

T.C
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
KATIHAL FİZİĞİ PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇEŞİTLİ TERMOLÜMİNESANS DOZİMETRE
MALZEMELERİNİN İŞİMA EĞRİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Bahar KAYKAL KESER

Danışman
Yrd.Doç. Dr. Yüksel KARABULUT

MANİSA
2005

**T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEZİN ADI

**ÇEŞİTLİ TERMOLÜMİNESANS DOZİMETRE
MALZEMELERİNİN IŞIMA EĞRİLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bahar KAYKAL KESER

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13. 06. 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 25. 07. 2005**

Jüri Başkanı : Doç. Dr. A. Nurdoğan CAN

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd.Doç. Dr. Turgay KARALI

Yrd.Doç. Dr. Yüksel KARABULUT

MANİSA, 2005

TEŐEKKÜR

“Çeşitli Termolüminesans Dozimetre Malzemelerinin Işıma Eğrilerinin İncelenmesi” adlı tez çalışmamın oluşmasında emęi geçen, Doç.Dr. Nurdoğan CAN, Yrd.Doç.Dr. Turgay KARALI, Arş.Görv. Arzu EGE'ye ve desteğini hiç esirgemeyen eşim Muzaffer KESER ile annem Binnur KAYKAL ve babam Hulusi KAYKAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

BAHAR KAYKAL KESER

**ÇEŞİTLİ TERMOLÜMİNESANS DOZİMETRE MALZEMELERİNİN
IŞIMA EĞRİLERİNİN İNCELENMESİ**

İÇİNDEKİLER	i
ŞEKİLLER	iii
TABLolar	v
DENKLEMLER	vi
KISALTMALAR	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix

İÇİNDEKİLER

BİRİNCİ BÖLÜM

1.GİRİŞ	1
1.1 Tarihçe	1

İKİNCİ BÖLÜM

2.1 TERMOLÜMİNESANS	3
2.2 TERMOLÜMİNESANS DOZİMETRE	4
2.3 TLD MEKANİZMASI	6
2.4 DOZİMETRİ TÜRLERİ	7
2.5 TERMOLÜMİNESANS MATERYALLERİ	10
2.6 PARILDAMA EĞRİLERİ	10
2.7 RADYASYON DOZİMETRESİ	10
2.7.1 Film Dozimetrisi	11
2.7.2 İyonizasyon Odası Dozimetrisi	11
2.7.3 Termolüminesans Dozimetrisi	11
2.7.3.1 Lityum Florür	11
2.7.3.1.1LiF:Mg,Ti	11
2.7.3.1.2LiF:Mg,Cu,P	12
2.7.3.2 Kalsiyum Florür	13
2.7.3.2.1 CaF ₂ :Mn	13
2.7.3.3 Lityum Borat	13

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. TL OKUYUCU SİSTEMİ	15
3.1 Fotoçoğaltıcı Tüpler	15
3.1.1.Yapı ve Çalışma Karakteristikleri	15
3.1.2. Şemanın Yapısı	15
3.2.Elektron Çoğaltıcıları	16
3.2.1.Yuvarlak-Kafes Tipi	16
3.2.2.Kutu ve Kurşun Levha Tipi	17
3.2.3.Çizgisel(doğrusal) Odaklanmış Tip	17
3.2.4.Venedik Storu	17
3.2.5.Şebeke Tipi	18
3.2.6. Çok Kanallı Plaka Tipi	18
3.2.7.Metal Kanal Tipi	18
3.2.8.Tayfsal Yanıt	19
3.3.Fatokatod Malzemeleri	19
3.3.1.Ag-O-Cs	20
3.3.2.GaAs(Cs)	20
3.3.3.InGaAs(Cs)	20
3.3.4.Sb-Cs	20
3.3.5.Bialkali(Sb-Rb-Cs-K-Cs)	20

3.3.6.Yüksek Derece Bialkali ve Düşük Ses Bialkali	20
3.3.7.Multialkali (Na-K-Sb-Cs)	20
3.3.8.Cs-Te-cs-I	21
3.4.Pencere Malzemeleri	21
3.4.1.Borasilikat Camı	21
3.4.2.UU-İletişim Camı(UU camı)	21
3.4.3.Sentetik Silika	21
3.4.4.MgF ₂ (magnezyum Florür)	21
3.5.Işıma Duyarlılığı ve Kuantum Verimliliği	22
3.5.1.Işık Veren Duyarlılık	22
3.6.Tayfsal Enerji Dağıtımı	23
3.6.1.Mavi Duyarlılık ve Kırmızı/Mavi Oran	23
3.6.2.Akım Yükseltmek(Amplifikasyon Kazancı)	24

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. MATERYAL VE YÖNTEMLER	26
4.1 MALZEME HAZIRLAMA METODU	26
4.2 DENEYİN YAPILIŞI	26
4.3 TERMOLÜMİNESANS SİSTEMİ	27
4.4 RADYOLÜMİNESANS SİSTEMİ	32
4.5 BULGULAR	35
4.6 SONUÇ	37
REFERANSLAR	62

ŞEKİLLER

Şekil 2. 1. Bir kristalde radyasyona maruz kalma sonucu elektron tuzaklanması	s.3
Şekil 2. 2. Bir kristalde Lüminesans mekanizması	s.4
Şekil 2. 3. Elektronun Lüminesans Merkeziyle Birleşimi	s.5
Şekil 2. 4. TL dozimetrenin (LiF) sıcaklığına karşı göreceli TLşiddeti	s.6
Şekil 3. 1. Bir Fotoçoğaltıcı Tüpün şeması	s.15
Şekil 3. 2. Bir PM Tüp'ün dış görünüşü	s.16
(a)Yandan pencereli	s.16
(b)Önden pencereli	s.16
Şekil 3. 3. Fotokatot Tipleri	s.16
(a)Yansıma Modu	s.16
(b)Yayma Modu	s.16
Şekil 3. 4. Yuvarlak-Kafes Tipi	s.17
Şekil 3. 5. Kutu ve Kurşun Levha Tipi	s.17
Şekil 3.6. Çizgisel Odaklanmış Tip	s.17
Şekil 3.7. Venedik Storu	s.17
Şekil 3.8. Şebeke Tipi	s.18
(a)Kaba Şebeke Tipi	s.18
(b)İyi Şebeke Tipi	s.18
Şekil 3.9. Çok Kanallı Plaka	s.18
Şekil 3.10. Metal Kanal Tipi	s.19
Şekil 3.11. Önden pencereli türdeki Bialkali fotokatod	s.19
Şekil 3.12. PM Tüp malzemelerinin optik geçirgenlik dağılımları	s.22
Şekil 3.13. Bir PM Tüp'ün görünen hassaslığı Tungusten lambanın 2856K deki ışımaya eğrisi	s.23
Şekil 3.14. Değişik filtrelerin geri gönderimi	s.24
Şekli 3.15. Tipik akım yükseltmesine karşı temin edilen voltaj anot karanlık akımı	s.25
Şekil 3.16. Tipik karanlık akıma karşı temin edilen voltaj	s.25
Şekil 4. 1. X-ışınına maruz bırakılan örneğin yerleştirildiği alüminyum bloktan yapılmış oda	s.29
Şekil 4. 2. X-ışını tüpü, numune odası ve monokromatörün bağlantılarını gösteren şematik resim.	s.29
Şekil 4. 3. CBÜ'deki parıldama eğrilerinin alındığı TL sisteminin blok şeması	s.30
Şekil 4. 4. CBÜ'deki TL sisteminde kullanılan BG-38 filtresinin optiksel soğuma spektrumu.	s.31
Şekil 4. 5. CBÜ Fizik Bölümü Lüminesans laboratuvarındaki TL sisteminin gösterimi	s.31
Şekil 4. 6. (a)RL sisteminin blok diyagramı	s.32
(b)RL sisteminin ayrıntılı şeması	s.32
Şekil 4. 7. CBÜ Fizik Bölümü Lüminesans laboratuvarındaki RL ölçüm sisteminin resimsel olarak üstten görünümü	s.33
Şekil 4. 8. Alüminyum bloktan yapılmış örnek odasının yakından görünüşü	s.34
Şekil 4. 9. EGE Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Lüminesans laboratuvarındaki TL sisteminin gösterimi	s.34
Şekil 5. 1. $Li_2B_4O_7:Cu,Ag$ ve P için oda sıcaklığında alınan RL spektrumu	s.35
Şekil 5. 2. $Li_2B_4O_7:Cu,Ag,P$ ve Cu ile katkılandırılmış olan dozimetrelerin oda sıcaklığında alınan RL spektrumlarının karşılaştırılması	s.36
Şekil 5.3 Hg lambasıyla 5 saniye ışınlanan iki numunenin parıldama eğrisi	s.37
Şekil 5.4 X ışınıyla 30mG ışınlanan dört numunenin parıldama eğrisi	s.37
Şekil 5.5 X ışınıyla 30mG ışındandıktan sonra yedi gün bekletilen beş numunenin parıldama eğrisi	s.38
Şekil 5.6 X ışınıyla 30mG ışındandıktan sonra hemen ölçülen numune ile bir hafta bekletildikten sonra ölçülen numunenin bir arada parıldama eğrisi.	s.38
Şekil 5.7 X ışınıyla 45mG ışınlanan dört numunenin parıldama eğrisi	s.39
Şekil 5.8 X ışınıyla 45mG ışındandıktan sonra beş gün bekletilen dört numunenin parıldama eğrisi	s.39
Şekil 5.9 X ışınıyla 45mG ışındandıktan sonra hemen ölçülen numune ile beş gün bekletildikten sonra ölçülen numunenin bir arada parıldama eğrisi.	s.40

TABLolar

Tablo 2.1 Dozimetrilerin tavlama prosedürleri

s.7

Tablo 4.1 Numunelere Uygulanan İşlem Zamanları

s.27

DENKLEMLER

Denklem 3.5.1. Kuantum Verimliliği ve Işıma Duyarlılığı	s.22
Denklem 3.6.1. İkincil Elektron Yayma Oranı	s.24
Denklem 3.6.2. Amplifikasyon Kazancında Voltaj Hesabı	s.24

KISALTMALAR

TL	Termolüminesans
TLD	Termolüminesans Dozimetri
İB	İletkenlik Bandı
VB	Valans Bandı
LiF:Mg,Cu,P	Lityum Florür'e Magnezyum, Bakır, Fosfor Aşılanmıştır.
LiF:Mg,Ti	Lityum Florür'e Magnezyum, Ti Aşılanmıştır.
CaF ₂ :Dy	Kalsiyum Florür'e Dy aşılanmıştır.
AlO ₂ :C	Alüminyum oksite karbon aşılanmıştır.tır.
Li ₂ B ₄ O ₇ :Mn	Lityum borat'a manganer aşılanmıştır.
CaSO ₄ :Dy	Kalsiyum sülfat'a Dy aşılanmıştır.
CaF ₂ :Mn	Kalsiyum florür'e manganer aşılanmıştır.
MCP	Küçük silindirik şekilli plaka
CGCD	Bilgisayarlanmış ışımaya eğrisi ters erişimi
ABD	Amerika Birleşik Devleti
UV	Ultraviyole
Nal	Sodyum iyodür
SI	Metre-kilogram-saat birim sistemidir.

ÖZET

Bu çalışmamızda $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu,Ag,P}$ numunesi kullanılmıştır. Bu numunenin ölçümleri, Termolüminesans tekniği kullanarak alınmıştır. Termolüminesans, yalıtıcılardaki hata konsantrasyonlarının değişimlerini kaydeden çok duyarlı bir tekniktir. Bu termolüminesans malzemesinin X ışını ve Hg lambasıyla ışınlanarak yaptığı ışımamanın şiddeti ile sıcaklığı arasındaki değişim incelenmiştir. Bunun için numune, önce X ışını tüpündeki numune odasına koyulup ışınlanmış ya da bir kutu içine koyulup Hg lambasına maruz tutulmuştur. Daha sonra bu numune, alüminyum bloktan yapılmış odaya yerleştirilip, malzemenin sıcaklığı lineer olarak arttırılarak ışımama şiddeti ile sıcaklık arasındaki değişim verileri (glow curve) bir bilgisayar aracılığı ile toplanmıştır. Buradan elde edilen veriler, axum programında düzenlenmiştir. Bu eğriler yardımıyla malzemenin almış olduğu radyasyon dozu görülmüştür. Numunenin 100 ve 200 derece sıcaklıklarına karşılık gelen iki adet piki olduğu tespit edilmiştir. Farklı ışınlama süreleri sonunda bu piklerin davranışları incelenmiştir.

ABSTRACT

In this study, $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu,Ag,P}$ sample is used. Sample is measured by using thermoluminescence technique. Thermoluminescence is a very sensitive technique which records the changing error concentrations in insulators. This study examined changes between the intensity of radiation and temperature from $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu,Ag,P}$ thermoluminescence material irradiated with X-ray and Hg lamp. After that, sample placed in a room made from aluminum block and data on changing radiation intensity and temperature (glow curve) collected by using a computer. Collected data is organized by using axum software. From the obtained curves, radiation dose which affects material observed. It is determined that there are two peaks in sample at 100 and 200 °C. Behavior of those peaks examined under different irradiation times.

BİRİNCİ BÖLÜM

1.GİRİŞ

Bazı maddeler radyasyona uğratıldıklarında bu enerjinin soğurulması onların yapısında kararsızlığa neden olur. Fakat bu maddelerde emilen enerji ısıtma yoluyla ışık formunda serbest bırakılır. Buna termolüminesans denir. Bu durumda ortaya çıkan ışık yüksek sıcaklıklarda ısınmış akkor bir maddeden yayımlanan ışıktan tamamen farklıdır. Bir yalıtkan ya da yarı iletkende meydana gelen termolüminesans için başlıca durumda, materyaldeki radyasyonun önceden yalıtımsız olması gerekir. Bir kere termolüminesans yayılımı gözlemlendiğinde, numunenin soğumasından ve tekrar ısıtılmasından sonra bu ışık tekrar gözlemlenemeyecektir. Fakat, tekrar termolüminesans elde etmek için radyasyona bir kere daha maruz bırakmak gereklidir.

1.1Tarihçe

Urbach (1930), tuzak düzey analizi için potansiyel olarak kullanışlı olan bir araştırma takımı ve termolüminesansın basit matematiksel işlemi, Randal ve Wilkins (1945), Garlick ve Gibson (1948) tarafından verilmiştir. Daha sonraları katılardaki kusur yapılarının incelenmesi için olduğu kadar arkeoloji, jeoloji, sağlık fiziği, tıbbi bilimler, radyasyon dozimetrisi gibi klinik dozimetrisi, personel ve çevre izlenimdeki uygulamalar için kullanılmaya başlanmıştır.(Townsend 1994)

Daniel(1953), jeolojik numunelerin radyasyon doz ölçümleri için teknik olarak yaş tayininde kullanılmasını önermiştir. Yarıiletkenler, yalıtkanlar, camlar ve seramikler, mineraller, kayalar, inorganik (amorf, tek kristal ve polikristal) ve organik bileşikler, biyolojik maddeler ve biyokimyasallar dahil çok sayıda dielektrik maddeler, termolüminesans yayılımı gösterir. LiF, CaSO₄, CaF₂, BeO, Al₂O₃, Li₂B₄O₇ gibi malzemeler dozimetri uygulamalarında en çok kullanılan malzemelerdir.

Wiscons (USA) Üniversitesinde Farrington Daniel ve onun araştırma grubunun çalışmalarından beri, 40 yıldır radyasyon dozimetri (1,2) tekniği olarak termolüminesans kullanılmıştır. Grubun değerlendirmeleri, ışınlanan malzemenin içerisinde depolanan enerjinin ısı olarak yayımlanabileceğini gösterir. Bozunan bazı yalıtkan kristal durumları için termolüminesans ısı olarak yayımlanabilir.

Daniel ve grubu, ilk yayınlardan yararlanmıştı. Gerçekten bilimsel yayınlarda termolüminesansı ilk kullanan 100 yıl önce Wiedemann ve Schmidt'tir.(3) Tarihte daha geriye doğru gittiğimizde, 330 yıl önce Sir Robert Boyle ilk doğal elması bulmuştur. Ve onun

kaplamasız gövdesinin üzerinde parıldayan ışık yayımı görmek için, elmasın bir parçasını iyice ısıtmıştır.(4)

Modern bilim sayesinde termolüminesansın gözlenmesinde kullanılan komplike enstrümantasyonlarda çok fazla gelişme görülmüştür.

1950'lerin ilk yıllarında atom bomba testi esnasında radyasyon dozimetride LiF'un Farrington Daniel tarafından yapılan ilk başarılı uygulamaları bugünün (5) TLD-100'ün hemen hemen aynıdır ki bu malzeme biçiminde kullanılır. Termolüminesans yayımı arasındaki ilişkinin kaydı tarihsel çıkardır ve zamanında kullanılan LiF örneklerindeki mevcut safsızlıklar Daniel araştırma ekibi tarafından tamamen değerlendirilmemiştir. Bunu son zamanlara kadar anlayamamışlardır. 19yy. sonları 20yy. başlarında malzemelerin fosforesans özelliklerindeki artmayla ilgili ve onların absorblanan radyasyonla bağlantıları ortaya çıkmıştır.(6) X ışınları, β parçacıkları, elektron demetleri ve gama ışınları tarafından ışınlanan ve daha sonra ısıtılan malzemelerin termolüminesans yayım yeteneği ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Lind ve Bardwell'le (7) başlayan, 1920'lerin başından sonuna kadar olan çalışmaları ve CaF_2 ' den gelen indüklenmiş termolüminesansın sürekli çalışmaları, bu maddenin X ışınıyla indüklenmiş termolüminesans denemeleridir. Manganez, lüminesans için mükemmel bir aktivatör olarak tanınır.(8)

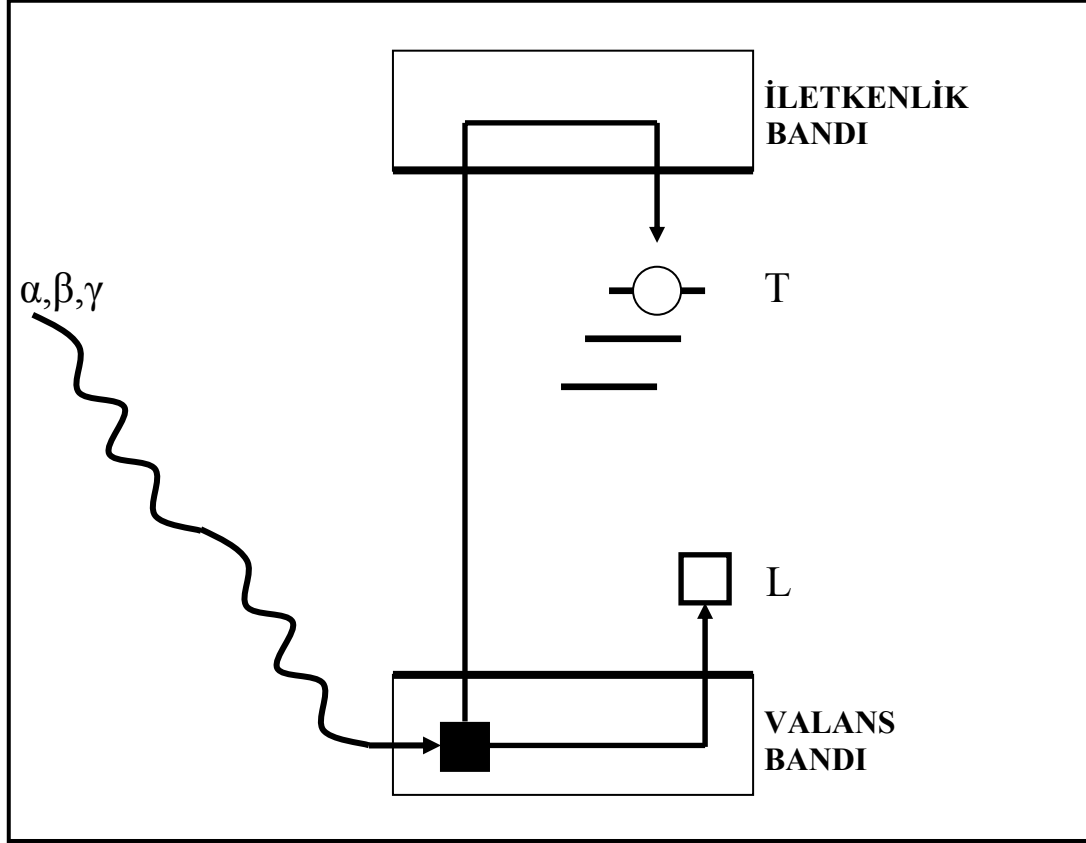
Sentetik maddelerin TL özellikleriyle ilgili ilk ciddi çalışma, 1895'den çok önceleri Wiedeman ve Schmidt (3) tarafından yapılmıştır ve Mn aşılınmış Kalsiyum Sülfatla ilgilenmişlerdir. Yayılan termolüminesansda floritin yeterliliği, 1898'den önce ilk ciddi öneri olarak bilinir ve termolüminesans dozimetrleri temel alınarak yapılan çalışmalar, 1960'lardan sonra yapılmıştır. Termolüminesans dozimetrlерinin spesifik özellikleri için madde araştırma çalışmalarını Daniel ve grubu 1950'lerden önce başlatmıştır ve çalışmalar sonucunda ümit verici bir madde olan LiF bulunmuştur. Yıllara göre bulunan TLD'ler, CaSO_4 1961(9), $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Mn}$ 1965(10), $\text{CaF}_2:\text{Dy}$ 1968(11), $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ ve $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ 1968(12)'dir.

İKİNCİ BÖLÜM

2.1. TERMOLÜMINESANS

Bazı maddeler radyasyona uğratıldıklarında bu enerjinin soğurulması onların yapısında kararsızlığa neden olur. Fakat bu maddelerde emilen enerji ısıtma yoluyla ışık formunda serbest bırakılır. Bu olaya termolüminesans denir. Bu yayımlanan ışığın miktarının (doz) ölçülmesi termolüminesans dozimetlerinin temelini oluşturur. Çünkü ışık miktarı dozimetrenin maruz kaldığı radyasyon dozu ile orantılıdır.

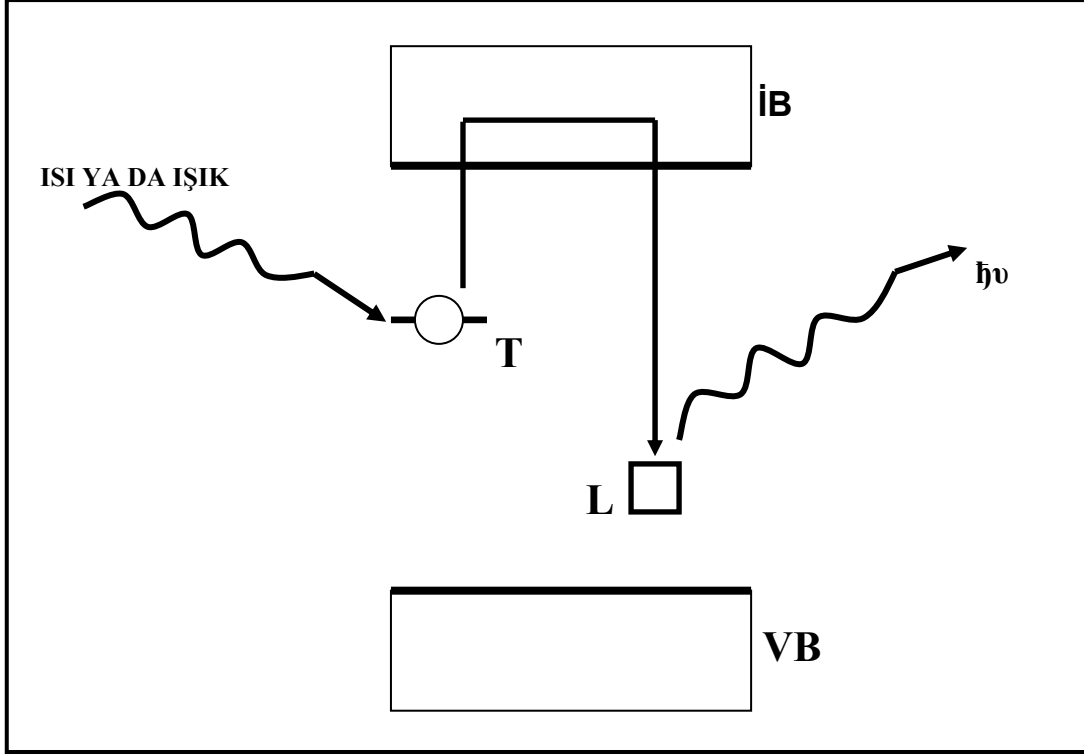
Termolüminesans kavramını daha iyi anlamak için kristallerin enerji bant diyagramına bakalım;(13)



Şekil 2.1 Bir kristalde radyasyona maruz kalma sonucu elektron tuzaklanması

Şekilde 2.1 deki gibi radyasyona maruz kalan kristalin valans bandındaki elektron uyarılarak iletkenlik bandına geçer. İletkenlik bandında çok kısa bir süre kalıp iki band arasındaki yasak bölgede bulunan tuzaklar tarafından hapsolünür. Tuzaklanan bu taşıyıcı elektronlar eğer kristalin sıcaklığı sabit kalır yada azalırsa bu tuzaklardan kurtulamaz ve uzun

süre burada kalabilir. Yasak bölgede bulunan bu tuzaklar ya kristalin kendi yapısından kaynaklanan hatalardır yada sonradan kristale sokulan safsızlıklardan kaynaklanır. Bu tuzaklarda hapsedilmiş elektronlar, tutulu kaldığı sürece depolanmış olan radyasyonu temsil eder. Eğer kristal ısıtılırsa tuzaklarda tutulan elektronlar tuzaklardan kurtularak iletkenlik bandına oradan da valans bandına yani ilk konumuna dönerken ışık emisyonu yaparlar. Bu ışık emisyonuna 'termolüminesans' denir.(14)(bkz şekil 2.2)

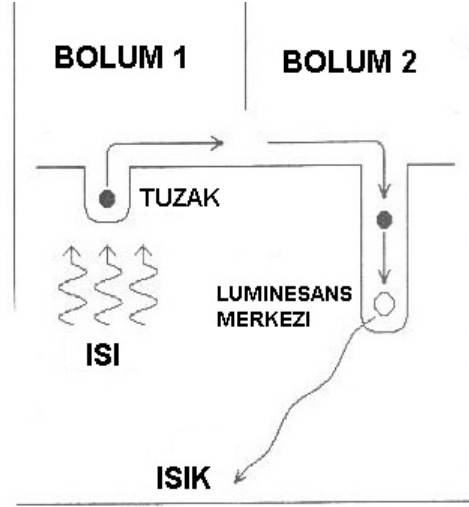


Şekil 2.2 Bir kristalde Lüminesans mekanizması

Yani termolüminesans için önceden radyasyona maruz bırakılan bazı maddelerin ısıtıldıkları zaman ışık yayınlama özelliği denilebilir. Yayınlanan ışığın miktarı kullanılan kristalin cinsine, iyonlaştırıcı radyasyondan soğurulan radyasyon miktarına bağlıdır. Belirli bir kristal için yayınlanan ışık miktarı soğurulan radyasyon miktarıyla doğru orantılıdır.(15)

2.2 TERMOLÜMİNESANS DOZİMETRİ

Termolüminesans özelliği gösteren kristallere termolüminesans fosforlar denir ve termolüminesans merkezleri içerirler. Bu merkezler,elektron ve boşlukların bu tür bir merkezde tekrar birleşmesine izin verildiği takdirde ışığı yayarlar.



Şekil 2.3 Elektronun Lüminesans Merkeziyle birleşimi

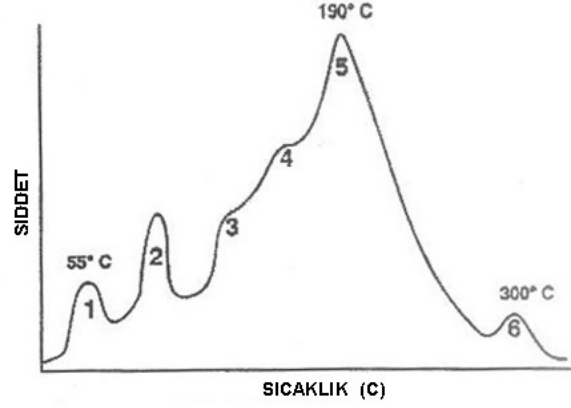
Radyasyona maruz kalma sırasında elektronlar iletkenlik bandına yükselip oradan da yasadaki tuzaklar tarafından hapsedilir. Elektronlar çok uzun bir süre bu tuzaklarda kalabilir. Fosfor ısıtıldığında elektronlar tuzaklardan ayrılarak serbest kalırlar ve boşluklarla tekrar birleşebilecekleri lüminesans merkezlerine doğru giderler. Bu tekrar birleşmeye ışık yayılması eşlik eder.(şekil 2.3). Bu nedenle bu fosforlar enerji depolama yeteneğine sahip olduklarından termolüminesans dozimetrelere olarak kullanılırlar.(16)

Termolüminesans fosforların depolamış oldukları radyasyon enerjisini (doz) ölçmede şu yöntem kullanılır. Öncelikle termolüminesans fosforu ısıtılır ve böylece tuzaklardan kurtulan elektronlar valans bandına yada termolüminesans merkezlerine giderek dışarıya ışık verirler. Yayılan bu ışınlar fotoçoğaltıcıyla ölçülerek doz eşdeğeri hesaplanır. Tipik bir TLD okuyucusunda aşağıdaki unsurlar vardır;

1. Isıtıcı; fosforun sıcaklığını artırır ve elektronların tuzaklardan kurtulmaları için gerekli enerjiyi sağlar.
2. Fotoçoğaltıcı tüp; ışık çıkışını ölçer.
3. Metre/ölçer ; verileri gösterir ve kaydeder.

Isıtma işleminden bir ışık eğrisi elde edilir. Termolüminesans fosforundan elde edilen ışık eğrisi kolaylıkla yorumlanamaz. Derin tuzaklarda tutulu kalan elektronlar serbest kaldıkça ve madde ısıtıldıkça birbirini takip eden pikler ortaya çıkar. Bu tuzaklar boşaltıldığında sonuç bir zirve noktasıdır. Her bir tuzakın boşaltılmasından sonra ışık çıkışı düşer. Isıtma devam ettiği sürece daha derindeki elektronlar serbest kalırlar. Bu olay şekilde 1.4 deki gibi birbirine eklenen tepelerle sonuçlanır. Genellikle en yüksek pik, doz eşdeğerliğini hesaplamak için kullanılır.

Eğrinin altındaki kısım TLD' de bırakılmış olan ışın enerjisinin diğer bir deyişle fosfor içerisinde depolanan doz miktarını verir.



Şekil 2.4 TL dozimetrenin (LiF) sıcaklığına karşı göreceli TL şiddeti

Şekil 2.4'de numaralandırılmış pikler birbirinden farklı özellikteki tuzakları ve doz miktarlarını temsil eder. 1 ve 2 numaralı pikler derin olmayan tuzakların hapsedtiği radyasyon miktarını, 3,4 ve 5 numaralı pikler biraz daha derin ve en fazla dozun hap solunduğu tuzakları gösterir. 6 numaralı pik ise en derin tuzağın hapsedtiği dozu belirtir.(17)

Yorumlama bitirdikten sonra, TLD yüksek sıcaklıkta bir tavlama tabi tutulur. Bu işleme tuzaklanmış tüm elektronların serbest bırakılmasına yani TLD maddesinin sıfırlanmasını sağlar ve TLD tekrar kullanım için hazırdır.

2.3 TL MEKANİZMASI

Bant aralıklarında yüksek konsantrasyonda tuzak merkezleri sergileyen materyaller Termolüminesans dozimetre olarak kullanılır. İstenilen işlem elektronların valans bandından iletkenlik bandına yükseltgenmesi ve daha sonra tuzak merkezlerinden birinde yakalanmasıdır. Valans bandındaki boşluklar da elektrona benzer bir hareket yapar. Radyasyon tarafından meydana getirilmiş orijinal bir boşluk valans bandından ayrılarak kristal içerisinde tuzaklar tarafından tutuluncaya kadar hareket edebilir. Bir TLD'nin maruz kaldığı doz şu şekilde ölçülür; TLD örneği ısıtılır veya ısıtılmış bir destek üzerine konur. Tuzağın enerji düzeyi tarafından tespit edilen bir sıcaklıkta, tuzaklanmış elektronlar yeterince termal enerji toplayabilirler. Böylece iletkenlik bandına tekrar uyarılarak dönmüş olurlar. Sıcaklığın tuzaklanmış boşlukları serbest bırakmak için yeterli olmadığını kabul edersek; iletkenlik bandına yükselen elektronlar tuzaktan kurtulamayan boşluklara doğru ilerler ve boşlukla birleşerek foton salınımı yaparlar. Bu fotonlar genellikle görünür bölgededir ve TL sinyalinin temelini oluştururlar. Böyle bir foton tuzaklanmış her bir taşıyıcı tarafından salınır. Bu yayınlanmış fotonların toplam sayısı radyasyon tarafından

oluşturulmuş olan elektron-boşluk çiftlerinin sayısının bir göstergesidir. Işımanın verimi örneğin sıcaklığının bir fonksiyonudur.

2.4 DOZİMETRE TÜRLERİ

Termolüminesans dozimetrelerin ticari adları ve içerdiği materyal bakımından şu şekilde sıralayabiliriz;

1. TLD-100 (LiF:Mg,Ti)
2. TLD-100 H (LiF:Mg,Cu,P)
3. TLD-600 (LiF:Mg,Ti)
4. TLD-600 H (LiF:Mg,Cu,P)
5. TLD-700 (LiF:Mg,Ti)
6. TLD-700 H (LiF:Mg,Cu,P)
7. TLD-200 (CaF₂:Dy)
8. TLD-500 (AlO₂:C)
9. TLD-800 (Li₂B₄O₇:Mn)
10. TLD-900 (CaSO₄:Dy)

Aşağıdaki tablolarda ticari amaçlı olarak kullanılan bu dozimetrelerin tavlama yöntemleri özetlenmiştir.

Tablo 2.1 Dozimetrelerin Tavlama Prosedürleri -1-

Madde	Tavlama Prosedürü	
	Fırında	Okumada
Al ₂ O ₃ :C	400 ⁰ C'de+ 80 ⁰ C'de 16 saat	
Al ₂ O ₃ :Cr	350 ⁰ C'de15 dk.	
Mg ₂ SiO ₄ :Tb	500 ⁰ C'de 2-3 saat.	
MgB ₄ O ₇ :Dy/Tm	500-600 ⁰ C'de 1 saat.	
MgB ₄ O ₇ :Dy,Na	700 ⁰ C'de 30 dk.+ 800 ⁰ C'de veya 550 ⁰ C'de 2 saat	
CVD elmas	300 ⁰ C'de 1/2 saat.	
KMgF ₃ (Pb,Cr veya Ag ile katkılandırılmış)	400 ⁰ C'de 1 saat.	
Yarıiletken-katkılı vycor camı	400 ⁰ C'de birkaç sn.	

Tablo 2.1 Dozimetrilerin Tavlama Prosedürleri Devamı

Madde	Tavlama Prosedürü	
	Fırında	Okumada
LiF:Mg,Ti (TLD 100,600,700)	400 °C'de 1 saat + 100 °C'de 2 saat veya 400 °C'de 1 saat + 80 °C'de 20 saat hızlı tavlama 400 °C'de 15 dk.+ 100 °C'de 10 dk.	300-400 °C'de 30 sn. (Fırında 80 °C'de + 20 saat)
PTFE'deki LiF:Mg,Ti	300 °C'de 1 saat + 80 °C'de + 20 saat)	300 °C'de 30 sn. (Fırında 80 °C'de + 20 saat)
LiF:Mg,Na (LiF-PTL)	500 °C'de 30 sn. hızlı soğutma	
LiF:Mg,CuP (GR-200A)	240 °C'de 10 sn. veya 15 sn.	240 °C'de 30 sn.
CaF ₂ :Dy (TLD200)	600 °C'de 1 saat veya 450 °C'de 30 sn. veya 400 °C'de 1 saat + 100 °C'de 3 saat	400 °C'de 30 sn.
CaF ₂ :Tm (TLD300)	400 °C'de 1,5-2 saat veya 300 °C'de + 30 dk.	
CaF ₂ :Mn (TLD400)	450 - 500 °C'de 30-60dk.	
CaSO ₄ :Dy (TLD900)	400°C'de 1/2 - 1 saat	
CaSO ₄ :Tm	400°C'de 1/2 - 1 saat (PTFE, 300 oC'de 2 saat)	
BeO (Termoloks 995)	400 veya 600°C'de 15 dk.	400°C'de 30 sn.
Li ₂ B ₄ O ₇ :Mn (TLD800)	300 °C'de 15 dk. - 1saat	
Li ₂ B ₄ O ₇ :Mn,Si	300 °C'de 15 dk. - 1saat	
Li ₂ B ₄ O ₇ :Cu	300 °C'de 15 dk. - 1saat	
Li ₂ B ₄ O ₇ :Cu,Ag	300 °C'de 15 dk. - 1saat	

Tablo 2.1 Dozimetrilerin Tavlama Prosedürleri Devamı

Madde	Ön Dış Okuma İşlemi	
	Fırında	Okumada
LiF:Mg,Ti (TLD 100,600,700)	100 °C'de 10 dk.	160 °C'de 20 sn.
PTFE'deki LiF:Mg,Ti		160 °C'de 10-20 sn.
LiF:Mg,Na (LiF-PTL)		130 °C'de 10 sn.
LiF:Mg,CuP (GR-200A)	130 °C'de 10 dk.	160 °C'de 20-30 sn.
CaF ₂ :Dy (TLD200)	110 °C'de 10 dk. veya 115 °C'de 10 dk.	160 °C'de 16 sn.
CaF ₂ :Tm (TLD300)	90 °C'de 30 dk. veya 115 °C'de 10 dk.	160 °C'de 16 sn.
CaSO ₄ :Dy (TLD900)	100 °C'de 20-30dk. veya 140 °C'de 5 dk.	120 °C'de 16-32 sn.
CaSO ₄ :Tm	100°C'de 20-30 dk.	120 °C'de 16-32 sn
CaSO ₄ :Tm	400°C'de 1/2 - 1 saat (PTFE, 300 oC'de 2 saat)	
BeO (Termoloks 995)		140°C'de 1 dk.
Li ₂ B ₄ O ₇ :Mn (TLD800)	100 °C'de 10 dk.	
Li ₂ B ₄ O ₇ :Mn,Si		160 °C'de 20 sn
Li ₂ B ₄ O ₇ :Cu,Ag		160 °C'de 20 sn
Al ₂ O ₃ :Cr	150 ⁰ C'de 15 dk.	
MgB ₄ O ₇ :Dy/Tm		160 ⁰ C'de birkaç sn.
KMgF ₃ (Pb,cr veya Ag ile katkılandırılmış)	50 ⁰ C'de30-60 dk.	

2.5 TERMOLÜMİNESANS MATERYALLERİ

Çok kullanılan materyaller kristallerden oluşur. Bu kristallere aktivatör olarak küçük miktarda safsızlık konsantrasyonu eklenmektedir. LiF 'e bir aktivatör eklenmesine gerek yoktur. Çünkü doğal safsızlıklar ve kristal içindeki kusurlar ve tuzaklardan oluşur.

Birçok termolüminesans materyal vardır. Ancak dozimetri için kullanışlı olanların karakteristikleri şu şekilde yazılabilir;

1. Maruz kalma boyunca artan sıcaklıklarda uzun bir süre radyasyon enerjisini tutabilmesi
2. Geniş doz menzili boyunca lineer yanıt
3. Büyük miktarda ışık çıkışı gerçekleştirilmesi
4. Yeniden kullanıma elverişli mükemmel soğuma kabiliyeti

TLD seçilirken, tuzak derinliği ve materyalin atom sayısı göz önünde tutulmalıdır. Eğer tuzakların enerji düzeyleri band aralığı sınırına çok yakın ise birim maruz kalma başına tuzaklama taşıyıcı sayısı çok büyük olabilir. Bundan dolayı materyal düşük seviyede dozlara duyarlı yapılabilir. Fakat sığ yerdeki tuzaklar oda sıcaklığında bile kararlı değildirler. Bu nedenle derin tuzakları olan CaF_2 , Mn ve LiF gibi materyaller uzun süreli maruz kalmalar için daha uygundur. Tüm TLD materyalleri içinde LiF en yaygın kullanılanıdır. Çünkü oda sıcaklığındaki depolanmış radyasyonun LiF içinden kurtulma olasılığı çok azdır. (18)

2.6 PARILDAMA EĞRİLERİ

Radyasyon kesildikten sonra TLD kontrol edilen şartlarda ısıtılır. Işık şiddeti sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçülür. Bu tip bir ölçümün sonucu 'parıldama eğrisi' denilen bir grafikdir. Hararet eğrilerinin birden fazla piki vardır. Bunun nedeni çeşitli enerji seviyelerindeki tuzaklardır. Piklerin genişliği bu tuzaklarda depolanan doz ile orantılıdır. soğurulan doz ya parıldama eğrisi ile yayınlanan toplam ışıktan ya da parıldama eğrisinin piklerinin yüksekliğinden ölçülür. TLD soğutulduktan sonra orijinal haline döner ve tüm tuzakların boşaltılmasına yetecek kadar uzun süre ısıtıldıktan sonra tekrar kullanılmaya hazırdır. (19)

2.7 RADYASYON DOZİMETRELERİ

Radyasyon dozimetrisi iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalma sırasında ortaya çıkan etkileri ölçmede kullanılan dozimetri türüdür. radyasyon dozimetrisi radyasyona maruz kalan meslek grupları için, maruz kaldıkları dozun miktarının belirlenmesinde yardımcı olmak için kullanılır. (20)

2.7.1 Film Dozimetrileri

Foto grafik filmler uzun yıllardan beri kişisel dozimetri uygulamalarında kullanılmaktadır. Fakat; uygunluk,hassasiyet,hızlı döngüden dolayı TLD dozimetrleri film dozimetrlilerinin yerine kullanılmaktadır.(22)

2.7.2 İyonizasyon Odası Dozimetrisi

Emilen dozu ve radyasyon göstergesini belirleyebilmek için en doğru ve en geniş kullanımı olan dozimetridir. Bu dozimetri çeşidi doğru hacim tanımlı gazların içinden geçen enerji yüklü parçacıkların iyonlaşmaya sebep olması ve bu iyon çiftlerinin ölçülmesi üzerine kuruludur.

2.7.3 Termoluminesans Dozimetrisi

TLD radyasyon dozimetrleri içinde en çok kullanılan ve en etkili tekniğe sahip dozimetri türüdür. Tıpta ışın ile teşhis ve kanserli hastaların radyoterapi tedavilerinde uygun dozu belirlemede kullanılır.(21)

2.7.3.1 Lityum Florür

LiF, LiF:Mg,Ti formunda TLD endüstrisi için en büyük destek olmuştur, 20 yıldır en çok kullanılan TLD malzemesidir, ilk tanıtılmasında bu yana 25 yıl geçmiştir. Bugün ise personel dozimetri için, en popüler TLD malzemesidir. Bu popüleritenin nedeni ışınma eğrisinin kompleks oluşuna ve orta hassasiyete bağlı olduğu görülür. LiF:Mg,Cu,P deki son günlerdeki ilerlemeler ultra hassas TLD'lerin gelişimini gösterir.(13) Bu malzemenin versiyonları TLD-100 ün 30-50 kez üstü hassasiyeti ile üretilir. Bunun yanında gerçek hassasiyet genellikle bundan azdır ve yüksek olarak çeşitlenebilir ,bu malzeme için hazırlama prosedürlerinde gelişmemişlik belirtilir. Bu en yüksek hassasiyet termal tavlama durumlarına bağlıdır, LiF:Mg,Cu,P yi popüler ve TLD'ler arasında kabul edilen malzeme olmasını engeller.

2.7.3.1.1 LiF:Mg,Ti

LiF:Mg,Ti dozimetri malzemeleri tekil kristal, kalıptan çekilmiş demir çubuk, sıcak basılmış çipler, emprenye edilmiş PTFE diski içeren çeşitli fiziksel formlar arasından gelir. En popüler form muhtemelen $3.2 \times 3.2 \times 0.9 \text{ m}^3$ sıcak basılmış çiptir ve çoğu ticari TLD üreticisi, dozimetri kartını bu büyüklükteki çiplerin kart element dizaynının merkezi olarak kullanır. Tozların kullanımı personel dozimetri de seyrekdir. Otomatik rutin yönetim prosedürdeki zorluklardan dolayı tekil kristallerin hazırlanması, Czochralski veya Stockbarger-Bridgman metodunu ve grafit potaları kullanarak ergimenin gelişmesinden oluşur. Tozlar tekil kristalden toz haline getirilerek, (60-200 μm) homojen LiF vakum füzyonunun MgF_2 den ve Li_2TiF_6 grafit potalardan gerekli tane büyüklüğüne ufanarak hazırlanabilir. Tekil çipler sinterleme veya yaklaşık 3.5×10^8 Pa lık kalıptan geçirerek yapılır. LiF emprenye edilmiş PTFE diskleri, ince

tanecikli LiF tanecikleriyle PTFE tozunun karıştırılması ve sinterleme, kalıplama veya ekstrüzyon ile sonuçlandırılmasıyla hazırlanır ve istenilen kalınlıktaki diskler torna ile kesilerek elde edilir. Diğer formların hazırlanması, sıcak difüzyon , mikrokristal gelişim ve soğuk basımı içerir. En hassas LiF:Mg,Ti malzemeleri yaklaşık 180ppm Mg²⁺ ve 10ppmTi⁴⁺ ile elde edilir. Çoğu örnek ek yabancı madde olarak birkaç OH⁻ ppm iyonu içerir. TLD-100 kendi doğal izotopik bolluğunda Ni içerir. Örneklerin, ⁶Li veya ⁷Li' a kadar zenginleştirilmesi mümkün olabilir. LiF:Mg,Ti; TLD lerin kaynakları Bicron-NE,ABD,Victoreen Inc.,Intersiba,Rusya Araştırma Akademisi'dir.TLD LiF: Mg,Ti Rados,Desmarquet&CEC, nükleer Araştırma Enstitüsü,VEB Flourverke Dohna tarafında satılmıştır.

2.7.3.1.2 LiF:Mg,Cu,P

İlk olarak Nakima ve çalışma arkadaşları tarafından tanımlanmıştır(27,28) ve bu malzeme toz şeklindeki dozimetrik kullanım için üretilmiştir. (29,30) Poli kristal, sıcak preslenmiş çipler(4.0*4.0*0.8mm³)(30,31), sinterlenmiş dairesel çipler(4.5mm çap* 0.8mm), ince filmler(3.5-5mg.cm⁻²) ve kapton substratları (31) üzerinde ⁶Li ve ⁷Li zenginleştirilmiş versiyonları elde edilebilir. (30). Tekil kristallerin özellik dozimetrisini üretmek için çalışmalar, Mg,Cu,ve özellikle P'in (32,33) son derece yüksek konsantrasyonları yüzünden başarılı bulunmamıştır. Aşağıda tanımlanan hazırlıklar aslında, Katı Dozimetrik ve Detektör Laboratuvarı, Beijing, China ve Ben Gurion Üniversitesi, Beer Sheva Israel'deki grupların basılmış raporlarından alınmıştır.Bunun yanında bazı diğer gruplar LiF: Mg,Cu,P (29,30,33,34) geliştirme çabalarını yazmışlardır ve bu çeşitli metotlardan bazıları Zha ve arkadaşlarının (30) son günlerdeki eleştirisine benzetilmiş ve karşılaştırılmıştır. Tozların hazırlanması optik sınıflı LiF tozunun MgF₂,CuF₂ ve NH₄H₂PO₄ tozu ile platin potada 1000-1050°C'de N₂ (30) veya N₂/O₂ (29) atmosferi altında karıştırılması ile ilerler. Ergime evresinde 30 dakikadan sonra örnek hızla oda sıcaklığına soğur ve polikristal malzeme toz haline getirilir, elenir ve yıkanır. Çipleri yapmak için, sıcak preslenir veya sinterlenir ve dilimlenir. (30). İnce filmler(5*5mm²) tozdan bir tabakanın organa silikon yapıştırıcı ile polyimide bandın üzerine sabitlenmesi ve polietilen varak ile kaplanmasıyla hazırlanır.(31)

Mg, Cu ve P'nin en yüksek hassasiyet ve çoğaltılabilirlikteki ortalama konsantrasyonlarını ayarlamak için birkaç çalışma vardır. İki önemli majör nokta vardır: birincisi en yüksek muhtemel hassasiyetin elde edilmesinin istenilir olduğu ve bunun için yüksek bir P içeriğinin gerekli olduğu bulunmuştur. İkinci olarak yüksek sıcaklık TL piklerini, LiF:Mg,Cu,P örneklerinin 240°C'den ileriye ısıtılmasının örneğin çoğaltılabilirliğinde zararlı etkisi olduğu bulunduğundan beri, minimuma indirmek önemlidir. Böylece, bu sıcaklık üzerinde kalan ışım pikleri bu malzemeler için TLD'yi etkileyen kalıntı sinyali birikimine sebep olabilir .(35)

2.7.3.2 Kalsiyum Florür

Kalsiyum flüorür doğal ve sentetik formlarda dozimetri olarak kullanılabilir. Doğal flüorürün gelişen ülkelerde dozimetrik malzeme olarak kullanılmasına karşın, çoğu dozimetrik uygulamalarda; ticari ve sentetik olarak üretilmiş malzemeler kullanılır. Sentetik CaF_2 'nin genellikle 3 formu bulunur; yani Mn- katkılı, Dy-katkılı, ve Tm- katkılıdır. TL ve doğal flüorürün dozimetrik özelliklerini detaylı incelenmesi için okuyucu Becker (36) ve Sunta'nın (37) yayımlarına bakılmalıdır.

CaF_2 'nin dozimetrik malzeme olarak popülaritesi , onun geliştirilmiş hassasiyetine (LiF: Mg,Ti ile karşılaştırılarak) ve basit ışınma eğrisine dayanır.. Doku eşdeğerliği yoksunluğu onun personel dozimetri olarak düzenli kullanımını önlemektedir.

2.7.3.2.1 CaF_2 ; Mn

CaF_2 ; Mn dozimetrisi, tekil kristaller, kalıptan çekilmiş çubuklar ve sıcak preslenmiş çipler olarak elde edilebilirler. Mevcut büyüklükler LiF dozimetrisindekilerle aynıdır. Dozimetri için uygun olan CaF_2 ; Mn (38) tekil kristali %3 mol Mn katkı düzeyi ile ergime içinde Bridgeman-Stockberger tekniği kullanılarak geliştirilebilir. Genel olarak, katkı düzeyleri sonundaki dozimetrik malzeme bundan daha azdır ve tipik olarak ergimedeki %3 mol için, dozimetride yaklaşık %1.5 mol beklenebilir.(39). Polikristal çipler ve CaF_2 ; Mn çubukları TLD"ampul dozimetrisi" programının bir parçası olarak ilk olarak Ginther ve Kirk (40) tarafından hazırlanmıştır. Malzeme çubukları cam ampulde küçük bobin ısıtıcı flamanın içinde hazırlanır. Basit hazırlama tekniğinde CaF_2 ve MnF_2 NH_4F içinde CaCl_2 ve MnCl_2 'yi çöktürmek için kurutulur ve 1200°C 'ye kadar nötr atmosferde ısıtılır. Malzeme daha sonra istenen parça büyüklüğüne ($100\mu\text{m}$) topraklanır ve kalıptan çekilmiş çip veya çubuklar şekillendirilir veya taneciklere sinterlenir(41,42). Toz teflon ile karıştırılabilir ve LiF için tanımlanan aynı prosedür kullanılarak bir diskin içine şekillendirilebilir. CaF_2 ; Mn dozimetrisinin birincil kaynağı Bicron-NE (harshaw), ABD(TLD-400 olarak satılan) ve Victoreen Inc, ABD'dir. Diğer firmalara Jozef Stefan Institute, Slovenia dahil edilebilir. Tekil kristaller Optavec,Inc ABD'den elde edilir.

2.7.3.3Lityum Borat

$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ tabanlı TLD fosforları on yıldan fazladır, uygulama ve araştırmalarda geniş ölçüde kullanılmaktadır (14) ve tavlama yöntemi, basit parıldama eğrisi, nem etkisi, ışık duyarlılığı ve foton doz cevabı araştırılmıştır. Bu dozimetrisi radyasyon dozimetrisinde, özellikle radyasyon terapisinde ve klinik uygulamalarda yumuşak biyolojik dokununkine çok yakın ($Z_{\text{etkin}}=7,4$) olan 7,3 atom numarasına eşdeğer bir dokuya karşılık geldiğinden oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu dozimetrisi başka uygun iyonlar kullanılarak da katkılanmıştır. Örneğin doz ölçümleri için oluşturulan ilk TL fosforu Mn ile katkılanmış lityum borattır. Bu

fosforlar çoğu fotoçoğaltıcı tüp için iyi bir cevap bölgesinin dışında 600 nm'de bir TL yayınlaması verirler. Bakır katkılandırılmış bu TLD dozimetrlere düşük TL cevap problemlerini yenmişlerdir ve PM tüpler için daha uygun bir spektral bölgede bir yayınlama verirler. Bu da yaklaşık 360 nm civarındadır. Bununla birlikte hala mevcutta olan rutin dozimetrik kullanımda aşılması gereken problemler vardır. TL malzemelerinin hazırlanması için farklı metotlar geliştirilmiştir. Fakat bunların parıldama eğrileri, TL duyarlılığı ve doğrusallığı birbirinden farklı özellik gösterirler.(15)

Bakır en verimli aktivatör olarak bilinmektedir. Aktivatör ve ko-aktivatör olarak bilinen Cu,Ag ve Cu,In bazı inorganik sistemlerdeki lüminesansın sayısız deneysel sonuçlarına göre çok verimli lüminesans merkezleri olarak bilinir. Bazı deneyler üzerinde kısmen etkili olan ve LiF'de ko-aktivatör olarak P'nin verimliliği üzerine (LiF:Mg,Cu,P) yeni bir lityum borat TL malzemesi olan $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Cu,Ag,P}$ hazırlanmıştır.

Sinterlenmiş katı $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Cu,Ag,P}$ 'nin parlaklık eğri şeklinin görece olarak kompleks TL malzemesi ve TL şiddeti hazırlama metodu tarafından güçlü bir etkiye sahiptir. $\text{Li}_2\text{O-B}_2\text{O}_3$ mevcut sistemin evreleri bazik kimyasal kullanımı, sinterleme (tanelendirme) sıcaklığı, aktivatör ve ko-aktivatör konsantrasyonu vb. En uygun stoikiyometrik lityum borat oranı TL dozimetrleri üzerinde nemin etkisini arttırmaktadır. SiO_2 'nin eklenen 0.1 wt% ve aktivatör,ko-aktivatörün kimyasal formunun doğru seçimi, hazırlanmış TL dozimetrlere nem dengesi ve iyi bir kimyasal sonucudur. $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Cu,Ag,P}$ termolüminesans malzemeleri sinterleme tekniği tarafından hazırlanmaktadır. $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, nemin etkisini engellemek için SiO_2 'nin eklenmesiyle Li_2CO_3 ve H_3BO_3 'ün stoikiyometrik miktarları ile ıslak reaksiyonları tarafından hazırlanmıştır. $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Cu,Ag,P}$ 'nin hazırlanması için en uygun aktivatör ve ko-aktivatör konsantrasyonları Cu için 0.03 wt%,Ag için 0.03 wt% ve P için 0.8 wt%'dir.(43-50)

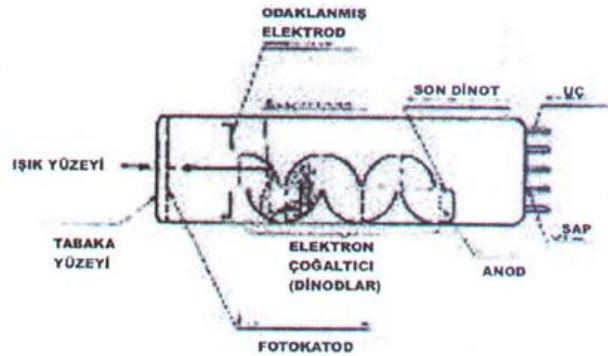
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. TL OKUYUCU SİSTEMİ

3.1 Fotoçoğaltıcı Tüpler

3.1.1 Yapı ve Çalışma Karakteristikleri

Fotoçoğaltıcı tüp aşırı derecede yüksek duyarlılık ve ultra hızlı tepki sağlayıcı çok yönlü bir buluştur. Tipik bir fotoçoğaltıcı tüp fotokatod içermektedir.(şekil 3.1) de gösterildiği gibi vakum tüpünün içindeki elektron toplayıcıları (anot) elektron çoğaltıcı elektroda odaklanma sayesinde foto yayma katodu izlenir. Işık fotokatoda girince, fotokatod vakumunun içine doğru foto elektronları yayar. Bu fotoelektronlar daha sonra elektrot voltajları tarafından odaklanmak, elektron çoğaltıcılarına doğru çevrilir. Çoğaltılmış elektronlar anot tarafından çıkış sinyali olarak toplanmaktadır. İkincil yayınlama çoğalmasa sebebiyle Fotoçoğaltıcı tüpler aşırı derecede yüksek duyarlılık ve ultraviyole deki gibi görünür ve uzak yakın ötesi ışımaya enerjisini belirlemede kullanılan foto duyarlı aygıtlar arasında son derece düşük gürültü sağlarlar. Ayrıca fotoçoğaltıcı tüp hızlı zaman cevabı,düşük gürültü ve geniş foto duyarlı alanların seçimi gibi özelliklere sahiptir.

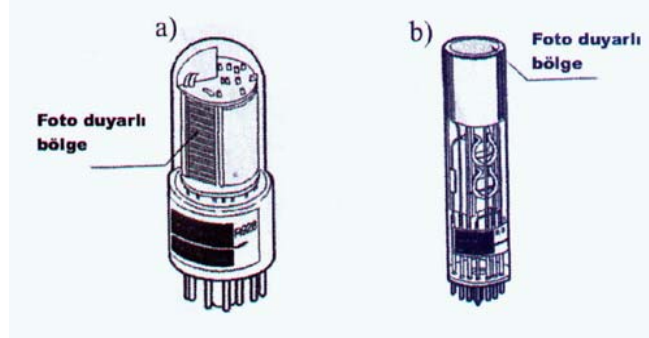


Şekil 3.1 Bir Fotoçoğaltıcı Tüp'ün şeması

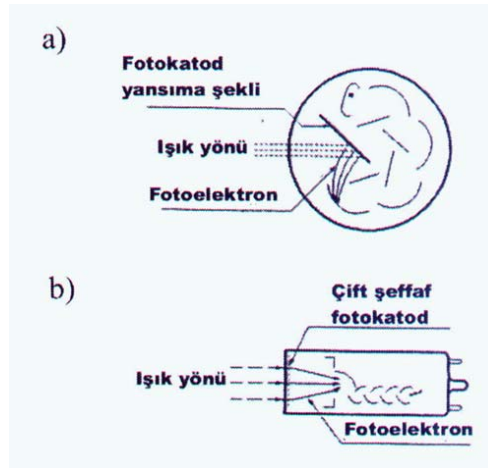
3.1.2 Sistemin Yapısı

Fotoçoğaltıcı tüp genellikle fotokatoddaki yandan pencereliye veya önden pencereliye sahiptir. Yandan pencereli cam ampul kenarı arasından gelen ışığı alır. Önden pencereli ise ışığı cam ampülü bitişinden alır. Genelde fotoçoğaltıcı tüplerin yandan pencereli tipi nispeten düşük maliyetlidir ve genel fotometrik sistemler ve spektrometreler için kullanılır. Çoğu yandan pencereli tipleri saydam fotokatod ve donanımsal yapı elektron çoğalmalarını çalıştırır. Elektron çoğalmaları iyi duyarlılığa ve nispeten düşük voltajdaki yüksek yükseltece sahiptir. Fotokatod camdaki giriş, içteki yüzeyin üzerine emanet edilir. Bu tip diğer tipteki yansıma modu

fotokatoduna sahip olmasından daha iyi boyutsal benzerlik sağlar. Bu tipteki diğer özellikler yüzeyden yüzlerce santimetrelerdeki foto duyarlı alanları seçmeyi içerirler. Büyük çaplı yarım küresel cam yüksek enerjili fizik deneyleri için kabul edilebilir iyi ışığın önemli olduğunda geliştirilmiştir.



Şekil 3.2 Bir PM Tüp'ün dış görünüşü; a)Yandan pencereli b)Önden pencereli



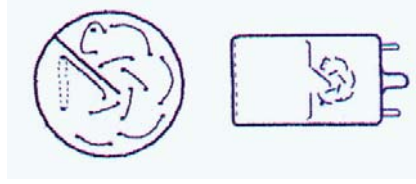
Şekil 3.3 Fotokatot tipleri; a)Yansıma Modu b)Yayma Modu

3.2 Elektron Çoğaltıcıları:

Fotoçoğaltıcı tüplerin daha yüksek duyarlılıkları sel gibi akan ikincil dışarı yayma yöntemleri tarafından düşük gürültü elektron çoğaltıcı yükselteçleri kullanmakta gereklidir.

3.2.1 Yuvarlak-Kafes Tipi

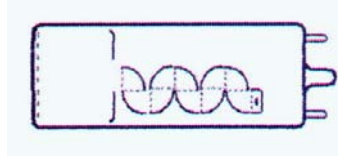
Bu tip genellikle fotoçoğaltıcı tüpün yandan pencereli tipi için kullanılır. Bu tipin asıl özelliği hızlı zaman cevabı ve yoğunluğudur.



Şekil 3.4 Yuvarlak-Kafes Tipi

3.2.2 Kutu ve Kursun Levha Tipi

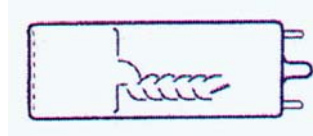
Bu tip yarı silindirik dinodları içerir ve geniş ölçüde önden pencereli tipinde kullanılır. Foto çoğaltıcı tüpler sebebiyle dinod tasarlanması nispeten basittir ve zaman yanıtının bazı uygulamalarda da yavaş olabilmesine rağmen benzerlik geliştirir.



Şekil 3.5 Kutu ve Kursun Levha Tipi

3.2.3 Çizgisel (doğrusal)Odaklanmış Tip

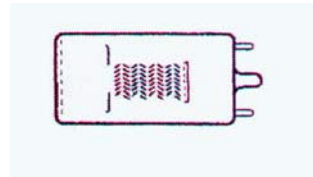
Bu tipin özelliği olağan dışı hızlı cevap zamanıdır ve geniş ölçüde kararlılık zamanının ve genel eğilim çizgilerinin önemli olduğu yerde fotoçoğaltıcı tüpleri önden pencereli tipinde kullanılır.



Şekil 3.6 Çizgisel Odaklanmış Tip

3.2.4 Venedik Storu

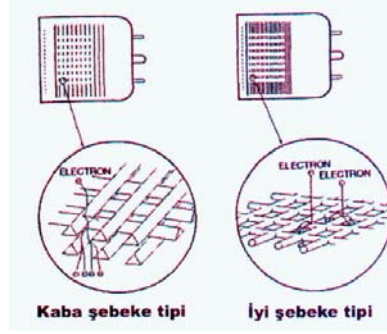
Bu tip geniş dinod alanına sahiptir ve ilk önce geniş fotokatod alanlarıyla tüpler için kullanılır. Daha iyi benzerlik ve daha geniş genel eğilim çıkış akımını sunar. Bu yapı genellikle zaman yanıtının ilk olarak göz önüne alındığında kullanılır.



Şekil 3.7 Venedik Storu

3.2.5 Şebeke Tipi

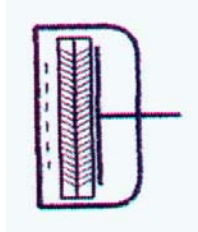
Bu tip kanalı yakınlıktaki kümeleşmiş iyi şebeke elektrotlara sahiptir. Bu tip manyetik alanlara yüksek bağışıklık sağlar. Ek olarak çoğaltıcı anotlar veya çapraz tel anotlarla kullanıldığında duyarlı durum yeteneğine sahiptir.



Şekil 3.8 Şebeke Tipi

3.2.6 Çok Kanallı Plaka Tipi

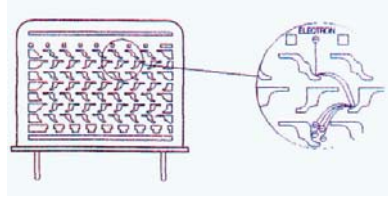
MCP, birbiriyle paralel olarak odaklanmış milyonlarca küçük cam tüplerinden meydana gelen ince bir diskidir. Her kanal bağımsız elektron çoğaltıcı olarak harekete geçer. MCP diğer akıllı dinodlardan daha hızlı zaman cevabını sunar. Ayrıca manyetik alanların iyi bağışıklık ve çoğalan anotlar kullanıldığında iki boyutlu keşif onun özelliğidir.



Şekil 3.9 Çok kanallı plaka tipi

3.2.7 Metal Kanal Tipi

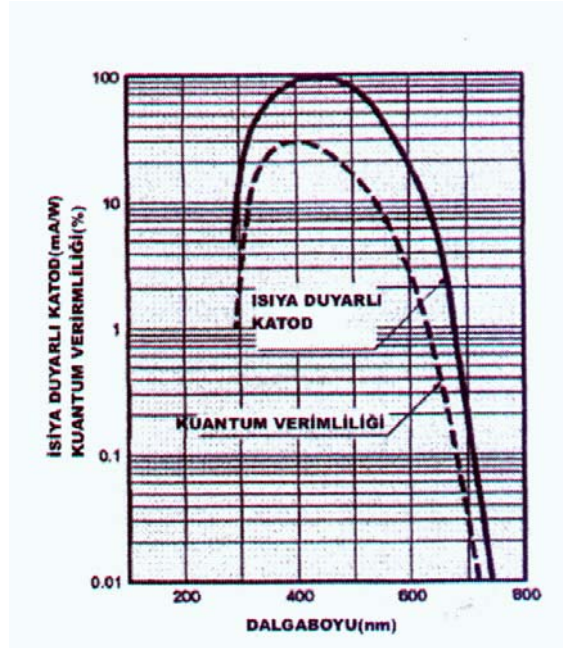
Bu tip makineleşmiş iyi tekniğimiz tarafından üretilmiş az yer tutan dinod yapısına sahiptir. Yüksek hız yanıtı gerekliliğini başarır. Diğer tipin sıradan dinod yapısından her dinod evresi daha dar boşluktur. Ayrıca duyarlı ölçü durumu için yeterlidir. Ek olarak melez dinodlar yukarıdaki mevcut alanla birleşiyor. Bu melez dinodlar her bir dinodun üstünlükleri sağlanarak tasarlanmıştır.



Şekil 3.10 Metal Kanal Tipi

3.2.8 Tayfsal Yanıt

Fotoçoğaltıcı tüpün fotokatodu gelen ışığın enerjisini foto elektronlara çevirir. Çevrilen verimlilik gelen ışığın dalga boyuyla değişir. Bu ilişki fotokatod duyarlılığı ve dalga boyu arasında tayfsal yanıt karakteristiği olarak isimlendirilir. (Şekil 3.11) bialkali fotoçoğaltıcı tüpün tipik tayfsal yanıtını gösteriyor. Tayfsal yanıt karakteristikleri, uzun dalga boyu kenarında fotokatod malzemesi tarafından ve kısa dalga boyu kenarında cam malzemesi tarafından saptandı. Multialkali fotokatodlar için en fazla duyarlılık 0.1 ve katot ışık saçan duyarlılık bialkali ve Ag-O-Cs fotokatodlar için en fazla duyarlılık 1% den gelmektedir. Karakteristik tüp çeşitleri için tayfsal yanıt karakteristikleri tipik eğrilerdir. Gerçek veriler türden türe farklı olabilir.



Şekil 3.11 Önden pencereli türdeki Bialkali Fotokatod bir PM Tüp'ün tipik tayfsal yanıtı

3.3 Fotokatod Malzemeleri

Fotokatod çok düşük çalışma fonksiyonlarıyla genellikle alkali metallere meydana gelen foto yayan yüzeylerdir.

3.3.1 Ag-O-Cs

Fotokatodun taşıma yöntemi bu malzeme kullanılarak tasarlanmıştır ve duyarlılığı 300 den 1200 nm ye uzak ötesi görünür türdür.

3.3.2 GaAS (Cs)

GaAs Cs ile aktive edilmiştir ve ayrıca fotokatod olarak kullanılmaktadır. Bu fotokatodun tayfsal yanıtı nispeten 300`den 850 nm üzerindeki katlardır.

3.3.3 In Ga AS(Cs)

Bu fotokatod GaAS`den daha mükemmel genişlemiş duyarlılığa kızıl ötesinde sahiptir. 900 ve 1000 nm türleri arasında, GaAS`de Ag-OCs`den daha yüksek S/N oranına sahiptir.

3.3.4 Sb-Cs

Bu geniş ölçüde fotokatod da kullanılmaktadır ve ultraviyolede görünür bölgeye kadar uzanan bir tayfsal cevaba sahiptir. Bu ileti yöntemi fotokatodları için uygun değildir ve temelde yansıma yöntemi fotokatodlar için kullanılır.

3.3.5 Bialkali (Sb-Rb-Cs-K-Cs)

Bunlar Sb-Cs fotokatoduna benzer tayfsal yanıtı sahip türlerdir, fakat Sb-Cs`den daha duruk gürültü ve daha yüksek duyarlılığa sahiptirler. Bialkali fotokatodların taşıma(ileti) modu ayrıca ışıldayıcı ışıklar için NaI ışıldayıcılarında daha olumlu mavi duyarlılığa sahiptir. Böylelikle ışılta hesaplanarak nadiren radyasyon ölçümü için kullanılır.

3.3.6 Yüksek Derece Bialkali ve Düşük Ses Bialkali

Bu daha yüksek çalışma derecelinde 175 °C`ye dayanabildiğinden dolayı kısmen yararlıdır. En büyük uygulama ise daha iyi yağ sistemindeki endüstridedir. Oda sıcaklıklarında bu fotokatod çok düşük karanlık akımla çalışır. Foton sayıma uygulamasında kullanımı için yapmak idealdir.

3.3.7 Multialkali (Na-K-Sb-Cs)

Multialkali fotokatod ultraviyolede uzak ötesi yanıtına yüksek, geniş tayfsal yanıtı sahiptir. Geniş ölçüde geniş band spektrometreler için kullanılan uzun dalga boyu cevabi özel fotokatod yöntemiyle 930 nm`ye kadar uzatılır.

3.3.8 Cs-Te,Cs-I

Bu malzemeler UV vakumuna ve UV ışınlarına duyarlıdır. Fakat görünmez ışıktır ve bu malzemeler güneş storu olarak adlandırılır. Cs-Te 320 nm`deki dalga boylarından sessiz duyarsızdır ve Cs-I,200 nm`den daha uzundur.

3.4 Pencere Malzemeleri

Bu malzemeler fotoçoğaltıcı tüplerde yaygın olarak şunlardır:

3.4.1 Borosilikat Cam:

Sıklıkla cam malzemelerde kullanılmaktadır. Yaklaşık kızıl ötesinden 300 nm kadar radyasyon yayar. Ultraviyole bölgesini belirlemek için uygun değildir. Bazı uygulamalar için birleştirilen bialkali fotokatod ve düşük gürültü borosilikat camı kullanılır. K-serbest cam çok düşük potasyum içermektedir. (K_2O). Bu potasyum ^{40}K tarafından sayımlara sebep olabilir. Özellikle ışılıcı saymak için dizayn edilen tüpler K-serbest cami sadece yüzey levhaları için değil ayrıca gürültü pulslarını asgariye indirmek için kenar ampulünde de kullanıldı.

3.4.2 UU-İletişim Camı(UU Camı)

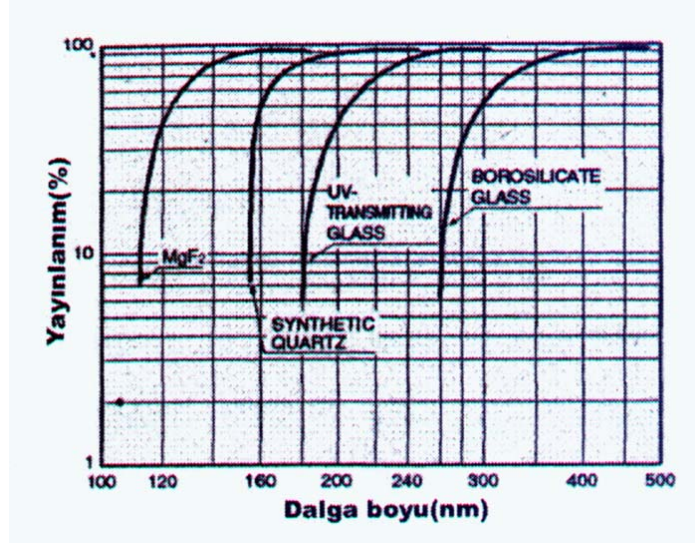
Bu cam ultraviyole radyasyonunu çok iyi gönderir. İsminden dolayı, geniş ölçüde borosilikat cam olarak kullanılır. Spektroskopik uygulamalar için UV cam yaygın olarak kullanılır.UV kesimi 185 nm`dir.

3.4.3 Sentetik Silika

Sentetik silika ultraviyole radyasyonunu 160 nm yukarıya geçirir ve dec fusedsilika ile karşılaştırıldığında ultraviyole türünde daha düşük emici sunar. Sentetik silikanın genişleme katsayımı kurşun tüpler için kullanılan Kovar`da farklı olduğundan tüpün gövdesindeki malzeme için uygun değildir.(şekil 1.5). Borosilikat cam gövde için kullanılır,daha sonra aşamalı olarak farklı termal genişleme katsayılı camlar kullanılarak yapılan mühür mekanik şoklara acıktır. Bu yüzden tüpe alabildiğince kullanım esnasında dikkat edilmelidir.

3.4.4 MgF_2 (Magnezyum Florür)

Alkali kristal maddeleri ultraviyole radyasyonu iletmekte daha iyidir. Fakat çok nem olması dezavantajdır. Bunların arasında MgF_2 pratik cam malzemesi olarak bilinmektedir. Çünkü bunun havadan nem alma özelliği daha azdır ve ultraviyole radyasyonunu 115 nm`den aşağıya gönderir. Yukarıda belirtildiği gibi, tayfsal yanıt turu fotokatod ve pencere malzemeleri tarafından belirlenir. Çalışılan Alana bağlı olarak hür kombinasyonu seçmek önemlidir.



Şekil 3.12 PM Tüp malzemelerinin optik geçirgenlik dağılımları

3.5 Işıma Duyarlılığı ve Kuantum Verimliliği

Sekil(3.11)'de görüldüğü gibi, tayfsal yanıt daima dalga boyunun fonksiyonu olarak ışıma duyarlılığı veya kuantum verimliliği cinsinden ifade edildi. Işıma duyarlılığı (S) fotokatoddan gelen elektrik akımının verilen dalga boyunun ışıma gücüne bölümüdür. Biri de A/W (amper/watt) Kuantum verimliliği (QE) fotokatoddan sayılan fotoelektronların sayısının gelen fotonların sayısına bölümüdür. Kuantum verimliliği yüzde olarak ifade etmek yaygındır. Kuantum verimliliği ve ışıma duyarlılığına verilen bir dalga boyu için:

$$QE = (S \times 12400 \times 100) / \lambda \quad (\text{Denklem 3.5.1})$$

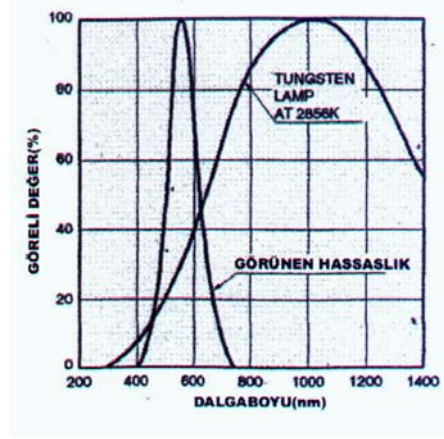
Bağıntısıyla tanımlanır.

λ = nanometre cinsinden dalga boyu S = verilen dalga boyundaki ışıma duyarlılığı

3.5.1 Işık Veren Duyarlılık

Fotoçoğaltıcı tüpün tayfsal yanıt karakteristiğinin ölçümü daha çok zamanı ve karmaşık sistemi gerektirmektedir. Sipariş verilmiş her bir tip için tayfsal yanıt karakteristiklerini müşterilere sağlamak pratik değildir. Onun yerine katot veya anot ışık veren duyarlılık kullanılır. Katot ışık veren duyarlılık 2856 K dağılım sıcaklığında çalışan bir tungusten filaman lambadan gelen ışık akışı başına (10^{-5} 'den 10^{-2} lümen)'e kadar foto katottan yayınlanan fotoelektrik akımıdır. Aynı lamba kullanılsa bile ışık akışı ve ilgilenilen voltaj uygun seviyeye ayarlanır. Bu parametreler tüplerin ayrı veya aynı türde tayfsal yanıt türüne sahip olmalarını karşılaştırırken özellikle kullanışlıdır. Hamamatsu'ya göre son testler daima Cs-I veya Cs-Te foto katotlarda tüpler hariç bu parametreleri gösterir. (Bu tüpler tungsten lamba ışığına duyarlı değildir) Hem katot hem de anot ışık veren duyarlılıklar A/lm ünitelerinde ifade edildi. Not sudur, lümen gözle

görülür bölgede ışık veren akış için kullanılan bir ünitedir ve bu yüzden bu değerler gözle görülür bölgenin ötesinde duyarlı olan tüpler için anlamsız olabilir. (Su mavi tüpler için mavi duyarlılık veya kırmızı beyaz oran çoğu kez kullanılır.) (şekil 3.13)

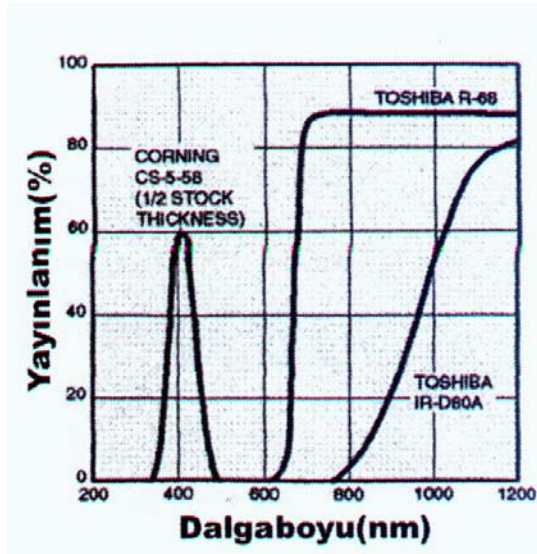


Şekil 3.13 Bir PM Tüp'ün görünen hassaslığı Tungsten lambanın 2856 K deki ışımaya eğrisi

3.6 Tayfsal Enerji Dağıtımı

3.6.1 Mavi Duyarlılık ve Kırmızı/Beyaz Oran

Fotoçoğaltıcı tüplerin tayfsal cevabını basit olarak karşılaştırmak için katot mavi duyarlılık ve kırmızı-beyaz oran çoğu kez kullanılır. Katot mavi duyarlılığı 2856 K'de arasından mavi filtre geçerek tungsten lambanın ışık akışı sayesinde foto katottan üretilmiş fotoelektrik akımıdır. Işık akışından beri bir defa mavi filtre arasından geri iletildi. Lümenle belirtilmedi. Mavi duyarlılık "A/lm/B" de kolaylıkla belirtilmiştir. Mavi duyarlılık NaI "TI" ışıldatıcıları kullanılarak ışıldama hesaplamada önemli bir parametredir. NaI "TI" ışıldayıcı üretildiğinden beri emisyonlar tayf ışık dizisinin mavi bölgesinde ve enerji çözümlerinde kararlı faktör olabilir. Kırmızı-Beyaz oran fotoçoğaltıcı tüpler için tayfsal yanıtla uzak ötesi bölgenin yanına genişletilerek kullanılır. Bu parametre katot duyarlılığı ölçülerek 2856 K'daki tungsten lambanın ışık akışıyla kırmızı filtre arasından geçerek tanımlanmıştır. (Toshiba IR-D80A SI için fotokatod veya R68 diğerleri için katot ışık veren duyarlılık sayesinde filtre kaldırarak ayrılmıştır.)



Şekil 3.14 Değişik filtrelerin geri gönderimi

3.6.2 Akım Yükseltmek (Amplifikasyon Kazancı) :

Foto elektronlar hazırlanmış foto katottan elektrik alanı sayesinde yayılır. Bu yüzden ilk dinod belli bir yöne doğru giderek ve ikincil elektron yayımları olarak üretilir. Bu ikincil elektronlar daha sonra ikincil elektron yayımlarını üretmek için gelecek dinodun üzerine etki eder. Bu yöntem art arda gelen dinod devreler üzerinde tekrarlanarak yüksek bir akım elde edilir. Foto katottaki çok küçük fotoelektrik akımı geniş çıkış akımı olarak fotoçoğaltıcı tüpteki anottan gözlenmiş olabilir. Akım yükseltme basit bir şekilde foto katottan fotoelektrik akımının anot çıkış akımına oranıdır.

İdeal olarak fotoçoğaltıcı tüpün akım yükseltmesi dinod aşamasına ve ortalama ikincil elektron yayma oranındaki her aşamanın δ^n olmasına sahiptir. İkincil elektron yayma oranı ;

$$\delta = A.E^a \quad \text{(Denklem 3.6.1)}$$

olarak verilir.

A=Sabit

E=Katlar arası voltaj

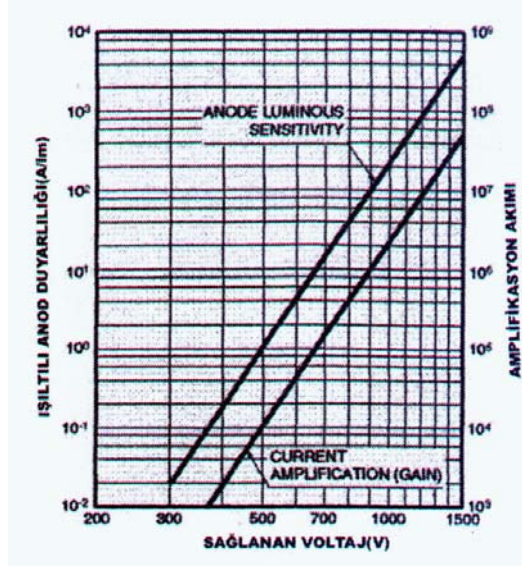
a=dinod malzemesi ve geometrik yapı tarafından belirlenen bir katsayıdır. Genellikle 0,7'den 0,8'e kadar olan değere sahiptir. V Voltajı,

$$m = \delta^n = (A.E^a)^n = \left\{ A \left(\frac{V}{n+1} \right)^a \right\}^n = \frac{A^n}{(n+1)^{an}} \cdot V^{an} = K.V^{an}$$

(Denklem 3.6.2)

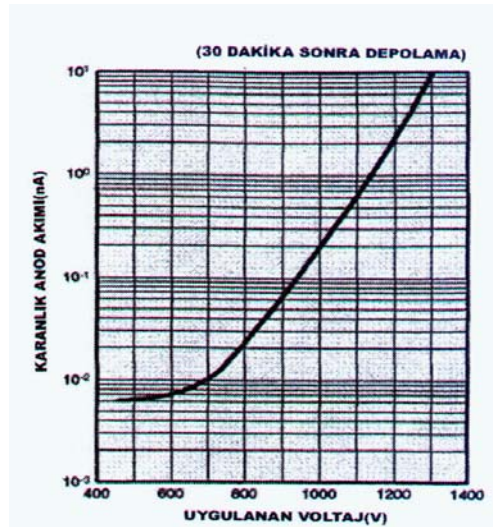
olur.

Genellikle fotoçoğaltıcı tüpler 9 ile 12 dinod aşamalarına sahip olduğundan voltajda 6. kuvvetten 10. kuvvete kadar olan değişimle direkt olarak anot çıkışı çeşitlenir. Kuvvet, temin edilen voltajda fotoçoğaltıcı tüpün çıkış sinyali oldukça hassas akım dalgalanmadır. Böylece kuvvet temini çok dengeli olmalı ve hafif dalga hareketini ve sıcaklık katsayısını sağlamalıdır. Değişik tiplerdeki ayarlanmış yüksek voltaj güç teminleri Hamamatsu'dan mevcut olan bu hususlarla tasarlanmıştır.



Şekil 3.15 Tipik akım yükseltmesine karşı temin edilen voltaj anot karanlık akımı

Tüp tamamen karanlık durumda çalıştırıldığında küçük bir akım miktarı hatta bir fotoçoğaltıcı tüpe akar. Bu akış akımı anot karanlık akımı olarak isimlendirilir ve gürültüleri sonuçlandırmak fotoçoğaltıcı tüpe tanımlanarak bulunan kritik faktörlerdir. Şekil (3.16)'de gösterildiği gibi karanlık akım temin edilen voltajın üzerinde iyice bağımlıdır. (23)



Şekil 3.16 Tipik karanlık akıma karşı temin edilen voltaj
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 MALZEME HAZIRLAMA METODU

$\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ termolüminesans malzemeleri sinterlememetoduyla Dr.M.Prokic tarafından hazırlanmıştır. Lityum borat termolüminesans malzemelerinin kimyasal bileşim çalışmalarının hazırlanmasındaki dopant ve codopant kimyasal formu ve tanelendirme sıcaklığı termolüminesans özelliklerinin denetiminde önemli parametrelerdir. Tanecikler (4,5 mm çapındaki ve 0,95 mm yoğunluktaki) 75-200 μm arası büyüklüklerin polikristalize olmuş termolüminesans tozlarının soğuk sıkıştırma metodu ile atmosferdeki havanın sıcaklığının 850°C üstünde bir ısıyla tanelendirme yöntemiyle hazırlanmıştır.

Cu aşılınmış olan neredeyse bütün ticari lityum borat ürünleri tekrarlanan tavlama prosedürlerinden sonra renk değiştirmekte ve böylece başlangıçtaki termolüminesans duyarlılıklarını şiddetle kaybederler. Çevresel etkenler,yüksek nem ve benzeri gibi etkiler gelişen metotlar altında hazırlanan katı lityum borat termolüminesans dozimetrlere etki etmektedir.En çok verimli aktivatör olarak bakır bilinmektedir.

4.2 DENEYİN YAPILIŞI

Bu Yüksek lisans tez çalışmasında, çalışma materyali olarak $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu,Ag,P}$ seçilmiştir. Ege Üniversitesi Lüminesans Araştırma Laboratuvar'ında 3 adet $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu,Ag,P}$ örneği Hg lambasıyla (HV-1000V) 5 dakika ışınlanmış ve aşağıda açıklanan düzeneğe konulup parıldama eğrileri (glow curves) incelenmiştir. Ayrıca yine Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nde mevcut bulunan X ışını yardımıyla örneklere 30 mG ışınlama yapılmış ve 4 tane $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu,Ag,P}$ örneğinin parıldama eğrileri incelenmiştir. Aynı örnekler yukarıdakinden farklı olarak bu sefer Hg lambasıyla 5 saniye ışınlanmış ve hemen ardından numunelerin parıldama eğrileri alınmıştır. Deneyin yapılışından hemen sonra aynı örnekleri bu kez Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nde mevcut bulunan X ışınıyla 30 mG ışınlama yapılarak parıldama eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra 8 tane numune Hg lambasıyla 1 dakika ışınlandıktan parıldama eğrileri kaydedilmiştir. Bu aşamaya kadar örneklere herhangi bir şekilde tavlama (annealing) yapılmamış ve bu etkinin parıldama eğrileri üzerinde nasıl bir değişim sergileyeceği saptanmamıştır. Bu amaçla, 10 tane numuneye, önce 400°C de 5 dakika tavlama yapıldıktan sonra X ışınıyla 30 mG ışınlama yapılmıştır. Daha sonra 5 tanesinin parıldama eğrileri kaydedilmiştir. Geriye kalan 5 örneği, siyah bir kağıt içinde 7 gün bekletildikten sonra ölçüm alınmıştır. Bir öncekinden farklı olarak bu kez başka 10 numune, X ışınında en yüksek ayarda 45 mG ışınlama yapıldıktan sonra 5 numuneye ilişkin parıldama eğrileri kaydedilmiştir. Yine bu numunelerden 5 tanesi, 5 gün bekletildikten sonra ölçüm alınmıştır. Tüm deneylerimizde ısıtma

oranı (heating rate) 1°C/s 'dir. Yukarıda anlatılanların, ölçümlerin yapıldığı tarihe göre bir çizelge halinde göstermesi, yapılan çalışmanın tümünün bir bakışta görülmesi açısından yararlı olacaktır.

Tablo 4.1 Numunelere Uygulanan İşlem Zamanları

Işınlanma Türü	Işınlanma Zamanı	Tarih		Tarih		Tarih		Tarih		Tarih	
		04.11.2004		08.11.2004		09.11.2004		10.11.2004		17.11.2004	
		Örnek Sayısı	Örnek Sayısı	Örnek Sayısı	Örnek Sayısı	Örnek Sayısı	Örnek Sayısı	Örnek Sayısı	Örnek Sayısı		
		3	4	4	3	8		10		10	
Hg Lambası	5 sn			X							
	1 dk					X					
	5 dk	X									
X Işını	30 mG		X		X			X			
	45 mG									X	

4.3 TERMOLÜMİNESANS SİSTEMİ

Kullanılan $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$;Cu,Ag,P örnekleri Yugoslavya'daki Nükleer Bilimler Enstitüsünde Dr. M. Prokic tarafından hazırlanmış ve geliştirilmiştir. Örnekler yaklaşık 5 mm çaplı ve 1 mm kalınlıklı diskler şeklindedirler. Ölçümlerin bir bölümü Celal Bayar Üniversitesi lüminesans laboratuvarında bulunan Jobin Yvon marka monokromatöre monte edilmiş X-ışını ünitesi ile oluşturulan sistemde oda sıcaklığında alınmıştır. X-ışını Philip MG 102-100 kV sabit potansiyelde yüksek voltaj jeneratörü kullanılarak elde edilmiştir. X-ışını ünitesinin içinde ayrıca MCN 101 100kV metal seramik çift odaklı berilyum X-ışını tüpü mevcuttur. Tüp numuneye 45° olacak şekilde ön port lardan birine yerleştirilmiştir. Sistem dakikada 0,7 Gy den dakikada 40 Gy e kadar değişen dozlarda radyasyon sağlayabilmektedir. Bununla beraber voltaj kontrolü kaza sonucu radyasyon kaçağına maruz kalmamak için dikkatli bir şekilde sağlanmalıdır. Çünkü bazı radyasyon kaçağı bu doz hızında odanın dışında gözlenebilmektedir. Bu nedenle zaman zaman X-ışını dedekte eden cihaz ile kontrol yapılmalıdır. Bu çalışmada tüp, 25 kV , 15 mA'e ayarlanarak dakikada 10Gy'lik bir doz hızı elde edilmiştir.

Sistemde kullanılan X- ışını tüpü su soğutmalı tek fazlı Machlett OEG-50A lik bir tüptür. 0,1 mm alüminyum filtreli 1 mm berilyum pencere olup tungsten hedeften ibarettir. Sistem 50 kV a kadar çalıştırılabilmekte olup maksimum akım 20 mA dir. Yapılan deneysel çalışmalarda uygulanan voltaj 25 kV ve akım 15 mA dir. Bu değerler hem olası elektriksel boşalımla tüpe zarar vermemek hem de güvenli çalışma doz seviyesini aşmamak amacıyla seçilmiştir. Tüp su ile soğutulmaktadır ve herhangi bir şekilde su kesilmesinde veya suyun akış hızı 4 litre/dak. altına düşüğünde sistem otomatik olarak kendini kapatmaktadır. Bunun yanı sıra güvenlik için

numuneyi istenmeyen ışımadan korumak için X ışını tüpünün önüne elle kumanda edilen ve örnek tutucuda sabitlenen bir kurşun kapak yerleştirilmiştir. Böylece kaza ile çalışanların X-ışını tüpü açıkken odacığı açıp numune değiştirmeleri engellenmiştir. Örnek en üst kapaktaki özel olarak hazırlanmış yuvasına biraz gres yardımıyla tutturulur ve örnek üzerine yaklaşık 10Gy/dak. bir doz uygulanarak oda sıcaklığında spektrum toplanır. Burada kullanılan detektör TL ölçümlerinde kullanılan PM tüpünden farklı olarak daha gelişmiş olan CCD detektörüdür. Detektör çalıştırılmadan önce karanlık akımı ve elektronik gürültüleri minimuma indirmek için sıvı azot ile soğutulmaktadır. Sistem sıvı azot konulmadığı zaman kendini korumakta ve detektörün önünde bulunan kapağı açmamakta ve ölçüm alınmasına izin vermemektedir. Bu detektörün dalgaboyu tarama alanı 200-1200 nm aralığındadır.

Sistemde numune odasından gelen ışımının monokromatöre girdiği yarık genişliği 0,1 mm den 2 mm ye kadar değişen aralıklarda ayarlanabilmektedir. Bu detektör ile çok daha hızlı bir şekilde ölçüm alınabilmektedir. Uzun dalga boylarında CCD detektör PM tüpüne nazaran çok daha duyarlıdır; ancak kısa dalga boylarında duyarlılığı PM tüpüne kıyasla daha azdır. Yapılan test ölçümlerinde laboratuarda mevcut bulunan sistemle aynı örnek üzerinde alınan ölçümlerde tekrarlanabilirlik sağlanmıştır.

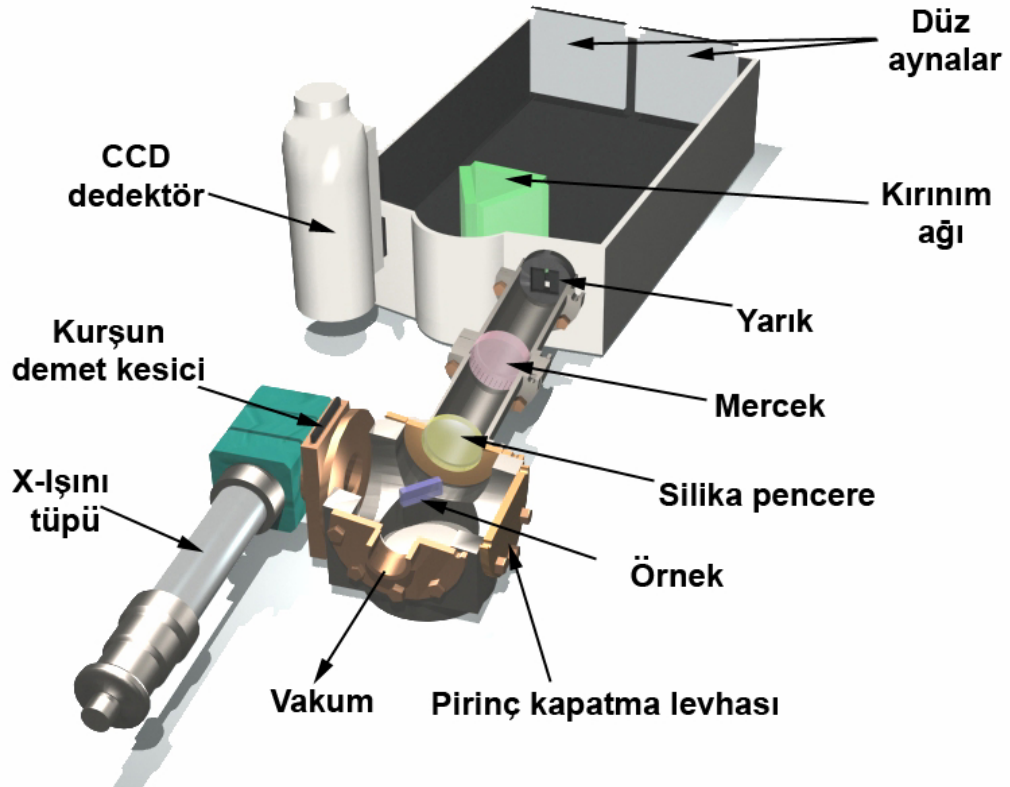
Şekil 4.1 de görüldüğü gibi örnek odası küp şeklinde alüminyum bir bloktan oluşmaktadır. Odanın etrafı olabilecek X-ışını kaçaklarından korunmak için kurşun bloklar ile çevrilmiştir. Alüminyum odada 5 adet port bulunmaktadır. Bu portların bulunduğu konumlar ve numune odasının monokromatör ile olan bağlantısı Şekil 4.2 de gösterilmiştir. Portların işlevleri şu şekildedir:

(i) Rotory pompasına bağlı; (ii) X-ışını tüpüne bağlı; (iii) örnek odası ve monokromatör arasında örnekten gelen ışığı toplayan mercek sisteminin bulunduğu hat; (iv) numunenin yerleştirildiği kısım; (v) boşta bulunmaktadır.

Portları kapatmada radyasyonu izin verilir seviyelere düşürmek için pirinç levhalar kullanılmıştır. Burada pirinç levha ayrıca daha düşük enerjiye sahip saçılan X-ışınlarını da önlemektedir.

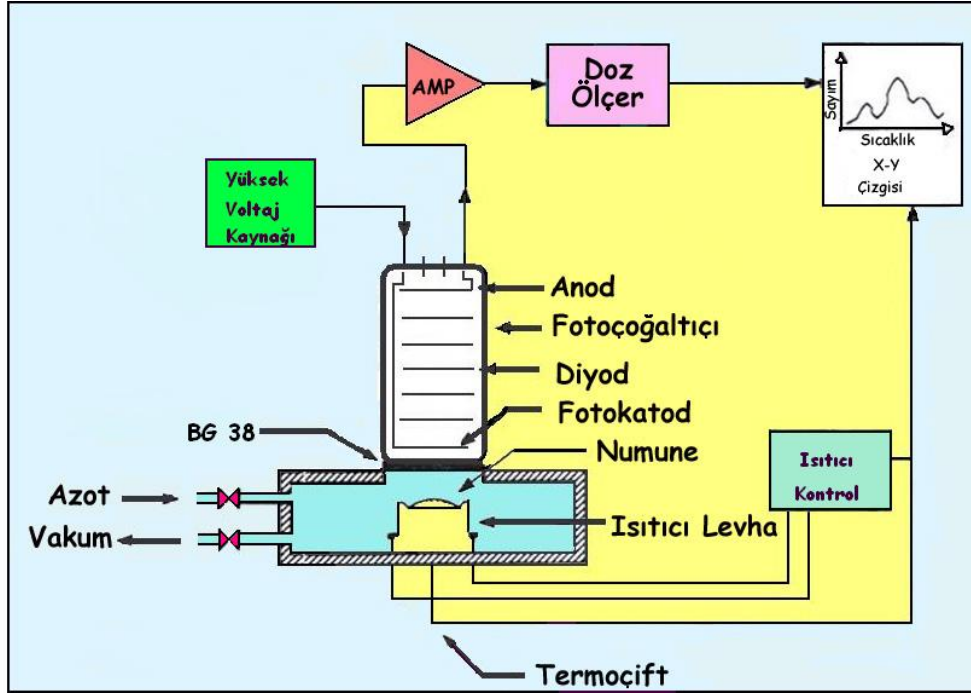


Şekil 4.1 X-ışınına maruz bırakılan örneğin yerleştirildiği alüminyum bloktan yapılmış oda.



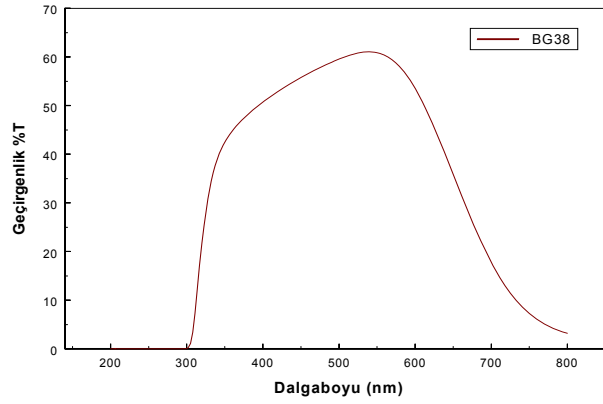
Şekil 4.2 X-ışını Tüpü, Numune Odası Ve Monokromatör'ün bağlantılarını gösteren şematik resim.

Termal olarak uyarılmış lüminesans ışına veya termolüminesans yaklaşık 500C°de ve sabit hızda numuneyi ısıtmak,sıcaklığın fonksiyonu olarak yayınlanan ışığı kaydetmek suretiyle gözlenir. Deneysel çalışmada kullanılan termolüminesans okuyucusunun şematik diyagramı Şekil-4.3 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 CBÜ'de parıldama eğrilerin alındığı TL sisteminin blok şeması.

Sistemde PM tüpün hemen altına bir ısı soğurucu B-38 filtresi yerleştirilmiştir. Çünkü yüksek sıcaklıklarda ısıtıcı şeritten gelecek ışımaların ölçüme katılması önlenmek istenmektedir. Bu filtrenin laboratuarda bulunan Perkin Elmer UV-VIS-NIR spektrofotometresi ile alınan geçirgenlik ölçümüne ilişkin grafiği Şekil4.4 de verilmiştir. Proje kapsamı dışında olduğu için optiksel soğurma ölçümleri ile ilgili detay verilmemiştir. Şekilden de görüldüğü gibi termolüminesans sisteminde kullanılan BG-38 filtresi yardımıyla alınan parıldama eğrisinin dalga boyu 300-800nm arasındadır. Maksimum verimin alındığı yer ise 400-650 nm arasındadır. Öte yandan bu filtre yardımıyla 300nm altında ışına yapan örnekler bu filtre yardımıyla ölçülemez. Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde PM tüpe ulaşan Blacbody radyasyonu önlemek için ısı absorbbent schott KG-1 filtresi kullanılmıştır. PM tüp olarak da EMI 9635QB kullanılmıştır.



Şekil 4.4 CBÜ'deki TL sisteminde kullanılan BG-38 filtresinin optiksel soğurma spektrumu

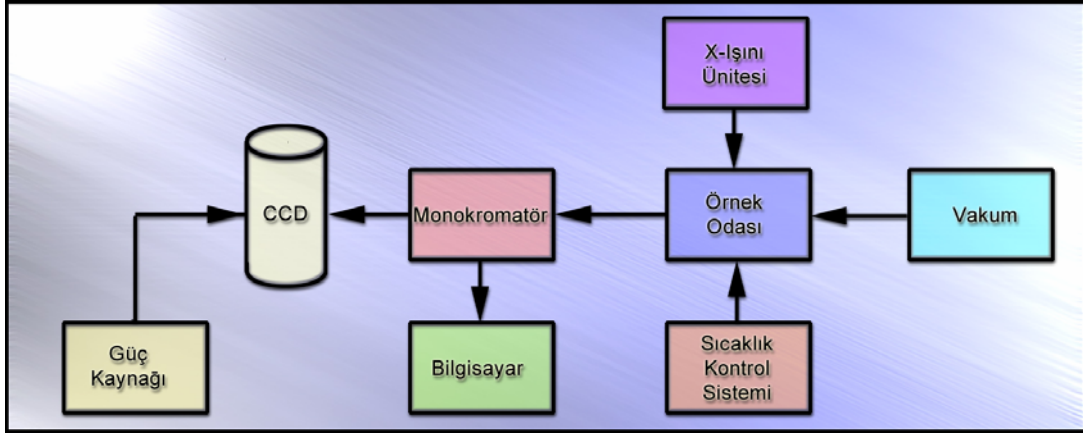
Deney ölçümlerinin alındığı CBÜ'deki sistem Şekil 4.5 de verilmiştir. Bu sistem İngiltere'deki Sussex Üniversitesi'nde çalışan Prof.Dr. P.D. Townsend'ın hibe yolu ile fizik bölümüne bağışlaması ile kurulmuştur. Numune odası ve sıcaklık kontrol sistemi el yapımıdır. Diğer güç kaynağı, ayırıcı, gibi elektronik aksamlar orijinal olup uygun firmalardan temin edilmiştir. Numune odasına konan dozimetrlere ölçüm alınırken sistem numuneden gelen ışımaların ortamdaki hava molekülleri ile çarpışarak farklı etkilere yol açmaması için ve örneğin O₂ ile herhangi bir reaksiyon yapmaması için orta seviyede (10^{-1} Torr) bir vakum altında tutulmuştur. Ölçümlerde dozimetrlere gelen sinyallerin alınıp bilgisayara aktarılmasında Sussex Üniversitesi tarafından geliştirilen bir bilgisayar programı kullanılır ve böylece veriler bilgisayara girilmiş olur. Bu bilgisayar programında istediğimiz sıcaklığı, sıcaklık aralığını, sıcaklığın saniyedeki artış hızı gibi birçok parametreyi manuel olarak girmek mümkündür. Elde edilen spektrum ASCII dosyası olarak kaydedilmektedir. Bu grafik ise daha sonra AXUM programında düzenlenmektedir.



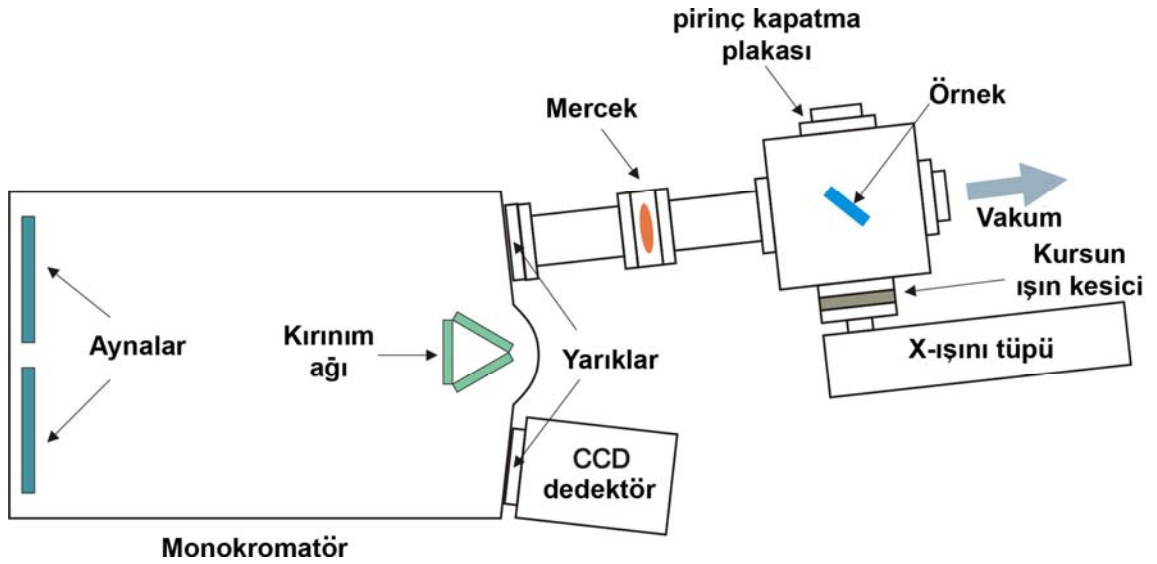
Şekil 4.5 CBÜ Fizik Bölümü Lüminesans Laboratuvarındaki TL Sisteminin Gösterimi

4.4 RADYOLÜMİNESANS SİSTEMİ

(a)



(b)



Şekil 4.6 (a) RL Sisteminin Blok Diyagramı (b) RL Sisteminin Ayrıntılı Şeması

Deney esnasında X-ışını ile ışınlama su soğutmalı Machlett OEG-50A tüp yardımıyla yapılmaktadır. Bir tungsten hedef içerir ve 0,1 mm alüminyum filtreli 1mm kalınlığında berilyum

pencereye sahiptir. Sistem 50 kV a kadar çalıştırılabilmekte akımda 20 mA a kadar çıkabilmektedir. Ancak deneyde maksimum seviye 25kV ve 15 mA olarak tutulmuştur. Bu çalışma modunda, tüp bağlantılarında bir elektriksel kontak olma riski minimumdur. X-ışını tüpünün önüne bir kurşun blok yerleştirilmiştir. Bu herhangi bir şekilde tüpün açık unutulduğu bir anda özellikle numune değiştirirken deneyi yapan kişinin radyasyon almasını önlemek amacıyla son derece yararlı olmaktadır. Ayrıca diğer bir güvenlik sistemi, eğer suyun akış hızı dakikada 4 litreden daha az bir seviyeye inerse sistem gücünü otomatik olarak kesmekte ve X-ışını ünitesi çalışmamaktadır.

Şekil 4.6 da RL sisteminin blok diyagramı ve ayrıntılı şeması verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere numune odası ve monokromatör arasında, numuneden gelen ışığı en yüksek şiddette monokromatörün içindeki aynalara götürmek için bir ara tüp içerisinde merceklerden oluşmuş bir optik sistem kurulmuştur.

Bu çalışmanın yapıldığı lüminesans araştırma laboratuvarında kurulan sistemin bir bütün olarak görüntüsü Şekil 4.7 resimsel olarak verilmiştir.

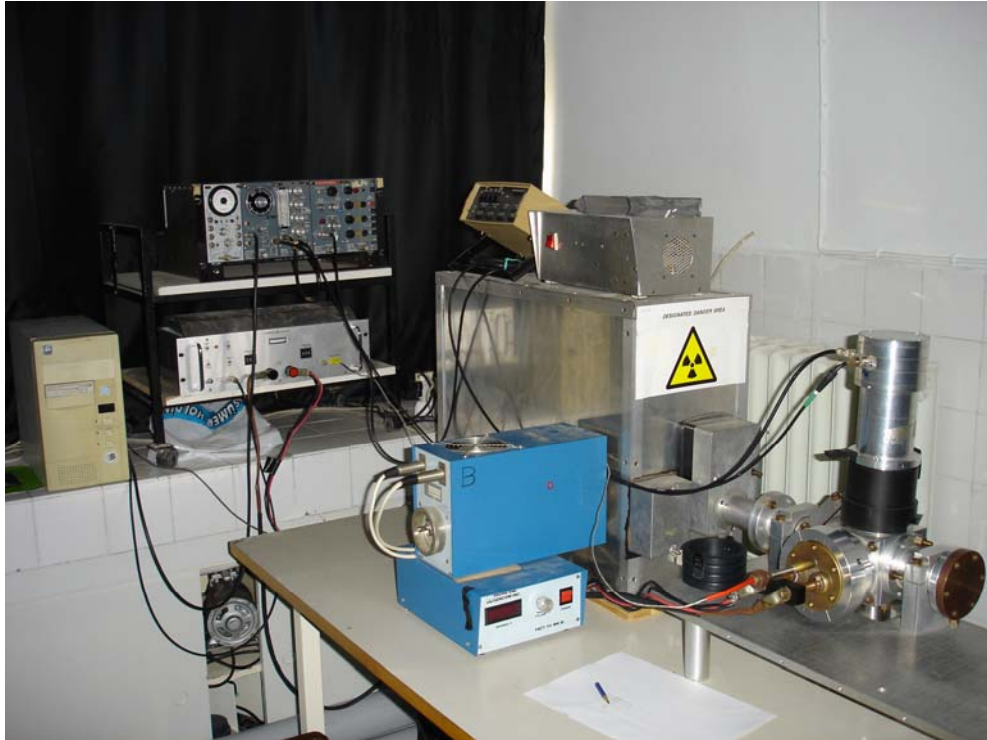


Şekil 4.7 CBÜ Fizik Bölümü Lüminesans Laboratuvarındaki RL Ölçüm Sisteminin Resimsel Olarak Üsten Görünüşü.

Ege Üniversitesi'ndeki deney düzenek şekilleri aşağıda verilmiştir;



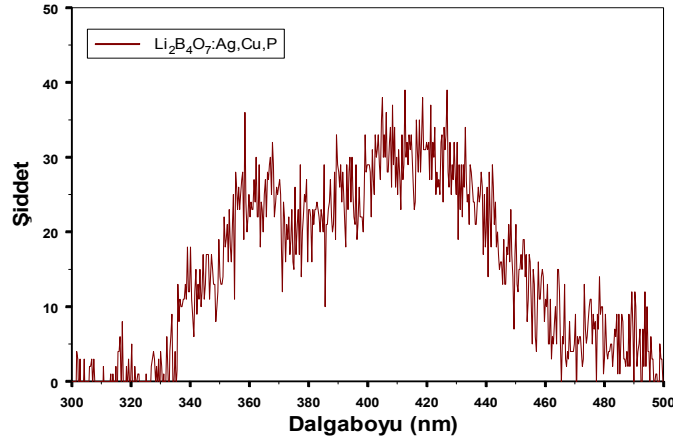
Şekil 4.8 Alüminyum bloktan yapılmış örnek odasının yakından görünüşü.



Şekil 4.9 EGE Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Lüminesans laboratuvarındaki TL sisteminin gösterimi

4.5. BULGULAR

Bu çalışmada kullanılan Cu en etkin aktivatörlerden biridir. Bazı inorganik sistemlerde çeşitli lüminesans deney sonuçları Cu-Ag-P aktivatör ve co-aktivatörlerin çok etkin lüminesans merkezleri olduğunu göstermektedirler. Deneyde kullanılan dozimetrlere daha önce ifade edildiği gibi Belgrad'taki Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde Dr. Prokic tarafından geliştirilmiş ve hazırlanmıştır. Kalınlığı 0,9 mm ve çapı 4 mm olan pelletlerin tanecik boyutları 75 ile 200 nm arasındadır. $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ deki Cu, Ag ve P aktivatör konsantrasyonları ağırlık olarak %0,03, %0,03 ve %0,8 dir. Bu çalışma da $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$: Cu, Ag, P için elde edilen RL spektrumu Şekil 5.1 de verilmiştir.

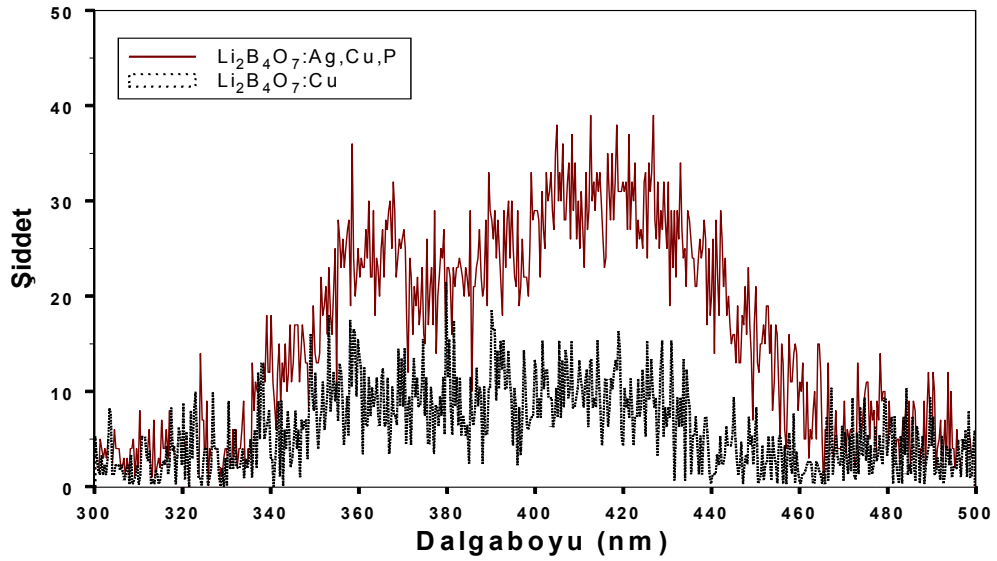


Şekil 5.1 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$: Cu, Ag, ve P için oda sıcaklığında alınan RL spektrumu

Şekil 5.1'deki RL spektrumunda 370nm de dar bir band ve 420nm civarında ise geniş bir band görülmektedir. Yaptığımız literatür taraması sonucunda bu örnek ile ilgili herhangi bir RL ölçümüne rastlanmadığından karşılaştırma yapılamamıştır. Fakat 420 nm civarındaki geniş pik $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ye katkılanırılmış olan Cu dan ileri gelmiştir. Bu konuda daha fazla bilgi verebilmek için örnek üzerinde CL ölçümlerinde alınması ve buna karşılık elde edilen sonuçların karşılaştırılması yoluna gidilerek daha sağlıklı bir yorum yapılabilir. Bununla birlikte düşük sıcaklıklarda ölçüm yapılarak da bir yoruma gidilebilirdi.

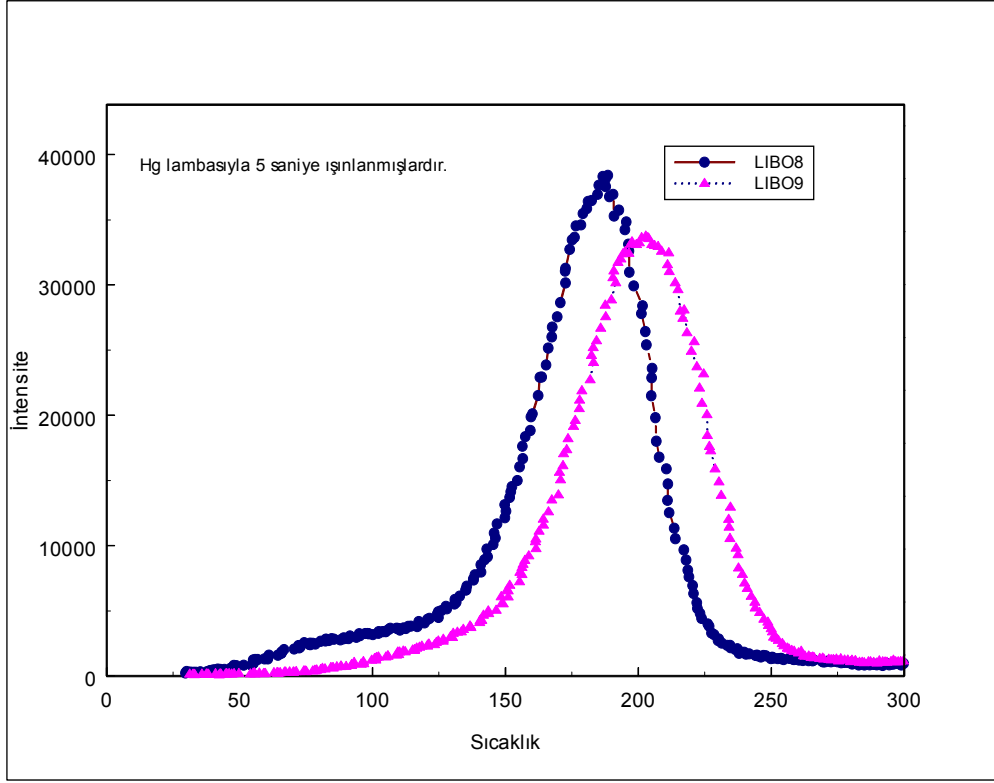
Cu katkılanırılmış $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ dozimetrisinin oda sıcaklığındaki RL spektrumu şekil 5.2 de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere Cu ve Cu,Ag,P katkılanırılmış olan dozimetrlere elde edilen spektrumlar karşılaştırılmıştır. Böylece katkı maddelerinden ileri gelen RL spektrumlarının karşılaştırılması yapılmıştır ve sadece Cu katkılı örnek ile elde edilen şiddet

değerinin Cu,Ag ve P ile yapılandırılan daha az olduğu görülmektedir. Cu ile katkılandırılmış olan malzemede 370 nm ve 420 nm de ortaya çıkan pikler nispeten daha zayıftır. Özellikle 420 nm'deki pik Cu,Ag ve P ile katkılandırılmış olan dozimetrede çok belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

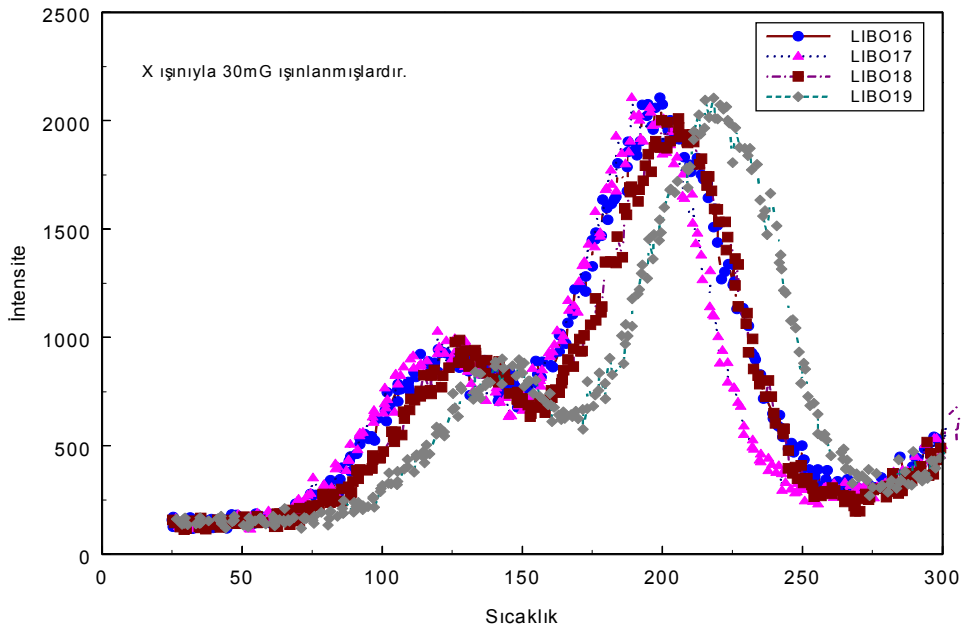


Şekil 5.2 Cu,Ag,P ve Cu ile katkılandırılmış olan $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ dozimetrelerin oda sıcaklığında alınan RL spektrumlarının karşılaştırılması.

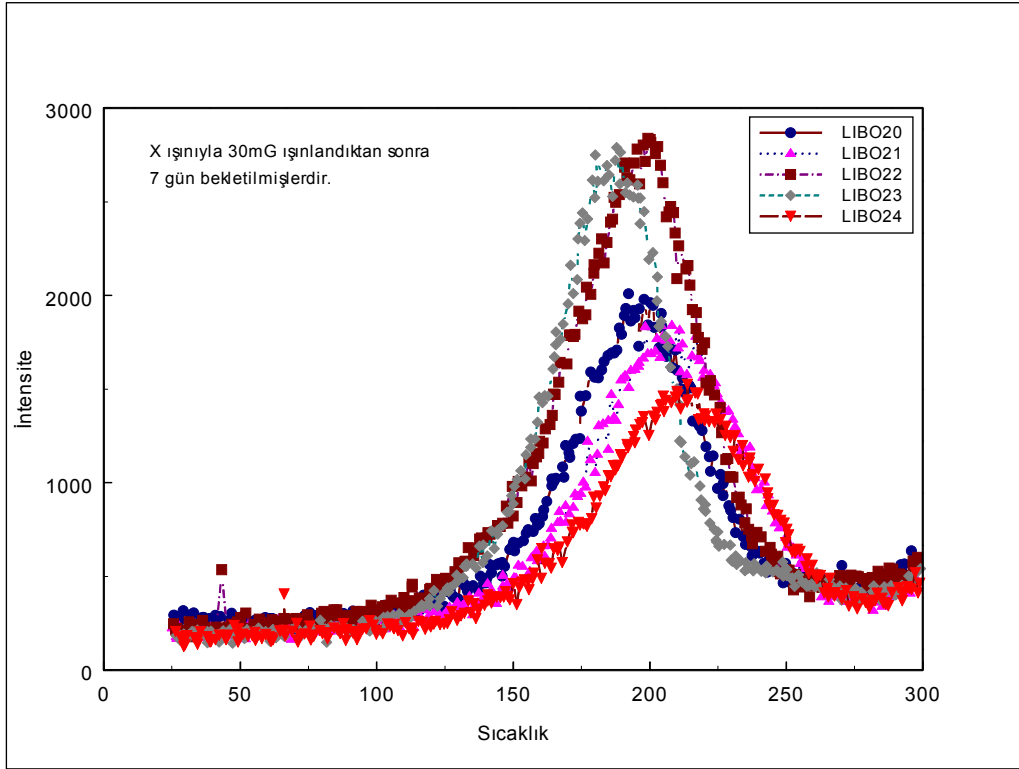
Yaptığımız incelemelerde TLD'lerin ışınma şiddeti ile sıcaklığı arasındaki değişim incelenmiştir ve bunun sonucunda çıkan eğrinin altında kalan alan bize malzemenin aldığı dozu vermektedir. Yaptığı deney sonuçlarını incelemeye başlarsak; Hg lambasıyla 5 saniye ışınlama yapıldığında tek pik gözlenmiştir. Fakat ışınlanan numunelerin sıcaklığındaki kaymalar numunenin numune odasına konulurken çok fazla gres sürülerek yüzeye temasının engellenmesinden ve şiddetindeki değişiklikler ise gürültüden kaynaklanmış olabilir. X ışınıyla ışınlanan numunelerde iki pik gözlenmiştir. Yani X ışınıyla ışınlanan Hg lambasıyla ışınlamaya göre daha etkili olduğu söylenebilir. X ışınıyla ışınlanan numunelerde 30mGy ile ışınlananlarda tavlama yapılmamış 45mGy ışınlanan numunelere tavlama işlemi yapılmıştır. X ışınıyla 30-45 mGy ışınlanan numuneler bir hafta ve beş günlük periyotlarda bekletilmişlerdir. Bunun sonucunda ilk pikin yok olduğu görülmüştür. Bu anlatılan numunelerin grafikleri aşağıdadır.



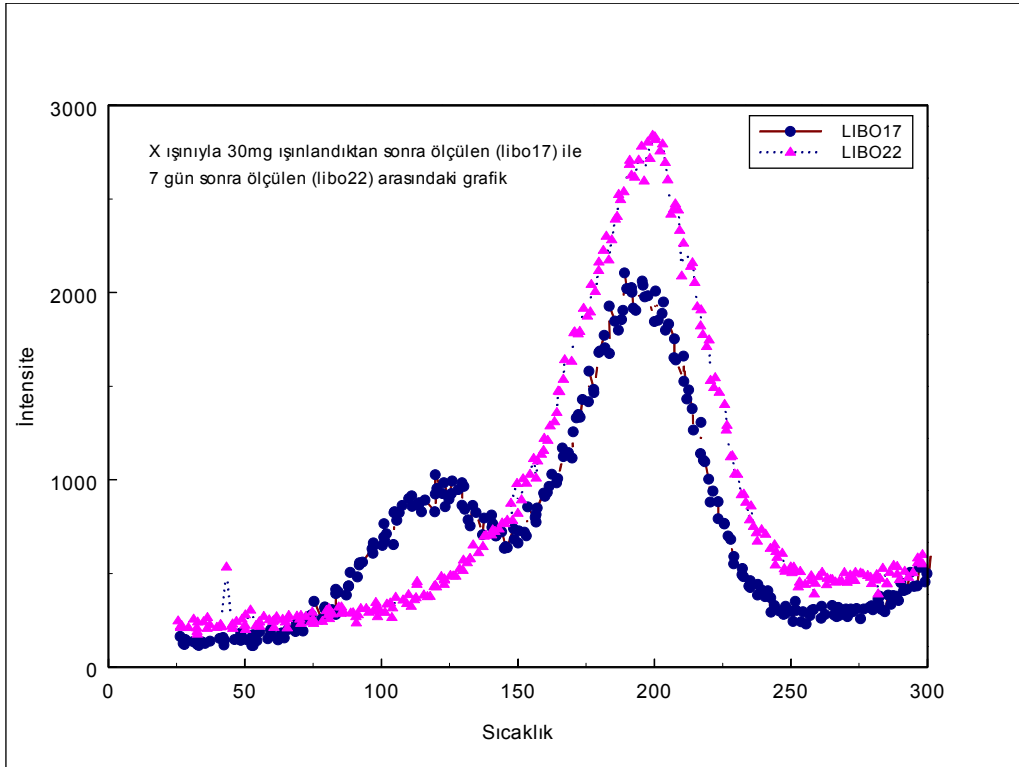
Şekil 5.3 Hg lambasıyla 5 saniye ışınlanan iki numunenin parıldama eğrisi



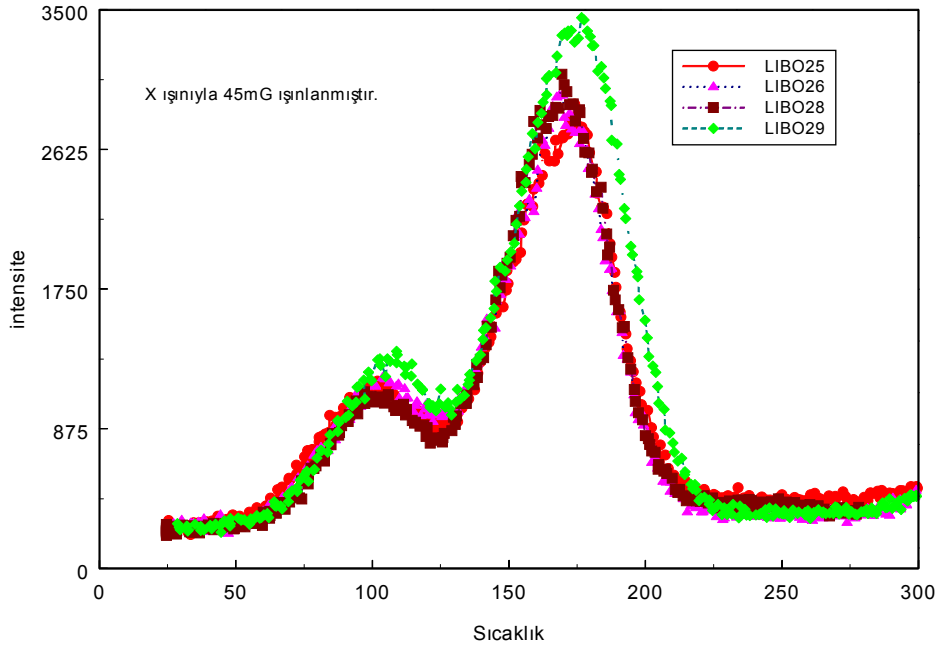
Şekil 5.4 X ışınıyla 30mGy ışınlanan dört numunenin parıldama eğrisi



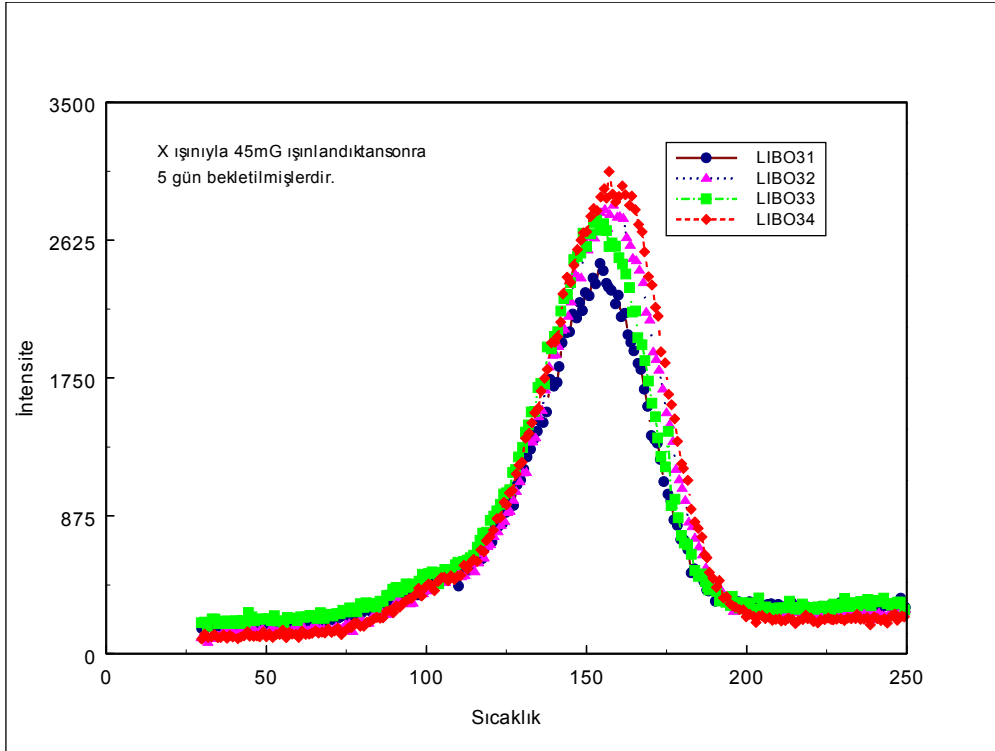
Şekil 5.5 X ışınıyla 30mGy ışınlandıktan sonra yedi gün bekletilen beş numunenin parıldama eğrisi



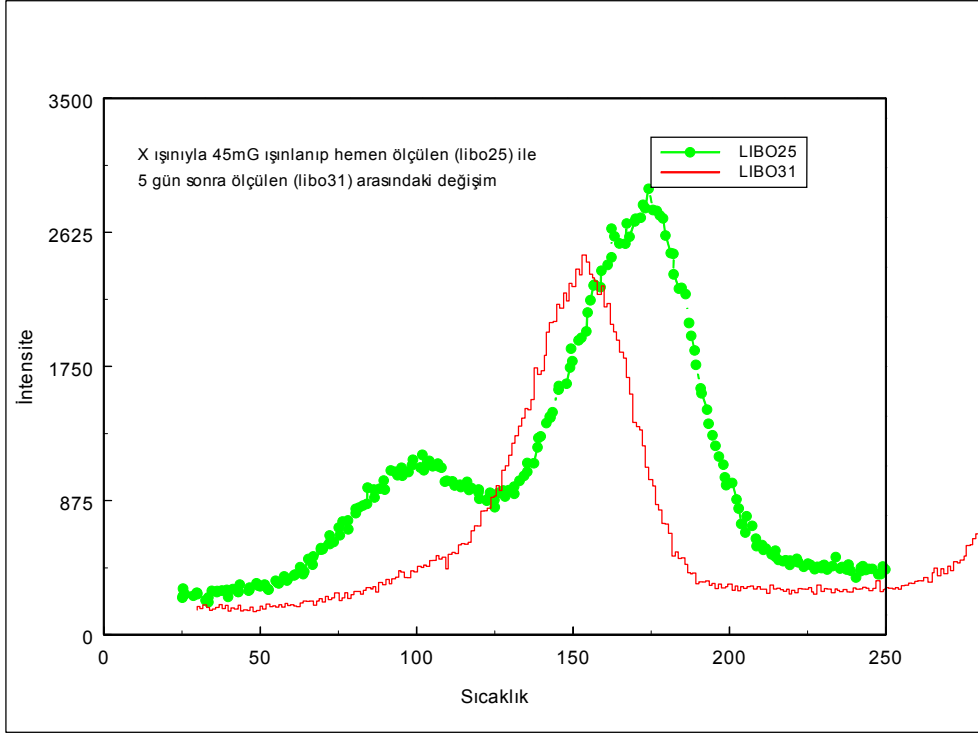
Şekil 5.6 X ışınıyla 30mGy ışınlandıktan sonra hemen ölçülen numune ile bir hafta bekletildikten sonra ölçülen numunenin bir arada parıldama eğrisi.



Şekil 5.7 X ışınıyla 45mGy ışınlanan dört numunenin parıldama eğrisi



Şekil 5.8 X ışınıyla 45mGy ışınlandıktan sonra beş gün bekletilen dört numunenin parıldama eğrisi



Şekil 5.9 X ışınıyla 45mGy ışılandıktan sonra hemen ölçülen numune ile beş gün bekletildikten sonra ölçülen numunenin bir arada parıldama eğrisi.

4.6.SONUÇ VE TARTIŞMA

Termolüminesans sinyali, farklı sıcaklıklarda oluşan ve numunede bulunan elektron tuzakları ile ilişkili olarak belirgin pikler verir ve 'parıldama eğrisi' olarak adlandırılır. Ayrıca örgü yapısındaki hatalardan bu tuzaklar sorumludur. Tipik bir hata negatif bir iyonun yer değiştirmesi ile oluşturulabilir. Bu durumda negatif iyon boşluğu bir elektron tuzağı gibi davranır. Tuzaklanma işlemi bir kez olduğunda, elektron ancak örgünün termal titreşimlerinin artmasıyla serbest bırakılır. Sıcaklığın artmasıyla bu titreşimler daha güçlü bir hal alır ve serbest kalma olasılığı o kadar hızlı artar ki dar sıcaklık aralığı içerisinde tuzaklanmış elektronlar çabucak serbest kalır. Böylece ışıyıcı, bazı elektronların tuzaklanmış boşluklar ile birleşmesine neden olur ve sonuçta da bir ışık yayınlanması yani termolüminesans oluşur. Tuzaklanmış elektronların yaşam süresi tuzağın derinliğine bağlıdır. Düşük sıcaklık tuzakları (sığ tuzaklar) oda sıcaklığında derin tuzaklardan çok daha çabuk bir şekilde boşaltılır. Parıldama eğrisinde görülen sıcaklık pikleri farklı elektron tuzaklarına karşılık gelir. (51)

Hg lambasıyla 5 saniye ışınlama yapıldığında tek pik gözlenmiştir. Fakat ışınlanan numunelerin sıcaklığındaki kaymalar numunenin numune odasına konulurken çok fazla gres sürülerek yüzeye temasının engellenmesinden ve şiddetindeki değişiklikler ise gürültüden kaynaklanmış olabilir. X ışınıyla ışınlanan numunelerde iki pik gözlenmiştir. Yani X ışınıyla ışınlamanın Hg lambasıyla ışınlamaya göre daha etkili olduğu söylenebilir. X ışınıyla ışınlanan numunelerde 30mGy ile ışınlananlarda tavlama yapılmamış 45mGy ışınlanan numunelere tavlama işlemi yapılmıştır. Tavlama işlemi yapılmamış numunelerin piklerinin birbirleriyle daha orantılı olduğu görülmektedir. Çünkü tavlama yapılan numuneler sıfırlanmaktadır. Yani numunede bir önceki ölçümlerden kalabilecek hiçbir kalıntı yoktur. Bu nedenle daha önceden ölçümleri alınmış olan numunelere tavlama yapmak önemlidir. X ışınıyla 30-45 mGy ışınlanan numuneler bir hafta ve beş günlük periyotlarda bekletilmişlerdir. Bunun sonucunda ilk pikin yok olduğu görülmüştür. Numuneler üzerinde bekleme etkisi düşük sıcaklık ve şiddete sahip kararlı olmayan pikin yok olmasını sağlar. Bu özellik TL materyallerinin dozimetre olarak kullanılabilmesinde önemli bir parametredir ki kullandığımız numune kararlı olduğundan personel dozimetre olarak kullanılabilir.

REFERANSLAR

- (1) Daniels, F., Boyd, C.A. and Saunders, D.F., *science* 117, 343 (1953)
- (2) Cameron, J.R., Suntharalingham, N. And Kenney, G.N., *thermoluminescence Dosimetry* (Univ. Of Wisconsin Press) (1968)
- (3) Wiedeman, E. And Schmidt, G.C., *Ann. Phys. Chem. Neue Folge* 54, 604 (1895)
- (4) Boyle, R., *Experiments and Considerations Touching Colours*. Royal Society, 413 (1664)
- (5) Moorhead, F.F. and Daniels, F., *J. Phys. Chem.* 57, 546 (1952)
- (6) Rutherford, E., *Radioactive Substances and Their Radiations* (Cambridge University Press) (1913)
- (7) Lind, S.C. and Bardwell, D.C., *J. Franklin Inst.* 196, 357 (1923)
- (8) Lyman, T., *Phys. Rev.* 48, 149 (1935)
- (9) Kraysnaya, A.R., Nosenko, G.M., Revzin, L.S. and Yasolko, V., *At. Energ.* 10, 630 (1961); quoted in McKinlay, A.F., *Thermoluminescence Dosimetry* (Adam Hilger, Bristol) (1981)
- (10) Schulman, J.H., Kirk, R.D. and West, E.J. In: *Proc. 1st Int. Conf. On Luminescence Dosimetry*, Stanford. P. 113 (1965)
- (11) Binder, W., Disterhoft, S. And Cameron, J.R. In: *Proc. 2nd Int. Conf. On Luminescence Dosimetry*, Gatlinburg. CONF 680920 (NTIS, Springfield, VA) p. 43 (1968)
- (12) Yamashita, T., Nada, N., Onishi, H. And Kitamura, S. In: *Proc. 2nd Int. Conf. On Luminescence Dosimetry*, Gatlinburg. p. 4 (1968)
- (13) Birleşik devletler patentleri 322248, 7.11 (1963) ve 3,320,180 (1967)). (Birleşik Devletler Patenti 4,129,519 (1978))
- (14) Ishii M, Kuwano Y, Asaba S, Asai T, Kawamura M, Senguttuvan N, Hayashi T, Koboyashi M, Nikl M, Hosoya S, Sakai K, Adachi T, Oku T and Shimizu H.M., 2004. Luminescence of doped lithium tetraborate single crystals and glass. *Radiation Measurements*, 38 (4-6), 571-574.
; Kitis, G., Furetta, C., Prokic, M. and Prokic, V., 2000. Kinetic parameters of some tissue equivalent thermoluminescence materials. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 33, 1252-1262.
- (15) Takenaga, M., Yamamoto, O., Yamashita, T., 1980. Preparation and characteristics of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ phosphor. *Nucl. Instr. Meth.* 175, 77-78.; Martini, M., Meinardi, F., Kovacs, L. and Polgar K., 1996. Spectrally resolved thermoluminescence of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ single crystals. *Rad. Prot. Dosim.*, 65 (1-4), 343-346.)
- (20) ICRP Publication 60, *Ann. ICRP* 21 (1-3), 1990. Recommendations of the International Commission. On Radiological Protection, Oxford: Pergamon Press; International Commission on Radiological Protection, 1991.
- (21) S.W.S Miller and P.A. Eschbach, Optimized Readout System for Cooled Optically Stimulated. *Luminescence, Radiation Effects and Defects in Solids*. 119-121, 15-20, 1991.
- (22) R.A. dudley, *Dosimetry with Photographic Emulsions*, in Frank H. Attix and William C. Roesch (eds) *Radiation Dosimetry*, Vol. II. New York: Academic Press, 1996.

- (23) Hamamatsu
- (24) C.Bacci,P.Bernardini,A.Di Domenico,C.furetta and B.Rispoli:Nucl.Instrum.methods A, 286,295(1990)
- (25) Itoh,N. In: Defects in Insulating Crystals, eds V.M. Tunchkevich and K.K. Shvarts (Springer-Verlag,Berlin)p. 343 (1981)
- (26) Rieke, J.K. and Daniels, F., Health Phys. 13. 798 (1954)
- (27) Nakajima, T., Murayama, Y., Matsuzawa, T. And koyano, A., Nucl. Instrum Methods 157,155 (1978)
- (28) Nakajima, T. Murayama Y. And Matsuzawa, T., T., Health Phys, 36,79 (1979)
- (29) Horowitz, A. And Horowitz, Y.S. Radiat. Prot. Dosim. 33,267 (1990)
- (30) Zha.Z.Y.,Wang, S.S., Shen, W.X., Zhu, J.H. and Cai,G.G., Radiat, Prot. Dosim. 47,111 (1993)
- (31) Wu,F.,Zha, Z., Li, J. and Zhu, Z., Radiat. Prot. Dosim. 33,331 (1990)
- (32) McKeever, J., Macintyre, D., Taylor, S.R., McKeveer, S.W.S., Horowitz, A. And Horowitz, Y.S. Radiat. Prot. Dosim. 47,123 (1993)
- (33) Niwa, T., morishima, H., Koga, T., Kawai, H. And Nishiwaki, Y., Radiat. Prot. Dosim. 6.333 (1984)
- (34) Kolotilin, V.V, Hokhrekov, V.I., Tarasova, L.M. and Zakhriapin, S.B., Nucl. Tracks Radiat. Meas.21,169 (1993)
- (35) Horowitz, A. And Horowitz, Y.S., Radiat. Prot. Dosim. 40. 265 (1992)
- (36) Becker, K., Solid State Dosimetry (CRS Press, Boca Raton) (1973)
- (37) Sunta, C.M., Radiat. Prot. Dosim. 8,25 (1984)
- (38) Rao, S.M.D. and Nambi, K.S.V., Bull. Radiat. Prot. 2, 115 (1979)
- (39) McMasters, D.W., Jassemnejad, B. And McKeveer, S.W.S., J. Phys. D: Appl. Phys. 20, 1182 (1987)
- (40) Schulman, J.H., Ginther, R.J., Kirk, R.D. and Garand, H.S., Nucleonics 18, 92 (1960)
- (41) Ginther, R.J. and Kirk, R.D., J. Elektrochem. Soc. 104, 365 (1957)
- (42) Palmer, R.C., Blase, E.F. and Poirier, V., Int. J. Appl. Radiat. Isot. 16.737 (1965)
- (43) Schulman,J. H., Kirk, R. D. And West, E.J. Use of Lithium Borate for Termoluminesence Dosimetry. In: Proc. Int. Conf. On Luminesence Dosimetry, Standford, U.S.A., June 1965.CONF-650637,pp. 113-118 (1967).
- (44) Takenaga, M., Yamamoto, O. Band Yamashita, T. Preparation and Characteristics of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ Phosphor. Nucl. Instrum. Methods 175, 77-78 (1980).
- (45) Kutomi,Y., Tomita, A. And Takeuchi, N. TL and TSEE in Crystallised $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ Glass. Radiat. Prot. Dosim. 17, 499-502 (1986).

- (46) Soramasu, N. And Yasuno, Y. Perfectly Tissue Equivalent TLD phosphor $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu,Pb}$. In: Proc. 9th Int.Congress IRPA-International Congress on Radiation Protection, IRPA 9, Vienna, Austria, April 1996. Vol. 4, 312-314 (1996).
- (47) Martini, M., Meinardi, F., Kovacs, L. And Polgar, K. Spectrally Resolved Thermoluminescence of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$. Single Crystals. Radiat. Prot. Dosim. 47, 239-242 (1993).
- (48) Furetta, C., Prokic, M., Salmon, R. Prokic, V. And Kitis, Dosimetric Characteristic of Tissue Equivalent Thermoluminescent Solid TL Detectors based on Lithium Borate. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 456, 411-417 (2001)
- (49) Prokic, M. Lithium Borate Solid TL Detectors. Radiat. Meas. 33, 393-396 (2001)
- (50) Srivastava, J. K. And Supe, S. J: The Thermoluminescence Characterisation of $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ Doped With Cu. J. Phys. D. Appl. Phys. 22, 1537-1543 (1989).
- (51) Fatma Engeç Fizik Bölümü Bitirme Tezi 2005