

ENTE GRE IŞIK DEVRELERİ

FRANCOIS DE CLOSETS

Optik ile radyo elektriği arasındaki farklar o kadar büyüktür ki uzun zaman bu ikisi arasındaki uçurum aşılmaz gibi göründü. Hertz dalgaları zaman içinde dağılmış sinyalleri, ışık dalgaları ise uzayda iki boyut üzerine dağılmış bir haberi taşırlar, bu habere imaj (imge) diyoruz. İmaj yer kaplar. Bu sebeptendir ki optik ölçmeler büyük boyutlar üzerinden yapılır. Optik'le uğraşan bilim adamları mercekler, lambalar, filtre'ler kullanmak zorundadırlar ki bunlar radyo dalgalarını ölçebilen küçük kristaller yanında çok büyük kahlılar. Işığın dalga boyu Hertz dalgalarının dalga boyuna göre ne kadar kısaysa, ki binlerce kere daha kısa olabilir, aradaki fark o derece belirgin olmaktadır.

Fakat elektromanyetik spectrum'un (tayfın) çeşitli frekansları arasındaki bu fark kaybolmak üzeredir. Yeni bir optik doğuyor: entegre (tamamlanmış) optik. Bu yeni optik, radyo elektriği ve elektronik bilimlerine bir kıvrak kadar benzerdir. Teknisyenlerin geliştirdiği yeni parçalar yardımı ile uzaktan haberleşme (telecommunication) ve bilgi sayma (informatique) işlemleri için temel olan operasyon'lar elektrik değil ışık dalgaları yardımı ile gerçekleştirilecektir. Bu parçalar yarı-iletkenlerin klasik devrelerinde kullanılan parçalar gibi minyatür büyüklüktedir: çeşitli fonksiyonların tekparça bir

dayanak madde (sübrat) üzerinde bir birlerini tamamlaması bakımından da kullanışlıdır. Kısaca entegre mikrooptik söz konusudur. Entegre mikrooptik mikroelektronik'le yarışmaya girmekten çok optik metotlarla uzaktan haberleşmeyi sağlama amacı güder.

İlk laser'lerin geliştirilmesinden beri bilinmektedir ki ışık dalgaları da Hertz dalgaları gibi taşıyıcı olarak kullanılabilir. Bu iki titreşim aynı karakterdedir. Buna rağmen 1960 senesi başlarına kadar radyo, telefon ve televizyon sinyalleri ışık dalgaları üzerinde uzaklara gönderilememiştir. Gerçekte bu gibi sinyalleri ancak tek dalga boylu (koherent) bir titreşim taşıyabilir. Modülasyon (dalgada değişiklik yaratma) ancak tek dalga boyu üzerinden yayılan ışıklarda gerçekleştirilebilir. Oysaki geleneksel ışık kaynakları uzaktan haberleşme için hiç de uygun olmıyan bir ışık demeti verirler. Sinyallerin uzağa gönderilmesine yetecek kadar dar bir spectrum (tayf) ancak laser ışınlarında bulunur. Laser'den çıkan ışının bir radyo vericisinden çıkan dalga gibi çok belirli bir frekans'ı vardır. Böyle tek dalga boylu, saf ve disipline alınmış bir dalgada değişiklikler yaratmak (modülasyon) mümkündür. Böyle bir olasılık uzaktan haberleşme uzmanlarını çok ilgilendirir. Yıllar geçtikçe bu konuda yapılan araştırmalar daha yüksek frekans'lara kaymıştır. Araş-

Kapak Resimleri :

ÜST RESİM : Entegre optik yardımı ile ince tabaka şeklinde laser elde edilebilir, resimde saydam bir dayanak üzerine yerleştirilmiş böyle bir araç görülüyor.

ALT RESİM : Optik haberleşmelerde klasik optiğin lamba, mercek ve filtre'leri kullanışlı değildir. Elektronik'de kullanılanlara benzer küçük boyutlu ve tek parça birimler gereklidir. Resimde böyle bir modülatör görülüyor.

tırıcılar kilohertz'den megahertz'e ve daha sonra megahertz'den gigahertz'e geçtiler, mesajların uzağa gönderilmesi gereğinin gitgide artması karşısında yüksek frekans'ların ele geçirilmesi tek çıkar yoldu. Gitgide daha fazla sayıda mesaj yollayabilmek için büyük debi'li, taşıyıcı dalgalar gereklidir: radyo-elektriğin oto yolları. Çünkü mesajları uzağa gönderme yeteneği dalganın frekans'ı ile doğru orantılıdır. Daha kısa dalgalar kullanarak aynı birim zamanda daha fazla mesaj göndermek mümkündür. Çünkü dalga ne kadar kısa olursa sinyaller o derece aslına uygun olarak uzağa iletilmektedir.

Sınır Frekans'lar :

Elli senedenberi faydalanılan frekans'ları belirten eğri önem taşır. Bu eğri çok dik bir yokuş şeklinde yükselir; buna bakılarak 1980'lerde ışık dalgalarının kullanılacağı söylenebilir. Benzer bir gelişme ile bugün devamlı artan isteğe bakılarak 10-15 sene sonra büyük debi'li band'lar'da ışık dalgalarından başka dalgaların kullanılamayacağı sonucuna varılır.

Bereket ki tek dalga boyulu ışık artık kullanılabilir duruma gelmiştir ve geniş frekans band'larını insanların faydasına sunmaktadır. Radyo frekans'larını mesaj iletemeyecek kadar yüklemekten yani onları doyurmaktan kaçınmak gerekir; buna karşı ışık frekans'ları kullanırken bu doyurma tehlikesinden korkmağa pek gerek yoktur.

Artık ışığın insanlığa sunduğu inanılmaz faydaları değerlendirmek zamanı gelmiştir. Tek dalga boyulu bir ışık elde etmek yetmiyor, bu ışığın faz, amplitüd (genlik) ve frekans'ını etkileyebilmek (modülasyon), aynı band üzerinden eşzaman olarak birçok mesaj yollayabilmek (multiplexage), ışığın amplitüd'ünü büyültme (amplifikasyon), ışığı uzağa gönderebilmek ve onun şifresini çözebilmek de gerekir; kısacası, uzak haberleşmeler için kullanılan radyo dalgaları üzerinde yapılan operasyon'ların aynıını ışık dalgaları üzerinde de yapabilmek zorunludur. Bu operasyonların birçoğu hiç de kolay değildir.

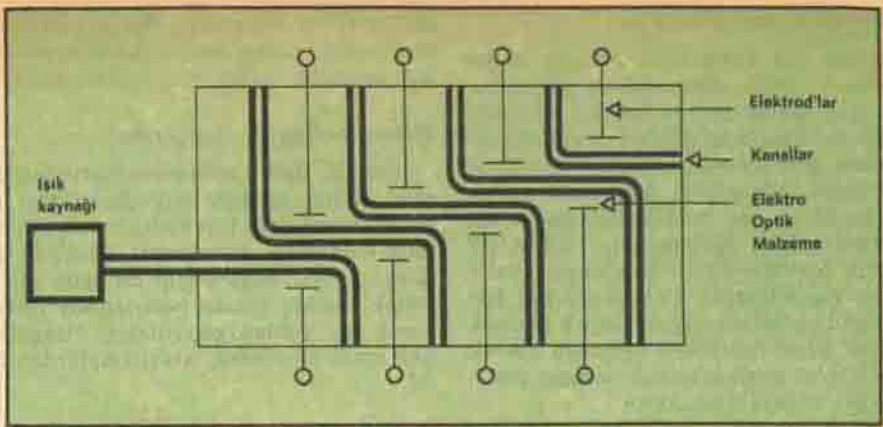
Herşeyden önce ışık dalgaları elektrik dalgaları kadar kolay reaksiyona girmez. Foton elektron'dan daha zor etkileşir. Diğer taraftan klâsik optik uzaktan haberleşme şebekesinde hemen hiç işe yaramaz : her 10-15 km. de bir, prizma ve mercekler kullanmak hiç de akla uygun düş-

memektedir. Şurası da belirtilmelidir ki kullanılacak frekans'lar klâsik elektronik sistemlerde sınır kabul edilen frekans'lar olacaktır. İşte bu yüzden optik metolla uzaktan haberleşme üstünde çalışan uzmanlar can sıkıcı bir çelişki içinde bulunmakta idiler. Bir taraftan elverişli oluşu sebebiyle «tamamen optik» sistemler üzerinde çalışmak ve ışık üzerinde direk operasyon'lar yapmak istiyorlardı. Diğer taraftan klâsik optik materyal mikroelektronik ve radyoelektristite materyaline göre o derece az kullanışlı idi ki melez (hibrid) sistemler kullanmak gerekiyordu. Fakat klâsik optik materyel ancak imaj'ları taşıyan, zaman ile ilgili sinyalleri taşıyamayan bir ışık demeti verebiliyordu. Işığı başka sonlar için kullanmak gerektiği zaman diğer metotlara başvurulamaz mıydı?

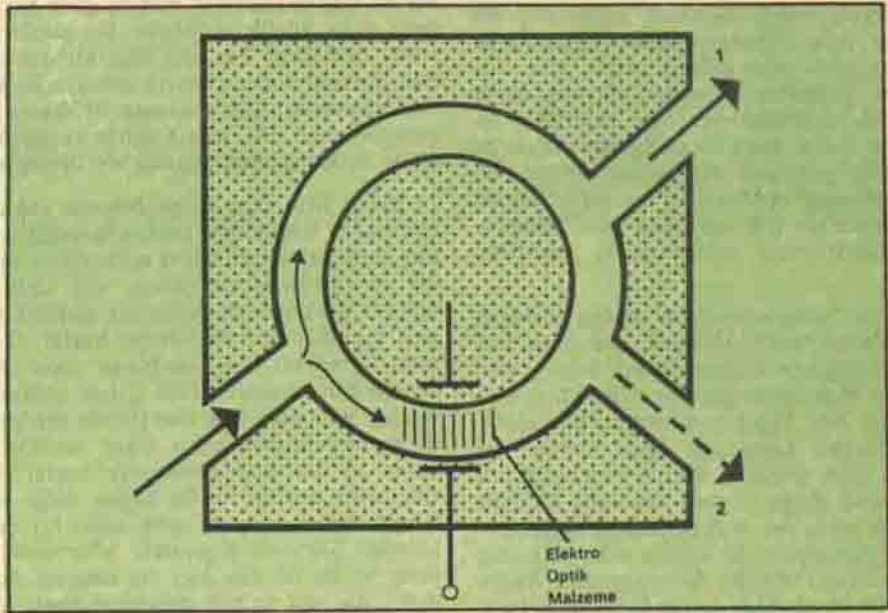
Işığın Yayımlı ve Uzağa Gönderilmesi :

İlk ilerlemeler ışığı uzağa gönderme alanında görüldü. Çok çabuk anlaşıldı ki atmosfer'in varlığı açık havada bir ışık demeti gönderilmesine karşı koyuyordu. Uzaklık önem kazandıkça ışığın zayıflaması ve çeşitli dalga boylarına ayrılmasından (dispersiyon) doğan kayıplar küçüm-senemeyecek değerlere erişti. Gönderilen sinyali korumak gerekiyordu. Bir çok yollar düşünüldü. Bunların içinden bir tanesi herkesçe kabul edilmişe benziyor : optik lif (fibr optik). Burada ışığı hapsederek uzağa gönderen saydam silindirik söz konusudur. Optik lif ışığa yol göstermekle beraber bir yandan onu emer (absorpsiyon) ve dağıtır (diffüzyon), bu şekilde ışık sinyali gitgide zayıflar. Uzun zaman bu ışık zayıflamasının çok fazla oluşu sebebiyle fibr optik metodu çok uzak yerler için kullanılamamıştır. Fakat son zamanlarda Amerikan Corning Glass firması ışığı çok az zayıflatan lifler geliştirdi. Kilometre başına 1000 decibel olan zayıflama, birkaç yüz decibel'e ve nihayet 20 decibel'e düşürüldü. Bu laboratuvar'ın öncü çalışmaları daha sonra doğrulandı ve önümüzdeki senelerde km. başına ancak 4 decibel ışık zayıflaması gösteren liflerin satışa çıkarılması beklenmektedir. Özellikle Lanion'daki Milli Telekomünikasyon Etüdleri Merkezi'ndeki (CNET) deneysel çalışmalar optik telekomünikasyon ağlarında böyle bir materyelin kullanılabilirliğini gösterdi.

Son senelerde daha az önemli olmayan ikinci bir ilerleme de tek dalga boyulu ışık



Bu düzenle çeşitli elektrod'lara verilen potansiyel değiştirilerek ışık çeşitli yönler arasında paylaşılabilir ve meselâ ışık demetinin bir kanaldan geçip diğerinden geçmemesi sağlanabilir. Bu şekilde mantıklı bir sistem elde edilmiş olur.



— Bu halka ile aynı şekilde mantıklı bir düzen elde edilir : Eğer hiç elektrik akımı verilmezse halkanın yarımaları üzerinde ilerleyen iki dalga 1. kanalın giriş kapısında aynı fazda, 2. kanalın giriş kapısında karşıt fazda olacaklardır; çünkü halka böyle yapılmıştır. O zaman bütün enerji 1. kanala akar. Halkanın bir yarımına elektrik akımı uygulayarak orada bir faz kayması yaratılırsa durum tersine döner : O zaman bütün enerji 2. kanala akar.

ğin kaynakları ile ilgilidir. Gallium arseniyür'lü yarı-iletken'lerle çalışan ilk laser'ler sıvı azot ısısında çalışabiliyorlardı. Yeni laser'ler ise katı olup oda ısısında çalışabilmektedir.

Aynı zamanda diğer tek dalga boylu ışık kaynakları da (YAG laser'leri veya neodyme katılmış camlar) önemli gelişmeler gösterdi; bunlar güçlü vericiler olarak kullanılabilirler.

Sinyal Üzerindeki İşlemler :

Böylece ışık kaynakları ve ışığı uzağa gönderecek yollar elde edilmiş oluyordu. Şimdi ışın «kalan kısmı» üzerine eğilmek, yani sinyal üzerinde gerekli işlemleri yapabilmek gerekiyordu, yoksa bir noktadan ötekine bir telgraf bağlantısı kurulmuş olacak ve bir telekomünikasyon ağı gerçekleştirilmiş olmayacaktı. Böyle bir zorunluk özellikle optik haberleşme bakımından kaçınılmazdı. Çok geniş bir frekans band'ını aslına uygun olarak iletmek için aynı band üzerinden eşzaman olarak birçok sinyal gönderilebilmek sorunu (multiplexage) ortaya çıkacaktır.

Telefon ve televizyon sinyallerinin ve dokümanların uzağa gönderilmesi sırasında her mesaj ışık dalgasının taşıma yeteneğinin çok küçük bir kısmını kullanır. Demek ki ışık dalgasını en verimli bir şekilde kullanabilmek için ona aynı zamanda birçok mesaj taşımak gereklidir. Bu durum şuna benzemektedir: limanlarda değişik yerlerden gelmiş çeşitli yük sandıkları gidecekleri limana varmak üzere aynı şilebe yüklenirler. İşte yapılması gerekeni iş budur, hem de saniyenin milyarı da biri gibi çok kısa bir zaman içinde. Bu multiplexage operasyonu ve diğer birçok operasyon'lar çok zor olup yeni tekniklerin geliştirilmesi zorunluğunu yaratmışlardır.

Optik haberleşmelerde radyo elektrikli tekniklerini kullanabilmek için elde radyo elektriginde kullanılanlara benzer parçaların bulunması gerekir: filtre'ler, osilatör'ler gibi. Diğer taraftan bu parçaların boyutlarının kullanılan dalga boyuna uygun olması gerekir. Radyo elektrigi'nde kullanılan dalga boyları cm. lerle ölçüldüğünden bu iş zor değildir, fakat dalga boyları mikron'dan da küçük olan ışık dalgaları kullanırken ne yapmalı? Radyo elektrikçi'lerin elde ettiği sonuçlara erişebilmek için gerekli duyarlılığı nasıl sağlamalı?

Uzun zaman bu söylenenler gerçekleştirilemez sanıldı. Fakat 1960'larda mikroelektronik baş döndürücü ilerlemeler yapıldı. Fotolitografi ve klâsik maskeleme'deki ilerlemeler yardımı ile 1965'lerden kalma 100 kadar parçadan oluşmuş entegre devrelerden 1970'den sonra ortaya çıkan 1000 parçalı LSI devrelerine geçildi. Fakat tam anlamı ile yeni teknikler geliştirildi: ivon enplantasyon'u ve tarayıcı elektron mikroskop gibi teknikler yardımı ile du-

yarlık 10-100 kere arttı. Bu teknikler iletkeniyatür parçalar üzerindeki araştırmalara öncülük ettiler (nanoelektronik).

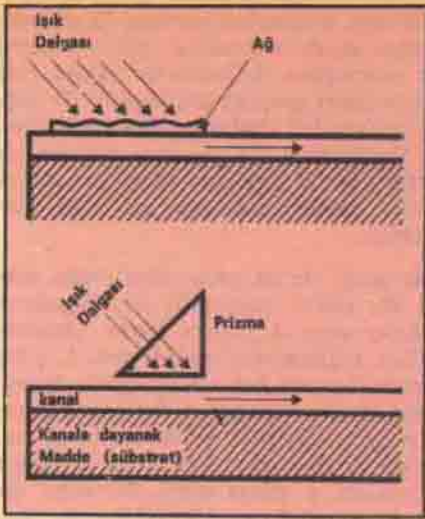
Mikroelektronığe Başvurma :

1969'da Bell Laboratuvar'larından Stewart Miller entegre ışık devrelerini gerçekleştirmek için mikroelektronik'ten doğmuş teknikleri denemeyi düşündü. Ana düşünce tek dalga boyulu bir ışını bir dayanak madde içinde hazırlanmış mikroskopik bir yoldan geçirmekti. Uygulama fibr optik üzerindeki araştırmalardan doğdu.

Işık demetinin fibr (lif) içinde hapis kalabilmesi için lif içindeki kırılma indeksinin lifin dışında kalan ortamın kırılma indeksinden kesinlikle daha yüksek olması gerekir. Işığın lif-dış ortam yüzeyine düştüğü noktada normale yaptığı açı en büyük yansıma açısına göre her zaman daha küçük olmalıdır. Bu şartlar altında lif'e giren her ışın lifin bir duvarından ötekine doğru yansıya yansıya lif içinde ilerleyecek, hiçbir zaman lif dışına kaçmayacaktır. Bu, klâsik optik ve geometri ile açıklanabilen zig-zag bir ilerleyiştir.

Fakat lifin çapı dalga boyuna yaklaşıca kadar küçüldüğü zaman iş değişir, ışının ilerleyişi artık birbiri arkasından gelen bir seri yansıma ile olmaz; ışın tıpkı içi boş bir iletken ilerleyen bir elektrik dalgası gibi dümdüz ilerlemeye başlar. O zaman ilginç bir olay meydana çıkar. Işık enerjisinin tümünün lifin içinde yoğunlaşmadığı anlaşılır. Işık enerjisinin bir kısmı lif materyelinden dışarı taşar ve lifin dışında ve üzerinde ilerlemeye başlar. Optikçi'lerin deyimi ile bu kaçak dalga lifin içinde ilerleyen ışına eşlik eden bir çeşit hâledir. Şurasını kesinlikle belirtmek gerekir ki bu lif dışı ışın dış ortama dağılmaz: dış ışın iç ışık demetine bağlı olup fizik bakımdan onun bir parçası sayılır ve iç ışın gibi lif doğrultusunda ilerler. Bu kaçak dalga ışığın ana ilerleme yoluna son derece yakın, ondan en fazla bir dalga boyu kadar uzakta bulunur.

Bu olay entegre ışık devrelerinde çok önemli bir rol oynar. Çok ince bir plâka üzerinde ışığın bu şekilde yayılabileceği bir yol hazırlamak söz konusudur. Demek ki plâka üzerinde kesiti dikdörtgen şeklinde olan bir çeşit oluk cyulacak ve burası kırılma indeks'i yüksek ve elektrige iletken olmıyan (dielektrik) bir madde



Işık kanallarına ışığın girmesi veya çıkması prizma'lar veya ağlarla sağlanır. Bunun için total yansımaya katılmış kaçak dalgadan faydalanılır. Prizma kullanıldığı zaman operasyon'un başarılı olması için prizma ile kanal arasındaki uzaklık dalga boyundan daha küçük olmalıdır. Ağ kullanılırca bu başarı ışık demetinin ağ üzerine düşme açısına ve ağın elemanları arasındaki uzaklığa (ağ periyod'una) bağlıdır.

sayısına, bu katsayı ise o maddenin kırılma indeks'ine bağlıdır. Bazı maddelerde bu kırılma indeks'i bir elektrik alanın etkilerine duyarlı olabilir. Optik bağlantı noktasının yakınına bir elektrod konulursa, elektrik alan değiştirilerek bir yoldan diğerine akan ışık enerjisinin oranı değiştirilebilir. Uygulanan potansiyel'e göre ışık 1. yoldan 2. yola akacak veya akmayacaktır. Böyle bir prensipten gidilerek başarılı olacak operasyon'ları düşünmek zor değildir. Elektrod'lar canlı bellek (hafıza) noktaları, ışık dalgası ise bir okuma akımı gibidir. Işığın bir yoldan diğerine geçişlerine bakarak elektrik bakımından aktif noktalar tanımlanır: demek ki canlı bir bellek yaratılmıştır. Bunun aksi de olabilir: elektrod'lardaki akımın potansiyel'i ile oynatarak ışık çeşitli yollar arasında istenildiği gibi dağıtılabilir; bu şekilde bir modülasyon etkisi elde edilmiş olur.

Şimdi de düz bir yolla çember şeklindeki bir yol arasında optik bağlantı (kuplaj) olayını görelim. Çember şeklindeki yolun çeper uzunluğu, seçilen frekans'daki bir ışık dalgasının dalga boyunun tam katı olacak şekilde hesaplanmıştır. O zaman bir ossilasyon (titreşim) devresinde olduğu gibi rezonans olayı meydana çıkar. Sadece bu seçilen frekans'daki ışık dalgaları optik bağlantı olayını yaratabilir, diğer frekans'lardaki ışık dalgaları çember yola geçemez.

Şimdi de düz yola birçok frekans'ların karışımından oluşmuş bir ışık demeti gönderdiğimizizi düşünelim, optik bağlantı olayı seçimli (selektif) olarak meydana geleceğinden düz yoldan geçmekte olan ışık demeti içinde ancak çember yol ile rezonans yapabilecek frekans çember yola atılacaktır. Bu şekilde bir filtre yaratılmış demektir. Çember yolun öte tarafına bir diğer düz yol konularak ikinci bir optik bağlantı olayı yaratılır ve sonra bu düz yoldan istenen frekans çekişebilir.

ile, meselâ cam veya silis (SO₂) ile doldurulacaktır. Bütün güçlük bu oluşun boyutlarının ışığın dalga boyuna uydurulması zorunluğundan doğmaktadır: oluşun genişliği birkaç mikron, derinliği ise 1 mikron'dan az olmalıdır. Işı daha da güçleştirilen bu duyarlı boyutların mm. merce veya cm. merce devam ettirilmesi zorunludur. İstenen sonuçlara ulaşılabilmesi için duvarlardaki düzensizliklerin 500 angström'ü, yani 100 kadar atomun kalınlığını geçmemesi gerekir. Demek ki teknisyenler birkaç yüz angström'lük mesafeler üzerinde çalışmak zorundadırlar. Bu bakımdan elektron mikroskop tekniklerine başvurularını anlamak zor olmaz; elektron mikroskop konusunda en yetkili laboratuvarlar, Corbeville'deki Thomson -C.S.F. laboratuvarı gibi, bu araştırmalara ilk atılanlar olmuştur. Katı dayanak maddeleri (sübsttrat) üzerinde bu mikroskopik yolları hazırladıktan sonra optik'çiler (yoksa radyo-optik'çiler mi demek gerekir?) plâka üzerinde tek dalga boyulu bir dalgaya artık yol gösterebilirler. Dalganın yolu dümdüz olacak, dışarda da kaçak dalga bulunacaktır.

Şimdi bu sonuçtan elde edilebilecek bir olayı inceleyelim. Birbirlerine paralel ve aralarındaki uzaklık kullanılan ışığın dalga boyunu aşmayan iki optik yol düşünelim. Optik bağlantı (kuplaj) olayı meydana gelecektir: birinci yolda ilerleyen ışığın kaçak dalgası ikinci yola geçmek eğilimindedir. Acaba bir yoldan ötekine ne kadar ışık enerjisi aktarılacaktır? Bu miktar iki yol arasındaki optik bağlantı kat-

Bu frekans'daki dalgayı şiddetlendirmek mi istiyoruz? Çember yolda bulunan maddeye optik bakımdan aktif rhodamine veya neodyme gibi maddeler katılabilir, sonra bu kısım bir flâş lâmbası ile veya daha iyisi uygun frekans'lı bir laser ışını ile şiddetle aydınlatılır. Bu şekilde elektronlar daha yüksek enerji seviyelerine çıkartılır. Çember, rezonans kavite'si (boşluğu) rolünü oynar. Birinci düz yoldan optik bağlantı yardımı ile çember yola geçen ve rezonans için gerekli frekans'da titreşen foton'lar bir laser etkisine sebep olurlar, bundan sonra optik bağlantı ile 2. düz yola geçen dalganın şiddeti çok yükselir: demek ki bir amplifikatör filtre yaratılmıştır. Boyutları, belli bir dalga uzunluğuna göre duyarlı bir şekilde seçilen böyle çemberlerin yapımındaki güçlük ortadadır.

Entegre optik'de laser etkisi birçok şekillerde elde edilebilir; laser sadece klâsik yarı-iletken'li diod lambaları tarafından meydana getirilmeye kalmaz. İki boyutlu laser dalgaları şöyle gerçekleştirilebilir: etken malzemeyi bir kanala koymak ve kanalın her iki ucunun kullanılan frekans'ın dalga boyuna uygun aralarla düzenli dizilmiş oluklara açılmasını sağlamak. Bu yarım dalga boyu aralarla paralel sıralanmış küçük oluklarda laser kavite'lerinin (boşluklarının) uçlarına konan filtre aynalarda bulunan yansıtma gücünün aynı bulunmaktadır. Bu çeşit araçlar laboratuvar'larda, başlıca Corbeville'de kullanılıyor. Bu gibi araçlar optik haberleşme yolları boyunca amplifikatör olarak kullanılabilir. Gelen sinyal rezonans kavitesinin titreşim frekans'ındadır; bu bakımdan optik pompalama yolu ile (şiddetle ışınlandırarak elektronların daha yüksek enerji seviyelerine çıkmalarını temin) etken hale getirilecek sistemde laser etkisine sebep olacaktır.

Böyle periyodik ağlar iki boyutlu kanallara dışarıdan bir ışık demeti, meselâ bir laser ışını sokulmasını sağlayabilirler. Gerçekte böyle bir ağ üzerine düşen ışık şiddetli bir kırınım etkisi ile karşılaşır. Ağın yapılışı o şekilde hesaplanır ki kırınımaya uğrayan ışığın büyük kısmı dayanak madde içine yerleştirilmiş kanal doğrultusunu alır. Devreden ışığı dışarı çekmek için araçların karşılıklı yerlerini değiştirmek yeter.

Devre ile dış ışık demeti arasında başka çeşit optik bağlantılar da olabilir, mer-

cekler veya prizma'lar yardımı ile gerçekleştirilen optik bağlantılar gibi. Entegre optik prensipleri deflektör'ler (akım yön değiştiricileri) gerçekleştirilmesini de sağlar; bunlar bir bakıma elektronik'deki diod lâmbaların rolünü oynayacaklar ve sinyalleri uzağa göndermede gitgide önem kazanan modülasyonlarda baş rolü alacaklardır.

Bir girişi ve iki çıkışı olan halka şeklinde bir devre yapılabilir ve dalgaların 1. çıkışta aynı, 2. çıkışta karşıt fazlarda olmaları sağlanabilir, eğer girişle 2. çıkış arasında devreye bir elektro-optik materyel sokulursa, potansiyel farkı uygulayarak bir faz kayması yaratılabilir ki bu, durumu tersine döndürür: ışık 2. çıkışa yönelecektir, 1. çıkışa değil. Bir diğer çözüm de dayanak madde (sübstrat) üzerine piezoelektrik materyel yerleştirmek; bunlar elektrik uyarılarla karşılaşınca yüzeyde akustik dalgalar meydana getireceklerdir. Bu dalgalarla geçici bir periyodik ağ rolünü oynayacak ve ışığın yayılmasını engelliyebilecektir. Bir de çift kırılma (birefringence) olaylarına sebep olan ferroelektrik maddeler kullanılması düşünülebilir; bu gibi maddeler bir elektrik sinyaline cevap olarak bir ışığın geçmesini veya geçmemesini sağlarlar.

İşik elektrikle üstünlük yarışına mı çıkıyor? Görülüyor ki entegre optik'de radyo elektrisite, elektronik ve bilgi sayma (informatique) için temel olan bütün operasyon'ların yapılmasına olanak vardır. Modülasyon, amplifikasyon, filtre etkisi, mantıklı operasyon, bellek sistemi, evet, bunların hepsi tekparça devrelerde yol alan ışınlarla teorik olarak başarılabilir. Teorik diyoruz, çünkü bu operasyon'ların birçoğu laboratuvar'larda yapılabilmişse de diğerleri ancak hesap döneminindedir. Fakat hepsi ergeç tekparça devrelerde yerlerini alabilecektir.

Bütün bunlar acaba ışık elektrigin yerini alacak anlamına mı geliyor? Tabii ki hayır. Bilginin depolanması ve özellikle bilgi sayma ile uğraşanlar açısından entegre optik kısa sürede büyük faydalar sağlayacağı benzenemektedir. Entegre optiğin nitelikleri bazı özel uygulamalarda, özellikle askerlikte, uçaklarda ve savaş silâhlarında işe yarayacak, elektronik devreler daha çok uzun bir zaman temel teknik olarak kalacaklardır. Entegre optik'in ilk uygulamaları uzaktan haberleşme alanın-

da olacaktır. 1980'den sonra kurulacak telekomünikasyon ağlarında bu yeni tekniğin açtığı yeni ufukları, onun güvenilme derecesini ve verimliliğini incelemek durumuna geleceğiz. Işığın kendi alanında

elektrik'le üstünlük yarışmasına çıkamıyacağını kim ileri sürebilir? Bir gerçek ortadadır: ışık şimdiden elektriğin yaptığı alıştırmaların aynıını yaparak kendini hazırlamağa başlamıştır.

Çeviren : Dr. Selçuk Alsan
Science et Avenir'den

IŞIK DUVARI

ERGIN KORUR

Eski çağlardan beri insanlar ışığın ele avuca sığmaz bir şey olduğunu biliyorlardı. Yüzyıllar boyunca ışığın hızını bulmak için birçok deneyler yapılmıştı ama ışığın hızı bilinen bütün hızlardan öyle üstün idi ki eldeki ölçü aletleri yetersiz kalıyordu. Nihayet 1675'te Danimarkalı astronom Roemer, Jüpiter uydularının tutulma süresinin dünyanın Jüpiter'e uzaklık ve yakınlığına orantılı olarak uzayıp kısaldığını gördü. Roemer bunun gezegenler sistemindeki bir düzensizlikten değil, olayın ışığının Jüpiter'den dünyaya varmak için aldığı zamandan ileri geldiğini farketti ve bu gözleme dayanarak ışığın hızını aşağı yukarı saniyede 300.000 kilometre olarak hesapladı. Daha sonra Fransız Fizeau ve diğer fizikçiler değişik usullerle aynı sonuca ulaştılar. Işığın hızının hesaplanması bilimde bir ilerleme olarak ilgiyle karşılandı, fakat ışık hızı ile madde, zaman ve uzay arasında sihirli bir bağ bulunabileceği kimsenin aklının köşesinden geçmiyordu!

1887 senesinde Amerikalı Michelson'un yaptığı bir deney birden bütün dikkatleri tekrar ışık üzerine çekti. Michelson dünyanın esir = ether içinde dönüşü karşısında ışığın bir kaynaktan geliş hızındaki değişiklikleri incelemek istiyordu, ancak deneyinin sonucu onu büyük bir şaşkınlığa düşürdü: Deney, ister kendisine yaklaşılsın, ister kendisinden uzaklaşılsın ışığın bir ışık kaynağından bize doğru geliş hızında hiçbir değişiklik olmadığını göste-

riyordu. Bu, sanki bir geminin ister akıntı ile birlikte, ister akıntıya karşı gitsin hızının aynı kalacağını isbat etmeğe benzer akılları durduran çelişkili bir sonuç idi. Klasik fizik kurallarına aykırı düşen bu durumu kimse açıklayamıyordu. Nihayet 1905'te dâhî bilgin Einstein bu deneyin sonucunu değerlendirerek özel izafiyet kuramını ortaya koydu. Modern fiziğin hareket noktası olan ve hakkında pek çok eser yazılmış bulunan bu kuramı şöylece özetleyebiliriz:

1. Işığın saniyede $3 \cdot 10^{10}$ cm. olan hızını c ile gösterirsek, birbirine yaklaşan ve birinin hızı u , diğerinin hızı v olan iki cismin hızları toplamı $w = u + v$ değil,

$$w = (u + v) \left(1 + \frac{uv}{c^2}\right) \text{ 'dir.}$$

2. Hareket halinde bir cismin kitlesi m , hareketsiz hal m_0 , a oranla $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ dir.

3. m kitlesine $E = mc^2$ ile belirlenen bir enerji tekabül eder.

Görüldüğü gibi ışık hızı $= c$, her üç formülün temel taşıını teşkil etmektedir.

Kuramın tabii sonucu şuydu: Işık hızı hiçbir zaman erişilemeyecek bir limit hızdır, hareket halinde hiçbir cisim ışık hızına eşit bir hıza ulaşamaz, ışık hızına yaklaştıkça maddenin kütesinin bu hız artmasına direnci sonsuz derecede yükselir.

Bu durum karşısında insanlar birdenbire kendilerini ışık hızından örülü bir duvarla hapsedilmiş buldular. Öyle ya, artık