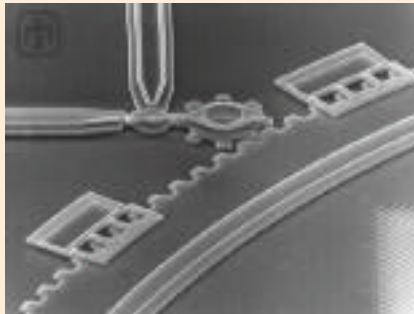


**Analog Devices şirketince geliştirilen ADXL50 ivme sensörü. Yonganın ortasında kütesel ivme sensörü bulunur. Yonganın öbür bölümleriyse kontrol elektroniğine ayrılmıştır.**

Mekanik sistemlerin boyutları, gözle görülecek kadar büyüktür. Bu sistemlerin en büyük destekçisi elektronik devrelerse, her geçen gün daha bir "görünmez" oluyor. Elektronik, bu şartı kütlemeyi yariletken yonga üretim teknolojisiyle sağlamıştır. Bu teknolojinin, mekanik sistemleri de küçültmek için kullanılması sonucunda yeni bir alan olarak mikroeletromekanik sistemler (MEMS) ortaya çıkmıştır.

MEMS'lerde mekanik parçalar ve elektronik devre elemanları aynı yarıiletken yonga üzerinde bulunur. Dişli kutuları, menteşeler, kilitler, diyaframlar, ısıtıcılar ya da yaylar gibi birçok temel mekanik sistem, yarıiletken yonga üzerinde, elektronik devrelerle birlikte yapılır. Eşlenik sistemlere göre birçok üstünlükleri bulunan MEMS'ler, bu sayede seri olarak da üretilebilmektedir.

MEMS'lerde mekanik ve elektronik parçaların aynı yonga üzerinde yapılması, eski yöntemlere göre birçok üstünlük sağlar. Örneğin Analog Devices şirketince geliştirilen ADXL50 ivme sensörü, aynı yonga üzerinde birçok işlevsel bölüm içerir. Bu yongada, ivmenin algılanması için hareketli kütle sensörü vardır.



**Büyük bir dişliyi sürmek için kullanılan sistem (solda). Küçük dişli, birbirine dik iki kol tarafından döndürülür. Kollara itki elektrostatik olarak verilir. Sandia Araştırma Merkezi'nce, yalnızca tek yönde dönmesi için geliştirilmiş bir mikromotor (ortada). İletişim alanında kullanılması düşünülmüyor. Sağdaki resimde, sağ üst köşede bulunan kollar, küçük dişliyi döndürür. Hareket, büyük dişilerce mekanik devrenin geri kalan bölümlerine aktarılır. Kollarn yarattığı kuvvet çok azdır ama dişli sistemi bunu yükseltir.**

# Mikromakineler

*Mekanik sistemler artık silisyum yonga üretim yöntemleriyle mikrometre boyutlarında yapılıyor. Mikroeletromekanik olarak adlandırılan bu sistem sayesinde aynı yonga üzerinde hem mekanik parçalar hem de bunları kontrol eden elektronik devreler birkaç milimetre karelik silisyum pul üzerine yerleştiriliyor.*

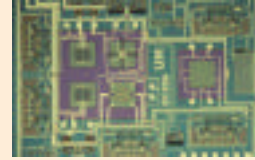
Bu sensörün boyu on-onbeş mikrometre kadardır (milimetrenin yüzde bir-bir buçuğu). Sensörün elektriksel özelliği, ivmeyle orantılı olarak değişir. Bu değişim, sensörün hemen yanında bulunan elektronik kontrol devresince algılanıp işlenir. İşlenmiş ivme sinyali, sayısal hale dönüştürülüp, çıkışa aktarılır. Sistem son derece küçük, az enerji tüketen, sağlam ve uzun ömürlüdür. Gerçekte bu tip sistemler, MEMS teknolojisi kullanmadan da üretilebilir. Ama bu durumda, ivme sensörünün boyu beş santimetre dolayında, elektronik kontrol devresinin boyutlarıysa, bundan çok daha büyük olmaktadır. Bir bütün olarak orta büyüklüklü bir kutu görünümündeki sistem, bu boyutlarıyla birçok uygulama için uygun değildir.

Boyutlardaki küçülme sayesinde MEMS'ler, gazların kimyasal analizini yapmak için kullanılan sistemlerde de son derece önemli çözümler sunar. Bir üretim hattı boyunca hidrojen gazının konsantrasyonunun ölçülmesi, çoğu durumlarda önemlidir. Standart üretim tekniklerine göre üretilmiş hidrojen gazı sensörü, bir santimetre çapındadır. Sensörden çıkan sinyallerin kablolarla elektronik kontrol devresine iletilmesi gerek-

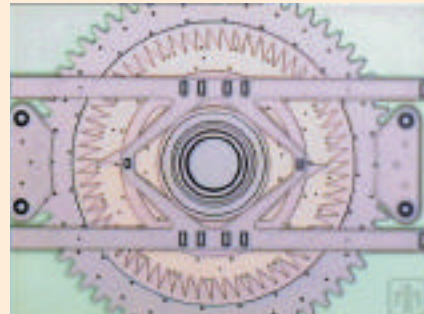
mez. Bu, girişim ve gürültü sorunları yüzünden başlıbaşına zor bir işlemdir. Ayrıca bu tip sensörlerden onlarçasının kullanılması durumunda son derece karmaşık kablolama ve ekranlama sorunlarıyla da karşılaşılır. Ama MEMS teknolojisi kullanılarak yapılan yeni hidrojen gazı sensörlerinde bu tip sorunlar çözülmüştür. Gaz sensörü, aynı yonga üzerinde bulunan elektronik kontrol devresine bağlıdır. Bu devre birçok sensörün bir arada kullanılmasını sağlamak amacıyla, sayısal ağ birimleriyle donatılmıştır. Bu sayede istenildiği kadar hidrojen sensörü bir bilgisayar ağı kurulumuşçasına birbirine bağlanabilir. Ucuz ve boyutları çok küçük bu sensörler, standart sensörlere göre çok daha uygundur.

MEMS'ler iletişim sistemlerinde de kullanılır. İletişim devrelerinde rezonatörler sıkça kullanılır. Bu devreler fazla yer kaplar ve özellikleri de yeterince iyi değildir. MEMS kullanılarak yapılan mekanik rezonatörlerse elektronik eşdeğerlerine göre çok daha küçük ve üstün niteliklidir. Bu sayede rezonatör devreleri de öteki devrelerle aynı yonga içine yerleştirilebilir.

Fiberoptik kablunun alıcıya ya da ve-



**Basınç ve sıcaklık ölçümü için yapılmış bir MEMS. Mor bölgelerde mekanik diyaframlar ve sıcaklık sensörleri, geri kalan bölümdeyse tümüyle elektronik devreler vardır.**





**Birçok mikromekanik sistemde kullanılan mikrokilitlerden biri. Bu kilitler mekanik sistemlerin çalışmalarını kontrol etmek için kullanılır.**

riçie bağlanması sırasında, optik yayın, yükselteç ve filtre mekanizmalarında kullanılması uygun olan MEMS'ler, tıbbi elektronik alanında da önemli çözümler sunar. Özellikle sinir sisteminin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmuştur. Öte yandan, ivmenin ya da dönüşün algılanması esasına dayanan kütleli navigasyon sistemleri, MEMS'lerin en yoğun kullanıldığı yerlerdir. Son zamanlarda MEMS'lerle yapılan hareketli ayna matrisleri, dev ekranların ve çok net sunum sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır.

Elektronikğin birçok alanında olduğu gibi MEMS'ler de en önemli gelişimi askeri alanda kaydetmektedir. Mikro casus robotlar ve oda sıcaklığında çalışabilen kızılötesi kameralardan, akıllı bombalara kadar yüksek teknolojinin birçok alanının kullanıldığı askeri uygulamalar için MEMS araştırmaları büyük bir hızla ilerlemektedir.

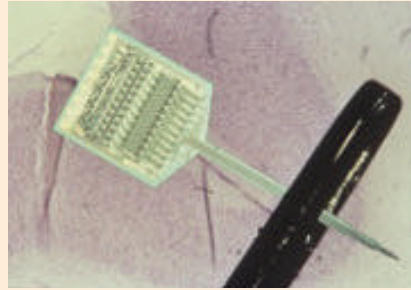
MEMS'lerin üretimi sırasında birçok sorunla karşılaşılır. Mekanik parçalar, genellikle polisilyumdan yapılır. Polisilyum, silisyum pulu üzerine ince bir kat-

man olarak yayılır. Bu katmana mekanik parçanın şekli foto-transferle aktarılır ve asitle eritilerek parça ortaya çıkartılır. Bu işlem gerektiği kadar yinelenir. İşlem sonunda polisilyumun sertleşmesi için tavlama işlemi gerekmektedir. Tavlama işlemi yonga üzerinde başka sorunlara yol açtığından birçok araştırma kurumu bu sorunları gidermek için çalışmaktadır. Mekanik sistemlerle elektronik devreler aynı zamanda üretilemezler. Birçok üretim yönteminde ilk önce mekanik sistemler sonra da elektronik devreler yapılır. Bu sırada mekanik sistemlerin bozulmasını önlemek amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Elektronik devrelerin, mekanik bölümlerden



**Deneysel amaçlı yapılmış bir "mikrocımbız". Tarak biçimindeki bölgeye elektrik akımı verildiğinde, tarağın dişleri elektrostatik olarak birbirlerini çeker ve cımbızın ucu kapanır.**

mekanik sistemlerin tasarlanması da oldukça zordur. Mekanik parçaların boyutlarının mikrometre düzeyinde olması, parçalar arasındaki yüzey gerilim kuvvetlerinin önem kazanmasına yol açar. Benzer şekilde, mekanik tasarım yapılırken, birçok kuantum etkisi de gözönünde bulundurulur. Ayrıca, hareketli parçalarda sürtünmeyi azaltmak için sistemin bir çeşit "yağlanması" gerekir. Yağlama işlemi, polisilyumun, polimerlerden yapılmış ince bir filmle kaplanmasıyla sağlanır. Yeterince iyi sonuç vermeyen bu yöntem yerine yeni çözümler araştırılıyor. Birçok araştırma kurumu ve şirket, bu tip sorunları gidermek amacıyla ortak çalışmakta ve patentli çözümler üretmektedir.



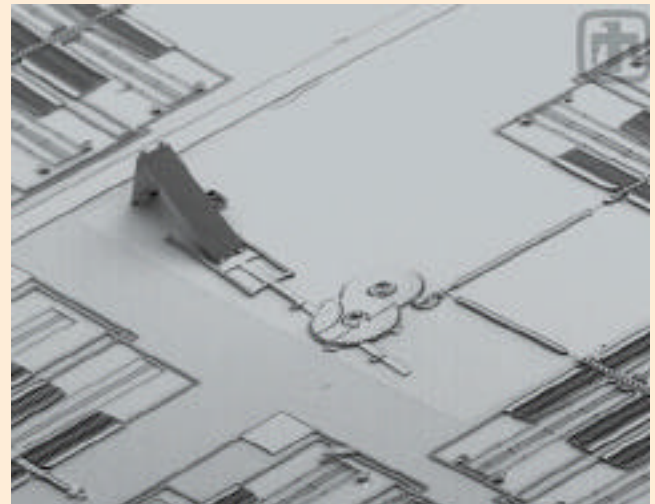
**Sinirsel sinyalleri algılamak için yapılmış bu sensörün iğnesinde 32 algılama ucu vardır. Bu uçlar, sensörün arkasındaki elektronik devreye bağlıdır.**

önce yapılmasıysa, tavlama sırasında sorun çıkartır. Son zamanlarda hem mekanik, hem de elektronik bölümlerin aşamalı olarak beraber üretilmesi araştırılıyor. Öte yandan, üretilen yongaların silisyum plakadan kesilmesi ve koruyucu bir kılıfla kaplanması son derece zor ve dikkat isteyen bir işdir. Bunun yanında

MEMS'lerin üretimi sırasında karşılaşılan sorunların aşılması için çalışmalar hızla ilerliyor. Her geçen gün yeni bir fikirle hızlanan MEMS araştırmalarının, sınırları yalnızca araştırmacıların hayal gücüyle belirleniyor. Mikroelektronik devriminden sonra artık mikroelektromekanik devrimi başlamıştır. Bu sayede çevresini "duyumsayan" ve duyu organı gibi çalışan yongalar üretilmektedir.

Okan Demirel

Kaynaklar:  
IEEE Spectrum, Kasım 1998  
IEEE Spectrum, Aralık 1998  
daytona.ca.sandia.gov/LIGA/  
www.mdl.sandia.gov/micromachine/  
bsac.eecs.berkeley.edu  
nobelium.me.berkeley.edu/~thorj/index.html  
www.calipertech.com/tech/index.htm  
www.engin.umich.edu/labs/cnct/



**Bu MEMS'de bulunan mikroayna, bağlı bulunduğu dişli sistemi ve tarak biçimli iticiler sayesinde hareket edebilir.**