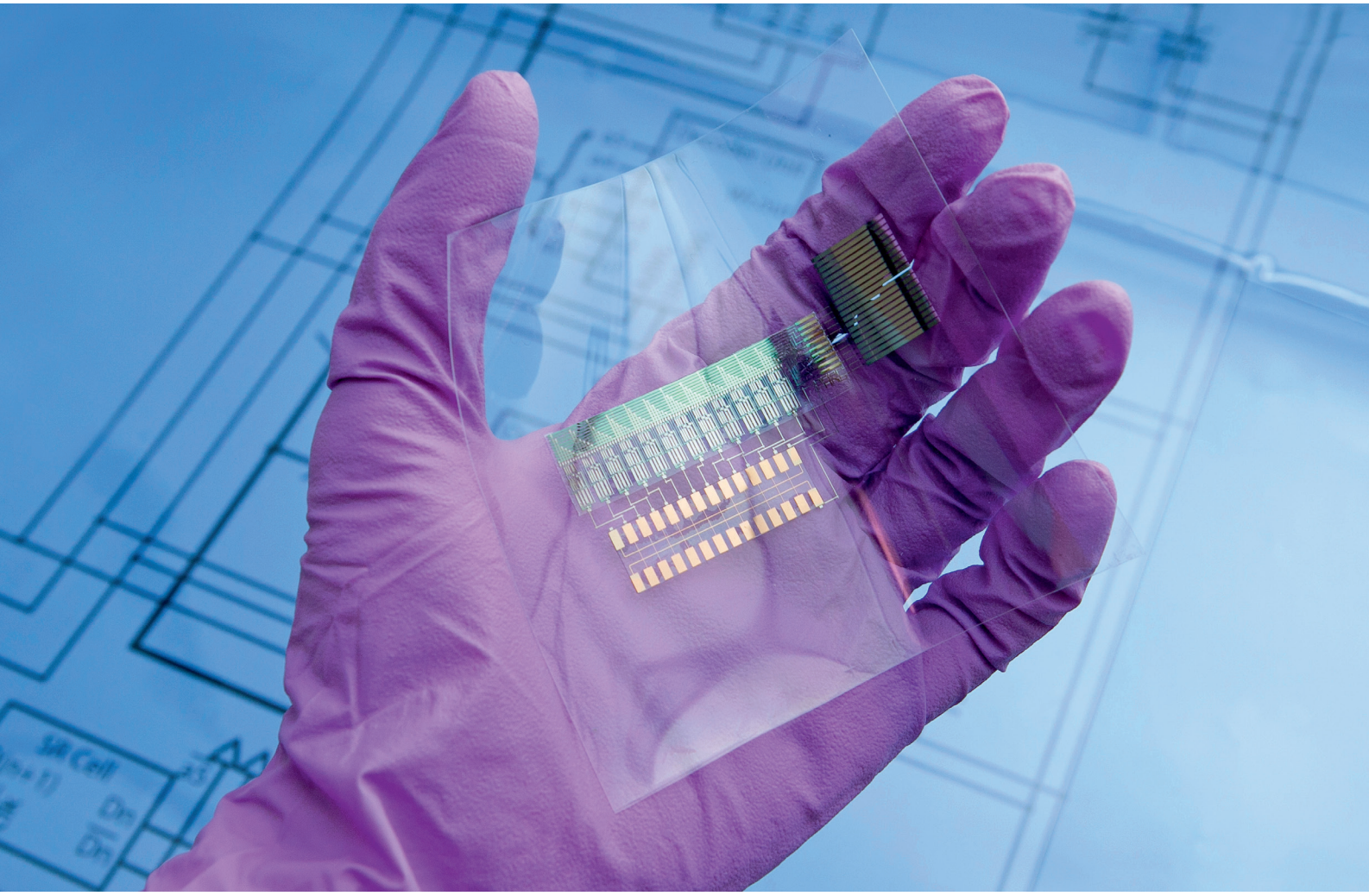
Tuba Sarıgül

Dr., Uzman,
TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

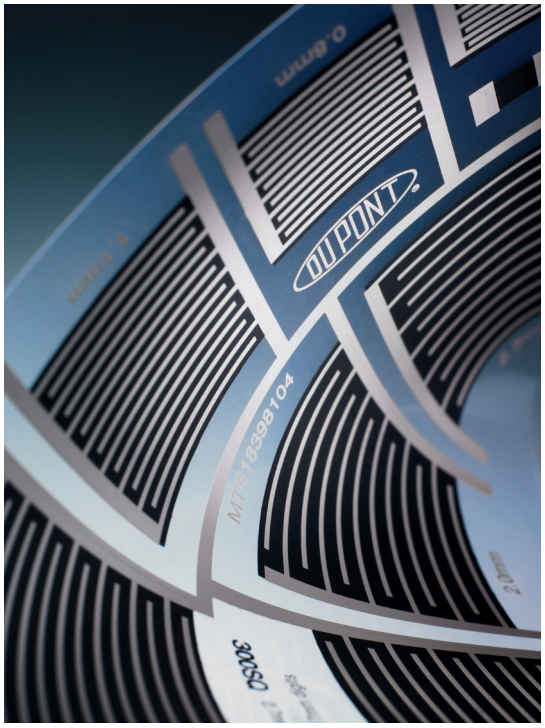
Elektronik Cihazlar Baskı Teknolojisiyle Artık Sadece Gelişmiş Fabrikalarda Değil Her Yerde Üretilebiliyor

Basılabilen Elektronik Sistemler

Elektronik endüstrisi, enerji ihtiyacı daha az, maliyeti düşük ve hafif cihazlar geliştirmeye çalışırken yeni üretim yöntemleri ve malzemelere yönelik araştırmalara ivme kazandırıyor. Otomotiv, havacılık, savunma sanayi gibi pek çok alanda yeni gelişmelere imkân tanıyan baskı, organik ve esnek elektronik teknolojileri, kimya ve malzeme bilimi ile ortak bir çalışma alanı bulmuş durumda.



>>>



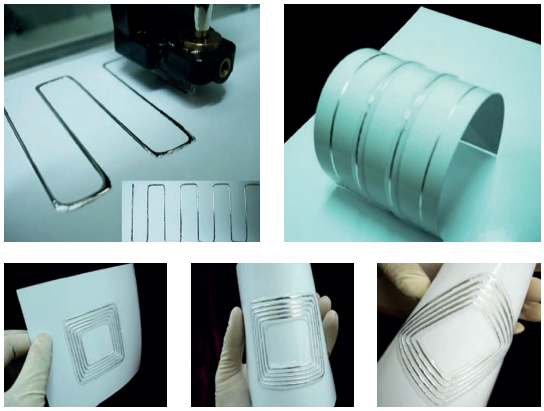
Transistör, diyot gibi parçalardan oluşan elektrik devreler, elektronik cihazların temel bileşeni. Geçtiğimiz 50 yılda modern elektronik cihazlarda yaşanan olağanüstü gelişmeler transistörlerin keşfi sayesinde mümkün oldu. Milyonlarca transistörün yanı sıra diğer elektronik devre elemanlarını da içeren birleşik devrelerin yani mikroçiplerin üretimi, gelişmiş mikro üretim süreçleri gerektiriyor. Ancak bir mikro işlemci fabrikasının kurulumunun maliyeti yaklaşık 2 milyar dolar ve silisyum kullanılan mikro işlemcilerin üretimi iki haftada tamamlanıyor. Bu nedenle mikro üretim yöntemi ancak sınırlı sayıda şirket tarafından uygulanabiliyor.

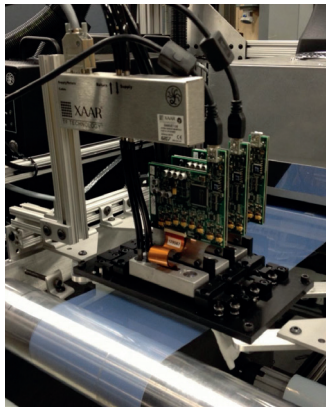
Çoğunlukla ham maddenin oyularak ya da yontularak üretildiği ve kalıplama, döküm, kaynak gibi maliyeti yüksek ve karmaşık süreçler içeren geleneksel yöntemlerin yerine, bir ürünün yapıldığı malzemenin çok ince katmanlarının üst üste eklenerek üretilmesi olarak tanımlayabileceğimiz 3D baskı yöntemi, kullanılan baskı malzemelerinde ve baskı yöntemlerinde sağlanan gelişmeler sayesinde seri üretimin geleceği olabilir. 3D baskı üretim yönteminin bu avantajları plastik, kâğıt gibi kolay ulaşılabilir ve esnek yüzeyler ile birleştirildiğinde elektronik teknolojilerinde daha ucuz ve hızlı üretim yöntemlerinin geliştirilmesini sağlayabilir.

Baskı elektronik teknolojisinde en önemli aşama baskı işlemine uyumlu, yüksek performanslı, yarı iletken baskı malzemelerinin yani "mürekkeplerin" geliştirilmesi. Ayrıca baskı yöntemlerindeki çeşitlilik -mürekkep püskürtme, ekran baskı, gravür baskı, rulodan ruloya geniş formatta baskı gibi- bu teknolojinin elektronik sistemlerin üretiminde kullanımını da kolaylaştırıyor.

Baskı malzemelerinin seçiminde, elektronik cihazın kullanım alanına göre sahip olması gereken özellikler dikkate alınıyor. Bu yöntemde kullanılan baskı malzemeleri genellikle taşıyıcı bir sıvı içindeki nano ölçekte parçacıklardan oluşuyor. Baskı malzemesinin kuruma süreci yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiriliyor. Cam, seramik gibi yüzeyler yüksek sıcaklığa dayanıklıyken plastik, kâğıt ve diğer esnek ve ince film yüzeyler yaklaşık 150°C'ye kadar ısıtılabiliyor. Baskı teknolojisinin esnek yüzeylere uygulanabilmesi için bu sıcaklıkların altında kullanılabilen baskı malzemelerinin geliştirilmesi gerekiyor.

Elektronik sistemlerde kullanılan malzemelerin sahip olması gereken en önemli özelliklerden biri elektronun akış hızını ifade eden yük taşıma mobilitesinin yüksek olması. Tek kristal yapıdaki silisyumdan üretilen elektronik transistörlerin yük taşıma mobilitesi 1000 cm^2/Vs (cm^2/Volt saniye) iken organik (küçük moleküllü ya da polimerik) malzemelerden üretilen elektronik sistemlerde bugün ulaşılabilen değer yaklaşık 10 cm^2/Vs. Uluslararası bir kimya şirketi olan DuPont ve Cornell Üniversi'den araştırmacılar ise *Science* dergisinde yayımlanan çalışmalarında yük taşıma mobilitesi 100 cm^2/Vs olan karbon nanotüp baskı malzemesi geliştirdi. Bu, polikristal yapılı silisyumun mobilitesi ile karşılaştırılabilir bir değer. Yük taşıma mobilitesinin artmasını sağlayan gelişmeler sayesinde baskı teknolojileri gelişmiş elektronik sistemlerin, örneğin mikro işlemcilerin üretiminde kullanılabilir.



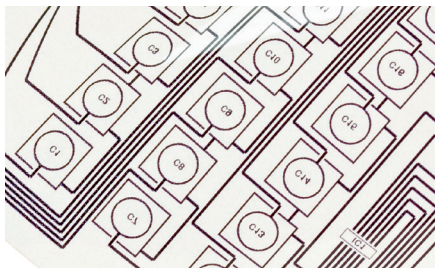


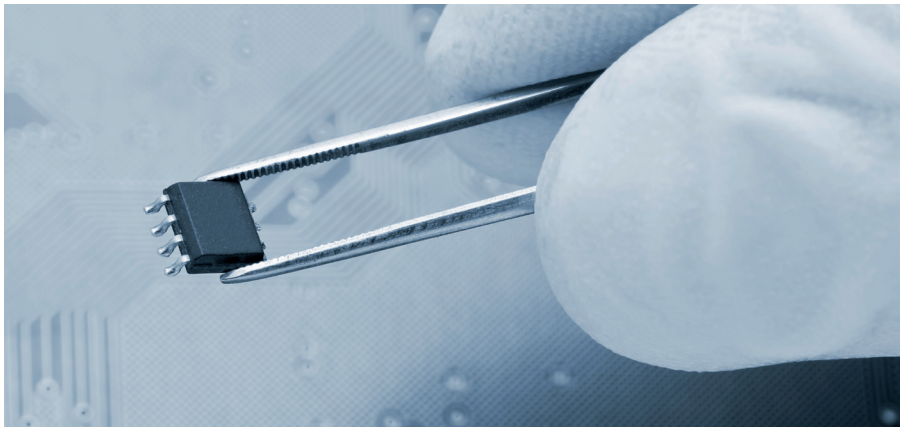
Jing Liu ve arkadaşları *Scientific Reports* dergisinde yayımlanan çalışmalarında sıradan bir kâğıt üzerine elektrik devre basmayı mümkün kılan bir yöntem geliştirdi.

Baskı malzemeleri, nanoparçacık içeren mürekkepler ve organik mürekkepler olmak üzere iki temel başlık altında sınıflandırılabilir. Nanoparçacık içeren baskı malzemeleri, bu işlem için uygun çözücülerde kolayca çözünerek kararlı ve basılabilir mürekkeplerin düşük sıcaklıklarda (<250°C ve pek çoğu 150°C'nin altında) üretimine imkân veriyor. Bu tür baskı malzemelerinde parçacıkların çok küçük olması daha düşük sıcaklıkta bir araya gelmelerini sağlıyor. Nanoparçacık mürekkepler altın (Au), gümüş (Ag), bakır (Cu), çinko oksit (ZnO), alüminyum oksit (Al_2O_3) gibi çok farklı malzemelerden üretilebiliyor. Organik baskı malzemelerinde yarı iletken küçük moleküllü organik maddeler ya da polimerler kullanılıyor. Elektronik sistemlerin baskı yöntemiyle üretiminde dielektrik özellikte inorganik ve polimer mürekkeplerden de yararlanılıyor. Normalde yalıtkan olan ancak elektrik yükleri molekül içinde kısmen ayrışan polar moleküllü dielektrik malzemelere herhangi bir elektrik alan uygulandığında, moleküller düzenli bir şekilde yönlenerek malzemenin polarize olmasına neden oluyor. Elektrolüminesans özellik gösteren baskı malzemeleri ise esnek elektrolüminesans aydınlatmaların baskı teknolojisiyle üretiminde kullanılıyor. İletken baskı malzemeleri 2012 yılında 2,86 milyar dolarlık dev bir pazara sahip oldu. Bu değerin 2018 yılında 3,36 milyar dolara çıkacağı tahmin ediliyor.

Yarı iletkenlerin (genellikle silisyumun) kullanıldığı elektronik sistemlerde milimetrekare başına bir milyon transistör bulunan birleşik devreler üretmek mümkün. Böylece üstün özelliklere sahip elektronik cihazlar zamanla daha da küçülüyor. Transistörün büyüklüğünü ifade eden iletken bantın genişliği silisyum temelli elektronik sistemlerde 14 nanometre (nanometre metrenin milyarda birini ifade eder) seviyesine inmiş durumda. Baskı teknolojilerinde ise mürekkep püskürtmeli baskı yöntemiyle 1 mikrometre (mikrometre metrenin milyonda biridir) seviyesinde.

Günümüzde baskı teknolojisi genellikle radyo frekansı ile tanımlama (RFID) sistemlerinde radyo dalgaları yayan ya da toplayan antenlerin üretiminde kullanılıyor. RFID teknolojisi ticari ürünlerin etiket takibi, elektronik pasaport ya da kimlik kartı sistemleri, spor zaman ölçüm sistemleri gibi farklı uygulama alanlarında kullanılıyor. Tıbbi görüntüleme, teşhis gibi amaçlarla kullanılan biyosensörler ekran baskı gibi yüksek hızlı baskı yöntemleriyle esnek ya da sert yüzeylere basılarak üretilebiliyor. Ayrıca farklı mürekkeplerin aynı yüzey üzerine basılmasını sağlayan baskı teknolojileri farklı amaçla kullanılabilecek sensörlerin üretiminde kullanılıyor. Yapısında elektron fazlalığı olan n-tipi ve elektron noksanlığı olan p-tipi yarı iletken mürekkeplerin geliştirilmesi, esnek ince film güneş gözelerinin baskı yöntemiyle üretimine imkân tanıyor.





Günümüzde elektronik sistemlerde genellikle yarı iletken malzeme olarak silisyum kullanılıyor. Silisyum, yarı iletkenlerin kullanıldığı cihazların en önemli özelliği olan ve elektronun akış hızını ifade eden yük taşıma mobilitesi ve elektrik devrelerindeki iletken hattın genişliği konusunda sağladığı avantajlar sayesinde, üstün özelliklere sahip elektronik cihazların mikro ölçekte üretimine imkân sağlıyor. Son yıllarda gerçekleşen teknolojik yenilikler, yarı iletken malzemelerin %99,999999 gibi yüksek saflıkta üretimi ile mümkün oluyor. Ancak bu işlemler maliyetleri artırıyor. Ayrıca silisyumun kullanıldığı elektronik sistemlerin geleneksel yöntemlerle üretimi yüksek sıcaklıkta gerçekleşiyor. Baskı teknolojisi yarı iletken temelli elektronik sistemlerdeki bu sorunlara çözüm olabilir.

Şu an için sağlanan gelişmeler mikro ölçekli elektronik sistemlerin baskı teknolojisiyle üretimi için yeterli olmasa da, gelecek nesil baskı malzemeleri ve yöntemleri yüksek performanslı, esnek, şeffaf, geniş yüzey alanlı elektronik cihazların düşük maliyetlerle ve basit üretim yöntemleriyle üretiminin önünü açabilir.

Kaynaklar
- Subramanian, V. ve ark., "Printed Electronics For Low-Cost Electronic Systems: Technology Status and Application Development", Solid-State Device Research Conference, 2008.
- Someya, T., "Printed electronics: Nanotube inks make their mark", *Nature Nanotechnology*, Cilt 4, Sayı 3, s.143-144, 2009.
- Schlom, D. G., Pfeiffer, L. N., "Oxide electronics: Upward mobility rocks!", *Nature Materials*, Cilt 9, Sayı 11, s. 881-883, 2010.
- http://www2.dupont.com/MCM/en_US/assets/downloads/prodinfo/Printed_Electronics.pdf
- Kamyshny, A., Steinke, J., Magdassi1, S., "Metal-based Inkjet Inks for Printed Electronics", *The Open Applied Physics Journal*, Cilt 4, Sayı 1, s. 19-36, 2011.
- Daniel, J., "Printed Electronics:Technologies, Challenges and Applications", International Workshop on Flexible and Printed Electronics (IWFPE 10), 2010.
- http://www.idtechex.com/