

RF MEMS KAPASİTÖRLER İLE REZONANS FREKANSI AYARLANABİLEN ANTENLER

Emre Erdil, Kağan Topallı*, Mehmet Ünlü*, Özlem Aydın Çivi*, Tayfun Akın*
Sermaye Piyasası Kurulu
Bilgi İşlem, İstatistik ve Enformasyon Dairesi
Ankara
emre.erdil@spk.gov.tr

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
kagan@metu.edu.tr, ozlem@metu.edu.tr

Özet: *Bu bildiriye, MEMS teknolojisi ile üretilen rezonans frekansı ayarlanabilir dikdörtgenel yarık ve mikroşerit yama anten yapıları sunulmuştur. İki yapıda da RF MEMS kapasitörler elektrostatik kuvvetle hareketlendirilerek yapıların eşdeğer sızgıları değiştirilmiş ve rezonans frekansları ayarlanabilmiştir. Benzetim ve ölçüm sonuçlarına göre her iki yapı için rezonans frekansında 1 GHz'e yakın kaymalar elde edilmiştir.*

1. Giriş

Son yıllarda Mikro-Elektromekanik Sistemler (MEMS) teknolojisi ile elektriksel özellikleri ve geometrileri ayarlanabilir mikrodalga devre elemanlarının üretilebileceği gösterilmiştir. Ayarlanabilen devre elemanlarının antenlerle bütünleştirilmesi antenlerin polarizasyonunda, frekansında ve ışınım örüntüsünde yeniden şekillendirme yapılabilmesini sağlamaktadır [1]. Ayrıca, devre elemanlarının antenlerle birlikte tektaş üretimi parazitik etkileri, kayıpları ve maliyeti düşürmektedir. Bu bildiriye, RF MEMS kapasitörler ile rezonans frekansı ayarlanabilen dikdörtgenel yarık anten ve mikroşerit yama anten sunulmuştur. Yapıların tasarımları ve benzetimleri Ansoft HFSS kullanılarak yapılmış, üretimleri ise Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mikroelektronik Tesislerinde yüzey mikroışleme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. Ayarlanabilir Dikdörtgenel Yarık Anten

Bildiriye sunulan ilk yapı, rezonans frekansı ayarlanabilir dikdörtgenel yarık antendir. Bu antenler temelde çift frekanslı davranış gösterirler. Ancak ikinci rezonans frekansının H-düzleminde yüksek çapraz polarizasyon bileşeni vardır. 50 Ω empedansındaki eşdüzlemsel dalga kılavuzu (EDK) besleme hattının karşı kenarına kısa devre kütük eklenmesi H-düzlemindeki çapraz polarizasyon bileşenini -30 dB seviyesinin altına çekmektedir. Bu kütüğün karakteristik empedansı rezonans frekans değerlerini ve bu frekanslar arasındaki bandı belirlemektedir [2]. Anteni dinamik olarak yükleyebilmek ve kütüğün karakteristik empedansını değiştirebilmek amacıyla 6 adet tek çapalı köprü tipi RF MEMS kapasitör kütüğün üzerine yerleştirilmiştir [3-4]. MEMS kapasitörlerle yüklenen dikdörtgenel yarık antenin genel görünümü Şekil 1 (a)'da verilmiştir. Şekil 1 (b)'de görülebileceği gibi, kapasitörlerin çapaları kütüğe bağlıdır ve köprüler çapanın her iki yanından RF sinyal taşıyan iletkene doğru genişlemektedir. RF sinyal hattı ile kapasitörler arasında DC gerilim uygulayarak kapasitörler elektrostatik kuvvetle hareketlendirilmektedir. Söz konusu yapıda sığa, köprülerle RF sinyal taşıyan iletken arasında oluşmaktadır. Kapasitörlerin başlangıç yüksekliği 2 μm 'dir ve elektrostatik hareketlendirmeyle yükseklik 1.4 μm 'ye indirilerek yüklemeye yapılmakta ve kapasitörlerin bağlı olduğu kütüğün karakteristik empedansı değiştirilerek rezonans frekansında kayma sağlanmaktadır. Yapının benzetim ve ölçüm sonuçları Şekil 2 (a)'da verilmiştir. Benzetim sonuçlarına göre kapasitör yüksekliği 2 μm iken rezonans 8.48 GHz (10 dB BW: %4.2) ve 10.53 GHz (10 dB BW: %10) frekanslarında oluşmaktadır. Kapasitör yüksekliği 1.4 μm 'ye indirildiğinde ise rezonans frekanslar 7.3 GHz'e (10 dB BW: %1.6) ve 10.2 GHz'e (10 dB BW: %11.7) kaymaktadır. Üretim sonuçlarına göre ise rezonans frekanslar 0-32 V aralığında 12 GHz - 11.2 GHz ve 9.87 GHz - 9.48 GHz arasında oluşmaktadır. Üretim ve benzetim sonuçları arasındaki farklılık köprü tipi kapasitörlerin üretiminde oluşan stresten dolayı kapasitörlerin uçlara doğru kıvrılmasından kaynaklanmaktadır. Bu kıvrılma elektrostatik hareketlendirme öncesi kapasitörlerin başlangıç yüksekliklerinin ortalama 4 μm 'de oluşmasına neden olmaktadır. Kıvrılmadan dolayı oluşan uyumsuzluğu ortadan kaldırmak amacıyla aynı yapı üzerinde kapasitörlerin tipleri değiştirilmiş ve serbest uçlar iki adet yeni çapayla sabitlenmiştir. Kapasitörlerin uçlarındaki çapalar anten üzerinde açılan açıklıklara doğrudan cam tabana yerleştirilmiştir. Kapasitörlerin yan görünümü Şekil 1 (c)'de gösterilmiştir. Yapının benzetim ve ölçüm sonuçları Şekil 2 (b)'de verilmiştir. Benzetim sonuçlarına göre kapasitör yüksekliği 2 μm iken rezonanslar 8.58 GHz (10 dB BW: %4.2) ve 10.53 GHz (10 dB BW: %10) frekanslarında oluşmaktadır. Yükseklik 1.4 μm 'ye indirildiğinde rezonans frekanslar 7.3 GHz'e (10 dB BW: %1.6) ve 10.2 GHz'e (10 dB BW: %11.7) kaymaktadır. Ölçüm sonuçlarına göre ise rezonans frekanslar 0-25 V aralığında

8.7 GHz - 7.7GHz ve 10.57 GHz - 10.22 GHz aralığında kaymaktadır. Bu tasarımda, ölçüm sonuçları benzetim sonuçlarıyla çok iyi uyum göstermekte ve rezonans frekanslarında 1 GHz ve 350 MHz kayma sağlanmaktadır.

3. Ayarlanabilir Mikroşerit Yama Anten

Bildiride sunulan ikinci yapı ise rezonans frekansı ayarlanabilir mikroşerit yama antendir. Antenin ışınım yapan kenarlarından biri, üzerine 5 adet RF MEMS köprü tipi kapasitör yerleştirilen EDK kütükle yüklenmiştir. MEMS kapasitörler ile yüklenen antenin genel görünümü ve kapasitörlerin SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Bir önceki yapıda olduğu gibi kapasitörlerin yüksekliği elektrostatik kuvvetle değiştirilerek EDK kütüğün elektriksel parametreleri kontrol edilebilmektedir. Kapasitörlerin çapaları EDK kütüğün toprak uçlarına bağlıdır ve sığa EDK kütüğün sinyal hattıyla köprü arasında oluşmaktadır. Yapının benzetim ve ölçüm sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Hareketlendirme gerilimi 0-11.9 V aralığındayken antenin rezonans frekansı 16 GHz civarından 15.54 GHz'e kaymaktadır. Hareketlendirme gerilimi 12 V üzerine çıkarıldığında kapasitörler tamamen aşağıya çekilmektedir ve bu durumda rezonans frekans 15 GHz'te oluşmaktadır. Bu yapıyla, rezonans frekansta 450 MHz sürekli ve 1 GHz ayırık kayma elde edilmektedir.

4. Üretim

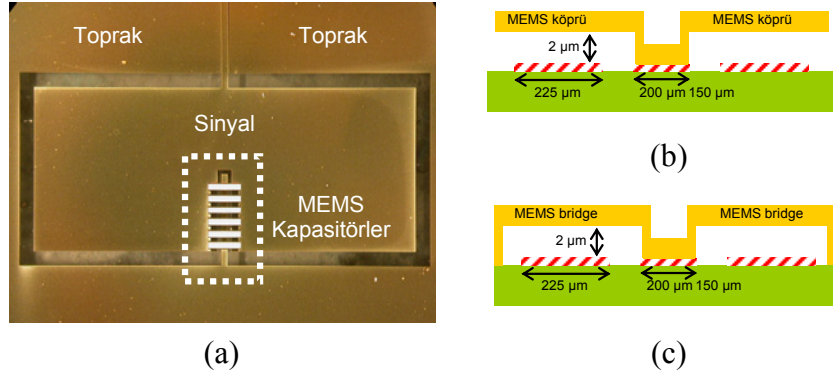
Yapılar, ODTÜ-Mikroelektronik tesislerinde geliştirilen üretim süreci kullanılarak 500 µm kalınlığındaki Pyrex 7740 cam taban üzerine gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 100/2500 Å kalınlığında Cr/Au tohum katmanı (seed layer) buharlaştırma yönetimiyle serilir. 2 µm kalınlığında Au katmanı elektrokaplama tekniğiyle büyütülerek EDK hatların kalın metalizasyonlu bölgeleri elde edilir. Geri kalan Cr/Au tohum katmanı aşındırılarak EDK hatlar tamamlanır. Köprüler aşağı indiği durumda DC kısa devrenin oluşmasını engellemek amacıyla 3000 Å kalınlığında Si_xN_y katmanı PECVD (Plasma enhanced chemical vapor deposition) cihazı ile büyütülür ve RIE (Reactive Ion Etching) cihazı ile şekillendirilir. EDK hatlar ve köprüler arasındaki boşluğu oluşturmak üzere 2 µm kalınlığında PI2737 polyimide katmanı serilir ve şekillendirilir. 1.2-1.5 µm kalınlığında Au katmanı köprüleri oluşturmak üzere düşük stressli metal büyütme için kullanılan süreç reçeteleri kullanılarak büyütülür ve şekillendirilir. Üretim sürecinin son aşaması olarak SVC-175 içerisinde 24 saat tutulan örnekler, aseton ve alkol banyosunun ardından kritik nokta kurutucusunda kurutulur ve havada duran hareketli köprüler elde edilmiş olur.

5. Sonuç

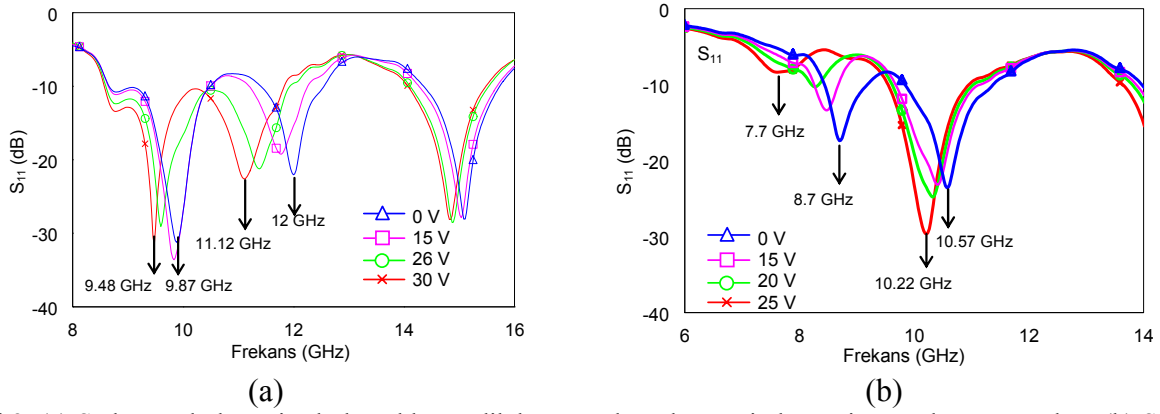
Bu bildiride, MEMS teknolojisi ile üretilen rezonans frekansı ayarlanabilir dikdörtgenel yarı ve mikroşerit yama anten sunulmuştur. Elektrostatik kuvvetle hareketlendirilen periyodik dizilmiş MEMS kapasitörler her iki yapıda da eşdeğer sığayı değiştirerek yapıların rezonans frekansının ayarlanabilmesini sağlamaktadır. Serbest uçlu MEMS kapasitörlerin üretiminde oluşan stresten kaynaklanan kıvrılma köprülerin ortalama yüksekliğini değiştirerek benzetim sonuçları ile ölçüm sonuçları arasında farklılığa neden olmuştur. Kapasitörlerin serbest uçları çapalarla cam tabana sabitlenerek üretim yapıldığında benzetim ve ölçüm sonuçları uyum göstermiş ve yapının rezonans frekanslarında 1 GHz ve 350 MHz kayma sağlanmıştır. Diğer yapıda ise, mikroşerit yama antenin ışınım yapan kenarlarından birisi, üzerine 5 adet MEMS köprü tipi kapasitör yerleştirilen EDK kütükle yüklenmiştir. Bu yapıyla, rezonans frekansta 450 MHz sürekli ve 1 GHz ayırık kayma sağlanmıştır ve yapının benzetim ve ölçüm sonuçları uyum göstermektedir.

Kaynaklar

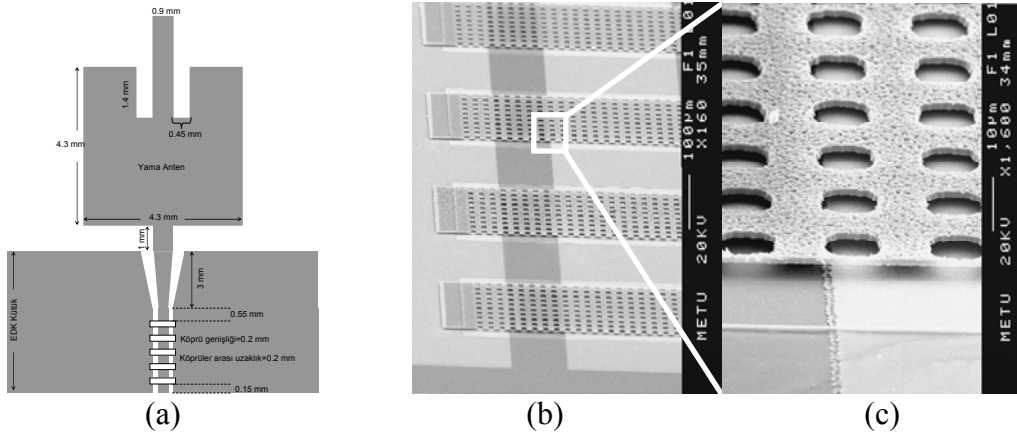
- [1] J. C. Chiao, S. -Y. Cheng, J. L. Chang, I. M. Chio, Y. Kang, and J. Hayasaka, MEMS reconfigurable antennas, Int. J. RF Microwave CAE, Vol.11, pp. 301-309.
- [2] Daniel Llorens, Pablo Otero, and Carlos Camacho-Peñalosa, "Dual-band, single CPW port, planar-slot antenna," IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. 51, Jan. 2003, pp.137-139.
- [3] E. Erdil, K. Topalli,, O. Aydın Civi, and T. Akin, "Reconfigurable CPW-fed dual frequency rectangular slot antenna," 2005 AP-S International Symposium and USNC/URSI National Radio Science Meeting, Washington D.C., vol.2A, pp.392-395, 3-8 July 2005.
- [4] K. Topalli, E. Erdil, and Ö Aydın Civi, "Reconfigurable Antenna Structures Using MEMS Technology", 28th General Assembly of URSI, New Delhi-India, Oct. 23-29 2005



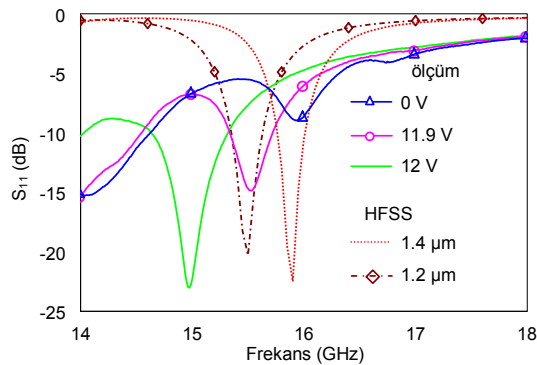
Şekil 1. (a) 6 MEMS kapasitör ile yüklenen dikdörtgenel yarık antenin fotoğrafı. (b) Serbest uçlu kapasitörlerin yan görünümü. (c) Kapasitörlerin serbest uçlarının çapalarla cam tabana sabitlenmesiyle oluşan yan görünüm.



Şekil 2. (a) Serbest uçlu kapasitörlerle yüklenen dikdörtgenel yarık antenin benzetim ve ölçüm sonuçları. (b) Sabit uçlu kapasitörlerle yüklenen antenin benzetim ve ölçüm sonuçları.



Şekil 3. (a) 5 MEMS kapasitör ile yüklenen mikroşerit yama antenin genel görünümü. (b) Antenin kütük bölümünün SEM fotoğrafı. (c) Köprü bölgesinin daha detaylı bir SEM görüntüsü.



Şekil 4. Mikroşerit yama antenin benzetim ve ölçüm sonuçları.