

# OPTİK VE ELEKTRONİK ARASINDA TERAHERTZ KÖPRÜSÜ

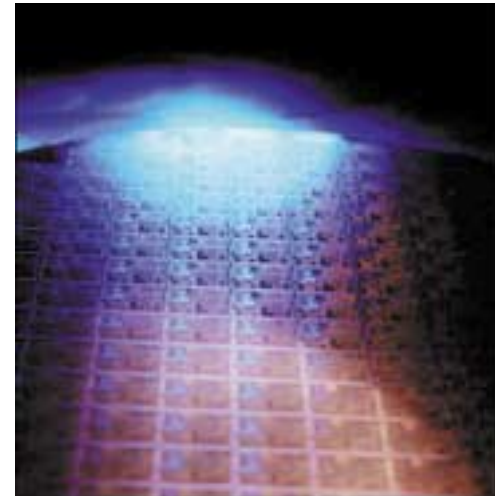


Gün geçtikçe hızlanan elektronik aygıtlar, bilgisayarlar, elektronik haberleşme sistemleri, bilim adamlarını mikrodalga bölgesinde hız sınırlarını zorlayan geleneksel elektronik sistemleriyle optik frekanslarda halen uygulamaları olan optoelektronik sistemleri arasında kalan Terahertz bölgesini araştırmaya zorluyor. Temelde terahertz-optoelektronik araştırmaları, bilgi ve iletişim teknolojilerinin dışında tıp alanında da kendisine önemli uygulama alanları bulmayı başardı. Önümüzdeki on yılın optoelektronik ve medikal teknolojilerinde terahertz yılları olacağını söylemek yanlış olmayacak...

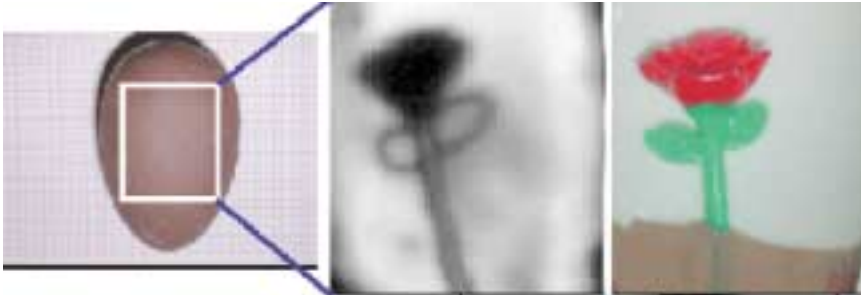
Terahertz bölgesi çoğu uygulamalar için 100 GHz (1 Gigahertz= $10^9$  Hz) ile 10 THz (1 Terahertz= $10^{12}$  Hz) arasında kalan tayf bölgesi olarak tanımlanıyor. Bunun nedeni, biyokimyacılar için önemli olan pek çok molekülün dönel ve titreşimsel rezonans frekanslarının bu aralıkta olmasından kaynaklanıyor. Aslında bu sınır, haberleşme amaçları açısından 1000 THz'e kadar çekilebilir. (1000 THz= 1PHz, 1 Petahertz= $10^{15}$  Hz). Bir fikir vermesi açısından, mikrodalga cep telefonu vericileri 300 MHz-3 GHz, bilgisayar işlemcileri 1 GHz, baz istasyonları ve uydu haberleşme sistemleri 20-100 GHz bölgesinde. Öte yandan, görünür bölgede ışıkta petahertz ölçeğinde frekanslara sahip. THz bölgesi, genel olarak kızıl ötesi ile mikrodalga arasındaki frekans uzayıdır. Mikrodalga bölgesi söz konusu olduğunda, yarı iletkenler, mikrodalga vericiler ya da serbest elektron klystronları gibi, kızıl ötesindeyse CO<sub>2</sub> ya da Neodmiyum lazerleri gibi güçlü kaynaklara sahip olmamıza karşın, aradaki THz bölgesi güçlü kaynaklardan ve dedektörlerden yoksun bulunuyor. Bu

yüzden, yakın geçmişe kadar bu bölgede ışık-madde etkileşimleri konusunda bilgisiz kalmaya mahkum gibi görünüyorduk. Ancak, son 10 yılda geliştirilen terahertz zaman tabanlı spektroskopi (THz TDS) sayesinde bu zorluk aşıldı; eş uyumlu THz ışınımı üretilmesi ve algılaması sorun olmaktan çıktı. Hatta, açıkçası daha önce hayal olarak düşünülen zaman tabanında optik çalışmak

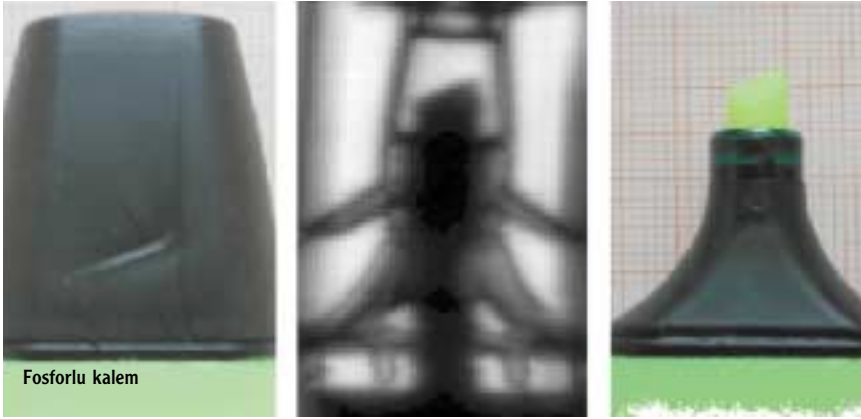
mümkün oldu. Elektromanyetik ışının optik bileşen olarak tanımlanan elektrik alanı, görünür ışınım için saniyede  $10^{15}$  ölçeğinde salınım yapar. Oysa, hiç bir dedektör bu salınımı izleyebilecek kadar hızlı olmadığı için, sonuçta algılanan parlaklık, yani ortalama olarak birim yüzeye birim zamanda düşen enerjidir ve alanın zamanla değişimi bilgisini içermez. Ne var ki, THz



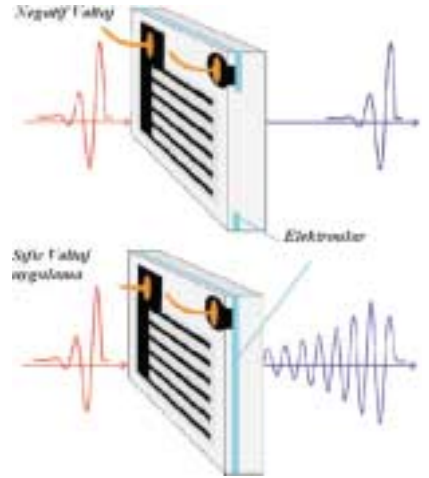
300 milimetre teknolojisi şu anda ulaşılan en ileri teknoloji. 30 cm çaplı yonga üzerine milyarlarca transistor yerleştirmek işten değil.



Çikolata içerisinde plastik gül görüntüsü, Delft'te alınmış.



Fosforlu kalem



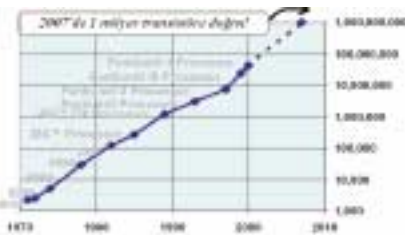
Terahertz ışımasını zaman tabanında izlememize olanak sağlayan deney sistemimiz ile 3 THz bölgesinde parabolik kuantum yapılarının davranışlarını inceledik. Çalışmanın amacı yüksek hızlı transistörlere yönelik uygulamaları açıklığa kavuşturmak.

TDS yöntemi, doğrudan elektrik alanın zamanla değişimini ölçme ayrıcalığına sahip olduğu için, incelenen bir maddenin ışınımına doğrudan tepkisini elektronlar bazında ölçmek olası. Bunun materyal inceleme ve tanımlama işleminde eşsiz avantajları var. Her şeyden önce, faz bilgisi kaybedilmiyor, ki bu çok önemli... Ayrıca bu bölge yüksek frekans elektroniği ile düşük frekans optoelektroniği arasında kalması açısından da önemli. THz optoelektroniği, geleneksel elektronik aygıtların frekans sınırlarını aşacak, 500 GHz ve

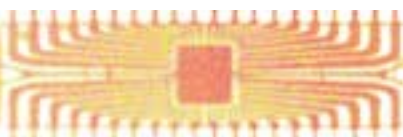
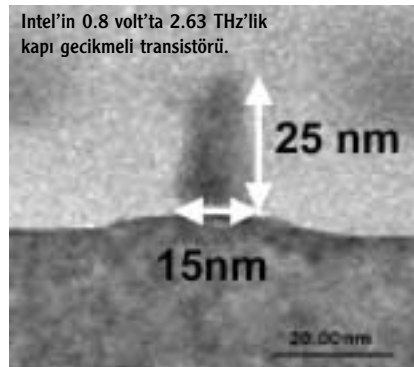
üstünde frekanslarda çalışan sistemler yapılmasına öncülük edecek, düşük gürlütü ve düşük sıcaklık sağlayabilecek yöntem olarak çağdaş teknolojinin geleceğini oluşturuyor. Bugünkü eğilim içerisinde gidildiğinde, mevcut elektronik teknolojinin sınırını aygıt sıcaklığı belirleyecek. Birinci Moore yasası esas alındığında, 2010 yılında Intel'in üreteceği işlemcilerin temel sorunu ısınma olacak. İşte bu anlamda THz Optoelektroniği kaçınılmaz görünüyor.

Aslında, THz alanında savaş başladı bile. Önde gelen şirketler, geleceğin bu

önemli teknolojisinde kendilerini ringin dışında bulmamak için araştırmalara tüm güçleri ile katılıyorlar. Probleme doğru tanıyı koymuş şirketlerden Intel'in 1THz'lik ilk transistörü ürettiğini açıklamasını bir hafta sonra, 4 Aralık 2001'de AMD firması 3,33 THz hızındaki transistörünü tanıttı. Intel'in amacı, 2006 yılında 20 GHz sloganını gerçekleştirebilmek (dolayısı ile 1-2 Gigahertz'lik işlemcilerle sahip laptoplarımız çok geçmeden demode olacak.) AMD'nin transistöründe kapı uzunluğu 15 nm (1 nm (nanometre)= metrenin milyarda biri), günümüzde ticari parçalarda kullanılan transistörlerdese bu uzunluk 100 nm. AMD'nin planı, 2009 yılında 30 nm teknolojisini piyasaya sürmek. Bu teknoloji, 300 mm teknoloji olarak bilinen 30 cm yarıçaplı yonga üzerine elemanların geliştirilmesini öngörüyor. Bu anlamda AMD için birim yüzeye sığan eleman sayısı 10 yıl sonra bu günkü sayının 10 katı olacak, her bir elemanın hızının da 10-1000 kat artacağı da unutulmamalı elbette. IBM ise 30 THz'lik transistörleri gerçekçi buluyor ve araştırmalarda amaçlarını bu yönde belirliyor. Intel'in de ulaştığı 30 nm, bu konuda teknolojinin 'mantıklı' sınırını oluşturuyor, çünkü eğer 30 nm'nin altında SiO<sub>2</sub> kapı yapılırsa, bu durumda sızan akım artıyor ve aralık yalıtkan gibi davranmaya başlıyor. Dolayısıyla bu ölçek elimizdeki teknolojinin ulaşabileceği ekonomik son nokta. Ekonomi elbette endüstrinin bu düzeyde takılıp kalmasına izin veremez. O noktada bilimsel atılım



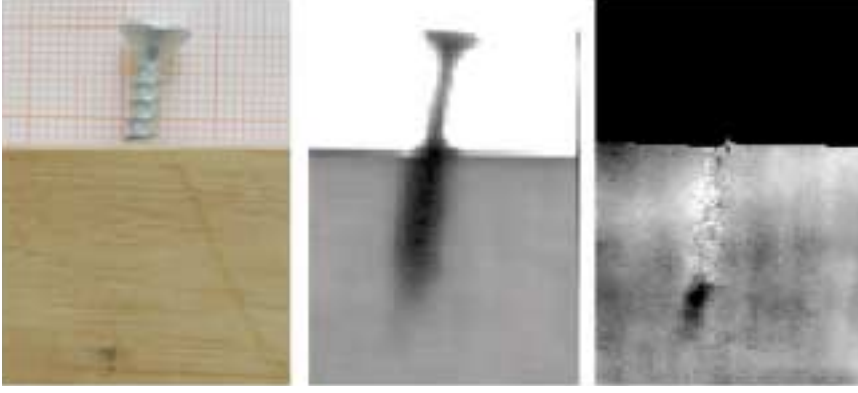
Yıllara göre bir işlemci içindeki transistör sayısındaki artış grafiği.



Bir entegre devrenin THz ile alınmış görüntüsü, plastik kaplamayı aşmış, tümleşik devrenin bağlantılarını incelemekte kullanılıyor.



Intel mimarı şefi Pat Gelsinger'in grafiği, önmüzdeki 10 yılda elektronik işlemcilerdeki temel problemin ısınma olacağını gösteriyor.



Tahta içerisinde vida, üçüncü resimde vida dışarı alınmış. Vidanın yuvası görülüyor.



Kibrit kutusunun görüntüsü.

ların ve entellektüel aklın devreye girmesi gerekecek, yepyeni fikirlerin hayat bulma ortamı oluşacak

Intel'in bileşen geliştirme laboratuvarları yöneticisi Gerald Marcyk, problemi şu şekilde özetliyor : "Araştırmalarımız daha küçük ve daha hızlı transistörler yapabileceğimizi gösteriyor; ancak, üzerinde durmamız gereken bazı temel problemler var. Örneğin, harcanan güç, ısı üretimi ve akım sızması... Amacımız aynı alana 25 kat daha fazla

sayıda ve 10 kat daha hızlı transistörleri sığdırırken, güç harcamasında bir artışa yol açmamak."

## Yarı İletken Endüstrisinin Öncelikleri

Bir elektronik parça bilgisayarınıza takılmadan önce yarı iletken hammadde üzerinde 300'den fazla işlem gerçekleştirilir. Zaman içerisinde kullanı-

### Terahertz Görüntüleme, Avrupa Birliği ve Dünya Perspektifi

Aslında bu tür bir araştırma, elinde bir çekiç olan kişinin her şeyi bir çivi olarak algılaması şeklinde başlamış. Ama şaka ile başlayan araştırmalar ciddi sonuçlar vermiş durumda

Burada ilk iyi haber, maddelerin bu bölgede farklı soğurma indisine sahip olmaları. Metaller geçirgen değil, plastiklerin soğurması düşük ve insan vücudu temelde geçirgen. İkincisi, THz ışınımı, dalga boyu ölçeğine odaklanabiliyor, bu, çözünürlük 1 THz için 300 mikron demek. Bir diğer motivasyon da, X-ışınlarının tersine THz ışınımının iyonlaştırıcı radyasyon olmaması.

Teravision, Avrupa Birliği'nin Beşinci Çerçeve Programı içerisinde THz konusunda son zamanlarda desteklediği projelerden birisinin ismi. Amacı, 2 boyutlu bir THz görüntüleme aygıtı geliştirmek. Şu anda Leeds, Viyana Teknik, Frankfurt, Delft Teknoloji Üniversiteleri ile, Femtolasers Productions ve Toshiba Avrupa araştırma şirketleri bu projenin ortakları durumunda. Ayrıca C-4, RDX ve HMX gibi patlayıcı maddelerin yansıma spektrumlarının da laboratuvarla kolaylıkla belirlenmesinden

dolayı, THz yöntemleri ileride olası bir plastik patlayıcı dedektörü olarak kullanılabilir. Delft'te yapılan deneyler THz ışınımının 1 cm kalınlığında seramikten geçebildiğini de gösterdi. Acaba duvarların arkası bile THz spektroskopisiyle görülebilir mi?

THz görüntüleme beklediğimiz bir diğer atlımsa göğüs ya da deri kanseri tanısında artan güvenilirlik olacak. Bu konuda da çalışmalar sürüyor.

"Biyolojik sistemler üzerinde uzak kızılötesi ve Terahertz ışınımı etkileri" konulu sunum, 1999 Ekim'inde Frascati'de ilgililere sunulduğunda yeni bir ortaklık önerisi olarak ortaya konuldu. Terahertz Köprüsü projesi için ilk anlaşma 23 Ocak 2001'de yine İtalya'nın Frascati kentinde imzalandı. Bu aşamada yapıyı netleştirmek üzere konu üzerinde katkısı olabilecek grupların ayrıntılı önerileri üzerine toplantı gerçekleştirildi. Avrupa Birliği Yaşam Kalitesi Programı'nca desteklenen projenin 5. Çerçeve Programı İlkeleri uyarınca AB dışındaki (ABD'deki) rakipleri ile de işbirliğine girebileceği bilirtiliyordu. Halen projenin AB içerisinde ve dışarıda ortakları var.

lan teknolojilerdeki ilerleme, toplumun beklentileri bu süreçlerin sürekli geliştirilmesini zorunlu kıldı.

Bu alanın liderlerinden Intel, stratejisini şirketin kurucularından Gordon Moore'un, "Birinci Moore Yasası" olarak anılan 1965 tarihli öngörüsüne dayandırdı. Yanlış anlaşılmalara önlemek için bunun sadece bir 'öngörü' olduğu, 'eğitilmiş bir tahmin'den ibaret olduğunu belirtmeliyiz. Bu öngörüye göre, 1965'ten 1975'e kadar her yıl birim yüzeye sığdırılan transistör sayısı ikiye katlanacaktı. Ama bu varsayım sadece 1975'e kadar değil günümüze kadar gerçekleşmişti. Intel (ve piyasa), bu öngörünün doğrultusunda beklentileri destekledi ve tam anlamıyla bir 'Moore yasası dini' oluştu... Moore yasası doğrultusunda beklentiler bu gün de sürüyor: ilk işlemciler bir kaç yüz, Pentium-4'ler 32 milyon transistör içerirken 2007'de bir milyar transistörlü işlemciye doğru ilerliyoruz.

## Terahertz Antenleri

Radyo haberleşmesi 20. yüzyılın başında başladı. Başlangıçta 200 metrenin altındaki dalga boyları, ticari olarak işe yaramaz sayılmış ve amatörler ayrılmıştı. Ancak, 1920'lerden başlayarak, amatörler, aslında bu dalga boylarının da pekâlâ işe yarayabileceğini ve haberleşmede kullanılabileceğini gösterdiler. Bu, tarihin alaya aldığı ilk olumsuz öngörü olmayacaktı. 1939 yılında ABD'de yayınlanan bir ansiklopedide, o yıllarda yeni olan televizyon hakkında bakın neler yazılmış; "Televizyonun ABD'de ticari olarak şansı sıfır. Elli mil aralıklarla verici istasyonları kurmak gerekiyor, Her ne kadar reklam gelirleri düşünülse de hiç bir sermaye gücü bu yatırımı ve riski göze alamaz". Ansiklopedi'de ilgili maddenin yazarı için ne hazin bir öngörü ki, 230 kanallı bir kablolu televizyonda zap yapma gafletine düşsek yaklaşık bir saatimizi alıyor... Hele ki günümüzde insanların her şeyden fazla televizyon izleyerek günlerini geçirdikleri bir ülke için biraz da ironik değil mi?

Günümüzde frekans uzağı o kadar değerli hale geldi ki, ABD Federal Haberleşme Komisyonu, kanal tahsisleri için milyarlarca dolarlık ödenekler belirledi. Milimetre dalgaboylarında atmosferin soğurması problem oluştur-

yor; ama uzayda böyle bir sorun yok. Dolayısıyla THz haberleşmesiyle bu günlerde en fazla ilgilenen kuruluşun NASA olması da bir rastlantı değil. Ancak, fiber teknolojisi çok uzak olmayan bir gelecekte 40 Gbit/saniye duvarına çarptıktan sonra İnternet kullanımının artmasıyla data iletişim oranındaki talep artışı karşısında, şirketlerin THz haberleşmesine uyanmasını bekliyoruz. Ama bu şimdilik biraz daha zaman alacak gibi görünüyor...

## Sonuç: Geleceğe Yapılan Yatırım

Temel bilimler, genellikle iyi gelir getirmeyen konular olarak kötü bir ün yapagelmıştır ve Türkiye şartları düşünüldüğünde bunda gerçek payı da vardır. Ama Fen Lisesi mezunlarının bile sadece % 5-10 ya da daha azının tercih ettiği bu bölümlere bu derece haksızlık etmemek gerekiyor.

Türkiye, Mayıs ayında Uluslar Arası Araştırma programlarına katılabilmek için gerekli adımları atmış, Avrupa Birliğinin Altıncı Çerçeve Programı'na tam katılıma karar vermiştir. Araştırmacıları gelecekte çok fazla proje bekleyecektir. Finans problemleri, gelecekte Türkiye AB üyesi olsa da olamasa da öncelikli problem olmaktan çıkacaktır. Çünkü Çerçeve Programları, katılımcılara tamamen açıktır. THz Köprüsü Projesi, halen yürürlükte olan projelerden sadece birisi. İleride küresel rekabetin kızışmasıyla, Batı Ülkelerinde projelere araştırmacı yetiştirme problemi olacağı, elimizdeki istatistiklerden anlaşılıyor.

ABD'de Temmuz 2000'de endüstri liderleri, Kongre'ye yüksek teknoloji araştırmaları için yabancı öğrencilere verilen vize sayısında artış yapılması yönünde görüş bildirdi. Nedeni, yüksek öğrenim kurumlarında endüstrinin gereksinimini karşılayacak kadar mühen-



Lucent'ın Bell Laboratuvarlarında Nuss ve arkadaşlarının aldığı görüntü, sağdaki görüntüde yaprak bir kaç gün önce koparıldığı için su oranı düşük.



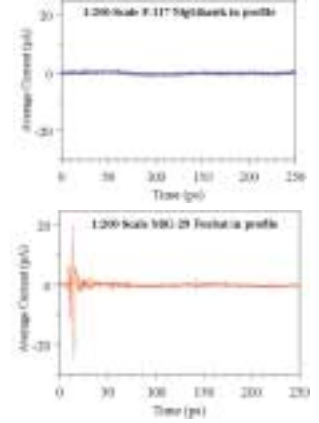
Stealth tasarım ve teknolojisinin üstünlüğü THz bölgesinde de geçerliliğini koruyor, deneylerde MiG-29 Fulcrum modeli için sinyal alınırken F 117-A'dan çıt çıkmıyor. Deneylerde kullanılan ışınının 4THz'den daha düşük frekanslar içerdiği anlaşılıyor. (Dan Grischkowsky grubu). <http://elec-engr.okstate.edu/thzlab/range.html>

dis ve fizikçi yetiştirilemediğinin belirlenmesi oldu. Amerikan Fizik Enstitüsü bilim politikası haberleri bülteninde 5 Temmuz 2000'de yayınlanan açıklamasında Bilim ve Teknoloji Başkan yardımcısı Dr. Neal Lane, "Eğer şu andaki eğilim sürerse ulusumuz, ülkemize içinde bulunduğu yaşam kalitesini ve ekonomik gücü sağlayan inovasyon yeteneğinden çok geçmeden yoksun kalacaktır" diyor.

İleride de Fiziğin çoğu konusuna olduğu gibi THz spektroskopisi alanında da araştırmacılara dünya çapında gerek duyulacak. Bu tür konularda birikim sahibi olmak, çoğu zaman uzun yıllar gerektirmesinden ötürü, on yıl sonra konunun mühendislik aşamasına geleceği dönem için araştırmacı adaylarını bu konuda şimdiden cesaretlendirmemiz gerekiyor. Unutmamak gerekir ki



Bir yarı iletkenin THz ışınması ile alınan görüntüsünde n ve p türü bölgeler fark edilebiliyor. Deney Nikon Firmasında yapılmış. <http://www.tochigi-nikon.co.jp/terahertz/imaging.html>



ulusumuzun araştırmacılarının yer almadığı projelerde belki Çin'li, belki Ekvador'lu ya da Yeni Gine'li araştırmacılar yer alacak, ama söz konusu projeler er ya da geç, ama mutlaka tamamlanacak. Geleceği kurmadaki payımız ve uygarlık yarışındaki yerimiz doğru orantılı olacak... Elbette yarıştan çekilmek ve uygarlık iddiasından vazgeçmek istemiyorsak yeni koşullara uyum sağlamak durumundayız. TÜBİTAK yönetimi, Çerçeve Programlarına tam katılım ile uzak görüşlü bir karar aldı, şimdi yurttaşlar olarak kişisel inisiyatiflerimizi gözden geçirmenin tam sırası.

O. Çağlar Akın

Terahertz Laboratory, Center for Industrial Innovation, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York

**Kaynaklar**  
Daniel M. Mittleman, 'Terahertz time-domain spectroscopy probes materials', Laser Focus World, Mayıs, 1998.  
Pengyu Han and Xi-Cheng Zhang, 'Time-domain spectroscopy targets the far-infrared', Laser Focus World, Ekim, 2000.  
Kraus J.D., Marhefka R.J., 'Antennas for all applications', Mc Graw Hill, 2002.  
Paula Noaker Powell, 'QC lasers generate ps pulses in the mid-IR', Laser Focus World, \_ubat, 2001.  
Rick DeMeis, 'Terahertz pulses create diffraction-limited images', Laser Focus World Temmuz, 1995.  
Terahertz Sources and Systems, Editör: R.E.Miles, P. Harrison. NATO Bilim Serisi II, Cilt 27, Kluwer Akademik Yayınları, 2001.  
<http://dynamo.ecn.purdue.edu/~amw/>  
<http://www.aip.org/statistics/trends/states/state.htm>  
'2005 ve ötesi için yeni transistörler', Sunu\_ : Dr. Gerald Marcyk & Dr. Robert Chou., INTEL Bile\_en Geli\_tirme Bölümü.  
'Bir milyar transistörlü mantık ürününe yaklaşırken süreç ve tasarımda zorluklar', Sunu\_ : George Sery, Intel Şirketi.