

MAVİ 'LED'LER

Çeviren : Sevgi
ENSEN

Büyük hava aralıklı yarı iletkenler ışık saçan diodların üretimi için son derece yararlı maddelerdir. Bugün artık bunların tayfsal sınırları mavi ve mor ötesi bölgeleri kapsamaktadır. Üstelik bunların bazıları yüksek-güç mikrodalga araçlarının ve yüksek ısıda çalışma için duyargaçların üretilmesinde kullanılabilir.

Son üç yıl SiC'in (Silikon Karbid'in) fiziksel özellikleri aydınlatıcı çalışmaların konusu olmuştur. Bu makale yarı iletken maddeleri anlatmakta ve varolan GaAs (Galyum Arsenid) veya GaP (Galyum Fosfat) araçları-

* Elektor, March 1982.

nın üretilmelerine benzer şekilde mavi-saçan SiC (Silikon Karbid) diodların üretim metodlarının nasıl olduğunu göstermektedir.

Son zamanlarda yaygınlaşmasına karşın silikon karbid 'yeni' bir madde değildir. Gerçekte en eski maddelerden biridir ve daha 1907 yıllarında elektro-ışım (electroluminescence) özellikleri Round tarafından ortaya konmuştur. (Bu sıralarda Round SiC kristalleri üzerinde çalışmaktaydı) Yarı iletkenlik özellikleri gözönünde bulundurulduğunda SiC, silikona benzemektedir, ancak aralarında bazı ayırıcı farklılıklar bulunmaktadır. SiC'in non-axial bir kristal bir kristal yapısı, geniş band aralıkları ve büyük bir hücre birimi vardır, ve bütün bunlar gözlenen olayın yorumlanmasının son derece karmaşık olduğunu göstermektedir.

Diğer büyük hava aralıklı yarı-iletkenlerin tersine SiC, yoğun işlemler ve teknikler gerektirir ama kolaylıkla P ve n tipte katkılanabilir. Bu zorluklar nedeniyle bugüne kadarki araştırmalar sınırlı kalmıştır. Üstelik, bilim adamları tek hücreli kristal halinde silikon karbidin işlenmesi için pratik bir yöntem henüz ulaşmamışlardır ve eğer elektronik alanında bu yarı iletken kullanılacaksa bu bir zorunluluktur. İşte bunun içindir ki, artan bir teknolojik ilerlemeyle yarı iletkenler önce germanyumdan sonra silikondan yapılmışlardır. Fakat bugün silikon uygulamalarının bazı sınırlamaları gözönüne alındığında, geçmişte kullanımı az olan galyum, arsenik ve silikon karbid gibi yarı iletken maddeler yeniden keşfedilmektedir. Çünkü bunlar elektronikte birkaç alana özellikle uymaktadırlar. Örneğin galyum LED'lerde ve RF yarıiletkenlerinde idealdir. Silikon karbidin mavi ışık saçtığı ise şimdilerde gündeme gelmekte ve 1907'ye ait dosyalar yeniden açılmaktadır.

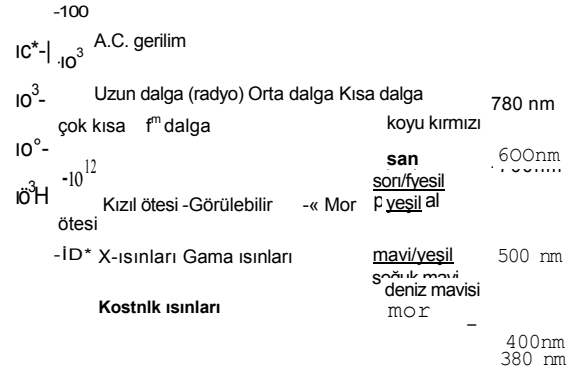
SiC'in özelliklerine ayrıntılı olarak girmeden önce genel olarak yarı iletkenlerin nasıl ışık saçtığını ortaya koymaya çalışalım.

YARI İLETKEN IŞIĞI

Her yarı iletken belirli bir ısı derecesinde bir ışık saçacaktır. 700-900°C sınırları arasında madde koyu kırmızı hal alacak, daha yüksek ısılarda ise akkor haline gelecektir. Bundan sonra yarı iletken bir ampul, bir alev ya da bir meşale gibi davranmaya başlayacaktır. Ancak bunların ışımaya özelliğine bağlı olarak yarı iletkenler çok daha düşük ısı derecelerinde de ışık saçarlar. 'Işıma' (luminescence) terimi ilk kez 1889 yılında ışık saçan maddenin, sıcaklığın neden olmadığı ışık saçmasını anlatmak için ortaya konmuştur. Bu tür ışımaya çok karşılaşılan bir durumdur ve floresan TV ekranlarında vb. görülebilir.

Işık saçılımı aşağıdaki esaslara dayanır:

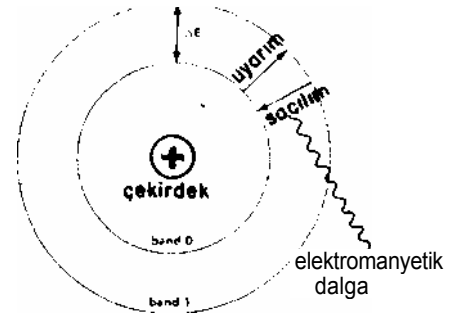
Bir atoma enerji verildiğinde atom uyarılır ve enerjisi emer. Bir atom yalnızca kararlı denge durumuna dönmeye kadar önce enerjilenebilir. Bu durumda alınan enerji elektromanyetik yayılım (radiation) olarak geri verilir ve bu yayılım ancak belirli bir dalga boyu ile çakışırsa gözle görülebilir ışık şeklinde olacaktır.



Şekil 1

Görülebilir Işık Elektromanyetik Spektrumun Bir Parçasıdır ve 380 nm. (mor) ile 780 nm. (Unyu kırmızı) Sınırları Arasındadır.

Şekil 2



Bohr'un Atom Modeli ile Gösterilen Işık Saçılımı İlkeleri. Uyarılan (enerjilenen) Elektronlar Daha Yüksek (çekirdekten daha uzağa). Daha Enerjik Bir Banda Sıçrarlar. Işık Saçılımı Sırasında Elektronlar Dış Banttan içeri Dönerler, iki Bant Arasındaki Enerji Farkı Işık Olarak Yayılır.

Şekil 2. de gösterildiği gibi Bohr'un atom modeli bu süreci gözümüzde canlandırmak için kullanılabilir. Atomlar, Güneş'in çevresindeki sabit gezegenler gibi

çekirdeğin çevresinde sabit bir yörüngede hareket ederler. Yüksek hızlı elektron biçimindeki enerji dışarıdan içeri sürülür ve bir atomun elektronu ile çarpışır. Bu elektron içeri giren enerjiyi alır ve daha yüksek enerjili bir yörüngeye atlar. Bütün bu işlemler çok kısa bir süre içerisinde olur ve sonra elektron artık (fazla) enerjisini dışarı vererek önceki durumuna döner. Yayılan ışımın (emitted radiation) dalga boyu, enerjilenmiş ve enerjilenmemiş durumlar arasındaki farka bağlıdır. 380-750 nm. sınırları arasında (Bakınız Şekil 1.) yayılım gözle görülebilir ışık şeklinde olacaktır. Atomlar, örneğin X-ışını, ışık, parça yayılımı veya ısı gibi başka yollarla da uyarılabilir.

Aynı esaslar yarı iletken maddelerin ışınması içinde uygulanabilir. Yine elektronlar yüksek enerji seviyelerinden düşük enerji seviyelerine geçerler ve artı enerjilerini atarlarken ışık elde edilir. Bu genellikle ısı (phonon vibration) biçiminde, bazan da kırmızı-altı ve gözle görülebilir ışık sınırları arasında yayılır.

Yukarıda anlatılan yüksek enerji harcanması işlemi diodun kutuplaşmış ileri geçiren pn-ekleminde olur (polarized forward biased junction).

Bu süreci anlamak için yarı iletken teknolojisine kısaca bir göz atalım:

Yarı iletken maddelerde elektronların belirli enerji seviyelerinde bulunduğu varsayılır. Elektronlar için değerlik bandı en yüksek enerji seviyesine sahiptir. Değerlik bandının üstü ile iletim bandının en alt kısmı arasındaki fark enerji boşluğu olarak bilinir. (Bakınız Şekil 3.)

®

©

c - İletim ,
v- Değerlik bandı
E- Enerji boşluğu

Şekil 3 Katılarda Band Yapısı:
3a) İletim Bandı, Enerji Aralığı Yok. 3b) Değerlik Bandı, Geniş Enerji Aralığı 3c) Yarı iletken. Dar Enerji Aralığı. Bu, Elektronların (değerlik elektronları) Enerjilenmesini ve Değerlik Bandından İletim Bandına Atlanmasını Mümkün Kılar.

Eğer yarı iletken madde safsa bu yasak bölgede elektron bulunamaz. Farklı maddeler (impurities) katılarak bu bölgede elektronik seviyelerin bulunması sağlanır. Saçılan fotonların en yüksek enerji seviyesi, pn-ekleminin olduğu maddenin band aralığı enerjisi ile belirlenir. LED araçları için buna uygun maddeler GaAs, GaP ve SiC gibi sıralanabilir. Bu durumda saçılım spektrumunun kısa dalga aralığında 380-440 nm. dalga boyu olan mavi ışık, yalnızca, buna karşılık gelen bant aralığı olan yarı iletken maddeden elde edilebilir. Bunun içindir ki, örneğin galyum eklemlerinde (junctions) mavi ışık saçılımı olamaz.

Tablo 1. çeşitli yarı iletken maddeleri incelemekte ve bu maddelerin bant aralıklarına, dalga boylarına ve yayılım sınırlarına göre bir listesini vermektedir.

Tablo 1: Çeşitli yarı-iletken maddelerin yayılım dalgaboyları ve band enerji aralıkları.

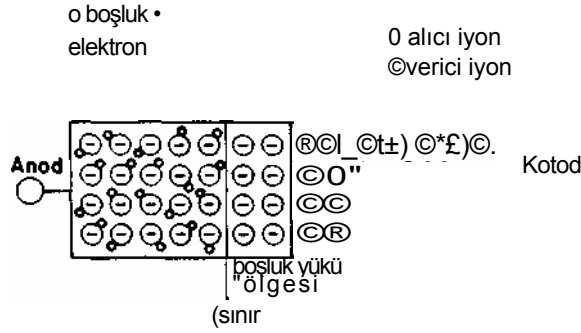
Madde	Band aralığı eV	Saçılım dalga boyu nm	Saçılım aralığı	Yeniden birleşim biçimi	v
Germanyum	0,6				—
Silikon	1,09	910			o
Galyum	1,43				a
Arsenid		650			y
Galyum	1,91				l
Arsenid		560			l
Phosphide	2,24				—
Silikon		490			o
Karbid	2,5				l
Galyum		400			a
Nitrat					

Yılı
kızılötesi doğrudan
kırmızı doğrudan
yeşil dolaylı dolaylı
mavi dolaylı

YARI İLETKEN FOTO DİODLAR

Şekil 4. yarı iletken bir foto diodun yapısını göstermektedir, n-tipte ve p-tipte katılanmış yarı iletken maddelerin p ve n bölgesi arasındaki ısıtıcı yeniden birleşmelerin (recombination) olduğu alana sınır katı ya da eklem denir, p bölgesinde katkı maddesinin bütün atomlarının yarı iletken maddeden bir eksik değerlik atomu vardır.

j

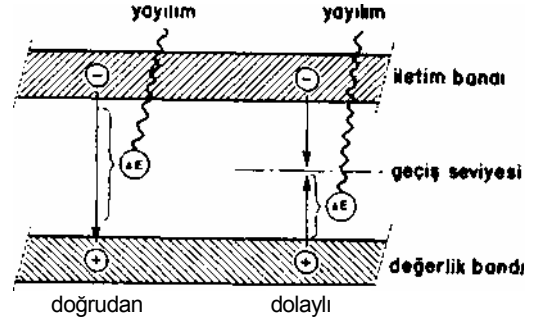


Şekil 4 pn- Eklem Şeması (yarı-iletken diod). p- iletken Madde 'Boşlukları' İçerir, (elektronlar bulunmazken), n- Madde ise Çok Sayıda Elektron Bulunur. Sınır Bölgesindeki Değişimde. Birleşmeden Dolaylı Yük Taşıyıcılarından Arınmış Bölge Oluşur. Boşluklar Elektronları Yutar, Böylece Hem Elektronlar Hem de Boşluklar iletim Bandından Kaybolur. **Threshold** Değerini Aşan Bir İleri Geçiren Gerilim Uygulanmadıkça YUK Taşıyıcıları Bu Engeli Aşamazlar.

Sonuç olarak, 'alıcı' (acceptor) iyonlar yarı iletkenin değerlik atomlarını alırlar ve yerlerinde bir dizi boşluklar (holes) oluşur. Elektronlar hareketli artı yük taşıyıcılarını temsil ederler ve bunlara p-yarı iletkenleri denir, n-yarı iletkenlerinde durum tam tersidir. Bunlarda katkı maddesinin yarı iletkeninkinden bir fazla değerlik elektronu vardır. Elektron fazlalığı olduğundan katkı maddesi ya da 'verici' (donor) iyonlar ile bunlar serbest elektronlar haline gelir. Ekleme gerilim uygulanmadıkça bu bölgede boşluklar ve elektronlar yük alışverişi yaparlar. Sonuç olarak sınır tabakasının her iki yanında da dar bir şerit hareketli yük taşıyıcılarından tamamen arındırılmıştır. Aynı zamanda n-bölgesindeki artı yüklü verici iyonlar ve p-bölgesindeki eksi yüklü alıcı iyonlar bölgenin içinde kalırlar ve bir boşluk yükü (space charge) oluştururlar.

Geçirme yönünde bir gerilim uygulayarak (pilin artı kutbunu p kenarına eksi kutbunu n kenarına) elektronlar ve boşluklar sınır tabakasının içine sürülür (injected). Böylece p-bölgesi ne ait boşluklar n-bölgesine ulaşır ve serbest elektronlarla birleşir, benzer şekilde, elektronlarda n- bölgesinden p- bölgesine geçer ve bunlarda yeniden birleşirler.

Doğrudan birleşmeyle (bir elektronun, doğrudan, değerlik bantındaki bir boşluğa gitmesi), dolaylı birleşme (yeniden birleşim doğrudan bantlar arasında değil, ama, bunlarla bant arasındaki geçiş seviyelerinde oluşur) arasında bir ayırım yapılmıştır. Bu durum Şekil 5. te gösterilmiştir.



Şekil 5 Elektronların ve Boşlukların Yeniden Birleşmesi, Geçiren Bir Gerilim Uygulandıktan Sonra Elektronlar ve Boşluklar Engel Bölgesine Sürülür ve öbür Tarafa Ulaşırlar. Elektronlar ve Boşluklar Yeniden Birleşirler, Yani, Elektronlar iletim Bandını Terkeder ve Değerlik Bandındaki Boşlukları Doldururlar. Enerjideki Fark. LED'İ Isıtan Elektromanyetik Dalga Biçiminde Yayılır. (Değerlik Bandı: Valance Bandı / Conduction bandı iletim Bandı)

En uygun oranlar 'doğrudan*' yarı iletkenlerin kullanılmasıyla elde edilmiştir (doğrudan yeniden birleşebilirler). Bilindiği gibi bunlara yeterli bant aralık genişliği sağlandığında ışık saçarlar. 'Dolaylı'iletkenler de belirli bant aralık genişliklerinde ışık saçabilirler Bu ışık saçılımı yabancı atomların injeksiyonu ile kontrol edilebilir (iso-elektronik centres). Örneğin GaP LED'ler yeşil ışık saçması için nitrojen ile katkılanırlar. Öte yandan çinko oksit sürülmesi (injection) ise kırmızı ışık vermesine neden olur.

MAVİ LED'LER İÇİN SİLİKON KARBİD

Tablo 1.den görülebileceği gibi silikon karbid geniş bant aralığı olan dolaylı bir yarı iletken tipidir-Onun bu özelliği geniş bir renk aralığında gözle görülebilir yayılımı mümkün kılar. Böylece mavî ışık bile elde edilebilir. Değişik geçiş seviyelerinde çeşitli renkler elde edilir. Galyum nitrat (GaNi) ve çinko (Zn (S,Se)) eklemlerinin tersine SiC kolaylıkla p ve n tipinde katkılanabilir. Sorun şudur ki, SiC eklemlerinin düşük bir ışımaya performansı vardır. Bir kez uygun bir iso-elektronik yeniden birleşim merkezi bulundu mu ışımaya da geliştirilebilecektir.

Epitaxial ve gazla aşındırma süreçlerinin yüksek ısı gerektirmelerinden dolayı, SiC'in teknik açıdan da sorunları vardır. Bir kez bu sorunlar çözümlerse tek kristal halindeki SiC yufkalarının (single crystal SiC wafers) büyük ölçekte üretimi mümkün olacaktır. Günümüzde

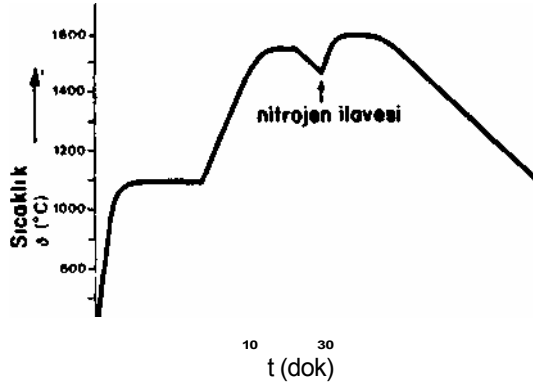
göreceli olarak daha küçük, 15 mm. çapında yufkalar üretilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Batı Almanya ve Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nde bu alandaki çalışmalar sürmektedir.

pn- eklemeleri genellikle epitaxial yöntemiyle yapılmaktadır ve Japonya'da Metsunami, Batı Almanya'da da Von Münch ile Kurzinger tarafından ilginç sonuçlar elde edilmiştir.

MAVİ LED'LERİN ÜRETİMİ

SiC kristal yongaları (chips) hammaddeyi oluşturur. SiC yongalarının üretimi için yalnızca iki yöntem vardır. (Acheson ve Lely). Kristallerin yalnızca zımparalanması ve parlatılması değil, ama her birinin çok dikkatli bir biçimde uygun olup olmadığı denetlenmelidir. Kristaller kumdan yapılmış olduğuna ve içinde alüminyum bulunduğuna göre yufka (wafer) maddesi doğal olarak p- iletkenidir. Kristaldeki yabancı yapılar yonga yüzeyinin bir oksit tabakası ile kaplanması ve sonra yüzeyin x-ışınları ile ışınlanmasıyla ortaya çıkarılır.

Herşeyden önce, bir pn eklemi (diod) oluşturulabilmesi için bir n- iletken katman gereklidir. Şekil 6.da gösterildiği gibi epitaxial süreç sırasında alttasın (substrate) en üstünde p- iletken bir SiC katmanı oluşur.



Şekil 6 Epitaxial süreçte Silikon Karbid Yufkası üzerinde önce p- Katkılanmış Sonra n- Katkılanmış Tabaka Oluştururken. Sıcaklık Eğrisi.

SiC katmanlarının tortulanması ısı değişimi altında silikonkarbon eriyiği ile doldurulmuş grafit bir potada olur. Alttaş üzerinde oluşan epitaxial tabakanın p- tipte katkılanması için alüminyum ile silikon eriyiği enjekte edilir. 1600-1700°C sınırları içinde kabaca 35 dakika kadar sonra 35 p.m civarında bir epitaxial taba-

ka elde edilir. Daha sonra da n- katkılanmış bir katman sağlanması için nitrojen injekte edilir. Sonuç pn- eklemesinin elde edilmesidir. Bu süreç Şekil 7. deki grafik ile gösterilmiştir.

epitaxial
tabaka v.
SIÇ alttası



Şekil 7 Bir SiC LED Yongasının Kesiti.

Başlangıçta üretim verimi % 30 dur, ama bu yeni bir sıcaklık/zaman devri ve eriyik potasını geliştirmeyele % 70'in üzerine çıkarılabilir. Kalan oran esas olarak alttasın eksikliklerinden kaynaklanır.

P katmanındaki alüminyum konsantrasyonu artırılarak, SiC yongalarının performansı kayda değer ölçüde artırılabilir. Diğer yandan n- katmanındaki nitrojeni değiştirme girişimlerinin ise herhangi bir etkisi olmamaktadır.

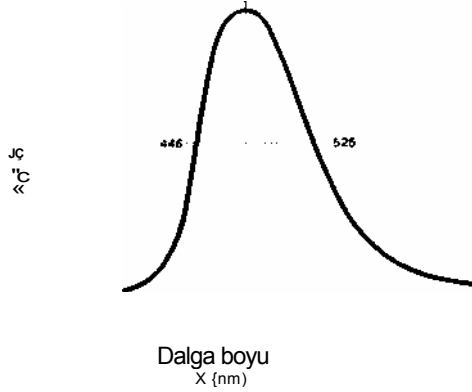
Sonuçta elde edilen ürün yüzey alanı 0,6x0,6 mm² olacak şekilde parça yongalar halinde testelenmektedir. Şu da belirtilmelidir ki, bu tip yongalar çok çabuk yaşlanırlar. Bir de bu maddeyi testerelemek yongaların kenarlarını bozmakta ve rengin yeşilimsi olmasına yol açmaktadır. Bu sonuçtan madde testereyerek yongalara ayrılmadan önce mesa (Q) aşındırması yapılarak kaçınılabılır. öncelikle foto-aydınlatma ile bir oksitleme yapıp sonra da, bir oksit tabakası ile korunmamış olan yonga yüzeyi, bir klor, oksijen ve gaz karışımı kullanılarak 1000°C derecede aşındırılır. Sonuç yonganın ortasında yuvarlak, 0,4 mm. çapında bir tepeciktir. Bu dış ölçümleri etkilemez.

Yongalar bir kez aşındırılıp, ayırdıktan sonra değişimleri (contacts) sağlanmalıdır. Üst yüzey önce nikel, sonra altın, p tarafı ise ilk önce alüminyum sonra titan bağlanır ve p- değimi bir taşıyıcıya yapıştırılır.

SONUÇLAR VE BELİRTİMLER

Şekil 8. çeşitli LED tiplerinin spektra saçılımı göstermektedir. Burada SiCIn oldukça geniş bir saçılım

spektrumuna sahip olduğu görülür, çünkü, en çok 475 nm. seviyesi olan bir dolaylı birleşme yayılımı vardır ve bu da kabaca ark maviye karşılık gelir, LED¹ lerin geçirme gerilimi 2,5 V civarındadır ve bunu Şekil 9. daki grafikte görebiliriz.



E <
-51
< - 5

Gerilim •
U (V)

Şekil 9 Mavi LED'in Gerilim Eğrisi.

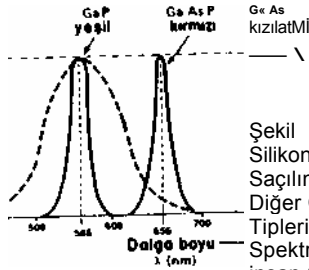
Yaşlanma süreci Şekil 10. da gösterilmiştir. İlk otuz dakika sırasında yongalar bir ısınma süresi geçirirler. Verimleri başlangıç değerinden, % 70'e düşer ve bundan sonra aşağı yukarı sabit kalır.

JL
10

Zaman (dak)

Şekil

10 Mavi LED'lerde Yaşlanma Süreci. 30 Dakika Kadar Sonra Performans Sabit Bir Seviyede Kalır. Bu Başlangıç Değerinin % 70'idir.



Duyarlılığı Kesikli Eğri ile Gösterilmiştir.

Şekil 8 a) Mavi Silikon Karbid LEO'nun Saçılım Spektrumu. b) Diğer Çeşitli LED Tiplerinin Saçılım Spektrum-ları. insan Gözünün

Bütün bunlardan anlaşılacağı gibi SiC üretim yöntemleri oldukça karmaşıktır ve yakın gelecekte yongaların üretiminin büyük ölçekte olacağı beklenmemelidir. Ancak yine de bir avuntu, bir umut vardır.... Yonga endüstrisi RF güç yarı iletkenleri için esas olarak silikon karbid kullanılması üzerinde durmaktadır. Bu konuda bir kez anlamlı ilerlemeler yapıldığında ve böylece büyük silikon karbid kristalleri için uygun bir gelişme süreci sağlandığında mavi LED'lerde kullanılabilir ve bunlar, FET güç teknolojisinin yan ürünleri olarak üretilenlerdir.

Böylece elektronik coşkusuyla dolu olanlar gelecekte devrelerinde MAVİ LED'ler kullanarak bakabileceklerdir.

KAYNAKLAR

Günther Ziegler, Siemens AĞ, Research Laboratories, Erlangen and Munich, VV.Germany: 'Blue Light-emitting diodes using silicon carbide', BMFT research bulletin T81 -010.

E, Pettenpaul, W. von Münch and G. Ziegler: 'Silicon Canside devices', Institute of Physics, Conf. Ser. No: 53

Alan Chappel, Volmar Hartel: 'Opto-electronics: Theory and practice', Texas instruments Ltd., Manton Lane, Bedford.

Stan Gage, Dave Evans, Mark Hodopp and Ian Sorenson: 'Optoelectronics Applications Manual', McGraw-Hill Book Company.