

ÖZET
FOTOVOLTAİK AYGITLAR

Buluş, genel anlamda fotovoltaik aygıtlarla ilgilidir. Bilhassa, buluş selenyum içeren fotovoltaik aygıtlarla ilgilidir.

İSTEMLER

1. Bir fotovoltaik aygıt olup, şunları içermektedir:
bir katman yığını;
- 5 katman yığını üzerinde konumlandırılmış kadmiyum, tellür ve selenyum içeren bir soğurucu katman ve soğurucu katman üzerinde konumlandırılmış yarı iletken bir katman, ve burada yarı iletken katman ile soğurucu katman arasındaki bir valans bant offseti yaklaşık 1.3 elektron Volttan azdır ve yarı iletken katmanın bir bant aralığı yaklaşık 1.2 elektron Volt ile yaklaşık 3.5 elektron Volt arasındadır.
- 10 2. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği selenyumun bir atom konsantrasyonunun soğurucu katmanın bir kalınlığı boyunca esasen sabit olmasıdır.
3. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği selenyumun bir atom konsantrasyonunun soğurucu katmanın bir kalınlığı boyunca değişkenlik göstermesidir.
4. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği selenyumun bir atom konsantrasyonunun soğurucu katmanın bir kalınlığı boyunca nonlineer olarak değişkenlik göstermesidir.
- 15 5. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği soğurucu katmanın ayrıca sülfür, oksijen, bakır, klor veya bunların kombinasyonlarını içermesidir.
6. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği soğurucu katmanın birinci bir bölge ve
20 ikinci bir bölge içermesi, birinci bölgenin ikinci bölgeye göre katman yığına daha yakın konumlandırılmış olması ve birinci bölgede selenyumun ortalama bir atom konsantrasyonunun ikinci bölgedeki bir ortalama selenyum atom konsantrasyonundan daha fazla olmasıdır.
- 25 7. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği soğurucu katmanın birinci bir bölge ve ikinci bir bölge içermesi, birinci bölgenin ikinci bölgeye göre katman yığına daha yakın konumlandırılmış olması ve birinci bölgede selenyumun ortalama bir atom konsantrasyonunun ikinci bölgedeki bir ortalama selenyum atom konsantrasyonundan daha düşük olmasıdır.
- 30 8. İstem 6'ya göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği ikinci bölgenin kadmiyum tellürü içermesidir.
9. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği yarı iletken katmanın $Cd_xM_{1-x}Te$ içermesidir ve burada "x" 0 ile 1 arası bir sayı, Cd kadmiyum, Te tellürdür ve M de çift değerli bir metal içermektedir.
- 35 10. İstem 9'a göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği x'in 0 olmasıdır.

11. İstem 9'a göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği M'nin manganez, magnezyum, çinko veya bunların kombinasyonlarını içermesidir.
12. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği yarı iletken katmanın çinko tellürid, kadmiyum manganez tellürid veya bunların kombinasyonlarını içermesidir.
- 5 13. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği yarı iletken katmanın p katkılı olmasıdır.
14. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği yarı iletken katmanın esasen yalın olmasıdır.
15. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği yarı iletken katman ile soğurucu katman
10 arasındaki bir valans bant offsetinin yaklaşık 0 elektron Volt ile yaklaşık 0.45 elektron Volt arasında olmasıdır.
16. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği yarı iletken katmanın bir bant aralığının yaklaşık 1.6 elektron Volt ile yaklaşık 2.7 elektron Volt arasında olmasıdır.
- 15 17. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği katman yığınının:
bir destek üzerinde konumlandırılmış saydam iletken bir katman; ve
saydam iletken katman ve soğurucu katman arasında konumlandırılmış bir tampon katman içermesidir.
18. İstem 17'ye göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği katman yığınının ayrıca tampon
20 katman ile soğurucu katman arasında konumlandırılmış bir ara katman içermesidir.
19. İstem 17'ye göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği katman yığınının ayrıca tampon katman ile soğurucu katman arasında konumlandırılmış bir pencere katman içermesidir.
20. İstem 19'a göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği pencere katmanın kadmiyum sülfür, oksijenlenmiş kadmiyum sülfür, çinko sülfür, kadmiyum çinko sülfür, kadmiyum selenid,
25 indiyum selenid, indiyum sülfür veya bunların kombinasyonlarını içermesidir.
21. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, özelliği aygıtın esasen bir kadmiyum sülfür katmanı içermemesidir.
22. İstem 1'e göre fotovoltaik aygıt olup, ayrıca yarı iletken katman üzerinde konumlandırılmış bir arka kontak katmanı içermektedir ve burada arka kontak katmanı bir
30 metal, bakır katkılı element halde tellür, grafit veya bunların kombinasyonlarını içermektedir.
23. Bir fotovoltaik aygıt olup, şunları içermektedir:
bir katman yığını;
katman yığını üzerinde konumlandırılmış $CdSe_zTe_{1-z}$ içeren bir soğurucu katman, burada
35 "z" yaklaşık 0 ile yaklaşık 1 arasında bir sayıdır; ve

direkt olarak soğurucu katman ile temas halinde konumlandırılmış bir yarı iletken katman, ve burada, soğurucu katman ile yarı iletken katman arasındaki bir valans bant offseti yaklaşık 1.3 elektron Volttan azdır ve yarı iletken katmanın bir bant aralığı yaklaşık 1.6 elektron Volt ile yaklaşık 2.7 elektron Volt arasındadır.

5 24. Bir fotovolttaik aygıt olup; bir katman yığını;

bir selenyum konsantrasyonunun soğurucu katmanın bir kalınlığı boyunca değişkenlik gösterdiği, katman yığını üzerinde konumlandırılmış selenyum içeren bir soğurucu katman; ve

10 direkt olarak soğurucu katman ile temas halinde konumlandırılmış bir yarı iletken katman içermektedir ve burada soğurucu katman ile yarı iletken katman arasındaki bir valans bant offseti yaklaşık 0.45 elektron Volttan azdır ve yarı iletken katmanın bir bant aralığı yaklaşık 1.6 elektron Volt ile yaklaşık 2.7 elektron Volt arasındadır.

TARİFNAME

FOTOVOLTAİK AYGITLAR

TEKNİĞİN BİLİNER DURUMU

5 Buluş, genel anlamda fotovoltaik aygıtlarla ilgilidir. Bilhassa, buluş selenyum içeren fotovoltaik aygıtlarla ilgilidir.

10 İnce film güneş gözeleri veya fotovoltaik (PV) aygıtlar tipik olarak, saydam bir alt tabaka üzerinde bulunan çok sayıda yarı iletken katman içermekte olup, bir katman pencere katmanı ve ikinci bir katman da soğurucu bir katman olarak işlev görür. Pencere katmanı, güneş ışınımının, ışık enerjisinin kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürüldüğü soğurucu katmana nüfuz etmesini sağlar. Pencere katmanı ayrıca soğurucu bir katman ile birlikte bir hetero-eklem (p-n eklemi) oluşturma işlevini de görür. Kadmiyum tellürid/kadmiyum sülfür (CdTe/CdS) hetero eklemi-bazlı fotovoltaik gözeler, CdS'nin pencere katmanı olarak işlev gördüğü ince film güneş gözelerine verilebilecek bu tür bir örnektir.

15 Fakat ince film güneş gözeleri düşük dönüştürme verimine sahip olabilir. Bu nedenle, fotovoltaik aygıt alanındaki ana odak noktalarından biri dönüştürme veriminin iyileştirilmesidir. Pencere katmanı tarafından ışığın soğurulması, bir PV aygıttaki dönüştürme verimini sınırlayan olaylardan biri olabilir. Ayrıca, pencere katmanı ile soğurucu katman (örneğin, CdS/CdTe) arasındaki bir örgü uyumsuzluğu, arayüzeyde yüksek kusur yoğunluğuna sebep olup, bu da daha kısa arayüzey taşıyıcı ömrüne sebep olabilir. Bu nedenle, soğurmada kaynaklanan optik kayıpları azaltmaya yardımcı olmak amacıyla pencere katmanını mümkün olduğu kadar ince tutmak tercih edilir. Fakat çoğu ince film PV aygıtta, pencere katmanı çok ince olduğu takdirde düşük açık devre gerilimi (V_{oc}) ve dolun faktörü (FF) sebebiyle performansta bir azalma gözlenebilir. Düşük açık devre gerilimi ve FF, optimize edilmemiş bir arka kontak sebebiyle de oluşabilir. Ek olarak, artmış kısa devre akımına sebep olan bazı iyileştirmeler de açık devre gerilimi üzerinde ters bir etkiye sahip olabilir.

30 Dolayısıyla, iyileştirilmiş ince film fotovoltaik aygıt yapılandırmalarına özellikle de hem açık devre akımını hem de gerilimini aynı anda iyileştiren yapılandırmalara ihtiyaç vardır.

BULUŞUN KISA AÇIKLAMASI

35 Bu ve diğer ihtiyaçları karşılamak üzere mevcut buluşun uygulamalarına yer verilmiştir. Bir uygulama fotovoltaik bir aygıttır. Fotovoltaik aygıt bir katman yığını içerir; ve katman yığınının üzerinde soğurucu bir katman bulunmaktadır. Soğurucu katman kadmiyum, tellür ve selenyum içerir. Soğurucu katman üzerinde ayrıca yarı iletken bir katman bulunmakta

olup, yarı iletken katman ile soğurucu katman arasındaki bir valans bant offseti yaklaşık 1.3 elektron Volttan azdır ve yarı iletken katmanın bir bant aralığı yaklaşık 1.2 elektron Volt ile 3.5 elektron Volt arasındadır.

5 Bir uygulama fotovolttaik bir aygıttır. Bu fotovolttaik aygıt bir katman yığını içerir ve CdSe_zTei_{1-z} barındıran bir soğurucu katman, katman yığınının üzerinde bulunmakta olup, burada "z" yaklaşık 0 ile yaklaşık 1 arasında bir sayıdır. Yarı iletken bir katman direkt olarak soğurucu katman ile temas halinde konumlandırılmış olup, soğurucu katman ile yarı iletken katman arasındaki bir valans bant offseti yaklaşık 1.3 elektron Volttan azdır ve yarı iletken katmanın bir bant aralığı yaklaşık 1.6 elektron Volt ile yaklaşık 2.7 elektron Volt 10 arasındadır.

Bir uygulama fotovolttaik bir aygıttır. Bu fotovolttaik aygıt bir katman yığını içerir ve selenyum içeren bir soğurucu katman, katman yığınının üzerinde bulunmakta olup, selenyum konsantrasyonu soğurucu katmanın bir kalınlığı boyunca değişiklik gösterir. Yarı iletken bir katman direkt olarak soğurucu katman ile temas halinde konumlandırılmış olup, 15 soğurucu katman ile yarı iletken katman arasındaki bir valans bant offseti yaklaşık 0.45 elektron Volttan azdır ve yarı iletken katmanın bir bant aralığı yaklaşık 1.6 elektron Volt ile yaklaşık 2.7 elektron Volt arasındadır.

ŞEKİLLER

20 Mevcut buluşun bu ve diğer özellikleri, yönleri ve avantajları, aşağıdaki detaylı açıklama beraberindeki şekillerle birlikte okunduğu zaman daha iyi anlaşılacak olup:

Şekil 1, buluşun bazı uygulamalarına göre bir fotovolttaik aygıtın şematik bir görüntüsüdür.

Şekil 2, buluşun bazı uygulamalarına göre bir fotovolttaik aygıtın şematik bir görüntüsüdür.

Şekil 3, buluşun bazı uygulamalarına göre bir fotovolttaik aygıtın şematik bir görüntüsüdür.

25 Şekil 4, buluşun bazı uygulamalarına göre bir fotovolttaik aygıtın şematik bir görüntüsüdür.

Şekil 5, buluşun bazı uygulamalarına göre bir fotovolttaik aygıtın şematik bir görüntüsüdür.

Şekil 6, buluşun bazı uygulamalarına göre bir fotovolttaik aygıtın şematik bir görüntüsüdür.

Şekil 7, buluşun bazı uygulamalarına göre bir fotovolttaik aygıtın şematik bir görüntüsüdür.

30 Şekil 8, buluşun bazı uygulamalarına göre bir fotovolttaik aygıt yapma yönteminin bir adımının şematik bir görüntüsüdür.

Şekil 9, buluşun bazı uygulamalarına göre bir fotovolttaik aygıt için hesaplanan iyileşme faktörü karşısında VBO (Valans Bant Offseti) ve E_g kontur grafiğidir.

DETAYLI AÇIKLAMA

Aşağıda detaylı olarak ele alındığı üzere, buluşun bazı uygulamaları selenyum içeren fotovoltaiik aygıtlar barındırmaktadır.

- 5 Buradaki açıklamalar ve istemlerde kullanıldığı gibi yaklaşık anlatım, ilgili olduğu temel işlevde bir değişikliğe yol açmaksızın uygun şekilde değişiklik gösterebilecek herhangi bir sayısal ifadeyi nitelemek için kullanılabilir. Buna göre, "yaklaşık" ve "esasen" gibi bir ifade veya ifadelerle nitelenen bir değer, belirtilen net değerle sınırlı olmayacaktır. Bazı durumlarda yaklaşık anlatım, bir aletin değeri ölçmesindeki hassasiyete karşılık gelebilir.
- 10 Burada ve açıklama ile istemler boyunca, aralık limitleri birleştirilebilir ve/veya yerleri değiştirilebilir; bu tür aralıklar belirlenmiştir ve içerik veya anlatımda aksi belirtilmediği sürece içerisinde kapsanan tüm alt aralıkları içermektedir.

- Aşağıdaki açıklama ve istemlerde bulunan tekil kullanımlar, içerikte açıkça aksi belirtilmediği takdirde çoğul kullanıma da karşılık gelmektedir. Burada kullanılan "veya"
- 15 ifadesi hariç tutma anlamı taşımamakla beraber bahsedilen bileşenlerden (örneğin bir katman) en az birinin mevcut olduğunu ifade etmekte ve içerikte açıkça aksi belirtilmediği takdirde bahsedilen bileşenlerin bir kombinasyonunun bulunduğu durumları da kapsamaktadır.

- Burada kullanıldığı üzere "saydam bölge" ve "saydam katman" ifadeleri, yaklaşık 350 nm
- 20 ile yaklaşık 1000 nm arasında bir dalga boyuna sahip gelen elektromanyetik radyasyonun ortalama olarak %70 oranında geçirilmesine olanak sağlayan bir bölgeyi veya katmanı ifade etmektedir.

- Burada kullanıldığı üzere "katman" ifadesi, bir alt yüzeyin en az bir kısmı üzerinde sürekli veya süreksiz şekilde konumlandırılmış olan bir malzemeye karşılık gelmektedir. Ayrıca
- 25 "katman" ifadesi konumlandırılan malzemenin muhakkak sabit bir kalınlığa sahip olduğu anlamını taşımamakta ve konumlandırılan malzeme sabit veya değişken bir kalınlığa sahip olabilmektedir. Ek olarak "katman" ifadesi burada kullanıldığı üzere, içerikte açıkça aksi belirtilmediği sürece tek bir katman veya çok sayıda alt katman anlamına gelmektedir.

- Burada kullanılan "üzerinde konumlandırılmak" ifadesi, aksi özellikle belirtilmediği sürece direkt olarak birbiriyle temas halinde konumlandırılmış katmanları veya ortalarında ara katmanlar bulunarak dolaylı yoldan birbiriyle temas eden katmanları ifade etmektedir. Burada kullanıldığı üzere "bitişik" ifadesi, iki katmanın dip dibe konumlandırıldığını ve birbirleriyle direkt temas halinde olduğunu belirtmektedir.

- 35 Mevcut açıklamada, bir katman diğer bir katmanın veya alt tabakanın "üzerinde" olarak

ifade edildiğinde katmanların birbiriyle direk temas halinde olabileceği veya katmanlar arasında bir (veya daha fazla) katman veya özellik bulunabileceği anlaşılmalıdır. Ayrıca "üzerinde" ifadesi, katmanların birbirine göre pozisyonunu belirtmekte olup, yukarı veya aşağı bağıl konumu aygıtın gözlemciye göre yönüne bağlı olduğundan mutlaka "üst kısmında" anlamına gelmemektedir. Ek olarak, "üst", "alt", "yukarı", "aşağı" ve bu ifadelerin değişik şekilleri kolaylık için kullanılmakta olup, aksi belirtilmediği takdirde bileşenlerin herhangi bir özel konumlandırmasını gerektirmemektedir.

Aşağıda detaylı olarak ele alındığı üzere, buluşun bazı uygulamaları selenyum içeren bir fotovoltaik aygıtı yöneliktir. Buluşun bazı uygulamalarına göre bir fotovoltaik aygıt (100), Şekil 1-6'da gösterilmektedir. Şekil 1-6'da gösterildiği üzere, fotovoltaik aygıt (100) bir katman yığını (110) ve katman yığını (110) üzerinde konumlandırılan bir soğurucu katman (120) içermektedir. Fotovoltaik aygıt ayrıca, soğurucu katman (120) üzerinde konumlandırılmış bir yarı iletken katman (130) da barındırmaktadır.

"Soğurucu katman" ifadesi burada kullanıldığı üzere, güneş ışınımının soğurulduğu ve sonucunda elektron- boşluk çiftlerinin oluşturulduğu yarı iletken bir katmana karşılık gelmektedir. Bir uygulamada, soğurucu katman (120) p-tipi bir yarı iletken malzeme içermektedir.

Soğurucu katmanı (120) oluşturmak için uygun yarı iletken malzemelere verilebilecek örnekler arasında bunlarla sınırlı olmamak kaydıyla kadmiyum tellürid ($CdTe$), kadmiyum çinko tellürid ($CdZnTe$), kadmiyum magnezyum tellürid ($CdMgTe$), kadmiyum manganez tellürid ($CdMnTe$), kadmiyum sülfür tellürid ($CdSTe$), civa kadmiyum tellürid ($HgCdTe$), veya bunların kombinasyonları bulunur. Teknik alanda uzmanlığa sahip kişiler tarafından bilineceği üzere, soğurucu katman (120) burada açıklandığı gibi ayrıca selenyum içermektedir. Dolayısıyla soğurucu katman (120) ayrıca, yukarıda açıklanan yarı iletken malzemelerden bir veya bir kaçı ile selenyumun bir kombinasyonunu içerebilir, örneğin kadmiyum selenid tellürid, kadmiyum çinko selenid tellürid ve benzerleri. Ayrıca bu malzemeler birden fazla katmanda bulunabilmekte olup, her bir katmanda farklı tipte yarı iletken malzeme bulunur veya bu malzemelerin kombinasyonları farklı katmanlarda bulunur.

Soğurucu katman (120) içerisinde selenyum, element halinde, katkılayıcı olarak, bileşik olarak veya bunların kombinasyonları halinde bulunabilir. Bazı uygulamalarda, selenyumun en az bir kısmı soğurucu katman içerisinde bir bileşik olarak bulunur. "Bileşik" ifadesi burada kullanıldığı üzere, belli oranlarda ve belli örgü konumlarında olan iki veya daha fazla farklı elementin atom veya iyonlarından oluşan makroskopik olarak homojen bir maddeye karşılık gelmektedir. Örneğin, bir kadmiyum selenid tellürid bileşiğinin kristal

yapısında kadmiyum, tellür ve selenyum belli örgü konumlarına sahip olmakla beraber buna karşın, örneğin selenyum katkı kadmiyum tellürid'de selenyum bileşik örgüsünün bir parçası değil de kadmiyum bölgelerine ikameli olarak yerleştirilmiş bir katkılayıcı olabilir.

5 Bazı uygulamalarda, selenyumun en az bir kısmı soğurucu katman (120) içerisinde bir üçlü bileşik, dördü bileşik veya bunların kombinasyonları halinde bulunur. Bazı uygulamalarda, selenyumun en az bir kısmı soğurucu katman (120) içerisinde, $CdSe_zTe_{1-z}$ formülüne sahip bir bileşik halinde bulunabilir ve burada "z" 0'dan büyük ve 1'den küçük bir sayıdır. Bazı uygulamalarda, "z" yaklaşık 0.01 ile yaklaşık 0.99 arasında bir sayıdır. Daha sonra dikkat çekildiği üzere, bazı durumlarda "z" değeri soğurucu katman 10 (120) kalınlığı boyunca değişkenlik gösterir.

Soğurucu katman (120) ayrıca mevcut selenyum miktarıyla da karakterize edilebilir. Bazı uygulamalarda, soğurucu katman (120) içerisindeki selenyumun ortalama bir atom konsantrasyonu soğurucu katmanın (120) yaklaşık 0.001 atom yüzdesi ile yaklaşık 40 atom yüzdesi arasındadır. Bazı uygulamalarda, soğurucu katman (120) içerisindeki 15 selenyumun ortalama bir atom konsantrasyonu soğurucu katmanın (120) yaklaşık 0.01 atom yüzdesi ile yaklaşık 25 atom yüzdesi arasındadır. Bazı uygulamalarda, soğurucu katman (120) içerisindeki selenyumun ortalama bir atom konsantrasyonu soğurucu katmanın (120) yaklaşık 0.1 atom yüzdesi ile yaklaşık 20 atom yüzdesi arasındadır.

20 Bazı uygulamalarda, soğurucu katmanın (120) en az bir kısmı ayrıca sülfür, oksijen, bakır, klor, kurşun, çinko, civa veya bunların kombinasyonlarını içerebilir. Bazı uygulamalarda, soğurucu katman (120) yukarıda bahsedilen malzemelerden bir veya daha fazlasını içerebilmekte olup, malzemenin miktarı soğurucu katmanın (120) bir kalınlığı boyunca değişkenlik gösterir. Bazı uygulamalarda, yukarıda bahsedilen malzemelerden bir veya 25 daha fazlası soğurucu katman içerisinde bir katkılayıcı olarak bulunabilir. Belli uygulamalarda, soğurucu katman (120) ayrıca bir bakır katkılayıcı içermektedir. Bazı uygulamalarda, soğurucu katman (120) ayrıca sülfür içerebilir. Bu tür durumlarda selenyumun en az bir kısmı soğurucu katman (120) içerisinde, kadmiyum, tellür, sülfür ve selenyum içeren dördü bir bileşik halinde mevcuttur.

30 Bazı uygulamalarda, selenyumun bir atom konsantrasyonu, soğurucu katmanın bir kalınlığı boyunca esasen sabittir. "Esasen sabit" ifadesi bu bağlamda kullanıldığı üzere, soğurucu katmanın (120) bir kalınlığı boyunca selenyumun atom konsantrasyonundaki bir değişimin yaklaşık yüzde 5'ten az olduğu anlamına gelmektedir. Bu bağlamda kullanıldığı üzere "atom konsantrasyonu" ifadesi, soğurucu katmanın birim hacmine düşen selenyum atomlarının ortalama sayısını ifade etmektedir. "Atom konsantrasyonu" ve 35 "konsantrasyon" ifadeleri burada birbirinin yerine kullanılmaktadır.

Bazı uygulamalarda selenyumun bir atom konsantrasyonu, soğurucu katmanın (120) bir kalınlığı boyunca değişkenlik gösterir. Bu değişkenlik lineer olabilir veya olmayabilir. Bazı uygulamalarda selenyumun bir atom konsantrasyonu, soğurucu katmanın (120) bir kalınlığı boyunca lineer olmayacak şekilde değişkenlik gösterir. "Kalınlığı boyunca lineer olmayacak şekilde değişiklik göstermek" ifadesi burada kullanıldığı üzere, konsantrasyonun kendisindeki değişme hızının soğurucu katman (120) kalınlığı boyunca değişkenlik gösterdiği anlamını taşır.

Burada kullanıldığı üzere "lineer gradyan" ifadesi, örneğin ön kontak olan mesafe gibi bir boyutlu parametreye göre ölçüldüğünde hem sürekli hem de sabit olan, belirli bir özelliğin birinci türevini belirtmektedir. Örneğin, ön kontak biraz uzaklaşınca aniden farklı bir konsantrasyona geçen, ön kontakta sabit selenyum (Se) konsantrasyonuna sahip bir aşamalı dağılım; birinci türevin Se konsantrasyonunun bir değerden diğerine geçtiği noktada süreksiz olmasından dolayı lineer değildir. Birinci türevin değeri uzaklığın bir fonksiyonu olarak sürekli değiştiğinden dolayı, eksponansiyel (üstel) değişen bir dağılım da lineer olmayan dağılıma diğer bir örnektir. Belli bir dağılımın lineerliği, ölçülen değerlerin logaritmasına karşı boyutlu parametrenin logaritmasının grafiği çizilerek halihazırda belirlenebilir. Lineer bir gradyan, veriler bu şekilde grafiğe aktarıldığında bir birim eğimle bir doğruya fit edilebileceği anlamına gelir. Üst-lineer bir dağılımın eğimi birden fazla olacaktır ve alt-lineer bir dağılım ise 1'den küçük bir eğime sahip olacaktır.

Gerçek bir malzemenin bir malzeme özelliğinin birinci türevinin ölçülmesi; gerçek malzemelerin atomik doğası birinci türevde lokal süreksizliklere yol açabileceğinden, malzeme özelliğinin belirli bir boyut ve uzunluk aralığında ortalamasının alınmasını gerektirir. Buluşun bazı uygulamalarına göre söz konusu lineer olmayan dağılımlar, ön kontakta arka kontakta giden eksende bulunur ve bu eksen z-ekseni veya z-boyutu olarak adlandırılacaktır. Bu nedenle, bir özelliğin dağılımının z ekseninde boyunca nonlineerliğinin ölçülmesi için, ölçüm üzerinde tane sınırlarının ve diğer lokal homojensizliklerin etkisini en aza indirmek amacıyla ölçülen özelliklerin birbirine dik x ve y eksenleri üzerinden ortalamasının alınması elverişli olabilir.

Ortalama penceresi için bir alt limit, gerçek bir malzeme içerisindeki bir yük taşıyıcının tipik "büyüklüğünü" ayarlayan, malzemenin polaron yarıçapıyla belirlenir:

$$r_p = \sqrt{\frac{h}{4\pi + n_0}}$$

burada h Planck sabiti, m yük taşıyıcının etkin kütlesi ve w da tipik olarak bir optik fonon olan örgüye özgü titreşiminin en yüksek açısız frekansıdır. Kadmiyum tellürid'de (CdTe), elektronun etkin kütlesi yaklaşık $0.1 m_e$ olup, burada m_e elektronun boşluktaki kütlesidir ve fonon açısız frekansı yaklaşık 2.1×10^{13} 'tür. Böylelikle, hesaplanan polaron yarıçapı yaklaşık 5 nm ve hesaplanan polaron çapı da yaklaşık 10nm'dir. Prototipik Gauss veya eksponansiyel dalga fonksiyonları kendi nominal karakteristik büyüklüklerinin yaklaşık 2-3 katı kadar belirgin genliğe sahip olduğundan dolayı, CdTe bazlı malzemedeki yük taşıyıcının "büyüklüğü" tahmini olarak yaklaşık 30 nm'dir. Bir CdTe tipi malzemedeki tipik bir yük taşıyıcı, herhangi bir belli zamanda 30 nm çaplı bir küreyi örnekleyecek olup, davranışı büyük ölçüde bu küre içerisindeki ortalama fiziksel özellikleriyle belirlenecektir. Bu nedenle, buluşun bazı uygulamalarına uygun olarak fotovoltaik gözelerin performansıyla ilgili nonlineerlik derecesini belirlemek için, belli bir özelliğin veya bileşimin dağılımındaki nonlineerlikleri gidermek yaklaşık 30 nm bir uzunluk altında gerekli olmayabilir. Gereken ortalama almanın bir üst limiti, dağılımın lineerliği belirlenebilecek şekilde z eksenini boyunca yeterli sayıda, örneğin 3 nokta örnekleme ihtiyacıyla belirlenir.

Bazı uygulamalarda, selenyum konsantrasyonunda soğurucu katman (120) kalınlığı boyunca bir kademe değişimi görülür. Böyle durumlarda, selenyum konsantrasyonu kalınlığın bir bölümü boyunca esasen sabit kalabilir. Bu bağlamda kullanılan "esasen sabit" ifadesi, konsantrasyondaki değişimin, kalınlığın bu bölümü boyunca yüzde 5'ten az olduğunu belirtmektedir.

Bazı uygulamalarda selenyumun konsantrasyonu, soğurucu katmanın (120) kalınlığı boyunca sürekli değişkenlik gösterir. Ayrıca bu durumlarda, selenyum konsantrasyonundaki değişim monoton olabilir veya olmayabilir. Belli uygulamalarda, selenyum konsantrasyonu soğurucu katmanın kalınlığı boyunca monoton olmayacak şekilde değişkenlik gösterir. Bazı durumlarda konsantrasyonun kendisindeki değişim hızı, örneğin kalınlığın bazı bölgelerinde artarak ve diğer bölgelerinde azalarak kalınlık boyunca değişkenlik gösterebilir. Uygun bir selenyum profili herhangi bir yüksek dereceli nonlineer profil barındırabilir. Sınırlayıcı olmayacak şekilde, uygun selenyum profillerine verilebilecek örnekler arasında bir eksponansiyel profil, şapka (top-hat) profil, kademe-değişim (step-change) profili, kare dalga profili, power law (güç yasası) profili (üs 1'den büyük veya küçük) veya bunların kombinasyonları bulunur. Teknik alanda uzmanlığa sahip kişiler tarafından bilineceği üzere, selenyum konsantrasyonu profili proses aşamalarından sonra da değişkenlik gösterebilir ve nihai aygıt burada bahsedilen profillerin yaygın bir halini içerebilir.

Bazı uygulamalarda, selenyum konsantrasyonu, soğurucu katman (120) kalınlığı boyunca

katman yığınınından (110) uzağa doğru azalır. Bazı uygulamalarda, selenyum konsantrasyonu, soğurucu katman (120) kalınlığı boyunca katman yığınınından (110) uzağa doğru monoton olarak azalır. Bazı uygulamalarda selenyum konsantrasyonu soğurucu katmanın (120) belli bir kısmı boyunca sürekli azalır ve soğurucu katman (120) kalınlığının diğer kısmında da esasen sabittir.

Bazı uygulamalarda soğurucu katman (120), ön arayüzey (katman yığınınına (110) daha yakın olan arayüzey) yakınında arka arayüzeye (yarı iletken katmana (130) daha yakın arayüzey) göre daha düşük selenyum konsantrasyonuna sahip olacak şekilde değişken bir selenyum konsantrasyonu içerir. Bazı uygulamalarda soğurucu katman (120), ön arayüzey (katman yığınınına (110) daha yakın olan arayüzey) yakınında arka arayüzeye (yarı iletken katmana (130) daha yakın arayüzey) göre daha yüksek selenyum konsantrasyonuna sahip olacak şekilde değişken bir selenyum konsantrasyonu içerir.

Bazı uygulamalarda soğurucu katmandaki (120) bant aralığı soğurucu katmanın (120) bir kalınlığı boyunca değişkenlik gösterebilir. Bazı uygulamalarda selenyum konsantrasyonu, ön arayüzey yakınındaki bant aralığı arka arayüzey yakınındaki bant aralığından daha düşük olacak şekilde soğurucu katman (120) kalınlığı boyunca değişkenlik gösterebilir.

Herhangi bir teoriye bağlı kalmadan, arka arayüzeye göre ön arayüzey yakınında daha yüksek selenyum konsantrasyonu bulunmasının, ayrıca gelen ışınımın daha yüksek bir bölümünün soğurucu katmanda (120) soğurulmasını sağladığına inanılmaktadır. Ek olarak, selenyum tane sınırlarının ve arayüzeylerin pasivasyonunu iyileştirebilir ve bu da uzun bulk ömrü ve düşük yüzey yeniden birleşiminden (recombination) görülecektir. Ayrıca ön arayüzey yakınındaki düşük bant aralıklı malzeme, foton tutulması yoluyla verimi arttırabilir.

Bazı uygulamalarda, Şekil 2'de gösterildiği gibi soğurucu katman (120) birinci bir bölge (122) ve ikinci bir bölge (124) içermektedir. Şekil 2'de gösterildiği üzere, birinci bölge (122) ikinci bölgeye (124) göre katman yığınınına (110) daha yakın konumlandırılmıştır. Bazı uygulamalarda birinci bölgede (122) selenyumun ortalama bir atom konsantrasyonu ikinci bölgedeki (124) bir ortalama selenyum atom konsantrasyonundan daha fazladır.

Bazı uygulamalarda, birinci bölgedeki (122), ikinci bölgedeki (124) veya her iki bölgedeki selenyum konsantrasyonu ilgili bölgelerin kalınlığı boyunca da değişkenlik gösterebilir. Bazı uygulamalarda, birinci bölgedeki (122), ikinci bölgedeki (124) veya her iki bölgedeki selenyum konsantrasyonu ilgili bölgelerin kalınlığı boyunca sürekli olarak değişkenlik gösterebilir. Daha önce bahsedildiği üzere, bazı durumlarda konsantrasyondaki değişme hızının hızı da, örneğin bazı kısımlarda azalır diğer kısımlarda artarak, birinci bölge (122),

ikinci bölge (124) veya her iki bölge içerisinde farklılık gösterebilir.

Bazı uygulamalarda, birinci bölgedeki (122), ikinci bölgedeki (124) veya her iki bölgedeki selenyum konsantrasyonu ilgili bölgelerin kalınlığı boyunca esasen sabit olabilir. Bazı diğer uygulamalarda, selenyum konsantrasyonu en azından birinci bölgenin (122), ikinci bölgenin (124) veya her iki bölgenin bir kısmında esasen sabit olabilir. "Esasen sabit" ifadesi bu bağlamda kullanıldığı üzere, konsantrasyondaki değişimin, bu kısım veya bölge boyunca yüzde 5'ten az olduğunu ifade etmektedir.

Soğurucu katman (120) ayrıca ikinci bölgeye göre (124) birinci bölgede (122) mevcut olan selenyum konsantrasyonu ile da karakterize olabilir. Bazı uygulamalarda, birinci bölgedeki (122) ortalama selenyum atom konsantrasyonunun ikinci bölgedeki (124) ortalama selenyum atom konsantrasyonuna olan bir oranı yaklaşık 2'den yüksektir. Bazı uygulamalarda, birinci bölgedeki (122) ortalama selenyum atom konsantrasyonunun ikinci bölgedeki (124) ortalama selenyum atom konsantrasyonuna olan bir oranı yaklaşık 5'ten yüksektir. Bazı uygulamalarda, birinci bölgedeki (122) ortalama selenyum atom konsantrasyonunun ikinci bölgedeki (124) ortalama selenyum atom konsantrasyonuna olan bir oranı yaklaşık 10'dan yüksektir.

Birinci bölge (122) ve ikinci bölge (124) ayrıca kalınlıklarıyla da karakterize olabilir. Bazı uygulamalarda, birinci bölge (122) yaklaşık 1 nanometre ile yaklaşık 5000 nanometre arasında bir kalınlığa sahiptir. Bazı uygulamalarda, birinci bölge (122) yaklaşık 100 nanometre ile yaklaşık 3000 nanometre arasında bir kalınlığa sahiptir. Bazı uygulamalarda, birinci bölge (122) yaklaşık 200 nanometre ile yaklaşık 1000 nanometre arasında bir kalınlığa sahiptir. Bazı uygulamalarda, ikinci bölge (124) yaklaşık 1 nanometre ile yaklaşık 5000 nanometre arasında bir kalınlığa sahiptir. Bazı uygulamalarda, ikinci bölge (124) yaklaşık 100 nanometre ile yaklaşık 3000 nanometre arasında bir kalınlığa sahiptir. Bazı uygulamalarda, ikinci bölge (124) yaklaşık 1000 nanometre ile yaklaşık 3000 nanometre arasında bir kalınlığa sahiptir.

Tekrar Şekil 2'ye bakılacak olursa, bazı uygulamalarda birinci bölge (122) ikinci bölgenin (124) bir bant aralığından daha düşük bir bant aralığına sahiptir. Böyle durumlarda, ikinci bölgeye (124) göre birinci bölgedeki (122) selenyum konsantrasyonu, birinci bölgenin (122) bant aralığı ikinci bölgenin (124) bant aralığından daha düşük olacak şekilde bir aralık içerisinde bulunabilir.

Belli uygulamalarda, ikinci bölgede (124) esasen selenyum bulunmamaktadır. "Esasen bulunmamak" ifadesi bu bağlamda kullanıldığı üzere, ikinci bölgedeki (124) selenyum atom konsantrasyonunun yüzde 1'den az olduğunu belirtmektedir. Belli uygulamalarda,

ikinci bölgede (124) hiç selenyum bulunmamaktadır. Belli uygulamalarda, ikinci bölge (124) kadmiyum tellürid içerir.

5 Onceden bahsedildiği gibi, soğurucu katman (120) üzerinde yarı iletken bir katman (30) konumlandırılmıştır. Bazı uygulamalarda yarı iletken katman (130), soğurucu katman (120) ile arka kontak katmanı (140) arasında konumlandırılmıştır. Bazı uygulamalarda, yarı iletken katman (130) ile soğurucu katman (120) arasına bir arayüzey katmanı (örneğin 10 nanometreden ince) (gösterilmiyor) konumlandırılabilir. Arayüzey katmanı iki katman arasındaki basit bir geçiş katmanı olabilir veya elektriksel, kimyasal veya optik arayüzey kalitesini arttıran diğer atomlar içerebilir. Belli uygulamalarda yarı iletken katman (130), 10 Şekil 1-6'da gösterildiği gibi soğurucu katmanla (120) direkt temas içerisinde olarak konumlandırılmıştır.

15 Yarı iletken katman (130) ile soğurucu katman (120) arasındaki bir valans bant offseti yaklaşık 1.3 elektron Volttan azdır ve yarı iletken katmanın (130) bir bant aralığı yaklaşık 1.2 elektron Volt ile yaklaşık 3.5 elektron Volt arasındadır. Bazı uygulamalarda, yarı iletken katman ile soğurucu katman arasındaki bir valans bant offseti yaklaşık -0.1 elektron Volt ile yaklaşık 1.3 elektron Volt arasındadır. Bazı uygulamalarda, yarı iletken katman ile soğurucu katman arasındaki bir valans bant offseti yaklaşık 0 elektron Volt ile yaklaşık 0.45 elektron Volt arasındadır.

20 Soğurucu katman (120) ile yarı iletken katman (130) arasındaki "valans bant offseti" ifadesi veya "VBO" aşağıdaki formülle tanımlanır:

$$VBO = E_{v_abs} - E_a - E_g$$

burada E_{v_abs} : yarı iletken katman (130) malzemesine bitişik soğurucu katmanın (120) valans bant enerji seviyesi, E_a : elektron afinitesi ve E_g : yarı iletken katman (130) malzemesinin bant aralığıdır.

25 Valans bant offseti deneysel olarak, soğurucu katman (120) malzemesinin ve yarı iletken katman (130) malzemesinin fotoelektron spektroskopisi (örneğin ultraviyole fotoelektron spektroskopisi (UPS) veya x- ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS)) kullanılarak ölçülebilir. Bir malzemenin bant aralığı, örneğin UV-Vis-IR absorpsiyon (soğurma) veya refleksiyon spektroskopisi veya fotoluminesans gibi optik spektroskopiler kullanılarak 30 ölçülebilir. Ek olarak, sıcaklığa bağlı kapasitans-frekans ölçümleri üretilen aygıtlarda kullanılarak, kapasitans deneyiyle ölçüldüğü gibi gözlemlenen arka kontak bariyerinden VBO çıkarımı yapılabilir.

Bazı uygulamalarda, yarı iletken katmanın (130) bir bant aralığı 1.2 elektron Volt ile 3.5

elektron Volt arasındadır. Bazı uygulamalarda, yarı iletken katmanın (130) bir bant aralığı 1.6 elektron Volt ile 2.7 elektron Volt arasındadır.

Herhangi bir teoriye bağlı kalmadan, yarı iletken katmanın (130) valans bandı soğurucu katmanın (120) valans bandına yakın olduğunda, yarı iletken katman (130) içerisine çok az bariyerden deliğe transfer bulunduğu inanılır. Ayrıca, elektronlar soğurucu katmandan (120) yarı iletken katmana (130) hareket ederken bir enerji bariyeriyle karşılaşacak şekilde, yarı iletken katmanın (130) iletim bandı enerji seviyesinde soğurucu katmaninkine (120) göre bir offsete sahip olması tercih edilebilir. Böylece, yarı iletken katman (130) bir elektron bariyeri gibi işlev görebilmekte olup, burada kullanılan "yarı iletken katman" ve "elektron bariyer katmanı" ifadeleri birbirinin yerine kullanılabilir.

Bir iletim bandı offseti, özellikle soğurucu katman nispeten ince (<3 mikron) olduğunda, arka kontakta elektronların istenmeyen yeniden birleşimini en aza indirgeyebilir veya engelleyebilir. Arka kontaktaki yeniden birleşimin azalması, belli bir ışık şiddetinde oluşturulan gerilimin artmasına sebep olmakta ve bu da daha yüksek aygıt verimine yol açmaktadır.

Ayrıca, herhangi bir teoriye bağlı kalmaksızın selenyum içeren bir soğurucu katmanla elektron dokunma yüzeyinin bir kombinasyonunun hem akım hem de gerilim artması yoluyla daha verimli bir aygıt sağladığına inanılmaktadır. Selenyum, etkin soğurucu bant aralığını azaltarak daha yüksek akım sağlar. Fakat tipik olarak bunun bedeli, artan karanlık akım sebebiyle çalışma geriliminin azalmasıdır. Elektron dokunma yüzeyinin eklenmesi bu etkiyi hafifletir ve dolayısıyla düşük bant aralıklı malzemenin verim hedefine daha iyi yaklaşması sağlanır.

Yarı iletken katman (130) bazı uygulamalarda yaklaşık 1 nanometre ile yaklaşık 3000 nanometre arasında bir kalınlığa ve bazı diğer uygulamalarda yaklaşık 1 nanometre ile yaklaşık 500 nanometre arası bir kalınlığa sahiptir.

Uygun bir yarı iletken katman (130) $Cd_xM_{1-x}Te$ formülüne sahip bir yarı iletken malzeme içerebilmekte olup, burada "x" 0 ile 1 arası bir sayı, Cd kadmiyum, Te tellürdür ve M de çift değerli bir metal içermektedir. Belli uygulamalarda M: manganez, magnezyum, çinko veya bunların kombinasyonlarını içerir. Bazı uygulamalarda, yarı iletken katman (130), $Cd_xMn_{1-x}Te$, $Cd_xZn_{1-x}Te$, $Cd_xMg_{1-x}Te$ veya bunların kombinasyonlarını içermektedir. Belli uygulamalarda x 0'dır ve yarı iletken katman, örneğin çinko tellürid gibi MTe formülüne sahip bir malzeme içermektedir. Yarı iletken katman (130) için sınırlayıcı olmayan uygun örnekler arasında çinko tellürid, kadmiyum manganez tellürid veya bunların kombinasyonları bulunur.

Yarı iletken katman (130) bazı uygulamalarda esasen yalın olabilir veya alternatif olarak p katkı olabilir. "Esasen yalın" ifadesi burada kullanıldığı üzere, santimetre küp (cc) başına yaklaşık 10^{13} 'den az taşıyıcı konsantrasyonu düşen bir malzemeye karşılık gelmektedir. Teknik alanda uzmanlığa sahip kişiler tarafından bilineceği üzere, bu aralıkta taşıyıcı konsantrasyonları hem aktif olarak katılanmış malzemelerde hem de aktif olarak katkılayıcı verilmeden oluşturulmuş malzemelerde elde edilebilir. Bu tür durumlarda, arka kontak katmanı (140), örneğin bakır katkılı tellür katmanı gibi boşluk ekstraksiyonunu kolaylaştırmaya uygun bir malzeme barındırabilir.

"p katkı" ifadesi burada kullanıldığı üzere, santimetre küp (cc) başına yaklaşık 1×10^{13} ile santimetre küp başına (cc) yaklaşık 1×10^{16} arasında taşıyıcı konsantrasyonuna sahip bir malzemeye karşılık gelir. Yarı iletken katmanın (130) p katkı olduğu uygulamalarda, yarı iletken katman (130) örneğin bakır, azot, fosfor, antimon, arsenik, sodyum veya bunların kombinasyonları gibi uygun bir p tipi katkılayıcı içerebilir. Bu durumlarda, yarı iletken katmanın kendisi bir boşluk ekstraksiyon katmanı gibi işlev görebilir ve arka kontak katmanı (140) bir metal, grafit veya bunların kombinasyonlarını içerebilir.

Bahsedildiği üzere, soğurucu katman (120) bir fotovoltaik aygıtın (100) bir bileşenidir. Bazı uygulamalarda fotovoltaik aygıt (100), katmanların "superstrate (üst katman)" yapıda olduğu bir yapılandırma içerebilir. Şekil 3-6'ya bakıldığında, bu tür uygulamalarda katman yığını (110) ayrıca bir destek (111) içermekte olup, bu destek (111) üzerinde saydam bir iletken oksit katmanı (112) (teknikte bazen ön kontak katmanı olarak adlandırılır) konumlandırılmıştır. Şekil 3-6'da da gösterildiği üzere, bu tür uygulamalarda güneş ışınımı (10) destekten (111) girer ve saydam iletken oksit katmanından (112), tampon katmandan (113) ve isteğe bağlı ara katmanlardan (örneğin ara katman (114) ve pencere katmanı (115)) geçtikten sonra soğurucu katmana (120) giriş yapar. Gelen ışığın (örneğin güneş ışığı) elektromanyetik enerjisinin elektron-boşluk çiftlerine (yani serbest elektrik yüküne) dönüştürülmesi öncelikle soğurucu katman (120) içerisinde gerçekleşir.

Bazı uygulamalarda destek (111), destek (111) üzerinden iletimin tercih edildiği dalga boyları aralığında saydamdır. Bir uygulamada destek (111), yaklaşık 400 nm ile yaklaşık 1000 nm aralığında bir dalga boyuna sahip görünür ışığa saydam olabilir. Bazı uygulamalarda destek (111), örneğin silika veya borosilikat camı gibi yaklaşık 600°C'den yüksek sıcaklıklarda ısı işleme dayanabilen bir malzeme içermektedir. Bazı diğer uygulamalarda destek (111), örneğin soda-kireç camı veya poliimid gibi yaklaşık 600°C'den düşük bir yumuşama sıcaklığına sahip bir malzeme içermektedir. Bazı uygulamalarda, örneğin bir yansıma önleyici katman veya bariyer katmanı (gösterilmiyor) gibi bir takım diğer katmanlar, saydam iletken oksit katmanı (112) ile destek (111) arasında

konumlandırılmış olabilir.

"Saydam iletken oksit katmanı" ifadesi burada kullanıldığı üzere, bir ön akım kolektörü olarak işlev görebilecek esasen saydam bir katmana karşılık gelmektedir. Bazı uygulamalarda, saydam iletken oksit katmanı (112), saydam iletken bir oksit (TCO) 5 içermektedir. Saydam iletken oksitlere verilebilecek sınırlayıcı olmayan örnekler arasında kadmiyum kalay oksit (Cd_2SnO_4 veya CTO); indiyum kalay oksit (ITO); flor- katkılı kalay oksit ($SnO:F$ veya FTO); indiyum katkılı kadmiyum-oksit; alüminyum katkılı çinko-oksit ($ZnO:Al$ veya AZO), indiyum-çinko oksit (IZO), ve çinko kalay oksit ($ZnSnO_x$) gibi katkılı çinko oksit (ZnO) veya bunların kombinasyonları bulunur. Kullanılan spesifik TCO ve onun 10 yüzey direncine bağlı olarak, bir uygulamada saydam iletken oksit katmanının (112) kalınlığı yaklaşık 50 nm ile yaklaşık 600 nm arasında olabilir.

Burada kullanıldığı üzere "tampon katman" ifadesi, saydam iletken oksit katmanı (112) ile soğurucu katman (120) arasında konumlandırılmış bir katmana karşılık gelmekte olup; burada katman (113), saydam iletken oksit katmanının (112) yüzey direncinden daha 15 büyük bir yüzey direncine sahiptir. Tampon katman (113) teknikte bazen "yüksek öz dirençli saydam iletken oksit katmanı" veya "HRT katmanı" olarak da adlandırılır.

Tampon katman (113) için sınırlayıcı olmayacak şekilde verilebilecek örnekler arasında kalay dioksit (SnO_2), çinko kalay oksit (çinko-stanat (ZTO)), çinko katkılı kalay oksit 20 ($SnO_2:Zn$), çinko oksit (ZnO), indiyum oksit (In_2O_3) veya bunların kombinasyonları bulunur. Bazı uygulamalarda tampon katmanın (113) kalınlığı yaklaşık 50 nm ile yaklaşık 200 nm arasındadır.

Bazı uygulamalarda, Şekil 4-6'da gösterildiği gibi, katman yığını (110) ayrıca tampon katman (113) ile soğurucu katman (120) arasında konumlandırılmış bir ara katman (114) 25 içerebilir. Ara katman bir metal türü içerebilir. Metal türünün sınırlayıcı olmayan örnekleri arasında magnezyum, gadolinyum, alüminyum, berilyum, kalsiyum, baryum, stronsiyum, skandiyum, itriyum, hafniyum, seryum, lütesyum, lantan veya bunların kombinasyonları bulunur. "Metal türü" ifadesi bu bağlamda kullanıldığı üzere, metal elementi, metal iyonları veya bunların kombinasyonlarını ifade etmektedir. Bazı uygulamalarda, ara katman (114), 30 çok sayıda metal türü içerebilir. Bazı uygulamalarda, metal türünün en az bir kısmı ara katmanda (114) element haldeki metal, bir metal alaşımı, bir metal bileşimi veya bunların kombinasyonları şeklinde bulunur. Bazı uygulamalarda ara katman (114) magnezyum, gadolinyum veya bunların kombinasyonlarını içerir.

Bazı uygulamalarda, ara katman (114), (i) magnezyum ve bir metal türü barındıran bir 35 bileşik içermekte olup bu metal türü kalay, indiyum, titanyum veya bunların

kombinasyonları olabilir veya (ii) magnezyum barındıran bir metal alaşımı veya (iii) magnezyum florür ya da bunların kombinasyonlarını içermektedir. Belli uygulamalarda, ara katman magnezyum, kalay ve oksijen barındıran bir bileşik içerir. Belli uygulamalarda, ara katman magnezyum, çinko, kalay ve oksijen barındıran bir bileşik içerir.

- 5 Bazı uygulamalarda fotovoltaiik aygıtta (100) esasen bir kadmiyum sülfür katmanı bulunmaz. "Esasen kadmiyum sülfür katmanı bulunmaz" ifadesi burada kullanıldığı üzere, alttaki katman (örneğin ara katman veya tampon katmanı) üzerindeki (varsa) kadmiyum sülfür katmanının kaplama yüzdesinin yüzde 20'den az olduğu anlamını taşımaktadır. Bazı uygulamalarda, kaplama yüzdesi yaklaşık yüzde 0 ile yaklaşık yüzde 10 arasındadır. Bazı uygulamalarda, kaplama yüzdesi yaklaşık yüzde 0 ile yaklaşık yüzde 5 arasındadır. Bazı uygulamalarda fotovoltaiik aygıtta esasen kadmiyum sülfür katmanı bulunmaz.

- 15 Teknik alanda uzmanlığa sahip kişiler tarafından bilineceği üzere, soğurucu katman (120) içerisindeki selenyum konsantrasyonu değiştirilerek soğurucu katmanın (120) belli bir bölgesi n-tipi ve soğurucu katmanın (120) diğer bölgesi de p-tipi yapılabilir. Belli uygulamalarda soğurucu katman (120) bir "p-n" eklemi barındırmaktadır. "p-n" eklemi, soğurucu katmanın (120) farklı bant aralıklarına sahip çok sayıda bölgesi arasında oluşturulabilir. Herhangi bir teoriye bağlı kalmaksızın, selenyum konsantrasyonundaki değişikliğin soğurucu katman (120) içerisinde bir p-n eklemine olanak sağlayabileceğine veya soğurucu katman ile alttaki TCO katmanı arasında bir eklem oluşturulmasına olanak sağlayabileceğine inanılmaktadır.

- 25 Şekil 3 ve 4'te gösterildiği üzere, belli uygulamalarda soğurucu katman (120) direkt olarak katman yığınıyla (110) temas içerisinde konumlandırılmıştır. Fakat, daha önceden belirtildiği gibi, bazı uygulamalarda fotovoltaiik aygıt (100) katman yığını (110) ile soğurucu katman (120) arasında konumlandırılmış süreksiz bir kadmiyum sülfür katmanı barındırabilir (uygulama gösterilmiyor). Bu tür durumlarda, alttaki katman (örneğin ara katman (114) veya tampon katman (113)) üzerindeki CdS katmanı tarafından kaplanan alan yaklaşık yüzde 20'den azdır. Ayrıca, soğurucu katmanın (120) en az bir kısmı kadmiyum sülfür katmanının süreksiz bölümleri üzerinden katman yığınıyla (110) temas edebilir.

- 30 Bazı uygulamalarda, fotovoltaiik aygıt ayrıca bir pencere katmanı (CdS gibi bir malzeme içeren) barındırabilir. Bazı uygulamalarda, soğurucu katman (120) alttaki tampon katmanı ile veya pencere katmanı ile bir p-n eklemi oluşturabilir. Şekil 5 ve 6'ya bakılacak olursa, bazı uygulamalarda katman yığını (110) ayrıca ara katman (114) ile soğurucu katman (120) arasında konumlandırılmış bir pencere katmanı (115) içerebilir. "Pencere katmanı" ifadesi burada kullanıldığı üzere, esasen saydam olan ve soğurucu bir katmanla

(120) bir hetero eklem oluşturan yarı iletken bir katman anlamına gelmektedir. Pencere katmanı (115) için verilebilecek örnekler arasında sınırlayıcı olmamak kaydıyla kadmiyum sülfür (CdS), indiyum III sülfür (In₂S₃), çinko sülfür (ZnS), çinko tellürid (ZnTe), çinko selenid (ZnSe), kadmiyum selenid (CdSe), oksijenlenmiş kadmiyum sülfür (CdS:O), bakır oksit (Cu₂O), çinko oksihidrat (ZnO:H) veya bunların kombinasyonları bulunur. Bazı uygulamalarda pencere katmanı (115) kadmiyum sülfür (CdS) içerir. Bazı uygulamalarda pencere katmanı (115) oksijenlenmiş kadmiyum sülfür (CdS:O) içerir.

Bazı uygulamalarda soğurucu katman (120), pencere katmanı (115) veya her iki katman da oksijen içerebilir. Herhangi bir teoriye bağlı kalmaksızın, pencere katmanına (115) (örneğin CdS katmanı) oksijen verilmesinin iyileştirilmiş aygıt performansına yol açabileceğine inanılmaktadır. Bazı uygulamalarda oksijen miktarı yaklaşık 20 atom yüzdesinden azdır. Bazı durumlarda oksijen miktarı yaklaşık 1 atom yüzdesi ile yaklaşık 10 atom yüzdesi arasındadır. Bazı durumlarda, örneğin soğurucu katman (120) içerisinde oksijen miktarı yaklaşık 1 atom yüzdesinden azdır. Ayrıca, soğurucu katman (120) içerisindeki oksijen konsantrasyonu esasen sabit veya ilgili katmanın kalınlığı boyunca kompozisyona bağlı olarak kademeli olabilir.

Fotovoltaik aygıt (100) önceden detaylı olarak bahsedildiği üzere ayrıca bir yarı iletken katman (130) içerir. Bazı uygulamalarda fotovoltaik aygıt (100), Şekil 3-6'da gösterildiği gibi ayrıca bir arka kontak katmanı (140) içerir. Bazı uygulamalarda arka kontak katmanı bir metal, bakır katkılı element halde tellür, grafit veya bunların kombinasyonlarını içerir. Belli uygulamalarda, arka kontak katmanı (140) altın, platin, molibden, tungsten, tantal, titanyum, paladyum, alüminyum, krom, nikel, gümüş, bakır katkılı element halde tellür, grafit veya bunların kombinasyonlarını içerir. Arka kontak katmanı (140), birlikte arka kontak olarak işlev gören çok sayıda katman barındırabilir.

Bazı uygulamalarda, örneğin alüminyum gibi başka bir metal katmanı (gösterilmiyor), dış devreye yanal iletim sağlamak üzere arka kontak katmanı (140) üzerinde konumlandırılabilir. Belli uygulamalarda, örneğin alüminyum ve krom gibi çok sayıda metal katman (gösterilmiyor), dış devreye yanal iletim sağlamak amacıyla arka kontak katmanı (140) üzerinde konumlandırılabilir. Belli uygulamalarda, arka kontak katmanı (140), yukarıda açıklanan metaller gibi bir veya daha fazla metal katmanının ardından gelen, soğurucu katman (120) üzerinde biriktirilmiş grafit gibi bir karbon katmanı içerebilir.

Tekrar Şekil 6'ya bakılacak olursa, belirtildiği gibi soğurucu katman (120) ayrıca birinci bir bölge (122) ve ikinci bir bölge (124) içerir. Şekil 6'da da gösterildiği gibi, birinci bölge (122) ikinci bölgeye (124) göre katman yığına (110) daha yakın konumlandırılmıştır. Bazı uygulamalarda, birinci bölge (122) pencere katmanı (115) ile direkt temas halinde

konumlandırılmıştır. Bazı uygulamalarda, birinci bölge (122) tampon katmanıyla (113) direkt temas halinde konumlandırılmıştır (uygulama gösterilmiyor). Ayrıca daha önceden bahsedildiği gibi, birinci bölgede (122) selenyumun ortalama bir atom konsantrasyonu ikinci bölgedeki (124) bir ortalama selenyum atom konsantrasyonundan daha fazladır.

5 Bazı uygulamalarda birinci bölgede (122) selenyumun ortalama bir atom konsantrasyonu ikinci bölgedeki (124) bir ortalama selenyum atom konsantrasyonundan daha düşüktür.

Şekil 7'de gösterildiği gibi alternatif uygulamalarda, bir "substrate (alt tabaka)" yapılandırması barındıran bir fotovoltaik aygıt (200) ortaya konmaktadır. Fotovoltaik aygıt (200) bir katman yığını (210) ve katman yığını üzerinde konumlandırılmış bir soğurucu katman (220) içermektedir. Katman yığını (210), Şekil 7'de gösterildiği gibi soğurucu katman üzerinde konumlandırılmış bir saydam iletken oksit katmanı (212) içermektedir. Soğurucu katman (220) ayrıca, alt tabaka (250) üzerinde konumlandırılan arka kontak katmanı (240) üzerinde konumlandırılmış yarı iletken katman (230) ile direkt temas halinde konumlandırılmıştır. Şekil 7'de gösterildiği gibi, bu tür uygulamalarda güneş ışınımı (10) saydam iletken oksit katmanından (212) girer ve gelen ışığın (örneğin güneş ışığı) elektromanyetik enerjisinin elektron-boşluk çiftlerine (yani serbest elektrik yüküne) dönüştürüldüğü soğurucu katmana (220) giriş yapar.

Bazı uygulamalarda Şekil 7'de gösterilen katmanların kompozisyonu, örneğin alt tabaka (240), saydam iletken oksit katmanı (212), soğurucu katman (220), yarı iletken katman (230) ve arka kontak katmanı (240), yukarıda açıklanan Şekil 5'teki "superstrate" yapılandırma ile aynı kompozisyona sahip olabilir.

Bir fotovoltaik aygıt yapmak için bir yöntem de ortaya konmaktadır. Bazı uygulamalarda, yine Şekil 1-6'ya referans verilerek, yöntem genellikle soğurucu katmanın (120) selenyum içerdiği bir durumda bir katman yığını (110) üzerinde bir soğurucu katman (120) sağlanmasını barındırır. Yöntem ayrıca soğurucu katmanla (120) direkt temas halinde olan bir yarı iletken katman (130) konumlandırılmasını içermektedir.

Bazı uygulamalarda, Şekil 2'de gösterildiği üzere, bir soğurucu katman (120) sağlama aşaması soğurucu katman (120) içerisinde birinci bir bölge (122) ve ikinci bir bölge (124) oluşturulmasını içermekte olup, birinci bölge (122) ikinci bölgeye (124) göre katman yığınının (110) daha yakın konumlandırılmıştır.

Soğurucu katman (120), herhangi bir uygun teknik kullanılarak katman yığını (110) üzerinde sağlanabilir. Bazı uygulamalarda, bir soğurucu katman (120) sağlama aşaması, yarı iletken bir malzemenin bir selenyum kaynağıyla temas ettirilmesini barındırmaktadır. "Temas ettirme" veya "temas eden" ifadeleri burada kullanıldığı üzere, yarı iletken

malzemenin en az bir kısmının örneğin gaz, sıvı veya katı haldeki uygun bir selenyum kaynağıyla direkt fiziksel temas içerisinde olduğunu belirtmektedir. Bazı uygulamalarda, soğurucu katmanın bir yüzeyi, örneğin bir yüzey işlemi kullanılarak uygun selenyum kaynağıyla temas ettirilebilir. Bazı diğer uygulamalarda, yarı iletken malzeme, örneğin

5 birlikte süblimleşme (co-sublimation) prosesi kullanılarak uygun bir selenyum kaynağıyla temas edebilir.

Bazı uygulamalarda, yarı iletken malzeme kadmiyum ve tellür içerir. Uygun bir yarı iletken malzemeye verilebilecek örnekler arasında bunlarla sınırlı olmamak kaydıyla kadmiyum tellürid (CdTe), kadmiyum çinko tellürid (CdZnTe), kadmiyum magnezyum tellürid

10 (CdMgTe), kadmiyum manganez tellürid (CdMnTe), kadmiyum sülfür tellürid (CdSTe), cıva kadmiyum tellürid (HgCdTe), veya bunların kombinasyonları bulunur. Bazı uygulamalarda, yarı iletken malzeme kadmiyum tellürid (CdTe) barındırır.

"Selenyum kaynağı" ifadesi burada kullanıldığı üzere, selenyum içeren herhangi bir malzemeye karşılık gelir. Uygun bir selenyum kaynağına verilebilecek sınırlayıcı olmayan

15 örnekler arasında element halde selenyum, kadmiyum selenid, örneğin kadmiyum selenit (CdSeO₃) gibi kadmiyum selenid oksitleri, hidrojen selenid, organik-metalik selenyum veya bunların kombinasyonları bulunur.

Yarı iletken malzemenin selenyum kaynağıyla temas ettirilen kısmı, temas ettirme aşaması esnasındaki selenyum kaynağının fiziksel haline kısmen bağlı olabilir. Bazı

20 uygulamalarda selenyum kaynağı bir katı (örneğin bir katman, toz veya pelet), çözelti, süspansiyon, macun, buhar veya bunların kombinasyonları halindedir. Bu nedenle, örnek mahiyetinde, bazı uygulamalarda örneğin selenyum kaynağı bir çözelti halinde olabilir ve yöntem yarı iletken malzemenin en az bir kısmını çözeltiliye batırmayı içerebilir.

Bazı uygulamalarda, selenyum kaynağı bir buhar halinde olabilir ve yöntem uygun bir

25 buhar biriktirme tekniği kullanılarak selenyum kaynağının biriktirilmesini kapsayabilir. Bazı uygulamalarda örneğin, soğurucu katman (120) bir selenyum kaynağının (örneğin selenyum buharı) varlığında ısı işleminden geçirilerek soğurucu katmanın (120) en azından bir kısmına selenyum sokulabilir.

Bazı uygulamalarda, örneğin selenyum kaynağı bir katman halinde olabilir ve yöntem yarı

30 iletken malzeme üzerinde bir selenyum kaynağı katmanının biriktirilmesini veya alternatif olarak yarı iletken malzemenin selenyum kaynağının bir katmanı üzerinde biriktirilmesini içerebilir. Bu tür bazı uygulamalarda, yöntem ayrıca yarı iletken malzeme içerisine selenyum sokmak amacıyla yarı iletken malzemenin bir veya daha fazla post-proses adımına maruz bırakılmasını içerebilir.

35 Şekil 8'e bakılacak olursa, bazı uygulamalarda bir soğurucu katman sağlama aşaması: (a)

katman yığını (110) üzerine bir selenyum kaynağı katmanı (125) konumlandırılmasını; (b) selenyum kaynağı katmanının (125) üzerine bir soğurucu katman (120) konumlandırılmasını ve (c) soğurucu katmanın (120) en az bir kısmı içerisine selenyum sokulmasını barındırmaktadır. (b) ve (c) adımlarının arka arkaya veya aynı anda gerçekleştirilebileceğine dikkat edilmelidir.

5

Bazı uygulamalarda, selenyum kaynağı (125), örneğin saçtırma (sputtering), süblimleşme, buharlaşma veya kombinasyonları gibi herhangi bir uygun biriktirme tekniği kullanılarak katman yığını (110) üzerinde konumlandırılabilir. Biriktirme tekniği, kısmen selenyum kaynağı malzemenin bir veya daha fazlasına, selenyum kaynak katmanı (125) kalınlığına ve katman yığını (110) kompozisyonuna bağlı olabilir. Belli uygulamalarda, selenyum kaynak katmanı (125) element halde selenyum içerebilir ve selenyum kaynak katmanı (125) buharlaşma yoluyla oluşturulabilir. Belli uygulamalarda, selenyum kaynak katmanı (125) kadmiyum selenid içerebilir ve selenyum kaynak katmanı (125) saçtırma, buharlaşma veya süblimleşme yoluyla oluşturulabilir.

10

15 Selenyum kaynak katmanı, tek bir selenyum kaynak katmanı veya çok sayıda selenyum kaynak katmanı barındırabilir. Selenyum kaynağı çok sayıda kaynak katmanında aynı veya farklı olabilir. Bazı uygulamalarda, selenyum kaynak katmanı örneğin element halde selenyum katman yığını ve bir kadmiyum selenid katmanı ya da tam tersi gibi çok sayıda selenyum kaynak katmanı içerebilir.

20

Selenyum kaynak katmanı (125) yaklaşık 1 nanometre ile yaklaşık 1000 nanometre arasında bir kalınlığa sahip olabilir. Bazı uygulamalarda, selenyum kaynak katmanı (125) yaklaşık 10 nanometre ile yaklaşık 500 nanometre arasında bir kalınlığa sahiptir. Bazı uygulamalarda, selenyum kaynak katmanı (125) yaklaşık 15 nanometre ile yaklaşık 250 nanometre arasında bir kalınlığa sahiptir.

25

Bahsedildiği üzere, yöntem ayrıca selenyum kaynak katmanı (125) üzerinde bir soğurucu katman (120) konumlandırılmasını içermektedir. Bazı uygulamalarda, soğurucu katman (120) örneğin yakın mesafeden buharlaştırma (CSS), buhar taşımalı biriktirme (VTD), iyon destekli fiziksel buhar biriktirme (IAPVD), radyo frekans veya darbeli magnetron saçtırma (RFS veya PMS), kimyasal buhar biriktirme (CVD), plazma destekli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) veya elektrokimyasal biriktirme (ECD) gibi uygun bir yöntem kullanılarak biriktirilebilir.

30

Yöntem ayrıca soğurucu katmanın (120) en az bir kısmına selenyum sokulmasını da barındırır. Bazı uygulamalarda, selenyumun en az bir kısmı, soğurucu katmanın (120) konumlandırılması aşamasıyla aynı anda soğurucu katmana (120) verilir. Bazı

uygulamalarda, selenyumun en az bir kısmı, soğurucu katmanın (120) konumlandırılması aşamasından sonra, örneğin kadmiyum klorür işlem aşaması, yarı iletken katman (130) oluşturma aşaması, arka kontak (140) oluşturma aşaması veya bunların kombinasyonları esnasında verilebilir.

5 Bazı uygulamalarda, bir soğurucu katman (120) sağlama aşaması, bir selenyum kaynağı malzemesini ve bir yarı iletken malzemeyi birlikte biriktirmeyi (co-deposition) barındırır. Birlikte biriktirmeye verilebilecek sınırlayıcı olmayan uygun örnekler arasında, birlikte saçtırma, birlikte buharlaştırma (örneğin, yakın mesafeden buharlaştırma) veya bunların kombinasyonları yer alır. Bu tür bir durumda sınırlayıcı olmayan uygun selenyum kaynağı malzemeye verilebilecek örnekler arasında element halde selenyum, kadmiyum selenid, hidrojen selenid, kadmiyum tellürid selenid veya bunların kombinasyonları yer alır. Bu nedenle, örnek mahiyetinde bazı uygulamalarda, bir soğurucu katman (120); bir selenyum kaynağının (örneğin selenyum içeren buhar veya hidrojen selenid buharı) varlığında yarı iletken malzeme biriktirilerek sağlanabilir.

15 Bazı uygulamalarda, soğurucu katman (120), tek bir hedeften (örneğin kadmiyum selenid tellürid hedef) saçtırma yapılarak veya çok sayıda hedeften (örneğin kadmiyum tellürid ve kadmiyum selenid hedefler) saçtırma yapılarak sağlanabilir. Teknik alanda uzmanlığa sahip kişiler tarafından bilineceği üzere, soğurucu katmandaki (120) selenyum konsantrasyonu, bir veya her iki hedefin kompozisyonunu ve saçtırma şartlarını kontrol ederek değiştirilebilir.

20 Önceden bahsedildiği üzere, fotovoltik aygıt (100) ve katman yığını (110) ayrıca örneğin, Şekil 3-6'da gösterildiği gibi bir destek (111), saydam bir iletken oksit katmanı (112), bir tampon katmanı (113), bir ara katman (114), yarı iletken katman (130) ve bir arka kontak katmanı (140) gibi bir veya daha fazla ek katman içerebilir.

Teknik alanda uzmanlığa sahip kişiler tarafından bilineceği üzere, üç katmanın konumlandırılması veya tüm aygıtın konumlandırılmasının sıralaması, istenen bir yapılandırmaya, örneğin aygıtın "substrate" veya "superstrate" yapılandırmasına bağlı olabilir.

30 Bazı uygulamalarda, "superstrate" yapıya sahip bir fotovoltik (100) yapımı için bir yöntem açıklanmıştır. Şekil 3-6'ya bakılacak olursa, bazı uygulamalarda yöntem ayrıca bir destek (111) üzerine saydam iletken oksit katmanını (112) konumlandırmayı içermektedir. Saydam iletken oksit katmanı (112), örneğin saçtırma, kimyasal buhar biriktirme, döndürerek kaplama, püskürtme kaplama veya daldırmayla kaplama gibi uygun herhangi bir teknikle destek (111) üzerine konumlandırılmıştır. Şekil 3-6'ya tekrar bakılacak olursa,

bazı uygulamalarda bir tampon katmanı (113) saydam iletken oksit katmanı (112) üzerine saçırtma kullanılarak biriktirilebilir. Yöntem ayrıca Şekil 4'te gösterildiği gibi, bir katman yığını (110) oluşturmak için tampon katman (113) üzerinde bir ara katman (114) konumlandırılmasını içerebilir.

- 5 Yöntem ayrıca Şekil 5 ve 6'da gösterildiği üzere, bir katman yığını (110) oluşturmak için bir ara katman (114) üzerinde bir pencere katmanı (115) konumlandırılmasını içerebilir. Pencere katmanı (115) için sınırlayıcı olmayan biriktirme yöntemleri arasında yakın mesafeden buharlaştırma (CSS), buhar taşımalı biriktirme (VTD), saçırtma (örneğin doğru akım darbeli saçırtma (DCP), elektrokimyasal biriktirme (ECD) ve kimyasal banyo
- 10 biriktirme (CBD) yöntemlerinden biri veya daha fazlası bulunur.

Yöntem ayrıca daha önce detaylı olarak anlatıldığı gibi, katman yığını (110) üzerinde bir soğurucu katman (120) sağlanmasını barındırır. Bazı uygulamalarda, soğurucu katmanın (120) açık olan yüzeyine ayrıca bir dizi postforming işlemi uygulanabilir. Bu işlemler soğurucu katmanın (120) işlevselliğini uygun hale getirebilir ve yüzeyini sonraki arka

15 kontak katman(lar)ıyla tutturma işlemi için hazır hale getirebilir. Örneğin, kaliteli bir p tipi katman oluşturmak için soğurucu katman (120) yeterli bir süre boyunca yüksek sıcaklıklarda tavlanabilir. Ek olarak, soğurucu katman (120) içerisinde tellür açısından zengin bir bölge oluşturmak amacıyla soğurucu katman (120) bir pasivasyon ajanıyla (örneğin kadmiyum klorür) ve bir tellür zenginleştirici ajan (örneğin iyot veya bir iyodür) ile

20 işlemden geçirilebilir. Ayrıca soğurucu katmanla (120) arka kontak katman(lar)ı arasında düşük dirençli bir elektriksel kontak elde etmek amacıyla soğurucu katmana (120) bakır eklenebilir.

Şekil 3-6'ya tekrar bakılacak olursa, yarı iletken bir katman (130) ayrıca soğurucu bir katman (120) üzerine PECVD ya da saçırtma gibi herhangi bir uygun teknik kullanarak

25 konumlandırılabilir. Bazı uygulamalarda, bir arka kontak katmanı (140) (örneğin bir metal katman veya grafit katman) yarı iletken katman (130) üzerine biriktirilebilir. Çok sayıda metal katman ayrıca arka kontak katmanı (140) üzerine biriktirilebilir. Fotovoltaik aygıt (100) üretmek için biriktirme sonrasında, bir yada daha fazla soğurucu katman (120), arka kontak katmanı (140) veya yarı iletken (130) ayrıca ısıtılabilir veya sonrasında işlem

30 görebilir (örneğin, tavlama).

Bazı uygulamalarda, toplayıcı çubuk, dış telleme, lazer aşındırma gibi diğer bileşenler (gösterilmiyor) örnek fotovoltaik aygıt (100) içerisine dahil edilebilir. Örneğin, aygıt (100) bir fotovoltaik modülün bir fotovoltaik gözesini oluşturduğunda, çok sayıda fotovoltaik göze istenen bir gerilimi elde etmek için mesela elektrik kablo bağlantısı vasıtasıyla seri

35 bağlanabilir. Seri bağlı gözelerin her bir ucu, bir aygıtta veya üretilen akımı kullanan başka

bir sisteme bağlantı için üretilen akımı uygun yerlere yöneltmek amacıyla, örneğin bir tel veya toplayıcı çubuk gibi uygun bir iletkene bağlanabilir. Bazı uygulamalarda, aygıtı çok sayıda seri bağlı gözeler bölmek amacıyla fotovoltaik aygıtın (100) biriktirilmiş katmanlarını çizmek için bir lazer kullanılabilir.

5 ORNEKLER

Karşılaştırmalı Örnekler 1-2 Elektron dokunma yüzeyi olmayan fotovoltaik gözeler için Simülasyon testleri

Simülasyonlar tek boyutlu güneş gözesi simülasyon programı SCAPS v.3.2.01 (M. Burgelman, P. Nollet ve S. Degraeve, "Modelling polycrystalline semiconductor solar cells", Thin Solid Films 361-362 (2000), ss. 527-532) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Program, aygıtın bant diyagramını ve ışığa, polarlama gerilimine ve sıcaklığa tepkisini belirlemek amacıyla tek bir boyutta elektronlar ve boşluklar için Poisson ve süreklilik denklemlerini sayısal olarak çözer. Performans hesaplamaları, Standart Test Koşulları (STK) olarak da bilinen, 100 mW/cm² şiddette ve 300K sıcaklıkta AM1.5G spektrum ile aydınlanma altında simülasyonda tarayan simüle edilmiş IV kullanılarak yapılmıştır. CdTe ve aygıt dizaynı için model parametreleri, CdTe güneş gözeleri için Gloeckler ve ark. tarafından verilen parametrelere göre belirlenmiştir. (M. Gloeckler, A.Fahrenbruch ve J.Sites, "Numerical modeling of CIGS and CdTe solar cells: setting the baseline", Proc. 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (Osaka, Japan, mayıs 2003), ss. 491-494, WCPEC-3, Osaka (2003)), fakat CdTe soğurucu katman kalınlığı değiştirilmiş ve CdTe soğurucu katmanlardaki derin tuzak doğası 'donör'den nötre değiştirilmiş ve yoğunluk 10 kat azaltılmıştır. CdTe model parametrelerinin 5.4 eV'luk bir valans bant enerji seviyesi belirlediğini unutmamak gerekir.

CdSe parametreleri, bant aralığının 1.7 eV ve elektron afinitesinin 4.1 eV olarak ayarlanması dışında CdTe parametreleri ile aynı değerlere sahip olacak şekilde ayarlanmıştır. CdTe_{1-x}Se_x alaşım malzemesinin özelliklerindeki değişim için bir model, x'in bir fonksiyonu olarak, grupta Se ikamesi, oluşturulmuştur. Modelde, CdTe bant aralığının (E_g,CdTe) 1.5 eV, CdSe bant aralığının da (E_g,CdSe) 1.7 eV olduğu ve bowing parametresinin b=0.8 olduğu varsayılmıştır. Alaşımın bant aralığı (E_g,alloy) aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$E_{g,alloy} = X E_{g,CdSe} + (1 - X) E_{g,CdTe} - b X (1 - X)$$

Taşıyıcı mobiliteleri ve dielektrik sabitleri gibi diğer malzeme özelliklerinin, alaşım kompozisyonundan bağımsız olduğu varsayılmıştır ve derin donör konsantrasyonunun x'in bir fonksiyonu olarak CdTe ve CdSe arasında lineer olarak değiştiği varsayılmıştır.

Buluşun doğasını daha fazla incelemek için ek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. İki farklı

Se konsantrasyon profili göz önünde bulundurulmuştur: bir sabit profil (Karşılaştırmalı örnek 1) ve bir şapka profil (Karşılaştırmalı örnek 2). Sabit profil için, $x= 0.4$ olan bir selenyum (Se) konsantrasyon profili soğurucu katman boyunca ele alınmıştır. Şapka Se konsantrasyon profilinde, aygıtın arkasından, konsantrasyonun sonrasında arttığı ön arayüzeyden yaklaşık 0.5 mikrona kadar $x=0$ olarak kabul edilmiştir. Bu noktadan, soğurucu katmanın önüne ulaşıncaya kadar $x = 0.4$ kabul edilmiştir. Toplam soğurucu katman (120) kalınlığı her iki durumda da 3.5 mikrondur.

Ongörülen faydaları belirlemek için, simülasyonlar metal arka kontak iş fonksiyonunun (WF) farklı varsayımları altında gerçekleştirilmiştir. WF değerini değiştirmek fotovoltaik gözelerin arka kontağını oluşturmak için farklı malzemelerin kullanımını simüle eder. WF değeri enerji birimine sahiptir ve genellikle eV cinsinden ölçülür. Arka kontak WF'si soğurucu malzeme enerji seviyeleri ile ne kadar iyi eşleşirse, verim de o kadar artar. Farklı selenyum profilleri için elektron dokunma yüzeyi yokluğunda metal iş fonksiyonunun değişiminin etkisi Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'de verilen verimler, soğurucu katmanda Se olmayan ve 5.0 eV arka kontak WF'si olan bir aygıt için hesaplanan verime normalize edilmiştir.

Tablo 1 Elektron dokunma yüzeyi olmayan aygıtların bağıl verimi üzerine metal iş fonksiyonunun etkisi

Metal WF (eV)	Bağıl Verim	
	Karşılaştırmalı Örnek 1	Karşılaştırmalı Örnek 2
4.90	0.96	1.02
5.00	1.04	1.12
5.10	1.06	1.15
5.20	1.09	1.17
5.30	1.14	1.19
5.40	1.20	1.22

20

25

Ornek 1-2 Elektron dokunma yüzeyi olan fotovoltaik gözeler için Simülasyon testleri

Bir elektron dokunma yüzeyinin etkilerini simüle etmek için, soğurucu katmanın son 0.1 mikronu dokunma yüzeyi olarak yeniden tanımlanmıştır ve bu 0.1 mikronluk katman içinde VBO ve E_g değiştirilmiştir. Tablo 2'de, 0 eV bir VBO offsete ve 1.6 eV bir E_g 'ye sahip bir elektron dokunma yüzeyi bulunan ve bulunmayan dört durum için hesaplanmış bağlı verimler gösterilmiştir. Arka kontak iş fonksiyonu Gloeckler ve. ark.'daki orijinal modellerle aynıdır. Referans durum, elektron dokunma yüzeyi olmayan 3.6 mikron kalınlığında CdTe soğurucu katmana sahip bir aygıttır. Bu aygıt referans aygıttır ve Tablo 2'de belirtilen bağlı verimler, hesaplanan aygıt veriminin bu referans aygıtın hesaplanan verimine oranıdır. Bir dokunma yüzeyi eklenmesini simüle etmek için soğurucu katman kalınlığı, soğurucu katman ile arka kontak arasına yerleştirilen 0.1 mikronluk ek bir elektron dokunma yüzeyi ile 0.1 mikron azaltılmıştır. Bu elektron dokunma yüzeyinin selenyuma sahip olmayan bir CdTe soğurucu katmana eklenmesi verimde ihmal edilebilir bir artışla sonuçlanır. $x = 0.4$ sabit bir profile sahip soğurucu katmanda selenyum kullanımı, verimde az bir artışla sonuçlanır. Elektron dokunma yüzeyi ve Se kompozisyonu kullanımı, yük dokunma yüzeyinin veya Se kullanımının ayrı ayrı iyileştirmelerinin çarpımından beklenenden belirgin bir biçimde yüksek bir faydayla sonuçlanır.

20 Tablo 2 Elektron dokunma yüzeyi (EBL) bulunan ve bulunmayan fotovoltaik aygıtların hesaplanan bağlı verimleri

Aygıt	Bağlı Verim
Referans	1.00
Referans+EBL	1.00
Sabit Se	1.04
Sabit Se + EBL	1.10

Buluşun doğasını daha fazla incelemek için ek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elektron dokunma yüzeyinin etkilerini simüle etmek için, soğurucu katmanın son 0.1 mikronu her ikisi de eV cinsinden ölçülen değişken elektron afinitesine (E_a) ve bant aralığına E_g sahip dokunma yüzeyi olarak yeniden tanımlanmıştır. . Gloeckler ve. ark, ışığında E_{v_abs} , 5,4 eV olarak ayarlanmıştır. Bu nicelikleri kullanarak, soğurucu katman ve elektron dokunma yüzeyi arasındaki valans bant ofseti (VBO) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$VBO = 5.4eV - E_a - E_g$$

30 İyileştirme faktörü, elektron dokunma yüzeyine sahip aygıtın (Ornek 1 ve 2) hesaplanan

veriminin elektron dokunma yüzeyi olmayan ve aynı kontak iş fonksiyonu ve Se profiline sahip aygıtın (Karşılaştırmalı örnekler 1 ve 2) hesaplanan verimine oranı alınarak hesaplanmıştır.

5 Tablo 3'de, farklı VBO ve Eg değerleri için değişken Se profili ve 4.9 eV'luk WF için iyileştirme faktörleri gösterilmektedir. Benzer veriler, sabit Se profili ve WF=5.4 eV için de toplanmıştır.

Tablo 3 Farklı VBO ve Eg değerleri için değişken Se profili ve 4.9 eV'luk WF için iyileştirme faktörleri

VBO (eV)	Ea(eV)	Eg (eV)	İyileştirme faktörü
1.3	2.1	2	0.20
1.1	2.1	2.2	0.38
0.9	2.1	2.4	0.58
1.1	2.3	2	0.38
0.9	2.3	2.2	0.58
0.7	2.3	2.4	0.80
1.1	2.5	1.8	0.38

0.9	2.5	2	0.58
0.7	2.5	2.2	0.80
0.5	2.5	2.4	1.03
1.1	2.7	1.6	0.38
0.9	2.7	1.8	0.58
0.7	2.7	2	0.80
0.5	2.7	2.2	1.03
0.3	2.7	2.4	1.20
1.1	2.9	1.4	0.38
0.9	2.9	1.6	0.58
0.7	2.9	1.8	0.80
0.5	2.9	2	1.03
0.3	2.9	2.2	1.20
0.1	2.9	2.4	1.22
1.1	3.1	1.2	0.38
0.9	3.1	1.4	0.58
0.7	3.1	1.6	0.80
0.5	3.1	1.8	1.03
0.3	3.1	2	1.20
0.1	3.1	2.2	1.22
-0.1	3.1	2.4	1.01
0.9	3.3	1.2	0.58
0.7	3.3	1.4	0.80
0.5	3.3	1.6	1.03
0.3	3.3	1.8	1.20
0.1	3.3	2	1.22
-0.1	3.3	2.2	1.01
-0.3	3.3	2.4	0.58
0.7	3.5	1.2	0.79
0.5	3.5	1.4	1.01
0.3	3.5	1.6	1.17
0.1	3.5	1.8	1.21
-0.1	3.5	2	1.01
-0.3	3.5	2.2	0.58
-0.5	3.5	2.4	0.00
0.5	3.7	1.2	0.86
0.3	3.7	1.4	1.00
0.1	3.7	1.6	1.05
-0.1	3.7	1.8	0.96
-0.3	3.7	2	0.58
-0.5	3.7	2.2	0.00
0.3	3.9	1.2	0.98
0.1	3.9	1.4	1.03

-0.1	3.9	1.6	0.88
-0.3	3.9	1.8	0.57
-0.5	3.9	2	0.00
0.1	4.1	1.2	1.03
-0.1	4.1	1.4	0.88
-0.5	4.1	1.8	0.00

Tablo 4'te, 3.5 mikron soğurucu katman kalınlığına sahip gözeler için 1'den büyük iyileştirme faktörüne yol açan üst ve alt VBO ve E_g limitleri gösterilmiştir.

5 Tablo 4 VBO ve E_g için seçilen değer aralıkları

Se Profili	Sabit Se		Şapka Se	
Metal WF (eV)	4.9	5.4	4.9	5.4
VBO alt limit (eV)	-0.1	-0.1	0.1	0.5
VBO üst limit (eV)	0.5	0.3	>1.3	>1.3
E_g alt limit (eV)	1.2	1.4	1.2	1.4
E_g üst limit (eV)	>2.4	>2.4	>2.4	>2.4

Simülasyonlarda soğurucu katman kalınlığının etkisi, toplam soğurucu katman kalınlığı 3.5 mikrondan 2 mikrona düşürülerek simüle edilmiştir. İki farklı Se konsantrasyon profili ele alınmıştır: sabit bir profil ve bir şapka profili. Sabit profil için, $x=0.4$ olan bir Se konsantrasyon profili aygıtın soğurucu katmanı boyunca ele alınmıştır. Şapka profilde, aygıtın arkasından, x 'in sonrasında yükseldiği ön arayüzeyden yaklaşık 0.5 mikrona kadar $x=0$ olarak kabul edilmiştir. Bu noktadan sonra soğurucu katmanın önüne ulaşılan kadar $x=0.4$ 'tür. Şapka ve sabit Se profilli aygıtlarının toplam soğurucu katman kalınlığı aynıdır. İyileştirme faktörü, elektron dokunma yüzeyine sahip aygıtın hesaplanan veriminin elektron dokunma yüzeyi olmayan, aynı kontak iş fonksiyonu ve Se profiline sahip fakat fazladan 0.1 mikron soğurucu katman kalınlığına sahip aygıtın hesaplanan verimine oranı alınarak hesaplanmıştır. Her bir profil için (sabit ve şapka) ve söz konusu metal kontak iş fonksiyonu (4.9 eV ve 5.3 eV) için farklı VBO ve E_g değerleri için yaklaşık 50-75 simülasyon hesaplanmıştır. Her bir simülasyon koşulu için, elektron dokunma yüzeyine bağlı iyileştirme faktörü hesaplanmıştır.

Tablo 5'te, 2 mikron soğurucu katman kalınlığına sahip gözeler için 1'den büyük iyileştirme faktörüne yol açan üst ve alt VBO ve E_g limitleri özetlenmiştir. Tablo 4 ve 5'te, VBO ve E_g için üst ve alt limitler özetlenmiştir. Tablo 4 ve 5'teki verilere bakılarak, 0 eV üzerinde tercih edilen bir bölgeyle, VBO alt limitinin yaklaşık -0.1 eV olduğu görülmektedir. Simülasyonlardan, VBO değeri için üst limitin bazı durumlarda 1.3 eV'den yüksek olduğu görülmektedir. E_g alt sınırı yaklaşık 1.1 eV olarak görülmekte olup, E_g değeri için üst sınır yoktur. Fakat pratikte E_g üst sınırı, çok yüksek E_g (yani, $E_g > 4$ eV) değerine sahip malzemelerin düşük mobiliteli yalıtkan olmaya eğilimli olmaları sebebiyle sınırlanmaktadır.

5

Tablo 5 2 mikron kalınlıklı soğurucu katmanlar için VBO ve E_g değerlerinin seçilen aralıkları

Profil	Sabit Se		Şapka Se	
Metal WF (eV)	4.9	5.4	4.9	5.4
VBO alt limit (eV)	-0.2	-0.2	0	0.2
VBO üst limit (eV)	0.8	0.4	0.6	0.2
E_g alt limit (eV)	1.1	1.5	1.1	1.7
E_g üst limit (eV)	>2.3	>2.3	>2.3	>2.3

Valans bant offsetinin hesaplanmasına benzer bir şekilde,

15

$CBO = VBO + E_g - E_{g_absorber_layer}$ yoluyla bir iletim bandı offseti (CBO) hesaplanabilir.

burada $E_{g_absorber_layer}$, elektron dokunma yüzeyine direkt bitişik olan soğurucu katman malzemesinin enerji aralığıdır. Tablo 3 ve 4'te gösterilen analizi oluşturmak için kullanılan simülasyonlar arasında, hesaplanan negatif bir CBO değerinin 1'den büyük bir iyileştirme faktörüyle sonuçlandığı sadece iki senaryo bulunmaktaydı. Hem CBO'nun 0 olduğu hem de 1'den büyük bir iyileştirme faktörünün olduğu iki senaryo daha mevcuttu. Dört durumun hepsinde iyileştirme faktörü yaklaşık 1.02 ile 1.03 arasında olup, her dört durumda da 4.9 eV'lik metak kontak WF bulunan şapka profili kombinasyonuna sahipti.

20

Elektron dokunma yüzeyinin (EBL) yararlarını göstermek amacıyla, elektron dokunma yüzeyi (EBL) olmayan referans yapıların verimi ile optimize edilmiş bir elektron dokunma yüzeyi bulunan benzer yapılar kıyaslanmıştır. Bu optimal katmanların her biri için VBO ve E_g değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Farklı E_g değerlerine sahip elektron dokunma yüzeyleri için eşit sonuçların elde edildiği durumda, en düşük E_g değeri belirtilmiştir. Bu tabloya göre, en düşük VBO değeri yaklaşık 0.1 eV ve E_g değeri 1.6 eV ile 2 eV arasındadır. CBO değeri tüm durumlarda pozitifdir.

25

30

Tablo 6 Elektron dokunma yüzeyi bulunan veya bulunmayan 2 mikron kalınlıkta ve 3.5 mikron kalınlıkta soğurucu katmanlar için VBO ve E_g değerlerinin seçilen aralıkları

Se Profili	İş fonksiyonu	Elektron Dokunma Yüzeyi	Bağıl verim	VBO	E_g	Soğurucu Kalınlık
Se yok	5.0	Yok	1.00	-	-	3.6
Sabit	4.9	Yok	0.96	-	-	3.6
Sabit	5.4	Yok	1.20	-	-	3.6
Şapka	4.9	Yok	1.02	-	-	3.6
Şapka	5.4	Yok	1.22	-	-	3.6
Sabit	4.9	Yok	0.77	-	-	2.1
Sabit	5.4	Yok	1.25	-	-	2.1
Şapka	4.9	Yok	0.97	-	-	2.1
Şapka	5.4	Yok	1.27	-	-	2.1
Sabit	4.9	Var	1.26	0.20	1.90	3.5
Sabit	5.4	Var	1.26	0.30	1.60	3.5
Şapka	4.9	Var	1.25	0.1	2	3.5
Şapka	5.4	Var	1.26	0.9	1.8	3.5
Sabit	4.9	Var	1.35	0.2	1.9	2
Sabit	5.4	Var	1.35	0.2	1.7	2
Şapka	4.9	Var	1.31	0.20	1.90	2
Şapka	5.4	Var	1.31	0.20	1.90	2

Şekil 9, 2 mikron kalınlıkta bir soğurucu katman içerisinde ve 4.9 eV'luk bir arka kontak WF bulunan sabit $x=0.4$ Se profili için hesaplanan iyileştirme faktörüne karşı VBO ve E_g kontur grafiğini göstermektedir.

Ekli istemler, buluşun oluşturulduğu kadar geniş kapsamlı şekilde buluşa sahip çıkmayı amaçlamakta olup, burada ortaya konan örnekler çok sayıda olan tüm olası uygulamalar arasından seçilen uygulamaları örneklemektedir. Buna göre, Başvuran'ın amacı, mevcut buluşun özelliklerini göstermek için kullanılan örnek seçiminin ekli istemleri sınırlandırmamasıdır. İstemlerde kullanıldığı üzere, "içermek" ifadesi ve bunun farklı şekilleri mantıken ayrıca değişken ve farklı kapsama sahip ifadelere, örneğin sınırlandırıcı olmamak kaydıyla "esasen -den oluşmak" ve "-den oluşmak" ifadelerine karşılık gelip bunları da içermektedir. Gerekli olduğu yerlerde, aralıklar verilmiş olup; bu aralıklar, içerisindeki tüm alt aralıkları kapsamaktadır. Bu aralıklardaki değişimlerin teknik alanda uzmanlığa sahip kişiler tarafından anlaşılması beklenmekle birlikte, halihazırda kamu kullanımı amaçlanmadığı takdirde bu değişikliklerin mümkün olduğunca ekli istemlerle kapsandığı anlaşılmalıdır. Bilim ve teknolojiye ilerlemelerin, kesin dil kullanılmaması

sebebiyle Őu anda dűŐűnűlemeyen denk hususları ve eklemeleri olası kılacağı űngűrűlmekte olup, bu deęiŐikliklerin de műmkűn olduęunca ekli istemlerle kapsandıęı dűŐűnűlmelidir.

5

10

15

20

25

30

35

1/9

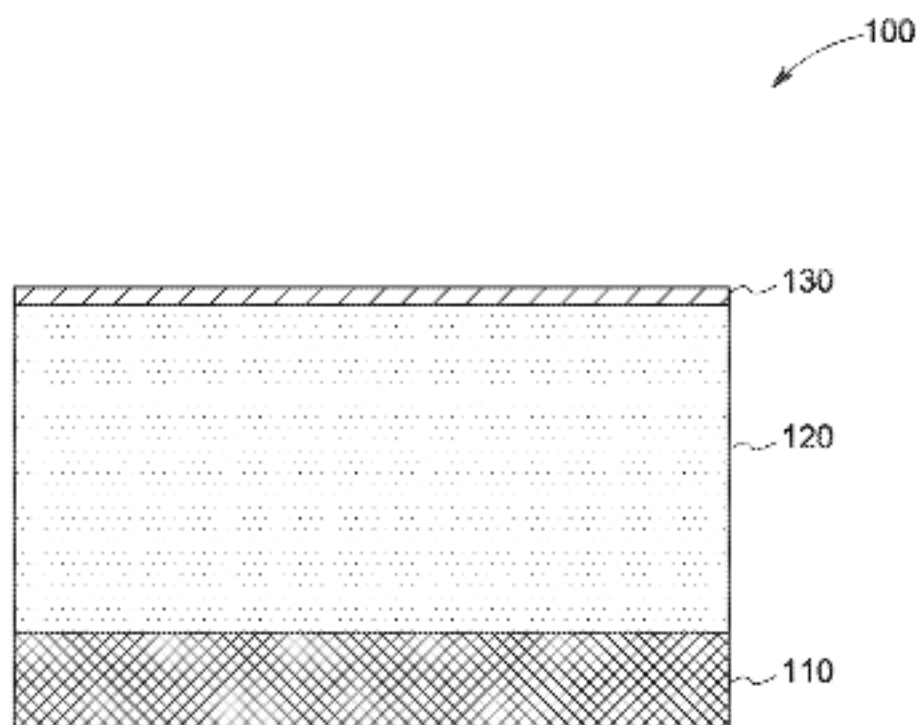


FIG. 1

2/9

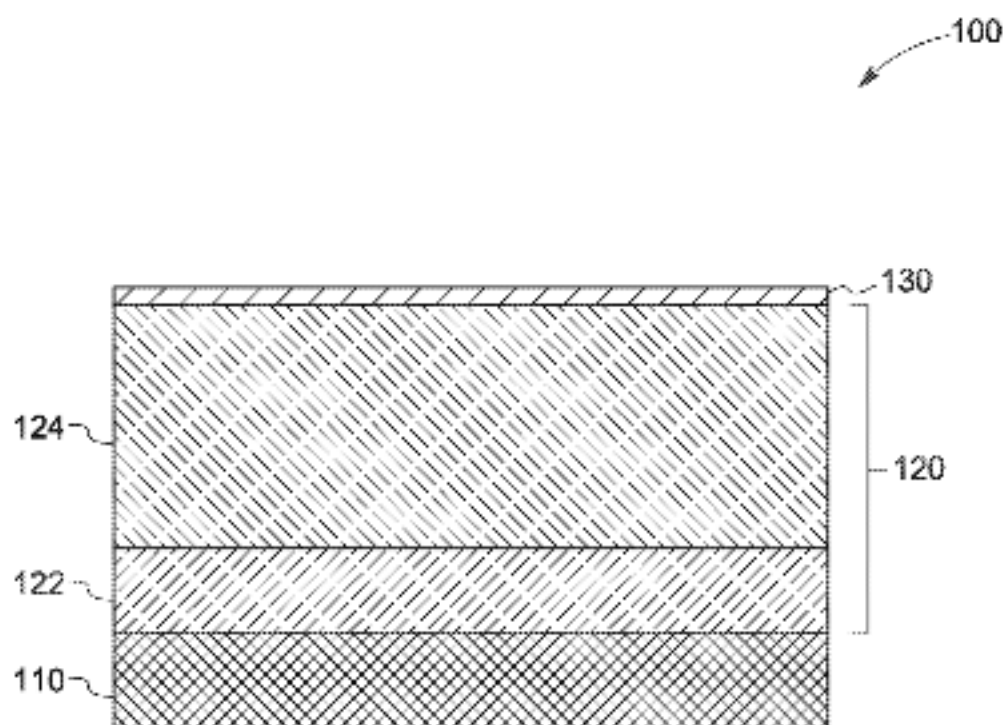


FIG. 2

3/9

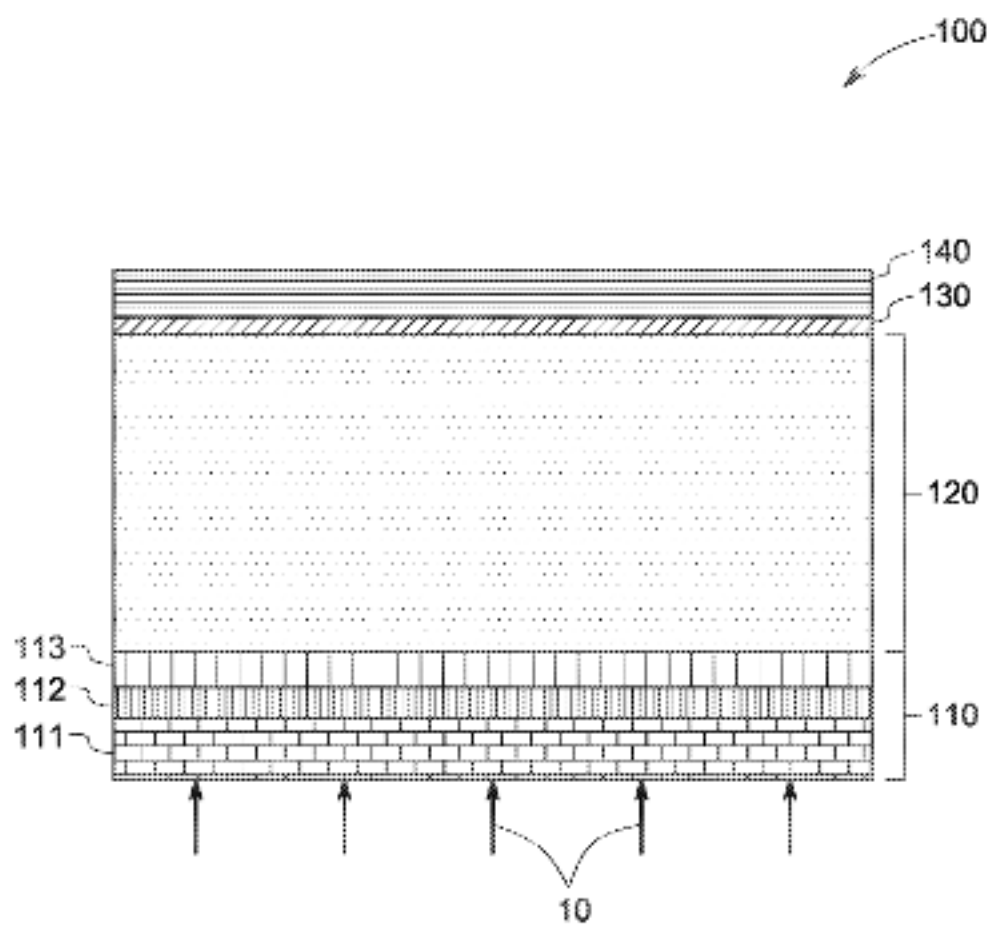


FIG. 3

4/9

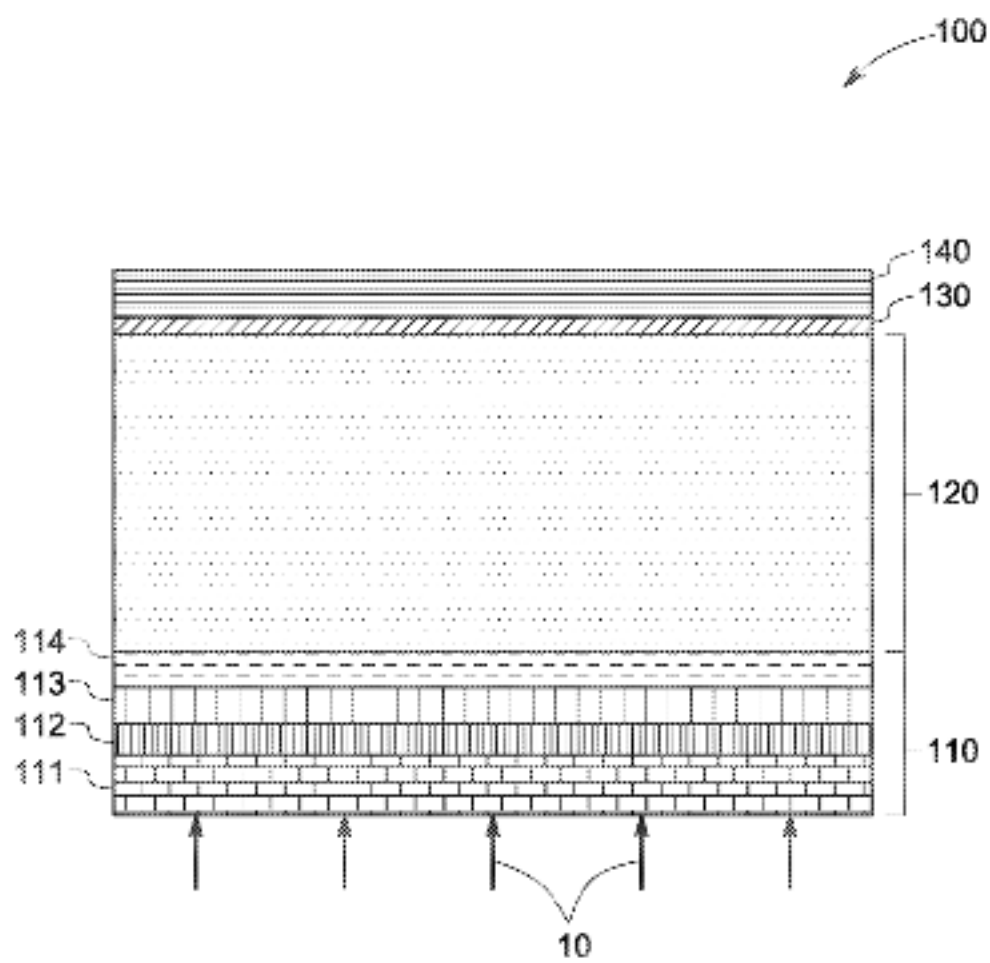


FIG. 4

5/9

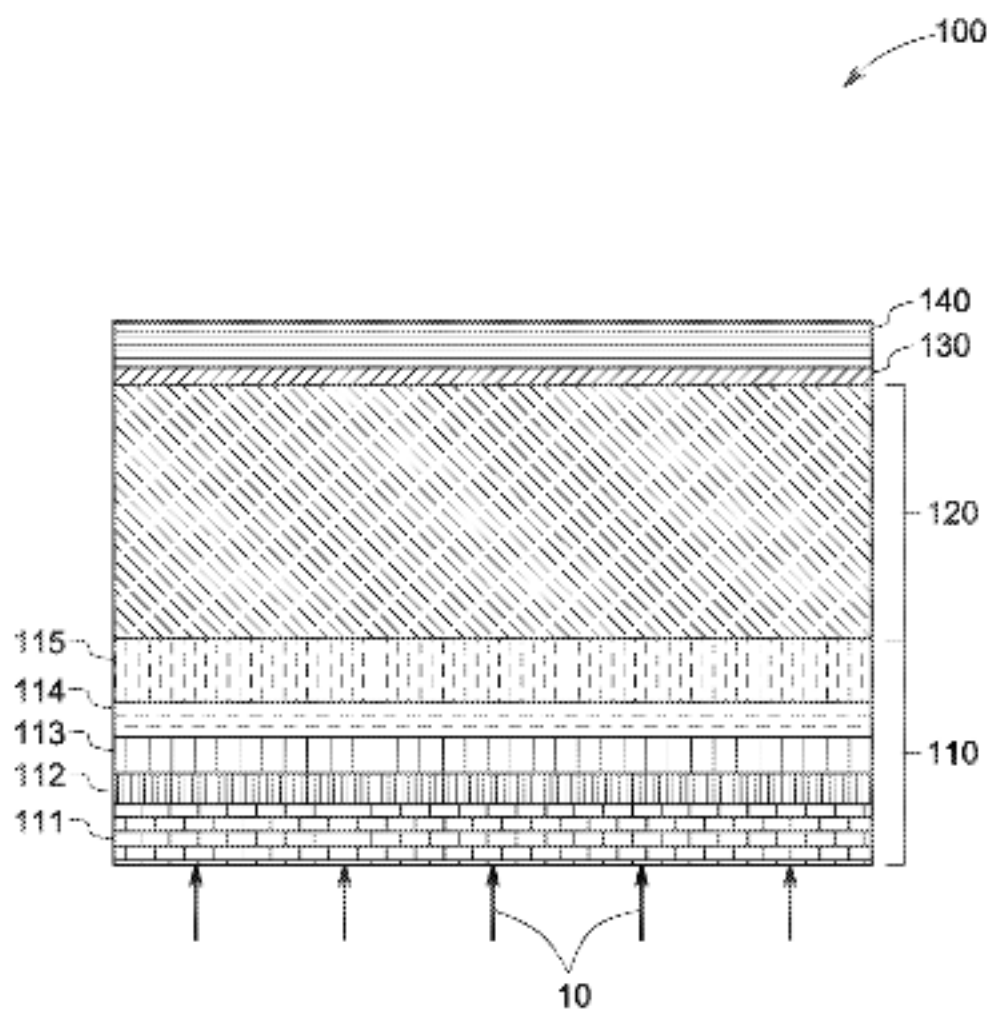


FIG. 5

6/9

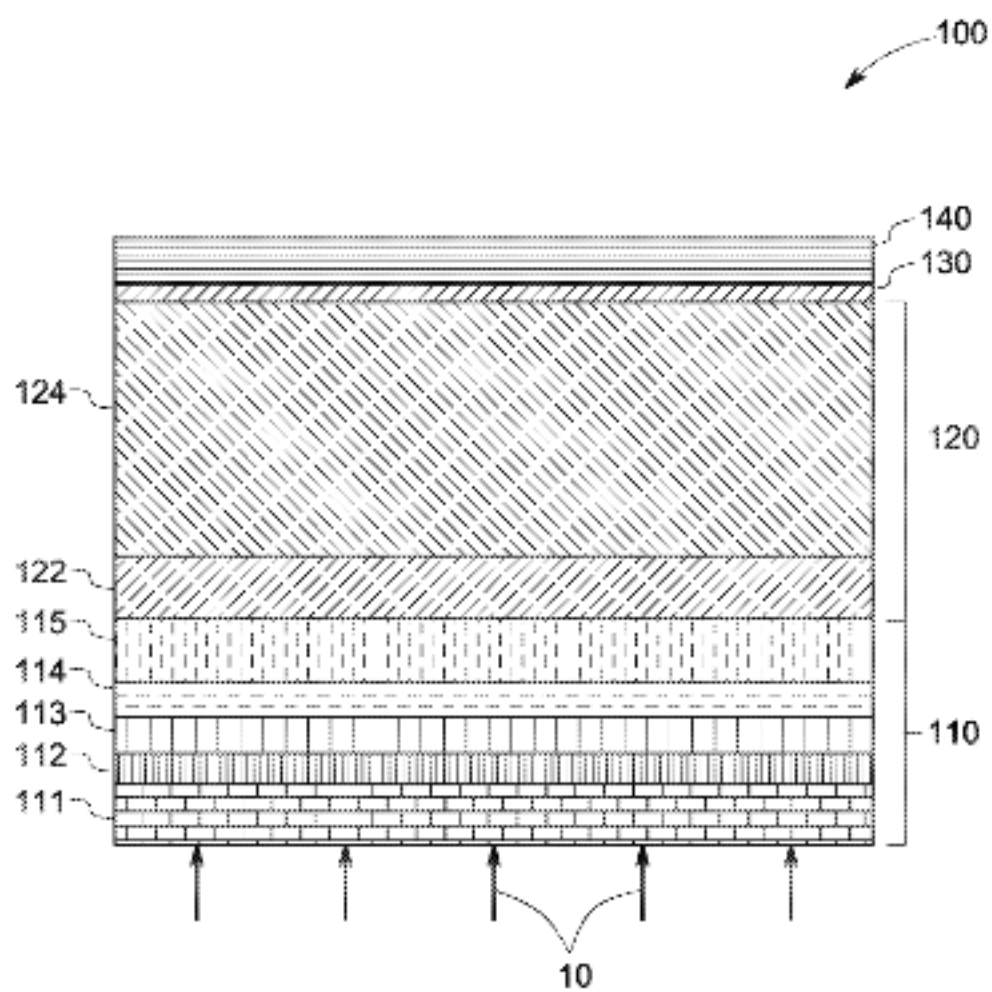


FIG. 6

7/9

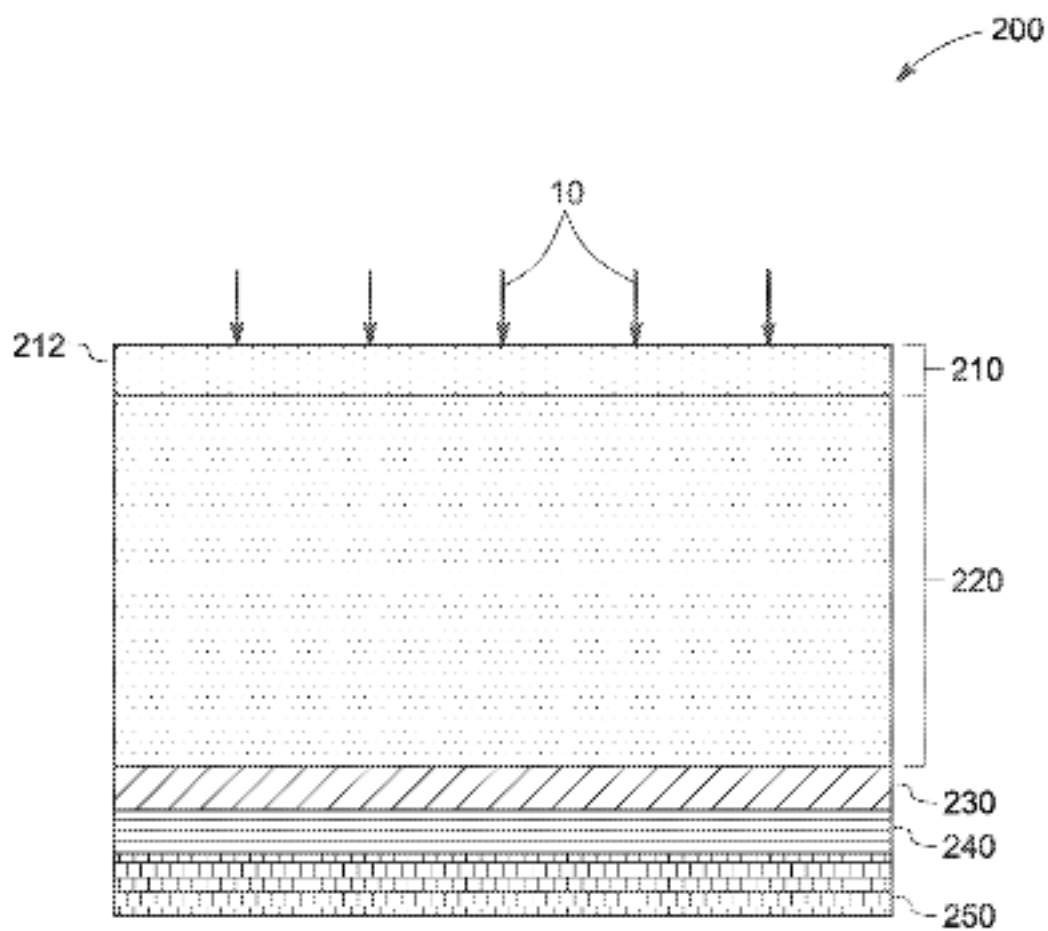


FIG. 7

8/9

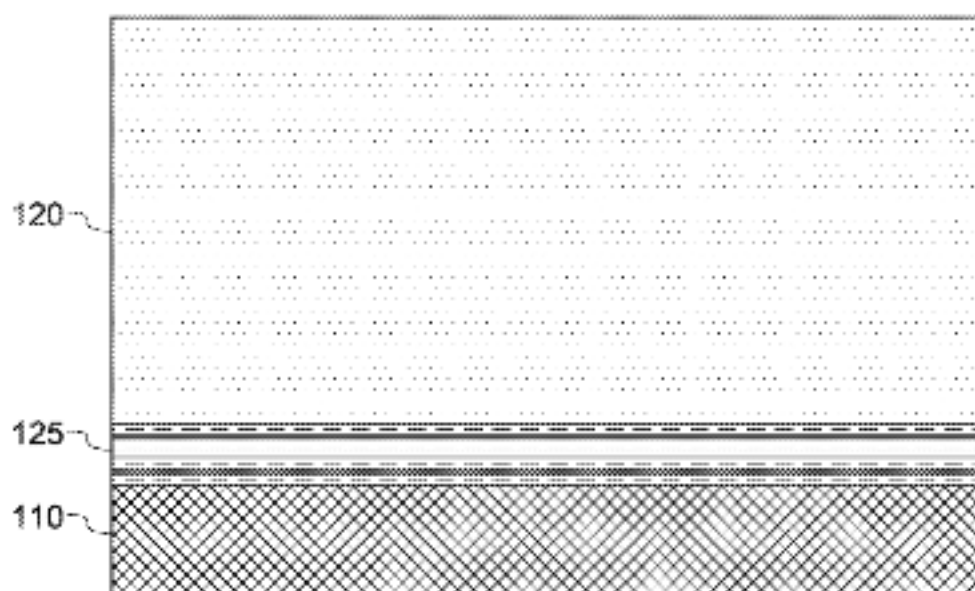


FIG. 8

9/9

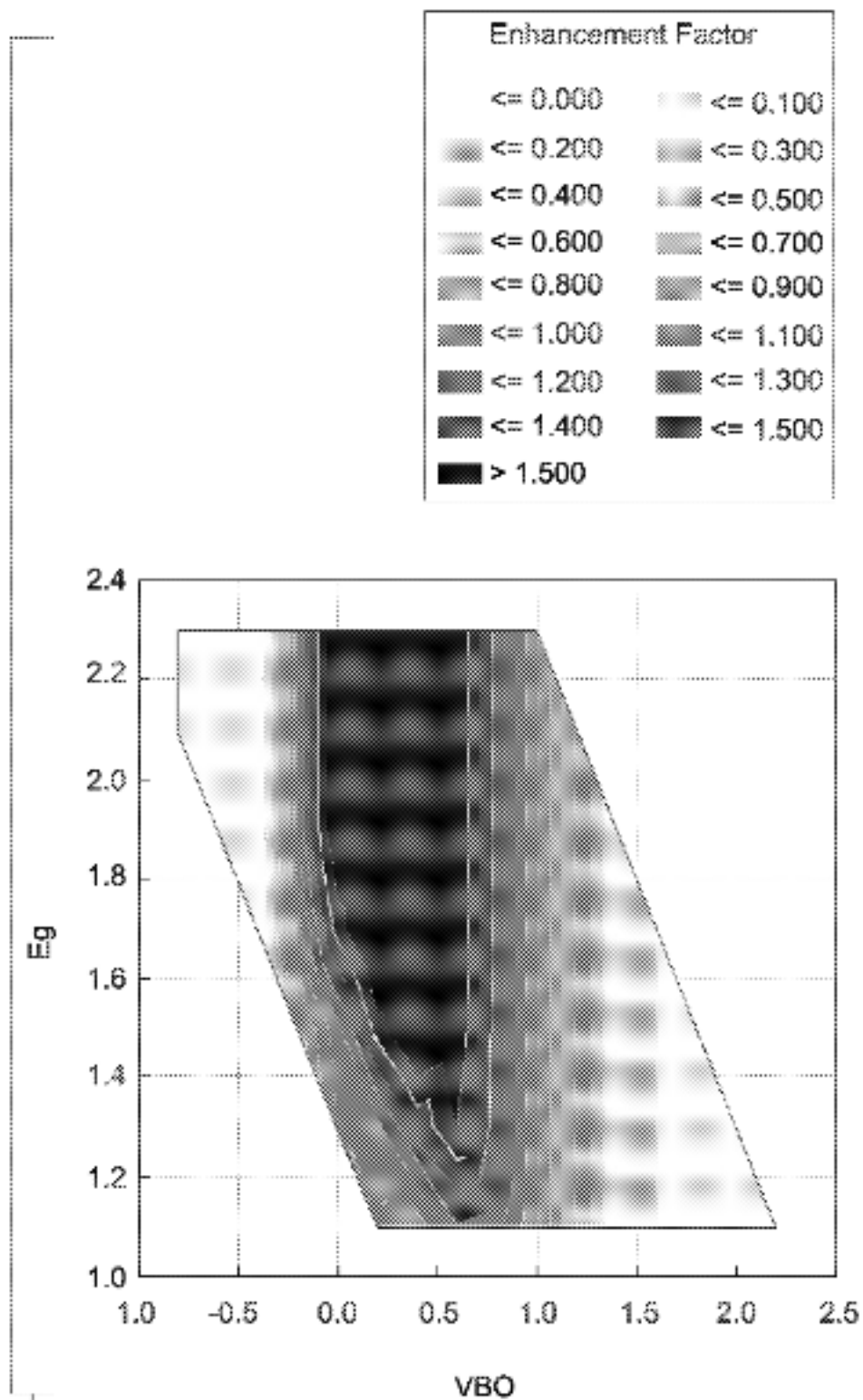


FIG. 9