

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

RADYASYON DEDEKSİYONUNDA KULLANILAN
YARI-İLETKEN DEDEKTÖR TİPLERİ, ÖZELLİKLERİ
VE KULLANIM ALANLARI

İLYAS OLÇAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şubat 2007

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

RADYASYON DEDEKSİYONUNDA KULLANILAN
YARI-İLETKEN DEDEKTÖR TİPLERİ, ÖZELLİKLERİ
VE KULLANIM ALANLARI

İLYAS OLÇAY

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Hasan KAYA

Şubat 2007

ÖZET

RADYASYON DEDEKSİYONUNDA KULLANILAN YARIİLETKEN DEDEKTÖR TİPLERİ, ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

OLÇAY, İlyas

Niğde Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hasan KAYA

Şubat 2007, 58 sayfa

Bu çalışmada, radyasyon dedeksiyonunda kullanılan yarıiletken dedektörler tanıtılarak, bu dedektörlerin tipleri, özellikleri ve kullanım alanları hakkında bilgi verilmiştir. Yarıiletken dedektörlerinin kullanım amaçları verilerek, benzer özellikler içeren diğer dedektör tipleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarla birlikte bu dedektörler de kullanılan elektronik sistemler ve bu sistemlerin hangilerinin avantajlı olduğu belirtilmiştir.

Anahtar sözcükler: yarıiletken, dedektör, gama ışını, dedektör elektronigi

SUMMARY

TYPES, SPECIFICATIONS AND APPLICATION OF SEMICONDUCTOR DETECTORS ARE USED IN RADIATION DETECTION

OLÇAY, Ilyas

**Niğde University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics**

Supervisor: Assistant Professor Dr. Hasan KAYA

February 2007, 58 Pages.

In this study, types of semiconductor detectors that used in radiation detection were introduced with their types, properties, applications and their specifications. The usage purposes of semiconductor detectors are given and also are compared with other type of detectors which are used for similar purposes. Furthermore electronics which are used with this type of detectors are explained and the advantage of which are also listed.

Keywords: semiconductor, detector, gamma-ray, electronic of detector

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamamda bana yardımcı olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan KAYA' ya ve tezimin bütün aşamalarında katkısını her zaman gördüğüm, tecrübelerinden ve değerli fikirlerinden faydalandığım Prof. Dr. Sefa ERTÜRK' e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince zaman zaman ihmal ettiğim eşim Ezgi, oğullarım Kamuran Sinan ve Ahmet Selim' e de anlayışlarından ve manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xi
BÖLÜM I. GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş	1
BÖLÜM II. RADYASYON DEDEKTÖRLERİ	3
2.1 Radyasyon Dedeksiyonu	3
2.2 Radyasyon Dedektör Çeşitleri	4
2.2.1 Gaz dedektörleri	5
2.2.2 Sintilasyon (ışığı) dedektörleri	9
BÖLÜM III. YARIİLETKENLER VE ÖZELLİKLERİ	13
3.1 n-tipi Yarıiletkenler	15
3.2 p-tipi Yarıiletkenler.....	16
3.3 Yarıiletken Eklemler	18
3.3.1 Doğru ve ters besleme	23
3.3.2 Ters besleme eklemlerinin özellikleri	25
3.4 Önemli Yarıiletkenler	25
BÖLÜM IV. YARIİLETKEN DEDEKTÖRLERİNİN ÖZELLİKLERİ VE TARİHİ GELİŞİMİ	26
4.1 Niçin? Yarıiletken	26
4.2 Yarıiletken Dedektörlerinin Özellikleri	29
4.3 Yarıiletken Dedektörlerinin Tarihsel Gelişimi	29
BÖLÜM V. YARIİLETKEN DEDEKTÖR TÜRLERİ	31
5.1 Difüz Eklemlili Dedektörler	31
5.2 Yüzey Engelli Silikon Dedektörler.....	31
5.3 Sadece Tüketim Bölgesi Dedektörler.....	33

5.4 Lityum birikimli Silikon Dedektörleri.....	34
5.5 Germanyum Dedektörleri	35
5.6 Diğer Yarıiletken Dedektörler.....	37
BÖLÜM VI. YARIİLETKEN DEDEKTÖRLERİN ELEKTRONİĞİ	
VE ÇALIŞMA ÖZELLİKLERİ	40
6.1 Yarıiletken Dedektörlerin Elektronigi	40
6.1.1 Önyükselteçler (Preamplifikatör)	41
6.1.2 Yükselteçler (Amplifikatör)	42
6.1.3 Dedektör besleme ve yüksek voltaj kaynakları	43
6.1.4 Diskriminatörler (Kesici devreler)	43
6.1.4.1 İntegral diskriminatörler	43
6.1.4.2 Diferansiyel diskriminatörler (Tek kanallı analizör)	44
6.1.5 Analog dijital çevirici (ADC)	44
6.1.6 Çok kanallı analizör (MCA)	44
6.1.7 Sayıcılar	44
6.1.8 Sayım metreler	45
6.2 Yarıiletken Dedektörlerin Çalışma Özellikleri	46
6.2.1 Kaçak akım.....	46
6.2.2 Dedektör gürültüsü.....	46
6.2.3 Dedektör besleme voltajındaki değişiklikler.....	47
6.2.4 Giriş penceresi ya da ölü bölge.....	47
6.2.5 Radyasyon hasarı.....	48
BÖLÜM VII. YARIİLETKEN DEDEKTÖRLERİN KULLANIM ALANLARI	
VE ÜSTÜNLÜKLERİ	49
7.1 Yarıiletken Dedektörlerin Kullanım Alanları.....	49
7.2 Yarıiletken Dedektörlerin Üstünlükleri	52
7.3 Gama Işını ve Yarıiletken Dedektörler	54
BÖLÜM VIII. SONUÇLAR	56
KAYNAKLAR	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Radyasyon dedektör çeşitlerinin bazı karşılaştırmalı bilgileri	5
Çizelge 5.1 Yarıiletken dedektörlerde kullanılan maddelerin oda sıcaklığındaki özellikleri	39
Çizelge 7.1 NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile yarıiletken dedektörünün fiziksel performans karşılaştırması	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	İyon odası dedektörünün çalışma sistemi	7
Şekil 2.2	Geiger-Müller sayacının çalışma sistemi	8
Şekil 2.3	Farklı gazla doldurulmuş sayaçlar tarafından meydana getirilen puls yükseklikleri	9
Şekil 2.4	NaI kristalli sintilasyon dedektöründeki temel işlemler	10
Şekil 3.1	Yalıtkan ve yarıiletkenlerde elektron enerjileri için bant yapısı	17
Şekil 3.2	Verici safsızlığın(fosfor atomu) örgüye yerleşmesi ve silikon yasak bandındaki verici seviyesi	17
Şekil 3.3	Alıcı safsızlığın (fosfor atomu) örgüye yerleşmesi ve silikon yasak bandındaki alıcı seviyesi	17
Şekil 3.4	n-p eklemının konsantrasyon profilleri(uzay yükü $\rho(x)$, elektrik potansiyeli $\phi(x)$ ve elektrik alanı $E(x)$).....	22
Şekil 3.5	Elektrik potansiyelinin n-p eklemi boyunca değişimi (a) Enerji bantlarının eklem boyunca değişimi (b) Ters besleme (c)	22
Şekil 3.6	p-n eklemının şematik olarak gösterilmesi, (a) Tüketim bölgesi (b) Alıcıların, vericilerin elektron ve deşiklerin eklem boyunca dağılımları (c) Elektron ve deşik konsantrasyonları (d) Alıcı ve verici konsantrasyonları (e) Net uzay yük dağılımı (f) Uzay yükünün oluşturduğu elektrik potansiyelinin dağılımı (g) Ters besleme durumunda elektron, deşik, alıcı ve verici atomlarının dağılımı.....	24

Şekil 5.1	Difüz eklemli dedektör	32
Şekil 5.2	Ters beslemede elektrik alan şiddeti	32
Şekil 5.3	Lityum yüklemeli p-i-n dedektörünün basit şeması	32
Şekil 5.4	Planar ve koaksiyel HPGe dedektörler	37
Şekil 6.1	Germanyum yarıiletken dedektörünün elektronik kısımları.....	45

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1 Bir radyasyon dedektörünün görünümü	13
Fotoğraf 3.1 CdZnTe yarıiletkeni blok ve parçaları	26
Fotoğraf 4.1 Cd ZnTe yarıiletken dedektörü	30
Fotoğraf 5.1 Cd ZnTe yarıiletken dedektörü.....	38
Fotoğraf 6.1 Yarıiletken dedektör elemanlarının görünümü.....	41
Fotoğraf 7.1 Yarıiletken dedektörü ile teneke kutu içindeki sıvının seviyesini tespit etme	49
Fotoğraf 7.2 Gama kamerası	50
Fotoğraf 7.3 X-ışınları ile tomografik tarama görüntüsü	51
Fotoğraf 7.4 CdZnTe yarıiletken dedektörü ile kemik yoğunluğu ölçümü	51

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Giriş

İnsanlar tüm yaşamları boyunca radyasyonla içi içe olmuşlardır. Radyasyon kaynakları var olduğu müddetçe radyasyon olacak ve bundan kaçınmak mümkün olmayacaktır. 19. yüzyılın sonlarına doğru X-ışınları ve radyoaktivitenin keşfiyle birlikte tıbbi ve endüstriyel alanlardaki kullanımının günümüze kadar giderek artan bir hızla yaygınlaşması radyasyonu yaşantımızın ayrılmaz bir parçası haline getirmiştir.

Radyasyonu, en temel anlamda “ortamda yol alan enerji” olarak tanımlamak mümkündür ve bu kapsamda doğal ya da yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı yapıya geçebilmek için dışarı saldıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga şeklinde taşınan fazla enerjileri de “radyasyon” olarak adlandırılır.

İnsanlar radyasyonların varlığını gösterecek duyu organlarına sahip olmadıklarından, radyasyonların dedeksiyon ve ölçümleri bunlara duyarlı cihazlar yardımı ile yapılır.

Son yıllarda dünya üzerinde nükleer enerji konusunda kaydedilen büyük ilerleme, beraberinde nükleer cihaz teknolojisinde de çeşitli yeniliklere ve gelişmeye sebep olmuştur. Bu cihazlardan birisi de dedektörlerdir. Dedektörler nükleer cihazlardan, tesislerden ya da tamamıyla doğal ortamlardan neşredilen radyasyonu algılama işlemini yaparlar. Dolayısıyla gerek insan sağlığını korumak gerekse reaktörleri kontrol altında tutabilmek için dedektörler nükleer enerji alanında oldukça önemli bir yer tutar.

Bütün radyasyon dedeksiyon metotları bunların içinden geçtikleri ortamlarda iyonizasyon meydana getirme özelliklerine dayanır. Radyasyon ölçme cihazları sadece içinde iyonizasyon meydana getirilen ortam ile bu iyonizasyonun dedeksiyon ve gösterilmesi metotları bakımından birbirinden ayrılır.

Radyasyon dedektörlerinde yük taşıyan tanecikleri ortaya koyup sayma işlemi için yapılan ilk denemeler 1908 yılında Rutherford ve Geiger tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu sayıcı ile alfa ışınları sayılmıştır. Bu sayıcının geliştirilmesi ile 1928 yılında bugün de kullanılan ve aynı esas üzerinde çalışan Geiger-Müller sayıcıları yapılmıştır. Bu sayıcılarla alfa ve beta tanecikleri birbirinden ayrılabilmiştir.

Gazlı sayaçlar, nükleer fiziğin ilgilendiği pek çok radyasyon için düşük verimli olduğundan, sonraki yıllar verimi daha yüksek dedektör arayışına girilmiştir. Nükleer spektroskopideki ihtiyaçlara cevap verebilecek yüksek verimli ve uygun çözme gücüne sahip aletler, sintilasyon sayaçları 1950'lerde geliştirilmiştir.

Sintilasyon sayıcılarının enerji ayırımları çok hassas olmadığından daha iyi enerji ayırım gücüne sahip yarıiletken dedektörler yapılmıştır. Bu dedektörlere kristalli veya katıhal dedektörleri de denilmektedir. 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlayan bu dedektörlerin yüksek enerji ayırma kabiliyetlerinin yanında yoğun oluşları, hızlı-zamanlama karakteristikleri ve etkin kalınlığa sahip bulunmaları diğer çeşitli dedektörlerden bunları üstün kılmaktadır.

Son 20 yıldan beri yarıiletken dedektörler çok gelişmiş ve birçok araştırma laboratuvarında düzenli olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada yarıiletken dedektörlerinin özellikleri, çalışma şekli, elektronığı, tipleri diğer yaygın olarak kullanılan dedektörler arasındaki yeri ve günümüzde kullanım alanları açısından sunduğu kolaylıklardan bahsedilmiştir [1].

BÖLÜM II

RADYASYON DEDEKTÖRLERİ

2.1 Radyasyon Dedeksiyonu

Maddeyi oluşturan atomların çoğu karardır. Çekirdeklerindeki proton ve nötron sayıları eşit olan veya kararsızlığa neden olmayacak derecede birinin fazla sayıda olması dışında olan atomlar ise kendiliklerinden farklı ışınlamalar yayarak başka atomlara dönüşme eğilimi gösterirler. Bu atomlara radyoaktif atom, yayınladıkları ışınlara ise radyasyon adı verilir [2].

Radyoaktif atomların yaydığı ışınlamalar üç çeşittir. Bunlar; aslında helyum çekirdekleri olan alfa ışını, hızlı elektronlar oldukları sonradan anlaşılan beta ışınları ve X-ışınlarına benzeyen ama daha yüksek enerjiye sahip elektromanyetik ışınlamalar olan gama ışınlardır [2].

Radyasyon, bir maddenin içinden geçerken maddenin atom veya molekülleri ile etkileşerek enerjisinin bir kısmını veya tamamını etkileştiği ortamda kaybeder. Eğer gelen foton çarptığı atomun bir elektronunu söküp atarsa o atom iyonize olur. Negatif yüklü elektron atomdan ayrıldığı için atom pozitif yüklü iyon haline dönüşür. Bu durumda fırlayan elektron yüksek bir hıza sahiptir. Yolu üzerindeki başka atomlarla ikincil etkileşimler yaparak yeni iyonizasyonlara sebep olur. Böylece her etkileşmeden sonra enerjisi giderek azalır. Şayet etkileşim ortamı yeterli yoğunlukta ise, ilk iyonize olan atomdan fırlayan elektron ortam içinde absorplanır. Yeterli kalınlıkta değil ise enerjisi azalmış olarak ortamdan dışarı çıkar [3].

Gama ve X-ışınlarının iyonizasyon meydana getirmeleri üç yolla olur; fotoelektrik soğurma (tesir), compton saçılması ve çift üretimi (oluşumu). Hangi olayın daha tesirli olacağı malzemeye ve ışının enerjisine bağlıdır [4].

Herhangi bir nedenle çekirdek içerisindeki nükleonların denge durumu bozulmuş, fakat çekirdek parçalanmamış ise, o zaman çekirdek uyarılmış hale dönüşür. Bu durumda uyarılma ile üst enerji katmanlarına çıkan nükleonlar temel duruma dönme

eğilimindedirler. Bu sırada monoenerjitik ya da multienerjitik radyasyonlar salınır. Bu enerji transferi neticesinde radyasyonun iyonizasyon ve eksitasyon etkileri meydana gelmektedir. Her iki olayın fiziksel prensiplerinden yararlanılarak radyasyonun dedeksiyonu yapılmaktadır. Dedeksiyon, gelen radyasyon etkisinin veya şiddetinin sayısal veya görüntüsel değerlendirilmesidir [3].

2.2 Radyasyon Dedektör Çeşitleri

Dedektörler, fotonların enerjisini elektrik akımına çeviren algılayıcılar olup tıbbi teşhisler, radyoaktif tarih ölçümleri ve taban sayım ölçümleri gibi çeşitli amaçlar için kullanılırlar.

Dedektör materyalinin seçimi ölçülecek radyasyon tipine ve hakkında mevcut bilgiye bağlıdır. Radyoaktif bozunmalardan salınan α parçacıkları veya düşük enerjili nükleer radyasyonlardan yayınlanan yüklü parçacıklar için çok ince pencereci dedektörler gereklidir, çünkü bu parçacıkların katılardaki maksimum menzili 100 μm ' den küçüktür. β bozunmalarında yayınlanan elektronlar için bu kalınlığın 0,1-1 mm arasında olması gerekirken γ 'lar için bu aralık daha fazladır [4].

Radyasyonların ölçülmeleri için bunların madde ile temasa geçirilmeleri şarttır. Radyasyonlar maddeye çarpınca kimyasal, fotokimyasal, iyonizasyon, fosferasans ve flüoresans gibi çeşitli olaylara sebep olur ve enerjilerini kaybederler. İşte bu özelliklerinden yararlanılmak suretiyle radyasyonların ölçülmesini ve dedeksiyonunu sağlayan cihazlar yapılmıştır. Dedeksiyon ve ölçme cihazlarının, Fotoğraf metodu, Wilson sis odası metodu, sintilasyon sayıcıları ve yarıiletken sayıcılarından oluşan bir grubu partiküllerin yüklerinden yararlanır. Bir ikinci grup ise yüklerin toplanması prensibinden yararlanır. İyonizasyon odaları, orantılı sayıcılar ve Geiger-Müller sayıcıları da bu gruba girerler [3]. Çizelge 2.1 de yaygın olarak kullanılan radyasyon dedektörlerinin bazı özellikleri karşılaştırılmıştır [5].

Radyasyonun sadece varlığını göstermek için, Geiger sayıcının bilinen sesi yeterli olur; gelen tüm radyasyonlar için aynı çıkış sesini verirler. Radyasyonun enerjisini ölçmek için çıkış puls genliğinin radyasyon enerjisi ile orantılı olduğu dedektörler seçilmelidir; bu da, sökülecek elektronların sayısının fazla olacağı bir dedektör materyali seçmekle

mümkün olur. Radyasyonun yayınlandığı anı tespit edebilmek, elektronların hızla puls haline geçebileceği materyali seçmekle mümkündür. Parçacığın tipini belirlemek için, parçacığın kütle ve yükü için farklı sinyaller veren bir materyal seçmemiz gerekir. Alışılmışın dışında yüksek sayma hızı bekliyorsak arka arkaya gelen her radyasyonu çabucak tespit edebilecek dedektör seçilmelidir; düşük sayma hızları için her olayın saptanması ve taban sayım etkisinin azaltılması ile ilgilenmemiz gerekir [4].

Sonuç olarak, belirlenecek olan radyasyonun yörüngesinin tekrar oluşturulması ile ilgileniyorsak radyasyonun dedektöre girdiği yere duyarlı olan bir dedektöre sahip olmamız gerekir [4].

Çizelge 2.1 Radyasyon dedektör çeşitlerinin bazı karşılaştırmalı bilgileri [5]

Tipi	Genlik (Akım, Voltaj)	Darbe süresi	Tipik iyonizasyon enerjisi	Çoklama
Gaz doldurulmuş dedektörler - İyonizasyon odası - Orantılı Sayaç - Geiger-Müller (GM)	10-12-10-15A 10-100 μ V 5-50V	Birkaç μ s 0,3-3 μ s 80-250 μ s	22-35 eV Birincil elektron oluşturmak için	102-104 104-108 >108
Sintilatörler - İnorganik NaI, CsI - Organik Sıvı, Plastik	10-100mV	0,2-2 μ s 5-30ns 2-10ns	300 eV	104-107 Foto çoklayıcı tüpte
Yarıiletken dedektörler - Si(Li) - Ge(Li) - HpGe - Surface Barrier, PIPS	1-10mV	0,5-200ns	3,62 eV 2,96eV	Çoklama ve yükseltme yok

2.2.1 Gaz dedektörleri

Gaz dedektörleri, çalışma şekilleri ve işlevlerine göre başlıca iki gruba ayrılabilirler. Bunlar, akım okuyan grup ve parçacık okuyan gruptur.

Akım okuyan gruba akım iyonlaştırma odaları, parçacık okuyan gruba ise, sayıcı veya darbe iyonlaştırma odaları, orantılı sayaçlar ve geiger sayaçları girer [2].

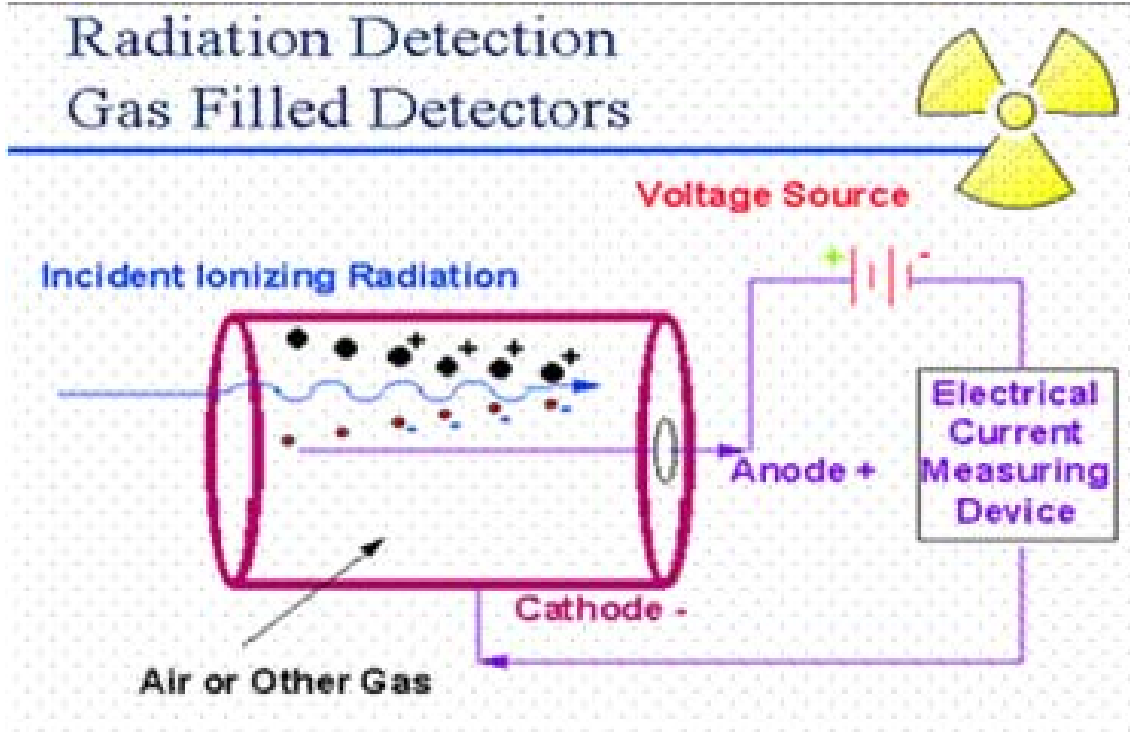
İyonizasyon odası, bir gaz içerisinde meydana gelen iyon çiftlerinin oluşum hızlarını ölçer. Ölçümler sırasında, elektrotlara uygulanan gerilimin doymayı sağlayacak kadar büyük olması sağlanmalıdır. Yani pozitif ve negatif iyonların tekrar birleşip nötrleşme oranları fazla olmamalıdır. Eğer elektrotlara uygulanan gerilim belli bir değerin altında olursa nötrleşme oranı fazla olup, ölçüm hatalarına sebebiyet verebilir [2].

İdeal bir iyonizasyon odası, bilinen hacimde, iç yüzeyleri elektriksel olarak iletken yapılmış hava eşdeğerli duvarları olan bir odadır. Odanın içinde, duvarlardan yalıtılmış, pozitif potansiyelin uygulandığı merkezi bir iletken vardır. Radyasyonun geçmesi sonucunda odada oluşan iyonlar, merkezi elektrotta bir voltaj değişikliğine neden olurlar. Bu değişiklik, yük veya akım ölçen ve doğrudan doğruya birim zamanda röntgen olarak okuma veren bir sistemle ölçülür [6].

Taşınabilir radyasyon arama ve ölçme aygıtlarında ve bunların sabit olan türlerinde iyon odası çoğunlukla kaydedici kalem veya ölçü tablolu bir elektrometre-elektronik lamba devresi ile birlikte kullanılır [6].

Çalışma sistemi Şekil 2.1 de verilen iyon odası sayıcıları, değişik tipte ve boyutta olabilir. Silindirik geometri, en çok uygulanan tip olup bunun yanı sıra paralel levha odaları da çoğunlukla araştırmalarda ele alınmaktadır. Bu odalar, genellikle radyasyon korunma monitörlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca sağlık fiziğinde (hızlandırıcı cihaz ve x-ışınları bulunan tesislerde görev yapan personelin üzerlerindeki radyasyon miktarının kontrolünde) de kullanım alanı bulmaktadır.

Orantılı sayaçlar, temel yapı özellikleri açısından iyonizasyon odası gibidir. Ancak bu sayaçta merkezi elektrot yakınındaki elektrik alan şiddeti daha yüksektir. Bu sebeple iyonlaşma odalarından çok daha hassastır. Orantılı sayaçlar çok az ve çok fazla iyonlayıcı radyasyonları ayırt etmekte kullanılabilir. Bu cihazlarla zayıf kaynaklı α ve β parçacıkları ve düşük enerjili X-ışınlarının sayımı yapılabilir. Silindirik orantılı sayaçlar ise radyokarbon yaş ölçümünde kullanılır [2].



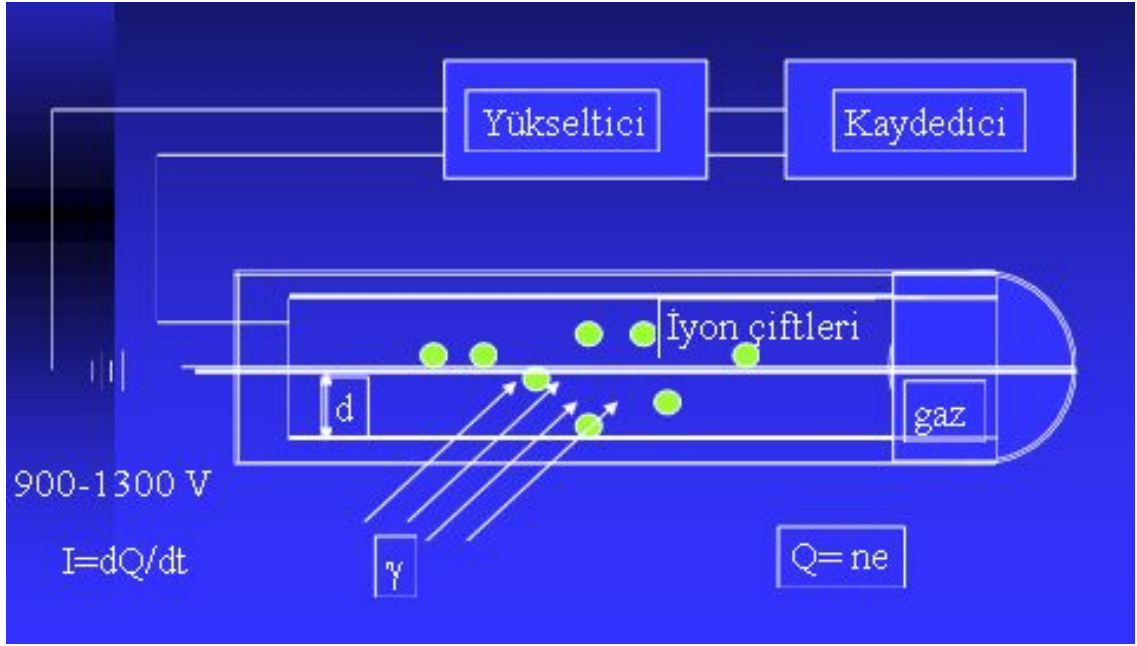
Şekil 2.1 İyon odası dedektörünün çalışma sistemi [5]

Geiger-Müller sayaçları, eskiden beri nükleer radyasyon ölçümlerinde en çok kullanılan araçtır. Çünkü diğer cihazlara göre birçok avantaja sahiptir. En önemli avantajı, maliyetlerinin çok ucuz olmasıdır.

Şekil 2.2 'de çalışma sistemi görülen Geiger-Müller tüpünün çıkış sinyali diğer cihazlara göre çok daha yüksektir. Dolayısıyla yardımcı elektronik devrelerin maliyeti çok daha aza indirgenir. Yüksek gerilim beslemesi ile beraber Geiger-Müller tüpü, pek çok ölçek birimini minimumda veya hiç yükseltmeden tutabilir. Deşarj mekanizması çok hassas olduğundan tek bir iyonlaştırıcı parçacık bile iyonlaşmayı tetikleyebilir.

Bu sayıcıların dezavantajları ise; iyonlaştırıcı parçacıkların enerjilerini ayırt edemezler. Organik gaz yerine halojenle doldurulmuştur. Bu ömrünü uzatmasına rağmen genelde sınırlı bir ömre sahiptir (10^{13} civarında sayım yapar). Ölü zamanı $100\mu s$ civarındadır [2].

Bir boşalmanın başlangıç zamanı ile, ikinci bir boşalmanın olabileceği zaman arasındaki periyot ölü zamanı verir. Toplam ölü zaman süresi, imalat sırasında ayarlanır ve bir elektronik devre vasıtasıyla sabitlenir.

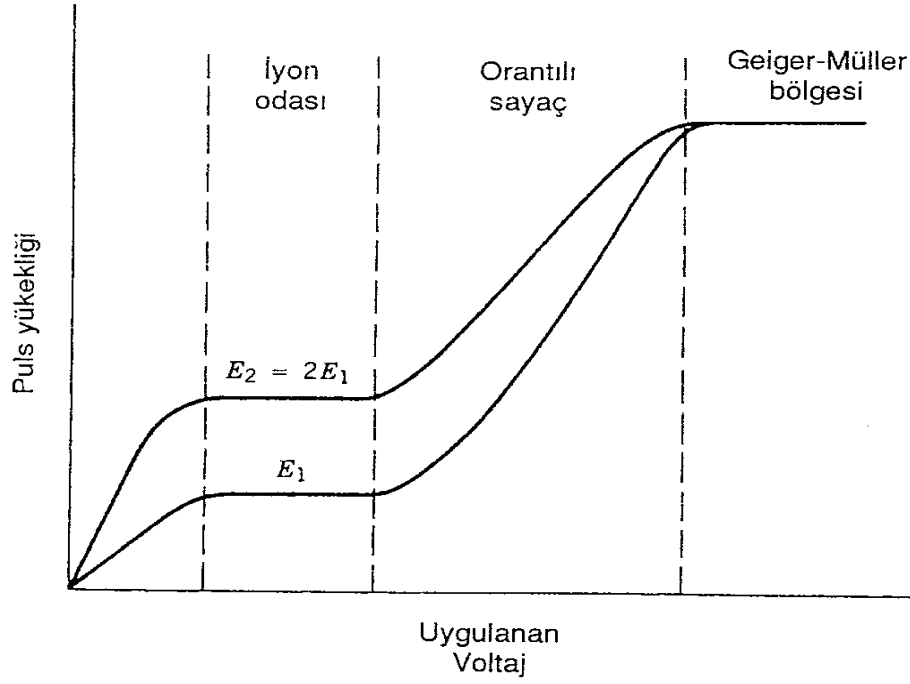


Şekil 2.2 Geiger-Müller sayacının çalışma sistemi [5]

Geiger sayacı sabit bir başlangıç gerilimine (V_s) sahiptir. Bu gerilim sabit radyoaktif kaynağa bağlı tüpe uygulandığı zaman sayımı başlatan gerilimdir. Eğer V_A gibi belirli değişken bir değere kadar arttırılırsa sayım hızı da süratle artar. Bir noktadan sonra ($V_A - V_B$ arasında) sayım hızı çok düşecektir (1000 için % 1-5 civarı). Gerilim arttırılmaya devam ederse (V_B 'nin üzerinde), sayım hızı süratli bir şekilde artar ve tüp devamlı deşarj durumuna girer. Eğer bu durum uzun süre devam ederse sayacı bozar [2].

Nükleer tıp laboratuarlarında en çok kullanılan gaz odası dedektörü Geiger sayaçlarıdır. Geiger sayacı iyon odalarına göre çok daha hassastır [7].

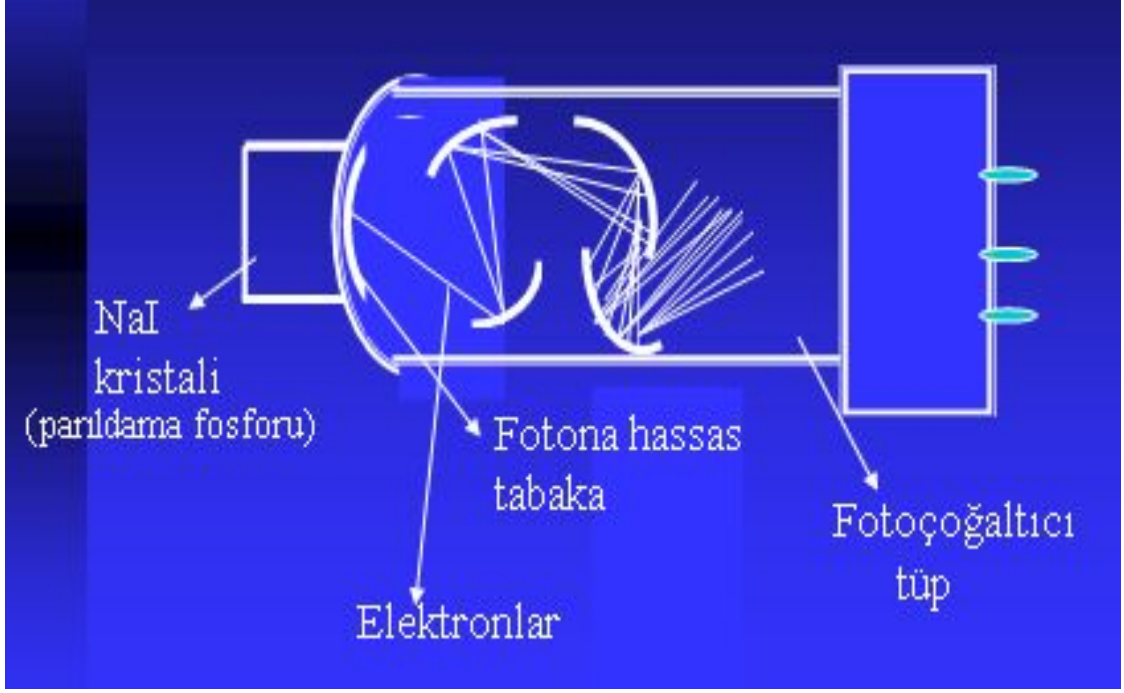
Son zamanlarda, saatte 1000 R kadar yüksek ışınlama hızlarını ölçmeye yarayan özel halojen söndürümlü Geiger-Müller sayaçları geliştirilmiştir [6]. Şekil 2.3 'te gaz dedektörlerinde uygulanan gerilime bağlı olarak puls yükseklikleri görülmektedir.



Şekil 2.3 Farklı gazla doldurulmuş sayaçlar tarafından meydana getirilen puls yükseklikleri [4]

2.2.2 Sintilasyon (Işıltı) dedektörleri

Radyoaktif ışınlar bir maddenin atom ve molekülleriyle etkileşime girdiğinde enerjisine göre, madde içinde iyonizasyon ya da eksitasyon meydana getirir. Şayet radyasyon enerjisi her iki olayı da meydana getiremeyecek kadar düşük ise, etkileştiği ortamdaki moleküller arasında sadece bir titreşim meydana getirir ve yok olur. Üzerine düşen radyasyon enerjisi ile orantılı olarak dışarıya görünür ışık yayan cisimlere sintilatör denilir. Mesela aralarında sodyum iyodür, antrasin, naftalin ve fenantirinin bulunduğu sintilatörlere bir tek yüklü parçacık, X-ışını veya γ -ışını çarptığı zaman, bir ışık pırlıtsı meydana getirirler. Sintilatörlerden yayılan görülebilir ışıklara da sintilasyon denir. Bu ışık pırlıtları elektrik pulslarına dönüştürülür ki, daha sonra bu pulslar yükseltilerek, sayılabilir anlamlı sinyallere dönüştürülürler. Radyasyon dedektörleri sintilasyonları alıp, değerlendiren aletler olup, bunlar sintilasyon dedektörleri (sayaçları) olarak da adlandırılırlar (Şekil 2.4). Nükleer spektroskopideki ihtiyaçlara cevap verebilecek yüksek verimli ve uygun çözme gücüne sahip aletler, sintilasyon sayaçları 1950'lerde geliştirilmiştir. Son yıllarda özel gayeler için sıvı sintilatörler kullanılmaktadır [3].



Şekil 2.4 NaI kristalli sintilasyon dedektöründeki temel işlemler [5]

Sintilasyon sayaçları üç ana elemandan oluşur,

- 1-Işıltı kristali (scintillatör)
- 2-Işık-Elektrik dönüştürücüsü (foto çoğaltıcı)
- 3-Elektronik yükselteç

Işıltıcı, organik veya inorganik malzemeden yapılmış tek kristalden, plastik flor, aktive edilmiş bir cam veya sıvıdan olabilir. Foto çoğaltıcı, ışık darbelerini elektronik darbelere dönüştürür. Elektronik yükselteç ise, sinyalleri ölçüm işlemi için yükseltirler [8].

Sintilasyon sayaçlarının gaz-dolu sayaçlardan fazla olarak sahip olduğu avantajlar vardır.

1. Hassas hacim genellikle katı halde olduğundan, x-ışınları veya γ -ışınları dedeksiyonundaki verim Geiger sayaçlarının % 1'lik verimine kıyasla oldukça yüksektir.
2. Sayacın çözme zamanı 10^{-6} saniyeden 10^{-9} saniyeye kadar değişir. Böyle kısa çözme zamanı, yüksek-hızlı saymaları kayıpsız olarak mümkün kılar.

3. Sintilasyon sayacının çıkış pulsunun büyüklüğü gelen gama ışınlarının enerjileriyle doğru orantılı yapılabilir.

4. Radyasyon kaynağı, katı sintilatörün çok yakınında, bazen içinde bile, tutulabileceğinden ince pencerelerin kullanılmasına gerek yoktur [9].

İyonlaşma sonucu oluşan elektronlar, elektronik pulslarla oluşan elektronlarla aynı değildir. İyonlaşma elektronuyla puls elektronları arasında bir aracı vardır, bu ışıktır. Şekil 2.4 'deki işlemler şöyle gerçekleşir. Gelen radyasyon dedektöre girer ve atomları uyarılmış düzeylere çıkaran çok fazla sayıda etkileşme yapar. Uyarılmış durumlar hızla, görünür bölgede ışık yayınlarlar bu şekildeki materyallere fluoresans denir. Işık foto duyarlı yüzeye çarparak foton başına en çok bir foto elektron salınmasına neden olur. Bu ikincil elektronlar foto çoğaltıcı tüpte çoğaltılır, hızlandırılır ve çıkış pulsları şekline dönüştürülür

Bir sintilatörün çalışmasını anlamak için, enerjinin soğurularak, elektronların uyarılmış durumlara çıkmasıyla ilgili mekanizmayı düşünmemiz gerekir. Temel olarak iki tip sintilasyon dedektörü vardır, birisi inorganik diğeri organik materyaller içerir [4].

İnorganik sintilasyon dedektöründe NaI(Tl), senelerden beri ve hala en iyi x-ışınları ve gama algılayıcısı olarak kullanılmaktadır. Talyum ile aktive edilmiş sodyum iyodür NaI(Tl) en küçük ışıltı kristalidir ve tıbbi cihazlarda kullanılır. Ayrıca kozmik ışın araştırmalarında kullanılan binlerce metre küp hacminde sıvı ısıtıcıları da mevcuttur. Bu cihazın nemden korunmasına ve tamamen kapalı olarak saklanmasına dikkat etmek gerekir [2].

Genelde ışık çıkışı, emilen foton enerjisi ile orantılı olur. Böylece darbe yüksekliği aynı zamanda emilen foton enerjisinin bir ölçüsüdür ve bilinen foton enerjileri ile kalibrasyonu yapıldığı zaman, cihaz spektrometre olarak kullanılabilir. NaI(Tl) 'ün bozunma ömrü, 230 ns civarında olup, düşüktür. Talyum katkısı olmadan sodyum iyodürün, sıvı azot sıcaklığında (77K) çalışıldığı zaman sadece 65 ns' lik bir bozunma ömrü vardır.

En çok kullanılan bir başka inorganik sintilatör CsI(Tl), oda sıcaklığında NaI(Tl)'den %10 'dan daha düşük mertebelerde ışık çıkışı verecek şekilde kullanılabilir. Ancak

diğerlerine göre şok dayanımı daha yüksektir. Emme katsayısı da NaI(Tl) 'e göre daha yüksektir. Bu iki avantajdan dolayı da uzay taşıtlarında ve uydularda kullanılır [2].

Plastik ve sıvı organik sintilatörler, inorganik sintilatör kristallerin imalatından daha hesaplı ve daha büyük hacimlerde yapılabilir. Genellikle inorganik ışıltı kristallerinden çok daha hızlı tepkime zamanına sahip olup, kendi ışıltısına geçirgenlik gösterirler ve büyük boyutlarda kullanılabilirler.

Organik sintilatörlerin, en geniş kullanım alanı sıvı ışıltı sayımı olmaktadır. Birçok tipteki biyolojik numuneler, ışıltıcı ile birleştirilmektedir ve bunu gerçekleştirmek için yayımlanan ışığı minimum ölçüde harcamak, minimum kimyasal ışıma sağlamak ve minimum düzeyde güç sarf etmek gerekir

Organik sintilatörlerin verimlerini yükseltmek için bazı katkı maddeleri ilave edilebilir. Bor ve gadalinium katkısı nötron algılanmasında cihazın verimini artırır. Kalay ve kurşun ise gama ışınları için, hem sıvı hem de plastik ışıltıcılarda, algılama gücünü arttıran maddelerdir [2]. Fotoğraf 2.1 de günümüzde kullanılan bir radyasyon dedektörü görülmektedir.



Fotoğraf 2.1 Bir radyasyon dedektörünün görünümü [5]

BÖLÜM III

YARIİLETKENLER VE ÖZELLİKLERİ

Serbest atomda elektronlar ancak belirli enerji seviyelerinde bulunurlar. Bu durum kristallerin periyodik örgü yapısında enerji bantlarına genişler. Yani elektronlar sadece belirli enerji bantlarında bulunabilirler. Şekil 3.1 'de yalıtkan ve yarıiletkenlerdeki bant yapısının birleştirilmiş hali verilmektedir. En alt band değerlik (valans) bandı olup tüm elektronlar kristaldeki belirli örgü noktalarına bağlıdır. Yani bu bantta serbest elektron yoktur. Bir üst bant ise kristal boyunca elektronların serbestçe hareket ettiği iletkenlik bandıdır. Bu banttaki elektronlar materyalin elektriksel iletkenliğine katkıda bulunurlar. İki bandın arasında ise hiçbir elektronun bulunmayacağı yasak bant vardır. Bu bandın genişliği, maddenin yalıtkan ya da yarıiletken olarak sınıflandırılmasını belirler. Kristaldeki elektron sayısı değerlik bandını tam olarak dolduracak sayıdadır. Metallerde en üst bant tam olarak dolu değildir. Bu nedenle elektronlar madde boyunca kolayca hareket edebilirler. Yalıtkanlarda yasak bant genişliği hayli fazla olup (5 eV ya da daha çok) yarıiletkenlerde ise bu genişlik oldukça düşük ve dardır [10].

Sıfır olmayan bu sıcaklıkta termal enerji, kristaldeki elektronlar tarafından paylaşılır. Böylece değerlik bandındaki bir elektron yeterli enerjiyi kazanarak yasak bandı geçip iletkenlik bandına yükselebilir. Bu uyarılma işlemi esnasında iletkenlik bandına yükselen elektron yerine bir boşluk (deşik) yaratılır. Katıhal fiziğindeki bu elektron-deşik kombinasyonu gazlardaki iyon çifti kavramına eşdeğer alınabilir. İletkenlik bandındaki bir elektron uygulanan bir elektrik alan etkisi ile hareket edebildiği gibi pozitif yüklü deşiginde böyle bir alanda ancak elektron yönüne ters yönde hareketi mümkündür. Birim zamanda termal etki ile bir elektron - deşik çiftinin oluşma olasılığı aşağıda verilmektedir [10].

$$P(t) = C T^{3/2} \exp [- E_g / 2kT] \quad (3.1)$$

T = Mutlak sıcaklık

E_g = Bant genişliğinin enerjisi

k = Boltzmann katsayısı

C = Maddeye bağlı orantı katsayısı

Üstel ifadeden anlaşılacağı gibi termal uyarılma olasılığı bant enerjisinin sıcaklığa oranına bağlıdır ve bu aralığın dar olması durumunda elektriksel iletkenlik artacaktır. Bir elektrik alanın uygulanması durumunda hem elektronlar hem de boşluklar sürüklenmeye başlayacaklardır. Bu hareket hem termal hız hem de net sürüklenmenin kombinasyonu şeklindedir [10].

Saf bir yarıiletken termal uyarma ile iletkenlik bandına çıkmış elektronların sayısı (n_i) değerlik bandındaki boşlukların sayısına (p_i) eşittir (iletkenlik bandına çıkan her elektron geride bir boşluk bıraktığından). Germanyum ve silikonda oda sıcaklığında elektron yada boşluk yoğunlukları sırasıyla $2,4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ ve $1,5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ dür. Saf yarı iletkenlere bir takım safsızlıklar katılarak n ya da p tipi yarıiletkenler elde edilebilir [10].

Katı yarıiletken materyaller (germanyum ve silikon) radyasyon dedektörleri için sintilatörlere alternatif oluştururlar. Ge ve Si içinde 4 değerlikli atomların komşu atomlarla dört kovalent bağ oluşturdıkları kök kristaller şeklindedirler. Yani tüm değerlik elektronları kovalent bağa katılırlar ve bant yapısı, bir dolu bant ve bir boş iletim bandı gösterir. Bir yalıtkan ve bir yarıiletken arasındaki fark enerji aralığının büyüklüğünden kaynaklanır. Bu aralık bir yalıtkanda 5 eV ve bir yarı iletken 1 eV civarındadır. Çok az sayıda elektron oda sıcaklığında, değerlik bandında “boşluk” adı verilen bir boşluk bırakarak iletim bandına doğru termal olarak uyarılır. Bu boşluk komşu elektronlardan biriyle doldurulur (yeni bir boşluk oluşur). Böylece, boşlukları kristal içinde hareket ediyorlarmış gibi görünürler (aslında pozitif yüklü atomlar hareket etmezler) [4].

3.1 n -Tipi Yarıiletkenler

Silikon kristali dört değerlikli (tetravalent) yapıdadır. Bu atom en yakın çevresindeki dört diğer silikon atomu ile kovalent bağ yapar. Şekil 3.2 'de her çizgi bu bağa girmiş olan değerlik elektronunu temsil eder. Eğer çok az bir miktarda safsızlık, mesela beş değerlikli (pentavalent) fosfor, silikona eklenirse, bu atom kristal örgü içerisindeki bir silikon atomunun yerini alır. Safsızlık atomunun beş değerlikli elektronu olduğundan dört tanesi silikon ile kovalent bağ yapacak bir tanesi ise boşta kalacaktır [10]. Böyle bir materyalde negatif yük taşıyıcılarının (elektronlar) fazla olması dolayısıyla, materyale n-tipi yarıiletken denir [3].

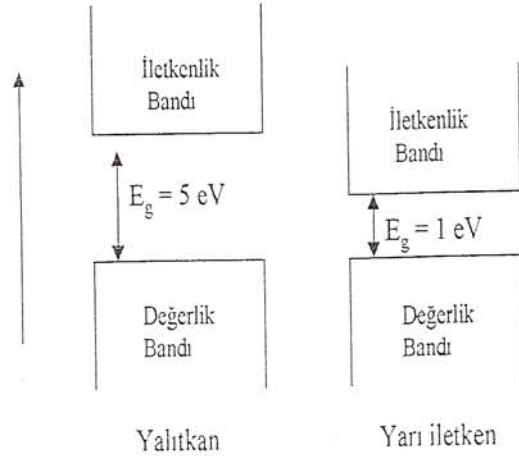
Bu elektronun örgüye bağı son derece zayıf olduğundan deşiksiz bir elektron olarak iletkenlik bandındaki elektronlara katkıda bulunur. Bu tür safsızlıklara **verici** (donor) safsızlıklar denir ve verici atoma ait bu ekstra elektronlar normal örgüye ait olmadıklarından yasak bant içerisinde iletkenlik bandının alt sınırına çok yakın bir pozisyonadadırlar (Şekil 3.2). Bu iki seviye arasındaki enerji farkı son derece azdır ve termal uyarımlar ile bu verici atomları iyonize olur. Bu sayede elektronları iletkenlik bandına kolayca çıkarlar. Saf bir yarı iletkenle göre verici taşıyan bir yarıiletkenle iletkenlik bandındaki elektron sayısı daha fazladır [10].

Elektron sayısı deşik sayısından çok daha fazla olduğu halde yük dengesi hala vardır. Bunun nedeni verici atomlarının iyonize olması ve böylelikle yük dengesinin sağlanmasıdır. İyonize verici atomlarının pozitif yükleri deşiklerle karıştırılmamalıdır. Zira deşikler hareketli olup iyonlanmış vericiler örgü içerisinde sabittir [10].

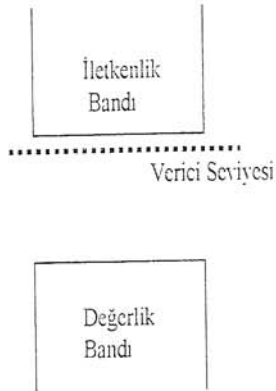
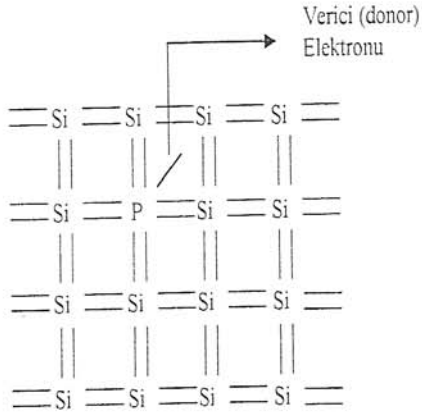
3.2 p -Tipi Yarıiletkenler

Silikon örgüsüne üç değerlikli bir safsızlık (B) katılırsa, bu atoma ait üç elektron silikonun elektronları ile kovalent bağ yapacak ancak bir silikon bağı bu durumda boş kalacaktır. Bu boşluk, normalde bir valans elektronunun uyarılarak iletkenlik bandına geçmesi durumunda geride bıraktığı bir deşik gibi davranır [10]. Değerlik bandının hemen üstünde alıcı durumlarını oluşturan böyle materyallere p-tipi yarıiletken denir [4].

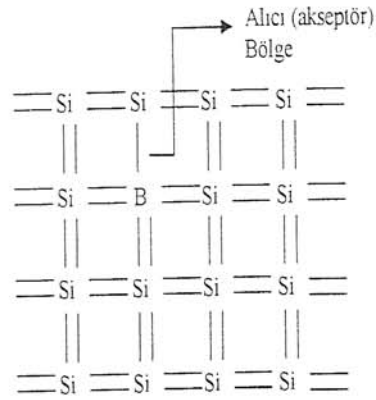
Eğer bir elektron bu boşluk tarafından yakalanırsa gene bir kovalent bağ oluşturacaktır. Ancak bu bağ, kristalin diğer noktalarındaki kovalent bağlar ile aynı değildir. Zira bağı oluşturan atomlardan bir tanesi üç değerliklidir. Bu boşluğu dolduran elektronun bağı tipik bir değerlik elektronunun oluşturduğu bağa göre daha zayıftır. Bu nedenle alıcı (akseptör) safsızlıklarda yasak bant içerisinde elektron bölgeleri oluşturabilirler. Ancak bu seviyeler bandın en altındadırlar ve özellikleri normal değerlik elektronları tarafından doldurulmuş bölgelerin özelliklerine çok yakındır (Şekil 3.3) [10]. n-tipi ve p-tipi tanımları, elektrik akımını oluşturan esas yük taşıyıcılarının işaretlerini temsil etmektedirler. Materyalin kendisi elektriksel olarak nötrdür [4].



Şekil 3.1. Yalıtkan ve Yarı iletkenlerde elektron enerjileri için bant yapısı [10]



Şekil 3.2. Verici safsızlığın(fosfor atomu) örgüye yerleşmesi ve silikon yasak bandındaki verici seviyesi [10]



Şekil 3.3. Alıcı safsızlığın (bor atomu) örgüye yerleşmesi ve silikon yasak bandındaki alıcı seviyesi [10]

Kristaldeki normal termal uyarımlar ile alıcı safsızlık atomlarının yarattığı boşlukları dolduracak elektronlar her zaman vardır. Alıcı bölgeler ile değerlik bandının üst sınırı arasındaki enerji farkı son derece azdır. Alıcı bölgelerin boşlukları değerlik bandından termal uyarımla ile çıkan elektronlar tarafından doldurulur. Bu elektronlar kristaldeki diğer normal kovalent bağlardan gelmektedirler ve çıkan her elektron için değerlik bandında bir deşik yaratılır. İyi bir yaklaşımla eklenen her alıcı safsızlık atomuna karşı değerlik bandında bir ekstra deşik yaratılmaktadır. n tipinde olduğu gibi elektriksel yük dengesi yine korunmaktadır [10].

Bir yarıiletkende alıcı ve verici safsızlıklar eşit konsantrasyonda ise bu maddeye kompanse edilmiş denir ve gerçek yarı iletkenlerin birçok özelliğini taşırlar. Ancak pratikte eşit konsantrasyonun sağlanması mümkün değildir. Mutlaka n ya da p tipinden bir tanesi baskın çıkar.

Bir yarı iletkenin çok yüksek konsantrasyonda safsızlık içeren ince tabakaları özel notasyonla ifade edilir. n^- ve p^+ çok yüksek miktarlardaki n ve p tabakalarını gösterir. Doğal olarak bu tabakaların iletkenlikleri çok yüksektir [10].

3.3 Yarıiletken Eklemler

Yük taşıyıcılarının iyi bir termodinamik kontak sağlanması durumunda eklem boyunca hareketleri mümkündür. Böyle bir kontak durumunun incelenmesi için p-tipi bir kristalin n-tipi bir safsızlığa maruz bırakıldığını varsayalım. Şekil 3.4 'te görüldüğü gibi, kontak kristalin sol tarafında gerçekleşmektedir. N_A başlangıçtaki alıcı konsantrasyonudur. Kontak sonucu n-tipi safsızlıklar kristal içerisinde belli bir mesafeye kadar difüz edeceklerdir. Verici safsızlık profili N_D ile gösterilmekte olup yüzeyden artan mesafe ile azalmaktadır. Kristal yüzeyinde verici safsızlık sayısı alıcıların çok üzerinde olup kristalin bu kısmını n-tipine dönüştürür [10].

Şekil 3.4 'te yük taşıyıcıların konsantrasyonlarında p ve n verilmekte olup kontak sonrası oluşan yük hareketleri sonucunda değişiklik göstermektedirler. Sol taraftaki n-tipi bölgede iletken elektronlarının sayısı p-tipine göre çok daha fazladır. Bu bakımdan iki bölge arasındaki eklemden iletkenlik elektron yoğunluğu tam bir kesiklik gösterir,

böyle bir gradyentin olması durumunda yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona net bir difüzyon olacağı şüphesizdir. Elektronlar p-tipi bölgeye girerekdeşikler ile birleşecektir (rekombinasyon), gerçekte bu birleşme p-tipi maddedeki kovalent bağdaki boşluğun bu elektronlarla doldurulmasıdır. İletkenlik elektronlarının n-tipi bölgeden p-tipi bölgeye hareketleri sonucunda arkalarında iyonize verici (donor) safsızlıklar şeklinde hareketsiz pozitif yük bırakırlar. Benzer olaylardeşikler içinde gerçekleşir;deşikler yüksek gradyent etkisi n-tipi bölgeye doğru hareket ederler ve arkalarında sabit negatif yükle temsil edilen ilave elektron yakalamış verici bölgeleri bırakırlar. Sonuçta ortak etki, p tarafında net bir negatif uzay yükü, n tarafında ise pozitif uzay yüklerinin ortaya çıkmasıdır. Bu uzay yükünün oluşması ile yaratılan elektrik alan daha fazla difüzyonu engeller ve durağan bir yük dağılımı ortaya çıkar. Eklemin uzay yükü bölgesinin ötesindeki n ve p bölgelerinde iyonize verici atomlarda serbestdeşikler tarafından elektriksel olarak kompanse edilirler [10].

Yük dengesizliğinin olduğu bölgeye tüketim (deplesyon) bölgesi adı verilir ve eklemin iki ucunda p ve n bölgelerine doğru uzanır. Eğer n bölgesindeki verici konsantrasyonu ile p bölgesindeki alıcı konsantrasyonları birbirine eşit ise her iki taraftaki difüzyon şartları yaklaşık olarak aynıdır ve tüketim bölgesi her iki tarafa da eşit uzaklıktadır. Ancak genelde eklemin bir ucundaki yükleme seviyesi diğer ucuna göre farklıdır. Örneğin n-tipi maddedeki verici konsantrasyonu p-tipindeki alıcı atomlardan daha fazla ise n tarafından difüzyon yapan elektronlardeşikler ile birleşmeden önce p-tipi içerisinde daha uzun bir yol alacaklardır, bu durumda tüketim bölgesi p tarafına doğru daha fazla uzanacaktır [10].

Eğer radyasyon, tükenme bölgesine girer ve elektron-deşik çiftleri oluşturursa, iyonlaşma odasındakine çok benzer bir sonuç ortaya çıkar (gerçekte, tükenme bölgesi paralel-düzlem kondansatördekine çok fazla benzer). Elektronlar bir yönde hareket ederkendeşikler diğer yönde hareket ederler ve biriken elektronların toplam sayısı bir elektronik puls oluşturur, bu pulsun genliği radyasyonun enerjisi ile orantılıdır [4].

Bu dedektörler, pratikte, ters besleme voltajlarıyla (1000-3000 V) çalıştırılırlar. Bu voltaj iki etkiye sahiptir; tükenme bölgesindeki elektrik alan büyüklüğünü, yük birikimini daha verimli yaparak artırır ve bir tip materyalden diğerine daha fazla yük

taşıyıcısını sürükleyecek bir kuvvet uygulayarak tükenme bölgesinin boyutlarını (dolayısıyla dedektörün duyarlı hacmi artırılır) artırır [4].

Eklem bölgesinde net bir yükün birikmesi eklem boyunca bir elektrik potansiyel farkının yerleşmesine neden olur. Bu potansiyelin tek boyutta herhangi bir noktadaki değeri (ϕ) Poisson denkleminin çözümü ile bulunabilir.

$$d^2 \phi / dx^2 = -[\rho(x)] / \epsilon \quad (3.2)$$

Burada ϵ ortamın dielektrik sabiti ve ρ net yük yoğunludur. Böylelikle eklem boyunca potansiyelin şekli, yük dağılım profilinin, $\rho(x)$ iki sefer integrasyonu ile elde edilebilir. Grafiksel örnekler Şekil 3.4 'te gösterilmektedir. Eşitlikte eklem boyunca ki potansiyel farkı (kontak potansiyeli) yarı iletken maddenin hemen hemen tüm bant genişliğine yakındır [10].

Elektriksel potansiyelinde bir fark olduğu zaman mutlaka bir elektrik alan (E) vardır ve değeri, potansiyelin gradyenti alınarak bulunur.

$$E = -\text{grad } \phi \quad (3.3)$$

Tek boyutta,

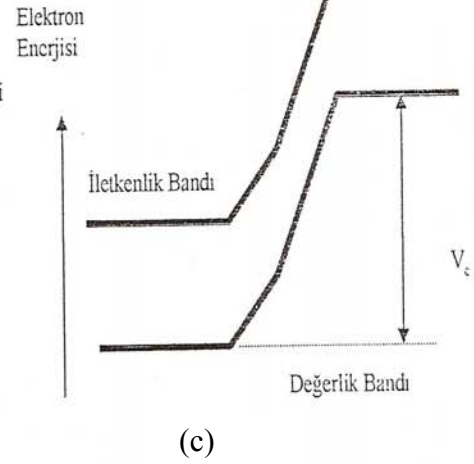
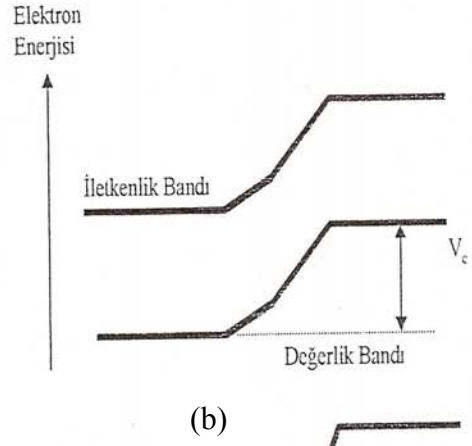
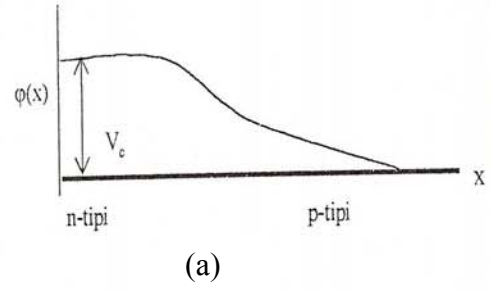
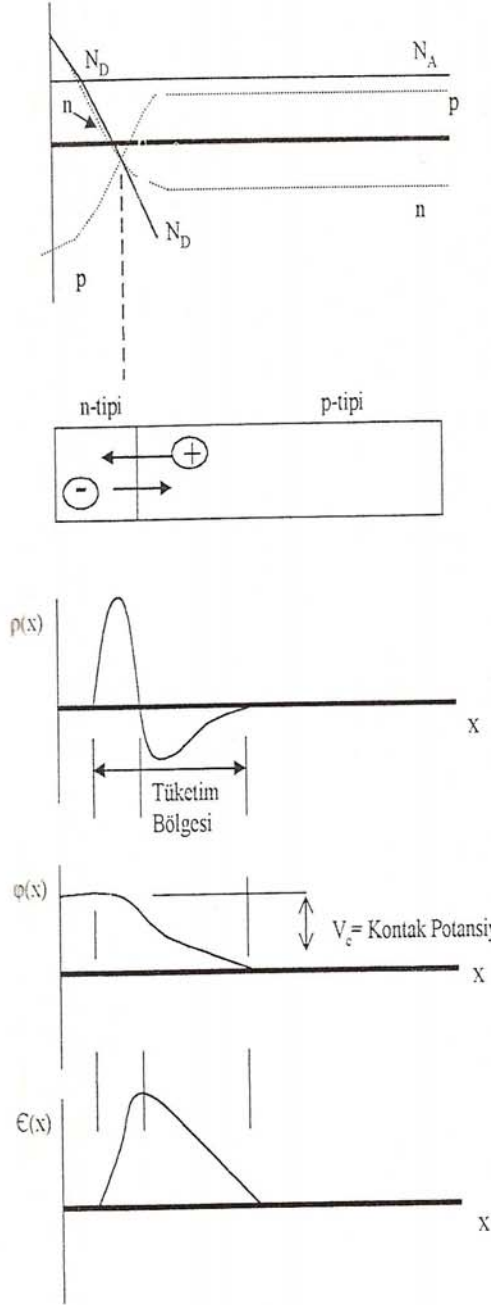
$$E(x) = -d\phi / dx \quad (3.4)$$

Elektrik alanı, yük dengesizliğinin önemli ve potansiyelinde bir gradyentinin olduğu tüketim bölgesi boyunca yer alır.

Tüketim bölgesinde serbest elektron ya da deşik bulunamaz. Eğer bu bölgede radyasyonun etkisi ile bir elektron-deşik çifti yaratılmışsa elektron n-tipi bölgeye doğru ve benzer olarak deşikler p-tipi bölgeye doğru sürüklenirler. Tüketim bölgesinde elektron ve deşik konsantrasyonu son derece azdır (bu yoğunluk bir silikon dedektörde cm^3 'de 100 elektron ya da deşik kadarken yüksek rezistif bir maddede 10^{10} mertebesindedir). Tüketim bölgesinde sadece sabit verici ve dolu olan alıcı bölgeleri

bulunur, bu yüklerin iletkenliğe hiçbir katkısı olmadığından tüketim bölgesinin rezistivitesi eklemnin her iki yanındaki p ve n-tipi bölgelerin rezistivitelerine göre çok daha fazladır. Gelen radyasyonun etkisi ile tüketim bölgesinde oluşturulan elektron ve deşikler, elektrik alanın etkisi ile bu bölgenin dışına sürüklenirler bu hareket radyasyonun ölçümünde kullanılan elektrik sinyalini oluşturur [10].

Konsantrasyon



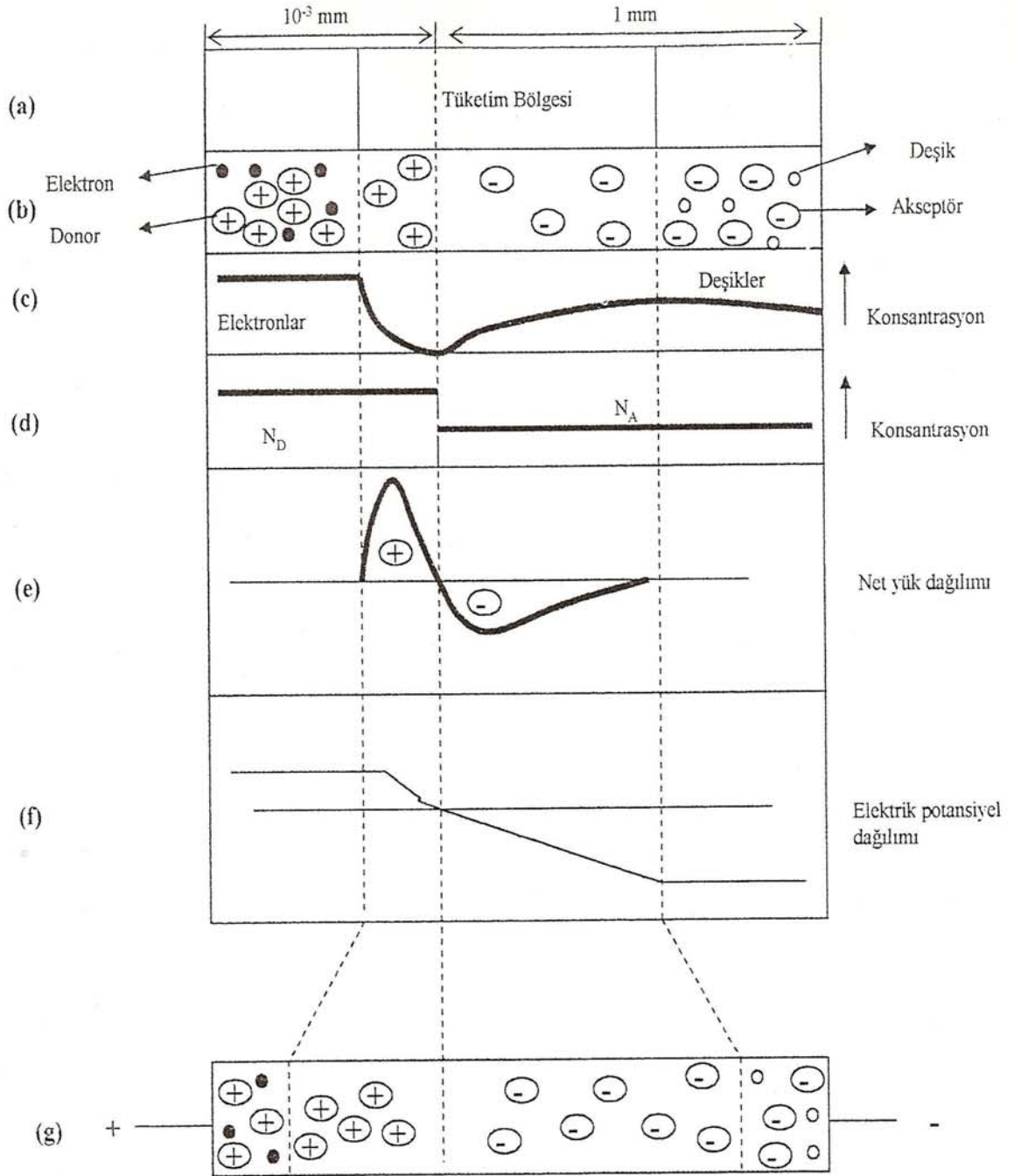
Şekil 3.4. n-p eklemının konsantrasyon profilleri(uzay yükü $\rho(x)$, elektrik potansiyeli $\phi(x)$ ve elektrik alanı $E(x)$)

Şekil 3.5. Elektrik potansiyelinin n-p eklemi boyunca değişimi (a) Enerji bantlarının eklem boyunca değişimi (b) Ters besleme (c) [10]

3.3.1 Doğru ve Ters Besleme

p-n eklemının en önemli rolü diyot olarak kullanılmasıdır. Eklemının özellikleri uygulanan voltaj doğru yönde ise akımı kolaylıkla geçirecek, voltajın ters yönde uygulanması durumunda ise akım geçirgenliği çok az olacak şekildedir.

Önce pozitif bir voltajın p tarafına uygulandığını varsayalım, bu potansiyel n tarafından iletkenlik elektronlarının ve p tarafından deşiklerin hareketlerine neden olacaktır. Eklem boyunca iletkenlik bu taşıyıcıların esas taşıyıcılar olması nedeniyle artacaktır. Şekil 3.5 'de görülen kontak potansiyeli uygulanan gerilim kadar azaltılmıştır. p-n eklemının oluşturulması sırasında elektronların p, ve deşiklerin n bölgelerine difüzyonları sonucunda bir kontak potansiyeli oluşur. Beslemenin ters, yani eklemının p tarafının negatif yüklenmesi durumunda başlangıçta kurulmuş olan kontak potansiyeli arttırılmış olacaktır. Bu durumda eklem boyunca azınlık taşıyıcıları (n tarafındaki deşikler ve p tarafındaki elektronlar) hareket edeceklerdir. Ancak bu taşıyıcıların konsantrasyonları düşük olduğundan diyottan geçen ters akım oldukça küçüktür. p-n eklemının kontağı sırasında oluşan doğal potansiyel farkı yani kontak potansiyeli artmaya başlayacaktır. Zira p bölgesindeki iletkenlik elektronlarının (azınlık taşıyıcı) n tarafına ve deşiklerin (azınlık taşıyıcı) n 'den p bölgesine gitmeleri ile tüketim bölgesinde daha fazla iyonize pozitif verici ve negatif alıcı atom oluşacak, başlangıçtaki potansiyel farkı artacaktır. Ters beslemede tüketim bölgesinde değerlik bandı ve alıcı bölgeleri (acceptor site) elektronlarla tamamen doldurulmuştur. Diğer taraftan iletkenlik bandında hiçbir elektron yoktur ve verici bölgeleri (donor site) tamamen iyonizedir, bu durumda tüketim bölgesi çok iyi bir yalıtıcıdır (Şekil 3.6) [10].



Şekil 3.6. p-n eklemine şematik olarak gösterilmesi, (a) Tüketim bölgesi (b) Alıcıların, vericilerin elektron ve deşiklerin eklem boyunca dağılımları (c) Elektron ve deşik konsantrasyonları (d) Alıcı ve verici konsantrasyonları (e) Net uzay yük dağılımı (f) Uzay yükünün oluşturduğu elektrik potansiyelinin dağılımı (g) Ters besleme durumunda elektron, deşik, alıcı ve verici atomlarının dağılımı [10]

3.3.2 Ters besleme eklemlerin özellikleri

Bir ekleme ters besleme uygulandığı zaman, rezistivitesi n ve p tipi maddelerden çok daha fazla olduğu için uygulanan tüm voltaj tüketim bölgesi boyunca ortaya çıkar. Potansiyel farkı büyüdüğü için uzay yükü de artarak eklemin iki ucuna doğru daha fazla genişler. Dolayısıyla tüketim bölgesinin kalınlığı ve sonuçta radyasyon etkileşimi sonucu oluşacak yük taşıyıcılarının toplanacağı hacim artmış olur. Radyasyon dedektörleri her zaman kontak potansiyelinin çok üzerindeki besleme voltajlarında çalıştırılırlar.

Ters besleme ile ilgili bazı özellikler, tüketim bölgesi genişliğinin kristalin her iki kenarına kadar ulaşamayacağı yeterli kalınlıkta bir yarı iletkeni dikkate alınarak çıkarılabilir.

Ters beslemeli p-n eklemleri etkin bir dedektör olarak kullanılabilir. Çünkü tüketim bölgesinde oluşturulan yük taşıyıcıları çabuk olarak toplanabilmektedir. Tüketim bölgesinin genişliği dedektörün aktif hacmini vermekte ve uygulanan ters besleme ile bu genişlik kısmen değiştirilebilmektedir. Bu husus bazı uygulamalarda önemli bir üstünlük sayılmaktadır. Dedektör kapasitansı uygulanan voltajla değiştiğinden stabil çalışma şartları için yüke hassas ön yükselteçlerle kullanılırlar [10].

3.4 Önemli Yarıiletkenler

Silikon(Si) : Oda sıcaklığında işler Atom numarası düşük olduğu için ($Z=14$) 55 keV'den daha yüksek enerjili gama ışınları için durdurma gücü zayıftır.

Germanyum(Ge) : 100 °K' in altında işler. Çok iyi enerji rezolüsyonu vardır. Saf germanyum dedektörlerin iyi gama ışını absorpsiyonu sağlamaları için kilo gram ağırlıklarında olmaları gerekli olup, oldukça pahalıdırlar.

Civa İyodür(HgI) : Oda sıcaklığında işler. İyi enerji rezolüsyonu vardır. Gama ışınları durdurma gücü yüksektir. 259 °K' de erir. Çok yumuşak olup, kolay kırılma tehlikesi vardır [3].

Kadmiyum Tellur(CdTe) : Oda sıcaklığında işler. 20 yıldır ticari kullanımdadır. Nükleer tıpta probe tipi dedektörlerde yaygın kullanımı vardır. Enerji rezolüsyonu 6-8 keV’ dir.

Kadmiyum Çinko Tellur(CdZnTe) : % 4 ZnTe, % 9 CdTe ve % 20 ZnTe, % 80 CdTe oranlarındaki karışımlarında iyi sonuçları verdikleri bilinmektedir. Tüm özellikleri CdTe’ye benzemekle birlikte daha duyarlıdırlar. Bu özelliği sebebiyle tercih edilen bir yarı iletkenidir. 122 keV enerjili gama ışınları için 4 keV enerji rezolüsyonu vardır. Fotoğraf 3.1 ‘de değişik büyüklüklerde CdZnTe yarı iletken örnekleri görülmektedir.



Fotoğraf 3.1 CdZnTe yarı iletkeni blok ve parçaları [11]

Diğer önemli yarı iletkenler ise; GaAs, CdSe, GaSe, InP, AlSb ‘dir [3].

BÖLÜM IV

YARIİLETKEN DEDEKTÖRLERİN ÖZELLİKLERİ VE TARİHSEL GELİŞİMİ

4.1 Niçin? Yarıiletken

Gazlı sayaçların, nükleer fiziğin ilgilendiği pek çok radyasyon için elverişsiz tarafı, düşük verimli olmalarıdır. 1 MeV'lik γ ışınlarının havadaki menzili 100 m civarındadır. Büyük yoğunluğa sahip katı dedektörler, uygun boyutlarda olduğu zaman, uygun soğurma olasılıkları verirler. Ancak iyi çalışabilir bir katı dedektör yapmak için, birbiriyle çelişen iki kritik şartın sağlanması gerekir:

- 1) Elektron ve iyonların yeteri kadar birikip elektronik pusların oluşabilmesi için yüksek elektrik alana dayanabilecek dedektör materyaline ihtiyaç vardır. Radyasyon olmadığında az veya hiç akım geçmemelidir, böylece tabansayım gürültüleri küçük olacaktır.
- 2) Elektronlar, gönderilen radyasyon ile atomdan kolayca ve çok sayıda koparılabilmelidir. Elektronlar ve ilk iyonlaşan atomlar materyal boyunca kolayca hareket edebilmelidirler (Gerçekte, iyonların kendileri katı içinde hareket etmezler; bunun yerine elektronik boşluklar veya “deşikler” bir atomdan diğerine geçen ardışık elektronlar tarafından doldurulurlar. Böylece “deşik” hareket ediyormuş gibi görünür.).

Birinci şart, yalıtkan bir materyal seçimini gerektirirken, ikinci şart bir iletken kullanımını önermektedir. Bu iki şartın bir yarıiletken ile sağlanacağı açıktır [4].

Normal yarıiletkenler oda sıcaklığında düşük dirençlere sahip olmaları sebebiyle iletkenlik sayıcıları olarak kullanılamazlar. Bunun için sükunet akımı azaltılarak bunun değişimlerinin işaret akımının yanında küçük kalması sağlanmaktadır. Bu iş p-n eklemleri meydana getirmek ve onları ters yönde polarize edilmiş olarak kullanmak suretiyle yapılabilir. Eklemin herhangi bir tarafında iyon çiftleri meydana getirilince azınlık taşıyıcıları p-n eklemi meydana getiren tabakayı hızlanarak geçerler ve

elektrotlar arasında bir işaret meydana getirirler. Ekleme ulaşmayan azınlık taşıyıcıları ise tuzaklara düşerler ve çıkış işaretine herhangi bir katkıda bulunmazlar. Azınlık taşıyıcılarının ekleme ulaşip ulaşmamaları meydana geldikleri noktanın ekleme olan uzaklığına, difüzyon hızına ve ömürlerine (tuzağa düşene kadar) bağlıdır. Difüzyon hızı ve taşıyıcıların ömürleri, azınlık taşıyıcıları için bir “difüzyon mesafesini” belirtir. Eğer işaret yarıiletken içinde meydana gelerek bütün iyonizasyonu temsil edecekse, iyonizasyon ekleme, difüzyon mesafesi kadar uzaklıkta bulunan bir bölge arasında meydana gelmelidir. Yarıiletkenlerin difüzyon mesafeleri kısa olduğundan (1 mm ’den az) önemli yük toplanmaları küçük mesafeli yük taşıyıcılar için mümkündür (alfa parçacıkları gibi) ve parçacıklar da kristale, hemen geçiş bölgesinin yakınlarından girmelidir. Bu sebepten yarıiletkenin geçiş bölgesi yarı iletkenin çalışma yönüne çok yakın olmalıdır [12].

Eğer bütün iyonizasyon, geçiş bölgesinde gerçekleşiyorsa, yük toplanması daha hızlı olur. Fakat iyonizasyonun bir kısmı geçiş bölgesinin içinde değil de, difüzyon mesafesinin içinde bir yerde gerçekleşecek olursa, işaretin bir kısmı, göz önüne alınması gereken difüzyon zamanı sebebiyle yavaş olur (germanyumda $100\mu s$ ’ler mertebesinde). Düşük enerjili alfa parçacıkları enerjilerinin büyük bir kısmını geçiş bölgesinde bıraktıkları halde enerjisi daha büyük parçacıklar difüzyon mesafesinin belli bir noktasına kadar iyonizasyona sebebiyet verebilirler. Bu sebeple işaret büyüklüğü ile parçacık enerjisi arasında bir ilgi kurulması isteniliyorsa, integrasyon zamanları oldukça büyük seçilmelidir [12].

Yarıiletken bir sayıcıdan elde edilecek işaret iyonizasyon odasında olduğu gibi toplanan yüke ve sayıcı kapasitesine bağlıdır. p-n eklemlerinin kapasitesi geçiş bölgesinin kalınlığı ile ters orantılıdır, bu ise uygulanan geriliminin karekökü ile doğru orantılıdır. O halde işaret uygulanan gerilimin karekökü ile doğru orantılı olacaktır. Fakat geçiş bölgesi kalınlaştıkça sayıcı yüksek enerji değerlerine kadar lineer bir karakteristiğe sahip olur. Bu sebeple yarıiletken sayıcılara mümkün olduğu kadar yüksekçe gerilimler uygulanmalıdır ta ki yarıiletkenin zener bölgesine gelinmesin [12].

4.2 Yarıiletken dedektörlerin özellikleri

Yarıiletken dedektörlerin işlevleri genelde iyon odalarına benzer ancak yük taşıyıcıları elektron ve pozitif iyonlar değil, elektron ve deşiklerdir. En yaygın olarak kullanılan yarıiletken dedektörler silikon ve germanyumdan yapılmışlardır. Bu dedektörlerin diğerlerine göre en önemli üstünlükleri enerji ayırma güçlerinin son derece yüksek olmasıdır.

Diğer önemli özellikleri ise aşağıda sıralandığı gibidir.

- 1- Geniş enerji aralığında radyasyona karşı yanıtları (parçacık enerjisine karşı puls yüksekliği) doğrusaldır.
- 2- Belirli bir boyut için etkinlikleri yüksektir. Zira yapılarında yüksek yoğunlukta sert madde kullanılmaktadır.
- 3- Farklı geometrik tasarımlarda yapılmaları mümkündür.
- 4- Puls doğma zamanları hızlıdır.(gaz dedektörlerine göre)
- 5- Vakum altında çalışırlar.
- 6- Manyetik alandan etkilenmezler [10].

4.3 Yarı iletken Dedektörlerin Tarihsel Gelişimi

Bazı yarıiletken (veya dielektrik) kristallerin dedektör olarak kullanılması 1945'te P.Van Heerden ve 1947'de D.Woorldridge ve arkadaşlarınca gerçekleştirildi. Daha sonra, yarıiletkenler, yüklü parçacıkların birçok yoldan dedeksiyonu için kullanılagelmiştir.

p-n bağına sahip bir germanyum diyot K. McKay ve R. Bomal ve arkadaşları tarafından bir alfa parçacığı sayacı olarak kullanılmıştır. Çok yakın zamanda, yüklü parçacık sayımı için difüze edilmiş bağlı silikon bir sayaç geliştirilmiş ve başarıyla kullanılmıştır [9].

Uygun bir radyasyon dedektörü yapmak için yeteri kadar büyük boyutlarda yarı iletken materyal 1960'ların sonlarına kadar elde edilememiştir [4].

Sintilasyon sayıcılarının enerji ayrımları çok hassas olmadığından daha iyi enerji ayırım gücüne sahip yarıiletken dedektörler 1960' lı yıllardan sonra kullanılmaya başladı. Bu dedektörlerin yüksek enerji ayırma kabiliyetlerinin yanında yoğun oluşları, hızlı-zamanlama karakteristikleri ve etkin kalınlığa sahip bulunmaları diğer çeşitli dedektörlerden bunları üstün kılmıştır [13].

Günümüzde diğer yarıiletkenlerle birlikte özellikle CdZnTe yarıiletken dedektörü, sanayide, endüstride ve nükleer tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır (Fotoğraf 4.1).



Fotoğraf 4.1 Cd ZnTe yarı iletken dedektörü [11]

Son 20 yıldan beri yarıiletken dedektörler çok gelişmiş ve birçok araştırma laboratuvarında rutin olarak kullanılmaya başlanmıştır [13].

BÖLÜM V

YARIİLETKEN DEDEKTÖR TÜRLERİ

Günümüzde kullanılan birçok yarıiletken dedektörün tasarımlarında farklı maddeler kullanılmakta ya da yapım yöntemlerinde değişiklikler bulunmaktadır. Bu değişiklikler paralelinde yarıiletken dedektörlerin, difüz eklemli dedektörler (diffused junction detectors), yüzey engelli silikon dedektörleri (surface-barrier silicon detectors), sadece tüketim bölgesi dedektörler (totally depleted junction detectors), lityum birikimli silikon dedektörler (lithium-drifted silicon detectors) ve germanyum dedektörleri (germanium detectors) gibi kullanılabilir birçok türleri vardır [6].

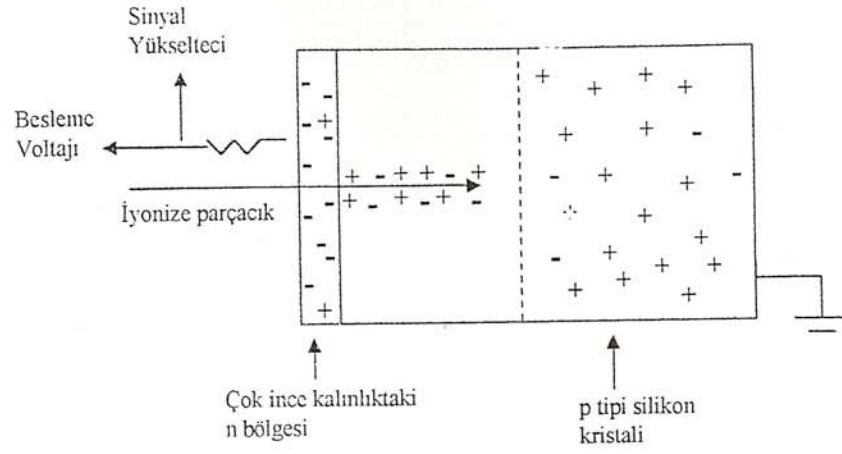
5.1 Difüz Eklemlı Dedektörler (Diffused Junction Detectors)

Bu dedektör tipinde yüksek saflıkta p-tipi silikon esas maddedir. İnce tabaka halindeki bu silikonun ön yüzeyi üzerinde n-tipi bir bölge fosfor kaplanarak ve daha sonra bir saat kadar 800-1000 °C ısıtarak elde edilir. Fosfor, silikona difüz eder ve verici atomlar yüklenmiş olur. Böylelikle n-tipi silikon ön yüzeyde, p-tipi silikon ise arka yüzeyde yapılarak bir p-n eklemi oluşturulmuş olur (Şekil 5.1) [10].

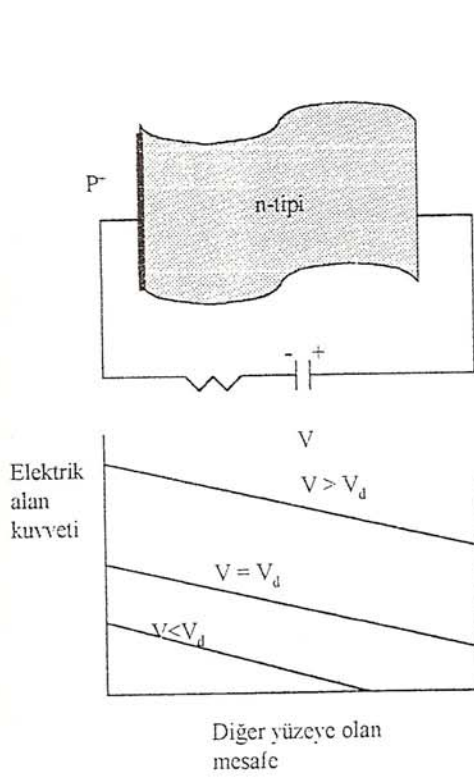
5.2 Yüzey Engelli Silikon Dedektörler (Surface-Barrier Silicon Detectors)

Yüksek saflıkta n-tipi silikon çok ince bir tabaka haline getirildikten sonra havada uzun süre bekletilir. Oksijen elektronegatif olduğundan silikon yüzeyi üzerinde yüksek yoğunlukta deşikler oluşturur. Böylece bu yüzey p-tipine dönüşür. Daha sonra çok ince bir altın tabaka bu yüzey üzerine buharlaştırılarak elektriksel kontak sağlanır.

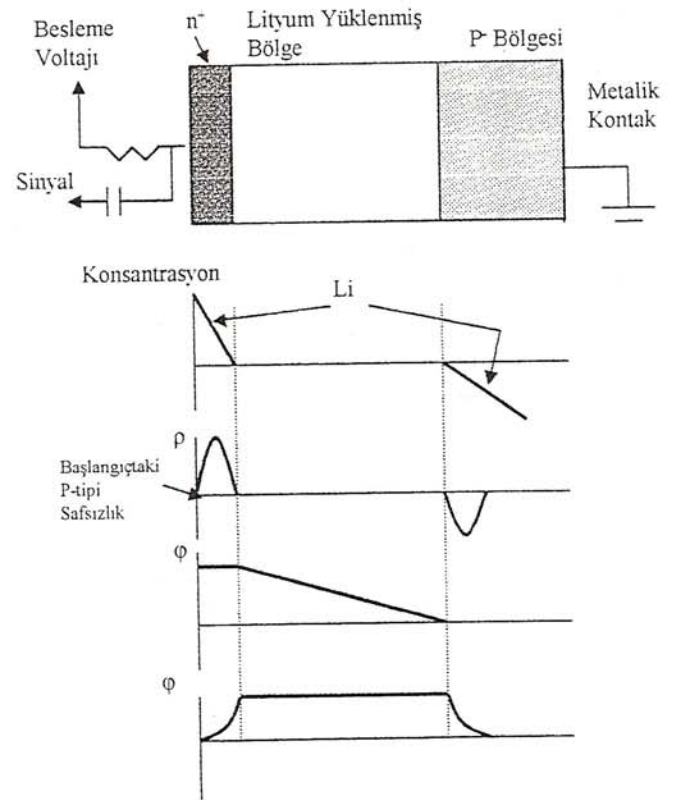
Her iki dedektörde yüklü parçacıkların dedeksiyonunda kullanılırlar. Ancak dedektör boyutunun gelen parçacığın silikon içerisindeki erimine en azından eşit olması gerekir [10].



Şekil 5.1 Difüz eklemli dedektör



Şekil 5.2 Ters beslemede elektrik alan şiddeti



Şekil 5.3 Lityum yüklemeli p-i-n dedektörünün basit şeması [10]

5.3 Sadece Tüketim Bölgesi Dedektörler (Totally Depleted Junction detectors)

Tüketim bölgesinin kalınlığı ters besleme voltajı ile artar. Eğer bu voltaj yeteri kadar arttırılacak olursa sonuçta tüketme bölgesi tüm silikon tabaka boyunca uzanır. Bu tür dedektörlere sadece tüketim bölgesi dedektörler denir.

Bir p-n eklemının bir kenarı yüksek konsantrasyonda alıcı ya da verici atomları (n^- ya da p^+) ile yüklenmiş diğer tarafı ise n ya da p tipinde yüksek saflıktaki yarıiletken maddeden oluşmuştur. Belirli bir voltaj için tüketim bölgesinin kalınlığının arttırılması eklemının yüksek saflıktaki kısmında verici atomların konsantrasyonlarının minimum yapılmasıyla gerçekleştirilir. Tüketim bölgesi, genelde eklemının sadece yüksek saflıktaki kısmına doğru uzanır. Yüksek konsantrasyonda yüklenmiş bölge çok incedir ve giriciliği zayıf olan radyasyonlar için bir giriş penceresidir. Şekil 5.2 'deki yüksek saflıktaki n-tipi silikon tabaka ve yüksek konsantrasyonda yüklenmiş p-tipi yüzey tabakasından oluşmuş p-n eklemi dikkate alalım. Ters besleme voltajı arttırıldıkça tüketim bölgesi p yüzeyinden başlayarak silikon maddesi içerisinde genişlemeye başlar. Voltajın küçük değerlerinde, tükenmiş bölge kalınlığı silikon tabakasını tamamen işgal eder ve elektrik alan bölgenin ucunda sıfıra düşer. Tüketim bölgesinin bitiş noktası ile silikon tabakasının geri kalan diğer kenarı arasında hiçbir elektrik alanının olmadığı bir tükenmemiş silikon tabakası vardır. Bu bölge hiçbir yük taşıyıcısının toplanamayacağı bir ölü bölgeyi temsil eder. Eğer uygulanan voltaj daha da arttırılırsa tükenmiş bölge tüm silikon tabakası boyunca uzanarak arka kenara ulaşır. Bu voltaj, tabaka kalınlığı t ise,

$$V_v = e N t^2 / 2 \epsilon \quad (5.1)$$

ile verilir. Bu duruma ulaşıldığı zaman sonlu bir elektrik alanı tüm tabaka boyunca oluşur ve ölü bölge kalınlığı sadece yüzeyde elektriksel kontak alınacağı çok ince bir tabakaya azaltılır. Bu husus Şekil 5.2 'de $V = V_d$ çizimi ile gösterilmiştir. Tabaka tamamen tükenmiş bölgeye çevrildikten sonra voltajın yükseltilmesi tabaka boyunca her noktada elektrik alanın sabit bir miktarda artmasına neden olur. Besleme voltajının tüketim bölge voltajının çok daha üzerine çıkarılması elektrik alan profilinin tüm tabaka boyunca daha homojen olmasına neden olur [10].

Dedektörün aktif hacmi içerisinde her noktada yüksek elektrik alanı sağlanması radyasyon dedeksiyonu için önemli olduğundan bu dedektörlerde çalışma voltajları bu şartları sağlayacak şekilde seçilir.

Bu dedektörler enerjileri tüm tabakayı geçmeye yeterli olan parçacıkların dedeksiyonunda transmisyon dedektörleri olarak kullanılırlar. Bu durumda elde edilen darbe yüksekliği dedektörden geçen parçacığın kaybettiği enerjiyi ifade eder. Genelde kullanılan dedektör kalınlıkları 50- 2000 μm civarındadır.

Tükenmiş bölge kalınlığı yüzey engelli ya da difüz eklemli dedektörlerde kritik değildir. Çünkü dedektörün aktif hacmi bu bölge kalınlığı kadardır. Ancak tamamı tükenmiş bölge olan dedektörlerde tabaka kalınlığı, dedektör boyunca enerji kayıp değişkenlerinin minimum olması için son derece homojen yapılıdır [10].

5.4 Lityum Birikimli Silikon Dedektörler (Lithium-Drifted Silicon Detectors)

Yukarıda açıklanan dedektörlerin hassas hacimleri en fazla 2000 μm olabilir. Bu nedenle maksimum enerjisi ölçülecek yüklü parçacık dedeksiyonu sınırlanmış olur. Bu aralıkta ölçülebilecek en fazla elektron enerjisi 1.2 MeV, protonlar için 17 MeV ve alfa parçacıkları içinde 90 MeV'dır.

Dedektör hacmi kristale lityum verilerek arttırılabilir. Bu tip dedektörlere lityum birikimli silikon dedektörler (lithium-drifted silicon dedectors) - Si(Li) denir. Silikon içerisinde aktif hacim 5-10 mm 'ye kadar arttırılmıştır.

Diğer taraftan silikonun atom numarası ($Z=14$) germanyuma göre yarı yarıya azdır ($Z=32$), bu nedenle Si(Li) dedektörler gama ışık spektrometresinde kullanılamazlar. Ancak çok düşük enerjili gama ya da X-ışınlarının dedeksiyonunda yeterli fotoelektrik tesir kesiti sağlandığı için tercih edilirler. Silikon yüksek enerjili gama ışınlarına karşı geçirgen olduğundan, bu yüksek enerjilerin de var olduğu durumlarda düşük enerjili X-ışınlarının ölçülmesi mümkün olur. Diğer bir kullanım sahası ise harici elektronların ya da beta parçacıklarının dedeksiyonudur. Düşük atom numarası nedeniyle dedektörden geri saçılacak elektron sayısı çok az olduğundan yüksek bir sayım etkinliği sağlanır [10].

Bu dedektörün yapımında iki aşama vardır: Önce p-n eklemi oluşturulur daha sonra lityumun silikona yüklenmesi sağlanır. Yüksek saflıktaki silikon ve germanyum maddeleri p-tipi olma eğilimindedirler. p-n ekleminin oluşturulması için verici (donor) atomlarının silikona eklenmesi gerekmektedir. Bu amaçla lityum difüzyonu p-tipi kristalin bir ucundan başlatılır ve kristalin bu noktası n-tipine dönüştürülür. Ortaya çıkan p-n eklemine ters besleme yapılır ve bu arada kristalin sıcaklığı yükseltilir ve böylelikle lityum iyonlarının mobilitesi arttırılır. Lityum iyonları elektrik alanın etkisiyle p-tipi bölge içerisine sürüklenirler ve konsantrasyonları artarak orijinal alıcı atomların sayısına ulaşılır. Bu işlemin hızı uygulanan voltaj ve sıcaklığa bağlıdır. Genelde 40 °C sıcaklıkta uygun sonuç için günler hatta haftalarca sürecektir işlem gerekebilir. Sürüklenme işlemindeki önemli bir özellik tam bir yük kompensasyonunun gerçekleşerek her noktadaki uzay yükünün sıfır olmasıdır. Bu bölgeye “i” (intrinsic), bölge adı verilir.

Lityum yüklenme işlemi sona erdikten sonra yüklemenin yapıldığı yüzey (n-tipi) ve kristalin diğer ucundan (p-tipi) elektriksel kontaklar alınır (Şekil 5.3). Bu bölgede net bir yük olmadığından elektrik potansiyel lineer olarak değişir. Elektrik alan ise i bölgesi boyunca homojendir ve bu bölgenin rezistivitesi p ve n bölgelerinden çok yüksek olduğundan uygulanan voltaj “i” bölgesi boyunca ortaya çıkar. Sınırlarda elektrik alan hemen sıfıra düşer. i bölgesinin boyutu dedektörün aktif hacmini belirler. Genelde 5-10 mm kalınlıklar ve 500-40000 V besleme voltajları kullanılır [10].

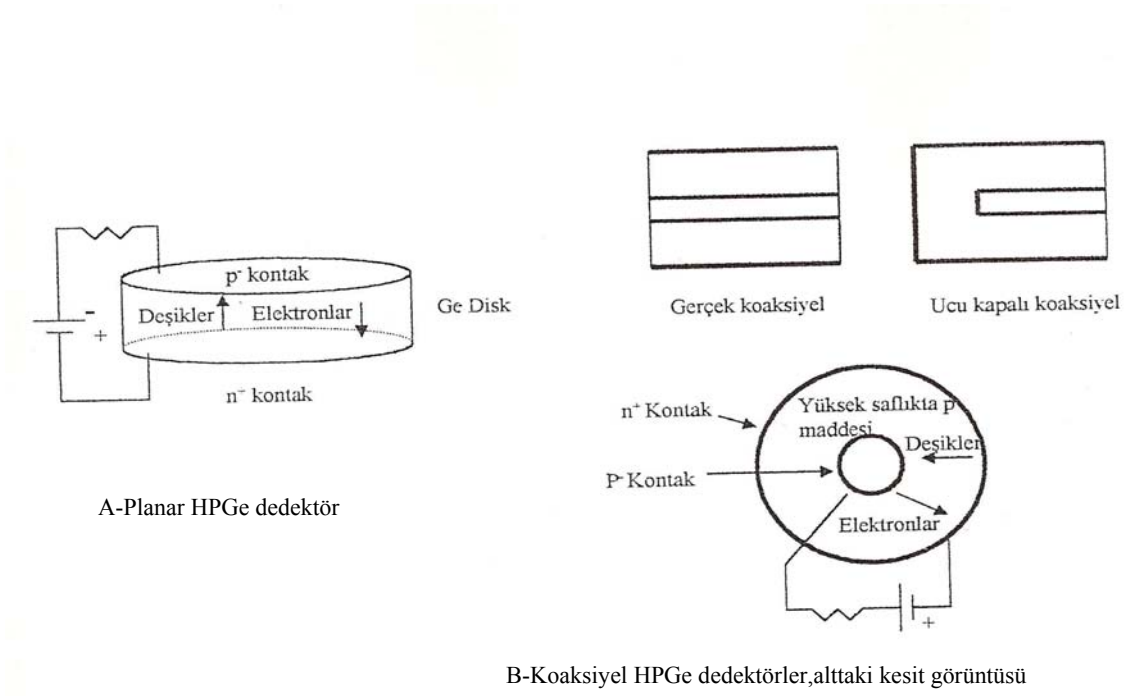
5.5 Germanyum Dedektörleri (Germanium Detectors)

Gama ışın spektrometresinde kullanılacak dedektörlerin tüketim bölgelerinin çok daha fazla olması istenir. Germanyum dedektörleri bu amaç için tasarlanmışlardır. Tüketim bölgesinin kalınlığının artması belirli bir voltaj için ancak net safsızlık konsantrasyonunun azaltılmasıyla gerçekleştirilir. Bunun içinde iki farklı yaklaşım vardır. İlki daha ileri düzeyde saflaştırma tekniklerinin kullanılarak safsızlık konsantrasyonunu 10^{10} atom/cm³ mertebesine indirmektir. Böyle bir kristalde tüketim bölgesinin kalınlığı 1000 V altındaki besleme voltajı için 10mm civarında olacaktır. Ultrasaf germanyumdan yapılan dedektörlere gerçek germanyum (intrinsic germanium) ya da yüksek saflıkta germanyum (HPGe) dedektörleri denir (10).

Net safsızlık konsantrasyonunun azaltılmasında kullanılan ikinci yaklaşım, bu safsızlıkların eşit konsantrasyonda zıt yüklü verici atomların ilavesi ile dengelenmesidir. Ancak bu kompensasyonun tam olarak sağlanması mümkün değildir. Alıcı ya da verici atomlar arasındaki en ufak bir farkta kristal n ya da p tipi olarak davranacaktır. Germanyum kristalinde lityum yükleme yapılabilir. Bu şekilde elde edilen dedektörler Ge(Li) kısaltması ile gösterilir. Ancak HPGe dedektörleri daha fazla kullanılmaya başlamıştır. Zira, Ge(Li) dedektörünün kullanılmadığı zamanlarda da düşük sıcaklıkta (77K) muhafaza edilmesi gerekmektedir. Lityum atomunun germanyum içerisindeki mobilitesi o kadar fazladır ki oda sıcaklığında dedektör özelliğini hemen kaybeder. HPGe dedektörleri ise kullanılmadıkları zaman oda sıcaklığına bırakılabilirler. Ancak dedeksiyon işlemi düşük sıcaklıkta (sıvı azot sıcaklığında) gerçekleştirilmelidir. Zira germanyumun bant genişliği çok küçüktür (0,67 ev) ve oda sıcaklığında taşıyıcıların termal uyarılmaları söz konusu olduğundan kaçak akım ve elektronik gürültü miktarı hayli fazladır. Dedektör ünitesi vakum altındaki bir kriyostat içerisinde yer alır. Bu sayede kristal ile çevresindeki hava arasında termal iletkenlik önlenmiş olur [10].

HPGe dedektörlerin yapımında bölgesel saflaştırma tekniği kullanılır. Bu işlemde yüksek saflıkta kristal bölge olarak ısıtılarak kaynama bölgesi, kristalin bir ucundan diğerine doğru hareket ettirilir. Safsızlıkların çözülmesi germanyumun katı halinden çok erimiş halinde mümkündür. Sonuçta safsızlıklar germanyumun sıcaklıkla erimiş kısmına transfer edilir. Bu erimiş kısım kristal boyunca ilerletildiğinden safsızlıklar en sonda kristalden atılırlar. Bu işlem sonunda geriye kalan safsızlıklar kristalin p ya da n tipi olmasını belirler. Gama ve X-ışın dedeksiyonunda yüksek atom numarası ve enerji ayırma gücü nedeniyle germanyum dedektörler kullanılırlar. Germanyum sisteminin toplam ayırma gücü yük taşıyıcılarının sayısındaki doğal dalgalanmaya, yük toplanma etkinliğindeki değişimlere ve elektronik gürültüye bağlıdır.

HPGe dedektörler planar, koaksiyel ya da u tipi olarak tasarımlanabilir (Şekil 5.4) [10].



Şekil 5.4 Planar ve koaksiyel HPGe dedektörleri [10]

5.6 Diğer Yarıiletken Dedektörler

Silikon ve germanyumun dedektör yapısı için en popüler madde olmalarının en önemli nedeni yük transfer özelliklerinin son derece yüksek olmasıdır. Pratik olarak istenilen boyutta dedektörler yapılabilir. Ancak her iki maddede ideal özellikte değildirler. Germanyum dedektörleri termal olarak oluşturulan kaçak akımın küçültülebilmesi için her zaman düşük sıcaklıklarda çalıştırılmalıdırlar. Diğer taraftan düşük miktarda gürültü olmasının istendiği X-ışın spektrometresinde aynı nedenden dolayı silikon dedektörlerinde soğutulmaları gerekir. Bant genişliğinin daha fazla (1,5 eV 'dan büyük) olduğu yarıiletkenlerle oda sıcaklığında çalışmak mümkün görünmekle beraber bu sefer bir elektron-deşik çiftinin yaratılması için gerekli enerji artmaktadır. Diğer bir husus kullanılacak yarı iletkenin yüksek Z de olmasıdır. Günümüzde oda sıcaklığında çalışabilecek en önemli yarı iletken maddeler kadmiyum telür (CdTe), civa iyodür (HgI₂) ve fotoğraf 5.1'de görülen kadmiyum çinko telürdür (CdZnTe) [10] .



Fotoğraf 5.1 Cd ZnTe yarı iletken dedektörü [11]

CdTe uygun Z ve bant genişliği ile oda sıcaklığında çalışma imkanı verir. Fotoelektrik soğurma olasılığı germanyumdan 4-5, silikondan ise 100 kat daha fazladır. Ancakdeşikler için yük toplama etkinliğinin zayıf olması nedeniyle enerji ayırma gücü iyi değildir. Yüksek gama enerjileri için gerekli olan kalın kristal yapısı ayırma gücünü olumsuz etkiler. Gama ışın spektrometresinin istenmediği durumlarda sadece gama ışın dedeksiyonu için idealdir. HgI₂ araştırılan bir diğer yarı iletkendir. Yüksek Z 'si nedeni ile alçak enerji gamaların sayımında germanyuma göre 50 kat daha fazla dedeksiyon etkinliğine sahiptir. Ancak en önemli sorunudeşik mobilitesinin düşük olmasıdır [10].

Yarıiletken dedektörlerinde kullanılan yarıiletken maddeler birbirlerinden farklı özellikler gösterirler. Bu özellikler karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.1 'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Yarıiletken dedektörlerde kullanılan maddelerin oda sıcaklığındaki özellikleri [11]

Madde	CdZnTe	CdTe	Ge	Si	GaAs	HgI₂	PbI₂	a-Si	a-Se
Atom Numarası	48,30,52	48,52	32	14	31,33	80,53	82,53	14	34
Ortalama Atom Num.	49.1	50	32	32	32	62	62.7	14	34
Yoğunluk	5.78	5.85	5.33	2.33	5.32	6.4	6.2	2.3	2.4
Bant Aralığı	1.572	1.5	0.67	1.12	1.43	2.13	2.32	1.8	2.2
Dielektrik sabiti	10.9	11	16	11.7	12.8	8.8		11.7	6.6
Çift Oluşum Enerjisi	4.64	4.43	2.95	3.62	4.2	4.2	4.9	4	7
Elektron Mobilitesi	1000	1100	3900	1400	8000	100	8	1	0.005
Hole Mobilitesi	50-80	100	1900	480	400	4	2	0.005	0.14

BÖLÜM VI

YARIİLETKEN DEDEKTÖRLERİN ELEKTRONİĞİ VE ÇALIŞMA ÖZELLİKLERİ

6.1 Yarıiletken Dedektörlerin Elektroniği

Bir dedektör üzerine gelen radyoaktif parçacığın dedektör ile etkileşimi son derece kısa bir sürede gerçekleşir (yarıiletkenlerde pikosaniye mertebesindedir) ve pratik olarak etkileşmenin bir anda olduğu kabul edilir. Etkileşmenin sonunda dedektörün aktif hacmi üzerinde bir elektrik yükü oluşur. İkinci step bir elektrik sinyalinin oluşabilmesi için elektrik yükünün toplanması gerekir. Bu da uygulanan elektrik alan ile sağlanır. Yüklerin toplanması için gerekli süre yarıiletken diyot dedektörlerde birkaç nanosaniyedir. Yük taşıyıcılarının dedektördeki mobilitesi ve alınan mesafe bu süreyi etkiler. Tek bir parçacığın etkileşimi sonunda yüklerin toplanma zamanına eşit sürede bir akım oluşacaktır [10].

Radyasyon dedektörlerinin puls modu, akım modu, ortalama kare voltaj modu olmak üzere üç genel çalışma prensipleri vardır. Puls modunda ölçüm sistemi, dedektör ile etkileşen her radyasyonun ayrı ayrı kayıt edilmesi için tasarlanmıştır. Bir çok uygulamada Q toplam yükü sayılır, zira dedektörde soğrulan enerji Q ile orantılıdır. Radyasyon enerjisinin ölçümünde kullanılan dedektörler puls modunda çalışmalıdır.

Ortalama kare voltaj yöntemi, bir radyasyon tipi tarafından oluşturulan yükün diğer bir tipe göre farklı olduğu ölçümlerde kullanılır. Radyasyon dedektörlerinin birçok uygulamasında akım modu, radyasyon etkileşme hızlarının çok yüksek olması durumunda kullanılır. Ancak birçok uygulamada ayrı ayrı olayların zamanlama ve genlik bilgileri gerektiği için puls modu tercih edilir [10].

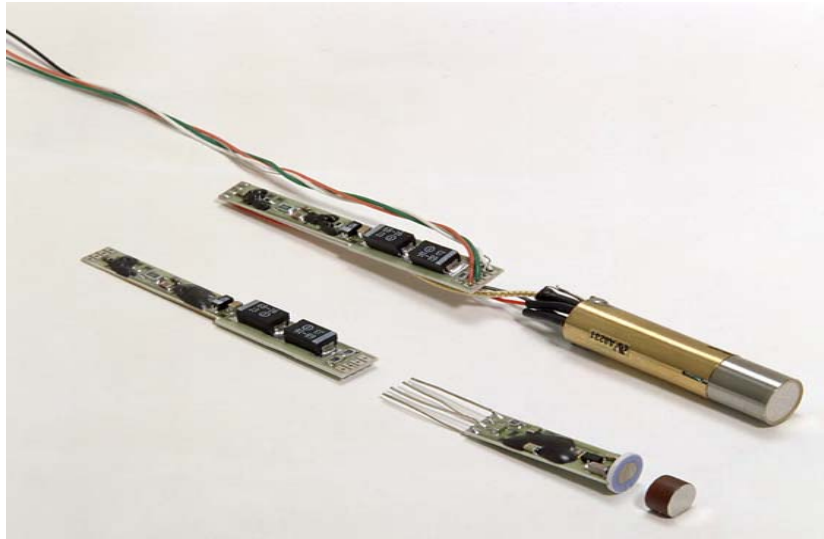
Radyasyon ölçümlerinin bir kısmında gelen radyasyonun enerji dağılımı saptanmaya çalışılır ve bu uygulamalara radyasyon spektrometresi adı verilir. Alfa spektrumunda kullanılan yarıiletken dedektörlerin enerji rezolüsyonu % 1, gama spektrometresinde kullanılan sintilasyon dedektörlerinin rezolüsyonu ise % 5-10'dur. Bu yüzdenin küçük

olması dedektörün birbirine daha yakın enerjideki radyasyonları birbirinden ayrı ayrı kayıt etmesi demektir.

Tüm radyasyon dedektörleri aktif hacimleri ile etkileşen her radyasyon için bir çıkış sinyali verirler. Primer parçacıkların alfa ya da beta gibi yüklü parçacıklar olması durumunda etkileşim iyonizasyon ve uyarma şeklindedir ve meydana gelen iyon çiftlerinin sayısı dedektör çıkışında yeterli büyüklükte bir puls oluşturacaktır. Böylelikle gelen her alfa ve beta parçacığının sayılması durumunda sayım etkinliği %100'e yaklaşır.

Diğer taraftan gama ve nötronlar gibi yüksüz parçacıklar dedeksiyon öncesi dedektörde birçok etkileşim yaparlar. Bu radyasyonlar etkileşimler arasında uzun mesafeler katedebilirler. Bu dedektörlerin sayım etkinlikleri daha düşüktür [10].

Radyasyon dedeksiyon sistemlerinde kullanılan elektronik devre araçlarının fotoğrafik görünümü aşağıda verilmiştir.



Fotoğraf 6.1 Yarı iletken dedektör elemanlarının görünümü [11]

6.1.1 Önyükselteç (Preamplifikatör)

Dedektör ve puls işlem elektroniği arasındaki ilk eleman olan önyükselteç her zaman dedektöre çok yakın tutulur ve ilk ara yükseltmeyi gerçekleştirir. Önyükseltecin bir

fonksiyonu, kapasitansın hızlıca bitirilmesiyle maksimum sinyal-gürültü oranı sağlanmasıdır. Ayrıca yüklemenin minimum olabilmesi için dedektöre yüksek impedans vererek, esas yükselteç-dedektör arasında bir impedans uyuşturuca olarak görev yapar.

Önyükselteçler, dedektörden gelen pulsları depolanan enerji ile orantılı olarak voltaj sinyaline dönüştürür. Elektronik katlar için pulsları şekillendirir ve büyütür [10].

Yarıiletken sayaçlar, özellikle sayaç kapasitesinin besleme gerilimine bağlı olması nedeniyle yüke hassas önyükselteçlere en çok ihtiyaç duyan sayaçlardır [14].

Önyükselteç devreleri transistörlerin kullanılması ile büyük ölçüde basitleşmiş ve daha güvenilir hale gelmiştir [15].

6.1.2 Yükselteçler (Amplifikatör)

Voltaja hassas yükselteç, önyükselteçten gelen pulsları daha da büyütür. Büyütme mertebesi birkaç bine çıkabilir. Diğer önemli fonksiyonu ise önyükselteçten gelen kuyruklu pulsları daha kısa doğma zamanlı ve çok daha hızlı azalım zamanı olan çok dar bir puls şekline çevirir.

Yükselteçte kazancın mümkün olduğu kadar stabil olması istenir. Ancak basit bir yükseltecin kazancı uygulanan voltajdaki değişikliklerden, komponentlerin eskimesinden ve sıcaklık değişimlerinden etkilenebilir. Bu etkileri en aza indirmek için negatif geri besleme tekniği kullanılır.

En önemli özellikleri şunlardır.

1. Sinyal büyütme
2. Toplanan yükün doğru bir şekilde ölçüleceği ve balistik zarar etkisinin olmayacağı bir puls şekillenmesi
3. Puls yığılmasını en fazla yüklemeyi asgari tutacak şekilde yüksek sayım hızlarında puls şekillenmesi
4. Ayrı ayrı her pulsun sinyal-gürültü oranının analiz edilebilmesi için en iyi puls şekillenmesi
5. Yüksek sayım hızlarındaki performansını korumak için puls yığılması ve temel seviye korunması için aktif devreler içermelidir [10].

6.1.3 Dedektör besleme ve yüksek voltaj kaynakları

Hemen hemen tüm radyasyon dedektörleri, çalışmaları için dışarıdan bir yüksek voltaj kaynağına ihtiyaç duyarlar. Bu voltaja dedektör besleme denir ve besleme kaynakları, yani yüksek voltaj kaynaklarının özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

1. Maksimum(ve minimum) voltaj seviyesi ve polaritesi
2. Kaynağın verebileceği maksimum akım
3. Geçiş voltajında ya da sıcaklık değişmelerine bağlı uzun süreli sapmalara karşı düzeltme yeteneği
4. Alçak frekans gürültülerini veya frekanstaki oynamaları önleme derecesi

Besleme devrelerinin özellikleri dedektör tipine bağlıdır; Yarıiletken dedektörler düşük akım ve yaklaşık 1000 V gerektirirler [10].

6.1.4 Diskriminatörler (Kesici devreler)

Belli bir puls yüksekliğinin üstünde olan pulsarı geçiren ve küçük pulsarı elimine eden devrelerdir. İstenilen puls seçimi için kullanılırlar. Pulsarın büyütülüp şekillendirilmesinden sonra gerekli enerji ayırımı diskriminatör devresinde gerçekleştirilir.

6.1.4.1 İntegral diskriminatörler

Pulsarın uygun olarak sayılabilmesi için, şekillendirilmiş doğrusal pulsarın mantık pulsarına çevrilmesi gerekir. Bu amaçla kullanılan en basit sistem integral diskriminatör olup girişteki doğrusal pulsarın genliklerinin ayarlanabilir bir diskriminasyon seviyesinin üzerinde olması durumunda çıkışta mantık pulsarı oluşturur. Genelde bu mantık pulsı, diskriminasyon seviyesinin, giriş pulsunun ön kenarının geçmesinden hemen sonra oluşturulur. Bu puls genlik ayırımı, genelde gürültü seviyesinin hemen üzerinde seviyenin kurulmasıyla yapılırsa tüm pulsar sayılacağından maksimum dedektör hassasiyeti sağlanmış olur [10].

6.1.4.2 Diferansiyel diskriminatörler (Tek kanallı analizör)

Tek kanallı analizörler, lineer analizörden gelerek voltaj genlik aralığına düşen pulsların ayırımını ve sayımını yaparlar.

İki bağımsız ayırma seviyesi tek kanallı analizör ile gerçekleştirilir ve çıkış mantık pulsu ancak giriş doğrusal pulslarının genliği iki seviye arasında ise oluşturulur.

Çok kanallı diferansiyel puls yükseklik analizörleri tek kanallı analizörlerin genişletilmiş halidir. Birkaç puls yükseklik aralığı eş zamanlı olarak analiz edilebildiği için, onun kullanımı boyunca, diferansiyel puls yükseklik eğrileri daha hızlı elde edilebilir [10].

6.1.5 Analog dijital çevirici (ADC)

Analog dijital çeviriciler, spektroskopi yükseltecinden gelen sinyalleri genlikleri ile orantılı olarak sayısal sisteme dönüştürürler [10].

6.1.6 Çok kanallı analizör (MCA)

Bu birim ADC deki verileri depolayıp, spektrum olarak gösteren; verilerin hafızada saklanması, analizini ve rapor olarak verilmesini sağlayan, enerji kalibrasyonu yapan Microsoft WINDOWS programı ile birlikte çalışan bir programdır [10].

6.1.7 Sayıcılar

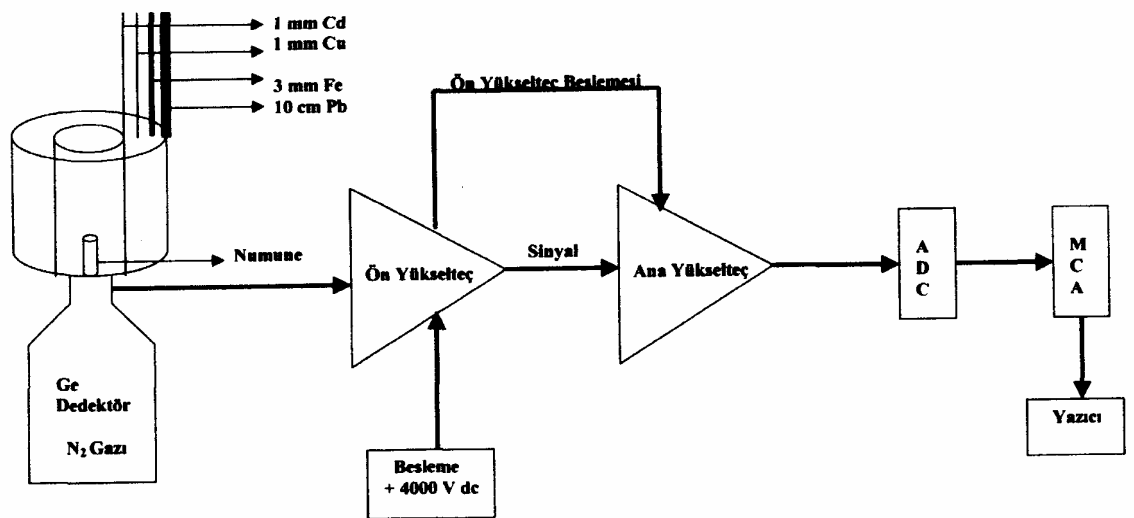
Gama sayım sisteminde sonuçlar, mantık pulslarının belirli bir süre boyunca toplanmasıyla elde edilir ve bu amaçla kullanılan sayaç, girişindeki her mantık pulsunu, göstergesinde bir rakam artışı ile gösteren sayısal kayıt ünitesidir. Tipik sayıcılar 6 tane nümerik göstericiden oluşurlar. Sayım aralığı girişe belirli bir zaman boyunca bir sinyal uygulaması ile kontrol edilir. Bu zaman aralığı, süresi önceden ayarlanabilen dahili veya harici bir zamanlayıcı ya da saat ile kontrol edilebilir. Çalışma esnasında sayaç, tüm giriş pulslarını onluk kümeler halinde düzenlenmiş serilerde toplar. Onluk bir skalaya

gelen puls sayısı dokuzu ulaştığında bu skala bir sinyal ile sıfırlanır ve puls daha yüksek mertebedeki diğer skalanın girişine gönderilir. Önceden belirlenen zamanın sona ermesiyle tüm skalanın sıfırlanması mümkündür.

Sayıcılar zaman ayarlı olduğu gibi sayıma ayarlı modlarda da çalışırlar. Sayım ayarlı modda önceden belirlenmiş bir toplama ulaşınca kadar sayımlar devam eder. Eğer bu sayımların toplanması için geçen süre kayıt edilirse sonuçta sayım hızı bulunabilir. Bu modda çalışılması, ölçüm öncesi belirli bir istatistiksel kesinliğin sağlanması avantajını getirir [10].

6.1.8 Sayım metreler

Bazı uygulamalarda, pulsların sistemdeki sayılma hızlarının analog bir metre yardımıyla görsel olarak izlenmesi önem taşır. Sayımlar sırasındaki tesadüfi aralıklar nedeni ile bilhassa alçak sayım hızlarında ki ufak farklılıkların gözlenmesi sayısal göstergelerde zor olduğundan birim zamanda meydana gelen pulsların ortalama sayısı belirlenir. Sayım metrelerin çıkışları, girişlerindeki ortalama puls hızı ile orantılı olarak değişen voltaj seviyesidir. Bu çıkış voltajı daha sonra, saniye veya dakikadaki sayımın okunacağı şekilde kalibre edilmiş metrelerde gösterilir. Şekil 6.1 'de yarıiletken dedektörlerinde yer alan elektronik aksam görülmektedir.



Şekil 6.1. Germanyum yarı iletken dedektörünün elektronik kısımları [5]

6.2 Yarıiletken Dedektörlerin Çalışma Özellikleri

6.2.1 Kaçak akım

Bir yarıiletken dedektöre çalışma voltajı yani ters besleme uygulandığı zaman ortamda herhangi bir radyasyon olmadığı halde birkaç mikroamper büyüklüğünde bir akım gözlenir. Bu akımın kaynağı dedektör gövdesi ya da yüzeyinden oluşabilir. Gövde kaynaklı kaçak akıma iki mekanizma neden olabilir.

Tüketim bölgesi boyunca uygulanan elektrik alanın yönü öyledir ki normal p ve n bölgelerinde tüketim bölge kenarlarına doğru difüz eden herhangi bir çoğunluk taşıyıcısı eklemenden uzağa doğru itilir. Ancak bu durumda azınlık taşıyıcıları eklem boyunca iletkenliğe neden olurlar. Böylelikle düşük mertebede bir kaçak akım oluşur. Gövdeden kaynaklanan bir diğer neden, tüketim bölgesinde elektron-deşik çiftlerinin termal olarak oluşturulmasıdır. Bu bölgenin boyutuna bağlı olarak artan bu üretimin azaltılması dedektörün soğutulması ile mümkün olur. Silikon dedektörler oda sıcaklığında kullanılabilirler ancak germanyum dedektörlerde çok küçük olan bant genişliği nedeniyle kaçak akım miktarı artar ve düşük sıcaklıklarda kullanılmaları gerekir.

Kaçak akıma yüzey etkisinin en önemli nedeni, eklem kenarlarındaki kısa mesafelerde yüksek voltaj gradyentlerinin oluşmasıdır. Yüzey kaçakları dedektör kapsülüne, dedektör yüzeyinde parmak izinin neden olduğu kirlenmelere, ortamın nemine ve vakum yağı gibi faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir [10].

6.2.2 Dedektör gürültüsü

Dedektör gürültüsünü oluşturan farklı kaynaklar vardır. Bunlar gövdede oluşan kaçak akımdaki dalgalanmalar (dedektörün soğutulmasıyla azaltılabilir), yüzey kaçak akımındaki dalgalanmalar (dedektörün fabrikasyonuna ve kullanımına bağlıdır), dedektörün elektriksel kontaklarının iyi olmaması ve seri dirençlerin verdiği Johnson gürültüsüdür [9].

6.3.3 Dedektör besleme voltajındaki değişiklikler

Besleme voltajı ve elektrik alanın düşük değerlerinde tüketim bölgesinde soğurulan radyasyonların oluşturduğu puls yüksekliği uygulanan voltajla artmaya devam eder. Bu değişimin nedeni gelen parçacığın yolu boyunca oluşan tuzaklama ve yeniden birleşmeler sonucu yük taşıyıcıların tam olarak toplanmamalarıdır (benzer olay iyon odalarında da ortaya çıkmaktadır). Elektrik alan yeteri kadar büyük olduğu zaman yük toplanması tamamlanır ve artık puls yüksekliği, artan voltajla artmaz, bu bölgeye doyum bölgesi denir.

Yarıiletken dedektörler tüm radyasyon dedektörleri arasında en hızlı olanlarıdır ve doğma zamanı 10 nsn ya da daha kısadır. Bu süre yük geçiş ve plazma zamanlarının ürünüdür. Yük geçiş zamanı, tüketim bölgesinde gelen radyasyon tarafından meydana getirilen elektron ve deşiklerin hareketine karşı gelir. Yani oluştukları noktadan tüketim bölgesinin zıt uçlarına ulaşma süreleridir. Yüksek elektrik alan ve tüketim bölgesinin dar olması durumunda bu süre kısadır. Tüketim bölgesinin tüm dedektörün fiziksel boyutu boyunda olduğu dedektörlerde geçiş süresi artan voltaj ile tüketim bölgesinin dedektörde kısmen yer aldığı dedektörlerde artan voltaj ile tüketim bölgesinin boyuda artmaktadır. Yük geçiş süresinin besleme voltajına bağlılığı bazı yaklaşımlarla azaltılmaktadır.

Plazma zamanı, gelen radyasyonun alfa ya da fisyon ürünleri olması durumunda ortaya çıkar. Bu tip radyasyonlarda, gelen radyasyonun yolu boyunca oluşan elektron-deşik çiftlerinin yoğunluğu o kadar fazladır ki plazma tipinde ki bir yük bulutu meydana getirirler. Bu bulutun iç kısmındaki taşıyıcılar elektrik alandan etkilenmezler. Dış kısımdakiler ise hemen alanın etkisi ile harekete başlarlar ve ancak bu yükler uzaklaştıktan sonra iç kısımdaki yüklerin hareketi başlar [10].

6.3.4 Giriş penceresi ya da ölü bölge

Ağır yüklü parçacıkların ya da gircilikleri zayıf olan radyasyonların dedeksiyonunda enerji kaybı, parçacık dedektörün aktif hacmine girmeden önce gerçekleşebilir. Bunun nedeni yüzeydeki metal elektrot ve bu elektrodun hemen altında bulunan ve herhangi bir yük toplanmasının olmadığı silikon bölgenin kalınlıklarıdır. Yüklü parçacık

spektrometresinde bu husus önemli olduğundan, özel teknikler kullanılarak ölü tabaka genişliği 30 mm 'ye kadar indirilmiştir [10].

6.3.5 Radyasyon hasarı

Bir yarıiletken dedektörün uygun işlevi kristal örgüsünde yüklü parçacıkların tuzaklanmasına neden olacak kusurların bulunmamasıdır. Dedektörün sürekli kullanılması durumunda bir miktar hasarın ortaya çıkması mümkündür. Bu husus bilhassa ağır parçacık dedeksiyonunda önem taşır. En ekstrem durumlarda monoenerjil parçacıkların spektrumunda bir çok pikler görülebilir. Frenkel etkisi olarak bilinen bir radyasyon hasarında yarıiletken maddenin atomlarından bir tanesinin normal örgü noktasından yer değiştirmesidir. Bu boşluk yük taşıyıcıları için bir tuzak oluşturacaktır. Bu defektlerin artması sonucunda enerji ayırma gücü yüklü parçacık sayısında ortaya çıkacak dalgalanmalar nedeniyle bozulur [10].

BÖLÜM VII

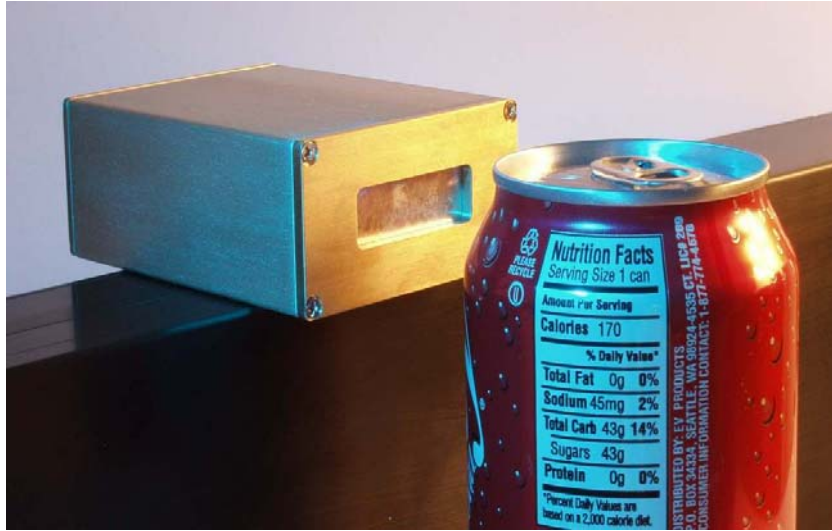
YARIİLETKEN DEDEKTÖRLERİN KULLANIM ALANLARI VE ÜSTÜNLÜKLERİ

7.1 Yarıiletken Dedektörlerin Kullanım Alanları

Son yıllarda yarıiletken dedektörlerin önemi ve kullanım alanları daha da artmıştır. Yarıiletken dedektörler;

- Endüstriyel kontrol sistemleri,
- Nükleer tıp,
- X-ışını görüntüleme,
- Çevresel uyarı,
- Nükleer koruma,
- Bagaj ve paket denetlemelerinde kullanılmaktadır.

Endüstriyel ölçümlerde, şişe, teneke veya kutu içinde bulunan maddenin seviyesini, yani doluluk oranını X-gama ışınları yardımıyla yarıiletken dedektörleri tespit edebilmektedir (Fotoğraf 7.1) [11].



Fotoğraf 7.1 Yarıiletken dedektörü ile teneke kutu içindeki sıvının seviyesini tespit etme [11]

Yarıiletken dedektörler, son yıllarda nükleer tıpta cerrahi gama problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu dedektörlerin oda sıcaklığında çalışma koşulları sağlandığında nükleer tıptaki sintilasyon kristalli (NaI) dedektörlerinin yerini almaları beklenmektedir [3].



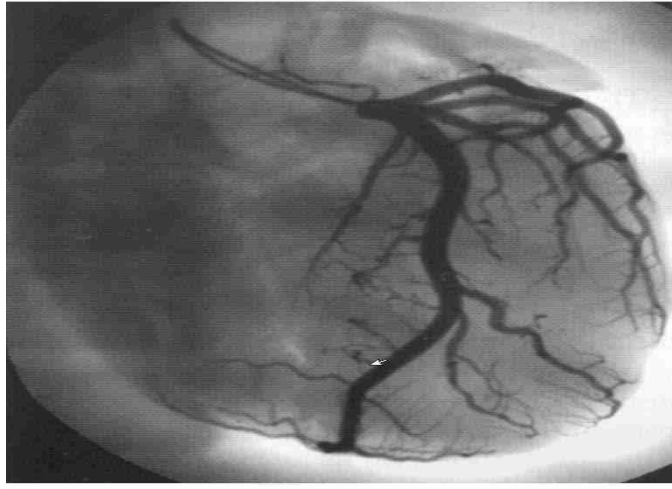
Fotoğraf 7.2 Gama kamerası [11]

Günümüzde yarıiletken dedektörler henüz gama kameraların yerini almamıştır (Fotoğraf 7.2). Diğer görüntüleme sistemlerindeki rezolüsyon iyileşmesinin (Magnetik Rezonans vs) gösterdiği başarının nükleer tıba da yansması için araştırma-geliştirme çalışmaları hızla devam etmektedir. DIGIRAD adı verilen yarı iletken kameranın yapımı tamamlanmış, ancak henüz ticari kullanıma sunulmamıştır. Çok yakın gelecekte yarıiletken kameralar günümüz Anger Kameralarının yerini hızla alacaktır. Bu çalışmalar sonucunda; ^{99m}Te için (140 KeV) enerji rezolüsyonu %1.5 olacak, SPECT görüntülemeye rekonstrüksiyon sonrası uzaysal rezolüsyon 1-2 mm'ye inecek, uzaysal rezolüsyon artışındaki iyileşme beraberinde kontrast artışını da getirecek, yarıiletken kameralar mevcut kameralar gibi olmayıp, muhtemelen modüler tipte olacaktır [3].

Yarıiletken dedektörlerin proton ve alfa parçacıkları gibi ağır parçacıkların dedeksiyonunda faydalı olduğu görülmüştür. 5,3 MeV'lik alfa parçacıkları için tipik bir enerji rezolüsyonu, 6 volt bias'lı 300 ohm-cm lik bir sayaçla, % 0,6 olarak bulunmuştur. 3 ila 6 mm mertebesinde deplasyon derinliğine sahip olan kristaller beta ve gama ışını spektroskopisinde oldukça iyi bir şekilde kullanılmaktadırlar. Mesela Lityum sürüklenmiş bir germanyum kristali, 77 K sıcaklıkta kullanıldığı zaman, Cs^{137} 'nin 661 keV'lik gama ışınları için ~ 6 keV'lik bir rezolüsyon vermektedir [9].

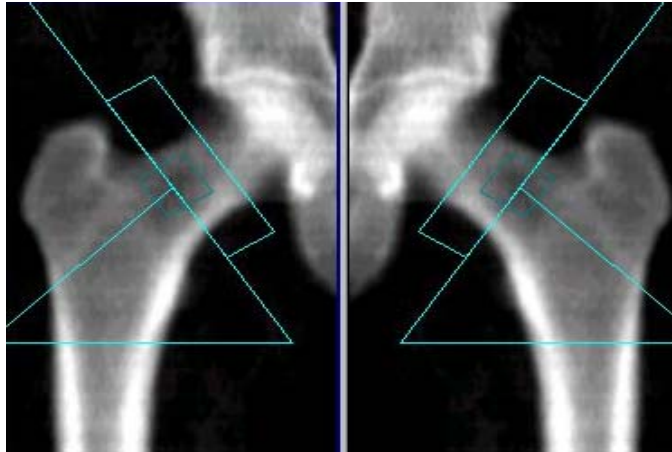
Gama spektrometrelerinde, yüksek saflıkta germanyum (HpGe), lityum sürüklenmiş germanyum [Ge(Li)] yarıiletken dedektörleri ve NaI(Tl) gibi sintilasyon dedektörleri kullanılmaktadır. Ancak, her bir dedektör farklı özelliklere sahip olduklarından kullanım yerleri değişmektedir. Özellikle dedektörlerin çözme gücü ve verimleri birbirlerinden farklıdır [11].

Yarıiletken dedektörlerinde X-ışınları kullanılarak, dijital röntgen filmlerinde dış ve kemik görüntülerinde çok net sonuçlar alınmıştır (Fotoğraf 7.3).



Fotoğraf 7.3 X-ışınları ile tomografik tarama görüntüsü [11]

Nükleer tıpta kemik minerallerinin yoğunluğunu ölçmede de kullanım alanı bulunmaktadır(Fotoğraf 7.4). Bel kemiği ve omurga taramalarında yüksek doğrulukla ölçümler yapılmaktadır [11].



Fotoğraf 7.4 CdZnTe yarı iletken dedektörü ile kemik yoğunluğu ölçümü [11]

Yarıiletkenlerin bir kısmı silisyum yüklü parçacıkların sayım ve spektroskopisinde kullanılırken, bir kısmı da alfa ışınları gibi hafif iyonların spektroskopisinde kullanılırlar. Diğer bir kısım yarıiletken dedektörler de fisyon ürünleri gibi daha ağır iyonların dedeksiyonlarında kullanılırlar [13].

X-ışını görüntülemeye çeşitli dedektörler kullanılmaktadır. Bunlar sintilasyon ve yarıiletken dedektörleridir. Halen anjiografide kullanılan CsI tipi sintilasyon dedektörler ile CdTe tipi yarıiletken dedektörler karşılaştırılmıştır. Öncelikle bu dedektörler bilgisayarda simüle edilmiş ve X-ışını simülasyon programıyla incelenmiş ve anjiografide kullanılmış iki farklı tüp uygulama tekniği ile deneyler yapılmıştır. Bu teknikte tüpe önce alçak voltaj (60 kVp) uygulanmakta ve bu anda tüpün önünde karakteristik filtre olarak sadece bakır levha bulunmaktadır. Daha sonra tüpe daha yüksek gerilim uygulanması (120 kVp) esnasında tüp önüne filtre olarak ise bakır + alüminyum levhalar konulmuştur. Buradan alınan farklı spektrumlar değerlendirilerek görüntü oluşturulmaktadır. Bu deneyler tüpe uygulanan voltajların değişik değerleri için ve tüpün önüne konulan karakteristik filtrelerin çeşitli değerleri için birçok kez tekrarlanmıştır. Bütün bu deneylerin sonucu halen kullanılmakta olan CsI dedektörüne göre, CdTe yarıiletken dedektörlerde sinyal gürültü oranı (SNR) yaklaşık 10 kat daha büyük çıkmaktadır. Bu sonuçlara bakılarak gelecekte X-ışını görüntülemeye özellikle düşük enerjilerde CdTe tipi yarıiletken dedektörlerin yaygın kullanılacağı söylenebilir [16].

7.2 Yarıiletken Dedektörlerin Üstünlükleri

Yarıiletken dedektörlerin diğer radyasyon dedektörlerine göre bazı avantajları şunlardır:

- 1) Bunlar hacimce daha küçüktürler,
- 2) Daha hızlıdır,
- 3) Gelen enerji ile orantılı bir yüksek enerji rezolüsyonu (Ayırma gücü) verecek şekilde dizayn edilebilirler. Bu sayıların büyük bir dezavantajları çok düşük dedeksiyon etkinliğine sahip olmalarıdır [9].

Yarıiletken dedektörlerinin çok iyi enerji ayırma gücü karakteristikleri vardır. Puls yüksekliği ile enerji arasında son derece iyi bir lineer bağıntı gösterirler, tepkileri çok çabuktur, uygun boyutları ve ince pencereleri vardır, çevredeki manyetik alanlara karşı

duyarsızdırlar. Özel şekillerde de olsa yapımları kolaydır ve değişken parçacık enerjileri için duyarlılıkları vardır. Bununla beraber, yarıiletken dedektörlerinin bazılarının kısa ömürlü olması, çalışma karakteristiklerinin dış çevre şartları ile değişmesi, nispeten uzun yollu parçacıkları durduramamaları ve nükleer radyasyon hasarı gibi bazı mahzurlu yönleri vardır [6].

Son yıllarda yarıiletkenler üzerinde yapılan araştırmalar oldukça dikkat çekici sonuçlar vermiştir. Germanyum ve silikon kristallerin, oldukça saf elde edilebilmeleri ve bir iyon çifti meydana getirmek için 3,5 eV gibi çok düşük bir değerde enerjiye ihtiyaçları olmaları (gazlı iyon odalarında bu değer 30-35 eV 'dur) yarıiletken dedektörleri diğer dedektörlere göre daha avantajlı kılmıştır. Ayrıca oda sıcaklığında çok miktarda elektron ve deşik ihtiva edebilmeleri ve böylece polarizasyon tesirlerini azaltmaları sebebiyle birçok araştırmayı üzerine çekmiştir [12].

HpGe ve Ge(Li) dedektörlerinin enerji çözme gücü, NaI(Tl) sintilasyon dedektörlerinden 30 kat daha iyidir. Buna karşılık, dedektörlerin hacmine bağlı olarak, NaI(Tl) sintilasyon dedektörleri yarıiletken dedektörlere göre 5 – 10 kat daha yüksek sayım verimine sahiptir [16].

Yarıiletken dedektörler nükleer tıpta gama ışını dedeksiyonu ve görüntülenmesi için sintilatör dedektörlere alternatiftir. En önemli avantajları, çok iyi enerji rezolüsyonuna ve çok yüksek uzaysal rezolüsyona sahip olmalarıdır.

Günümüzde en iyi enerji rezolüsyonuna sahip olan yarıiletken dedektör materyali çok düşük sıcaklıkta işleyen germanyumdur. Diğer yarı iletkenlerden HgI, CdTe ve CdZnTe oda sıcaklığında (15-25 °C'de) işlerler [3].

NaI(Tl) sintilasyon kristalleri ile yarıiletken dedektörlerin fiziksel performansları kıyaslandığında şu sonuçlar gözlenmektedir (Çizelge 7.1).

Çizelge 7.1 NaI(Tl) sintilasyon dedektörü ile yarıiletken dedektörünün fiziksel performans karşılaştırması [3]

NaI(Tl) Sintilasyon	Yarıiletkenler
~ 30 eV'da bir puls üretir.	~ 3-6 eV'da bir puls üretir.
Enerji direkt yoldan sağlanır.	Enerji rezolüsyonu direkt olarak sağlanır
%13 ışık dönüşümü verir.	%100 ışık dönüşümü verir.
Zayıf enerji rezolüsyonuna sahiptir.	Çok iyi enerji rezolüsyonuna sahiptir.
Kendi içinde Compton Saçılması yapar.	Compton saçılmasını en aza indirir.
~20000 sayımda ölü zamana girer.	Ölü zaman problemi yok, enerji cevabı lineerdir

7.3 Gama Işınları ve Yarıiletken Dedektörleri

Bir gama ışını yarıiletken dedektör materyaline çarptığında enerjisini bırakarak kendisi yok olur, çarptığı atomdan enerji yüklü bir elektron (fotoelektron) koparır. Böylece yarıiletkende iyonizasyonla iki çeşit taşınır yük meydana getirilmiş olur. Bunlar negatif yüklü elektronlar ve pozitif yüklü hollerdir. Bu zıt yüklerin pozitif ve negatif elektrotlara doğru hızla çekilmesini sağlamak için dedektöre yönlendirici (bias) voltajı uygulanır. Bu sayede negatif yüklü elektronlar pozitif elektroda, pozitif yüklü holler ise negatif yüklü elektroda doğru çekilirler. Yarıiletken üzerine düşen her gama ışını için bu olay tekrarlanır. Bu sayede yarıiletken içinde gama ışını doğrudan elektronik sinyal haline dönüşmüş olur [3].

Gama ışınlarının dedeksiyonunda, NaI(Tl) gibi sintilasyon dedektörleri ile Ge(Li) ve HPGe yarıiletken dedektörleri kullanılmaktadır.

Gelen gama ışınının enerjisine bağlı olarak, dedektörden elde edilen elektrik darbeleri, bir seri elektronik modülden geçirilerek Çok Kanallı Analizörde (MCA) enerji dağılımlı gama spektrumu olarak gözlenir.

Dedektör ve diğer elektronik modüllerin uygun kombinasyonu bir gama spektrometresi olarak adlandırılır [16].

Bir gama spektrometresine gelen γ -ışınları, dedektör içindeki germanyum kristali ile etkileşerek (X-ışınları için Si), bir elektron boşluk çifti oluşturur ve kristal içinde bir elektrik akımı meydana getirirler. Germanyum kristalde bir elektron boşluk çifti oluşturmak için gerekli enerji 2,96 eV'tur. Oluşan elektronlar ve boşluklar, kristale uygulanan yeterli derecede bir gerilimle meydana gelen elektrik alan etkisiyle ($F=q.E$) hareket ederler. Elektrik alanın zorladığı yönde hareket eden sonra katoda ulaşan elektrik yükü, bir direnç üzerinden geçirilerek, bir sinyale dönüştürülmüş olur [16].

Sinyaller, bir önyükselteç, lineer yükselteç ve elektrik sinyalini sayılabilir niceliklere dönüştüren bir ADC (Analog to Digital Converter) elektronik modül vasıtasıyla uygun adresleme düzeninde çok kanallı analizörün hafızasına kaydedilir. Örneğin verdiği gama spektrumu, analizör ekranında görünebilir veya bir bilgisayara aktarılabilir. Çok kanallı analizör, spektrum analizinin kolayca yapılabilmesine imkan veren elektronik bir sistemdir [16].

Gama spektrometre sistemi ile çeşitli maddelerin radyoaktif olup olmadığı, radyoaktif ise aktivitesinin ne kadar olduğu hesaplanır. Hava, su, toprak, bitkisel ve hayvansal gıdalar gibi çok çeşitli materyallere uygulandığı gibi, nükleer silah testleri, nükleer kazalar ve nükleer santrallerden yayılan radyonükleidlerin tespitinde de kullanılır [17].

BÖLÜM VIII

SONUÇLAR

Çeşitli maddelerin radyoaktif olup olmadığı, radyoaktif ise aktivitesinin ne kadar olduğunu radyasyon ölçerlerle yani dedektörlerle ölçeriz. Radyasyon ile gündelik yaşamımızda artık sıkça etkileşim halinde olduğumuz asrımızda radyasyonun tespiti ve ölçümü de bir o kadar önem kazanmıştır. Çevresine radyasyon yayan ve artık hayatımızda yer etmiş elektronik araçların (televizyon, bilgisayar gibi) hızla çoğalması, alternatif enerji olarak nükleer enerji kullanımının yaygınlaşması ve ülkelerin savunma sanayisinde yerini alan nükleer silahlar radyasyon tespit araçlarının (dedektörler) önemini artırmıştır.

İlk atom bombasının atılmasından bugüne kadar yeryüzünde, radyasyon ve radyoaktif maddelerin kullanılışında büyük bir artış meydana gelmiştir. Bu tür maddeler yalnız laboratuarlarda bilimsel araştırma konusu olmakla kalmamış endüstri, tıp, tarım, savunma, sanayi ve veterinerlik alanlarında çok geniş bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

26 Nisan 1986 Çernobil nükleer kazasından sonra radyoaktivite ve radyoaktif kirlilik çok daha fazla gündemimize oturmuştur. Özellikle havada ve yiyeceklerdeki radyasyon o zamanlarda yeterli düzeyde ölçü aletinin olmaması sebebiyle tam olarak tespit edilememiştir. Bu olaydan sonra gama spektrometre sistemi ile çevremizdeki maddelerin radyoaktifliğini daha rahatlıkla ölçebilmekteyiz.

Olası nükleer silah testleri, nükleer kazalar ve nükleer santrallerden yayılan radyasyonu tespit etmek dedektörler aracılığıyla olmaktadır.

Çevremizdeki doğal ve yapay (endüstri, tarım, gibi) radyasyon etkilenmelerini bilmek ve canlı yaşamına olabilecek zararlarını engellemek için radyasyonun tespiti ve aktivitesinin bilinmesi gereklidir. Bu da tespit edilecek radyasyona uygun olarak kullanılan dedektörler sayesinde olmaktadır.

Diğer dedektörlere karşın yarıiletken dedektörlerin daha iyi enerji rezolüsyonuna (ayırma gücü) sahip olması, daha az enerji ile puls üretmesi ve compton saçılmasını en aza indirmek suretiyle ölçüm veriminin artması sebebiyle son yıllarda tercih edilen dedektörler arasına girmiştir.

Teknolojinin hızla ilerlemesi ile birlikte günümüz nükleer tıbbında; gama kameralarında, madde (kemik, diş ve omurga taramaları) yoğunluklarının ölçümünde ve X-ışınlarının görüntülenmesinde özellikle yarıiletken dedektörleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ayrıca endüstride kontrol sistemlerinde, çevresel radyasyon uyarılarında, nükleer korumalarda, hava alanlarında güvenlik maksatlı bagaj ve paket denetlemelerinde de kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, önemi gün geçtikçe artan dedektörlerden ve özellikle yarıiletken dedektörlerden hala tam olarak yararlanıldığı söylenemese de nükleer tıp alanında, gama ve X-ışınlarının dedeksiyonunda ve endüstride önemli mesafeler alındığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yeniçay, F., “Çekirdek Fiziği”, Cilt I, İstanbul, 1951.
- [2] Semiz, M., “Nükleer Radyasyon Dedektörleri”, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs, 1998.
- [3] Demir, M., “Nükleer Tıp Fiziği” İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fak. İstanbul 2000.
- [4] Krane, K., “Introductory Nuclear Physics”, Oregon University ,1988.
- [5] Türkiye Atom Enerjisi ve Kurumu Web Sitesi, (www.taek.com.tr.)
- [6] Yaramış, B., “Nükleer Fizik”, Cilt I, İstanbul Fen Fakültesi, 1985.
- [7] Bor, D., “Nükleer Tıp Fiziğine Giriş”.
- [8] “Radyasyon Korunması”, TAEK(ÇNAEM),1978.
- [9] Arya, A.P., “Çekirdek Fiziğinin Esaslar”.
- [10] Bor, D., “Radyasyon Deteksiyon ve Ölçüm Yöntemleri” Ankara üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği
- [11] Evproducts, a division of II-VI Incorporated, Saxonburg U.S.A.
www.evproducts.com
- [12] “Nükleer Fiziğe Giriş ve Radyasyon Dedektörleri”, ÇNAEM Elektronik Bölümü Kurs Notları,1969.
- [13] Efe, N., “X-Işını Floresans Tekniği ile Britolit Cevherinde Toryum ve Lantalitlerin Analizi”, GÜ. Fen Bil.Enst. Yüksek lisans tezi, 1986.
- [14] “Nükleer Sayım Sistemlerinin Temel Elemanları”, TAEK (ÇNAEM) Elektronik Bölümü Kurs Notları, 1978.
- [15] Göksel, S.A., “Radyasyonların Biyolojik Etkileri ve Radyasyon Korunması”, ÇNAEM, İstanbul, 1973.
- [16] “X-Işını Görüntülemeye Yarı İletken Dedektörlerin Kullanılması”, DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:4 Sayı:2, Mayıs 2002.
- [17] www.omu.edu.tr/akad/fen/fizikbl/nukleer