

Ege Üniversitesi
Ege Meslek Yüksekokulu
Endüstriyel Elektronik Programı
Optik Elektronik Ders Notları

İZMİR-1998

Öğr. Gör. İLKER ONGUN

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ.....	4
IŞIK	6
FOTOİLETKEN GÖZLER-(LDRler).....	9
FOTODİYOTLAR.....	12
GÜNEŞ PİLLERİ	17
FOTOTRANSİSTÖRLER	21
FOTOTRİSTÖRLER (LASCR).....	25
YAYICILAR	27
IR YAYICILAR (IRED).....	29
IŞIK YAYAN DİYOTLAR (LED).....	32
IŞIL BAĞLAŞTIRI/YALITICILAR (OPTOCOUPLER/OPTOISOLATORS)	37
GÖSTERGELER	41
LED GÖSTERGELER.....	42
SIVI-KRİSTAL GÖSTERGELER (LCD).....	45
DİĞER GÖSTERGELER.....	52
GÖRÜNTÜ SEZİCİLER (IMAGE SENSORS).....	55
LASER.....	58
KATI HAL LASER.....	60
GAZ LASER	62
YARIİLETKEN LASER.....	64
ORGANİK BOYA (SIVI) LASER	65
LASERLARIN ENDÜSTRİYEL KULLANIMI	66
IŞIK LİFLERİ (OPTICAL FIBERS).....	70
KISA GEÇMİŞİ.....	70
IŞIK KILAVUZU-OLARAK FIBEROPTIC	71
FİBERSKOP	72

FIBER OPTIC DİZGELERİ.....	72
OPTICAL FIBER YAPISI	74
OPTICAL FIBER YİTİMLERİ.....	75
IŞIK LİFİ ÜRETİM TEKNİKLERİ.....	79
NOTLAR	79
IŞIK LİFİNİN NİTELİK VERİLERİ.....	80
Doğrusallık:	80
Uzaklıkla zayıflama:	80
Kanal sığası ve bant genişliği	80
IŞIK HATLARININ KESİNTİSİZ ALABİLECEĞİ EN UZUN YOL.....	81
IŞIK LİFLERİNİN ÜSTÜNLÜK VE SAKINCALARI	81
Üstünlükleri	81
Sakıncaları	82
IŞIK LİFLERİNİN UYGULAMA ALANLARI	82

GİRİŞ

Yarıiletken malzeme üretim tekniklerinin gelişimi sırasında ışığın etkisi hep engelleyici bir unsur olarak değerlendirildi. Işık alan yarıiletken malzemeler hesaplanan çalışma performansını göstermiyordu. Bu nedenle ışık geçirmez bir kılıf içine yerleştirmek zorunlu oluyordu. 1940ların sonunda yarıiletken transistörlerin keşfedilmesinden sonra ışığın etkisinden yararlanılabileceği gündeme geldi. Bu etkinin denetlenebileceği hatta işe bile yaratılabileceği anlaşıldı. Işık yardımı ile akım denetimi yanı sıra, elektrik enerjisi elde edilebileceği de ortaya çıktı. Optik elektronüğın sıçraması ve endüstrinin bu alana hızla ve büyük miktarda araştırma kaynağı sağlaması da bu keşifle başladı. Böylece optoelektronik, elektronüğın ışığın yarıiletkenler üzerindeki etkilerini inceleyen bir dalı olarak gelişmeye başladı. Endüstrinin bu ucuz (yeterince çaba harcanırsa gelecekte neredeyse bedava) enerji kaynağını keşfetmesiyle, optik elektronik dalındaki araştırmalara büyük kaynaklar aktarıldı. Işık (güneş) enerjisinden enerji elde edilmesine giden yolda, yarıiletkenlerin ışık kaynağı, ışık algılayıcı ve lazer üretici olarak kullanılabileceklerinin ortaya çıkmasıyla, önceleri OPTRONİK, günümüzde ise FOTONİK olarak adlandırılan yeni bir bilim dalı doğmuştur.

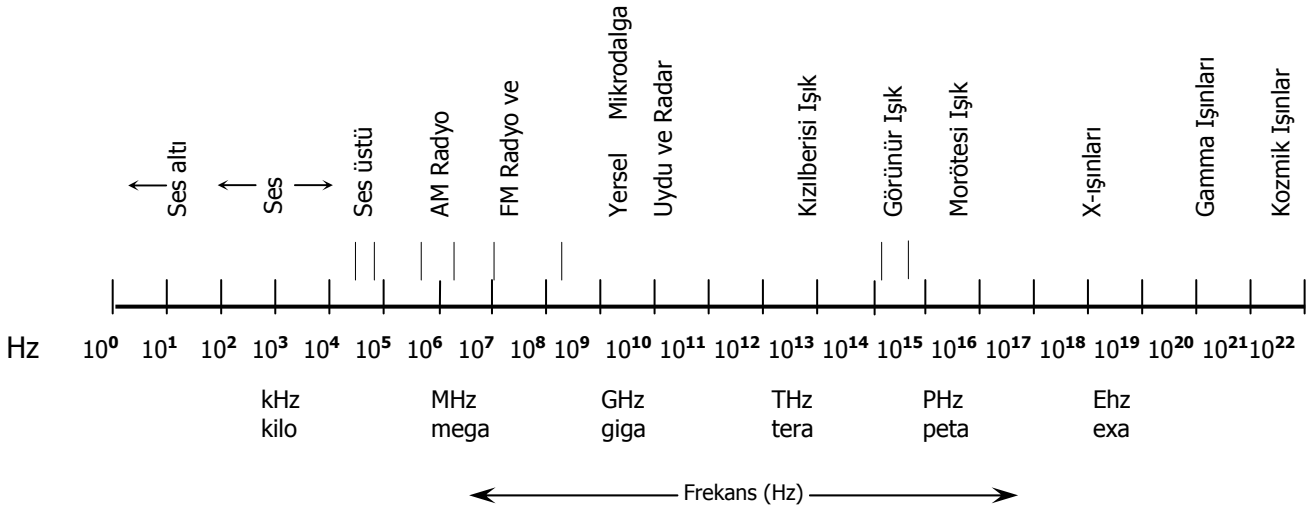
Fotonüğın araştırma ve üretim alanları ucuz enerji üretimi ile sınırlı kalmamış, özellikle haberleşme ve sayısal elektronikte ipleri ele geçirmiştir. Yarıiletken lazer ve fiber-optik ağlar kullanılarak iletişim ve veri aktarımı çok hızlanmış ve ucuzlamıştır. Yine lazer teknolojisinin uzantısı olarak, verileri optik olarak saklayabilecek ortamlar (lazer diskler) kullanıma sunulmuştur. Sayısal elektronüğın günümüzdeki yapısı ve mantığı ile erişilmesi olası olmayan yapay zeka için fotonik tabanlı tezler üretilmeye başlanmış ve endüstriden güçlü destekler bulunabilmiştir.

Yarıiletken tekniğiyle üretilen fotodirenç, fotodiyot, fototransistör, fototristör türü aygıtlar kullanılarak sezme ve denetleme işlemleri ve uyarı sistemleri güvenilir ve duyarlı olarak kurulabilmektedir. Gözle algılanamayan dalgaboyundaki ışık ile çalışılabildiği için güvenlik ve kullanım kolaylığı artmaktadır.

Özetle fotonik, sıvı kristallerden fiber optik kablolar, CD-i, CD-v, CD-r, müzik CDleri ve DVDlerden haberleşme uydularına dek yaşamı kolaylaştıran pek çok buluşa imza atmış, uzay araştırmalarından ABS fren sistemine uzanan yelpazede pek çok ürünün keşfine temel oluşturmuştur. Bütün bu buluşların tek bir ortak noktası vardır: IŞIK.

IŞIK

Algıladığımız tüm enerjilerin temeli *ışım*dır ve bir enerji türünün nasıl algılandığı ve etkileri, yalnızca frekansına bağlıdır. Şekil:1deki çizelgede, frekanslarına göre tüm ışıma türleri sıralanmıştır.



Şekil 1: Işınlamaların frekans tayfı (sıklık izgesi).

Biliyoruz ki ışık da bir enerjidir ve tüm enerji türleri gibi başka enerji biçimlerine dönüştürülebilir. Işığın enerjisi foton –ışılclık, ışıközü– denilen ayırık paketler ile taşınır ve,

$$W = h \cdot f \quad \text{joule}$$

eşitliği ile gösterilir. Burada h , planck sabitidir ve 6.624×10^{-34} joule saniyeye eşittir. Eşitlikten açıkça görülebileceği gibi planck sabiti değişmediğine göre taşınan enerji doğrudan doğruya ışık enerjisinin frekansına bağlıdır. Frekans ise ışığın dalgaboyuna (ardışık tepeler arası uzaklık) şu eşitlikle bağlıdır:

$$\lambda = v/f \text{ metre}$$

Burada λ , metre olarak dalgaboyu,

v , 3×10^8 m/s ışık hızı,

f , hertz olarak ışık dalgasının frekansıdır.

Dalgaboyu genellikle angström (Å) yada mikrometre (μm) olarak ölçülür

$1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ ve $1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{metre}$ dir. Å birimi mühendislik hesapları için standart bir alt değer olmadığından ışığın dalgaboyu için μm yada nm alt değerlerinin kullanılması yaygınlaşmaktadır.

Dalgaboyu, optoelektronik aygıtların üretileceği materyalin belirlenmesinde çok önemlidir. Çünkü her bir elementin ışık enerjisine tepkisi ve ışın salımı, değişik dalgaboyları için değişik değerler almaktadır. Şekil:2deki grafikte, Germanyum, Silisyum ve Selenyumun izgesel yanıtları (spectral responses) verilmiştir. Aynı grafikte görünür ışığın izgesi de verilmiştir.

Grafikte dikey eksen görelî yanıt yüzdesini, yatay eksen de ışınma sıklığını göstermektedir. Göz algısı olarak belirtilen eğri yaklaşık olarak 400 nm ile 700 nm arasını kapsamaktadır. Bu aralıktaki ışınimleri renk olarak algılarız ve tüm aralık bizim için görünür ışığı oluşturur. 440–460nm deki ışınmayı morumsu lacivert, 460–480nm deki ışınmayı mavi, 480–490nm deki ışınmayı yeşilimsi mavi, 490–540nm arasını yeşil, 540–560nm arasını sarımsı yeşil, 560–570nm arasını sarı-yeşil, 570–580nm arasını yeşilimsi sarı, 580–585nm arasını sarı, 585–590nm arasını sarımsı turuncu, 590–600nm arasını turuncu, 600–630nm arasını kırmızımsı turuncu ve 630–720nm arasını da kırmızı olarak algılarız. Gözümüzün en duyarlı olduğu ışınma aralığı, parlak bir yeşile denk düşen 540–570nm dir.

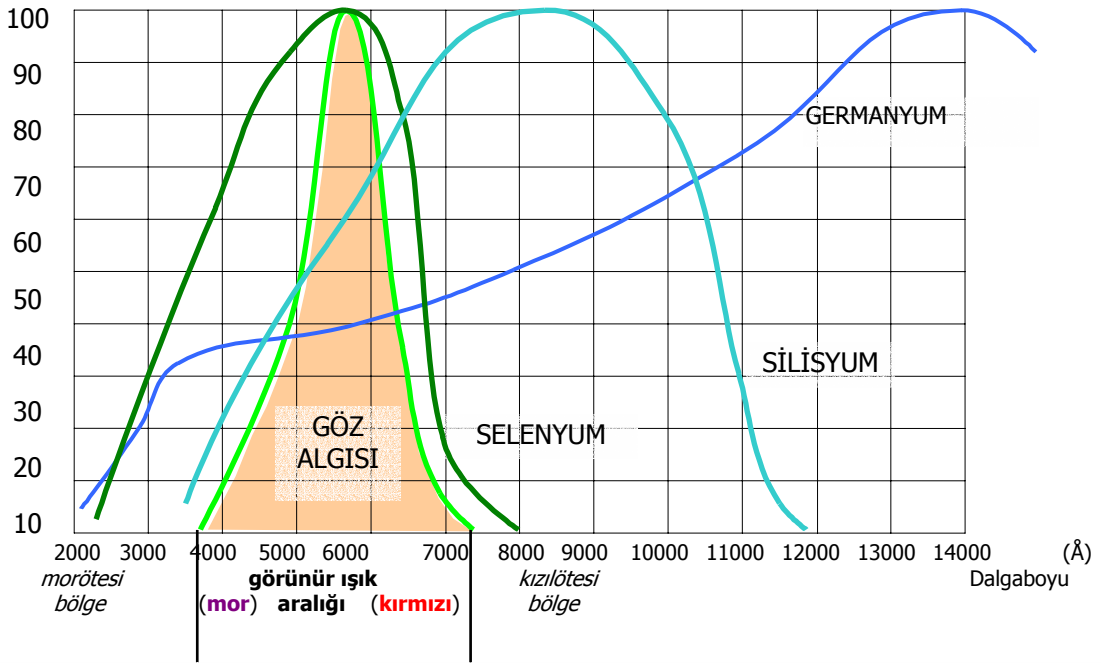
Eğriden görülebileceği gibi görünür ışık alanını en iyi kapsayan yarıiletken Selenyum iken, kızılberisi ve mikrodalga ışınmalarda Germanyum yüksek tepki vermektedir. Silisyum, kızılberisi bölgede ve kısmen de görünür ışık alanında duyarlıdır. Morötesi alanda ise Selenyumun ve biraz da Germanyumun duyarlı olduğu görülmektedir.

Bir yarıiletken materyalde üretilen serbest elektron sayısı, materyal üzerine düşen ışığın yoğunluğu ile orantılıdır. Işık yoğunluğu, belli bir yüzeye düşen aydınlatma akısının ölçüsüdür. Işık akısı yada aydınlatma akısı olarak adlandırılan ışık şiddeti, lümen (lm) yada watt (W) birimlerinden birisi ile ölçülebilir. Bu iki birim arasında şöyle bir dönüşüm bağıntısı vardır:

$$1 \text{ lm} = 1.496 \times 10^{-10} \text{ W}$$

Uluslararası standartlarda ışık akısı için lümen yerine watt kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Işık yoğunluğu da lm/ft^2 , foot-candle (fc) yada W/m^2 olarak ölçülür. Bu birimler arasındaki bağıntı da şöyledir:



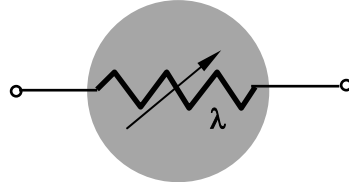
Şekil 2: Bazı yarıiletkenlerin izgesel yanıtları ve görünür ışık izgesi.

$$1 \text{ lm/ft}^2 = 1 \text{ fc} = 1.609 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Işık akısındaki benzer biçimde ışık şiddetinde de W/m^2 birimi standartlaşmıştır.

FOTOİLETKEN GÖZLER-(LDRler)

Fotoiletken göz, direnci, üzerine düşen ışık yoğunluğu ile doğrusal olarak değişen iki uçlu bir yarıiletken aygıttır ve fotodirenç olarak da adlandırılır. Aygıtın elektriksel simgesi Şekil:3te gösterildiği gibidir.



Şekil 3: Fotoiletken göz –fotodirenç– simgesi.

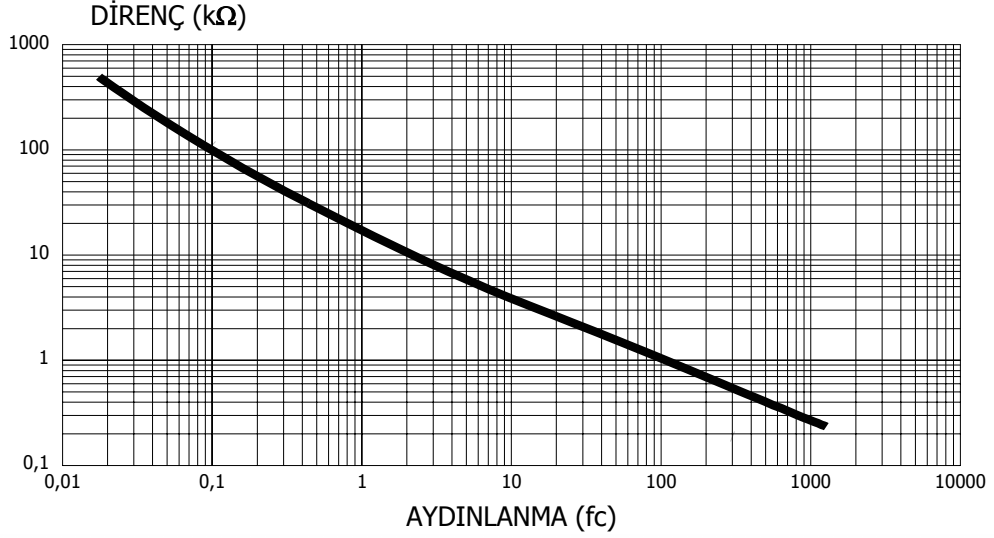
En yaygın kullanılan fotoiletken malzemeler, kadmiyum sülfid (CdS) ve kadmiyum selenid (CdSe) içerenlerdir. CdS' in en yüksek tepkisi 5100\AA (510nm), CdSe' inki de 6150\AA (615nm) dalgaboyunda oluşur. Yanıt süresi CdS aygıtlarda 100 ms, CdSe aygıtlarda da 10 ms olarak ölçülür.

Fotodirençte diğer yarıiletken aygıtların tersine hiç bir kavşak (junction) yoktur. Yarıiletken malzeme ince bir katman olarak bir yüzeye, enaz yüzey alanında en çok direnci oluşturabilmek için sarmal yada yılankavi biçimde sıvanır. Bu yarıiletken direncin uçlarına terminaller bağlandıktan sonra, yarıiletken malzeme ışık alacak biçimde kılınır.

Aygıta düşen ışığın yoğunluğu arttıkça, foton (ısılcık, ışıközü) paketleri ile atomik yapıya ulaşan enerji artacağından giderek daha fazla sayıda elektronun da enerji düzeyleri artacaktır. Bunun sonucu olarak malzeme içindeki serbest elektron sayısı artarak uçlar arası direnç azalır.

Ortalama bir fotodirencin ışık yoğunluğuna bağlı olarak direnç değişimi, Şekil:4teki eğride görülmektedir. Değişim eğrisi log-log ölçekle çizilince doğrusal görünür ve geniş bir değişme aralığına ($1\text{M}\Omega \sim 100\Omega$) sahiptir.

Doğrusal nitelikli olmamaları nedeniyle fotoiletken gözler, kıyıcı (chopping) devrelerde çok yaygın olarak kullanıldılar. Şimdi bu amaçla dizey olarak tasarılanmış LDR panelleri, aynı boyut ve hızda dizilmiş IRED paneller ile birlikte



Şekil 4: Ortalama bir fotodirencin ışık–direnc değişim karakteristiği.

kullanılmaktadırlar.

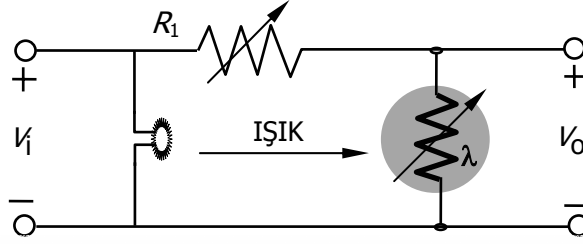
Çok küçük boyutlarda ve ucuza üretilebildikleri için kadmiyum sülfid ve kadmiyum selenid fotodirençler, ışık ölçme devrelerinde ve özellikle taşınabilir pozometrelerde çok yaygın kullanılırlar.

Fotoiletken gözler dışardan bir güç kaynağı gerektiriyor olsalar da, ışılgirilimsel (fotovoltaic) türlere göre 1000 kat daha duyarlı olmaları nedeniyle çoğu uygulamada yeğlenirler.

Pahalı olmadıkları için bir çifti sıcaklık kompanzasyonu amacıyla bir Wheatstone köprüsü yapısında kullanılabilirler. Bu tür kullanımda LDRlerden birisi ışıktan tümüyle ekranlanır ve direnc, yalnızca çevre sıcaklığına bağlı olarak değişir.

Kadmiyum fotoiletken gözlerin en önemli sakıncası ise çok güçlü bir aydınlanmaya maruz bırakıldıklarında (doyum), bir "bellek" göstermeleri ve gerçek karanlık direncine saatler sonra dönebilmeleridir. Bu sorun nedeniyle çok yüksek ışık akılarında çalışmaz ve her bir LDR için bir aydınlanma üst sınırı belirlenir.

Aygıtın oldukça basit ama ilginç bir uygulama devresi de Şekil:5te görülüyor. Bu devrenin amacı V_i , belli bir değer aralığında dalgalansa da V_o değerini sabit

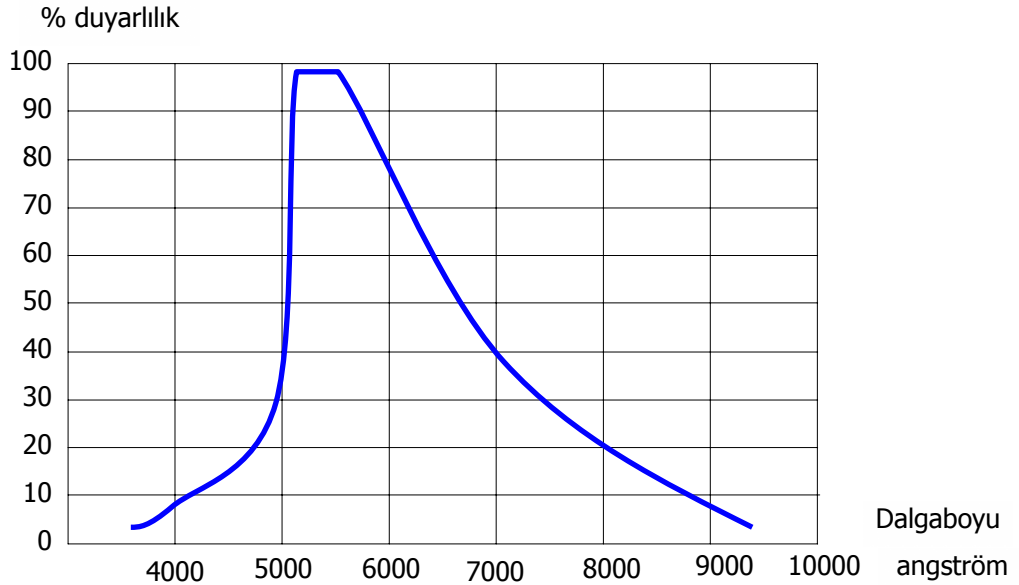


Şekil 5: Fotoiletken göz –fotodirenç– kullanılan bir gerilim regülatörü.

tutmaktır. Şekilde görüldüğü gibi devre fotodirenç, lamba ve potansiyometreden oluşmuştur. V_i herhangi bir nedenle azaldığında, lambanın parlaklığı da azalacaktır. Aydınlanmanın azalmasıyla LDRnin direnci R_λ artar ve V_o geriliminin değişmesini önler. Devrenin çalışma ilkesi, gerilim bölücü eşitliğine dayanmaktadır. Çıkış

geriliminin değeri $V_o = \frac{R_\lambda V_i}{R_\lambda + R_1}$ eşitliğine bağlıdır.

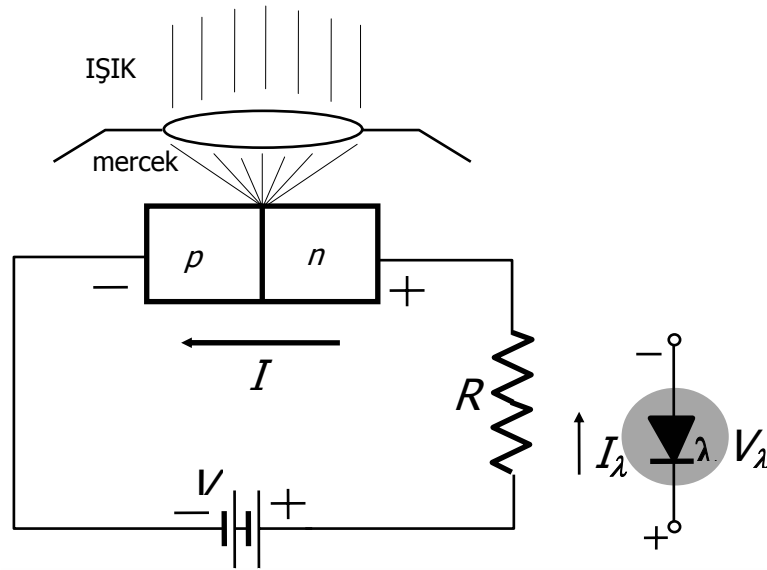
Şekil:6da bir fotodirencin üzerine düşen ışığın dalgaboyu ile duyarlılığı arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6: Ortalama bir CdS fotodirencin dalgaboyu–duyarlılık karakteristiği

FOTODİYOTLAR

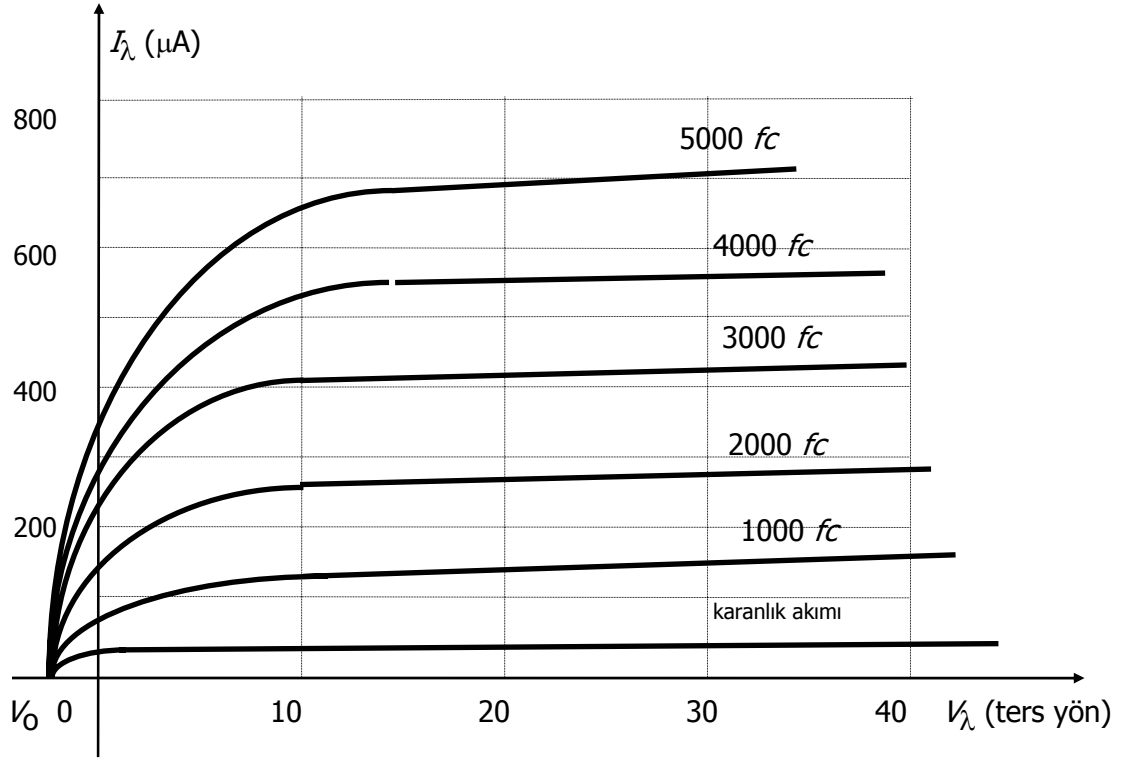
Fotodiyot, yalnızca ters polarma bölgesinde çalıştırılan bir yarıiletken elemandır. Fotodiyot için kullanılan temel polarmalandırma yöntemi, devresi ve fotodiyot simgesi aşağıda Şekil:7de verilmiştir. Aynı çizimde, ortam ışığının kavşak üzerinde yoğunlaştırılması için kullanılan mercek düzeni de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7: Fotodiyot polarmalandırması, devresi ve simgesi.

Bilindiği gibi diyotların ters yön akımları normalde bir kaç mikroamper ile sınırlıdır. Bu sızıntı akımı yalnızca n ve p türü malzemelerde ısıl olarak üretilen azınlık taşıyıcılara bağlıdır. Bir diyodun birleşim yüzeyine ışık uygulandığında, ışık dalgalarıyla fotonlar biçiminde taşınan enerji, atomik yapıya girerek azınlık taşıyıcı üretimini artırır ve bunun sonucu olarak ters yön akımı yükselir.

Ters yön akımının uygulanan ışık şiddeti ile değişimi Şekil:8deki grafikte açıkça görülmektedir. Grafikte karanlık akımı olarak adlandırılmış eğri, hiçbir aydınlatma bulunmuyorken geçen sızıntı akımını göstermektedir ve normal bir diyodunkine yakın değerlerdedir. Eğriler incelenirse ters yön sızıntı akımının ancak bir miktar doğru yön gerilim uygulandığında sıfıra indiği görülecektir. Ters yön sızıntı akımını sıfırlayan ileri yön gerilim değeri V_0 olarak adlandırılır.

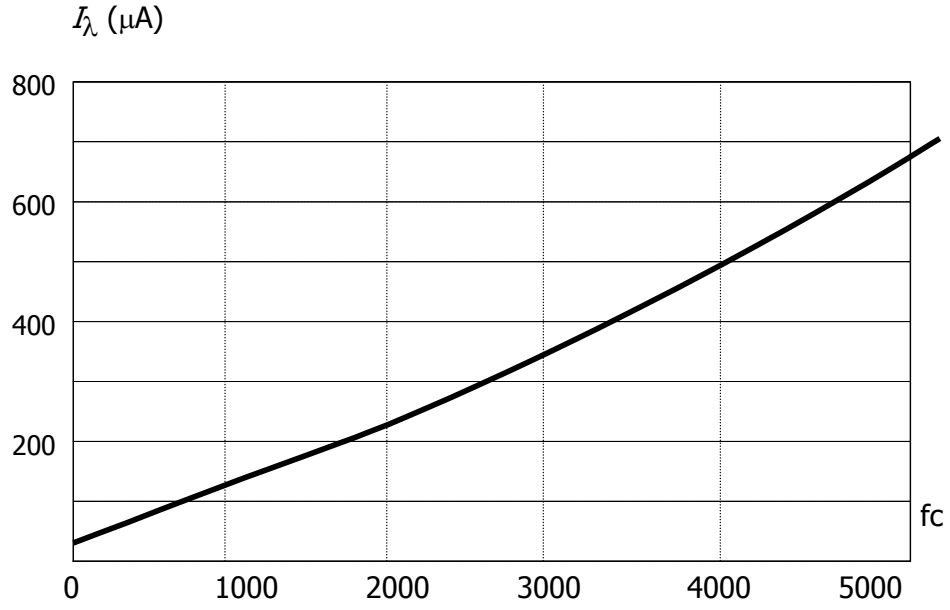


Şekil 8: Işık şiddetine bağlı fotodiyot akım değişim eğrileri.

Eğriler arasındaki uzaklıkların neredeyse eşit olmaları, ters yön akımı ile aydınlanma akısı arasında hemen hemen doğrusal bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Yani ışık akısındaki bir artış, ters yön akımında da benzer bir değişim yaratacaktır.

Işık akısı ile ters yön akımının sabit bir gerilim altında ölçülmeleri ile elde edilen $I_\lambda - f_c$ eğrisi Şekil:9da görülmektedir.

Bu karakteristikte ters yön akımı ile ışık akısının $V_\lambda = 20$ V altında, birbiri ile ilişkisi verilmiştir. Göreceli olarak bakınca, ışık yokken geçen akımın sıfır olduğunu varsayabiliriz.



Şekil 9: Sabit polarma gerilimi altında ışık akısına (f_c) bağlı olarak ters yön akımı (I_λ) değişimi.

Fotodiyodun yükselme ve düşme süreleri (durum değiştirme değiştirgenleri) çok küçük (nanosaniyeler düzeyinde) olduğundan, aygıt yüksek hızlı sayma ve anahtarlama uygulamalarında rahatlıkla kullanılabilir.

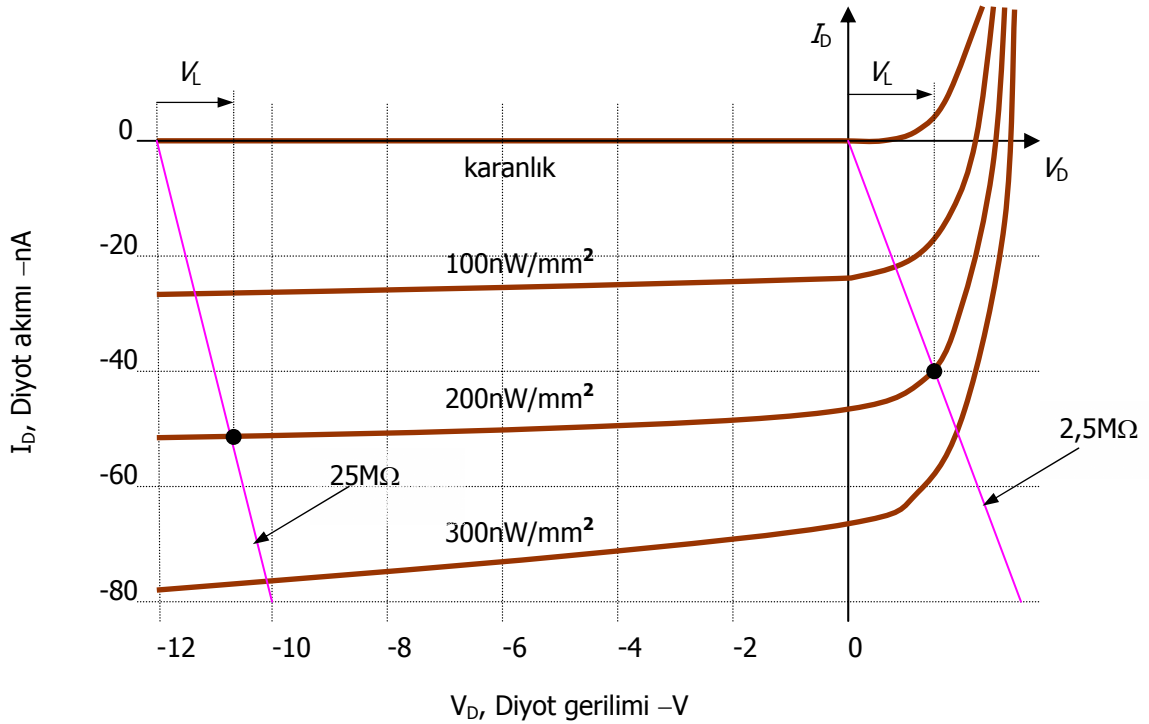
Şekil:2den anımsanacağı gibi Germanyumun dalgaboyu aralığı silikondan daha geniş ve bu nedenle Germanyum, kızılötesi bölgede IR kaynaklar yada laser aygıtlar ile sağlanan ışığı kullanan uygulamalar için çok uygundur.

Germanyumun karanlık akımı silikondan daha yüksek olmakla birlikte, ters yön akımı da daha fazla olduğu için yaygı olarak kullanılmaktadır.

Fotodiyodun üzerine düşen ışık nedeniyle ürettiği akımın düzeyi, doğrudan denetim amaçlarıyla kullanılamayacak kadar düşüktür. Bu nedenle fotodiyot, mutlaka akımını yükseltecek bir devre ile kullanılır.

Yaygın olarak kullanılan pn türü diyot yapısından başka bir de pin (positive-intrinsic-negative) diyot yapısı vardır. Bu tür yapıda bilinen pn kavşağı oluşturmak yerine, çok yüksek dirençli bir silisyum dilimin bir yüzüne p -türü diğer yüzüne de n -türü malzemeler ince birer katman olarak eklenir. p ve n malzemeler arasındaki yüksek dirençli malzemeye intrinsic region yada i -katmanı denir.

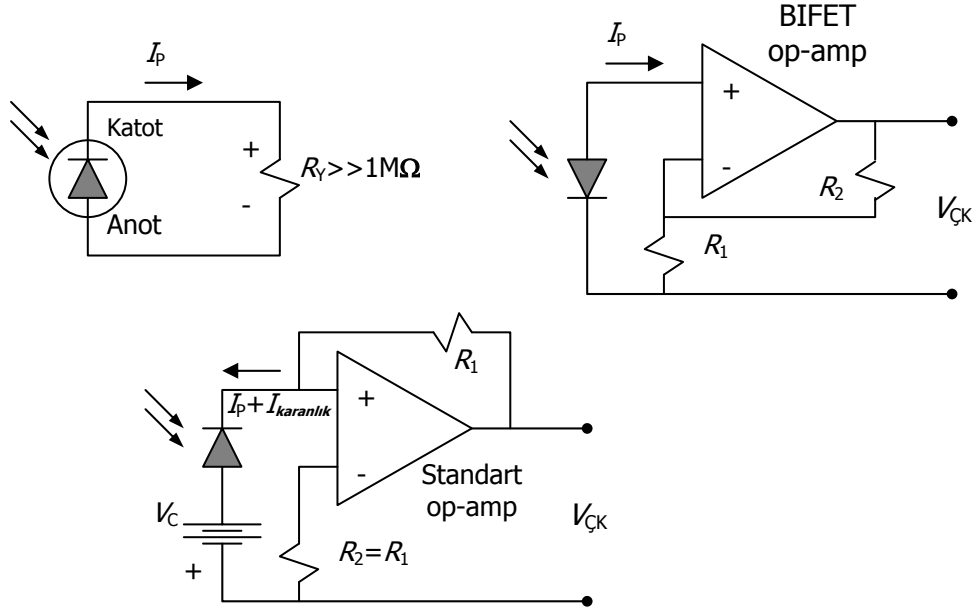
Silisyum düzlemsel PIN diyotlar, görünür ve kızılberisi ışıma için çok hızlı sezicilerdir. Mavi ve mor yanıtları da çok üstündür. Bu tür sezicilerin yanıt hızı 1ns ve altındadır. Özellikle laser vurumları ile kullanılmaya uygun aygıtlardır. Bant genişlikleri dc den 1Ghz ye dek uzanmaktadır. Genellikle pikoamperler düzeyindeki karanlık akımları nedeniyle önemsenmeyecek ve hatta kolayca ölçülemeyecek derecede az gürültü üretirler. Bu nedenle ışık lifleri ile kullanılmaya da çok uygundurlar.



Şekil 10: PIN diyodun elektriksel karakteristikleri.

Şekil:10da PIN diyodun elektriksel karakteristikleri gösterilmiştir. Bu eğrilerden anlaşılacağı gibi PIN diyot, ışılgерilimsel bir aygıt olarak çalıştırılabilir (sağda 2,5MΩ yük eğrisi). Bu durumda aygıt üzerine düşen ışığın şiddeti ile değişen miktarda bir gerilim oluşur. Bu çalışma kipinde dışarıdan bir öngerilimlendirme gerekmez ve fotodiyot, üzerine ışık düştüğünde yük uçlarında bir gerilim oluşturur. Bu ışılgерilimsel çalışma, seçilen yük direnci değerine bağlı olarak, doğrusal yada logaritmik olabilir. Yük direnci çok yüksek (<10MΩ) seçildiğinde logaritmik çalışma sağlanır. FET yada BI-FET girişli bir işlemsel yükselteç ile bu yük direnci değeri sağlanabilir. Yükseltecin giriş direnci çok yüksek olduğunda kazancı $1+R_2/R_1$ olur. Bu tür yükselteçlerin yanıt hızı 0,1s dolayındaki zaman değişmezi nedeniyle çok düşüktür. Yüksek hız isteniyorsa logaritmik yükseltecin önünde doğrusal bir

yükselteç kullanılmalıdır. PIN fotodiyotların çalışma kiplerini açıklayan temel uygulama devreleri, Şekil:11de gösterilmiştir.



Şekil 11: PIN fotodiyodun işletim kipleri ve temel devreleri.

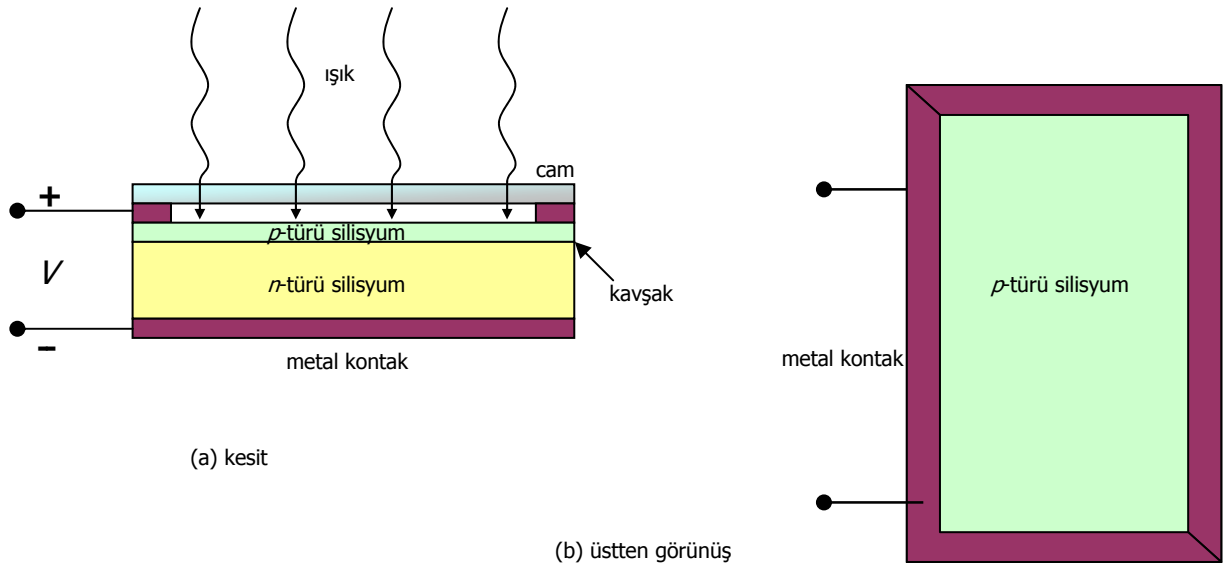
PIN fotodiyodun daha yaygın olan kullanım kipi *pn* fotodiyotta olduğu gibi ters yön gerilimi kullanılan ışılakım (photocurrent) yada ışıliiletkenlik (photoconductivity) kipidir. Bu çalıştırma yönteminin en belirgin sakıncası, ters yön gerilimine bağlı olarak geçen karanlık akımıdır. Bu akım, diyot üzerine hiç ışık geçmiyorken geçen bir akımdır ve doğrusal çalışmayı güçleştirir. Doğrusal çalışmaya yaklaşmak için yük direnci değeri olabildiğince düşük seçilmelidir. Şekil:7de bu biçimde çalışan tipik bir yükselteç devresi verilmiştir. Yükseltecin eviren girişi sanal topraktır ve fotodiyodun devinik (ac, dynamic) direnci, R_1 /kazanç değerine eşittir. Bu devrede girişteki optik işarete yanıt, çıkışın pozitif yükselmesi ile verilir. Fotodiyodun ve kaynağın ters çevrilmesi ile devre yanıtı da negatife değiştirilebilir. Devrenin çıkış gerilimi,

$$V_o = R_1(I_p + I_{karanlık})$$

eşitliği ile bulunur. Yanıt hızı büyük miktarda artmıştır ve şimdi yükseltecin hızıyla sınırlıdır.

GÜNEŞ PİLLERİ

Son yıllarda alternatif enerji kaynaklarına duyulan gereksinimin tırmanması ile güneş pillerine duyulan ilgi ve yapılan yatırım hızla ilerlemektedir. Deniz düzeyinde güneşten alınan enerjinin 100mW/cm^2 (1kW/m^2) olduğu düşünülürse, bu enerjinin en verimli biçimde dönüştürülmesi için yapılacak her çabanın anlamlı olduğu görülecektir.

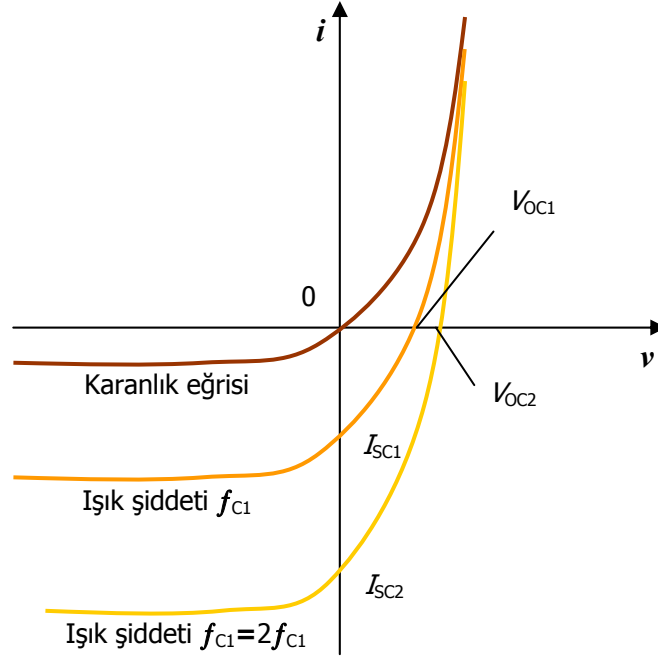


Şekil 12: Güneş pilinin kesiti ve üstten görünüşü.

Silisyum $p-n$ kavşaklı bir güneş pilinin temel yapısı Şekil:12de gösterilmektedir. Üstten görünüşten de anlaşılacağı gibi, güneşe dik olarak en büyük yüzey alanının sağlanması için gereken her şey yapılmıştır. Ayrıca, kavşak bölgesine en fazla sayıda ışık fotonu ulaşabilmesi için, p -türü malzemeye bağlı metal iletkenin eni olabildiğince dar ve p -türü malzemenin kalınlığı son derece ince tutulmuştur.

Kavşak bölgesine erişen bir ısılcık, değerlik elektronlarından birisi ile çarpışarak, ona, atomundan ayrılacak kadar erk aktarabilir. Bu çarpışmalar sonucu kavşağın her iki

yanında da serbest elektron ve oyuklar üretilir. Üretilen bu elektron ve oyuklar azınlık taşıyıcılardır ve kolayca kavşağın öbür yanına geçebilirler. Böylece ışık şiddetine bağlı olarak artan bir ters yön akımı oluşur. Bu akımın değişim eğrisi Şekil:13de gösterilmiştir.

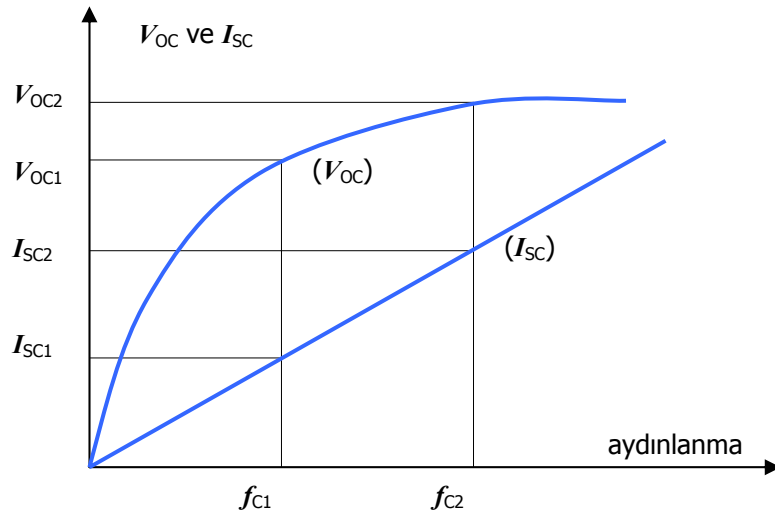


Şekil 13: Güneş pili için ışık yeğİnliğıne göre kısa devre akımı ve açık devre gerilimi değışim eğrileri.

Dikey eksenin her noktasında $V=0$ olduğundan, bu eksen üzerindeki akım değerleri kısa devre akım değerleridir ve I_{SC} yazımı ile gsterilirler. Açık devre koşullarında yani aygıt akımı yok iken ($i_d=0$), V_{OC} ışılgerilimsel (photovoltaic) gerilimi elde edilir. Bu gerilim Şekil:14teki grafikte görüldüğü gibi aydınlanmanın logaritmik bir işlevi olarak değışmektedir. V_{OC} aygıtın uçlarında bir yük bağlı değışken görülen açık devre gerilimidir. Aynı grafikte verilen kısa devre akımı ise aydınlanma ile doğrusal değışmektedir. Buna göre aydınlanma miktarı iki kat arttığında akım da iki kat artacaktır. Bu aydınlanma aralığında V_{OC} değışimi ise çok az olmaktadır. V_{OC} deki artışın çoğu, aydınlanmanın artmaya ilk başladığı zamanda oluşur. Özet olarak ışık yeğİnliğınin giderek artırılması, pil geriliminde belirgin bir artış yaratmayacak ancak çekilebilecek akım doğrusal olarak artacağı için aygıtın sağlayabileceğı güç miktarı da aydınlanma ile doğrusal olarak artacaktır.

Güneş pillerin üretimi için en yaygın olarak kullanılan selenyum ve silisyum malzemeler yanında, galyum arsenür, indiyum arsenür ve kadmiyum sülfür gibi pek

çok başka yarıiletken de kullanılmaktadır. Selenyum, dalgaboyu izge tepkisi görünür ışık dalgaboyu aralığını tam ve en iyi olarak kapsadığı için, fotoğraf ve film stüdyolarındaki ışık ölçme aygıtlarının sezicilerinin üretiminde en yaygın olarak kullanılan yarıiletkendir. Silikonun kapsama aralığı görünür ışıktan kızılberisi bölgeye bir miktar kaysa da, yüksek dönüştürme verimi, yüksek kararlılığı ve yorgunluğunun (fatigue) düşük olması nedenleriyle çok yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Selenyum ve silisyumun sıcaklık karakteristikleri çok iyidir. Çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklarda bile verimleri önemli miktarda azalmaz.



Şekil 14: Güneş pili için aydınlanmaya göre akım ve gerilim değişimleri.

Şekil:14te, bir güneş piline düşen ışık yeğniliğinin değişimine göre, elde edilen akım ve gerilim değerleri gösterilmiştir. Bu grafikte sc kısa devre, oc açık devre değerlerini belirtmektedir. Kısa devre akımı, pil uçlarına doğruca ampermetre bağlanarak, açık devre gerilimi de pil hiç yüklenmeden alınan değerlerdir. Buna göre, karanlık ortamda pil gerilimi ve akımı sıfır iken, aydınlanma artışıyla gerilim değeri hızla artmakta, ışık yeğniliğinin artışıyla pek değişmemektedir. Oysa pil akımı ışık yeğniliğindeki artış ile doğrusal bir değişim göstermektedir. Bu özellikleri nedeniyle güneş pilleri, akım kaynağı olarak nitelenebilirler.

Güneş pilleri, optik elektroniğe yapılan araştırma yatırımının lokomotifidir. Ucuz bir alternatif enerji kaynağından yüksek verimle yararlanabilmek amacıyla en hızlı ve önemli gelişmeler bu aygıtlarda yapılmaktadır.

Güneş pillerinden elde edilen gerilim, aygıtın üretilmesinde kullanılan malzemeye bağlı olmakla birlikte 1,5~1,7V kadardır. Buna karşın pillerin ardıl ve koşut bağlanmaları ile oluşturulan dizilerle istenilen gerilim ve akım değerlerine erişilebilmektedir.

Lockheed Missiles and Space Company, uzay mekiği için geliştirdiği dev güneş pili kanadı için, National Aeronautics and Space Administration (NASA) tarafından ödüllendirilmiştir. Söz konusu kanat açıldığında 411×3200cm boyutlarına erişen ve her birinde 3060 silisyum güneş pili olan 41 panelden oluşmakta ve 12.5kW güç üretebilmektedir.

Bir güneş pilinin çalışma verimi, elde edilen elektrik çıkış gücünün, ışık kaynağınca sağlanan güce bölünmesi ile bulunur. Buna göre verim,

$$\eta = \frac{P_{O(\text{elektriksel})}}{P_{I(\text{ışıkenerjisi})}} \times 100\% = \frac{P_{\max(\text{aygıt})}}{(cm^2 \text{ olarak alan})(100mW / cm^2)} \times 100\%$$

eşitlikleri ile hesaplanabilir.

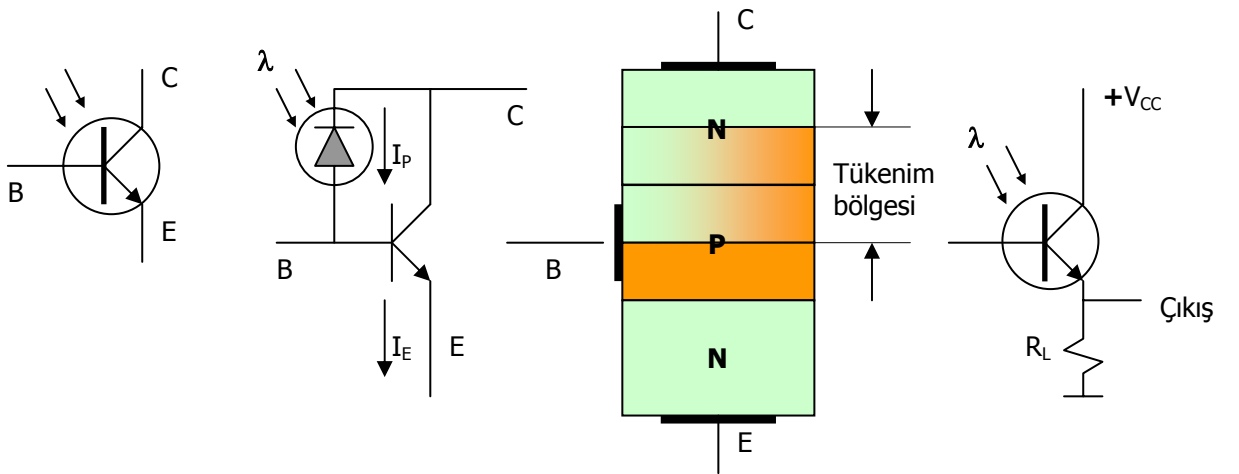
Güneş pillerinde en önemli nokta dönüştürme verimidir ve bu konudaki gelişme son derece hızlıdır. Dönüştürme veriminde %6 dolayındaki değerlerden, %30lara, hatta kuramsal olarak ve laboratuvar koşullarında %40ları aşan değerlere erişilmiştir.

FOTOTRANSİSTÖRLER

Fototransistör, kollektör-beyz kavşağı ışığa duyarlı bir etkin devre elemanıdır. Bu transistörün beyz akımını, fotoelektrik etkilerle yaratılan akım oluşturur.

Fototransistörün yapısı bilinen *npn* ve *pnp* bipolar transistörlerden pek farklı değildir. Yalnızca beyz-kollektör kavşağında ışılgirilimsel etkiyi artırmak ve ağıta bazı özellikler eklemek için değişik doping (katkı) malzemesi kullanılmıştır. Bilindiğı gibi değişik doping malzemesi kullanılsa bile yarıiletken kavşağı ışık düşmesi ile azınlık taşıyıcılar yaratılmakta ve bir ters yön akımı oluşmaktadır. Ancak daha verimli ve kararlı bir çalışma için ağıt yapısında bazı değişiklikler yapılmaktadır. Şekil:15te bir foto transistörün simgesi, eşdeğer devresi, iç yapısı ve temel çalışma devresi verilmiştir.

Beyz ucu kılıf dışına çıkarılmış olan fototransistörlerin duyarlılıkları, beyze uygulanan



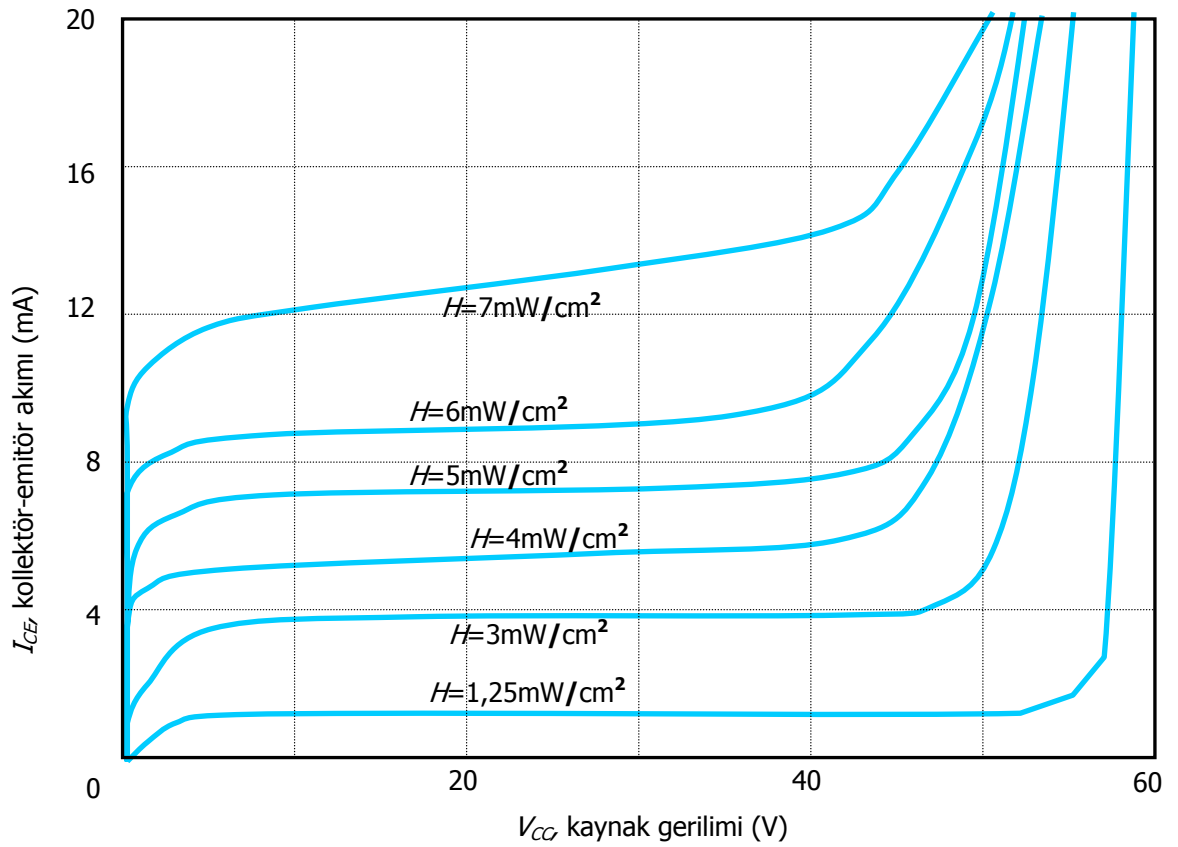
Şekil 15: Fototransistör simgesi, eşdeğer devresi, iç yapısı ve temel devresi.

öngerilim ile değiştirilebilir. Fototransistörün yanıtı h_{fe} , sıcaklık ve öngerilim değerine bağlı olarak değişebilir. Yüksek duyarlılık için yüksek bir h_{fe} ve geniş bir kolektör beyz kavşak alanı gereklidir.

İşilelektriksel beyz akımını I_λ ile gösterirsek kolektör akımı,

$$I_C \cong h_{fe} I_\lambda$$

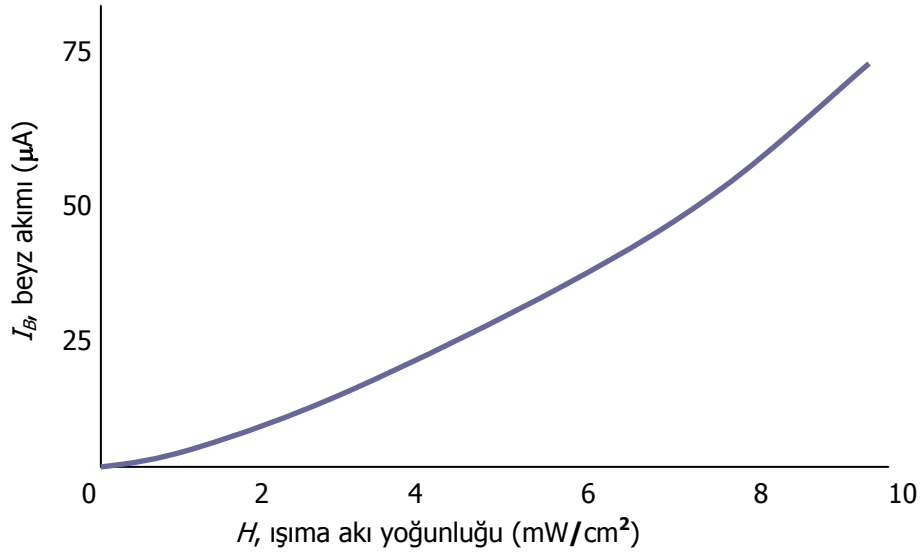
eşitliği kullanılarak yaklaşık olarak hesaplanır.



Şekil 16: Aydınlanma çokluğuna göre fototransistör kolektör belirtkenleri.

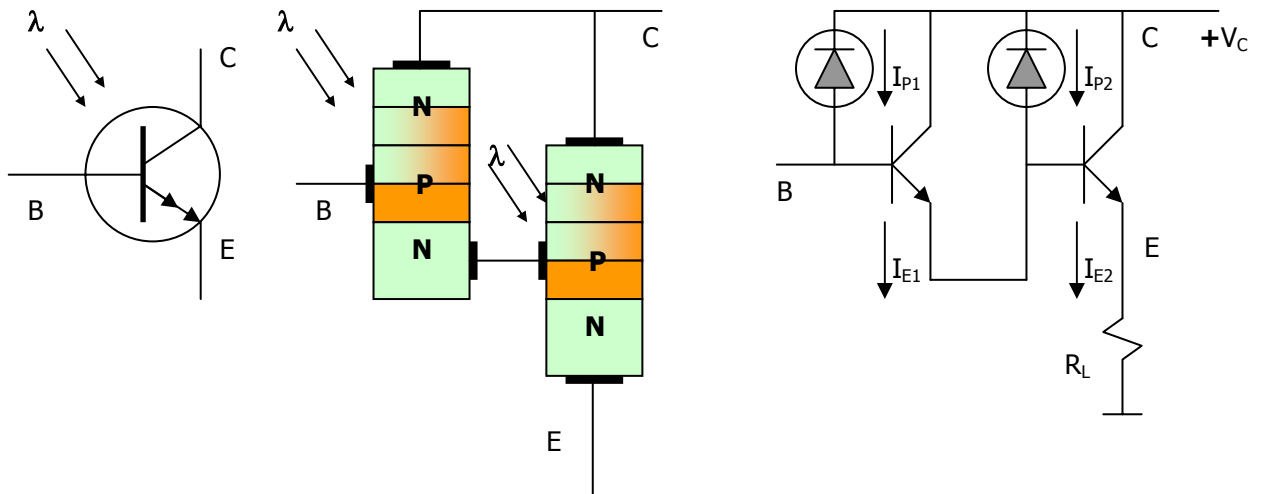
Şekil:16da bir fototransistörün kolektör karakteristikleri gösterilmiştir. Bu eğriler transistör çıkış karakteristiğine çok benzerdirler. Beklendiği gibi kolektör akımı ışık şiddeti ile artmaktadır.

Işık yoğunluğu birimi mW/cm^2 nin daha iyi anlaşılması için Şekil:17da ışık akısı yoğunluğu ile beyz akımı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Görüldüğü gibi ışık akısının artışı ile, beyz akımı üstel olarak yükselmektedir.



Şekil 17: Fototransistöre düşen ışık miktarı ile beyz akımı arasındaki ilişki.

Fototransistörlere benzer olarak fotodarlingtonlar da üretilmiştir ve daha yüksek akım kazancı gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Şekil:18de bir fotodarlingtonun simgesi, iç yapısı ve eşdeğeri görülmektedir.



Şekil 18: Fotodarlington simgesi, iç yapısı ve eşdeğer ve temel çalışma devresi.

Fotodarlingtonun emitör akımı,

$$I_{e2} = I_{p1} \cdot (h_{fe1}) \cdot (h_{fe2}) + I_{p2} \cdot (h_{fe2})$$

eşitliğine bağlıdır. $I_{e2} \gg I_{p2}$ olduğundan,

$$I_{e2} \cong I_{p1} \cdot (h_{fe1}) \cdot (h_{fe2})$$

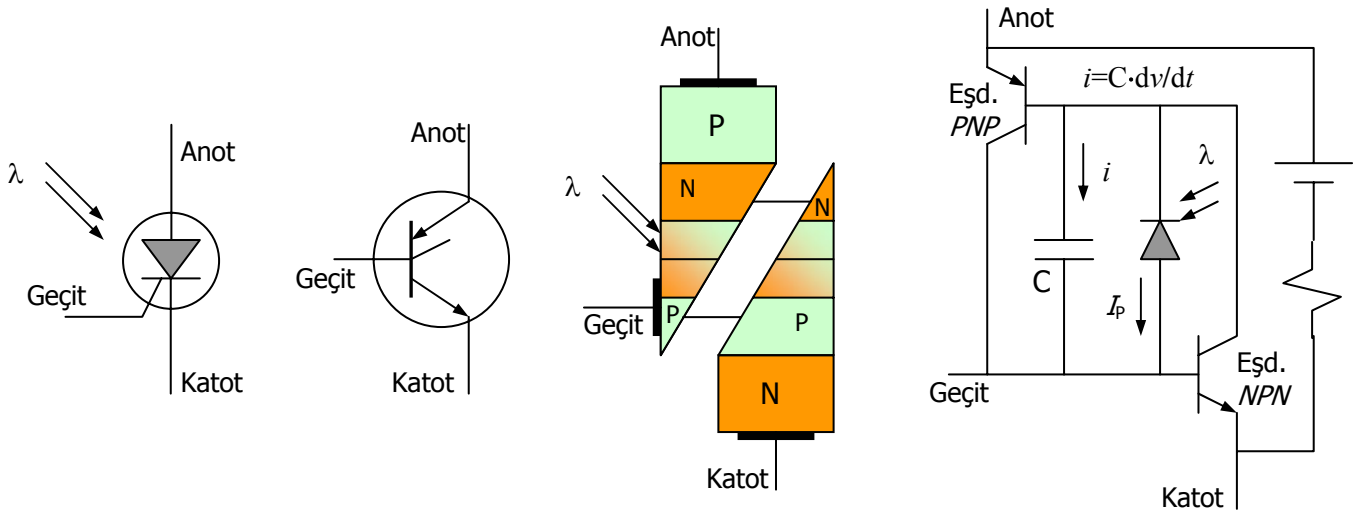
yazılabilir. Burada I_e emitör akımı, I_p kavşakta yaratılan foton akımı ve h_{fe} de transistörlerin dc akım kazancıdır.

Duyarlılığı en yükseğe çıkarmak için foton ile oluşmuş akımın I_{p1} içindeki oranı olabildiğince büyük olmalıdır. Bunu sağlamak için diyot, yarıiletken topağın (pellet) en üstünde ve geniş bir yüzeyde oluşturulur.

Düşük ters yön gerilimlerinde, kısa ve uzun dalgaboyu yanıtlarının (hem UV hem de IR) optimizasyonu için pn yerine pin diyot yapısı yeğlenir.

FOTOTRİSTÖRLER (LASCR)

pnpn aygıtların bir başka türü olan FotoSCRler, çoğu kaynakta light-activated SCR (ışık-etkinlikli Yarı İletken Doğrultucu) olarak adlandırılır ama genel olarak piyasada fototristör olarak bilinir. Bu aygıt, adından da anlaşılacağı gibi geçit kavşağına düşen ışık ile tetiklenen bir tristördür. Optik elektronik alanında güç denetim devreleri için sıklıkla kullanılan LASCRlerin simgeleri, iç yapısı ve eşdeğer devresi Şekil:19da verilmiştir.



Şekil 19: Fototristörün (LASCR) simgeleri, iç yapısı ve eşdeğer devresi.

Ters kutuplanmış *pn* kavşağında (tükenim bölgesi) oluşan foton akımı I_p , *nnpn* transistörü sürerek anahtarlama sürecini başlatır. Fotodiyot akımı çok küçük olduğu için LASCR, çok düşük geçit akımları ile tetiklenecek biçimde üretilmelidir. Bu denli duyarlı üretildiği için fototristör, ışıktan başka, iç akımında değişiklik yaratacak her etkiye karşı duyarlıdır. Sözelimi sıcaklık, uygulanan gerilim ve gerilimin değişim hızı (dv/dt , sıklık), LASCR karakteristikleri üzerinde önemli etkiler oluşturabilirler.

Fototristörleri diğer tristörlerden ayıran bir başka özellikleri de turn-off sürelerinin daha uzun oluşudur. LASCRler ışıkla olduğu gibi, uygulanabilecek bir geçit akımı ile de tetiklenebilir. Ayrıca geçit kutuplandırma gerilimi değiştirilerek duyarlılık eşiğinin değiştirilmesi de olasıdır. Bu düzenleme genellikle geçit ile katot arasına eklenen bir direnç yardımı ile yapılır. Eklenen direnç değerine bağlı olarak duyarlılık değişecektir. Geçit-katot arasında bir direnç yok iken duyarlılık en yüksek değerindedir.

Piyasadaki fototristörler görece düşük akım değerlidir (2A ve aşağısı) ve uygulamada yüksek güçlü aygıtları, genellikle de başka bir tristörü sürmek için kullanılırlar.

YAYICILAR

Tungsten, flüoresan, neon, ksenon lambalar gibi pek çok ışık kaynağı vardır. Bunların özellikleri ve çalışma ilkeleri bilinmektedir. Bilinen konvansiyonel kaynaklara göre nispeten yeni bir ışık kaynağı da LED (Light Emitting Diode–Işık Yayan Diyot) olarak bilinmektedir. Katılarda elektrolüminesans (elektriksel ışıltama) olgusu yıllardır bilinen ve üzerinde çalışılan bir konudur. Elektrolüminesansın en çok kullanılan ve bilinen uygulamaları osiloskop ve TV ekranlarıdır. Katotlülüminesans olarak bilinen bu elektriksel ışıltama türünde yüksek enerjili elektronlar CRT ekranının iç yüzündeki fosfor tabakasına çarparak ışıltama yaratırlar.

Diğer elektrolüminesans türü ise *pn* kavşak elektrolüminesansıdır ve tümüyle değişik bir teknolojiyi kapsamaktadır. Uygun malzeme ile uygun miktarda dopinglenmiş yarıiletken malzemeden doğru akım geçirilmesi durumunda temel malzeme ve katkı malzemesine bağlı olarak değişen bir dalgaboyunda ışıma yayımlanır. Bu bir *pn* birleşimli diyot olan LEDin çalışma ilkesidir. Yayılan ışıma, elektromanyetik spektrumun görünür yada görünmez bölgesinde yer alabilir.

Yarıiletken ışık kaynakları, elektromanyetik spektrumun morötesi bölgesinin yakın ucundan kızılberisi bölgesinin uzak uçlarına dek çok geniş bir dalgaboyu aralığında üretilebilirler. Bu dalgaboyu aralığı yalnızca günümüzün üretim olanakları ile sınırlıdır. Kuramsal olarak herhangi bir dalgaboyunda ışıma üretilebilir.

Tayfsal ışıma iki temel kısma ayrılabilir: eşevreli –coherent– ışık ve eşevresiz –noncoherent– ışık.

Eşevresiz ışıma, yayımlanan ışık dalgaları aynı fazda olmadığından, yalnızca IRED yada LED üretiminde kullanılabilir. Eşevreli ışıma ise, Laser ışık üretiminde kullanılır. Çünkü yayımlanan ışık dalgaları aynı fazda ve çok dar bir dalgaboyu aralığındadır.

Bir yarıiletken malzemenin bir bölgesi verici –donor– ve komşu bir bölgesi de alıcı –acceptor– atomlarla dopingleyerek bir pn kavşağı yaratılabilir.

Bu kavşak uçlarına dışarıdan doğru yönde bir kutuplama gerilimi uygulandığında, p -türü malzemedeki oyukları n -türü malzemeye ve n -türü malzemedeki serbest elektronları da p -türü malzemeye geçiren bir bias (eğimleme) akımı oluşur. Bu geçiş sırasında kavşak bölgesindeki birleşme nedeniyle açığa çıkan enerjinin bir bölümü ısı ve bir bölümü de ışık olarak yayılır. Isı/ışık oranı ve ışığın dalgaboyu, katkıların ve yarıiletkenin türüne katışım oranlarına bağlı olarak değiştirilebilir. Bu biçimde yaratılan ışımanın dalga boyu,

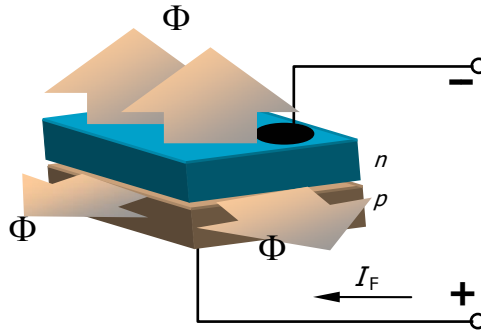
$$\lambda = \frac{1240}{E} \quad \text{nm}$$

eşitliği ile bulunur. Burada λ , nm olarak ışıma dalga boyu ve E de eV olarak enerji geçişidir.

1000 nanometreye dek dalga boyları üretmek mümkünse de pahalıya mal olmaktadır. Günümüzde pazarda tecimsel olarak bulunan LED aygıtlar Galyum Arsenür (GaAs), Galyum Fosfit (GaP) yada Galyum Arsenür Fosfit (GaAs, P) olarak üretilmektedir.

IR YAYICILAR (IRED)

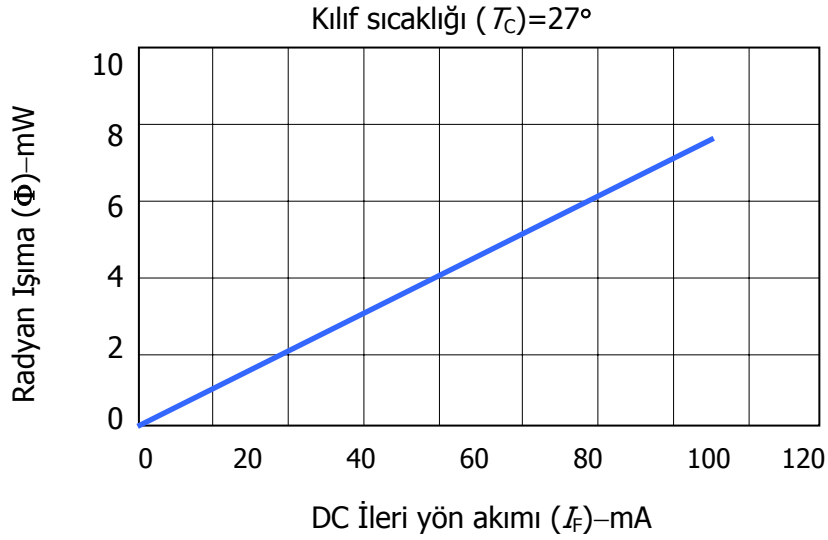
Kızılberisi yayan diyotlar, ileri yönde kutuplandırıldıklarında kızılberisi bölgede ışıma yapan katı hal (solid state) galyum arsenür aygıtlardır. Bu aygıtların genel yapısı Şekil:20de gösterilmiştir. Kavşak ileri yönde kutuplandığında p ve n türü malzemeler arasında özel olarak oluşturulmuş birleşme bölgesinde, n -bölgesi elektronları ile p -bölgesi oyukları birleşirler. Bu birleşime sonucu açığa çıkan enerji, foton biçiminde ışıma ile ortama yayılır. Bu ışımanın bir bölümü malzeme(ler) tarafından geri yutulurken, bir bölümü de radyan enerji olarak yayılır.



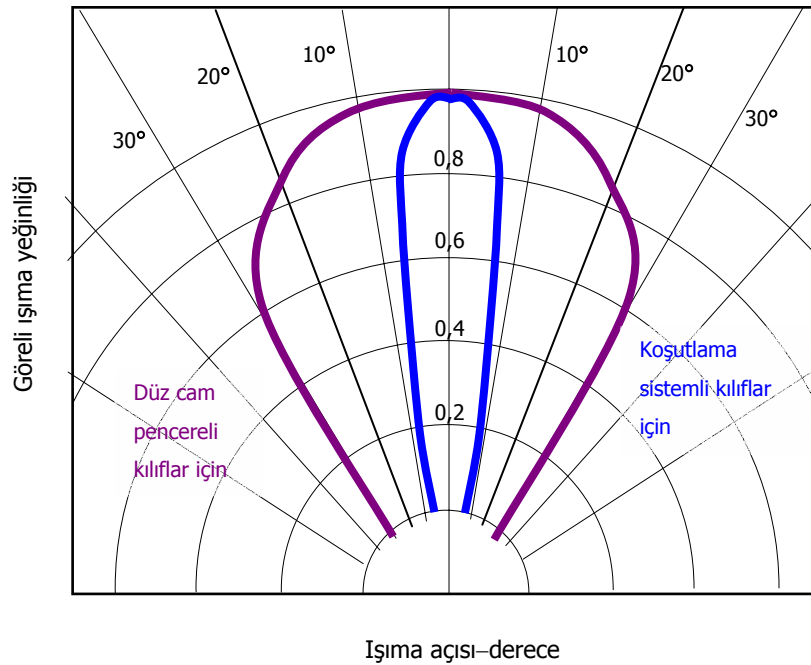
Şekil 20: Yarıiletken IR-yayıcı diyotların genel yapısı.

İki tür IRED vardır ve her ikisinin üretiminde de silisyum katkılı epitaxial –yayınık– galyum arsenür kullanılmaktadır. GaAs diyotlar verimli ve güvenilir biçimde 940nm dalgaboyunda ışık üretebilmektedirler. İkinci tür olarak galyumun bir bölümü alüminyum ile değiştirilerek GaAlAs diyotlar üretilmektedir. Bu malzemenin yaydığı dalga boyu da 880nm olmaktadır. GaAlAs yayıcılar GaAs yayıcılardan çok daha verimlidir. Ayrıca ürettiği dalgaboyu da silisyum sezicilere daha iyi uyum gösterdiğinden sistem duyarlılığına da katkıda bulunmaktadır.

Ortalama bir IR yayıcı için mW olarak radyan ışıma gücü ile yapıdan geçen doğru akım arasındaki ilişki Şekil:21deki eğride verilmiştir. Görüldüğü gibi akım ile ışıma gücü arasında doğrusal bir orantı vardır.



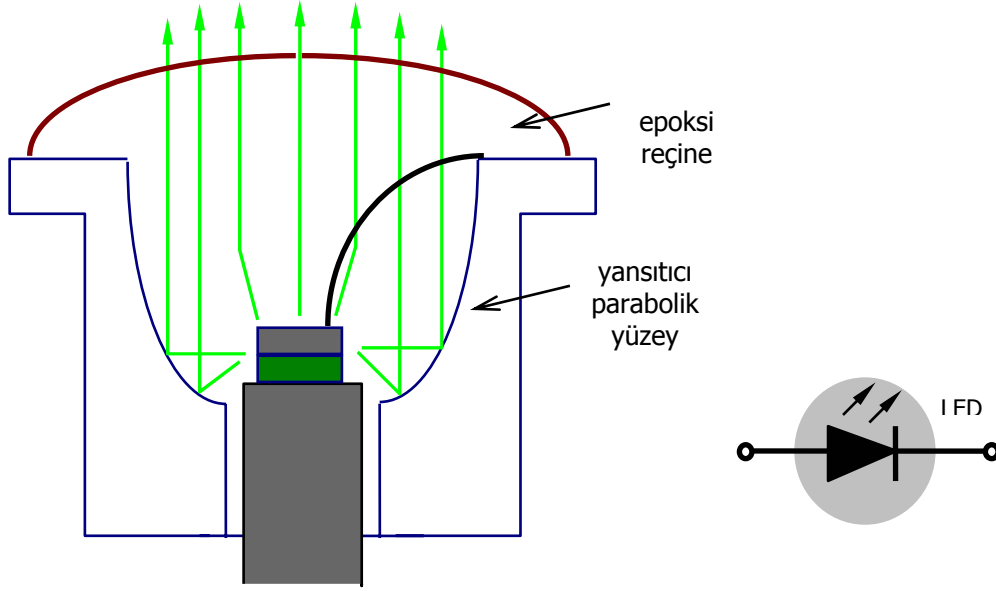
Şekil 21: Ortalama bir kızılberisi diyodun ileri yön akımına göre radyan ışıma gücü karakteristiği.



Şekil 22: IR diyotlar için tipik ışıma şiddeti—açısı karakteristiği.

Kızılberisi LEDler için bir başka grafik de Şekil:22de görülmektedir. Bu grafikte kılıfı üzerinde düz bir cam pencere olan ve yapısı içinde hüzmeleme sistemi bulunan mercekli kılıflar arasındaki ışıma açısı farkı görülmüyor.

Kızılberisi LEDin simgesi ve dahili hüzmeleme (koşutlama–collimating) sistemi olan bir LEDin iç yapısı Şekil:23te verilmiştir.



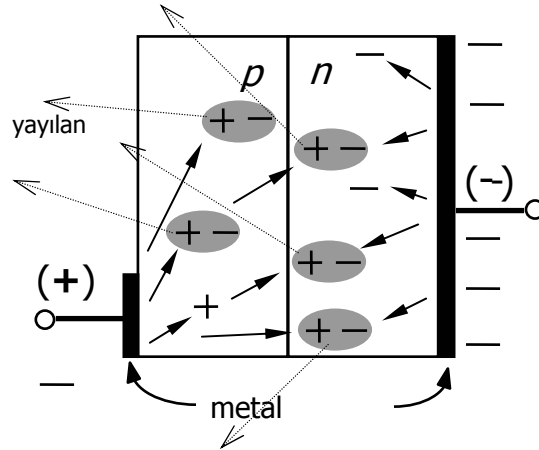
Şekil 23: IR yayan diyodun yapısı ve simgesi.

Kızılötesi LEDlerin kullanım alanlarından bazıları, döner kodlayıcılar, kart ve kağıt-şerit okuyucular, veri iletim sistemleri ve yetkisiz giriş uyarılarıdır.

IŞIK YAYAN DİYOTLAR (LED)

Işık yayan diyot (light emitting diode-LED), adından da anlaşılacağı gibi enerjilendirildiğinde görünür ışık verir. Doğru yönde gerilimlendirilmiş bütün $p-n$ kavşaklarında yapı içinde özellikle de kavşağa yakın yerlerde elektronlar ve oyukların birleşmesi söz konusudur. Bu birleşme, bağımsız serbest elektronun sahip olduğu enerjinin başka bir duruma aktarılmasını gerektirir.

Bütün $p-n$ kavşaklarında bu enerjinin bir bölümü ısı, bir bölümü de foton biçiminde açığa çıkar. Silisyum ve germanyumda yayılan enerjinin büyük yüzdesi ısı olarak yayılır ve ortaya çıkan ışık önemsiz düzeydedir. Galyum arsenür fosfit (GaAsP) yada galyum fosfit (GaP) gibi bazı diğer materyallerde ise yayılan foton sayısı, görünür ışık üretmeye yetecek kadar fazladır.

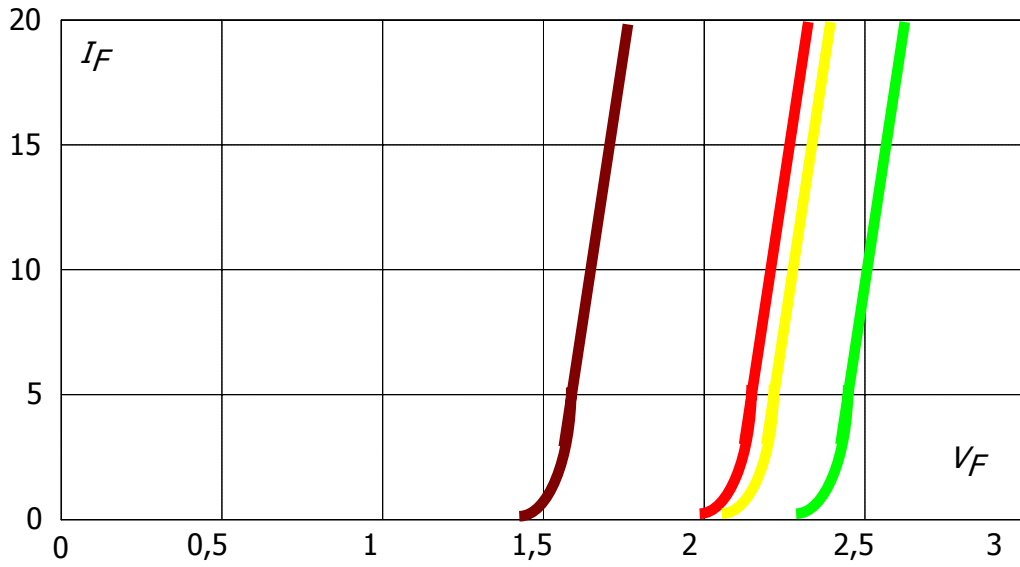


Şekil 24: LED içinde elektrolüminesansın oluşumu.

Şekil:24te bir $p-n$ kavşakta elektrolüminesans oluşumu açıklanmıştır. Görüldüğü gibi p -türü materyale bağlı iletken yüzey, en yüksek sayıda fotonun yapıyı terk edebilmesi amacıyla çok küçük tutulur. Yarıiletken yapıya dışarıdan verilen taşıyıcıların, ileri yönde kutuplanmış kavşak civarında birleşmeleri ile açığa çıkan

enerji foton olarak yayılırken, bir kısmı yapı tarafından yutulur ama büyük bir çoğunluk ta yapıyı terk etmeyi başarır.

Görünür ışık üretiminde Galyum Fosfit diyotlar kullanılır. Görünür ışık salma mekanizması aynı kızılberisi ışımadaki gibidir. Elektronların iletim bandından acceptor düzeyine geçişiyle foton salımı gerçekleşir. Galyum fosfitin katkısız olarak yayımladığı ışının dalgaboyu 560nm kadardır ve parlak bir yeşile denk düşmektedir. Salınan ışığın rengini değiştirmek için değişik katkılar kullanılır. Sözgelimi eğer katkı olarak oksijen kullanılırsa elektron geçişi sırasında birisi kızılberisi bölgede ve birisi de 700nm de iki salım daha oluşur. Kızılberisi bölgedeki salım önemsiz bir değerdedir ancak 700nm dalgaboyundaki salım, galyum fosfitin parlak yeşil rengini kırmızıya doğru çeker. Oksijen katkısı artırılarak sarı, turuncu ve kırmızı aralığında değişik renkler elde edilebilir.



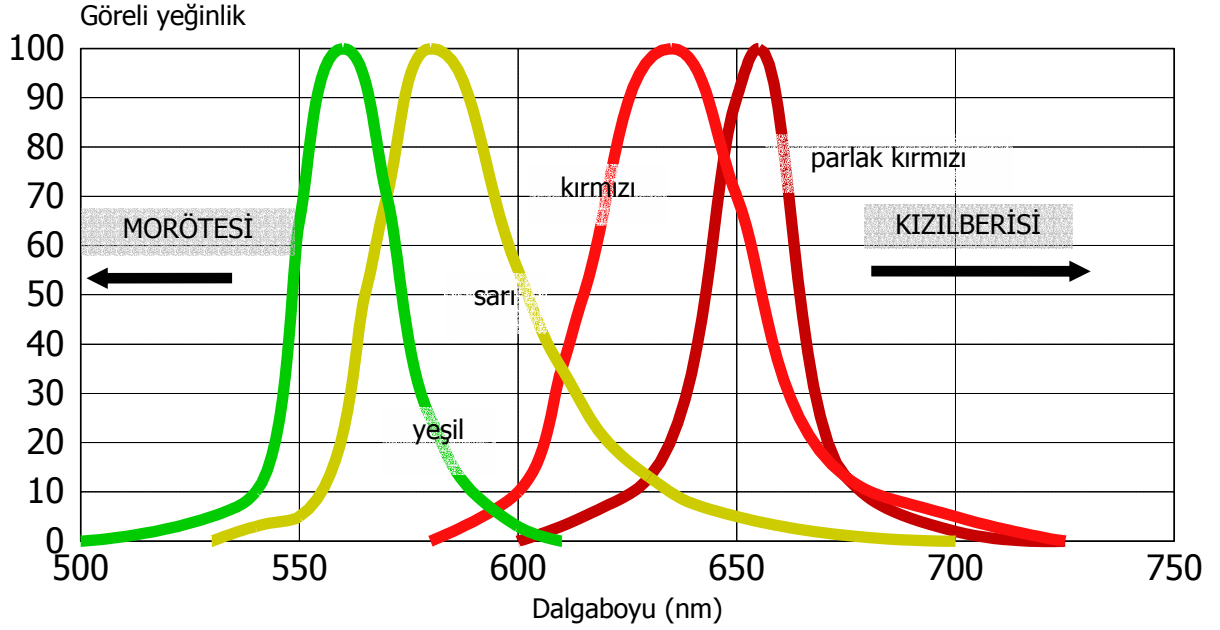
Şekil 25: Değişik renkte LEDlerin ileri yön karakteristikleri.

LED $p-n$ kavşaklı bir aygıt olduğu için diyodunkine benzer bir ileri yön karakteristiği vardır. Diyot karakteristiğinden farklı olan yalnızca eğrinin dönüm noktasını oluşturan eşik gerilimidir. LED için eşik gerilimi diyot için gerekenden daha yüksektir. Eşik gerilimi LED' in yapıldığı materyale (dolayısıyla rengine) göre değişir ve 1.2 V ile 2.5-3 V arasında değerler alır.

Şekil:25teki grafikte HP firmasının 41xx dizisi LEDlerinin ileri yön karakteristikleri görülmektedir. Bu değerler aynı renkteki tüm LEDler için her zaman sabit olarak

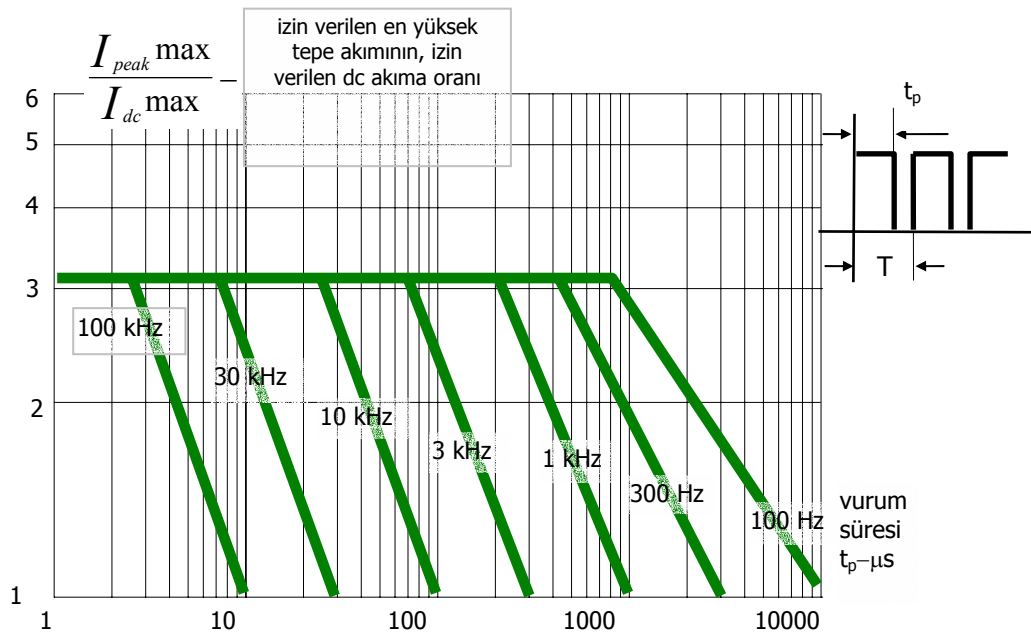
kabul edilebilir ancak farklı yarıiletkenlerle aynı renkler elde edilebildiği için ürünlere ve üretici firmalara göre farklılıklar olabilmektedir.

Şekil:26daki grafikte yine HP firmasının 44xx dizisi LEDlerinin bu kez karşılaştırmalı dalgaboyu karakteristikleri verilmiştir.



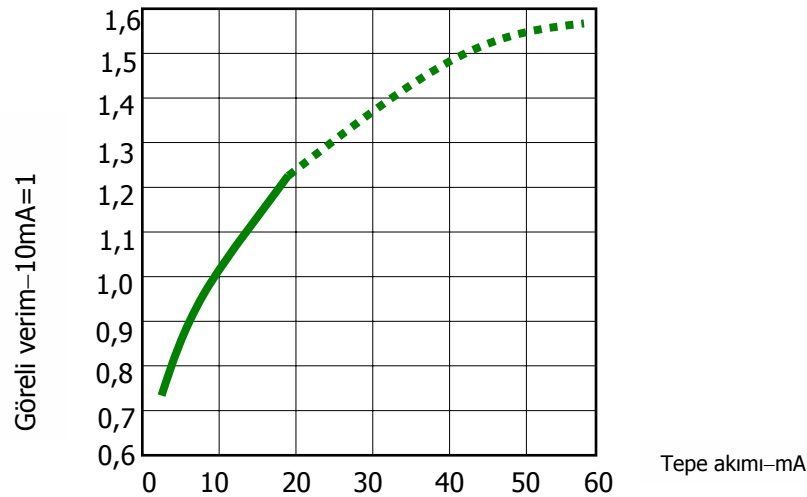
Şekil 26: 44xx serisi LEDlerin renklerine göre ışîma dalgaboyları.

LEDler için önemli bir başka veri de izin verilen en yüksek tepe akım değeridir. DC gerilim ile normal çalışmada LED üzerinden sürekli olarak geçmesine izin verilen akım, LEDin rengine ve türüne bağılı olarak 10~50 mA dolayındadır. Ancak vurumlar halinde kısa süreli olarak birkaç ampere dek yükselebilecek akımlar geçirilmesi olasıdır. Şekil:27deki grafikte bir LEDin üzerinden geçirilebilecek tepe akım değeri ile bu akım değerinin geçmesine izin verilen süre arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu özellikleri nedeni ile LEDler çoğullamalı yada darbeli olarak çalıştırılabilirler. Böylece çoğullama sırasında parlaklık yitimi azaltılabilir.



Şekil 27: Vurum süresine göre tepe akım değerleri.

Bu özelliğin devamı sayılacak nitelikte bir grafik de Şekil:28de verilmiştir. Bu grafikte LEDin normal çalışmasındaki ışık şiddetine normal (1,0) alınarak tepe akım değerinin işlevi olarak ışık şiddeti gösterilmektedir. Görüldüğü gibi tepe akım değeri artırıldıkça (izin verilen süreler dikkat edilerek) ışık yeğinliği de artmakta ancak bu artış doğrusal olmamaktadır.

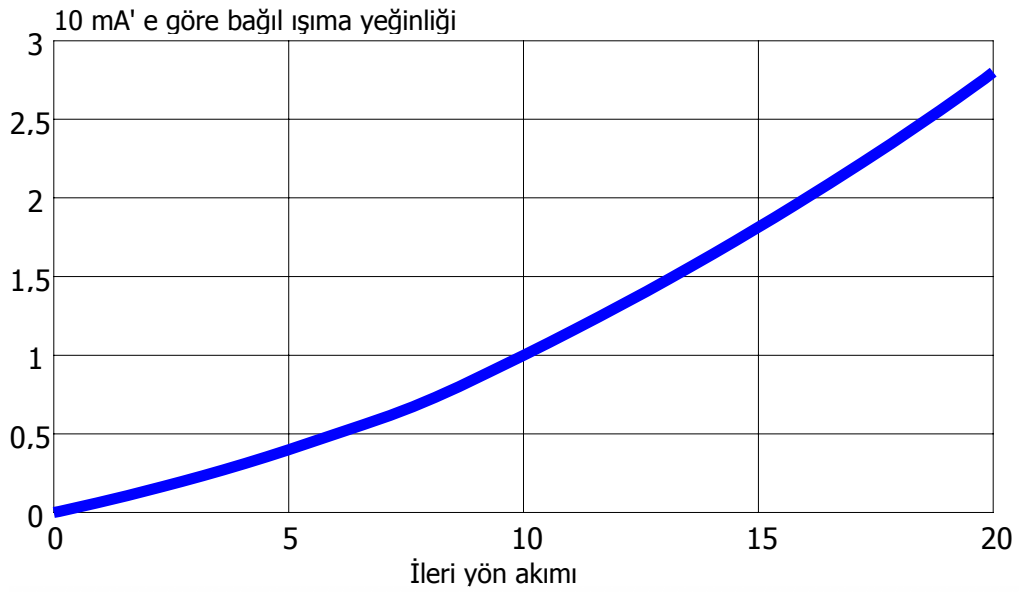


Şekil 28: Tepe akım-görelî verim karakteristiği.

Görünür ışık yayan LEDlerde ileri yön akımı ile ışıma şiddeti arasındaki ilişki IRED aygıtlardakine benziyorsa da, Şekil:29da görüldüğü gibi IREDlerden daha az doğrusaldır.

LEDler günümüzde beyaz, yeşil, sarı, turuncu, kırmızı ve mavi renklerde üretilmektedir. Ayrıca tek bir kılıfta birden fazla renk kullanılarak ve değişik anahtarlama hız ve yöntemleriyle hemen hemen bütün renkler elde edilebilmektedir.

LEDlerin çalışma gerilimleri 1,5V~3,3V arasında, tepki süreleri nanosaniyeler düzeyinde, görülebilirlikleri (kontrastları) çok yüksek, güç tüketimleri 10~150mW ve çalışma ömürleri 100000+ saat olduğu için endüstrinin her dalında çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar.



Şekil 29: İleri yön akımı ile görelı ışık şiddeti arasındaki ilişki.

IŞIL BAĞLAŞTIRI/YALITICILAR

(OPTOCOUPLER/OPTOISOLATORS)

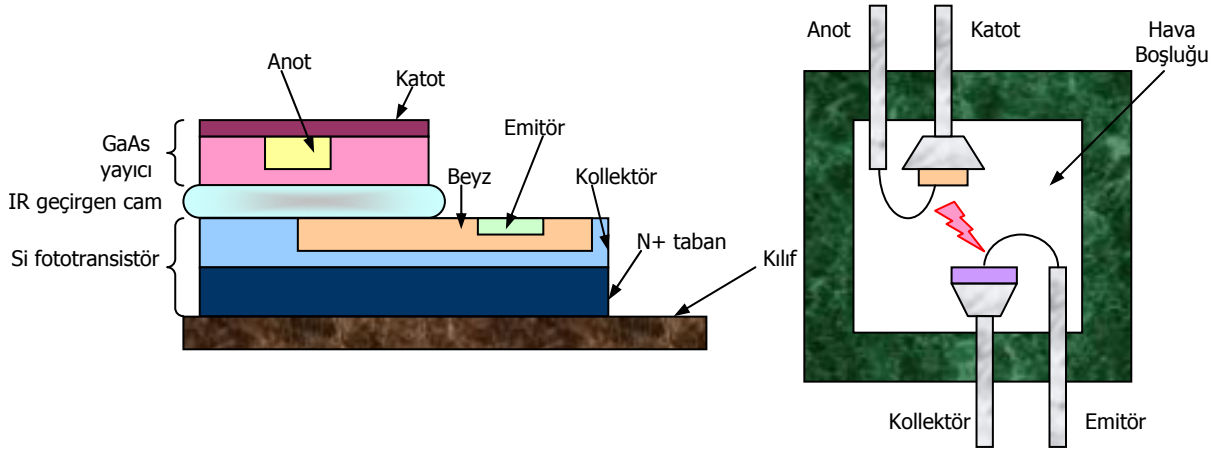
Optocoupler yada optoisolator olarak bilinen aygıtlar, akısı, saydam bir yalıtım malzemesi üzerinden herhangi bir tür seziciye aktarılan bir foton yayıcı içerirler. Foton yayıcı birim için önceleri akkor telli yada neon lambalar kullanılmaktayken artık LEDler (görünür yada görünmez dalgaboyunda) yaygın olarak kullanılmaktadır. Yayıcı ile sezici arasındaki yalıtkan saydam malzeme de hava, cam, plastik yada ışık lifi olabilmektedir. Yayıcı ile sezici, ortam ışığından yalıtım amacıyla ışımaya geçirmeyen bir kılıf içerisinde bulunurlar. Kullanılan sezici, fotodirenç, fotodiyot, fototransistör, fotoFET, fototriyak, fotoSCR yada tümleşik fotodiyot/yükselteç olabilir. Işıl bağlaştırmacılar, kullanılan sezici ve türüne göre çok değişik giriş, çıkış ve bağlaştırmacı karakteristikleri gösterebilmektedirler.

Işıl yalıtıcılarda kızılberisi dalgaboylarının kullanılması yaygındır. Bağlaştırmacı katsayısının en yüksek değerde olabilmesi için yayıcı ve sezicinin dalgaboylarının olabildiğince çakışması gereklidir. Yayıcı ile sezicinin dalgaboylarının çakışması ile optik yalıtıcının hızı da artmış olur. Ortalama bir optoisolator Mhz düzeyinde aktarım hızlarına erişebilir. Ayrıca sayısal veri iletiminde ve fiber-optik ağlarda kullanılan onlarca MHz hızlarında aygıtlar da bulunmaktadır.

Şekil:30da bir ışıl bağlaştırmacı yapımında kullanılabilen iki ayrı üretim tekniği gösterilmiştir. Bunlardan ilkinde dielektrik olarak cam kullanılırken ikincisinde yalıtım için hava boşluğu kullanılmıştır. Giriş ve çıkış devrelerini ayırmak için hava boşluğu yada IR geçiren cam kullanılmasından bağımsız olarak aygıtın işletme karakteristikleri temelde aynıdır.

Işıl bağlaştırmaların en önemli teknik özelliklerinin başında ise, ısı yalıtıcı adının verilmesini de sağlayan yalıtım nitelikleri gelmektedir. Giriş ve çıkış devreleri arasında elektriksel hiçbir bağlantı olmaması nedeniyle bu aygıtların yalıtım dereceleri çok yüksektir ve giriş devresi ile çıkış devresini elektriksel açıdan tümüyle yalıtlırlar.

Işıl bağlaştırmalar, mekanik röleler ve vurum dönüştürmelerinin yerine kullanılmak



Şekil 30: Optocoupler yapıları. (a) cam yalıtımlı, (b) hava yalıtımlı.

üzere tasarlanmış yarıiletken aygıtlardır. İşlevsel olarak giriş ve çıkış arasında yüksek değerli bir yalıtım sağlamasından başka, yarıiletken olanların mekanik eşdeğerlerinden üstün yanları da,

- ✱ Yüksek işletme hızları,
- ✱ Sıçramasız anahtarlama,
- ✱ Küçük boyut,
- ✱ Titreşim ve sarsıntıya duyarsızlık,
- ✱ Devingen parçaların olmaması,
- ✱ Mantık ve mikroişlemci devreleri ile uyumluluk,
- ✱ DC ile 100⁺MHz arası bant genişliği,

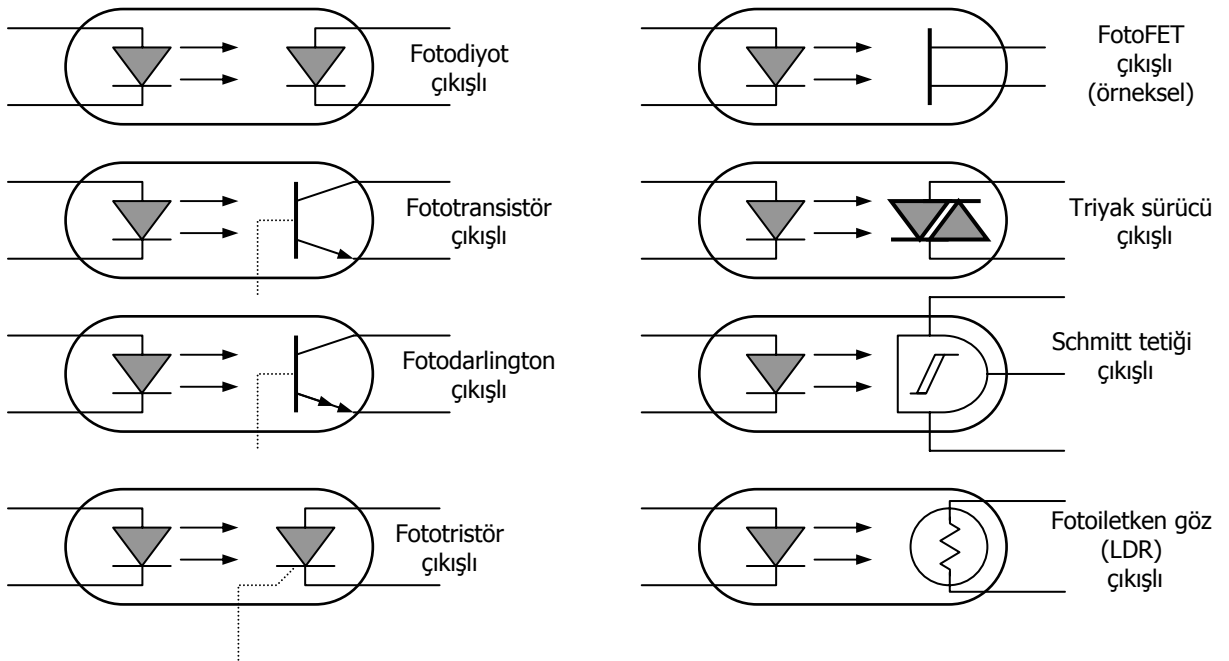
olarak sıralanabilir.

Yalıtımın üç temel değişirgeni, direnç (resistance), yalıtım sığası (isolation capacitance) ve yalıtkan dayanım değeri (dielectric withstand capability) olarak bilinir. Yalıtım direnci bağlaştırmacının girişi ile çıkışı arasındaki dc dirençtir. Bu değer ortalama olarak 10¹¹Ω kadardır. Bu değer çoğu durumda, baskılı devre kartında aygıtın lehimlendiği adalar arasındaki dirençten bile fazladır. Bu nedenle PCB hazırlanırken bu parametreyi zayıflatacak etkiler giderilmeye çalışılmalıdır; örneğin

pasta artıkları temizlenmelidir. Yalıtım sıvası, giriş ile çıkış arasında dielektrik üzerinden oluşan ve istenmeyen bir değiştirgendir. Bu değer genel olarak 0,3~2,5pF arasındadır. Yalıtım gerilimi de kullanılan dielektriğin dayanması beklenen en yüksek potansiyel farkı belirlemektedir. Bu değer için tipik değer 1500V kadar olmakla birlikte, piyasada 50kV değerindeki aygıtların bulunması da zor değildir.

Şekil:31de çıkış katında değişik seziciler kullanılan optocouplerlar verilmiştir. Bunların her birisi optoisolator/coupler olarak adlandırılır ve ayrımları yalnızca çıkış sezicilerinin adlarıyla belirtilir.

Ortalama bir optocoupler için birtakım teknik veri ve grafikler Şekil:32de



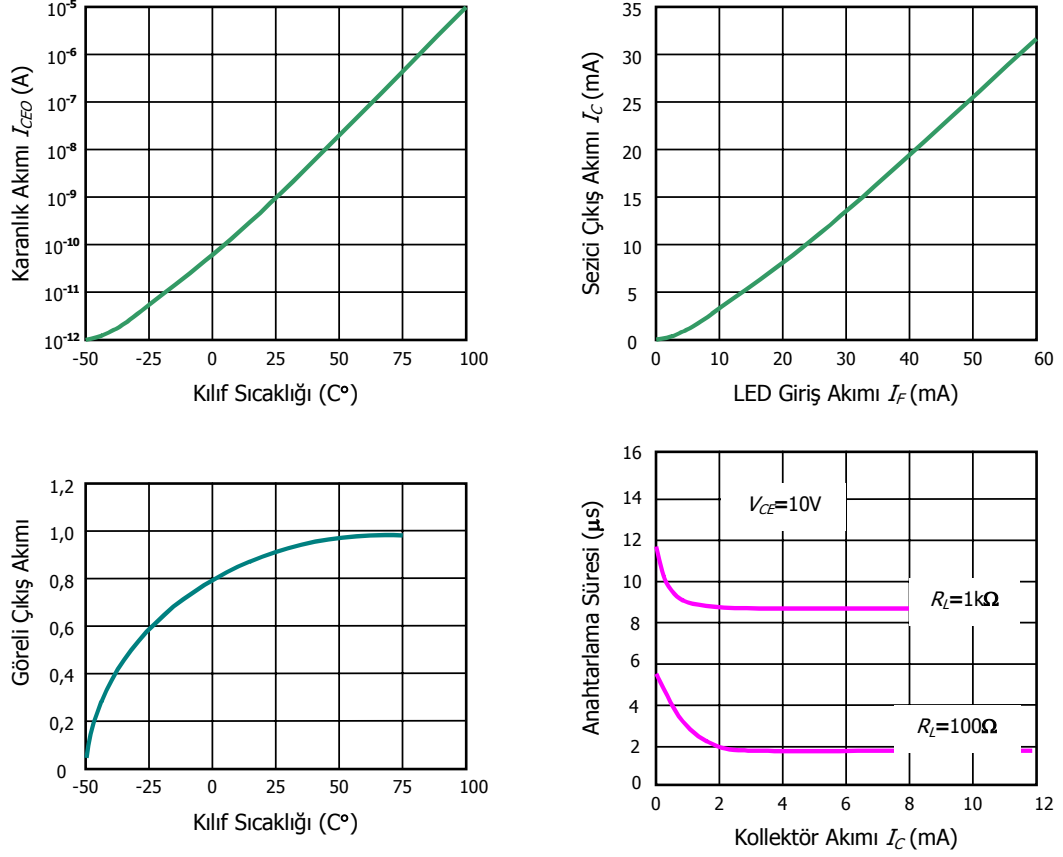
Şekil 31: Işıl bağlaştırmacı/yalıtıcı simgeleri.

görülmektedir. Giriş karakteristiği IRED ile ve çıkış karakteristiği de transistör ile (I_B yerine I_F) aynı olduğundan bu eğriler verilmemiştir.

Eğriler incelendiğinde görülebileceği gibi çıkış akımı çevre sıcaklığına bağlı olarak çok belirgin bir değişim göstermektedir. Bununla birlikte, oda sıcaklığı ve üzerinde oldukça kabul edilir ve hemen hemen sabit bir düzeyde kalmaktadır.

Ayrıca I_{CEO} değerinin de sıcaklığa bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ancak yine oda sıcaklığı göz önüne alındığında nanoamperler düzeyinde kalan bir sızıntı (karanlık) akımı söz konusudur. Sıcaklık 75°C olduğunda karanlık akımı ancak 1 μ A olmaktadır.

Bu değer çoğu uygulama için yeterli bulunsa da giderek daha da azaltılması için gerekli tasarım ve yapım teknikleri geliştirilmektedir.



Şekil 32: IRED girişli fototransistör çıkışlı bir ışıyalıtıcı için bazı temel karakteristikler.

Giriş-çıkış aktarım eğrisi (I_F - I_C) incelendiğinde ışık akısını oluşturan IRED giriş akımı ile beyz akımı ışık akısı ile oluşturulan fototransistör çıkış akımının doğrusal değişimi kolayca görülebilir. Bu karakteristikten yola çıkılarak optocouplerların sayısal ve örnekse pek çok uygulamada yetkinlikle kullanılabileceği söylenebilir.

Anahtarlama süresi ile kollektör akımı arasındaki ilişki incelendiğinde optoisolator anahtarlama süresinin yük arttıkça azaldığı görülüyor. Çoğu elektronik devre elemanı için bu durum tam tersinedir. 100Ω değerindeki yükten 10mA geçerken anahtarlama süresi yalnızca $2\mu s$ kadardır. Anahtarlama süresinin 10~20 nanosaniyeler düzeyine indiği ışıl bağlaştırmacılar da piyasa da bulunmaktadır.

GÖSTERGELER

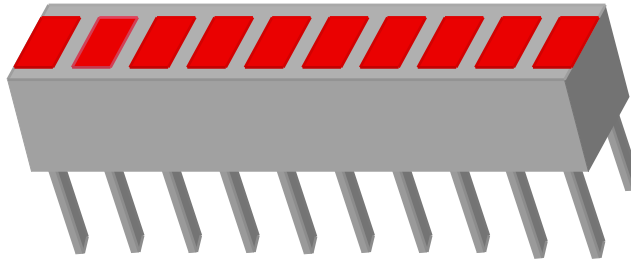
Endüstriyel uygulamalarda türlü işlev ve uyarıların kullanıcıya yada diğer üretim ve denetim basamaklarına bildirilmesi ve iş akışının düzenlenmesinde işlenen verilerin ve alınan sonuçların türlü biçimlerde görüntülenmesi yada çıktılanması gerekmektedir. Buna ek olarak bilgi-işlem alanında ve reklamcılık sektöründe verilerin ve görüntülerin kullanıcı, tüketici ve işletmenler tarafından izlenmesi ve denetimi için de türlü gösterge (display) aygıt ve yöntemleri gerekmektedir.

Akkor telli, flüoresan ve neon lambalar tek başlarına yada değişik düzenlemelerle uzun zaman ve pek çok uygulamada gösterge olarak kullanıldılar ve günümüzde de çeşitli nitelikleri nedeniyle bazı koşullarda hala kullanılıyorlar. Bunlara ek olarak günümüzde LEDlerden, katot ışınlı tüplerden, sıvı kristallerden, gaz boşalmalı tüplerden (plazma panel displaylerden), vakum-flüoresan göstergelerden, ve hatta manyetik rölelerden, türlü sayısal, alfa-sayısal göstergeler, ekranlar üretilmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu aygıtların her birisi kendi üstünlük ve sakıncalarına bağlı olarak türlü alanlarda yeğlenmektedir. Yine de günümüzdeki kullanım yoğunlukları göz önüne alındığında en yaygın olarak kullanılan kuşkusuz LEDdir. İkinci olarak sıvı kristal göstergeler gelmektedir. Katot ışınlı tüpler şimdilik ekran olarak çok yaygın kullanılsa da yakın gelecekte sıvı kristal ekranlara yenileceklerdir. Manyetik röleli göstergeler şimdilik genel olarak ilan tahtaları olarak kullanılmakta olsalar da renkli sunum teknikleri geliştikçe görüntü sergilemek için de kullanılmaya başlayacaklardır.

LED GÖSTERGELER

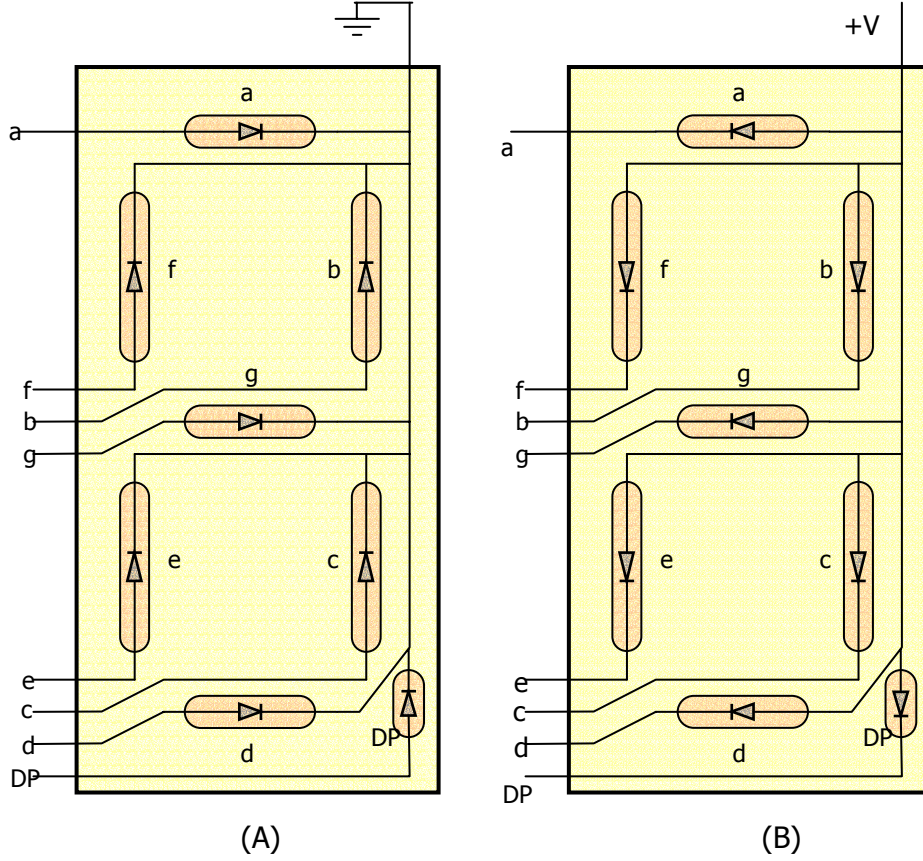
LED üretim teknolojilerinde yeni aşamalar kaydedildikçe, örneksel dizgeler için gereken çubuk göstergeler ve sayısal dizgeler için gereken sayısal ve alfasayısal (numerical, alphanumeric) göstergeler, tümleşik LEDler ile üretilmeye başlandı. Şekil:33te çubuk göstergelere (bar-graph display) bir örnek görülmektedir. Bu tür göstergeler genellikle ses basıncı, frekans değişimi, gerilim düzeyi gibi elektriksel değişimlerin yada sıvı düzeyi, mil konumu, uzaklık gibi elektriksel olarak örneklenmiş verilerin gösterilmesinde kullanılır ve kullanım amaçlarına göre çok değişik boyut ve biçimlerde üretilmişlerdir. Bazı üreticiler bu göstergelerle kullanılmak için özel ve genel amaçlı sürücü tümdevreler de üretmektedirler.



Şekil 33: DIP kılıfta üretilmiş bir bar/graph display.

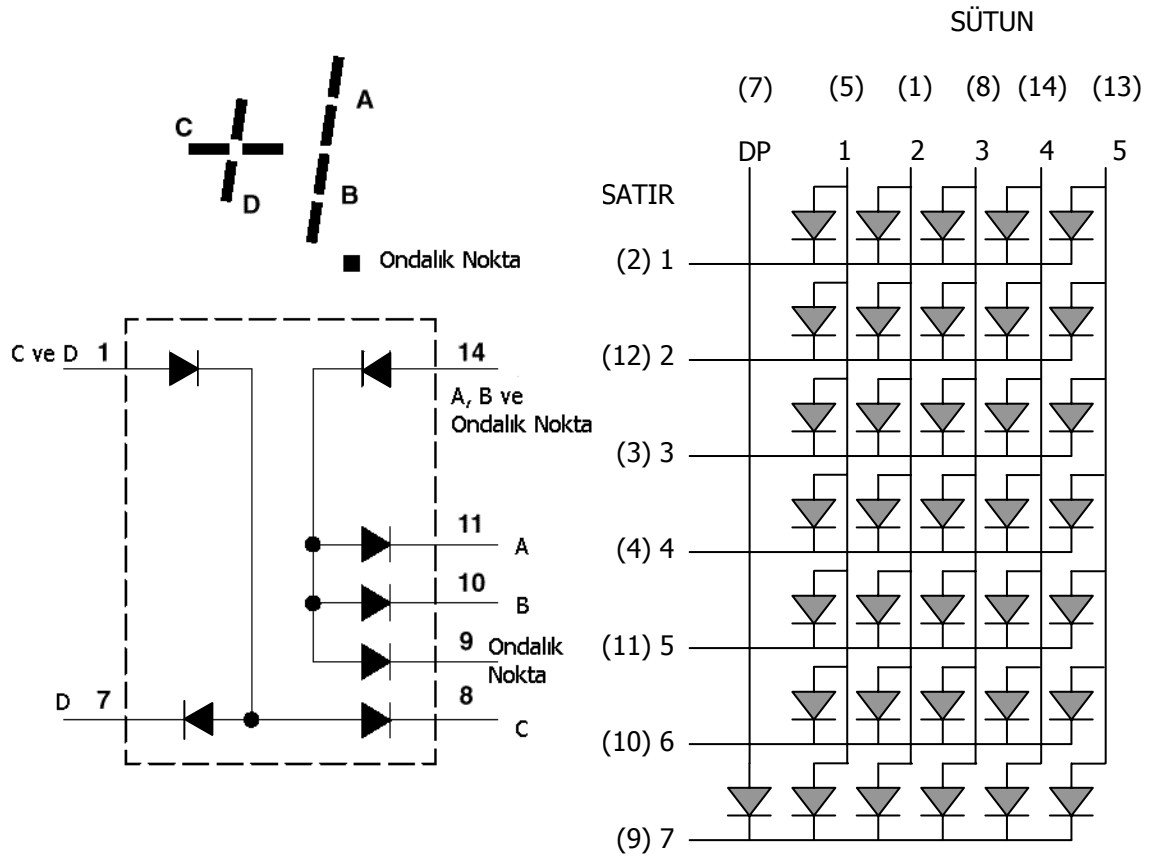
Bu göstergelerden başka sayısal ve alfasayısal karakterleri görüntülemek için LEDlerin özel bir görünüm oluşturacak biçimde yerleştirildiği göstergeler vardır. Bu göstergelere örnekler Şekil:34 ve Şekil:35te verilmiştir. Şekil:34te görülen ve sekiz ışııl elemanı bulunmasına karşın nedense 7-parçalı gösterge (7-segment display) olarak adlandırılan gösterge, en yaygın olarak kullanılan display türlerinden birisidir. Bağlantı kolaylığı ve boyut kısıtlamaları nedeniyle gösterge içindeki LEDlerin anotları yada katotları tek bir uç yada iki uç olarak kılıf dışına çıkarılmaktadır. Anotların yada katotların birleştirilmesine bağlı olarak gösterge ortak anot yada ortak katot olarak

adlandırılır. Günümüzde piyasada bu göstergeler, pek çok üretici tarafından sağlanan bir çok değişik türleri ile yaygın olarak bulunmaktadır.



Şekil 34: 7-segment display (7-parça LED gösterge). (A) ortak katot (B) ortak anot bağlantıları.

Şekil:35te ise, sayısal gösterimlerde gereksinilebilecek – ve + imleri ile, tüm sayılar, harfler ve bazı özel karakterleri görüntüleyebilecek iki LED gösterge görülmektedir. Bunlardan ilki işaret gösteriminde ilk karakter olarak kullanılmak amacıyla üretilmiş TIL304 ve diğeri de alfasayısal karakterleri göstermek için üretilmiş TIL305 göstergeleridir. TIL304 ortak anot bağlantılıdır ve işaret parçaları ile ondalık noktası ve sayıyı oluşturan parçaların anotları kılıf dışına ayrı ayrı çıkarılmıştır. TIL305, 5×7 nokta-dizey (dot-matrix) yapısı ile tüm karakterleri gösterebilecek kapasitededir. Aynı sütundaki LEDlerin anotları sütun seçme ucuna ve aynı satırdaki LEDlerin katotları da satır seçme ucuna bağlanmışlardır. Ondalık noktası dizey dışında bırakılıp, tek başına ayrı olarak bağlanmıştır.



Şekil 35: TIL304 (solda) ve TIL305 (Texas Instruments). Parantez içindeki sayılar bacak numaralarıdır.

SIVI-KRİSTAL GÖSTERGELER (LCD)

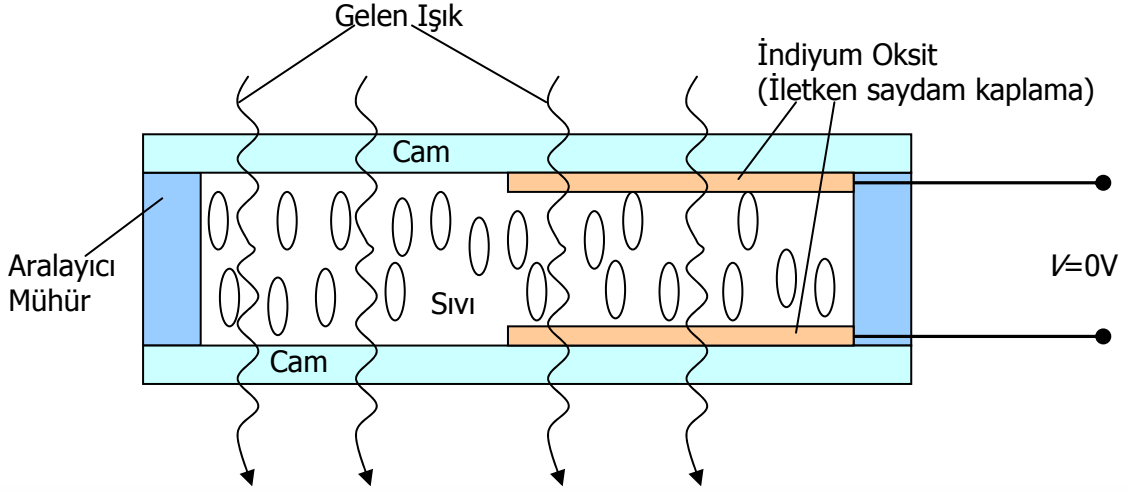
Sıvı kristal göstergenin (liquid crystal display–LCD) LEDlere göre en büyük üstünlüğü, çok düşük güç tüketmesidir. Bir sistemde LED gösterge yada bir LCD kullanılacağına karar verilirken LEDin tüketeceği miliwattlar hatta wattlar düzeyinde enerji ile LCDnin tüketeceği mikrowattlar düzeyindeki enerji mutlaka göz önüne alınır. LCD düşük güç tüketimi nedeni ile özellikle oyunlu-saat, saat, hesap makinesi ve taşınır TV gibi aygıtlarda çokça yeğlenen bir gösterge türüdür. Bununla birlikte, iç yada dış aydınlatma gereksinimi, düşük kontrastı, çalışma sıcaklık aralığının 0~60 °C ile sınırlı olması, kimyasal bozunumu nedeniyle ömrünün kısa olması ve karmaşık bir işletim devresi gerektirmesi ise LCDnin olumsuz yanlarıdır.

LCDler LEDler gibi ışık yaymak yerine ışığı engeller yada geçirirler. Bu nedenle ortam ışığı yüksek olan yerlerde yada özel olarak arkadan aydınlatılarak kullanılırlar. Düşük güç tüketimleri nedeniyle doğrudan CMOS devreler tarafından sürülebilirler.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan iki tür LCD vardır. Devinik–saçılmalı (dynamic–scattered) ve alan etkili (field–effect) LCDler. Her iki tür de kendi içinde yansıtıcı (reflective), geçiren (transmissive) ve hem yansıtıcı hem geçiren (transflective) olarak üçer alt öbeğe ayrılır.

Devinik–saçılmalı LCD ilkin RCA firması tarafından 1968 de üretildi. Bu göstergede ve diğer bütün LCDlerde kullanılan ana malzeme olan sıvı kristal, sıvı gibi akışkan ama moleküler yapısında, katılara özgü bazı özellikleri de bulunduran bir malzemedir. Bu tür LCDnin yapısı, Şekil:36da verilmiştir. İncelendiğinde anlaşılacağı gibi, çalışma ilkesi, ışığın anahtarlanması olarak da adlandırılabilir *dağıtma* ve *geçirme*

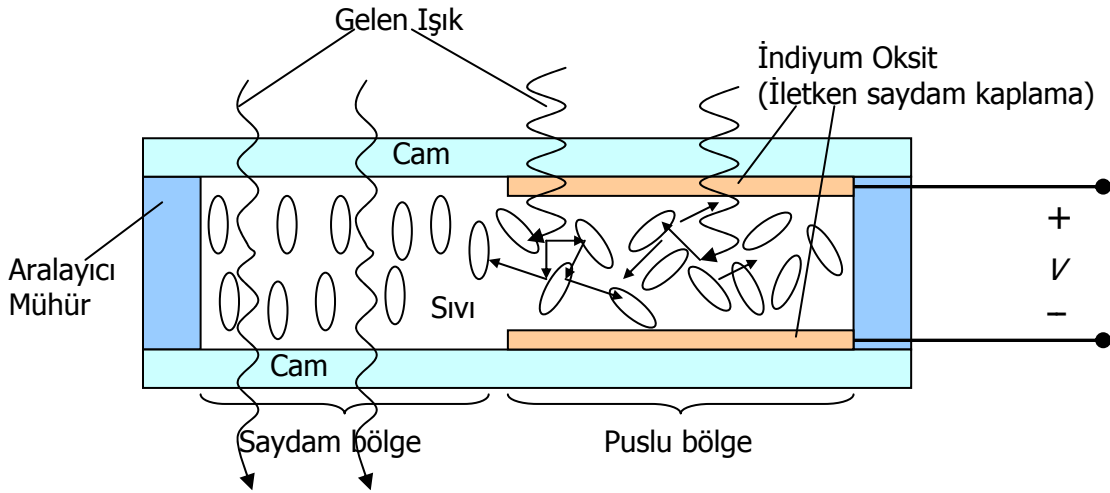
durumlarıdır. Işık dağıtan birimlerde en çok ilgi gösterilen malzeme, moleküler yapısı burada gösterilen nematik sıvı kristal adlı malzemedir. Bu malzemenin her bir



Şekil 36: Gerilim uygulanmadığında nematik sıvı kristal.

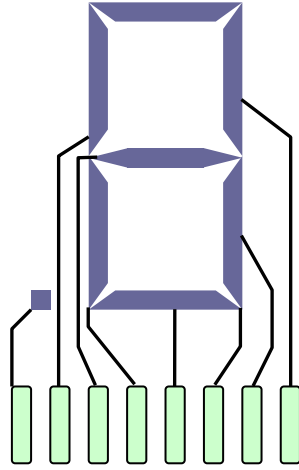
molekülü şeklinde de görüldüğü gibi çubuk biçimindedir.

İndiyum oksit ile üretilen iletken yüzey saydamdır ve Şekil:36da gösterilen koşullarda (iletken plakalar arasına gerilim uygulanmıyorken) aygıt üzerine düşen ışık kolayca diğer yana geçer ve yarı iletken gösterge saydam görünür. Şekil:37de gösterildiği gibi iletken yüzeyler arasına bir gerilim uygulandığında (tecimsel ürünlerde 6~20V arası), bu bölgede moleküler düzen bozularak değişik bir kırma katsayısı oluşur. Yarı



Şekil 37: Gerilim uygulandığında nematik sıvı kristal.

iletkene gelen ışık bu farklı kırılma indisine sahip bölgelerden geçerken sıvı kristal içinde değişik yönlerde yansıtılarak saçıldığı için diğer yana geçemez. Böylece bu bölge donuk, karanlık görünür. İstenilen biçimde yerleştirilen iletken plakalara uygulanan gerilimler yardımıyla LCD üzerinde istenilen bir görüntü oluşturulabilir. Gerilim uygulanan bölgeler donuk ve gerilim uygulanmayan yada indiyum oksit



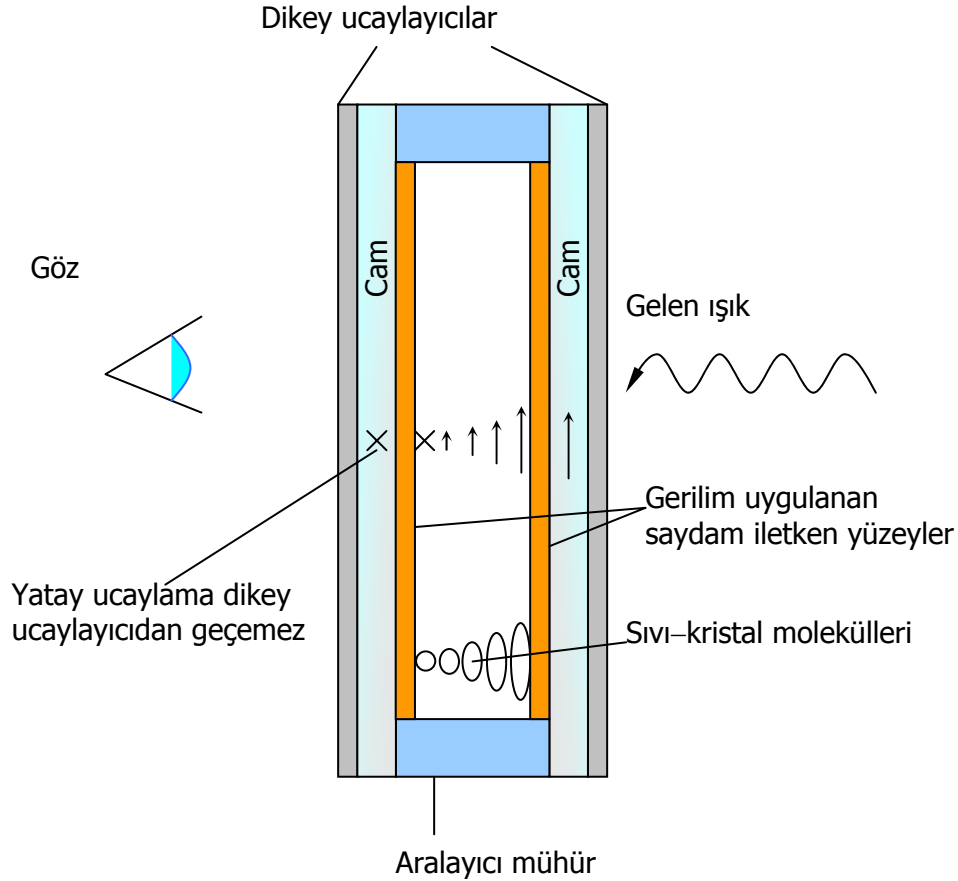
Şekil 38: Eight-segment display.

plakaları arasında kalmayan yerler de saydam görünür.

Şekil:38deki gibi bir maske düzenlemesi ile bir 7-seg+DP gösterge basamağı elde edilebilir. LCD kendi ışığını üretmediğinden dış ışık kaynaklarına bağlıdır. Karanlık ortamlarda kullanılması gerektiğinde LCD, arkadan yada yandan aydınlatılmalıdır (geçiren tür). Ortam ışığından yararlanılacak ise LCD arka yüzüne ışığı yansıtan bir plaka yerleştirilir (yansıtan tür). Günümüzde en uygun işletim için saat üreticileri hem yansıtan hem geçiren (transflective) türleri kullanmaktadırlar. Bir LCDde sürekli olarak iç aydınlatma kullanılması durumunda enerji harcaması çok artacağından, ekonomik olma üstünlüğü kaybolacaktır. Bu nedenle LCDler, ortam ışığının bulunması olası uygulamalarda yeğlenmektedirler.

Alan-etkili yada twisted-nematic LCD için de aynı yapı geçerlidir ama bu kez çalışma kipi çok değişiktir. Devinik-saçılmalı LCDde olduğu gibi alan-etkili LCD de yansıtan yada iç bir ışık kaynağı ile geçiren kipte çalıştırılabilir. Şekil:39da geçiren gösterge verilmiştir. Burada ışık kaynağı sağda ve kullanıcı soldadır. Devinik-saçılmalı tür ile alan-etkili tür arasındaki en dikkate değer ayırım, kullanılan ışık ucaylayıcılarıdır (light polarizer). Sağdaki ucaylayıcıdan gelen ışığın yalnızca dikey bileşeni geçebilir. Sıvı kristal içinde sağdaki iletken yüzey, kimyasal yedirme ile oyularak yada organik film ile kaplanarak sıvı kristal moleküllerinin hücre duvarına ve dikey düzleme koşut

olarak dizilmeleri sağlanmıştır. Sol iç yüzeye de benzer işlem uygulanarak moleküllerin yine hücre duvarına koşut ama bu kez 90° evre kaydırılmış olarak dizilmeleri sağlanmıştır. Böylece sıvı kristalin iki duvarı arasında bir ucaylamadan diğerine giderek değişen bir geçiş olmaktadır. Soldaki ucaylayıcı da ışığın yalnızca dikey bileşenini geçirecek türdedir. İletken yüzeylere gerilim uygulanmadığında sıvı-kristale gelen ışığın içeriye girebilen dikey bileşeni, 90° döndüren moleküler yapıyı

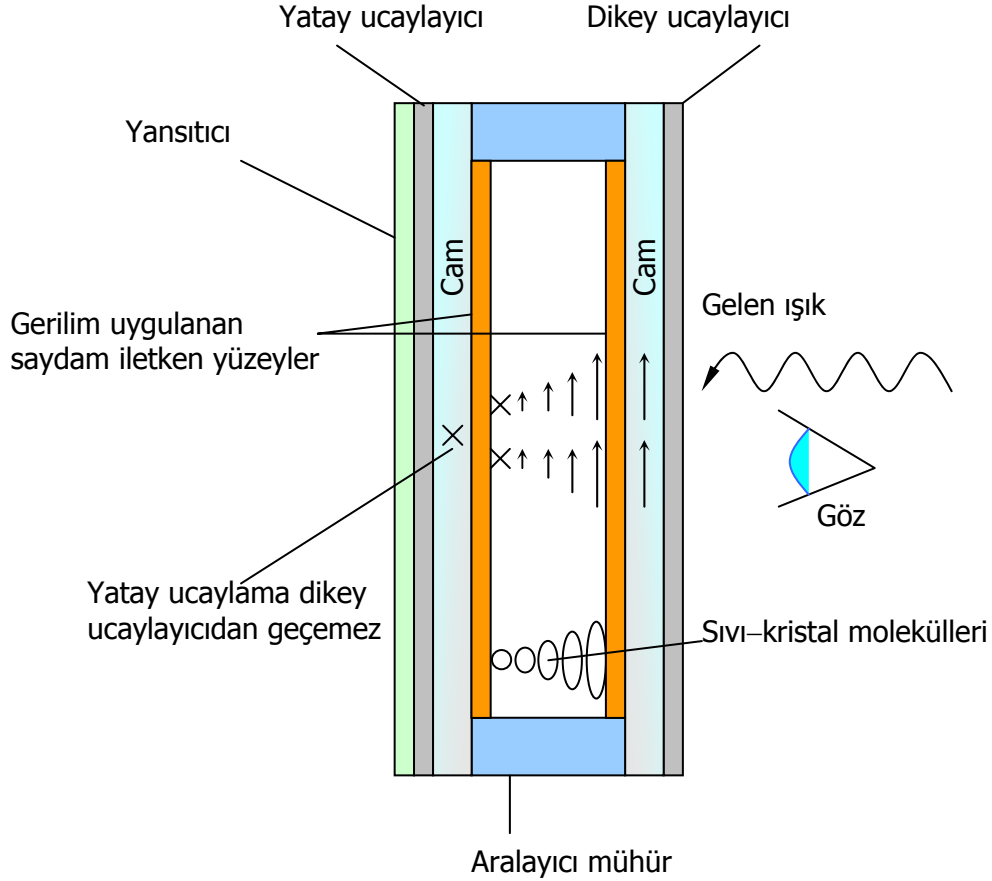


Şekil 39: Transmissive field-effect LCD (gerilim uygulanmamış).

izleyerek sağ duvara ulaşır. Bu ışık edindiği yatay polarizasyon nedeniyle soldaki dikey polarizörden geçemez ve kullanıcı göstergiyi karanlık olarak görür. İletken yüzeylere eşik gerilimi (tecimsel ürünlerde 2~8V) uygulandığında moleküller hücre duvarlarına dik duruma gelerek ışığın 90° dönmeden sol yandaki polarizöre ulaşmasını sağlarlar. Soldaki ucaylayıcı bu kez dikey polarizasyonla gelen ışığın geçmesine izin verir ve kullanıcı, kaynaktan gelen ışığı görebilir.

Yansıtıcı tür alan etkili sıvı-kristal göstergenin yapısı Şekil:40ta görülmektedir. Bu tür göstergede sıvı kristale dikey ucaylanarak girip 90° döndürülen ışık soldaki yatay

polarizörden geçer ve yansıtılarak yeniden sıvı kristale verilir. 90° döndüren yapıdan gerisin geriye geçen ışık kullanıcı tarafından görülür. İletken yüzeylere gerilim uygulandığında ise dikey ucaylayıcıdan gelen ve hücre sol duvarına yine dikey polarizasyonla erişen ışık buradaki yatay ucaylayıcıdan geçemez ve geri yansıtılamaz.



Şekil 40: Reflective field-effect LCD (gerilim uygulanmamış).

Bu durumda gösterge karanlık olarak görülür.

Kullanımda enerji kaynağı önemli olan uygulamalarda (küçük ve/veya taşınabilir aygıtlar gibi), dynamic-scattered türlere göre çok daha az güç gerektirdiği için alan-etkili göstergeler yeğlenir. Işık şiddetinin yüksek olmasını ve/veya ekran boyutunun büyük olmasını gerektiren uygulamalarda ise devinik-saçılmalı göstergeler yeğlenir.

Göstergelerde göz önüne alınması gereken bir başka nokta da turn-on (yak) ve turn-off (söndür) süreleridir. LCDler karakteristik olarak LEDlerden çok daha yavaştır. LCDlerin tepki süresi genellikle 10~200ms arasında iken LEDlerin tepki süreleri 100ns kadardır. Bu nedenle LCDler saat, game-watch, ölçü aygıtı gibi çok fazla görüntü değişim hızı gerektirmeyen uygulamalarda kullanılmaktadır. LCD tepki süresini

kısaltmak için sürme gerilimlerinin daha artması, sıvı-kristal malzemenin akışkanlığının azaltılması ve gösterge kalınlığının düşürülmesi gerekmektedir. Şu anda kullanılan en yaygın eşik gerilim değeri 5V, sürme sıklığı 100Hz ve sıvı-kristal katman kalınlığı 10~30 μ m arasındır. Sürme sıklığı 30Hz değerinin altına düştüğünde kırışma oluşmaktadır. Sıvı-kristal göstergenin harcadığı güç sürme frekansı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. LCDlerin tepki hızları, düşük çalışma sıcaklıklarında çok azalmaktadır. Düşük sıcaklıklar, LCD yapısına zarar vermeseler de, kullanılmasını olanaksız kılarlar. Günümüzde erişilen alt sıcaklık sınırı, -30C° kadardır. Bazı durumlarda göstergenin arkadan ısıtılması yoluna da gidilmektedir. Ancak bu durum güç gereksinimini arttırmakta ve sıvı-kristal malzeme için tehlike yaratabilmektedir.

LCD göstergelerin ömür süreleri ortalama 100,000+ saat kadardır ve gelişen teknoloji ile sürekli artmaktadır. LCDlerin renkleri kullanılacak ışık kaynağına bağlı olduğu için sınırsız renk tercihi sağlanabilir.

LCDler ac işaretlerle sürülecek olursa, iletken yüzeyler elektroliz nedeniyle kaplanırlar. İletken yüzeylerin kaplanması, LCDyi kullanılmaz duruma getireceği için, belirlenen ve yaklaşık 25mV kadar olan dc offset geriliminin asla aşılması için çok dikkatli olunmalıdır.

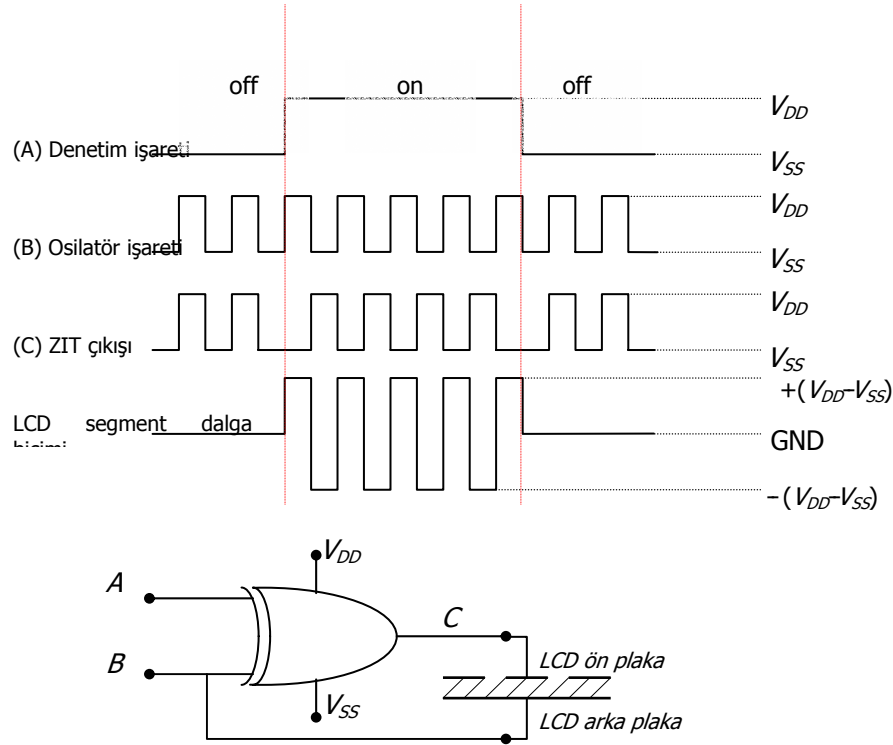
LCDler genellikle mantık devrelerine bağlandığından çoğunlukla bakışık ac karedalga ile sürülürler. Bu simetrik dalga çok az dc offset yaratır ve bir ZIT geçidi kullanılarak kolayca elde edilebilir.

LCDlerin sürülmesi için kullanılan devre, Şekil:41de görülmektedir. Burada ZIT geçidinin (A) girişine denetim işareti ve (B) girişine de titreşken (osilatör) işareti uygulanmıştır. Osilatör işareti aynı zamanda LCD ortak ucuna (arka plaka) uygulanmış, segment sürme ucuna da ZIT çıkışı verilmiştir. LCD segmentinde oluşan dalga biçimi de titreşken çıkış gerilimi ile bunun 180° tersinin toplamıdır. Böylece 5V kaynak geriliminden 10V_{t-t} segment gerilimi elde edilmektedir.

LCD aygıtlar CMOS mantık ile çok iyi uyum gösterdiklerinden, LCDler için üretilmiş kodaçar, sürücü ve pek çok arayüz tümdevreleri piyasada çokça bulunmaktadır. Bu tür tümdevrelere, Şekil:42de görülen LCD seven-segment kodaçarlar örnek gösterilebilir.

Katot ışınlu tüplerdeki küresel yada silindirik ekran yüzeyine alternatif arayan

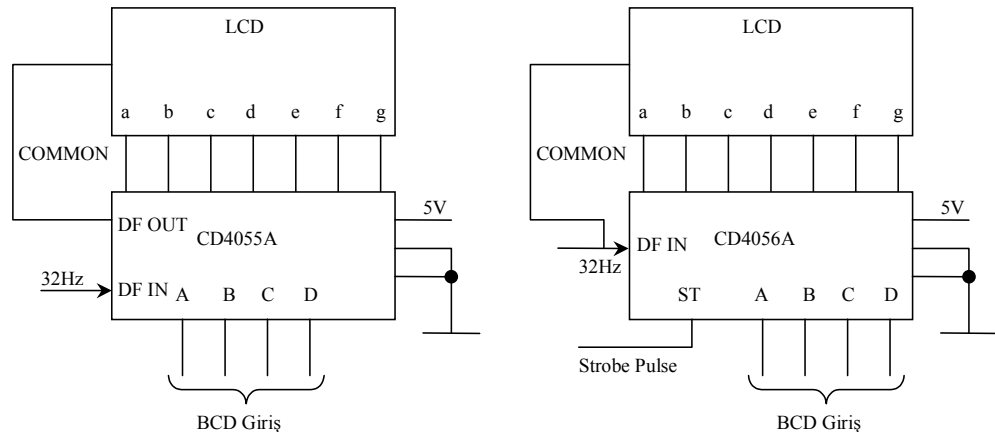
üreticiler için LCDler, düz ekranları nedeniyle iyi bir seçenek gibi görünmektedirler. Hız ve güç tüketimi sorunları çözüldükçe en azından bilgisayar monitörü olarak kullanımları yaygınlaşacaktır. Günümüzde 53cm köşegen boyutlara dek renkli LCD



Şekil 41: LCD sürme devresi ve dalga biçimleri.

ekranlar üretilmekte ancak maliyetleri son derece yüksek olmaktadır. 30cm ve daha küçük ekranlar için karşılanabilir maliyetler düzeyine inilmiştir.

Tüm gelişmelere karşın LCDlerde görüş açısı darlığı ve kontrast azlığı hala bir sorun olmayı sürdürdüğünden, düz ekran pazarı için diğer üç teknoloji üzerine de yatırımlar ve araştırmalar sürmektedir.



Şekil 42: LCD 7-segment decoder devreleri. 4055 tutucusuz, 4056 tutuculu kodaçlar olarak kullanılır.

DİĞER GÖSTERGELER

Sıvı-kristal göstergelerin sunduğu düz ekran seçeneğine ulaşmak için katot-ışınlı tüpler de olmak üzere birkaç teknoloji yarış durumundadır.

Katot ışınlı tüpler çalışma ilkeleri nedeniyle tümüyle düz ekranlara olanak tanımamakta yada ancak çok yüksek maliyetler ve ileri tekniklerle bu amaca ulaşabilmektedirler. Şimdilik düze yakın büyük ekranları ile evlerdeki TV setleri için en yaygın ve hesaplı seçimi sağlarlar da, hantal yapıları ve yüksek güç tüketimleri nedeniyle geleceğin dünyasında yer almayacaklarına kesin gözüyle bakılabilir.

Diğer bir teknoloji, electroluminescent panel (elektriksel ışıltama tablosu) olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemle üretilen ekranlarda üzerlerine bir elektrik alanı uygulandığında ışık yayan belli bazı katılar kullanılmaktadır. Şimdilik 25cm ekranda 25 satır 80 karakter gösterilebilmektedir. Bu ekranlar görüntünün sabit kalabilmesi için 60Hz hızında taranmaktadır. Parlak bir görüntü için genellikle 200V kadar bir yüksek gerilim gerektiği için bu aygıtların, özellikle taşınabilir pazarında popülerleşmesi zor görünmektedir.

Düz ekran pazarı için yarışan bir başka teknoloji de, VF–vacuum-fluorescent (boşluk ışıltama) olarak adlandırılan tekniği kullanmaktadır. Bu tür aygıtlarda, düşük sıcaklıkta çalışan bir filaman katottan yayılan elektronların, tel kafes ızgaralı bir vakum tüpünde, fosfor kaplı anoda çarpmaları ile oluşan ışıltamadan yararlanılır. Bu tür göstergeler 100,000 saati aşan kullanım ömrüne ve aydınlıkta ve karanlıkta görülebilmelerine karşın boyutları büyütülmeye çalışıldıkça gereken sürücü devreleri ile birlikte maliyetleri de hızla artmaktadır. Bununla birlikte küçük boyutlu göstergeler yaygın olarak kullanılmaktadır.

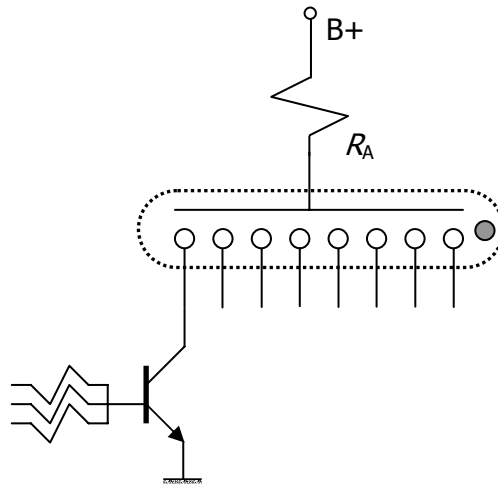
VF göstergeler genellikle TTL devreler ile sürülürler. Anot gerilimi 60~70V kadar

olduğu için kodaçlar ile gösterge arasında arayüz olarak yüksek gerilimli sürücü yongaları kullanılır.

Segmentlerden birisi katoda göre yeterince pozitif bir gerilimle sürüldüğü zaman, katot çevresindeki elektron bulutu ızgara tarafından hızlandırılarak anoda yönlendirilir. Anot üzerine hızla çarpan elektronlar anodun kaplanması kullanılan malzemeye göre değişen bir renk ile ışıltama yaratırlar. En yaygın olarak görülen renkler yeşil, mavi, kırmızı ve sarıdır. Bu renkler değişik süzgeçlerden geçirilerek hemen hemen tüm renkler elde edilebilir.

En son ve en güçlü rakip, plazma tablo göstergelerdir (plasma panel display). Eski yıllardaki gaz-boşalmalı gösterge tüpü (gas-discharge display tube) olarak adlandırılan aygıtın kuzeni olan bu göstergenin çalışmasını anlamak için önce gaz-boşalmalı tüpün çalışması kısaca incelenmelidir.

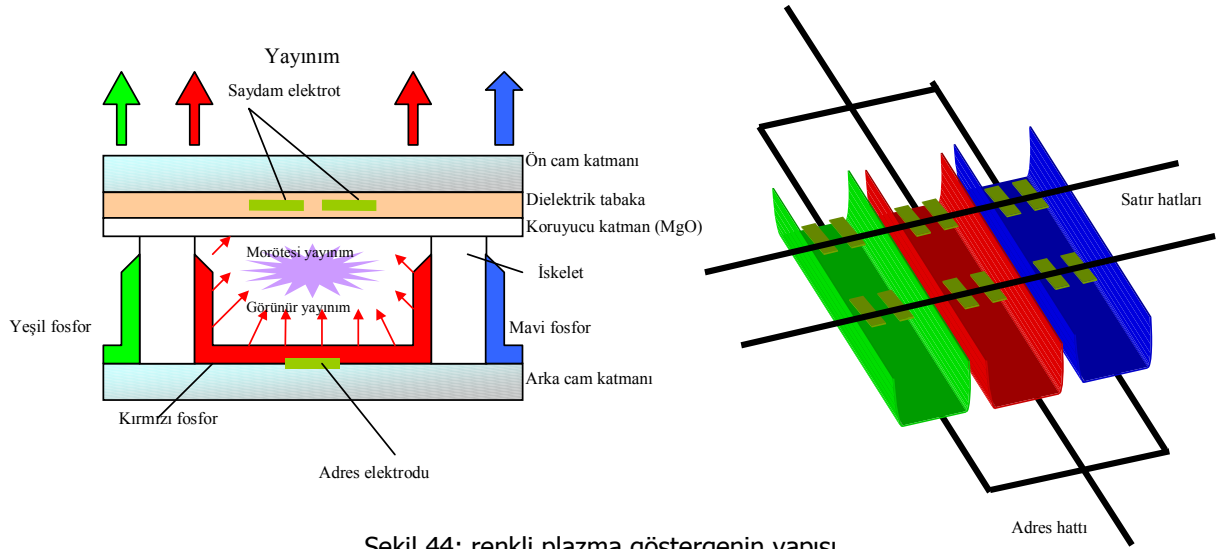
Gaz boşalmalı göstergede, yükünleştğinde (ionized) turuncu renkte parıltıyan neon gazı kullanılır. Bu tür tüplere soğuk katotlu (ısıtma filamanı yoktur) aygıt denilmektedir. Ortak bir anot ve karakterleri oluşturmak için birkaç metal katodu vardır. Seçilen katot elemanlarına anoda göre negatif gerilim uygulanınca bir akım oluşur. Bu durumda seçilen katotlar ışıltayarak karakteri oluşturur. Şekil:43te gaz boşalmalı tüpün yapısı ve temel sürme devresi görülmektedir. Bu tüplerde elemanın tümüyle ışıltaması için minimum katot akımı geçmelidir. Tüpün ömrünü uzatmak için bir üst akım sınırı da belirlenir. Şekilde görüldüğü gibi her katot eleman, transistör yada benzeri bir yarıiletken aygıtlarla sürülür. Bu devrede anot direnci akım sınırlayıcı



Şekil 43: Gaz boşalmalı tüp ve tipik sürme devresi.

görevini üstlenir ve genellikle +170V kadar bir anot gerilimi kullanılır. Bu biçimde dc gerilim ile çalıştırılan göstergeler dc plazma göstergeler olarak adlandırılır.

Diğer plazma göstergelerde de neon gazı kullanılır ve yüksek frekanslarda sürüldüklerinde, turuncu renkte parıldarlar. Işık şiddeti anahtarlama frekansının işlevi olarak artar. Bir dc kaynaktan genellikle 20kHz ile anahtarlanarak çalıştıkları için ac plazma göstergeler olarak da adlandırılırlar. Panel temel olarak neon dolu bir sığaştır ve dielektrik ile kaplı plakaları vardır. Bu göstergenin doğal özelliği olarak belleği



Şekil 44: renkli plazma göstergenin yapısı.

bulunduğundan, yenileme (refreshing) gerekmez.

AC plazma göstergelerde, dc plazma göstergelerden farklı olarak, kullanılan gaz, elektrotlardan yalıtılır. DC göstergelerin üretimi bu nedenle daha kolaydır ancak sürme gerilimi kesildiğinde parıldamanın da kesilmesi nedeniyle, resmin ekranda sürekliliği için yenileme işlemi gerekmektedir.

Plazma göstergeler üretim teknolojilerine yapılan yatırımla düz renkli ekran pazarında LCDnin en büyük rakibi durumundadır.

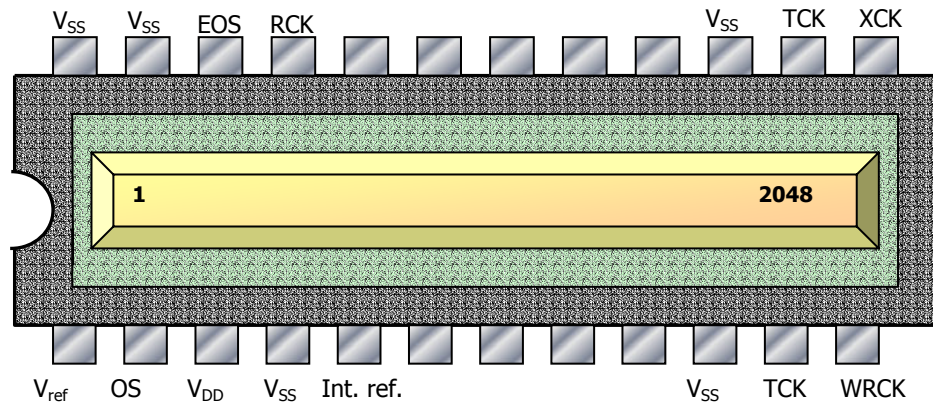
Günümüzde piyasada 100cm görünebilir alanda 16.7 milyon rengi 640×480 çözünürlükle sunan ekranlar bulunabilmektedir.

GÖRÜNTÜ SEZİCİLER

(IMAGE SENSORS)

Optik elektronik devre elemanlarının en sonuncusu imge görüntü algılamada kullanılan image sensor adlı elemanlardır. İmge seziciler kullanım alan ve gereksinimlerine bağlı olarak pek çok değişik boy ve özellikte üretilmektedirler.

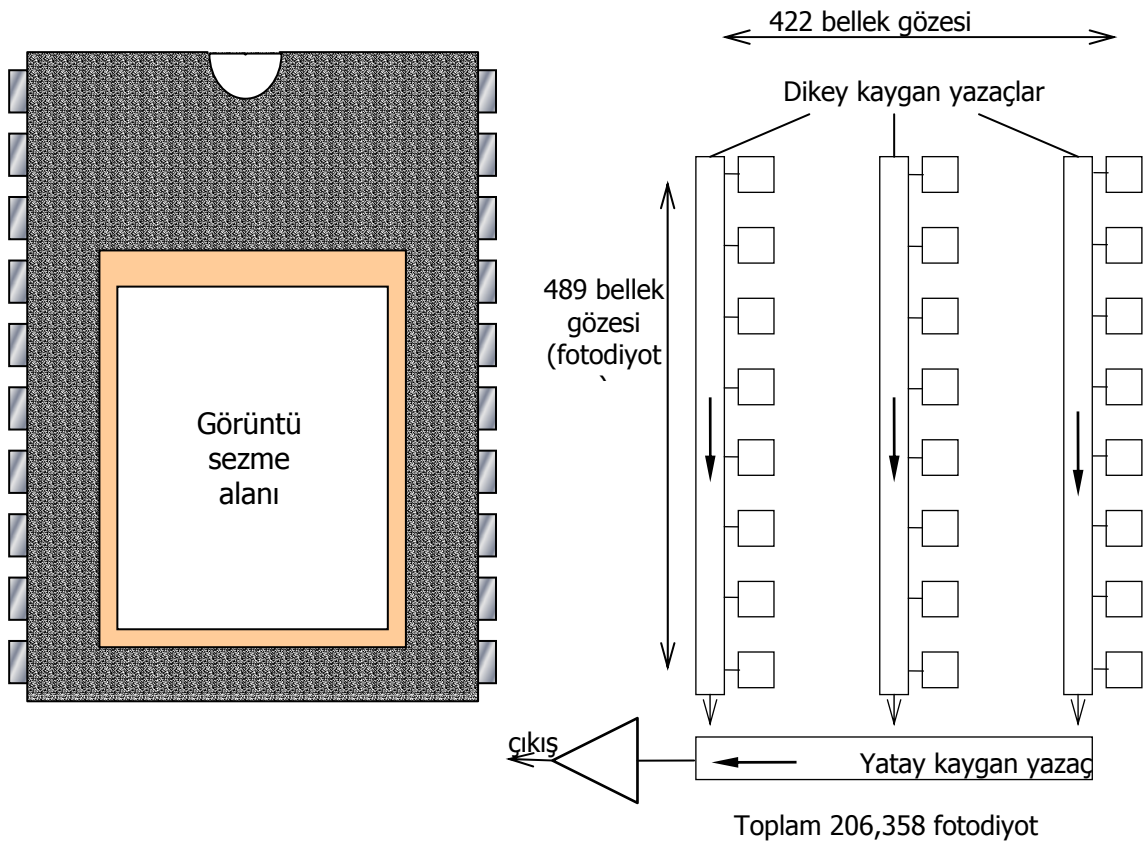
Genellikle fotodiyotlardan oluşturulan bu aygıtların en yalını, yanyana dizili bir sıra fotodiyottan oluşan satır tarayıcılarıdır. Bu aygıtlar 64~10,000 arası değişen sayıda özdeş fotodiyot içerirler. Kullanılan fotodiyot sayısının artması ve yerleşim aralığının azalması ile elde edilen çözünürlük artar. Genellikle cam yüzeyli bir tümdevre kılıfı içinde üretilen satır (doğrusal) tarayıcılar, içerdikleri kaygan yazaç ile görüntü bilgisini seri olarak çıktılarlar. Kullanılan fotodiyot sayısı, sıklığı ve duyarlılık dalgaboyuna bağlı olarak doğrusal konum ve/veya hız denetiminde, biçim ve boyut



Şekil 45: 2048 elemanlı imge sezme kırımiğı.

algılamada, belgegeçer aygıtlarında, renkli tarayıcılarda kullanılabilirler. Gri ölçekli görüntü elde etmek için tek bir dalgaboyuna duyarlı elemanlar yeterli olurken, renkli imgeler için özel bir biçimde yerleştirilmiş üç yada dört ayrı dalgaboyuna duyarlı fotodiyotlar kullanılması gereklidir. Şekil:45te, 2048 elemanlı bir doğrusal imge sezici yonganın fiziksel yapısı gösterilmiştir.

Doğrusal imge seziciler dışında daha karmaşık yapılarıyla resim algılamada kullanılan görüntü tabletleri de üretilmektedir. Genellikle 4x3 biçeminde resim üretmek üzere dörtgen bir yüzeye dizey olarak bağlanmış ve her birisine pixel (picture element-resim elemanı) denilen çok sayıda fotoelemandan oluşan tabletler, içlerindeki satır ve sütun kaygan yazıcıları yardımıyla tüm video bilgisini seri olarak çıktılarlar. Şekil:46da alansal imge sezici ve temel iç yapısı görülmektedir. Bu aygıtlar yaygın olarak video kameralarda, biçim boyut ve renk algılama ve tanıma işlemlerinde, renkli fotokopi



Şekil 46: Alansal görüntü algılayıcı ve işletim mantığı.

aygıtlarında kullanılmaktadırlar.

Alansal imge algılayıcıların üretimlerinde CCD (charge coupled device) teknolojisi

kullanılır. Bu elemanların görüntü alanına dizey olarak yerleştirildikleri silikon tablet, gerekli aktarım geçitleri ve sürücü devreler de eklenerek saydam üst yüzeyli tümdevre kılıfları içerisinde piyasaya verilirler. Günümüzde robot görme sistemleri ve yüksek nitelikli kameralar için 1024x1024 pixellik yüksek çözünürlüklü ve milyonlarca rengi sezebilen image sensorlar üretilmektedir. Bunlar görüntüyü doğrudan doğruya sayısal biçimde ürettiklerinden mikroişlemci denetimli görüntü işleme süreçleri için çok kullanışlıdır. Sözelimi düşük ışık yoğunluklarında görüntü algılayabilir, kayar mercek sistemlerine gereksinim duymadan yakınlaştırma/uzaklaştırma yapabilir yada belli bir rengi yada renk bileşenini görüntüden silebilir yada değiştirebilirler.

LASER

Laserlara başlangıçta optik maser adı veriliyordu. Maser, İngilizce "Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (uyarılmış ışınım salımı ile mikrodalga yükseltmesi) için bir kısaltmadır. Görünür dalgaboylarında ışınımın oluşturulmasıyla bu kısaltma yerini lasera (Light ASER) bıraktı. İlk laser, 1960 yılında ruby (yakut) kristali kullanılarak geliştirilmiş bir aygıt idi.

Bu laser, tek bir dalgaboyunda, tekrenkli ışık (monochromatic light) denilen bir ışınım yayıyordu. Bu ilk laser aygıtları son derece kırılğan ve pahalı olduklarından çok yaygın olarak kullanılmaları olası değildi. Teknolojinin gelişmesiyle 1970lerde endüstriyel uygulamalarda kullanılabilecek türde laserlar üretilebildi. Bu aygıtlar, delme, kaynak, kesme, hassas ölçme ve hizalama amaçlarıyla yaygın olarak kullanılmaya başlandı.

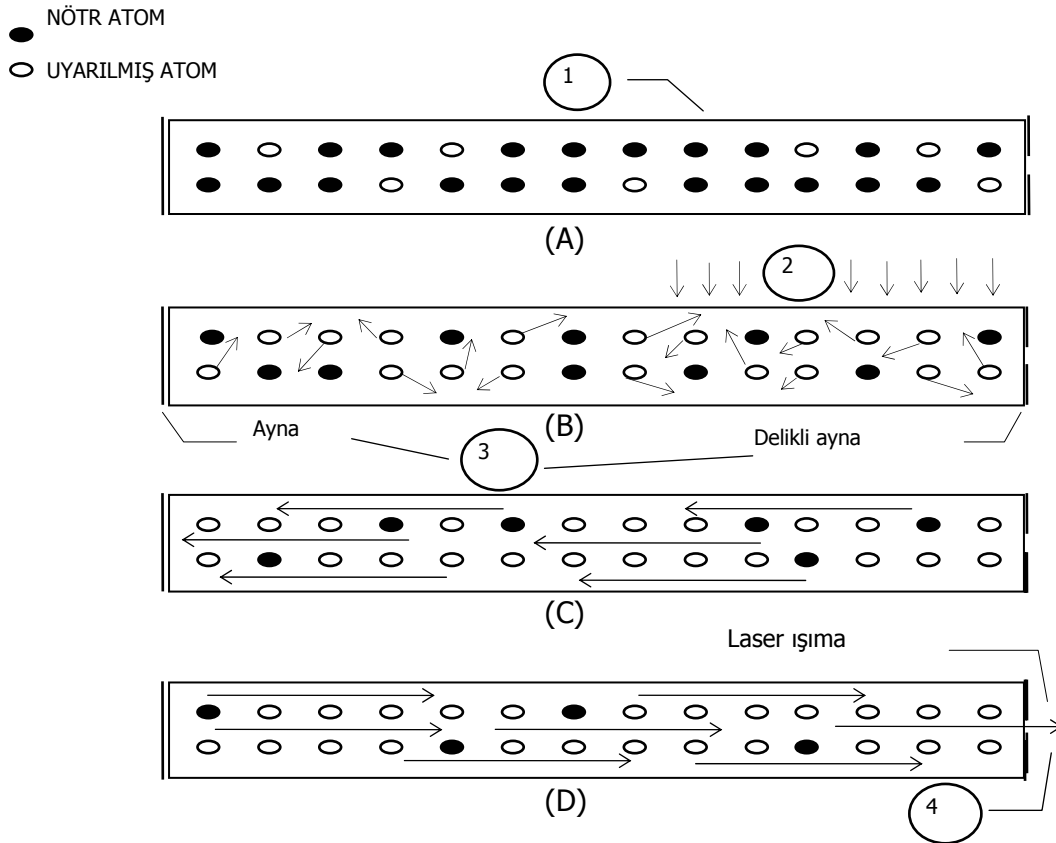
Laser yöntemi ile elde edilen ışığın (yada ısımanın) özelliği, çok dar bir dalgaboyu aralığında (neredeyse tek bir dalgaboyunda) oluşması ve bütün fotonların eşevreli (coherent) olmasıdır.

Laser ışması çok yüksek enerji yoğunluklarına ulaşabildiği, saçılmadığı, hüzmelenebilirliği, çok geniş bir dalgaboyu aralığında ve monochromatic üretilebildiği için iletişim, veri aktarımı, veri saklama, ağır sanayi, uzay teknolojisi, eğlence sektörü ve savunma sanayisinde giderek yaygınlaşarak kullanılmaktadır.

Laser aygıtlar temel olarak dört bileşenden oluşurlar. Bunlar;

1. Etkin bir ortam
2. Ortamı uyaracak bir düzenek
3. Bir geri besleme düzeneği
4. Işınımı çıkıtlayacak bir düzenek

olarak sıralanırlar. Şekil:47de laser üretimi ilkesel olarak açıklanmıştır. Başlangıçta etkin ortamdaki atomların bir bölümü uyarılmış (oda sıcaklığı vb.) olsa da atomların çoğu nötr durumdadır (A). Bu ortama dışarıdan yüksek bir enerji basıldığında (güçlü bir ışık vb.) atomların çoğu uyarılmış duruma geçer (B). Uyarılan atomlar kullanılan malzeme türüne bağlı olarak değişen bir dalgaboyunda ışımaya (foton salmaya) başlarlar. Bu sürece uyarılmış salım denir. Uyarılmış salım ile oluşan bu fotonlar ortamın yalıtılmış olması nedeniyle dışarıya çıkamadan ortam içinde yansıtılırlar. Bu yansımalar sırasında halen uyarılamamış olan diğer atomlar da uyarılarak, ışımaya geçerler (C). Ortam içerisindeki ışımaya koşut aynalar arasında sürekli olarak yansıtılır ve ortamı tek bir noktadan terk edebilirler (D). Bu durumda elde edilen ışımaya, tek bir dalgaboyunda ve tümüyle eşevreli bir ışımaya ve LASER olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 47: Laser üretimi için gerekli olan temel düzenek ve laser üretimi.

Ne biçimde olursa olsun laser üretimi için yukarıda anlatılan temel ilkeler değişmemekte ancak gereksinilen ışımaya özelliklerine göre kullanılan yöntem ve

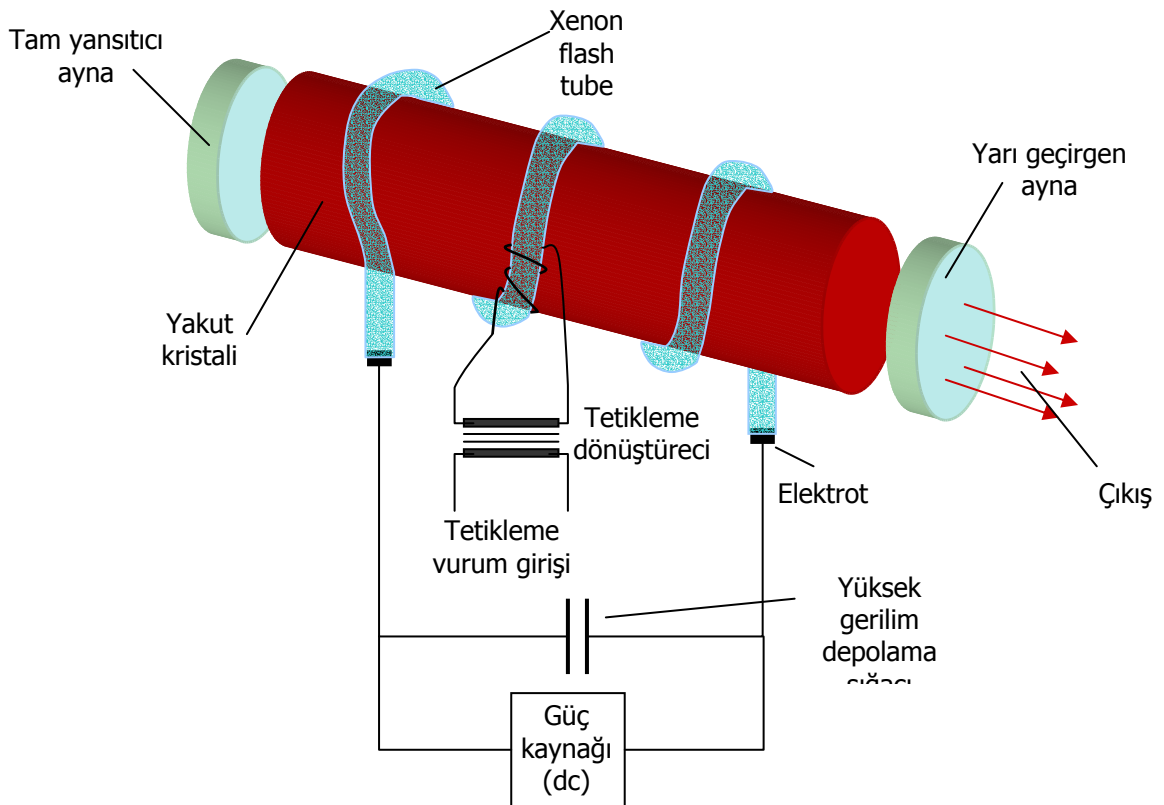
malzemeler değişik biçimlerde belirlenmektedir. Günümüzde kullanılan dört temel laser üretim yöntemi vardır. Bunlar;

1. Katı-hal laser
2. Gaz laser
3. Yarıiletken laser
4. Organik boya laser

olarak sıralanabilirler.

KATI HAL LASER

Şekil:48de katı hal laserların en yaygın kullanılanı optik pompalı yakut laser görülmektedir. Yakut temel olarak safir (corundum-alüminyum oksit kristali) denilen Al_2O_3 bileşiğinden elde edilen bir kristaldir. Bu kristale %0,05 oranında Cr_2O_3 katılarak alüminyumun bir kısmı yerine krom eklenir ve pembemsi kırmızı renkli



Şekil 48: Optik pompalı katı-hal laser temel yapısı.

yakut oluşturulur.

Bir dc yüksek gerilim üreticinden sağlanan enerji, flaş tüpü uçlarına bağlı sıgaç yada sıgaç gurubunda depolanmaktadır. Küçük laser kristalleri için bu gerilim, 2000~5000V kadardır. Yakuttan yapılmış bir çubuğun çevresinde, içinde ksenon gazı bulunan flaş tüpü bulunmaktadır. Bu tüp içindeki ksenon, tetikleme dönüştürücünden gelecek yüksek gerilim vurumu ile yükünlenir (ionize) ve iletme geçerek sıgaç(lar) üzerinde biriktirilen enerjiyi ($W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$) çok yeğin bir ışımayla kristal yapı içerisine basarak pompalama eylemini başlatır. Bu optik pompalama işlemi bütün katı hal laserların çalışmalarının temelidir. Flaş tüpünden gelen ışık, krom atomlarını G bandındaki nötr düzeyinden E yada F bantlarındaki uyarılmış düzeylere pompalar. Pompalanan atomlar bu düzeyde kararsız durumdadırlar ve iki aşamalı bir süreçle enerji yitirirler. Uyarılmış atomlar ilk adımda yarı kararlı M düzeyine geçerler. Bu aşamada hiç bir ışıma yada salım gerçekleşmez. İkinci adım M düzeyinden G düzeyine geçiştir ve bu sırada yapay (simulated) yada doğal (spontaneous) salım oluşur. Bu sürecin tümüne *üç enerji düzeyli laser eylemi* denir. Bazı laserlarda *dört enerji düzeyli eylem* de kullanılmaktadır. Asıl laser oluşumu, laser çubuğunun uçlarındaki yansıtıcı aynalarla oluşturulmuş ışıl kovuk (optical cavity) içerisinde gerçekleşir. Laser ışını yeterince koşutlandıktan sonra sağdaki yarı geçirgen aynadan dışarı fırlar.

Flaş lambası ile laser çubuğu arasındaki etkin ışıl bağlaşımı arttırmak ve düzenek dışına ışıma yoluyla oluşacak yitimleri azaltmak için tüm düzenek, iç çeperleri yansıtıcı ışık geçirmez bir kılıf içerisine koyulur.

Burada kullanılan flaş lambaları, fotoğrafçılıkta kullanılanlar gibi düşük basınçlı gazla doldurulmuş cam yada kuvars tüplerdir. Kripton yada helyum ile daha yüksek parlaklıklar elde edilebiliyorsa da genellikle xenon gazı kullanılmaktadır. Bu lambalar genellikle helisel, doğrusal yada U-biçimli olarak üretilirler. Bu laser aygıtlarında kullanılan lamba boyutu, vurum süresi ve elektriksel giriş erki istenilen ışın özelliklerine bağlı olarak geniş bir aralıkta değişim gösterebilmektedir.

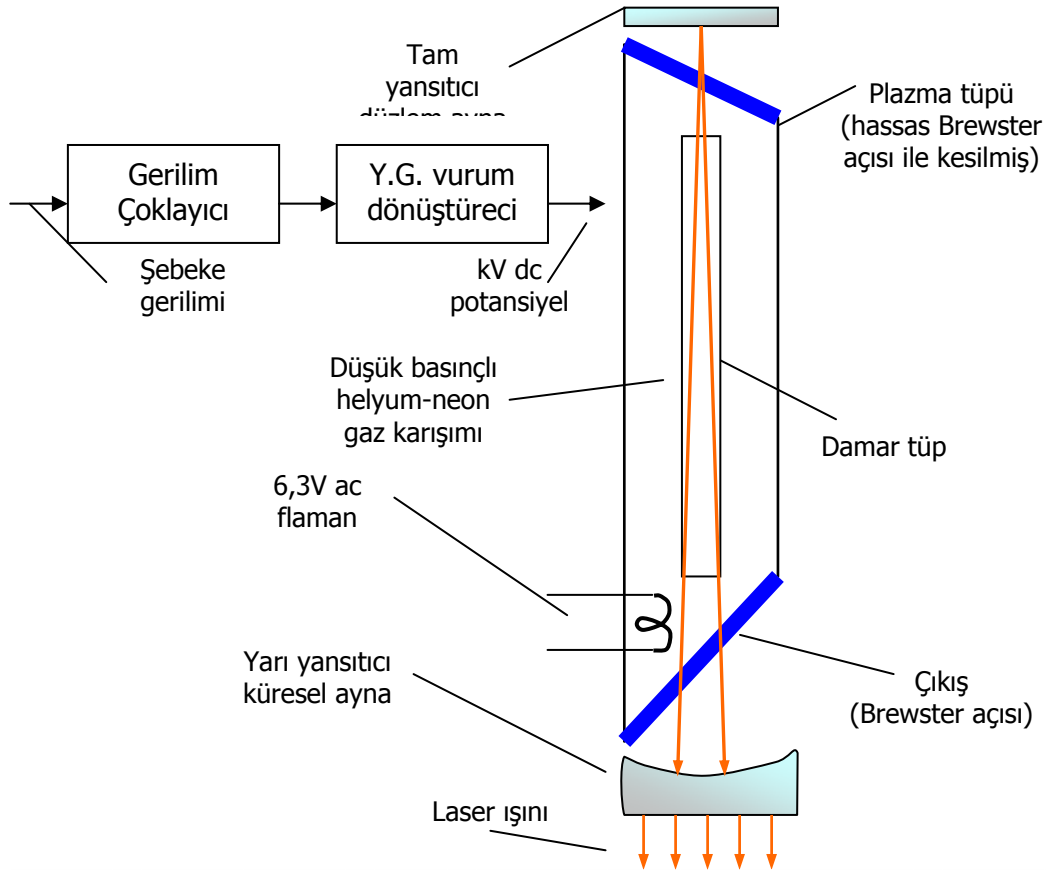
Bir elektrik akımı lamba içinden geçirildiğinde, geniş bir dalgaboyu aralığında radyan enerji salan yüksek sıcaklıklı bir plazma oluşur. Kullanılan kristal malzemenin yutma izgesine uyacak bir dalgaboyu tepesi yaratmak amacıyla, kullanılan gaz bileşimi ve uygulanan gaz basıncı değiştirilebilir.

Bir flaş lambasının boşalması (discharge), elektrotlar arasında bir kıvılcım akışı ile olur. Bu kıvılcım akışı da, lambanın yüksek gerilimli bir tetikleme vurumu ile sürülmesi ile sağlanır. Flaş lambası bir kez tetiklendikten sonra, sığaç üzerindeki tüm yük iyonlaşmış gaz içerisinden akarak boşalır. Sığaç ile flaş tüpü arasına genellikle bir seri endüktans eklenerek akım vurumu biçimlendirilir ve lambanın ömrünü kısaltacak çınlama ve ters akım akışı engellenir.

Bu tür laserlar elektromanyetik izgenin yakın morötesi, görünür ve kızılberisi bölümlerinde ışıma yaparlar.

GAZ LASER

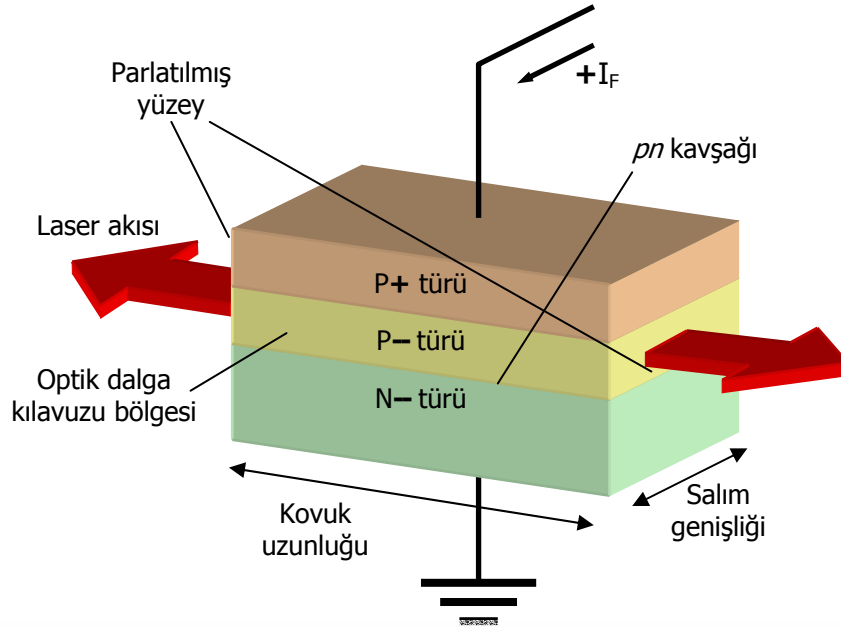
Gaz laserlar vurumlu katı-hal laserlardan oldukça değişik biçimde çalışırlar. Gaz laserlar güçlü değildirler ve genellikle sürekli-dalga kipinde (CW–continuous wave mode) çalışırlar. Saldıkları sürekli ışık, vurumlu (kristal yada yarıiletken) laserların ışığı gibi yakarak delikler açmak yada çeliği buharlaştırmak için kullanılamaz. Bununla birlikte gaz kullanımı için pek çok neden vardır. Yarıiletken ve kristallerdekinin tersine



Şekil 49: Elektrik deşarjlı uyartım kullanılan gaz laser.

kullanılacak malzemenin hacmi büyük olabilir. Isınan gaz etkin bölgeden dışarı alınıp yerine daha soğuk gaz basılarak kolayca soğutma yapılabilir.

Laser ışıma elde edebilmek için iki gazdan oluşan bir karışım gereklidir. İkinci gazın atomları dış uyartımla yüksek enerji düzeylerine yükseltilir. Bir laserda sözcelimi 10 birim helyum ve 1 birim neon kullanılabilir. Karışım, radyo frekans enerjisi ile pompalanır. Bu işlem için daha modern bir yaklaşım, gaz bir flaman ile ısıtılırken, gerilim çoklayıcı bir devre yardımı ile yüksek gerilim boşalması kullanmaktır. Elektronik devrelerdeki bir takım düzenlemelerle, gazların yükünleşmesini başlatmada flaman gereksinimi de ortadan kaldırılabilir. Şekil:49da bir gaz laserın temel yapısı gösterilmiştir. Bu aygıtta şebeke gerilimi, gerilim çoklayıcı ve vurum dönüştüreci kullanarak tüp içindeki gazı yükünleştirebilecek 7,5kV değerine yükseltilmektedir. Tüpün ortasındaki damar tüp, asıl lasing sürecinin oluştuğu bölümdür. Gaz karışımını içeren tüpün her iki ucu da Brewster açısıyla hassas olarak kesilmiştir. Brewster açısı, geliş düzlemine göre koşut ucaylanmış bir dalganın hiçbir yansıma olmaksızın tümüyle geçtiği geliş açısıdır. Arkadaki tam yansıtıcı ayna, tüpten



Şekil 50: Enjeksiyon laser diyot yapısı.

gelen ışımayı yeniden geri yansıtarak çıkıştaki yarı-geçirgen küresel aynaya gönderir. Burada gazı ısıtmak için kullanılabilir flaman da gösterilmiştir.

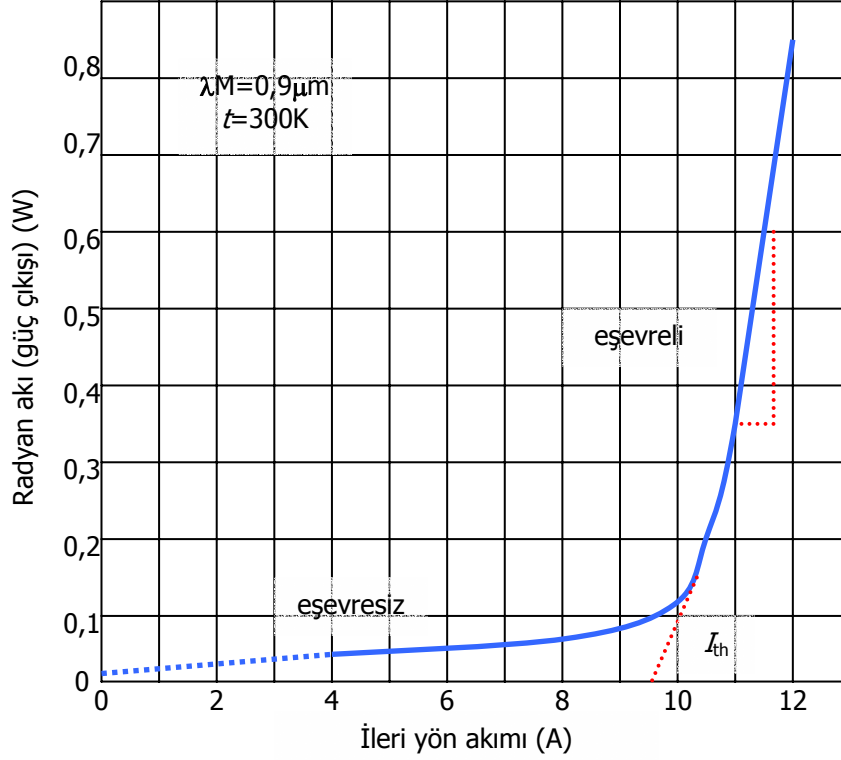
YARIİLETKEN LASER

Doğrudan bant boşluklu malzemeden üretilen laser diyotlar, ısı kovuk ve yüksek enjeksiyon taşıyıcı yoğunluğu gerektirmeleri açılarından, alışlagelmiş ışık yayan diyotlardan ayrılmaktadırlar. Bu nedenle yariiletken laser diyot genellikle enjeksiyon diyot olarak adlandırılır. Yariiletken laser, diğer laser türleri ile karşılaştırılırsa çok verimli ve küçük boyutludur. Şekil:50de bir enjeksiyon laser diodun yapısı gösterilmiştir. Parlatılmış karşılıklı kenarlar ve komşu kenarların dikdörtgensel kesilmeleri ile bir pn ısı kovuğu oluşturulmuştur.

Şekil:51de verilen karakteristikte ileri yön diyot akımı ile ışıma çıkış gücü arasındaki ilişki görülmektedir. Burada görülebileceği gibi eşevreli ışıma için gereken eşik akımı 10A kadardır. Gerekli akım değeri bu denli yüksek olduğundan aygıt yalnızca vurumlu kipte çalıştırılır. Salınan dalgaboyu, yariiletken malzemeye, doping düzeyine ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir.

Bazı enjeksiyon laserlarda yarıiletken bloğun bir ucu altın yada gümüş bir filmle kaplanarak diğer ucun tek çıkış olarak hizmet vermesi sağlanır. GaAs malzeme yansıtıcı olduğundan yansımaların yaratılması için ayna kullanılmasına gerek kalmaz.

Bu türde üretilen tipik laserlar, 0,5~50W kadar vurumlu güç salabilirler. Çoğu



Şekil 51: enjeksiyon diyodu akım-ışınma gücü karakteristiği.

enjeksiyon laserlar çok düşük sıcaklıklarda (77K°) çalıştırılırlar. Tek bir laser diyottan yüksek güç tepeleri elde edilebilmesine engel olan iki temel sorun vardır: (1) büyük laser kırmıkları sürmek için gerekli yüksek sürme akımları, (2) kaynağın büyümesiyle gereken büyük pahalı optik düzenekler.

Kabul edilebilir sürme akımları ile yüksek güç çıkışları elde edebilmek için laser diyotlar diziler olarak kullanılabilir. 40A sürme akımı ile 75~300W aralığında radyan akı tepe güçleri sağlayabilen yığın diyot laserlar piyasada bulunmaktadır.

ORGANİK BOYA (SIVI) LASER

Sıvı laserlar hem katı-hal hem de gaz laserların bazı yararlı üstünlüklerini birlikte taşırlar. Pek çok değişik sıvı laser üretilmiştir ancak bunların en önemlisi, ışıma

dalgaboyunun oldukça geniş bir aralıkta ayarlanabilmesi avantajını taşıyan organik boya laserlardır. Bu özellik spektroskopi ve kimyasal tepkimelerin incelenmesi gibi alanlarda çok fazla yarar sağlar. Boya laserlarda kullanılan malzemeler, kumaş, plastik, sabun ve kozmetiklerde kullanılan sıradan kimyasal renklendiricilere çok benzer. Vurumlu bir laser aygıtı bir boya malzemesi bloğu içine koyulur ve sonra optik olarak süzülerek istenilen renk elde edilir. Bu tür laserlar günümüzde neredeyse hiçbir endüstriyel kullanıma sahip değildirler. Şimdilik salt eğlence sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

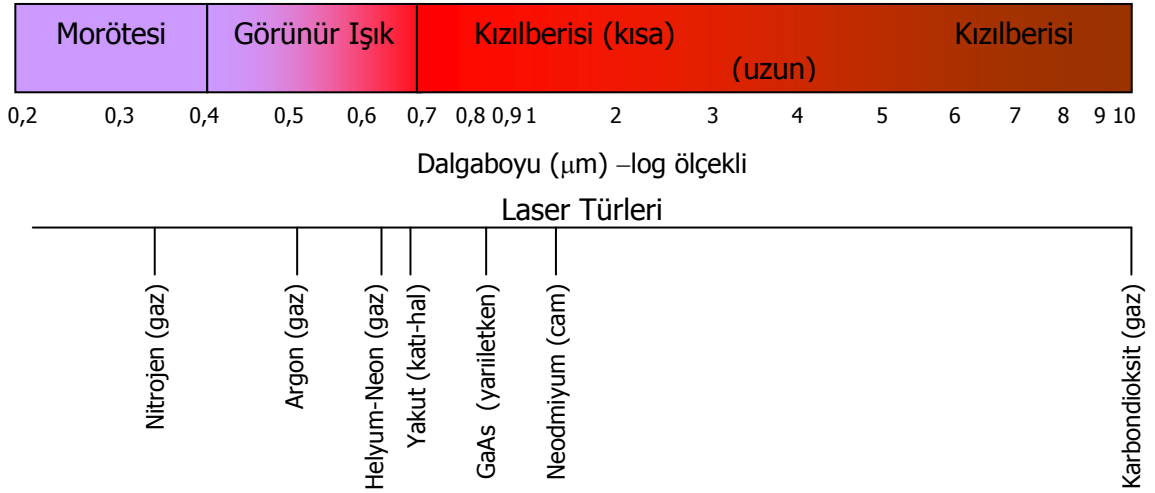
LASERLARIN ENDÜSTRİYEL KULLANIMI

Laserlar, her biri belirli bir dalgaboyu üreten değişik malzemeler kullanılarak üretilebilirler. Şekil:52de bazı malzemeler ile elde edilen dalgaboyları, birbirlerine ve elektromanyetik izgeye göre gösterilmiştir. Şekilde belirtilen laserlar, en yaygın olarak kullanılanlardır.

1. Karbondioksit laser, yakın kızılberisi $10.6\mu\text{m}$
2. Neodmiyum cam laser, uzak kızılberisi $1,06\mu\text{m}$
3. Galyum arsenür laser, uzak kızılberisi $0,85\sim 0,90\mu\text{m}$
4. Helyum-neon laser, kırmızımsı turuncu $0,6328\mu\text{m}$
5. Argon laser, izgenin mavi ve yeşil bölümlerinde birkaç dalgaboyunda ışıma yapar
6. Nitrojen laser, morötesi $0,3371\mu\text{m}$

Laserların endüstriyel uygulamaları arasında kaynak, delik delme, kesme, eleman bacalarının kesilmesi ve ısı işlemleri sayılabilir. Laser enerjisinin en önemli özelliği, bir mercekle yardımı ile yoğunlaştırılabilmesidir. Böylece odak noktasında çok yüksek bir enerji elde edilir.

Sözgelimi bir cıva buharlı lamba ile CO₂ (gaz) laserını karşılaştıralım. CO₂ laser, ürettiği ışın içinde 100W yaymaktadır. Bu huzme, odak uzunluğu 1cm olan bir mercek ile 0,01cm çaplı bir noktaya odaklanmaktadır. Bu noktadaki güç yoğunluğu, 10⁶W/cm² olmaktadır. Cıva buharlı lamba 1000W ile çok daha yüksek bir çıkış gücüne sahiptir ancak bu lambadan çıkan ışığın tümü odaklanamaz. Çünkü ışınların



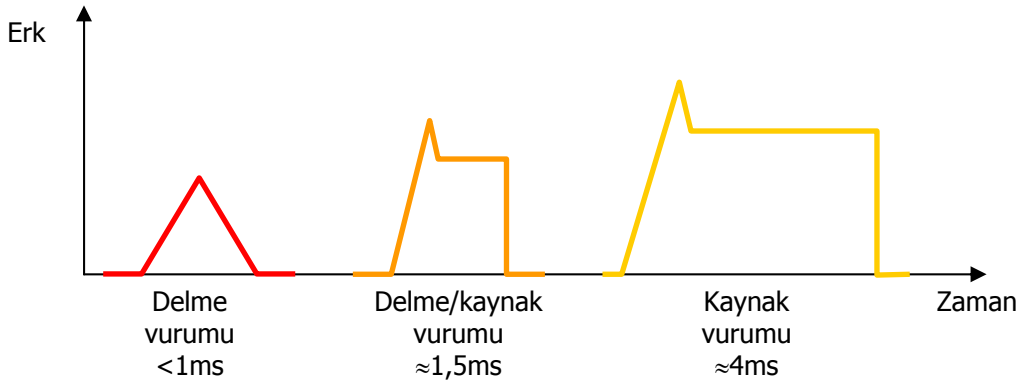
Şekil 52: Bazı laser dalgaboylarının elektromanyetik izgedeki dağılımları.

çok geniş ıraksama (divergence) açıları nedeniyle çok geniş bir odak alanı oluşmaktadır. Bu nedenle bu lambadan alınabilecek güç yoğunluğu lasera göre çok daha az olur. Aynı mercek ile (odak uzaklığı 1cm) cıva buharlı lambanın ışığı da odaklandığında 100W/cm² kadar bir güç yoğunluğu elde edilir. Buna göre lambanın laserden 10 kez daha fazla ışık vermesine karşın laserden elde edilen güç yoğunluğu lambanın 10.000 katıdır. Vurumlu laserlar, çok daha yüksek güç yoğunlukları sağlayabilmektedirler. Sözgelimi bir yakut laser işlenecek yüzey üzerinde 1ms süreli ve 10⁹W/cm² güç yoğunluğundaki vurumlar üretebilir. Bu güçteki bir ışın yüzeye çarptığında, odak noktasındaki malzeme buharlaşır.

Laser ışıması bir yüzeye düştüğünde, enerjisinin bir bölümü yutulur ve bir bölümü de yansıtılır. Erkin yutulan bölümü yüzeyi ısıtacaktır. Yüzeyden yayılacak geri-ışınma genellikle önemsiz düzeydedir. Isınma çabucak gerçekleşir çünkü ısı iletkenlik nedeniyle oluşacak yitimler vurum süresinin kısıtlılığı yüzünden önemsiz değerde kalacaktır. CW çalışmada yada uzun vurum süreleri ile çalışıldığında ısı iletkenlik ile oluşacak yitimler önem kazanacaktır.

Kaynak işlerinde erime noktası önemlidir çünkü malzemenin buharlaşması istenmez. Gerekli vurum süresi, vurum biçimi, güç yoğunluğu gibi koşullar sağlandığında yüzey çabucak erime sıcaklığına erişecektir. Bu koşulların belirlenmesinde ısı akışı, ısı iletkenlik, malzeme türü ve kullanılan malzeme yoğunluğu gibi etmenler göz önüne alınmalıdır. Ayrıca işleme derinliği de, hassas ve ısıya duyarlı malzeme içeren kalp pili, konserve, ilaç gibi ürünlerin kapaklarının kapatılmasında ve deri, kemik ve göz ameliyatları gibi tıp uygulamalarında çok önemli bir noktadır.

Talaş kaldırma (kesme ve delme) işlemleri genellikle kaynak işlemleri için olandan daha yüksek bir güç yoğunluğu gerektirir. Malzeme türü ve yoğunluğu kaynak işlemlerinde olduğu gibi burada da önemlidir. Çünkü kaldırılacak metal miktarı büyük oranda buna bağlıdır. Genellikle birkaç yüz mikrosaniye süreli vurumlar kullanılır.



Şekil 53: kaynak ve delme işlemlerinde kullanılan laser vurum biçimleri.

Aynı noktaya arka arkaya vurum gönderilerek delik derinliği artırılabilir. Seramik gibi sert ve kırılğan malzemeler, kırık çatlak pürüz gibi sorunlarla karşılaşmadan düzgün ve yitimsiz olarak gerçekleştirilebilir. Örneğin bir 747 motorunda kullanılacak 5,5m çapındaki 7 tonluk seramik disk üzerine açılması gereken 400 delik, bilgisayar denetimli bir laser matkapla 30 dakikada delinebilmektedir. Şekil:53te kaynak ve delme işlemlerinde kullanılan temel vurum biçimleri gösterilmiştir. Delme için kullanılan vurumlar, delikler üst üste bindirilerek kesme için de kullanılmaktadır. Kullanılan malzeme türü, yoğunluğu, çalışılan ortamın koşulları ve işin niteliğine göre bu biçimler temelde aynı kalmak üzere bazı değişiklikler gösterebilirler.

Laserların robotik ile birleştirilmesi ile çok hassas yada çok ağır üretim süreçlerinin yitim ve maliyetleri önemli miktarda azalmaktadır. Kaynak israfının ve iş gücü maliyetinin de azaltılması nedeniyle endüstri devleri bu teknolojiye büyük yatırımlar

yapmaktadırlar.

Laserlar ayrıca, hizalama işlemlerinde de kullanılmaktadırlar. Laser kullanılan hizalamalarda, $0,085\mu\text{m}/\text{m}$ hassasiyete ulaşılabilmektedir.

IŞIK LİFLERİ (OPTICAL FIBERS)

KISA GEÇMİŞİ

Yakın geçmişe değin manyetik yada mikrodalgalar yerine ışık kullanılan bir iletişim dizgesi düşünemezdi. Ancak bir haberleşme dizgesinde iletebilecek veri miktarının kullanılacak elektromanyetik dalganın sıklığına bağlı olması nedeni ile, ışık kullanılabilmesi durumunda iletebilecek veri miktarının $10^3 \sim 10^4$ kat artacağı da bilinmekte idi. Bununla birlikte ışığın yönlendirilmesi için yapılan çalışmalar, çok büyük uygulama sorunları ile kesiliyordu. Projektör ve mors abecesi yardımı ile başlayan iletişimde ışık kullanımı çabaları, her şeye karşın Almanların İkinci Dünya Savaşında *Lichtsprecher* ile gemiden gemiye ve gemiden karaya telefon konuşmaları yapmalarını sağlayacak denli başarıya ulaştı. Bu telefon dizgesinde döner bir projektör ile salınan kızılberisi bir taşıyıcı kullanılıyordu.

Venedik yakınında Murano'da, Rönesans'tan beri çalıştırılan ışıklar, cam döken işçileri izlerken cam çubuğun ucundaki ışık yıldızının fırın ateşinden kaynaklandığını ayımsayan Hondros ve Petrus Debye adlı bilimcilerin, 1910 yılında "Dalgaların Çok Katlı Saydam Malzeme İçindeki Dielektriklerle Yönlendirilmesi Üzerine Kuramsal Çalışma" yayını yapmaları ile, ışık lifleri için bilimsel temel atılmıştı. 1920 ve 1930 yıllarında yapılan yayınlar, mikrodalgaların yönlendirilmesi ile ilgili oldukları için ışık iletiminden çok radar dizgelerinin üretimi için yarar sağladılar. İlk ışık iletimi, van Heel, Hopkins ve Kanapy adlı bilimcilerin 1950'de fiberskopu geliştirmeleri ile gerçekleştirildi. Bunun ardından Kanapy bireysel çalışmaları sonunda cam kaplı cam lifleri üretti ve bunlara *fiber optic* adını verdi.

IŞIK KILAVUZU-OLARAK FIBEROPTIC

Bir nokta kaynaktan çıkan ışık ışınları her yöne doğru yayılırlar ve sonunda ışıktan alınan güç, uzaklığın işlevi olarak büyük miktarda azalır. Bu güç azalmasının nedeni, daha uzaktaki aynı büyüklükte yüzeye daha az ışın girmesi bir başka deyişle ışık yoğunluğunun azalmasıdır.

Işığın iletiminde ışık lifi kullanımıyla bu yayılma engellenerek uzak mesafelere verimli bir iletim sağlanır. Bu nedenle ışık lifi sistemleri, günümüzde veri iletimi ve fiziksel olgu sezimleri için giderek yayılan bir alması olmayı sürdürmektedir. Fiber-optic kablo kullanılan bir dizgede, vericiden salınan ışık çok az yitimle alıcıya erişir. Bu iletim günümüzde 50 kilometrelik mesafelerde kolayca başarılmaktadır ve uygun koşullar sağlanırsa, uzaklığın 100 km ye dek arttırılması olasıdır. Ayrıca belli aralıklarla yineleyicilerin de kullanılması ile, uzaklık sınırı kuramsal olarak sonsuza yükseltilebilir. Dahası ışık lifleri bükülebilir ve ışık bu bükümlerden az bir yitimle geçerek iletilebilir. Bu bükülme, doğası gereği doğrusal yayılan ışığın boşlukta başaramayacağı bir şeydir.

Saydam optik malzemelerin bulunması, daha ilginç özellikli malzemelerin de keşfedilebileceği düşüncesiyle, yoğun araştırmaların başlatılmasını sağlamıştır. Bu araştırmaların sınırları, $0,45\mu\text{m}$ çevresindeki görünür ışık bölgesinde başlayıp, kızılberisi bölgede $1,5\sim 1,75\mu\text{m}$ ve daha da uzun dalga boylarına, $2\sim 3\mu\text{m}$ değerlerine dek ilerlemiştir.

Mendeleyev cetvelinde camlaşmaya izin veren elementlerin uygun yapılarla karıştırılmasını sağlayan olasılıklar keşfedildikten sonra, iki çözünük A ve B maddesini soğukta karıştırıp, tepkimeden sonra çözücüyü buharlaştırarak saydam şerit üretme çalışmaları da yapıldı. Üretilen şeritte, saydam AB bileşiği bulunuyordu.

Günümüzde en iyi bileşik, silica (silis) denilen SiO_2 malzemesidir. Temel fiber malzemesi SiO_2 , SiCl_4 , SiOCl_4 , gibi bileşenlerle oksijenin yüksek sıcaklıklarda karıştırılması ile elde edilir. Saf silisyum yerine kloridlerinin yeğlenmesinin nedeni, buhar basınçlarının daha yüksek olmasıdır.

Bununla birlikte şu bileşikler de yaygın olarak kullanılmaktadır:

1. 0,8~0,9µm arası için boron ve germanyum dopingli silis (SiO_2 ve B_2O_3 yada GeO_2) kullanılır.
2. 1~1,6µm arası için fosfor dopingli silis (SiO_2 ve P_2O_5) kullanılır.

Daha az kritik gereksinimler için sıradan camlar da kullanılmaktadır. Hatta plastik zarflı silis ve plastik zarflı plastik fiberlar da üretilmekte ve kullanılmaktadır.

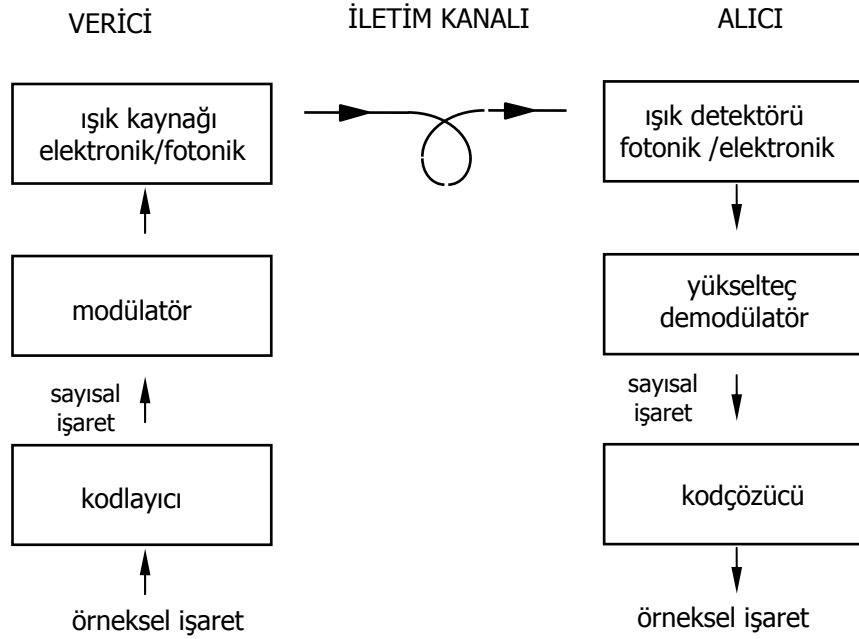
FİBERSKOP

Fiberskop günümüzde yaygın olarak kullanılan bir ışık iletim ve yönlendirme aracıdır. Çok sayıda koştur lifin bükülüp kıvrılabilecek denli ince biçimde demetlenmesi ile oluşturulan fiberskop, ışık ve görüntü iletiminde kullanılır. Liflerin her iki ucu düzlemseldir ve kordonun her iki ucundaki konumları diğer liflere göre aynıdır. Böylece kordonun bir ucundaki renk ve aydınlık, aynı biçimde diğer ucu da belirir. Kablo girişi, görüntülenecek nesnenin imgesini lif demeti uçlarına düşürecek biçimde bir düzenekle donatılabilir. Benzer biçimde çıkış ucuna da gelen imgeyi istenilen biçimde (sözelimi ters çevirerek, büyütür, vb.) çıkılabilecek bir düzenek eklenebilir.

Bu aygıt günümüzde tıp alanında çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Laparoskopi denilen yöntemle sindirim ve solunum yolları X-ışınları kullanılmadan incelenebilmekte ve salt küçük delikler ile ameliyatlar gerçekleştirilmektedir. Ayrıca köşelerin ve yuvarlak engellerin arkası, madenler, jet motorları içindeki yanma odaları ve püskürtme memeleri gibi zor yada güvensiz bölgelerde inceleme yapmak gibi amaçlarla da kullanılmaktadır. Bir fiberskop, fiber demeti yanında, aygıtın kullanımını sağlayacak çevresel donanımı da (aydınlatma, konumlandırma, yönlendirme, soğutma düzenekleri vb.) içerir.

FIBER OPTIC DİZGELERİ

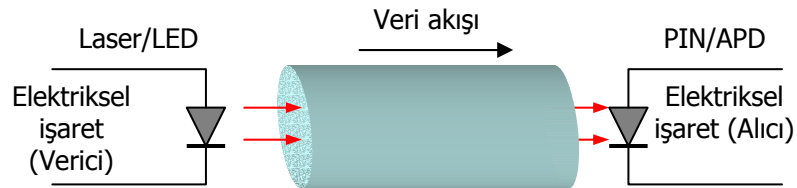
Şekil:54te örnek bir fiber-optic dizgede iletimin grafiksel gösterimi verilmiştir. Buna göre işlenecek işaret ilk önce örneksel olarak alınıp bir kodlayıcı ile sayısal biçime dönüştürülmektedir. Daha sonra dizge özelliklerine bağlı olarak gerekiyorsa bir biniştirici devre yardımıyla iletime hazır duruma getirilen işaret, kullanılacak ışık kaynağına uygulanarak iletim ortamına basılmaktadır. Dizgenin alıcı tarafında ışık algılama birimi ile algılanan işaret, gerekiyorsa yükseltilip demodüle edildikten sonra



Şekil 54: Örnek bir optical-fiber veri iletim dizgesi.

sayısal olarak elde edilir. Bu işaret sistem gereksinimlerine göre sayısal olarak kullanılabilir yada yeniden özgün örneksel işarete dönüştürülebilir.

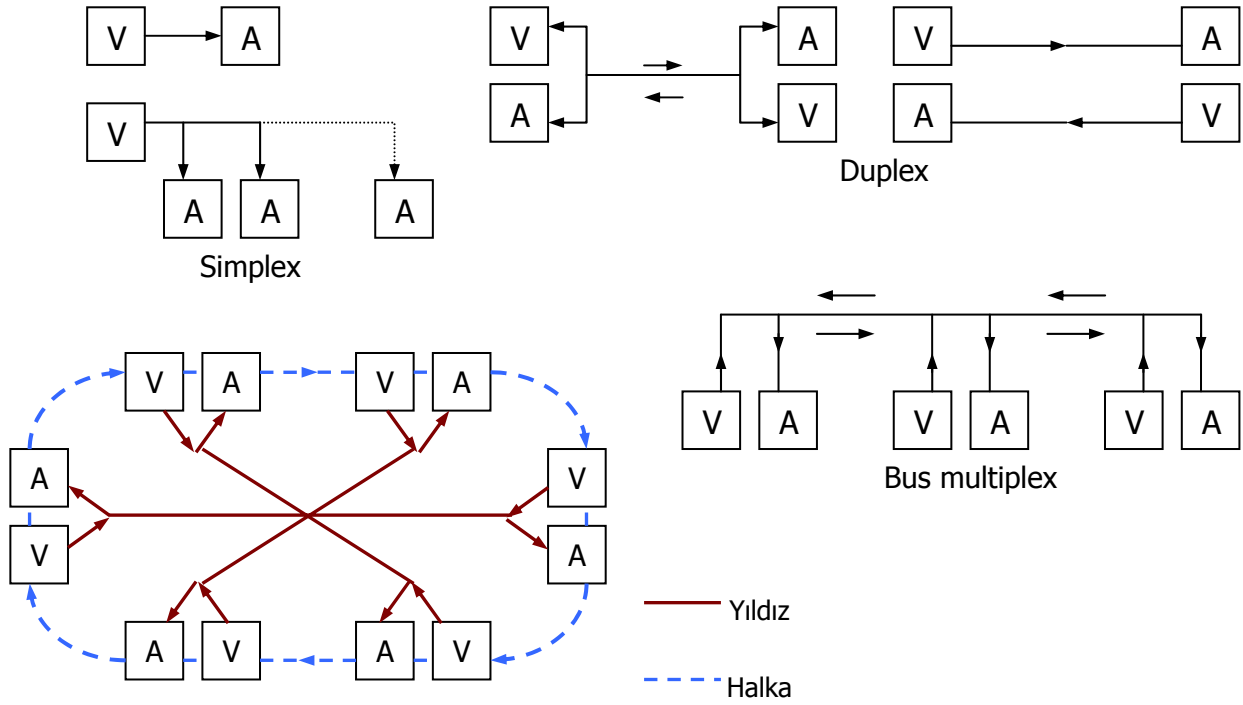
Bu örnek sistemde yer alan ve Şekil:55te ayrıntısı verilen fotonik bölüm dışındaki katlar ve bağlantılar, kullanım yer ve amacına göre değişiklik gösterse de, temel iletim yöntemi tüm ışık lifi sistemlerinde aynıdır. Vericide, iletilecek işaret bir salıcı optik elemanla ışımaya dönüştürülerek kabloya basılır ve alıcı ucunda da bu ışıma bir sezici optik eleman ile alınarak elektriksel işarete dönüştürülür.



Şekil 55: Işıl veri iletimi.

Şekil:56da gösterilen veri iletimi ve paylaşımında kullanılan temel ağ yapıları, eşeksenel ve bükülü çift kablolar için olduğu gibi, fiber-optic kablolar için de geçerlidir. İlk şekilde verilen iletim yolu simplex (tek yönlü) veri iletimi sağlar.

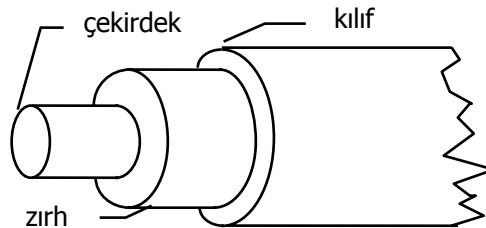
Bununla birlikte karşılıklı veri alınıp verilmesini sağlayan duplex (çift yönlü) dizgeler de kurulabilmektedir. Bu dizgeler, hattın her iki ucuna doğru sırayla veri akışı sağlanması durumunda half-duplex, aynı anda iki yöne de veri akıtılması durumunda da full-duplex olarak adlandırılırlar. Şekil:56da bu temel iletim türleri de gösterilmiştir.



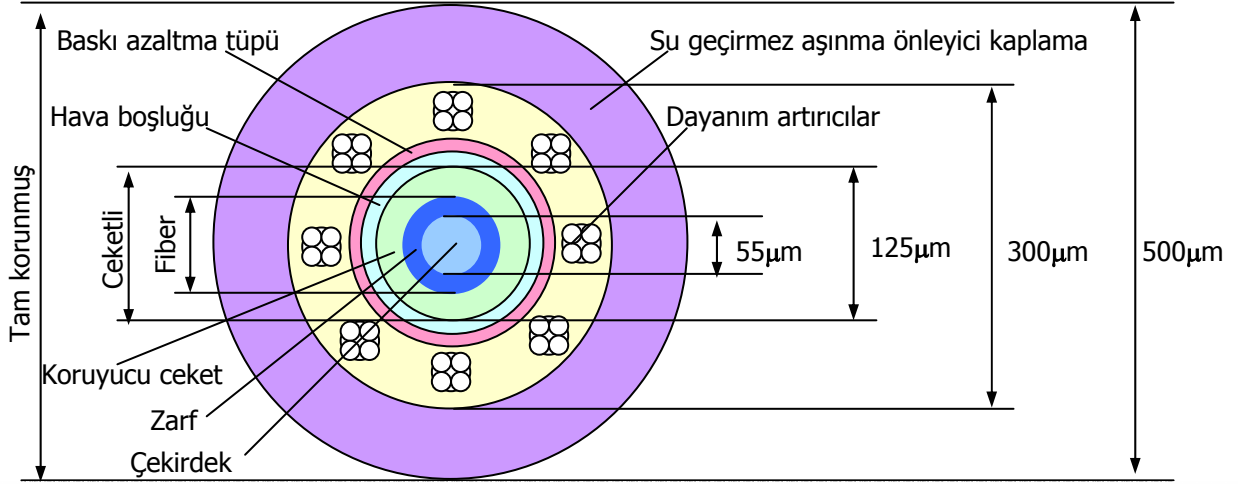
Şekil 56: Veri iletişim ve paylaşımında kullanılan temel ağ yapıları.

OPTICAL FIBER YAPISI

Işık lifleri, hafif, küçük, yenime (corrosion) dayanıklı, elektriksel iletkenliği olmayan bir işaret yoludur ve işaretin içinden taşındığı elektriksel çevre ile etkileşimi yoktur. Bir optik lif kablounun yapısı temel olarak Şekil:57de gösterildiği gibidir. Burada



Şekil 57: Optical fib



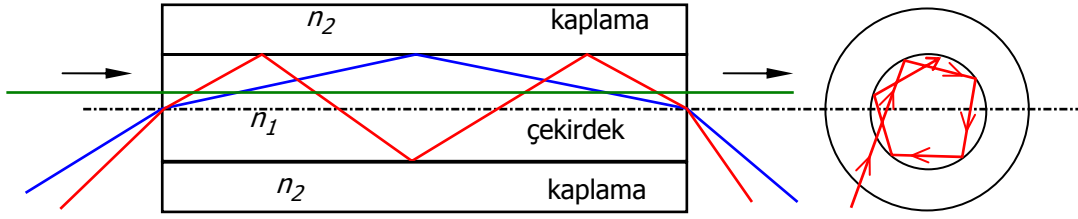
Şekil 58: Örnek bir optical fiber kablonun kesiti ve katmanları

görülen kablo kısmına fiber denilir. Küçük ve kapalı mekan dizgelerinde fiber kullanılabilirken, ortam koşulları sertleştikçe Şekil:58de ayrıntıları verilen ceketli ve tam korumalı kablolar kullanılmaktadır. Şekilde bu kaplama ve korumaların çapları da yaklaşık ve birbiriyle orantılı olarak gösterilmişlerdir.

En içerde ışık iletiminin gerçekleştiği fiber bulunmaktadır. Fiberin özeğinde dopingli silis çekirdek ve bunun çevresinde ince silis katmanından oluşan zarf (cladding) vardır. Fiberin dışında ceket denilen ve dış etkilerden koruma amaçlı bir katman bulunur. Buraya kadar olan bölüm, kapalı ve korunmuş ortamlar ile zorlu olmayan koşullarda fiber optic kablo olarak kullanılabilir. Çekirdek üzerine yapılan kaplamaların koruma dışında bir amacı da, lif içine basılan ışığa erkinin yitimsiz olarak diğer uca erişimine katkıda bulunmaktır. Life giren ışığın çekirdek dışına çıkmadan ve en az yitimle iletilmesi için, kaplama malzemelerinin saydam olmamaları gereklidir. Bu kablounun dışına kaplanan diğer tüm katmanlar, dayanımı artırmak ve kullanım ortamına uyum sağlamak amacıyla eklenirler. Eklenen her katman ile ağırlık ve maliyet karesel biçimde artar.

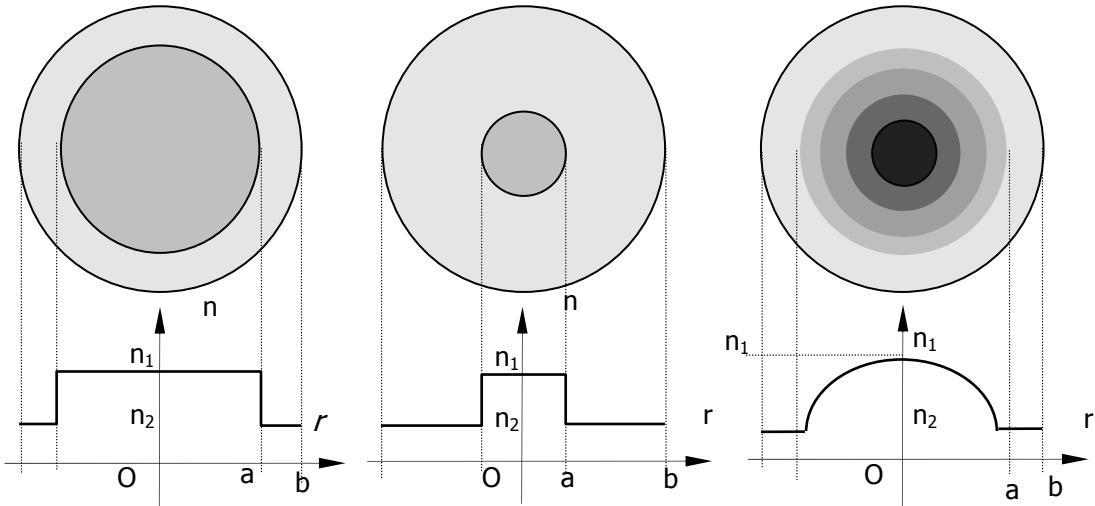
OPTICAL FIBER YİTİMLERİ

Işığın yönlendirilmesi ve iletilmesi, hızını değiştirir. Hız değişimi tüm iletim boyunca belli sınırlar içinde tutulabilirse, hız değişiminden kaynaklanabilecek sorunlar telafi edilir. Ancak ışık, fiber optik kabloya, her zaman eksene dik olarak girmeyebilir. Bu



Şekil 59: Değişik giriş açıları ile gelen ışınların lif içerisinde ilerlemeleri.

durumda kablonun iç çeperine çarparak yansıyan ışınlar, eksene dik giren ışınlarla göre daha uzun bir yol almak zorunda kalır. Şekil:59da açıkça görülen bu sorunun giderilmesi için, eksene dik gelmeyen ışınların daha hızlı ilerlemesinin sağlanması gerekir. Böylece, eksene koşut ilerleyen ışınlar ile çeperlerden yansıyarak ilerleyen ışınların lif boyunca aldıkları yol eşit olmayacaktır. Bu gecikme nedeniyle iletilecek verinin lif sonunda genişler ve bu da veri iletim hızını sınırlar. Bu bozulmayı önlemek için lif içinde dereceli kırma indisleri oluşturulur. Çepere yaklaştıkça kırma indisi azaltılarak uzun yoldan giden ışının hızı artırılır. En yaygın olarak kullanılan indeks profilleri, adım index ve dereceli index olarak adlandırılırlar. Bu kırma indisi



Şekil 60: Fiber kablolarla kırma indexi profilleri. (a) ve (b) adım, (c) dereceli index yapısı.

düzenlemeleri Şekil:60ta gösterilmiştir.

Şekil:54te günümüzde kullanılan üç temel değişik indeks tekniği gösterilmiştir. Optical fiber, saydam malzemeden yapılmış ince bir çubuktur ve genellikle bir silindirdir. Adım index (a) fiberın kesitine bakılırsa, özekte a yarıçaplı ve n_1 kırma indisli çekirdek ve bunu kuşatan b yarıçaplı ve n_2 kırma indisli zarf görülmektedir. Bu

tür bir life çokkipli (multimode) denir. Adım index olarak üretilmiş ancak çekirdek çapı çok daha küçük (c) olan lifler ise tekkipli (monomode) olarak adlandırılır. Adım indeks profilinde, kullanılacak işaretin dalgaboyu ve dalga biçimine göre yüksek ve düşük kırma indis yarıçaplarının payları değişkenlik gösterir.

Bunlara ek olarak özekten dışarıya doğru giderek azalan kırma indisi ile üretilen (b) dereceli index lifler de üretilmektedir. Dereceli index fiberlar uygulamada her zaman çokkipli olarak kullanılırlar.

Kullanılan her üç tür fiberda (adım index, dereceli index, tekkipli), bir çekirdek, ışığın çekirdekten hızlı devindiği tektürdeş (homogeneous) bir zarf ve bu lifi koruyan, yalıtan ve kapatan bir kaplama bulunur.

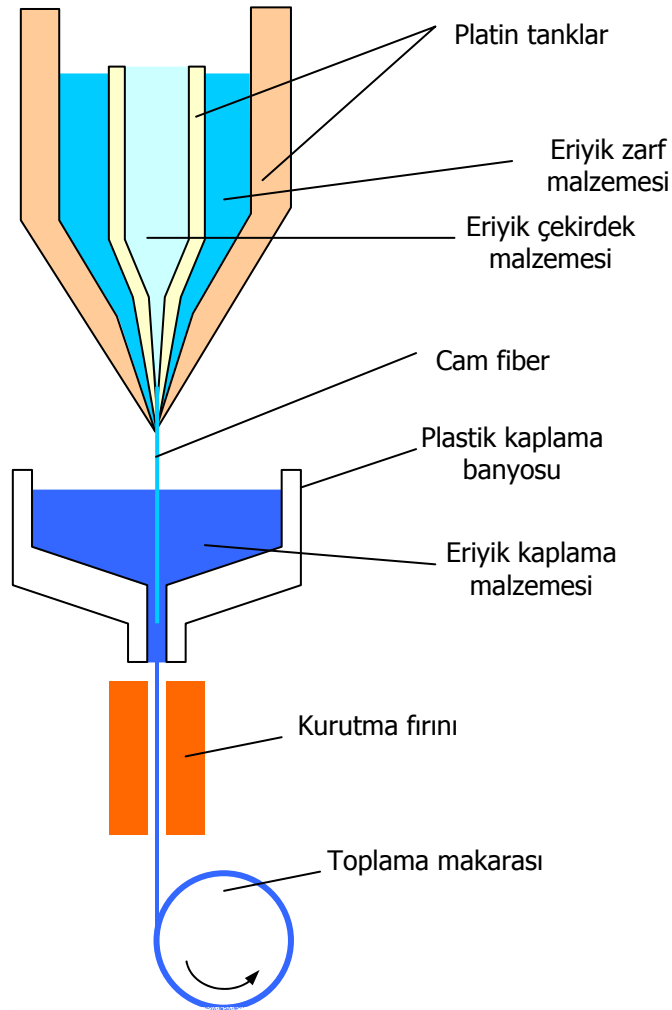
Başka bir bozulma da dalgaboyu sapmasıdır ve fiber kırılma indisinin dalgaboyuyla değişmesine bağlıdır. Lif içindeki atomlar, ışık ile etkileşen titreşim halinde dipollerdir ve bu etkileşim mavi ışıkta kırmızıya olduğundan daha fazladır. Sonuç olarak kırılma indisi mavi ışık için kırmızı ışık için olduğundan daha büyük olur. Bu durumdan kaynaklanan bozulma, 1,3 μm üzerindeki dalga boylarıyla çalışılarak ve kaynak olarak LED yerine bant genişliği LED'inden çok daha dar olan laser diyot kullanılarak azaltılır.

Bozulmalardan başka iletimde yitimler de söz konusudur. Yitimler temel olarak yutma ve dağılma olarak iki başlıkta incelenebilir. Dağılma, geliş yönüne koşut olmayan yönlerde elektromanyetik alan yayan ışık dalgasının oluşturduğu elektrik alanı ile sürülerek titreşime giren atomik dipoller nedeniyle oluşur. Yitimlerin bir başka nedeni de elektronların ışığı yutarak uyarılmaları ve daha yüksek enerji düzeylerine sıçramalarıdır. Özellikle bakır, krom ve demir gibi geçiş metallerindeki elektronlar buna yatkın olduklarından, ışık lifinin yüksek kaliteli olması isteniyorsa, bu atomların miktarı milyarda birden daha az tutulmalıdır. Phonon (titrecik) adı verilen titreşen iyonlar da ışığı yutarlar. Veri iletiminde kullanılan dalga boylarında OH radikalinin titreşimi çok etkili olduğundan, fiberin su içeriminin milyonda birlerde olması gerekir. Kırılma bükülme ve kıvrılma ile de yitimler oluşur. Bu yitimlerin azaltılması için kablonun bükülme çapı, çekirdek çapından en az yüz kat büyük olmalıdır.

Optical-fiber iletişim dizgelerinde uzaklık sınırlamaları en çok hat yitimlerinden ve ısı akı (optical flux) üretiminden kaynaklanır. Eşeksenel metal bir kabloya basılabilecek

güç birkaç watt kadar olabildiği halde, fiber optic bir kabloya uygulanabilecek akı ancak birkaç mikrowatt olabilmektedir. Ayrıca metal kablolarla gereken noktalarda ek yapılarak yitimleri karşılamak olası iken fiber optic kablolarla bu uygulama oldukça güçtür. Bir fiber optic iletişim dizgesindeki yitim, giriş ve çıkıştaki insertion yitimleri, birleştirici (connector) yitimleri ve hat uzunluğuna bağlı olan iletim yitimlerinin toplamıdır. İletim dizgesindeki bu denli fazla yitime karşın fiber-optic kablonun hiç gürültü kapmaması nedeniyle, alıcıdaki işaret gürültü oranı (signal to noise ratio-SNR) yalnızca alıcıda üretilen gürültü ile bozulur. Bütün bunlara ek olarak katlanma, bükülme, burulma, ekleme gibi mekanik etkiler de yitimlere neden olurlar.

Bu denli hassas ve kritik teknolojiler gerektiren fiber optic kabloların yine de yeğlenmesindeki en önemli etmen, muazzam veri iletim sığalarıdır. İyi kaliteli liflerde



Şekil 61: Fiber üretiminde en yaygın kullanılan çift tank tekniği.

bu kapasite, bir haberleşme uydusununkine yaklaşıır.

İŞIK LİFİ ÜRETİM TEKNİKLERİ

Şekil:61de fiberoptic kabloun üretiminde kullanılan teknik gösterilmektedir. İç içe platin tanklarda bulunan çekirdek ve zarf eriyikleri, damlatma ağızlarından çekilerek fiber malzeme oluşturulur. Bu cam lif, havadaki tüm parçacıklardan, nemden ve fiziksel zorlanmalar sonucu oluşabilecek mikro ve makro çatlaklardan korunmak için henüz sıcak iken, plastik kaplama banyosuna daldırılarak ceket ile kaplanır. Böylece elde edilen malzeme daha sonra kullanım gereksinimlerine göre değişik işlemlerden geçirilebilir.

Ceket kaplamasından önce ham fiberın silikon yağından geçirilmesi ile hem esnek hem de sağlam bir kaplama oluşturmak olasıdır. Bir kabloun üretimi sırasında genellikle hiç bekletme yada depolama olmaksızın sabit bir hızla (0,1~10ms) gereksinilen tüm kaplamalar yapılarak istenilen özellikler bir seferde elde edilir. Kullanılan tüm kaplamalar, yumuşatıcı, su geçirmez, ateşe dayanıklı, aşınma ve yenime dayanıklı, fiberdan sıyrılabilen ve fiber özelliklerini bozmayacak nitelikte olmalıdır.

NOTLAR

Ortalama 0.125 mm çapıyla saç kılı inceliğindeki ışık lifinin mekanik dayanımı çok zayıftır ve zarar görmemesi için sıradan cam lifler ile desteklenerek ışık sızmasını önleyen kaplamalarla kablo haline getirilerek kullanılır. Bir kabloda çok sayıda (144 e dek artabilir) lif bulunabilir.

Bir ışık lifinin özelliklerine örnek olması için Amerikan Donanmasında iletişim için üretilen bir life bakalım:

- ✱ ışık lifi çapı : 0.0125 cm
- ✱ destekli kablo çapı : 0.125 cm
- ✱ kırılma yükü : 250.0 kg
- ✱ kırılma sünmesi : %3.5
- ✱ Destek malzemesi epoksiye gömülü 9840 adet cam liften oluşmuştur.

Başka bir örnek olarak 53 kg kırılma yükü ve deniz suyunda 1.011 kg/km ağırlığı olan 52 km uzunluğunda bir mikrolifi verebiliriz. Bu denizaltı kablo ile aynı veri iletim kapasitesinde metal bir eşeksensel (coaxial) kablo 400 kat daha büyük olacaktır. Ancak unutmamak gerekir ki, ışık lifi bir enerji iletim hattı değildir. 1 kilometresi $12,3 \text{ cm}^3$ malzeme ile üretilen böyle bir lif, bir ucundan öbürüne kullanılabilir bir güç iletemez. Işık yoğunluğu belli bir eşiği geçince, (birim hacme düşen elektromanyetik enerji iyice büyüyünce) önceleri saydam ve etkisiz olan malzeme içinde fotonların etkisi ile yitimler oluşur.

IŞIK LİFİNİN NİTELİK VERİLERİ

Doğrusallık:

Cam silisi çok doğrusal bir optik malzemedir ve doğrusallığını yalnızca çok yüksek güçlü akılarda yitirir. Sıradan cam da çok doğrusaldır. Burada doğrusallık dediğimiz, lif çıkışındaki W_2 çıkış gücünün, lif girişindeki W_1 giriş gücü ile orantılı olmasıdır. W_1' in iki katına çıkarılması, W_2' yi de iki katına çıkarır.

Uzaklıkla zayıflama:

Lifteki ışık gücünün, uzaklığın aritmetik artmasıyla geometrik olarak azaldığı kabul edilir. Başka bir deyişle güç, uzaklıkla azalan üstel bir işlevdir. Lif zayıflatması dB/km olarak verilir ve şu etkenlerin birleşiminden oluşur:

- ☛ Işığın yutulması. Malzemenin kendi atomları ve içindeki artık maddelerin neden olduğu yitimler.
- ☛ Düzensizliklere hatta moleküllere bağlı saçılma. Diğer değişkenler sabit iken saçılma tek başına λ kadar arttıkça $1/\lambda^4$ kadar zayıflatma yaratır.
- ☛ Işık kaçıışı yada yöneltme hatası (sınırlı zarf kalınlığı ve eğriliğe bağlı).

Kanal sığası ve bant genişliği

Kanal kapasitesi, sayısal verilerin iletiminde saniyede iletilebilen bit sayısı (bit/s–bps), örneksel verilerin iletiminde ise bant genişliği (Hz) ile değerlendirilir. Bu iki özellik kılavuzun dağıtma miktarına bağlıdır ve çok önemli verilerdir.

Tek kipli ve çok kipli liflerde kısa mesafeler için bant genişliği B ve lif uzunluğu L çarpımı $B \times L$ sabittir. $B \times L$ karakteristiği $\text{Mhz} \times \text{km}$ olarak birimlendirilir ve genellikle (yanlış olarak) bant genişliği olarak adlandırılır. Benzer biçimde $B \times L$ karakteristiği de Mbit/s.km ile birimlendirilir.

IŞIK HATLARININ KESİNTİSİZ ALABİLECEĞİ EN UZUN YOL

Kılavuzda ilerleyen bir ışık işaretinin optik yükseltme olmaksızın alabileceği en uzun yol şunlara bağlıdır:

1. Yeterli alışı sağlanması için gerekli en düşük güç düzeyi:

Bu düzey sabit olacağına göre, kılavuz içinde izin verilen en yüksek yayılma zayıflaması miktarı, verilen bir kaynak için belirlenir. Yitimlere bağlı ilk kısıtlama, kılavuzun zayıflatma karakteristiklerine bağlı olarak α_1 uzaklığında oluşur.

2. Kullanıcının gereksindiği bant genişliği.

Bant genişliği de sabit olduğundan ikinci uzaklık kısıtlaması da belirir. Kılavuzun dağıtma ve geciktirme karakteristiklerine bağlı olan bu ikinci uzaklık da α_2 olarak adlandırılır. Uygulamada etkin olan uzaklık sınırı, bu iki uzaklıktan küçük olanı olarak alınır.

IŞIK LİFLERİNİN ÜSTÜNLÜK VE SAKINCALARI

Üstünlükleri

- *Çok yüksek sayısal veri iletim hızı:* Optical fiber, sayısal işaretlerin iletimi için çok uygundur. Işık liflerinde veri iletim hızı yüzlerce Mbit/s ile birkaç Gbit/s arasındadır.
- *Çok ince kablolar:* Kablo çapları milimetreler düzeyindedir. Kablo makaralarının kapladıkları yer ve ağırlıkları çok azalmıştır.
- *Uzun mesafeler kat edilebilir:* Yineleyicisiz aşılabilen mesafe 40 kilometreyi aşmaktadır.

- *Girişim ve elektromanyetik gürültülere karşı bağışıklık:* Bütün ışık kılavuzları kapalıdır. Girişim yoktur ve elektromanyetik karışma olası değildir. Şimşek, radyo yayınları ve hatta çekirdeksel silahların yayabilecekleri elektromanyetik vurumlar etkisizdir.
- *Bütün ışık kılavuzları kapalıdır. Hiç bir girişim ve elektromanyetik karışma olması söz konusu değildir. Şimşek, radyo yayınları yada nükleer silahların üreteceği elektromanyetik vurumların hiç bir etkisi olamaz.*
- *Yüksek güvenlik:* Akan verinin endüksiyon yada basit temasla dinlenmesi yada çalınması olanaksızdır. Dinlenebilmesi için hattan ışık alınmalıdır ve bu da kolayca belirlenir.
- *Tam emniyet:* Kısa devre, toprağa kaçak ve çarpılma tehlikesi yoktur.
- *Kurulumdan sonra kapasite artırımı:* Yerleştirilmiş bir sistemin veri iletim kapasitesi, iki yada üç (yada daha çok) yeni ışık kaynağının çoğullanmasıyla iki yada üç (yada daha çok) kata yükseltilebilir.
- *Çok ekonomik:* Yüzlerce televizyon kanalını taşıyan lifin bir kilometresinin maliyeti \$40 dolayındadır.

Sakıncaları

- *Enerji iletemez:* Eğer yineleyici kullanılacaksa ya yerel bir kaynakla beslenmeli yada ışık lifi ile birlikte bir de enerji iletim hattı döşenmelidir.
- *Kurulumu zor:* Çok hassas ve dikkat gerektiren kurulumun maliyeti yüksektir. Ayrıca teknisyenlerin de korunması gerekir. Çünkü ışık kaynağınca yayılan fotonik enerjinin yoğunluğu, kurban farkına varamadan retinaya zarar verecek düzeydedir.

IŞIK LİFLERİNİN UYGULAMA ALANLARI

Pek çok uygulama alanı olan ışık liflerinin gelecekte daha da yaygınlaşması bekleniyor. Uygulama alanlarından büyük bir grup ekonomik önemi nedeniyle hemen dikkat çekiyor. İletişim.

Işık lifleri iletişim merkezleri arasında noktasal iletim için çok uygundurlar. Doğrusal olmaları sayesinde sayısal modülasyona olduğu kadar örneksel modülasyona da izin verirler.

Yüksek veri iletim hızına bağlı olarak, metal kablolarla kurulmuş bir sistemin aynı kablo yerleri kullanılarak ışık lifine dönüştürülmesiyle veri iletim miktarı 10 - 50 katına çıkacak, yineleyici sayısı da 20 kat azalacaktır.

Geniş kapsamlı iletişimden başka yerel ağlar kurmak ta olasıdır. Örneğin NYC polisi ana kavşakları, köprüleri, tünelleri vb. uzaktan anahtarlama bir ışık lifi ağıyla izlemektedir. Aynı mantıkla bir metro istasyonu, bir fabrika; bir mağaza vb. yerler de kolayca ve ucuza denetlenebilir.

Bir bankanın merkezi ile şubeleri arasında güvenlik eşgüdümünü ve veri aktarımını sağlamak için ışık lifi sistemleri çok uygundur.