

RF MEMS Teknolojisi ile Kapasitif ve Metal-Metal Bağlantılı Paralel Anahtar Yapıları

H. İ. Atasoy, K. Topallı, M. Ünlü, İ. İstanbulluoglu, E. U. Temoçin, Ö. Bayraktar,
Ş. Demir, Ö. Aydın Çivi, S. Koç ve T. Akın
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara
Tel: (312) 210 4526, Faks: (312) 210 2304, E-posta: simsek@metu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, RF MEMS teknolojisiyle üretilen iki adet paralel anahtar yapısı sunulmaktadır. Bunlardan birincisi endüktans uyumlama, kapasitif bağlantılı anahtar olup getirdiği yüksek aşağı durum kapasitansı ve endüktansı ile X-bant frekansları içerisinde yüksek yalıtım elde etmeye imkan vermektedir. İkinci tip MEMS anahtar ise metal-metal bağlantılı paralel anahtar olup sağladığı DC bağlantı hem düşük kayıplı anahtarlama için sağlamaktadır. Anahtar yapıları ODTÜ Mikroelektronik Tesisleri'nde geliştirilen yüzey mikroişleme teknolojileriyle üretilip, ölçümleri tamamlanmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre kapasitif bağlantılı anahtarın 11-17 GHz, metal-metal bağlantılı anahtarın da 1-6 GHz frekansları arasında 20 dB'den daha iyi yalıtım sağladığı gözlenmiştir.

1. Giriş

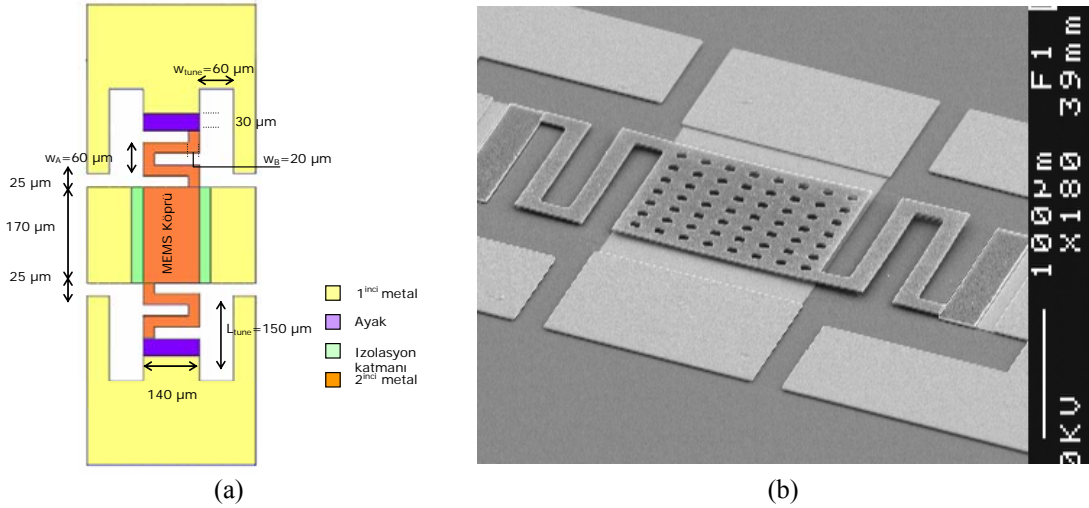
Mikro Elektro Mekanik Sistemler, kısaca MEMS, yüksek performansları, yığın üretime uygun boyutları ve düşük maliyetleriyle elektronik dünyasının birçok alanında yerlerini almışlardır. Bu gelişmelerle birlikte MEMS, mikrodalga alanında kullanılan bazı devre elemanlarının daha yüksek verim ve daha düşük maliyet ile tekrar geliştirilmesine imkan sağlamaktadır. Ayrıca bu yapılar, PIN diyot ve FET gibi eşleniklerine göre daha az güç tüketmekte ve daha az RF güç kaybına sebep olmaktadır.

Anahtarlama elemanları RF MEMS yapılarının temel yapıtaşlarıdır. Sistem oluşturulurken bu yapıtaşları birleştirildiğinden bu yapının performansı, sistemin davranışını etkiler. MEMS yapıların özelliklerini incelediğimizde, düşük araya sokma kaybı ve yüksek izolasyon, tasarımcı için esnek yollar sunmaktadır [1]. Bu bildiride X-bant içerisinde tasarımı oldukça zor olan bir kapasitif bağlantılı paralel anahtar yapısı ile yüksek yalıtımlı metal-metal bağlantılı iki tip paralel anahtar yapısı sunulmaktadır.

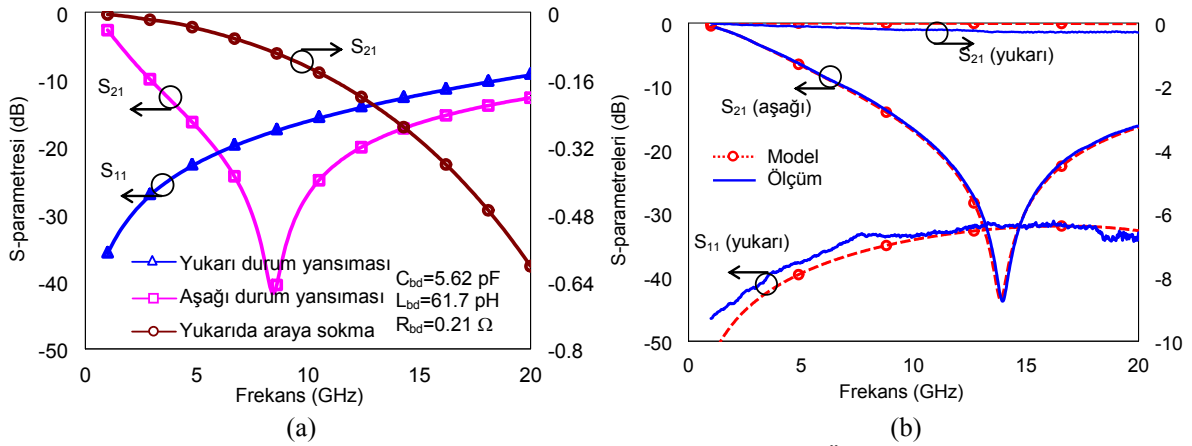
2. Kapasitif Bağlantılı Paralel Anahtar Yapısı

Kapasitif bağlantılı paralel anahtar yapısının çizimleri Şekil 1-a'de verilmiştir. Kapasitif bağlantılı köprü yapısı, cam pul üzerine ODTÜ Mikro Elektronik Tesisleri'nde (ODTÜMET) geliştirilen işlemlerle üretilip, karakteristik empedansı 50 Ω olan bir eşdüzlemsel dalga kılavuzu (EDK) hat ve bu hat üzerine yerleştirilmiş mekanik olarak hareketli ince metal katmanlı MEMS köprüden oluşmaktadır. Köprü, destekleyici kollar yardımıyla EDK yapısının toprak hatlarına bağlanır. Köprü yukarı durumdayken, sinyal hattı üzerindeki bir kapasitans olarak davranır. Köprü sinyal hattına uygulanan, hareketlendirme voltajı yardımıyla aşağı çekildiğinde ise bu kapasitans 20 ile 100 kat arasında artarak RF kısa devre gibi davranır. Ayrıca toprak hatları üzerindeki girintili bölümlerde ve köprüyü destekleyen kollar üzerindeki kıvrımlarla artırılan köprü endüktansı, anahtar çalışma frekansını X-bant frekanslarına kaydırmak için kullanılmıştır. Bu tür bir tasarımla standart anahtarlara oranla 6 ile 8 kat arasında endüktans farkı sağlanabilir. Tasarlanan rezonans frekansı 8.4 GHz olduğunda 5.8-12.4 GHz bandında 20 dB'den daha iyi yalıtım elde edilebilir. İletim durumunda, aynı aralıktaki yansıma 14 dB'den ve araya sokma kaybı ise 0.2 dB'den az olarak tasarlanmıştır.

Yapıların üretimlerinin tamamı ODTÜMET'te yapılmış ve çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Üretilen yapılardan birinin taramalı elektron mikroskobu altında çekilmiş bir fotoğrafı Şekil 1-b'de görülebilir. Yapılan ölçümler sonucunda, yapının yukarı durumda ölçüm sonuçlarının tasarlanan değerlere oldukça yakın olduğu görülmüştür. Aşağı durumda ise sığa değerinin metal ve yalıtkan tabakaların yüzey pürüzlülüğünden dolayı düştüğü ve rezonans frekansının 13.6 GHz'e kaydığı gözlenmiştir ki bu kapasitif bağlantılı paralel MEMS anahtarlar için literatürde çok karşılaşılan bir durumdur. Şekil 2-b'de görüldüğü üzere yapının ölçüm sonuçları, benzetim sonuçları ile aşağı durum kapasitans değeri düzeltilindiğinde tamamen örtüşmektedir. Bu yapı için 20 dB'den daha iyi yalıtım 11-17 GHz arasında elde edilmiş ve araya girme kaybı 1-20 GHz bandında 0.3 dB'den düşük olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. (a) Sığa anahtarlama paralel anahtarın şematik gösterimi (b) Anahtarın SEM fotoğrafı.



Şekil 2. (a) Kapasitif bağlantılı anahtarın benzetim sonuçları (b) Ölçüm sonuçlarının benzetimlerle karşılaştırılması.

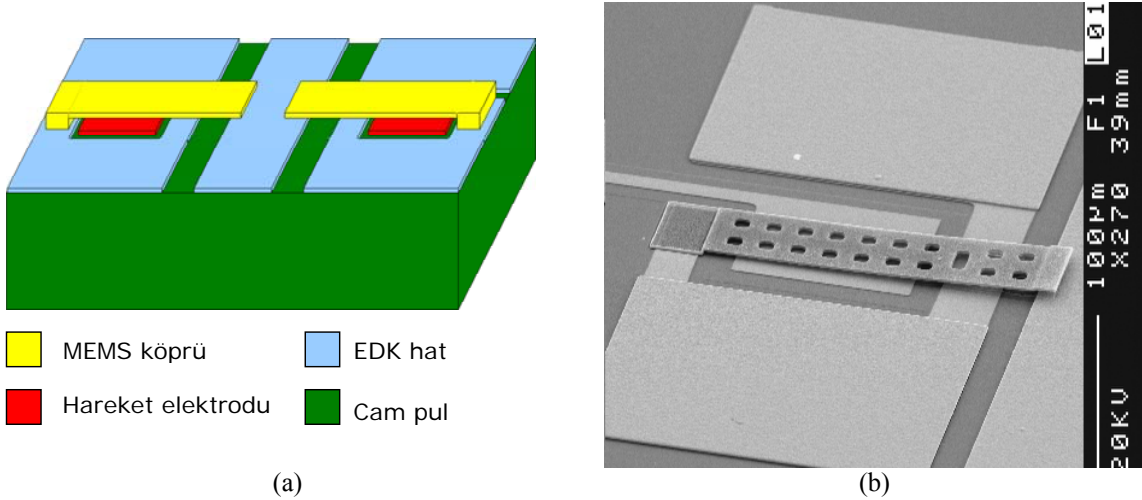
3. Metal-Metal Bağlantılı Paralel Anahtar Yapısı

Metal-metal kontaklı anahtarlar geniş bantlı devreler için DC güç tüketimini en aza indirgeyecek biçimde tasarlanmıştır. Köprülerin alanlarının değiştirilmesiyle aynı RF performansı yakalanarak, harekete geçirme voltajı ve süresi değiştirilebilir. Bu anahtar yapısının çizimleri Şekil 3-a'da görülebilir. Yapı temel olarak, 50 Ω'luk sinyal hattından iki yana dik olarak uzanan tek ayaklı köprülerden oluşur. Köprüler toprak hattına bağlanır ve harekete geçirme kuvveti köprü'nün altındaki toprak hattında açılan elektrotlar tarafından sağlanır. İletim durumunda sinyal köprü'den etkilenmeden diğer uca gönderilir. Yalıtım durumunda ise köprüler aracılığıyla sinyal-toprak arasında kısa devre oluşturulur ve yansıma sağlanır.

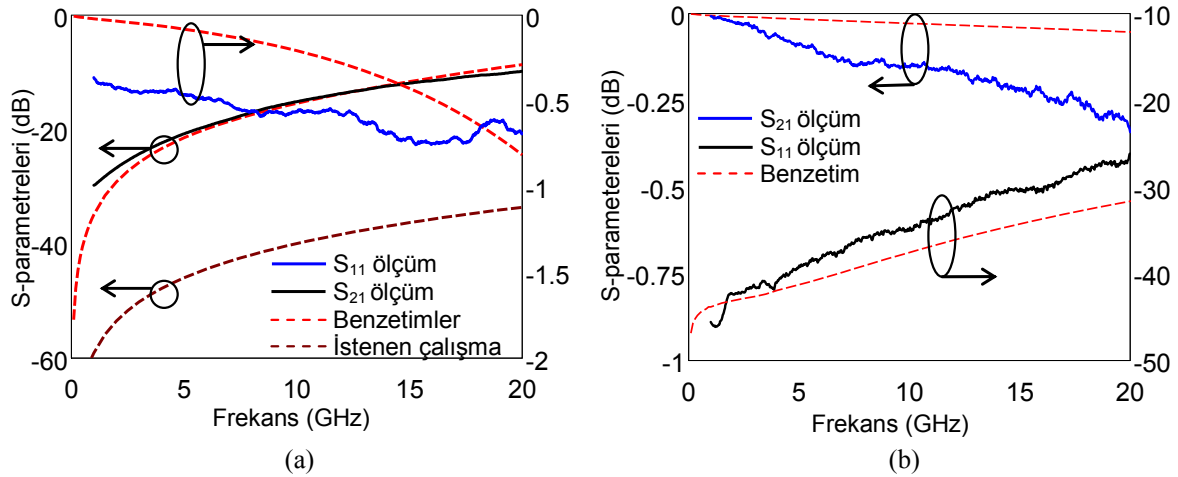
Üretilmiş olan anahtarın SEM fotoğrafı Şekil 3-b'de görülebilir. Şekil 4'te ise benzetimin ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması bulunabilir. Şekil 4-b anahtarın yukarı durumundaki S_{21} karakteristiğini göstermektedir ve araya sokma kaybı 0.3 dB olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre anahtarın iletim durumunda araya sokma kaybının büyük bir bölümü sinyal hattından kaynaklanır ve köprülerin iletim kaybına etkisinin oldukça az olduğu görülebilir. Geri dönme kaybı 1-20 GHz bandında en kötü olarak 20 dB bulunmuştur. Şekil 4-a'da anahtarın izolasyon durumu verilmiştir ve 20 GHz'e kadar 10 dB'den iyi araya sokma kayıpları elde edilmiştir. 1-6 GHz arasındaki araya sokma kaybı ise 20 dB'den iyi olarak bulunmuştur. Yalıtım, köprü'nün kontak yaptığı bölgelere bağlıdır ve daha iyi mekanik kontakla yalıtım karakteristiği iyileştirilebilir. Ölçüm sonuçlarını benzetim araçlarıyla karşılaştırdığımızda köprü'nün sadece sinyal hattı ile temas ettiği anlaşılmıştır. Bu nedenle yüksek frekanslardaki yalıtımda azalmalar görülmüştür. Bu problem, RF hattının sinyal ve toprak hatlarının kenarlarına yükseltilebilir yapılarla çözülebilir.

İleri sürülen bu yapı yardımıyla RF hattı fazla etkilenmeden köprü'nün mekanik özellikleri ayarlanarak hareketlendirme voltajı ve süresi istenen değerlere ayarlanabilir. Ayrıca anahtarın taşıyabileceği güç, özdeyici

kuvvetlerin azalması yardımıyla artırılmıştır. Çoğu paralel anahtar yapısının aksine bu tip anahtarda özylemeden kaynaklanan hareketlendirme, sinyal hattı ve köprü arasındaki bağlaşımın az olması nedeniyle beklenmemektedir.



Şekil 3. (a) Metal-Metal bağlantılı yapının genel görünümü. (b) Aynı yapı için SEM resmi.



Şekil 4. Metal-Metal bağlantılı anahtar yapısı için ölçüm sonuçları (a) Aşağı durum. (b) Yukarı durum.

4. Sonuç

Bu çalışmada iki farklı paralel RF MEMS anahtar tasarımı sunulmuştur. Kapasitif bağlantılı yapıda endüktansla yalıtım performansı X-bant frekanslarına kaydırılmaya çalışılmıştır. Endüktansı artırmak için toprak hattında girintiler açılmış ve köprü kolları üzerinde kıvrımlar oluşturulmuştur. Metal-metal bağlantılı anahtarda yeni bir tasarım öne sürülmüş ve köprünün yansıma yaratan önemli bir kısmı tasarımdan çıkarılmıştır. Böylece araya sokma kayıpları ve yansıma en aza indirilmeye çalışılmıştır. Yanlara dik olarak yerleştirilen iki tek ayaklı köprü anahtarlama işlevini görür. Tüm yapılarda üretim ve tasarım sonuçları birbiriyle oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir.

5. Bilgilendirme

Bu araştırma TÜBİTAK (EEEAG-104E048), DPT ve Avrupa Birliği 6. Çerçeve Programı kapsamında AMICOM (Advanced MEMS For RF and Milimeter Wave Communications) Mükemmeliyet Ağı tarafından desteklenmektedir.

6. Referanslar

[1] G. M. Rebeiz, "RF MEMS theory, design, and technology," John Wiley & Sons, 2003.