

Mikroakışkan Teknolojisi ile Eleman Döndürme Metodunu Uygulayan Ayarlanabilir Halka-Ayrık Halka İleti Dizi Birim Hücresi

Emre Erdil, Kağan Topallı*, Nasim Seyedpour Esmaeilzad, Özge Zorlu, Haluk Külâh, Özlem Aydın Çivi
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
eerdil@gmail.com, zorlu@metu.edu.tr, kulah@metu.edu.tr, ozlem@metu.edu.tr

*Bilkent Üniversitesi
Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi
Ankara
topalli@unam.bilkent.edu.tr

Özet: Eleman döndürme metodunu uygulayarak, kesintisiz biçimde ayarlanabilen, dairesel polarizasyonlu X-bant mikroakışkan ileti dizi birim hücresi tasarlanmış ve üretilmiştir. Birim hücre, yumuşak baskı litografisi teknikleri kullanılarak polidimetilsiloksan (PDMS) içine gömülen ve cam tabana yapıştırılan çift katmanlı iç içe geçmiş halka-ayrık halka yapısını içermektedir. Halkaların iletken kısımları enjekte edilen (Ga, In ve Sn karışımı olan) bir sıvı metalden, ayrık bölgesi ise iç halkadaki hava boşluğundan oluşmaktadır. Sıvı metalin ayrık ile halka içinde hareket etmesi, birim hücre üzerinden iletilen alanın fazını kontrol etmekte ve 360° doğrusal faz kayma aralığı sağlamaktadır. Birim hücre 8.8 GHz'de çalışmaktadır ve önerilen yaklaşım dalga kılavuzunda ölçümler yapılarak doğrulanmıştır.

Abstract: A continuously tunable, circularly polarized X-band microfluidic transmitarray unit cell employing the element rotation method is designed and fabricated. The unit cell comprises a double layer nested ring-split ring structure realized as microfluidic channels embedded in Polydimethylsiloxane (PDMS) using soft lithography techniques. Conductive regions of the rings are formed by injecting a liquid metal whereas the split region is air. Movement of the liquid metal together with the split around the ring provides 360° linear phase shift range in the transmitted field. The unit cell operates at 8.8 GHz and the proposed concept is verified by the measurements using waveguide simulator method.

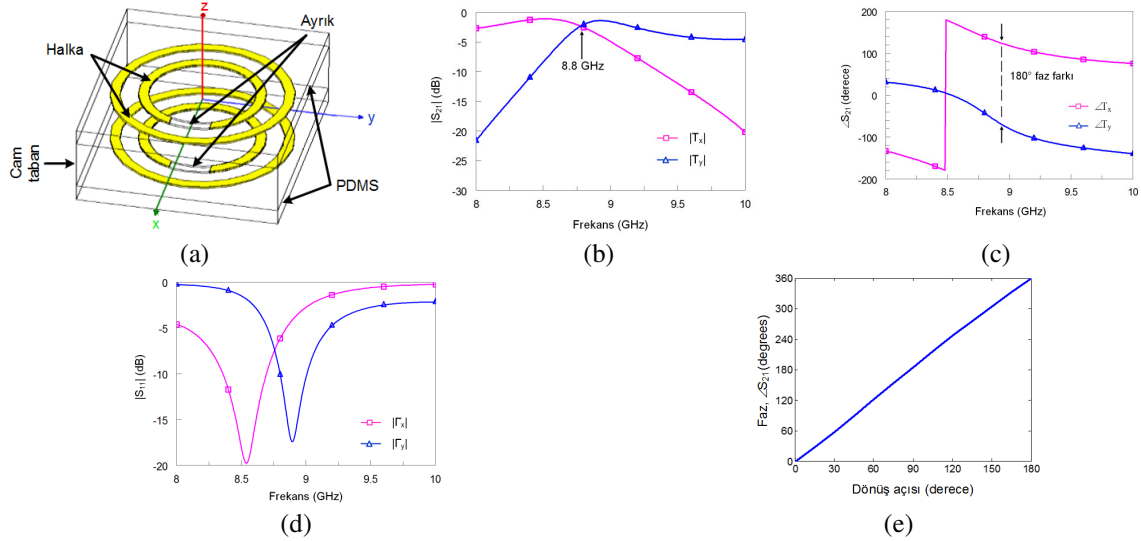
1. Giriş

İleti dizi antenler yüksek kazanç gerektiren uygulamalar için düzlemsel, hafif ve küçük hacimli çözümler ile bu uygulamalarda kullanılmakta olan parabolik yansıtıcılara ve faz dizili antenlere kıyasla basit ve düşük kayıplı huzme biçimlendirme çözümleri sunmaktadır. Bu antenler, besleyici bir antenden gelerek kendilerini aydınlatan küresel dalgayı, düzlemsel faz cephesi oluşturacak şekilde yayarlar. Düzlemsel faz cephesini sağlamak için, her bir dizi elemanı tarafından yayılan dalgaının fazının belirli bir değere ayarlanması gerekmektedir. Faz, dizi elemanlarına bağlanan ya da ayrı bir katmanda bulunan gecikme hatlarının veya rezonatörlerin uzunluğu değiştirilerek, dizi elemanları rezonatörlerle yüklenerek, dizi elemanları döndürülerek ya da antene faz kaydırıcılar entegre edilerek ayarlanabilmektedir [1]-[4]. Huzmeleri yönlendirilebilen/şekillendirilebilen ileti dizi antenleri mümkün kılacak değişken faz kaydırma mekanizmalarını sağlamak amacıyla MEMS bileşenleri ve varaktörler kullanılmaktadır [5]-[6].

Bu çalışmada, mikroakışkan teknolojisi ve sıvı metal kullanılarak, eleman döndürme metodunu uygulayan ve huzmesi döndürülebilir ileti dizi birim hücresi geliştirilmiştir. Eleman döndürme metodu kullanılarak yansıtıcı dizi ve ileti dizi antenler üretilmiş olmakla birlikte [4], [7]-[8], kesintisiz biçimde fazı ayarlanabilen ve huzmesi döndürülebilir yansıtıcı dizi ve ileti dizi anteni bulunmamaktadır. Ayrıca, mikroakışkan teknolojinin kullanımıyla bu antenler, performanslarını etkileyebilecek metal besleme hatlarına veya kablolamaya ihtiyaç duymamaktadırlar. Mikroakışkanların eleman döndürme metodunda kullanılması ile iletim fazının kesintisiz olarak ayarlanabilmesi sağlanmakta ve metalik besleme hatları veya kablolamadan dolayı oluşabilecek RF performansındaki bozulma azalmaktadır.

2. İleti Dizi Birim Hücre Tasarımı

Dairesel polarizasyonlu bir dalga ile beslenen bir antenin yüzey normali etrafında dönmesinin, faz kaydırma için gerekli koşullar sağlanarak, iletilen dairesel polarizasyonlu dalganın fazında dönüş açısının iki katı kadar bir kayma sağlayabildiği bilinmektedir [4], [9]. Yapının iletim performansının iyileştirilebilmesi ve çapraz polarizasyonlu bileşenlerin minimize edilmesi için x ve y polarizasyonlu iletim katsayıları (T_x ve T_y) hem maksimum seviyede olmalı, hem de aralarında 180° faz farkı olmalıdır. Ayrıca, x ve y polarizasyonlu yansımalar katsayılarının (Γ_x ve Γ_y) minimize edilmesi gerekmektedir. Ayırık halka yapısının dairesel simetriye sahip olması, ayırık bölgesinin halka çevresindeki pozisyonunun değişmesi ile dönmeyi gerçekleştirmesini sağlayarak yapıyı bu metodun uygulanabilmesi için oldukça elverişli kılmaktadır. Bu çalışmada, sıvı metal kullanılarak, ayırık bölgesinin halka etrafında hareket edebilmesi sağlanmıştır. Şekil 1 (a) tasarlanan halka-ayırık halka ileti dizi birim hücresini göstermektedir. Halkalar, yalıtkan ve esnek bir malzeme olan polidimetilsiloksanın (PDMS) içerisinde 0.2 mm derinliğinde kanallar biçiminde oluşturulmuştur. Katmanlar arasında cam taban ($\epsilon_r = 4.6$, $\tan \delta = 0.005$) kullanılmıştır. Oda sıcaklığında sıvı olma özelliğine sahip, %68.5 Ga, %21.5 In ve %10 Sn karışımı olan bir sıvı iletken ($\sigma = 3.46 \times 10^6$ siemens/m) bu kanalların içine enjekte edilmiştir. İç halkayı oluşturan kanaldaki hava boşluğu ise ayırığı oluşturmıştır. T_x , T_y ve Γ_x ve Γ_y ile ilgili koşullar, halka yarıçaplarının, cam taban kalınlığının, halka genişliğinin ve ayırık uzunluğunun tasarım parametreleri olarak alındığı parametrik analizler ile elde edilmiştir. Tasarım, ayırık uzunluğu 2.05 mm ve taban kalınlığı 5.5 mm iken optimize edilmiş ve Ansoft HFSS programı kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları Şekil 1 (b)–(e)'de gösterilmiştir. Şekil 1 (b)'de verilen iletim katsayısı karakteristiğinden her iki polarizasyon için iletim katsayılarının 8.8 GHz'de kesiştiği görülmektedir. Bu kesişim frekansında, iletim katsayıları arasında 180° faz farkı olması kriteri de sağlanmıştır (Şekil 1 (c)). Yansımalar katsayısı karakteristiği incelendiğinde, Şekil 1 (c), x ve y polarizasyonlu yansımalar katsayıları için, kesişim frekansında -7.5 dB yansımalar elde edildiği görülmüştür. Şekil 1 (d)'de ise eleman döndürme metodunun birim hücre üzerinde uygulanması neticesinde iletim katsayısında elde edilen faz karakteristiği sunulmuştur. Beklendiği gibi, iletim fazı dönüş açısının iki katı miktarında değişmektedir.

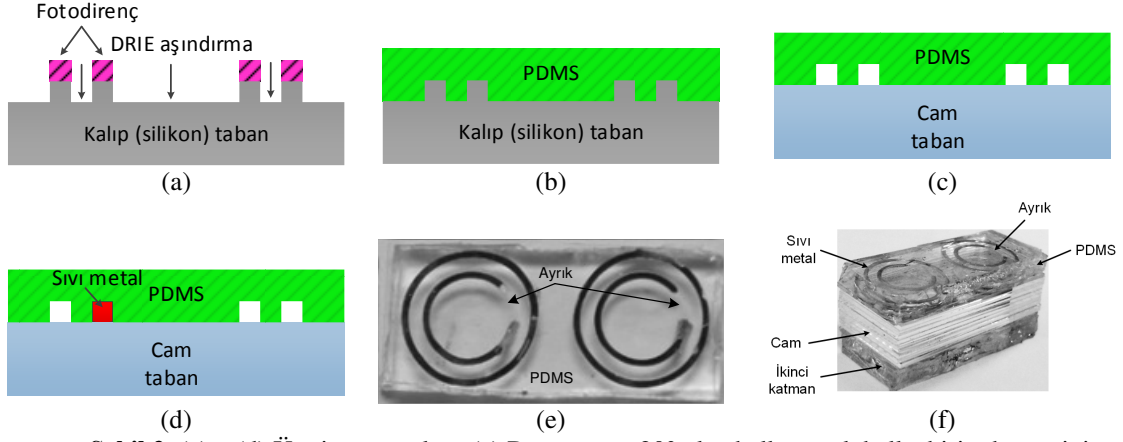


Şekil 1. (a) Çift katmanlı halka-ayırık halka ileti dizi birim hücresinin geometrisi. x ve y kutupsal dalgalar için; (b) iletim katsayısı, (c) iletim fazı, (d) yansımalar katsayısı benzetim sonuçları. (e) Dönüş açısına göre faz değişimi grafiği.

3. Üretim

Üretim sürecinde takip edilen adımlar şu şekilde özetlenebilir: (a) Silikon taban derin reaktif iyon aşındırıcı (DRIE) cihazı kullanılarak Şekil 2 (a)'da gösterilen şekilde aşındırılır. (b) PDMS malzemesi akışkan bir kıvamda hazırlanarak, silisyum kalıbın üzerine Şekil 2 (b)'de gösterildiği şekilde dökülür ve kurumaya bırakılır. Kurumanın ardından PDMS malzemesi kalıptan soyulur. (c) PDMS malzeme ve üzerinde şekillendirilmiş metal bulunan cam tabanlara Şekil 2 (c)'de gösterilen şekilde yapıştırılır ve mikro-kanallar oluşturulmuş olur. (d) Şekil 2 (d)'de gösterildiği gibi, sıvı metal enjeksiyon yoluyla, kanal içerisine bırakılır. Önerilen yaklaşımın doğruluğunu Dönüş açıları $0^\circ - 10^\circ - 20^\circ - 30^\circ - 80^\circ - 90^\circ$ olan 6 adet çift katmanlı halka-ayırık halka yapısı üretilmiş ve üretilmiş örnekler WR-90 dalga kılavuzunda ölçülerek önerilen yaklaşım doğrulanmıştır. Ölçüm sonuçları

konferansta sunulacaktır. Şekil 2 (e) üretilen ve dönüş açısı 20° olan halka-ayrık halka birim hücresinin tek katmanını, Şekil 2 (f) ise çift katmanlı birim hücreyi göstermektedir.



Şekil 2. (a) – (d) Üretim aşamaları. (e) Dönüş açısı 20° olan halka-ayrık halka birim hücresinin tek katmanını. (f) Çift katmanlı halka-ayrık halka.

3. Sonuç

Bu bildiride, mikroakışkan teknolojisi ile eleman döndürme metodunu uygulayan iletici dizi birim hücresi sunulmuştur. Birim hücre, PDMS içerisinde kanallar biçiminde oluşturulan çift katmanlı iç içe geçmiş halka-ayrık halka yapısından oluşmaktadır. Kanallarda bulunan sıvı metalin dönmesi ile iletim fazı ayarlanabilmekte olup, önerilen yöntemle birim hücre boyutu büyütülmeksizin ve ayrı bir faz kaydırma mekanizmasına ihtiyaç duyulmaksızın 0° – 360° aralığında kesiksiz ve doğrusal faz kayması sağlanabilmektedir. Tasarımlar üretilmiş ve ölçümleri yapılarak önerilen yöntem doğrulanmıştır. Kanallara bağlanacak olan mikropompalar ile, sıvı metalin halka etrafında döndürülebilmesi ve konumunun ayarlanabilmesi mümkündür. Yapı ve kanallar yüksek frekans uygulamaları için gerekli olan yüksek hassasiyette üretim yeteneğine sahip mikroişleme teknikleri ile üretildiğinden, tasarım kolaylıkla farklı frekans bantlarına ölçeklendirilebilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK-EEEAG-113R033 nolu proje kapsamında kısmen desteklenmektedir.

Kaynaklar

- [1]. McGrath D., "Planar three-dimensional constrained lenses," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 34, s. 46-50, Ocak 1986.
- [2]. Torre P. ve Sierra-Castaner M., "Design and prototype of a 12GHz Transmitarray," *Microwave and Technology Letters*, vol. 49, No.12, s. 3020-3026, Aralık 2007.
- [3]. Lau J.Y. ve Hum S.V., "A wideband reconfigurable transmitarray element," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.60, no.3, s.1303-1311, Mart 2012.
- [4]. Phillion R.H. ve Okoniewski M., "Lenses for circular polarization using planar arrays of rotated passive elements," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.59, no.4, s.1217-1227, Nisan 2011.
- [5]. Chih-Chieh C. ve Abbaspour-Tamijani A., "Study of 2-bit antenna-filter-antenna elements for reconfigurable millimeter-wave lens arrays," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.54, no.12, s.4498-4506, Aralık 2006.
- [6]. Lau J.Y. ve Hum S.V., "A planar reconfigurable aperture with lens and reflectarray modes of operation," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.58, no.12, s.3547-3555, Aralık 2010.
- [7]. Euler M. ve Fusco V.F., "Frequency selective surface using nested split ring slot elements as a lens with mechanically reconfigurable beam steering capability," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.58, no.10, s.3417-3421, Ekim 2010.
- [8]. Guclu C., Perruisseau-Carrier J., ve Aydın Civi O., "Proof of concept of a dual-band circularly-polarized RF MEMS beam-switching reflectarray," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.60, no.11, s.5451 - 5455, Kasım 2012.
- [9]. Erdil E., Topalli K., Zorlu O., Toral T., Yildirim E., Kulah H., ve Aydın Civi O., "A reconfigurable microfluidic transmitarray unit cell," *7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, s.2957-2960, 8-12 Nisan 2013.