamda enerji depolanmasında Compton saçılması baskın olur.

Thomson ve Rayleigh Saçılması:

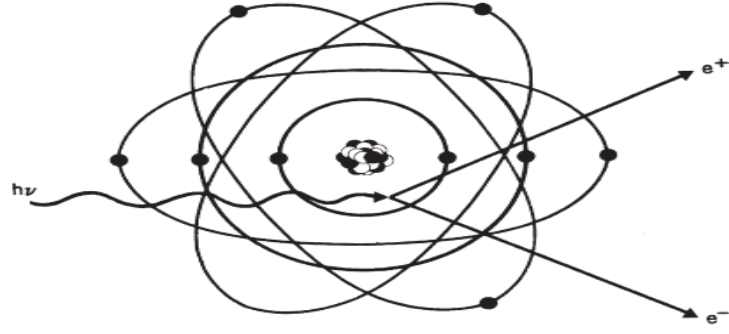
Fotonun serbest bir elektron tarafından esnek saçılmasıdır. Düşük enerjilerde, Thomson saçılmasının tesir kesiti ortamın atom numarası ile lineer değişmektedir. Küçük momentum transferlerinde, atom içindeki tüm elektronlardan saçılan X-ışınlarının genlikleri cohorent olarak toplanır. Bu şekildeki saçılmaya Rayleigh saçılması denir ve tesir kesiti Z^2 ile orantılıdır.

Her iki saçılmada ortama enerji transferi olmayacaktır. Atomlar ne uyarılır nede iyonize olur, sadece atomların yönü değişir. Relativistik enerjilerde, Thomson ve Rayleigh saçılmaları çok küçüktür.

1.6.3. Çift Oluşum

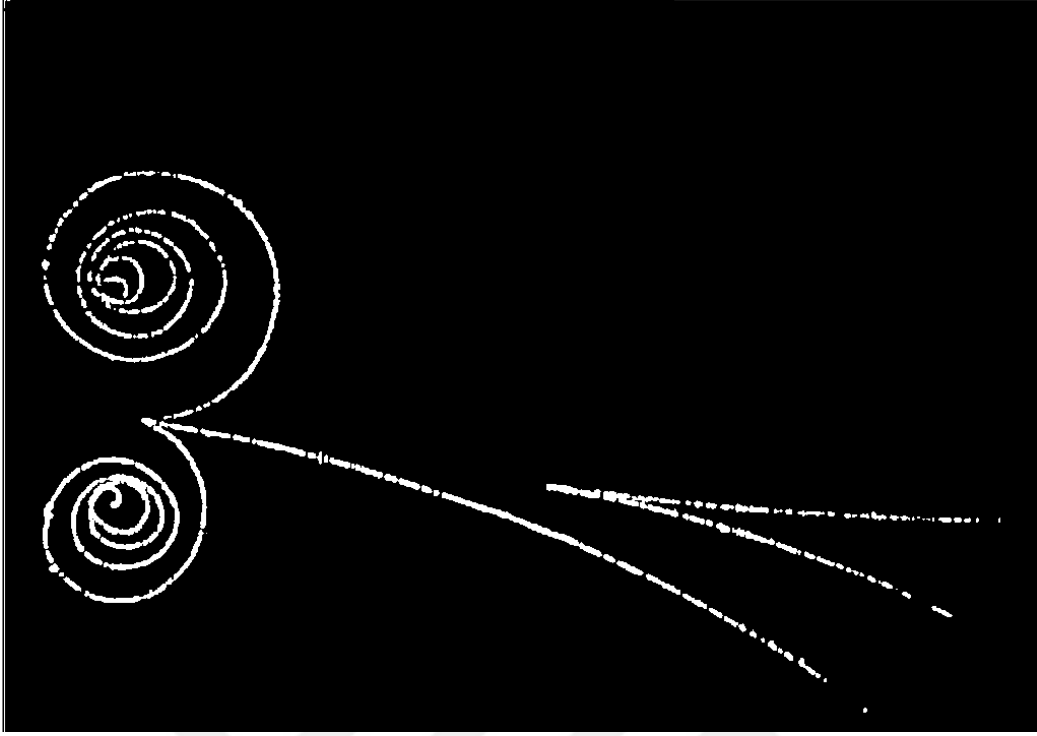
Foton yeterli enerjiye sahip olduğunda, madde tarafından soğurulur ve zıt elektrik yüklü parçacıklar meydana getirir. Kısaca, çift oluşum fotonun elektron-pozitron çiftine dönüşmesidir. Bu olay, momentum korunumunu sağlamak için üçüncü bir cismin varlığında meydana gelir. Pozitronun kütlesi elektronun kütlesine eşit olduğundan, elektron-pozitron çift oluşumu için eşik enerjisi

$$hv \approx 2m_e c^2 = 1,02 \text{ MeV} \quad (11)$$



Şekil 10. Çift Oluşum

Çift oluşum tesir kesiti Z^2 ile değişir, burada Z ortamın atom numarasıdır. Çift oluşum eşikten hızlıca yükselir ve foton enerjilerinin 10 MeV den büyük olduğu durumlarda enerji kaybı mekanizmalarında baskın olur. Çok yüksek enerjilerde (>100 MeV), elektron-pozitron çifti tesir kesiti azalır ve ortamın radyasyon uzunluğuna eşit olan sabit soğurma katsayısı ile ifade edilir. Bu oluşan pozitronlar madde içerisinde ilerlerken elektronlar gibi iyonlaşmaya ve radyasyona enerji kaybederler. Pozitron kinetik enerjisinin çoğunu kaybettikten sonra bir elektron yakalayarak pozitronyum diye adlandırılan hidrojen benzeri bir atom meydana getirir. Hidrojen atomunun aksine pozitronyum atomu kararsızdır ve 10^{-10} sn yarı-ömre sahiptir. Dolayısıyla, pozitronyum atomu bozunarak iki foton meydana getirir. Bu yok olma işlemi zıt yönlü eşit enerjili iki foton meydana getirir. Fotonların herbiri enerji-momentum korunumunu sağlamak için 0,511 MeV lik enerjiye sahip olmalıdır.



Şekil 11. Deneysel elektron-pozitron çifti oluşması

1.7. Tesir Kesiti

Herhangi bir olayın meydana gelme ihtimaline tesir kesiti denir. I şiddetinde bir ışın demeti, t kalınlığında bir A yüzeyine gelsin. Maddenin birim hacmindeki atom sayısı n ve atomik tesir kesiti σ ise, ışına maruz kalan madde alanı $Anot$ olur. Bu ifadeye $n\sigma t$ etkin alan kesri adımlı alır. Etkin alan kesri f ile gösterilir ve levhadan geçen demetin şiddetindeki değişimin kesrini temsil eder. Gelen ışın demetindeki N parçacıktan N_s tanesi etkileşime giriyorsa, tesir kesitinin klasik ifadesi;

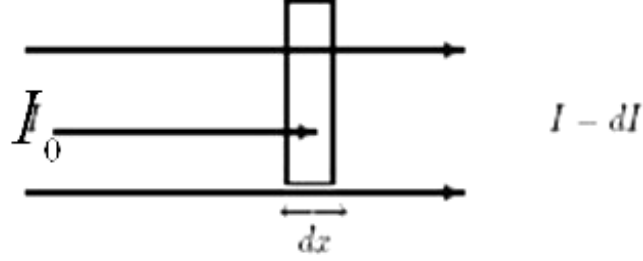
$$N_s = \sigma n N t \quad (12)$$

$$\sigma = N_s / n N t \quad (13)$$

olarak yazılır. Etkileşen ışın demeti, saçılma meydana geldikten sonra tesir kesiti farklı açılar için farklı değerler alır. Bunun için açıya bağlı başka bir tesir kesiti tanımlanır. Bu yeni tesir kesitine diferansiyel tesir kesiti denir ve birim katı açı başına düşen tesir kesiti olarak tanımlanır. Bir etkileşimde θ gelme açısı doğrultusundaki $d\Omega$ katı açısı içinde

saçılan ışın sayısının, gelen ışın sayısına oranının ölçüsüdür. Diferansiyel saçılma tesir kesiti, gelen ışının birim katı açı başına saçılma ihtimali olarak da tanımlanır.

1.8. Kütle Soğurma Katsayısı Nedir ve Nasıl Hesaplanır?



Şekil 12. Küçük bir dx kalınlığında absorblanan dI ışın demeti

Soğurucu ortamın kalınlığının yanı sıra ortamın yoğunluğunda foton soğurulmasında bir ölçüdür. X-ışınının sıvı haldeki civa tarafından soğurulması, buhar halindeki civa tarafından soğurulmasından çok daha büyük olması buna örnek gösterilebilir. Bundan dolayı soğurucu maddeyi onun yoğunluğundan bağımsız olan kütle soğurma katsayısı ile belirtmek daha faydalı olur.

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho)\rho \cdot x} \quad (14)$$

Burada μ/ρ kütle soğurma katsayısı (cm^2/g) olarak adlandırılırken, $\rho \cdot x$ ifadesi ise soğurucunun d (g/cm^2) yüzey yoğunluğudur. Bu ifadeler denklem (14) te yerine yazılırsa,

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho) \cdot d} \quad (15)$$

eşitliği elde edilir. Denklem (15) yeniden düzenlenirse kütle soğurma katsayısı için,

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (16)$$

ifadesi ile elde edilir.

Kütle soğurma katsayısı lineer soğurma katsayısının soğurucusunun özgül ağırlığına bölümüne eşittir. Gelen radyasyonun şiddetindeki azalmadan bahsettiğimizde radyasyonun zayıflaması veya zayıflatılması, etkileştiği maddede terk edilen enerjiden bahsettiğimizde de soğurulma terimi kullanılır.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Kütle soğurma katsayıları ve etkin atom numarasının belirlenmesi için soğurma geometresi kurulmuştur. Deneyde Ortec firmasının SLP-10180P tipi silisyum içine lityum sürüklenmiş yarı iletken dedektörü kullanılmıştır. Dedektör verimi 180 eV olup rezolüsyonu düşük olmasına rağmen kayıp kaçak pik oranı düşük olduğundan ve de sadece kütle soğurma katsayısı ölçümü yapıldığından bu deney için bu enerjide kullanılan detektör idealdir. Kullanılan kristaller Amerikan firmasından satın alma şeklinde temin edilmiştir.

2.2. Yöntem

Deneysel düzenek Şekil 12, de gösterildiği gibi kurulmuştur. Numuneler enerjisi 5,96 keV ve 59,5 keV olan radyoizotop kaynaklarla uyarılmıştır. Deneyde kullanılan dedektörün verimi 180 eV olup ortec firması tarafından üretilen SLP-10180p modelidir. Bu modelin seçimindeki sebep aktif alanın büyük olması dolayısıyla kaçak piklerin şiddetlerinin çok düşük olmasıdır.

Numuneler hassasiyeti 0,001 gr olan hassas terazide tartılmış olup kalınlık tayinlerindeki hata yüzde birin altında tutulmuştur. Numuneler farklı zaman dilimlerinde sayılmışlardır. Bu sayımlar özellikle kütle soğurma katsayılarının tayininde 10 kere alınmıştır. Daha sonra kristalin yönelimine ait ölçümlerde bu sayılar iki grupta alınmıştır. Birinci gruptakiler beş dakika ile alınmıştır. Bu ölçümlerde ortalama sayım 199751 iken, ikinci grupta sayımlar yirmi dakikada alınıp, sayımlar 798122 dir.



Şekil 13. Deney geometrisinin üstten görünümü

Kütle soğurma katsayıları farklı materyal ve enerjilerde aşağıdaki denklem ile belirlenir.

$$I = I_0 e^{-\mu_m t} \quad (17)$$

toplam kütle soğurma katsayısı;

$$\mu_m = \sum_i \omega_i (\mu_m)_i \quad (18)$$

ile belirlenir. Burada ω_i ağırlık kesri ve $(\mu_m)_i$ ise i' inci elementin kütle soğurma katsayısıdır. Ağırlık kesri;

$$\omega_i = \frac{n_i A_i}{\sum_j n_j A_j} \quad (19)$$

ifadesi ile belirlenir. Burada A_i i'inci elementin atomik ağırlığıdır. n_i ise formüldeki birim sayısıdır. Toplam atomik tesir kesitleri ölçülen μ_m değerleri;

$$\sigma_t = \frac{\mu_m N}{N_A} \quad (20)$$

ile belirlenir. Burada N , atomik kütle ve N_A ise avogadro sayısıdır. Toplam elektronik tesir kesitleri ise aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$\sigma_e = \frac{I}{N_A} \sum \frac{f_i N_i}{Z_i} (\mu_m)_i = \frac{\sigma_t}{Z_{eff}} \quad (21)$$

Burada f_i ' elementin karışımdaki kesri olup $f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_i = 1$ dir. Z_i inci elementin atom sayısıdır. σ_t ve σ_e etkin atom sayısı ile ilişkilidir.

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_t}{\sigma_e} \quad (22)$$

Etkin elektron sayısı ise aşağıdaki ifade ile verilir.

$$N_{eff} = \frac{N_A}{N} Z_{eff} \sum n_i = \frac{\mu_m}{\sigma_e} \quad (23)$$

3. BULGULAR

3.1. Analiz

Detektör vasıtasıyla yapılan ölçümler hazır program vasıtasıyla piklerin net alanları bulunmuştur. Net alanlar belirlenirken arka fon ortalamasının pik sonlarında başladığı noktalar dikkate alınarak belirlenmiştir. Net alanlar bulunduktan sonra (17) denkleminde kütle soğurma katsayıları belirlenmiştir. (20) denkleminde toplam tesir kesti ve daha sonra (22) denkleminde de etkin atom numaraları belirlenmiştir.

3.2. Bulgular

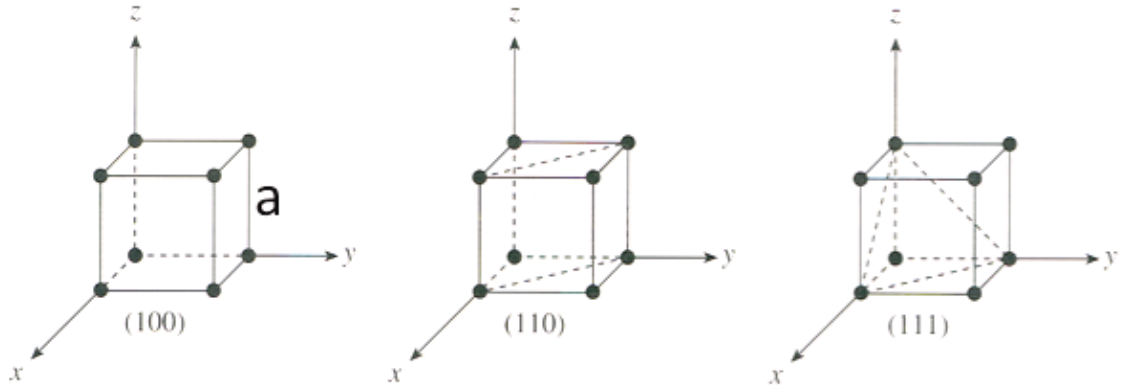
Deneysel verilerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi tablo edilmiştir.

Tablo 1. Kütle soğurma katsayıları ve etkin atom numaraları

Element	μ/ρ 5,96 keV(D)	μ/ρ 5,96 keV(T)	μ/ρ 59,5 keV(D)	μ/ρ 59,5 keV(T)	Etk.Atm.S (D)	Etk.Atm. S (T)
Si(1,1,1)	148,2±5,92	149,82	0,3022±0,01	0,324	14	14
Si(1,0,0)	147,32±5,8	149,8	0,3132±0,01	0,324	14	14
GaAs(katkısız)	153,42±6,1	155,2	2,072±0,08	2,08	30,06	31,99
GaAs(Si katkılı)	152,82±6,1	155,2	2,062±0,08	2,08	29,06	31,99

Tablo 2. Silisyum kristalinin yönelime bağlı kütle soğurma katsayıları

Element	μ/ρ (D)	μ/ρ (T)
Si(1,1,1)	0,3022±0,01	0,324
Si(1,0,0)	0,3102±0,01	0,324



Şekil 14. Silisyum birim hücreleri ve yönelimleri

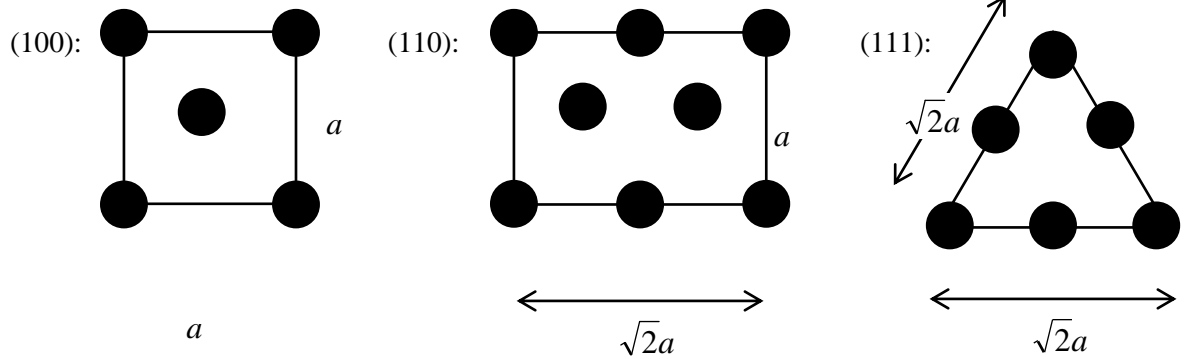
Düzlemlerin alanları;

$$a = 5,43 \text{ \AA}$$

$$A_{100} = a \times a = a^2$$

$$A_{110} = a \times \sqrt{2}a = \sqrt{2}a^2$$

$$A_{111} = \frac{1}{2} \times \sqrt{2}a \times \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} a = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} a^2$$



$$\text{Birim hücre içindeki atomlar; } N_{100} = 4 \times (1/4) + 1 \times 1 = 2$$

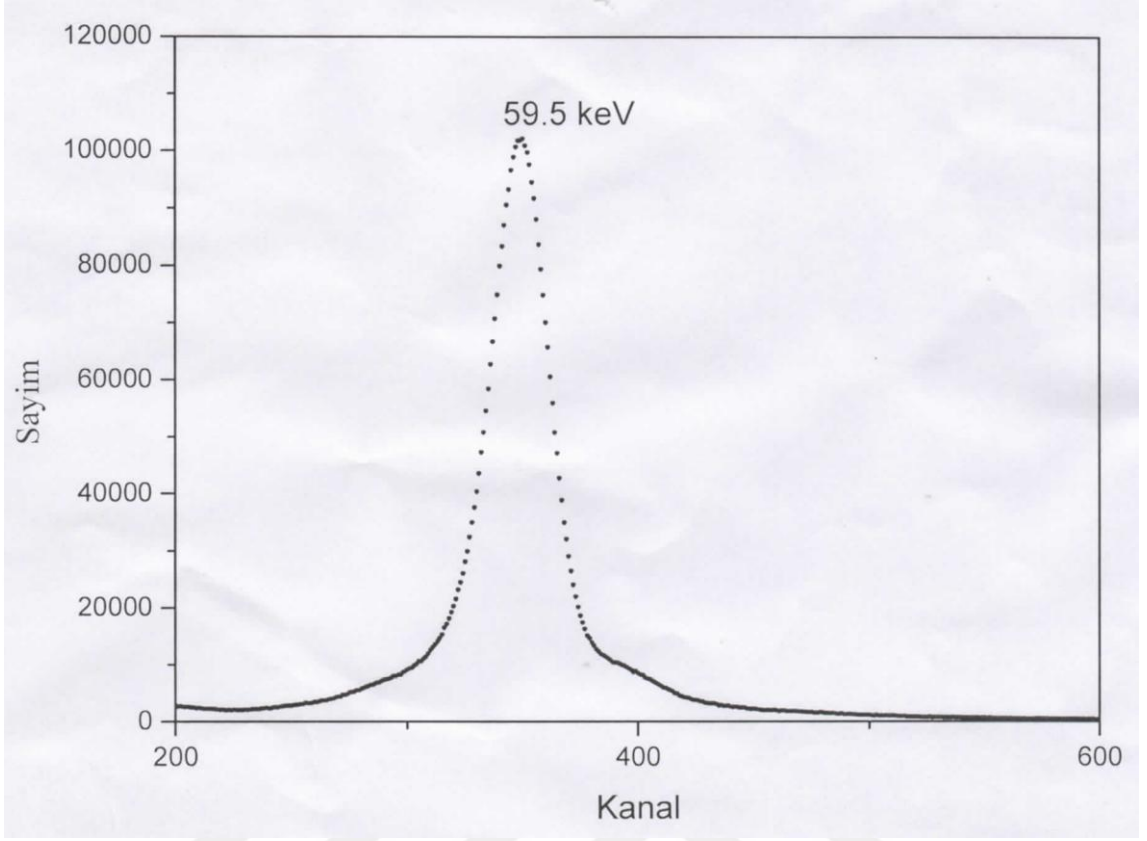
$$\text{Birim hücre içindeki atomlar; } N_{110} = 4 \times (1/4) + 2 \times (1/2) + 2 \times 1 = 4$$

$$\text{Birim hücre içindeki atomlar; } N_{111} = 3 \times (1/6) + 3 \times (1/2) = 2$$

$$\text{Day}_{100} = N_{100} / A_{100} = 2/a^2 = 6,78 \times 10^{14} \text{ atom/cm}^2$$

$$\text{Day}_{110} = N_{110} / A_{110} = 4/\sqrt{2} a^2 = 9,59 \times 10^{14} \text{ atom/cm}^2$$

$$\text{Day}_{111} = N_{111} / A_{111} = 2/(\sqrt{3}/2) a^2 = 7,83 \times 10^{14} \text{ atom/cm}^2$$



Şekil 15. Si numunesi için 59,5 keV' de soğurma spektrum örneği

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmada silisyum numunesi için kütle soğurma katsayıları Tablo 1. den görüleceği üzere teorik değerle uyumludur. GaAs kristali için de teori ile uyumludur. GaAs ve Si arasında kıyaslama yaparsak, GaAs değerlerinin teori ile uyumu silisyuma göre daha büyüktür. Bunun yanında GaAs kristaline silisyum katkılı olduğunda silisyumun atom numarası daha düşük olduğundan bir miktar kütle soğurma katsayısında düşme beklenir. Tablo 1. den görüleceği gibi silisyum katkılı GaAs kristali katkısız göre daha küçük bir kütle soğurma katsayısına sahiptir.

Literatürde silisyum ve GaAs için yapılmış diğer deneysel araştırmalarla elde edilen sonuçlarla bizim değerlerimiz arasında bir uyum vardır. Kristal yönelimine bağlı olarak kütle soğurma katsayısındaki değişimi incelediğimizde şu görülmüştür ki kütle soğurma katsayısı yönelime bağlıdır. Silisyum kristalinde düzlemsel atom yoğunlukları (1,1,1) ve (1,0,0) düzlemlerinde farklıdır. Fakat biz düzlem bazında kütle soğurma katsayısı ölçmedik. Gram başına tesir kesitini ölçtük. Si(1,1,1) kristalinde kütle soğurma katsayısının küçük çıkmasının nedeni saçılmaların ya da fotoelektrik etkinin azalmasından kaynaklandığı açıktır. Fakat bunu kütle soğurma katsayısı ölçümünden hangisinin etkin olduğu söylenemez. Bunu söylemek için bu enerjilerde saçılma tesir kesitlerinin ölçülmesi gerekir.

GaAs kristalinde etkin atom numarasının deneysel ve teorik değerlerinin ölçümünden görülmüştür ki etkin atom numarası teorik değerden farklıdır. Bu yüzden mühendislik uygulamalarında deneysel değeri kullanmak daha doğrudur. Buradaki farklılık kimyasal bağlanmadan kaynaklandığı düşünülebilir.

5. ÖNERİLER

Kristallerin parlaklıkları saçılmaya etki edebileceğinden parlaklığında etkisinin çalışılması gerekir. Bunun yanı sıra asıl nedenin yönelime bağlı elektron bulutunun şeklinden kaynaklandığı düşünülebilir. Bu etkinin nedeni elektron bulutunun yoğunluğunun değişiminden kaynaklandığı net olarak söylenirse, bu şekilde kristal düzlemlerinin belirlenmesi için yeni bir yöntem önerilebilir. Literatürde kütle soğurma katsayılarının yönelime bağlı değişimi ile alakalı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmanın daha çok kristalle yapılması ve tezin doğruluğunun her kristalde doğru olduğu gösterilmelidir.



KAYNAKLAR

- Akkurt, 2007.** Effective Atomic Numbers for Fe–Mn Alloy Using Transmission Experiment. Chinese Physics Letters, 24, 2812–2814.
- Berger, M.J., Hubbell, J.H., 1987.** (XCOM) Photon cross section on a personal computer NBSIR. NIST. 87, 3597.
- Hine, G.J., 1952.** The effective atomic numbers of materials for various gamma interactions, Physics Review 85, 725–737.
- Hubbell, J.H., 1982.** Photon mass attenuation and energy-absorption. International Journal of Applied Radiation and Isotopes, 33, 1269–1290.
- Hubbell, J.H., Seltzer S.M., 1995.** Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements $1 \leq Z \leq 92$ and 48 additional substances of dosimetric interest. National Institute of Standards and Physics Laboratory, NISTIR, 5632.
- Jackson, D.F., Hawkes, D.J., 1981.** X-ray attenuation coefficients of elements and mixtures, Physics Report, 70, 169–233.
- Jurisch, M., Börner, F., Bünger, Th., Eichler, St., Flade, T., Kretzer, U., Köhler, A., Stenzenberger, J., Weinert, B., 2005.** LEC- and VGF-growth of SI GaAs single crystals Journal of Crystal Growth, 275, 283–291.
- Kaewkhao, J., Laopaiboon, J., Chewpraditkul. W., 2008.** Determination of effective atomic numbers and effective electron densities for Cu/Zn alloy. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 109, 1260–1265.
- Manjunathaguru, V., Umesh, T.K., 2007.** Total interaction cross sections and effective atomic numbers of some biologically important compounds containing H, C, N and O in the energy range 6.4–136 keV. Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, 40, 3707–3718.
- Manohara, S.R., Hanagodimath, S. M., Gerward L., 2009.** The effective atomic numbers of some biomolecules calculated by two methods: A comparative study. Medical Physics, 36, 137–141.
- Manohara, S.R., Hanagodimath, S.M., Thind, K.S., Gerward, L., 2008a.** On the effective atomic number and electron density: A comprehensive set of formulas for all types of materials and energies above 1 keV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 266, 3906–3912.

- Manohara, S.R., Hanagodimath, S. M., Gerward L., 2008b.** Energy dependence of effective atomic numbers for photon energy absorption and photon interaction: Studies of some biological molecules in the energy range 1 keV–20 MeV *Medical Physics*, 35, 388–402.
- Manohara, S.R., Hanagodimath, S. M., Gerward L., 2008c.** Studies on effective atomic number, electron density and kerma for some fatty acids and carbohydrates. *Physics in Medicine and Biology*, 53, 377–386.
- Manohara, S.R., Hanagodimath, S.M., 2007a.** Studies on effective atomic numbers and electron densities of essential amino acids in the energy range 1 keV-100GeV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 258, 321–328.
- Manohara, S.R., Hanagodimath, S.M., 2007b.** Effective atomic numbers for photon energy absorption of essential amino acids in the energy range 1 keV to 20 MeV. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 264, 9–14.
- Taylor, M.L., Franich R.D., Trapp, J.V., Johnston, P.N., 2008.** The effective atomic number of dosimetric gels. *Australasian Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 31, 131–138.
- Hubbell J.H., 2006.** Review and history of photon cross section calculations. *Physics in Medicine and Biology*, 40, 3707–3718.
- Medhat M.E., Wang Y., 2013.** Geant4 code for simulation attenuation of gamma rays through scintillation detectors. *Nuclear Energy*, 36, 727–738.
- Singh V.P., Badiger N.M., 2013.** Study of effective atomic numbers and electron densities, kerma of alcohols: phantom and human organ tissue substitutes. *Nuclear Technology Radioprot*, 15, 07–09.
- Singh V.P., Badiger N.M., 2013.** Study of mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and electron densities of carbon steel and stainless steels. *J. Radioprot*, 56, 125-131.
- Singh V.P., Badiger N.M., 2013.** Gamma ray and neutron shielding properties of some alloy materials. *Nuclear Energy*, 44, 29-34.
- Sharifi Sh., Bagheri R., Shirmardi S.P., 2013.** Comparison of shielding properties for ordinary, barite, serpentine and steelemagnetite concretes using MCNP-4Ccode and available experimental results. *Nuclear Energy*, 44, 69-75.

- Shirmardi S.P., Shamsaei M., Naserpour M., 2013.** Comparison of photon attenuation coefficients of various barite concretes and lead by MCNP code, XCOM and experimental data. *Nuclear Energy*, 44, 124-132.
- Singh V.P., Ali A.M, Badiger N.M., El-Khayatt A.M., 2013.** Monte Carlo simulation of gamma ray shielding parameters of concretes. *Nuclear Energy*, 45, 125-129.
- Chitralekhaa, B.R., Kerura, M.T., Lagarea, R., Nathuramb, D.N., Sharmaa, 2004.** Mass attenuation coefficients of saccharides for low-energy X-rays. *Radiation Physics and Chemistry*, 13, 45-49. DOI:10.1016/j.radphyschem. 2004.03.007
- A. Un, Y. Sahin, 2011.** Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers, mean free paths and kermas for PbO, barite and some boron ores. *Radiation Physics and Chemistry*, 12, 18-22. DOI: 10.1016/j.nimb.2011.04.011
- Y. Ménesguen, M., C. Lépy 2010.** Mass attenuation coefficients in the range 3:8 6 E 6 11 keV, K fluorescence yield and K_{β}/K_{α} relative X-ray emission rate for Ti, V, Fe, Co, Ni, Cu and Zn measured with a tunable monochromatic X-ray source. *Radiation Physics*, 27, 127-132. DOI:10.1016/j.nimb.2010.05.044
- V.P. Singh, S.P. Shirmardi, M.E. Medhat, N.M. Badiger 2015.** Determination of mass attenuation coefficient for some polymers using Monte Carlo simulation. *Nuclear Physics*, 12, 44-46. DOI:10.1016/j.vacuum.2015.06.006
- M. Angelonea, A. Espositob, M. Chitib, A. Gentile 2001.** Measurement of mass attenuation coefficients for four mixtures using X-rays from 13 keV up to 40 keV. *Radiation Physics and Chemistry*, 328, 806-969.
- Shams A.M., 2015.** Effective atomic number and mass attenuation coefficient of PbO–BaO–B₂O₃ glass system. *High Energy Physics*, 12, 22-28. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2015.11.025
- M. Esfandiari, S.P.Shirmardi, M.E.Medhat 2014.** Element Analysis and calculation of the attenuation coefficients for gold, bronze and water matrix esusing MCNP, WinXCom and experimental data. *High Energy Physics*, 25, 17-22 DOI:10.1016/j.radphyschem.2014.02.011
- URL-1, 2015.** <http://bilimsitemiz.tr.gg.htm/> (08 Ekim 2015).
- URL-2, 2015.** <http://muhendishane.org/kutuphane/temel-malzeme-bilgisi/kristal-yapi-hatalari-noktasal-hatalar/> (13 Ekim 2015).

URL-3, 2015. <http://elektrik.kocaeli.edu.tr/dosyalar/duyurular/ders11.pdf> (24 Ekim 2015).

URL-4, 2015. <http://hcgurlek.tripod.com/ana3.htm> (25 Ekim 2015).

URL-5, 2015. <http://www.electrosense.com.tr/genel-bilgiler/elektromanyetikradyasyon-nedir-> (12 Kasım 2015).



ÖZGEÇMİŞ

31.08.1987 tarihinde Rize’de doğdu. İlköğretimini Merkez Atatürk İlköğretim Okulu’nda tamamladı. 2001 yılında Rize Lisesi’ne başladı ve 2004 yılında buradan mezun oldu. 2008 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümüne yerleşti. 2013 yılında Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden mezun olarak aynı yıl Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı. Burak CERAH eğitim hayatına halen devam etmektedir.

