

Fotokarıştırmacılar için Frekansı Ayarlanabilen Terahertz Anten Tasarımı

¹Kazım Demir, ²Habib Bilgin, ¹Asaf B. Şahin ve ¹Mehmet Ünlü

¹Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü

Ankara

²Boğazici Üniversitesi

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü

İstanbul

135102105@ybu.edu.tr, habib.bilgin@boun.edu.tr, absahin@ybu.edu.tr, munlu@ybu.edu.tr,

Özet: Bu çalışmada, Nano-Elektro-Mekanik Sistemler (NEMS) teknolojisi kullanılarak frekansı ayarlanabilir olarak tasarlanmış fotokarıştırmacı anten yapısı sunulmaktadır. Sunulan anten bir çeşit çift kutuplu anten örneğidir ve antenin boyu NEMS anahtarlar ile farklı boylarda değiştirilerek, 290 ve 570 GHz'lerdeki iki farklı frekansta yüksek ışınım direncinde yayılım yapabilmektedir. Anten tasarımı HFSS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarım yapılırken NEMS anahtarların, metal-yalıtkan-metal (MIM) besleme kapasitanslarının, besleme dirençlerinin ve besleme hatlarının anten performansı üzerindeki etkileri minimum seviyede olacak şekilde optimize edilmiştir. Benzetim sonuçlarına göre 290 ve 570 GHz'deki ışınım dirençleri sırasıyla 190 ve 180 Ω civarındadır. Bu yüksek ışınım dirençleri ile daha geniş bant aralığında yüksek terahertz güç yayılımı sağlanabilmektedir.

Abstract: We present the fabrication-ready design of a frequency reconfigurable terahertz antenna for photomixers using Nano-Electro-Mechanical Systems (NEMS) switches. The proposed antenna is a dipole antenna, where the physical length of the antenna is changed using NEMS switches, which enables high radiation resistance at two different frequencies, namely 290 and 570 GHz. The antenna is designed using HFSS, and it includes and compensates the effects of the NEMS switches, metal-insulator-metal (MIM) bias capacitors, bias resistors, and bias lines for optimum antenna radiation. The simulation results show a high radiation resistance of 190 and 180 Ω at 290 and 570 GHz, respectively, which allows increasing the radiated terahertz power at a wider frequency range.

1. Giriş

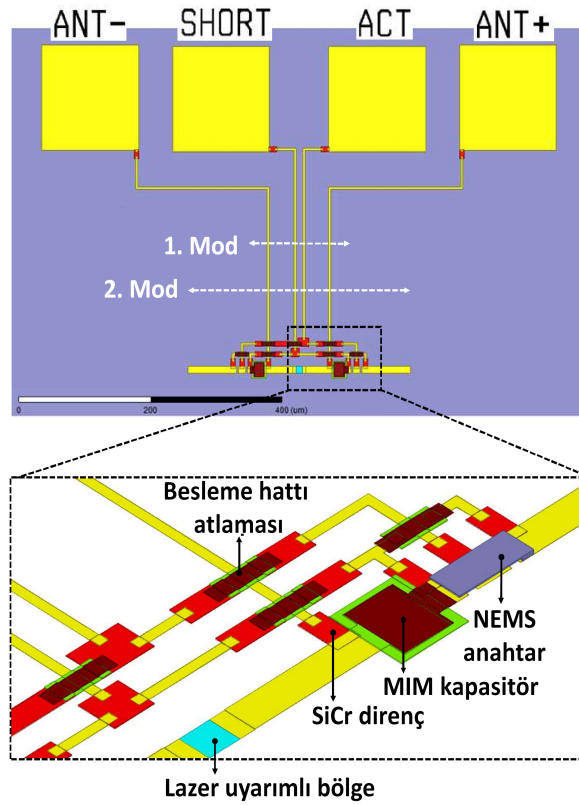
Fotokarıştırma yöntemi, terahertz ışınımının üretilmesi ve algılanması için kullanılan çeşitli yöntemlerin başlıcalarından bir tanesidir [1]. Bu yöntemde, bir birine yakın iki farklı frekanstaki lazer sinyali fotoiletken malzeme üzerine birbirleri üzerine çakışacak şekilde düşürülür. Verimli bir çakışma sonucunda toplam ve fark frekanslarında hareket eden iki ayrı sinyal elde edilir. Aynı yönde ve doğrultuda hareket eden bu iki sinyal fotoiletken malzeme üzerine düşürüldüğünde, fotoiletken malzeme içerisinde lazer sinyali tarafından modüle edilmiş serbest yükler açığa çıkmaktadır. Bu serbest yükler lazer sinyalinin formuna bağlı olarak salınım yaparlar ve yalnızca fark frekansındaki sinyale tepki verebildiklerinden dolayı, fark frekansında salınım yapan bir yük yoğunluğu elde edilir. Bu yükler anten elektrotlarına uygulanan sabit bir voltaj kaynağı altında beslenildiğinde ise anten elektrotları boyunca fark frekansında salınım yapan terahertz akım kaynağı elde edilmektedir. Fotokarıştırmacıların performansı şu parametrelere bağlıdır: (i) lazer ışınımına ait parametreler, (ii) fotoiletken malzemeye ait parametreler ve (iii) anten geometrisi parametreleri [2]. Literatürde bulunan araştırmaların büyük bir kısmı fotoiletken malzemeye ait parametreler üzerine yoğunlaşırken, anten geometrisine ait sınırlı sayıda çalışmaya rastlanabilmektedir. İyi bir fotokarıştırmacı anteni, öncelikle geniş bir bantta yüksek ışınım direncine sahip olabilmelidir. Bu da anten geometrisi ile doğrudan ilgili bir özellik olmaktadır. Şu ana kadar geliştirilmiş olan antenler ya dar bir bantta yüksek ışınım direncine sahip rezonans antenler, ya da spiral antenlerde olduğu gibi geniş bantlı çok daha az ışınım direncine sahip antenler olmuştur; fakat, her iki anten tipi de kendi başına istenilen performansı, yani geniş bir bantta yüksek ışınım direnci elde edilmesini, sağlayamamaktadır.

Bu bildiriye, iki farklı anlamlı çalışma frekansına anahtarlama yapılarak geniş bir çalışma frekans bandında yüksek ışınım direnci gösteren terahertz anten tasarımı sunulmaktadır. Önerilen antende, antenin farklı kısımları NEMS

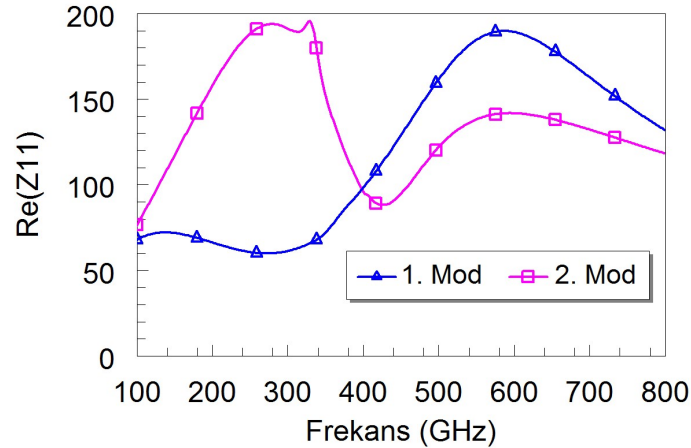
anahtarlar ile elektriksel olarak birbirine bağlanır veya izole edilir. Bu sayede iki farklı rezonans modunda çalışabilen yüksek ışınım dirençli bir anten elde edilir.

2. Anten Tasarımı ve Sonuçlar

Önerilen frekansı ayarlanabilir terahertz anten yapısı Şekil 1'de görülebilmektedir. Anten tasarımı, 635 μm SI-GaAs üzerine büyütülmüş 1.3 μm kalınlığındaki LT-GaAs epi katmanı üzerinde bulunmaktadır. Anten tasarımı, λ uzunluğunda çift kutuplu bir antenden ve besleme hatlarından oluşmaktadır. Besleme hatları çift kutuplu anten kollarına, doğru akım voltajı uygulamak için ve NEMS anahtarların aktivasyonu için kullanılmaktadır. Besleme hatlarının her birisi anten performansı üzerinde minimum etkiye sahip olacak şekilde optimize edilmiştir. MIM kapasitansların anten üzerine eklenmesi, NEMS anahtarlara DC gerilim uygulanabilmesi için şarttır ve çalışma frekansında kısa devre olacak şekilde tasarlanmıştır. Anten boşluğunun boyutları $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ olup, foto-akım üretimini optimum yapacak büyüklükte seçilmiştir.



Şekil 1. Ayarlanabilir çift kutuplu antenin üstten görünümü



Şekil 2. Ayarlanabilir çift kutuplu antenin HFSS benzetim sonuçları.

Simülasyonu yapılmış olan antenin performansı Şekil 2'de görülebilmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre anten 290 ve 570 GHz'lerde sırasıyla 190 ve 180 Ω ışına direnci göstermektedir. Bu şekilde, geniş bantta yüksek ışına direnci elde edilebilmektedir.

Anten uzunluğu NEMS anahtarlar açık konumdayken 160 μm , kapalı konumdayken ise 260 μm olacak şekilde tasarlanmıştır. Anten genişliği olarak 10 μm , besleme hattı olarak 3 μm genişliğinde altın hatlar kullanılmıştır. RF NEMS anahtar yapısı anten boyutuna uygun olarak çift bacaklı giriş yapı şeklinde tasarlanmıştır. Giriş genişliği 10 μm , uzunluğu 15 μm , kalınlığı 1.2 μm olacak şekilde tasarlanmıştır. Kalınlığı 1.2 μm olan giriş, 200 nm tozutulmuş altın malzemesi üzerine elektrokaplanmış altın malzemeden oluşmaktadır. NEMS anahtar parametreleri HFSS kullanılarak modellenmiştir ve eşdeğer devre modeli elde edilmiştir. Bu modelleme sonucunda, açık konumdaki anahtarın kapasitans değeri 1 fF olarak, kapalı durumdaki temas direnci ise 2 Ω olarak elde edilmiştir.

Tasarımı yapılmış olan frekansı ayarlanabilen fotokarıştırıcı anten yapısının üretimi için toplam 9 litografi adımından oluşan ve 4 metal, 4 yalıtkan ve 1 direnç katmanı kullanılan bir üretim süreci kullanılacaktır. Önerilen antenin tasarımı tamamlanmış ve üretim aşamalarına başlanılmıştır. Bundan sonraki aşamada, üretim safhaları optimize edilerek üretimi tamamlanmış olan anten yapılarının ölçümleri gerçekleştirilecek ve benzetim sonuçlarıyla uyumlu olması sağlanacaktır.

Kaynaklar

[1] E. R. Brown, K. A. McIntosh, K. B. Nichols, and L. C. Dennis, "Photomixing up to 3.8 THz in low-temperature-grown GaAs," Applied Physics Letters, vol. 66(3), pp. 285-287, 1995.

[2]. Gregory, Ian S., et al. "Optimization of photomixers and antennas for continuous-wave terahertz emission." Quantum Electronics, IEEE Journal of 41.5 (2005): 717-728.

Bilgilendirme

Bu araştırma TÜBİTAK 114E089, EU H2020 TERA-NANO VE YBÜ BAP-585 projelerinin destekleri ile gerçekleştirilmiştir.