

RADYASYON ÖLÇÜM SİSTEMLERİ

Prof. Dr. Turan Olğar

Ankara Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Fizik Mühendisliği Bölümü

Uyarılmış Elektronları Tuzaklayan Sintilatörler

Sintilatörlerin birçok uygulamasında, ışığın bir etkileşmeden sonra anında emisyonu arzu edilir. Bununla birlikte, iyonlaştırıcı radyasyon ile etkileşimlerden sonra elektronların uyarılmış durumlarda hapsediği inorganik sintilatörler vardır. Bu tuzaklanmış elektronlar ısıtılarak veya ışığa maruz bırakılarak serbest bırakılabilir; daha sonra elektronlar taban durumuna ışık yayarak geçer. Yayınlanan ışık PMT yada diğer sensörler tarafından dedekte edilir.

Bu tuzaklanmış elektronlar aslında radyasyon dozu hakkında bilgi depolar. Bu sintilatörler dozimetri veya radyografik görüntüleme için kullanılabilir.

Uyarılmış Elektronları Tuzaklayan Sintilatörler

Termolüminesans Dozimetreler ve Optik Uyarılmış Lüminesans Dozimetreler

Yukarıda bahsedildiği gibi, dozimetri için elektron tuzaklamalı sintilatörler kullanılabilir. Termolüminesans dozimetreler (TLD'ler) durumunda, TLD iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldıktan sonra sinyali okumak için, TLD malzeme örneği ısıtılır, ışık tespit edilir ve PMT tarafından bir elektrik sinyaline dönüştürülür ve sonuçtaki sinyal entegre edilir ve görüntülenir. TLD tarafından yayılan ışık miktarı, TLD'de soğurulan enerji miktarı ile artar. Ancak bu orantılılık, özellikle yüksek dozlarda kaybolabilir. TLD okunduktan sonra tekrar kullanılmak amacıyla, tuzaklardan kurtulamayan elektronları serbest bırakmak için belirli sıcaklık ve sürede fırınlanır.

Uyarılmış Elektronları Tuzaklayan Sintilatörler

Termolüminesans Dozimetreler ve Optik Uyarılmış Lüminesans Dozimetreler

Lityum florür (LiF), en kullanışlı TLD malzemelerinden biridir. Ticari olarak farklı safsızlık atomları içerebilir (Mg ve Ti veya Mg, Cu ve P). Bu safsızlık atomları, dozla yanıt duyarlılığı ve doğrusallığı gibi özelliklerde farklılıklar yaratır. LiF'de, oda sıcaklığında kalma süresi boyunca tuzaklanmış elektronların nerdeyse hepsi tuzaklarda kalır, bu nedenle TLD'nin okunmasına kadar geçen sürede çok az bilgi kaybı olur. LiF'ün etkin atom numarası dokununkine yakındır ve x-ışını ve gama ışını enerjilerinin geniş aralığı boyunca TLD tarafından yayılan ışık miktarı hemen hemen doku dozu ile orantılıdır. Personel dozimetrisi için radyografik film yerine yaygın olarak kullanılır.

Radyografik Film

- Doku eşdeğeri değildir (40 keV'de 300 keV'e göre 20-50 kat daha hassas),
- Enerji bağımlılığının azaltılması için birden fazla filtre kullanılır
- Ucuz ve küçük olması avantajdır
- Her kullanım için ayrı film gerekir
- Geniş ışınlama aralığı vardır
- Farklı tipte radyasyonlara ait bilgi alınması mümkündür
- Okumalar ışınlama hızından bağımsızdır

Ancak:

- Sonuçların enerjiye, sıcaklığa, neme, banyo şartlarına, gelen radyasyon yönüne bağlıdır

Termolüminesans Dozimetreler

Genel Özellikler

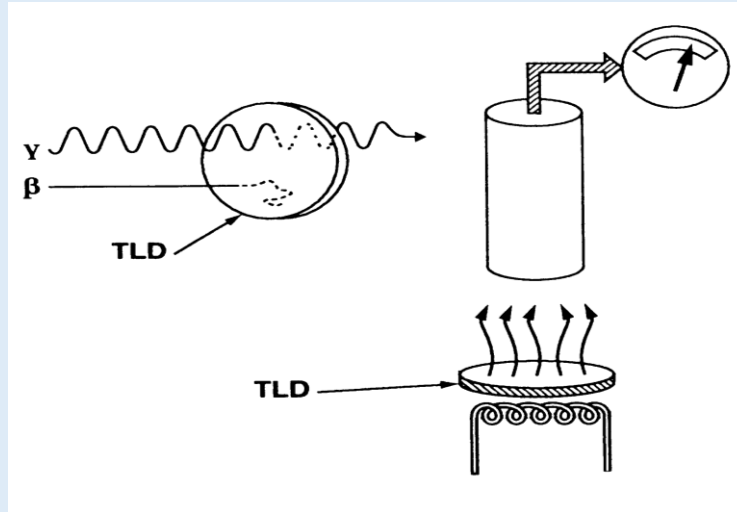
- Soğurulan enerjiyi uzun süre muhafaza edilebilir (zamanla meydana gelen enerji kaybı önemsizdir)
- Yeterli hassasiyet ve geniş bir kullanım aralığı vardır
- Doz hızına bağımlılık yoktur
- Enerjiden yeteri kadar bağımsızdır
- Soğurduğu enerjiyi kayıp olmadan geri verir
- Dozimetre küçüktür ve doku eşdeğeridir
- Tekrar kullanılabilir
- Beta radyasyonunun ölçülebilmesi, ekstremitelerde doz ölçümlerine uygunluğu
- Çevresel şartlar altında uzun süre stabilitesini koruması

Termoluminesans Dozimetreler

Genel Özellikler

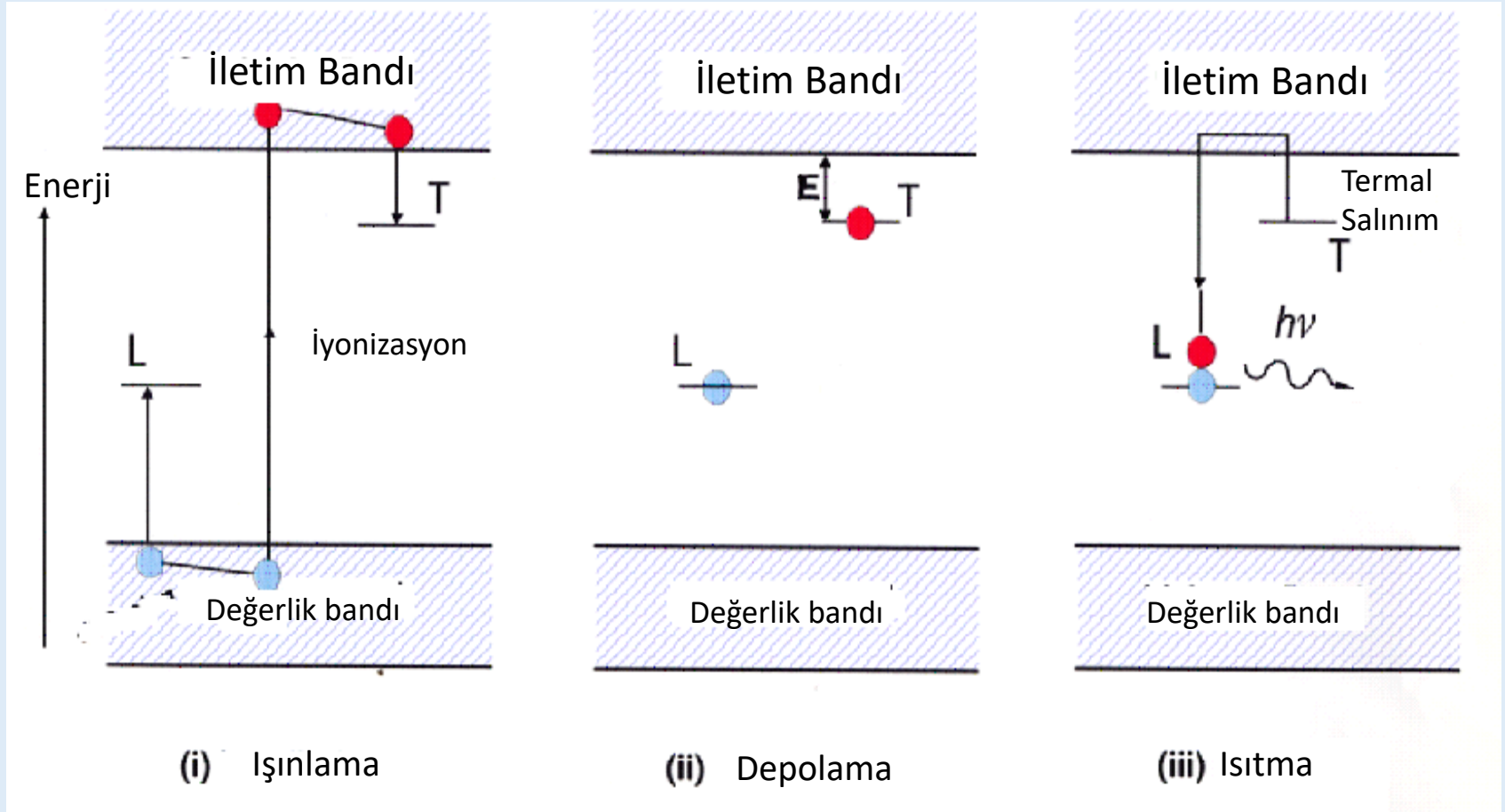
Ancak

- Pahalı olması
- Dozimetrik bilginin ısıtma ile kayıp olması



Termoluminesans Dozimetreler

Termoluminesans Olayı



Termolüminesans Dozimetreler

En Çok Kullanılan Fosforlar

Lif : Doku eşdeğeri, enerji bağımlılığı az.

CaF₂:Mn :Daha hassas, enerjiye bağımlılığı için özel filtreler gerekli, zamanla kaybı ve ışığa hassasiyeti belirgin.

Dozimetrelerde Aranılan Özellikler

- **Doğruluk** : İdeal dozimetrenin okuduğu değerden sapma miktarı minimum olmalıdır
- **Enerji Bağımlılığı** : Mümkün olduğu kadar enerjiden bağımsız olmalı. Doğrusal okumaların elde edileceği enerji aralığı belirtilmelidir
- **Açısal Bağımlılık**: Okumalar gelen radyasyonun yönünden mümkün olduğu kadar bağımsız olmalıdır
- **Diğer tip Radyasyonlara** karşı hassasiyeti olduğu belirtilmelidir

Uyarılmış Elektronları Tuzaklayan Sintilatörler

Fotouyarmalı Fosforlar (Photostimulable Phosphors)

TLD'ler gibi fotouyarmalı fosforlarda (PSP'ler), uyarılmış elektronlar safsızlık merkezlerinde tuzaklanır. PSP plakalar, film ekran kasetleri yerine radyografide görüntü alıcıları olarak kullanılır.

Tuzaklanan elektronlar ısıtma yoluyla serbest bırakılabilmesine rağmen, plakayı taramak ve tuzaklanmış elektronları serbest bırakmak için bir lazer kullanılır. Elektronlar daha sonra taban duruma ışık emisyonu ile geçer. Öropiyum ile aktive edilmiş baryum florohalid ($BaFBr:Eu$), PSP görüntüleme plakaları olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Uyarılma sonucu oluşan ışık emisyonu, PMT'ler tarafından bir elektrik sinyaline dönüştürülür. Plaka lazer ile okunduktan sonra, tekrar kullanılabilmek amacıyla kalan tuzaklanmış elektronları serbest bırakmak için yüksek şiddetli ışığa maruz bırakılır.

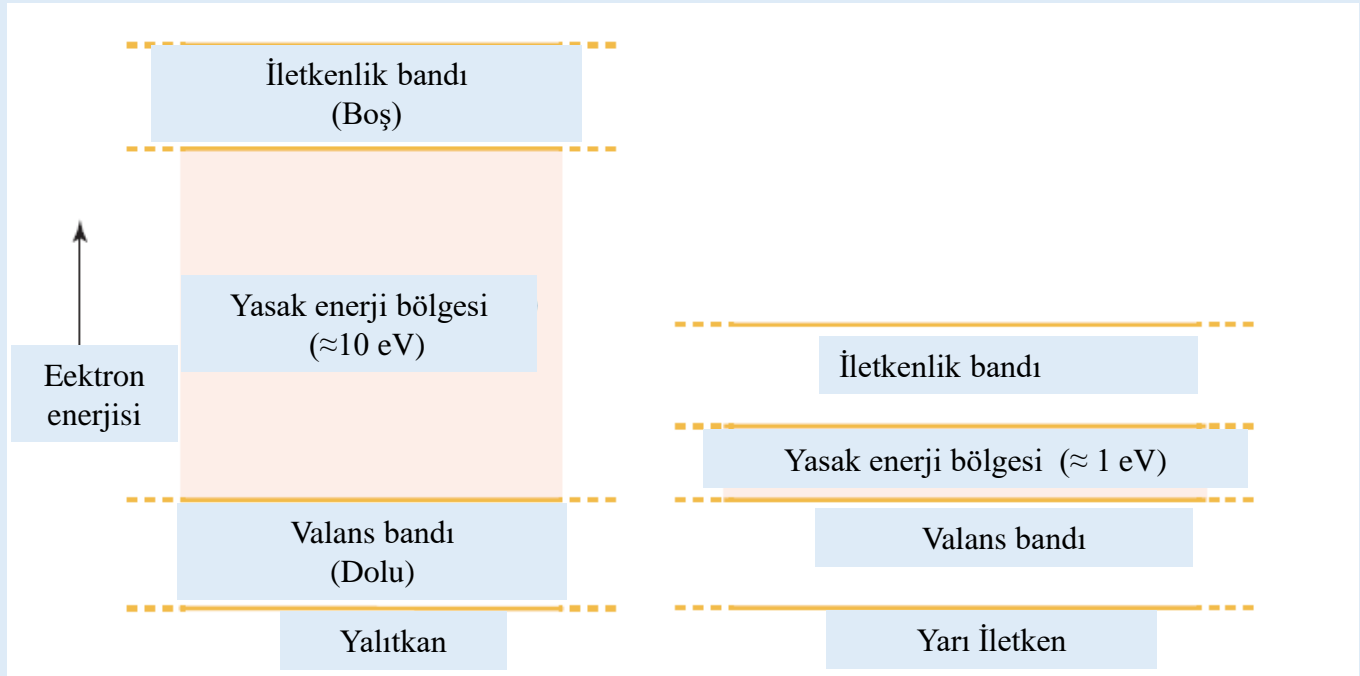
Yarı İletken Dedektörler

Yarı iletkenler, elektriksel iletkenlikleri metallerinkinden daha az, ancak yalıtkan kristallerden daha fazla olan kristalli malzemelerdir. Silikon ve germanyum ortak yarı iletken malzemelerdir.

Kristalli malzemelerde, elektronlar yasaklanmış aralıklarla ayrılmış enerji bantlarında bulunur. Metallerde (örn. Bakır) en az sıkı bağlanmış elektronlar, iletkenlik bandı olarak da bilinen kısmen dolu bandı işgal eder. İletim bandı elektronları mobil ve yüksek elektrik iletkenliği sağlar. Bir yalıtıkanda veya bir yarı iletkende valans elektronları dolu bir valans bandında bulunur. Yarı iletkenlerde, bu değerlik bandı elektronları kovalent bağlara katılırlar ve bu nedenle hareketsizdirler. Bir sonraki yüksek enerji bandında, iletim bandında, elektron yoktur.

Yarı İletken Dedektörler

Ancak, eğer bir elektron iletim bandına yerleştirilirse, metallerdeki üst bant elektronları gibi hareketlidir. Yalıtkanlar ve yarı iletkenler arasındaki fark, değerlik ve iletim bantları arasındaki enerji boşluğunun büyüklüğüdür. Yalıtkanlarda, bant boşluğu 5 eV'tan büyükken, yarı iletkenlerde yaklaşık 1 eV veya daha azdır.



Yarı İletken Dedektörler

Yarı iletkenlerde değerlik bandı elektronları, iletim bandına iyonlaştırıcı radyasyon, görünür ışık veya ultraviyole radyasyon veya termal enerji ile çıkarlar.

İletkenlik bandına bir değerlik bandı elektronu yükseltildiğinde, değerlik bandında boşluk oluşur ve bu boşluğa deşik denir. Deşikte elektron olmadığından, deşikin elektrona eşit fakat pozitif net yüke sahip olduğu söylenir. Başka bir değerlik bandı elektronu deşigi doldurduğunda o elektronun eski yerinde bir deşik oluşturulur. Pozitif yüklü parçacıklar fiziksel olarak malzeme içinde hareket etmemelerine rağmen deşikler değerlik bandında mobil pozitif yükler gibi davranır.

Yarı iletken bir malzemedeki iyonize radyasyon tarafından oluşturulan deşik elektron çiftleri, iyonlaştırıcı radyasyon ile bir gazda oluşan iyon çiftlerine benzer.

Yarı İletken Dedektörler

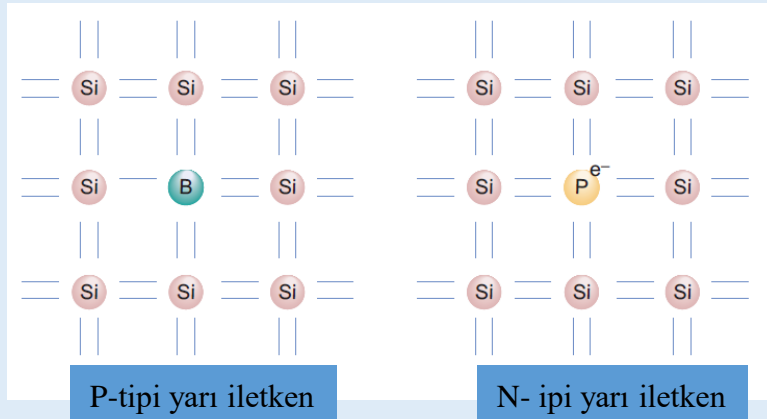
Bir yarı iletken malzemedan bir kristal, radyasyon detektörü olarak kullanılabilir. Bir voltaj kristalin karşı taraflarındaki iki terminal arasına yerleştirilir. İyonize radyasyon dedektör ile etkileşerek, kristal içindeki elektronların uyarılmış seviyeye çıkmasına neden olur ve gaz dolu iyon odalarındakine benzer şekilde bir akım akmasını sağlar. Radyasyona bağlı akım çok büyük olmadıkça, uygulanan voltajın neden olduğu daha büyük bir akım ile maskelenir.

Uygulanan voltajdan kaynaklanan akımın azaltılıp, radyasyondan kaynaklı akımın dedekte edilmesi için kristale safsızlık atomları katılarak bir diyot gibi davranması sağlanır. Safsızlık maddesinin atomları yarı iletken malzemedan daha fazla değerlik elektronlarına sahipse, safsızlık atomları iletim bandında hareketli elektronlar sağlar.

Yarı İletken Dedektörler

Elektron sağlayan safsızlık atomları içeren yarı iletken bir malzemeye n-tipi malzeme denir. N tipi malzeme, iletim bandında hareketli elektronlara sahiptir. Öte yandan, yarı iletken malzemedен daha az değerlik elektronu olan safsızlık atomları, valans bandında elektron kabul edebilen merkezler oluşturur.

Bir değerlik bandı elektronu bu elektron kabul eden merkezi doldurursa, eski yerinde bir boşluk oluşturur. Boşluk oluşturan safsızlık atomları içeren yarı iletken malzemeye p-tipi malzeme denir. P tipi malzeme değerlik bandında mobil boşluklara sahiptir.



P: Fosfor
B: Bor
Si: Silikon

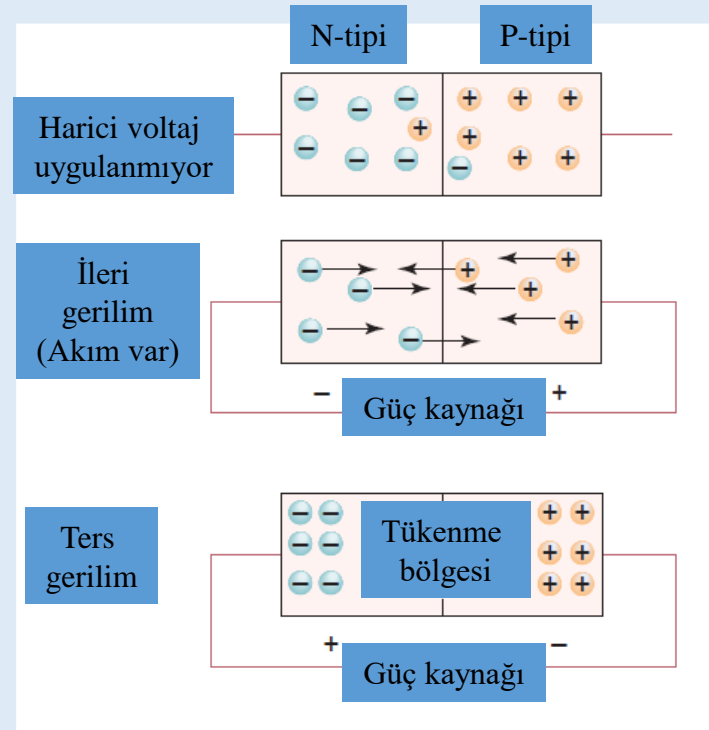
Yarı İletken Dedektörler

Yarı iletken diyot, n-tipi malzemenin p tipi malzeme ile birleştiği bir bölgeye sahip yarı iletken kristal malzemedendir. Harici bir voltaj, diyotun p-tipi tarafında pozitif polarite ve n-tipi tarafında negatif polarite olacak şekilde uygulanırsa, p-tipi malzemedeki boşluklar ve n tipi malzemenin mobil iletim bandı elektronları, kavşak noktasına doğru hareket eder.

Mobil elektronlar boşlukları doldurmak için değerlik bandına düşer. Harici voltajın bu şekilde uygulanması ileri yönlü olarak adlandırılır. İleriye yönlü uygulamada çok az dirençle akan bir akım oluşur. Öte yandan, ters polariteli harici bir voltaj uygulanırsa – Şöyle ki; diyotun p-tipi tarafında negatif polarite ve n tipi tarafta pozitif polarite olacak şekilde — p tipi malzemedeki boşluklar ve n tipi malzemenin iletim bandındaki mobil elektronlar bağlantı noktasından çekilir.

Yarı İletken Dedektörler

Bu polaritedeki harici gerilim uygulamasına ters bias denir. Ters bias yük taşıyıcılarının akımın olmadığı n-p bağlantısının uzağına sürer. Bir diyota ters yönelimli voltaj uygulandığında çok az elektrik akımını akar.



Yarı İletken Dedektörler

Ters yönlü yarı iletken diyot, görünür ışığı ve UV ışını veya iyonlaştırıcı radyasyonu tespit etmek için kullanılabilir. İyonlaştırıcı radyasyon ile üretilen ışık fotonları veya iyonizasyon ve uyarma, diyotun tükenme bölgesindeki düşük enerjili elektronları daha yüksek enerji seviyelerine çıkarır ve boşluk-elektron çiftleri üretir. Etkileşmeden sonra tükenme bölgesindeki elektrik alan, boşlukları (hole) p-tipi tarafa doğru ve iletim bandı elektronlarını n-tipi tarafa doğru sürerek, anlık akım oluşmasını neden olur.

Fotodiyotlar, ışığı elektrik akımına dönüştüren yarı iletken diyotlardır. Daha önce de belirtildiği gibi, sintilatörler ile birlikte BT tarayıcıları dedektörü olarak kullanılırlar. Sintilasyon bazlı ince film transistör radyografi ve floroskopi görüntüleme dedektörlerinin her bir detektör elemanına bir fotodiyot eşlik eder.

Yarı İletken Dedektörler

Yarı iletken dedektörler, iyonize radyasyonun tespiti için tasarlanmış yarı iletken diyotlardır. Bir etkileşme tarafından oluşturulan yük miktarı, dedektörde etkileşimle biriken enerjiyle orantılıdır; bu nedenle yarı iletken dedektörler spektrometredir. Termal enerji de elektronları iletim bandına çıkarabildiğinden, x ve gama ışını spektropisinde kullanılan birçok yarı iletken dedektör tipi sıvı azot ile soğutulmalıdır.

Germanyum yarı iletken dedektörlerin enerji çözünürlüğü, NaI (Tl) sintilasyon detektörlerinininkinden büyük ölçüde üstündür. Sıvı azot soğutmalı germanyum dedektörleri, üstün enerji çözünürlüğü nedeniyle karışık radyonüklid numunelerinde bireysel gama ışını yayan radyonüklitlerin tanımlanmasında yaygın olarak kullanılır

Yarı İletken Dedektörler

Yarı iletken dedektörler, NaI (Tl) ($Z_{\text{iyot}}= 53$, $Z_{\text{germanyum}}= 32$, $Z_{\text{silikon}}=14$) gibi sintilatörlere kıyasla düşük kuantum dedeksiyon etkinliği, yüksek maliyet, sadece sınırlı ebatlarda üretilebilmeleri ve soğutma gerektirmeleri nedeniyle tıbbi görüntüleme cihazlarında nadiren kullanılır.

Oda sıcaklığında çalıştırılabilen ve germanyumdan daha büyük atom numarasına sahip yarı iletken dedektörlerin geliştirilmesi için çaba gösterilmektedir. Bugüne kadar ki en cazip aday kadmiyum çinko telluridtir (CZT). CZT dedektörü kullanan küçük bir görüş alanına sahip nükleer tıp kamerası geliştirilmiştir.

Amorf selenyum ($Z=34$) yarı iletken malzeme tabakası, mamografi sistemleri dahil bazı radyografik görüntü reseptörlerinde kullanılmaktadır.