

Türkiye'de Mavi Kuvantum Modülatörleri Geliştirildi

Mavi Elektrosoğrulma Dünya Rekoru Kırdı

İnsanlığın bugüne kadar geliştirdiği en ileri teknolojiler arasında hiç kuşkusuz bütünler metal oksit yarıiletken (kısaca CMOS) teknolojisi yer alıyor. CMOS teknolojisi, karmaşık işlemlerin çok hızlı bir şekilde sonuçlandırılmasını sağlayan, günümüzün bilgi ve iletişim çağı olmasına en çok katkıda bulunan teknoloji. Örneğin, günümüzde bilgisayarların donanımını oluşturan mikroelektronik devreler en yaygın olarak CMOS teknolojisi ile üretiliyor.

Geniş bir pazara sahip olan CMOS teknolojisi geliştikçe yeni gereksinimler de ortaya çıkıyor; sürekli daha yetkin ve daha hızlı mikroelektronik devrelere ihtiyaç duyuluyor ve sürekli yenileri eskilerinin yerine geçiyor. Ancak, günümüzde bu teknoloji ile üretilen devreler (örneğin, bilgisayarlarımızdaki işlemciler) bugün kullanılan mimarilerinde ne yazık ki temel fizik prensiplerinden dolayı hız açısından sınırlı kalıyor ve çalışma hızları gün geçtikçe bu temel sınıra yaklaşıyor.

Elektronik devrelerin çalışma hızını sınırlayan etkenlerin başında, bu devrelerdeki arabağlantıların ve veriyollarının sahip oldukları direnç-sığa (RC) zaman sabitinin azaltılamaması geliyor. Bu, yüksek hızlı elektriksel sinyallerin iletimi sırasında seğirme ve kayıklık gibi olumsuz etkilere yol açıyor. Bu sorun, devre elemanlarının ve arabağlantılarının ölçekli bir şekilde küçültülmesiyle bile aşılamıyor.

Bu sorunun çözümleri arasında, sayısal mikroelektronik devrelerin senkronize yani eşzamanlı çalışması için gerekli saat sinyalinin optik olarak üretilmesi ve yongalara optik saat sinyali olarak dağıtılması yer alıyor. Şu anda Intel ve IBM gibi elektronik devreleri bu konuda Ar-Ge çalışmalarına hızla devam ediyor.

Önerilen optik saat ve arabağlantı mimarisi için en önemli bileşenler arasında optik modülatörler ve fotodedektörler (ışık algılayıcılar) bulunuyor. Modülatörler, optik darbelerin oluşturulmasını ve bu şekilde optik saat sinyalinin üretimini sağlıyor. Fotodedektörler optik sinyali tekrar elektriksel sinyale çeviriyor. Örneğin, günümüzde yüksek hızlı fiber optik iletişim sistemlerinde indiyum fosfit (InP) tabanlı kuvantum modülatörleri standart olarak kullanılıyor. Bu modülatörler optik tayfın yakın kızılötesi bölgesinde dalgaboyu 1550 nm çevresinde çalışıyor. Ancak, silisyum tabanlı, standart CMOS teknolojisi ile üretilen fotodedektörler, difüzyon kuyruğu (optik soğrulmanın yetersizliğinden dolayı çok derinlerde oluşan elektron-deşik çiftlerinin yavaş bir şekilde difüzyonu ile elektrik sinyali yavaşlatma etkisi) sorunundan dolayı verinin taşındığı optik tayfın yakın kızılötesi bölgesinde yüksek hızda çalışmıyor. Buna çare olarak InP platformunda üretilen fotodedektörlerin silisyum tabanlı mikro-

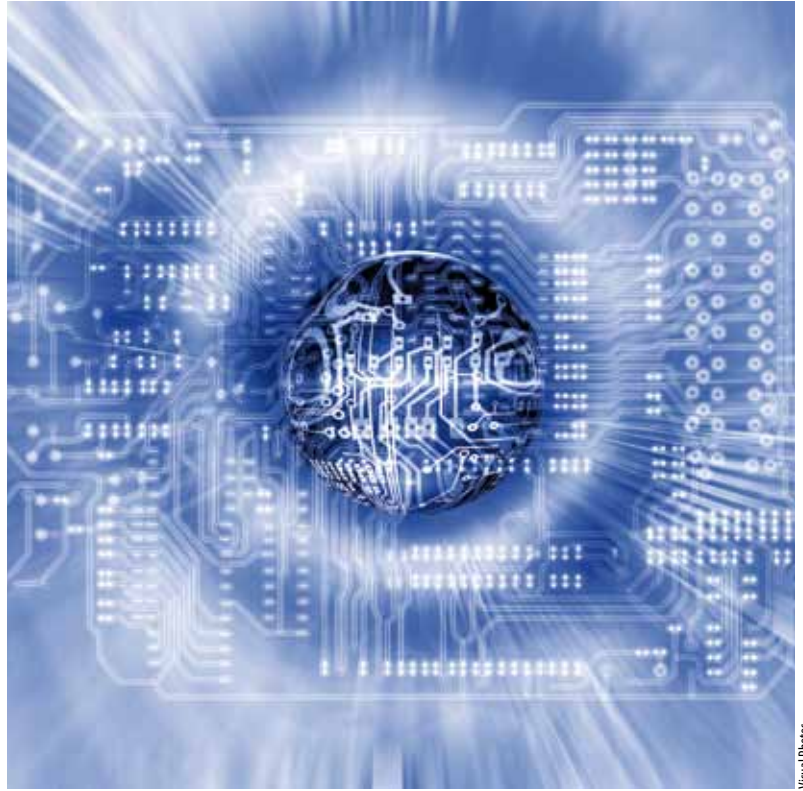
lektronik devrelere melez entegrasyonu kullanılabilir. Ancak bu öneri CMOS sonrası işlem gerektirdiği için, bunun yaygın şekilde gerçekleştirmesi çok zor oluyor.

Halbuki, difüzyon kuyruğu problemiyle karşılaşılmayan, dolayısı ile silisyum tabanlı fotodedektörlerin yüksek hızda doğrudan çalışabildiği optik tayfin mavi aralığında (dalga boyu 420 nm civarında) optik saat sinyali oluşturmak bu sorunu çözüyor. Ancak, yakın geçmişe kadar bu dalga boyu aralığında çalışan optik saat sinyali oluşturabilen çip düzeyinde bir aygıt bulunmuyordu.

Bu amaç için ilgili aygıt önerisi ve uygulaması, ilk kez Bilkent Üniversitesi Demir Araştırma Grubu üyeleri Emre Sarı, Sedat Nizamoğlu, Tuncay Özel ve Hilmi Volkan Demir tarafından *Applied Physics Letters* dergisinde yayımlanan “Kuantum Sınırlı Ters Stark Etkisine Dayalı Mavi Tayfa Kayan Mavi Kuantum Elektrosöğürleme Modülatörleri” başlıklı çalışmada yer aldı. Bu çalışmada gerçekleştirilen mavi kuantum modülatörleri, optik söğürleme sabitinin değişim miktarı ile dünya rekoru kırdı. Halihazırda bu bilimsel çalışmalar Demir Araştırma Grubu’nda devam ediyor.

Grup III-V modülatörlerinde temel kuantum operasyon mekanizması, yapıya dışarıdan uygulanan elektrik alanının yönünden bağımsız olarak artırılmasıyla optik söğürlemanın başladığı dalga boyunun uzun dalga boylarına kaymasına dayanıyor. Bu şekilde en yaygın olarak kullanılan etki, nanometre ölçekli kuantum yapılarında gözlenen kuantum sınırlamalı Stark etkisi oluyor. Demir Araştırma Grubu’nun çalışmasında ise GaN/InGaN (galyum nitrit/indiyum galyum nitrit) tabanlı nanometre ölçekli polar kuantum zigzag yapılarını içeren modülatörlerde temel mekanizma, kuantum kuyularındaki polarizasyon alanının tersine dışarıdan uygulanan elektrik alanının artırılmasıyla söğürlemanın başladığı dalga boyunun kısa dalga boylarına, yani ters yönde kaymasına dayanıyor. Demir Grubu, bu kuantum etkisine “tersine kuantum sınırlamalı Stark etkisi” olarak isimlendirilerek çalışmalarında kuramsal ve deneysel olarak gösteriyor.

Bu modülatörler silisyum tabanlı, standart CMOS fotodedektörlerin yüksek hız ve verimlilik gösterdiği 420-430 nm dalga boyu aralığında çalışması için tasarlanıyor; bu tasarımda yüzeye dik p-i-n diyot mimarisi kullanılıyor. Aygıtlarda 6 Volt’luk gerilim değişimi ile 424 nm’de en yüksek 6000 cm^{-1} ’lik söğürleme sabiti değişimi elde ediliyor. Bu rekor değişim göz önünde bulundurulduğunda, dalgakılavuzu mimarisinde 100 μm ’lik optik etkileşim uzunluğu kul-



Visual Photos

lanarak mavi bölgede 10 dB’lik modülasyon derinliği elde etmek mümkün oluyor. Bu değişim miktarları, hali hazırda kullanılan ticari kızılötesi III-V kuantum modülatörleri ile karşılaştırıldığında aynı mertebede bulunuyor. Ayrıca, bu aygıtlar oda sıcaklığında 430 nm tepe dalga boyunda fotoişime ve ileri beslemede elektrik akımı ile sürüldüğünde 437 nm tepe dalga boyunda elektroişime ile ışık üretiyor ve yüksek hızda modülasyon için düşük direnç-sığa değerlerine sahip bulunuyor. Bu özellikleri ile bu aygıtlar, doğru tasarlanmış tümleşik bir ışık kaynağı-modülatör fotonik devresi ile 10 GHz ve üstünde kompakt bir şekilde yonga üzerinde optik saat sinyali üretimine olanak veriyor.

Bu araştırma çalışmaları, Hilmi Volkan Demir’in yürütücülüğünü yaptığı TÜBİTAK projeleri, Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı projeleri ve Türkiye Bilimler Akademisi Üstün Başarılı Genç Bilim İnsanı Ödülü ile desteklenmiştir. Bu çalışmaların aygıt fikrini oluşturma, kuantum yapılarını ve aygıt mimarilerini tasarlama, kuantum yapılarını büyütme, aygıt fabrikasyonu, deneysel optoelektronik karakterizasyonu ve kuramsal analizi basamaklarının tümü, Türkiye’de Bilkent Üniversitesi’nde yapılmıştır.

Kaynak

Sarı, E., Nizamoğlu, S., Özel, T. ve Demir, H. V. “Blue Quantum Electroabsorption Modulators Based on Reversed Quantum Confined Stark

Effect with Blueshift”, *Applied Physics Letters*, Cilt 90, Cilt 1, s. 11101, 2007.