

RF MEMS YAPILARININ VAKUM TESTİ İÇİN PİRANİ GAUGE

Özlem PASİN, Tayfun AKIN
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
pasin@metu.edu.tr, tayfun-akin@metu.edu.tr

Özet: Bu bildiride RF MEMS yapılarının vakum testi için geliştirilmiş pirani gauge olarak adlandırılan basınç sensörü sunulmaktadır. Özgün tasarımı soğutucu plaklar, sensor ve plaklar arasındaki mesafenin daralmasını sağladığından sensörün çalışma aralığı ve hassasiyeti artmaktadır. Sensörün fabrikasyonu kolay olmakla beraber, maliyeti oldukça düşüktür ve birçok MEMS yapısına uygulanabilir.

1. Giriş

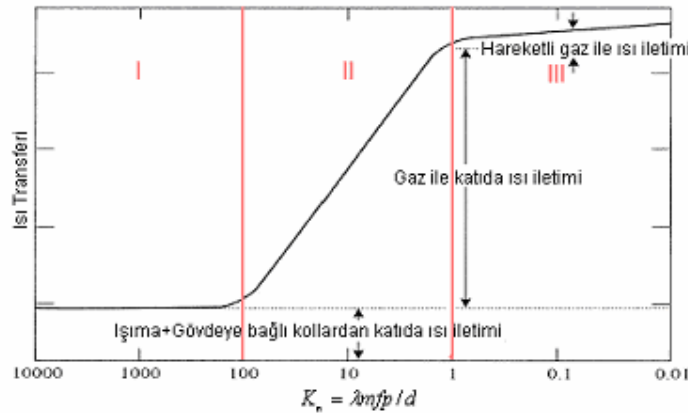
RF MEMS yapılarının vakum testi için günümüze kadar birçok yöntem uygulanmıştır. “Helyum kaçak testi” ve “Q faktörü çıkarımı” metodları ise yaygın olarak kullanılan metodlardır. Ancak gittikçe boyutları küçülen MEMS yapıları için bu yöntemlerin uygulanabilirlikleri azalmaktadır. Bununla beraber helyum kaçak testi aygıtı oldukça pahalıdır ve çok küçük basınç değerlerini okuyamamaktadır.[1] Benzer olarak Q faktörü çıkarımı yöntemiyle de çok küçük basınçlar tespit edilememektedir.[1] Pirani gauge ise ucuz, kullanımı kolay ve hassasiyeti yüksek olan bir basınç sensörüdür. Bu nedenle günümüze kadar bir çok Pirani gauge örnekleri yapılmıştır. Ancak bu sensörlerin paket ile fabrikasyon açısından uyumluluğu yeterli bir kriter olmamakta, sensörün geniş bir basınç aralığında çalışması ve hassasiyetinin yüksek olması istenmektedir.

RF MEMS yapılarının vakum testi için geliştirdiğimiz özgün pirani gauge yapısı ise düşük maliyeti, fabrikasyon kolaylığı, yüksek hassasiyeti, geniş basınç aralığında çalışabilirliği (1mTorr-1000Torr), çok düşük basınç değerlerini tespit edebilirliği ve birçok MEMS yapısına uygulanabilirliği özelliğiyle literatüre yenilik olarak sunulmaktadır.

2. Çalışma Prensibi

Pirani gauge'in çalışma prensibi havada asılı duran ısıtılmış bir yapının etrafındaki gaz nedeniyle sıcaklığını kaybetmesine dayanır. Akım geçirilerek ısıtılmış yapının kaybettiği ısı miktarı etrafındaki gazın basıncıyla doğru orantılıdır. Çünkü gazın basıncının değişmesi gazın iletkenliğinin değişimine neden olur.[2,4]

Şekil 1’de de görüldüğü üzere gaz üç değişik bölgede modellenir.[3] Düşük basıncın olduğu bölge ($K_n > 100$) moleküler bölge, yüksek basıncın olduğu bölge ($K_n < 1$) sürem bölge ve arada kalan bölge ($1 < K_n < 100$) geçiş bölgesi olarak adlandırılır.



Şekil 1. Knudsen sayısına (K_n) göre ısı transferi grafiği

1 numaralı denklemde görüldüğü üzere Knudsen sayısı (K_n) iki gaz molekülü arasındaki ortalama katedilen yolun (λmfp) ısınan yapı ile soğutucu plakalar arasındaki mesafeye (d) bölümü olarak tanımlanır.

$$K_n = \frac{\lambda mfp}{d} \quad (1)$$

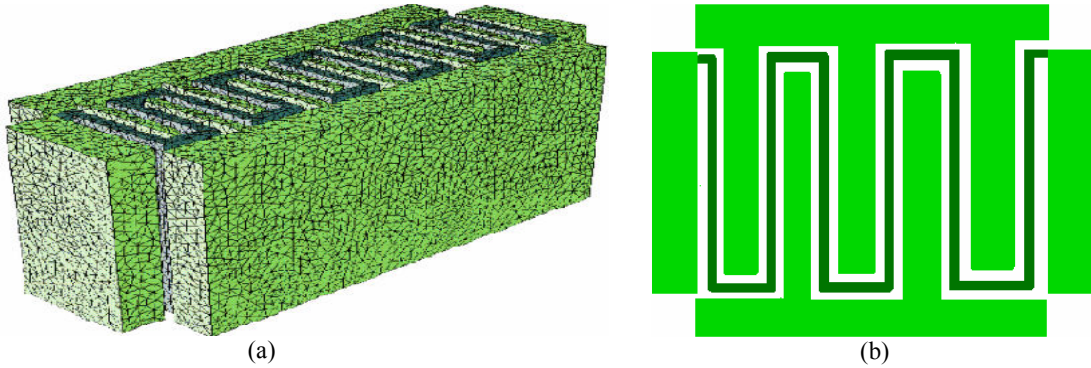
Basıncın düşük olduğu moleküler bölgede gaz moleküllerinin sayısı az olduğundan iki gaz molekülü arasındaki λmfp olarak tanımlanan mesafe büyük olur. K_n ile λmfp doğru orantılı değiştiğinden, λmfp değerinin artması K_n değerinin de artmasına neden olur. Diğer taraftan basınç arttıkça aynı hacimdeki gaz molekülleri arasındaki mesafe azalacağından, λmfp azalır, buna bağlı olarak da K_n değeri azalır. λmfp ile basınç arasındaki ifade edilen ters orantıyı aşağıdaki denklem ile gösterebiliriz:

$$\lambda mfp = \frac{kT}{\sqrt{2\pi a^2} p} \quad (2)$$

Şekil 1'e tekrar dönersek moleküler bölge olarak adlandırılan I numaralı bölgede gaz moleküllerinin sayısı az olduğundan λmfp büyüktür ve yapının ısı kaybı gaz ile ısı transferinden ziyade ana gövdeye bağlı olduğu kollardan katıda ısı iletimi ile olur. Geçiş bölgesi olarak adlandırılan II numaralı bölgede basınç arttıkça gaz molekülleri ile yapının ısısının soğuk plakalara transferi de doğusal olarak artar. Sürem bölge olarak adlandırılan III numaralı bölgede ise gaz moleküllerinin sayısı oldukça fazla olduğundan ısı transferi bu bölgede çok fazla değişmez ve sabitlenir. Basınç değişimine göre ısı transferi verilerinden basıncın tespit edilebilmesi için ısı kaybının gaz basıncı ile doğrusal değişmesi gerekmektedir. Bu anlamda geçiş bölgesi ne kadar geniş ise o kadar çok basınç değeri tespit edilebilir.

3. Sensör Tasarımı

Geçiş bölgesini geniş tutabilmek ve hassasiyeti artırabilmek için fabrikasyonu da kolay olan Şekil 2'deki özgün Pirani Gauge yapısını tasarladık.



Şekil 2. (a) Pirani gauge'in 3 boyutlu görünüşü, (b) Pirani gauge'in üstten görünüşü

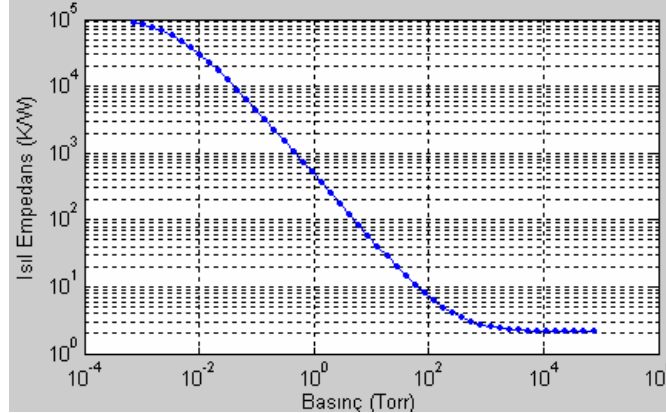
Ortadaki akım ile ısıtılacak kıvrımlı yapının etrafını çevreleyen tarak şeklindeki yapılar ve gövdeye bağlı olduğu iki uçtaki yapılar soğutucu plakalardır. Bu özgün tasarımı plakalar yapı ile kendisi arasındaki mesafeyi daraltarak ölçülebilecek maksimum basınç değerini yükseltmektedir. Diğer bir anlatımla Şekil 1'deki Knudsen sayısının 1'e eşit olduğu II numaralı bölgeden III numaralı bölgeye geçiş basıncı daha yüksek bir basınç değerinde gerçekleşmekte ve geçiş bölgesi grafikte sağa doğru genişlemektedir. Denklemle ifade etmek istersek:

$$K_n = \frac{\lambda mfp}{d} = 1 \Rightarrow \lambda mfp = d \Rightarrow \lambda mfp = \frac{kT}{\sqrt{2\pi a^2} p} = d \Rightarrow p = \frac{kT}{\sqrt{2\pi a^2} d} \quad (3)$$

Reaktif iyon aşındırması yöntemi kullanarak soğuk plakalar ile ısıtılacak yapı arasındaki d mesafesi 1µm'ye kadar indirilebilir. Bu sayede tasarımıyla maksimum 760Torr ölçülebilir.

Düşük basınç bölgesinde ise baskın olan ısı transfer mekanizması gövdeye bağlı kollardan katıda ısı transferi ile gerçekleşir. Yapı ne kadar uzun çizilirse kollardan ısı kaybı o kadar az olacağından, silikonun erime sıcaklığı baz alınarak bu sınıra yaklaşmayacak ölçüde yapı düz yerine kıvrımlı çizilerek boyu artırıldı. Ek olarak yapının genişliği 4µm'ye kadar azaltılarak kollardan ısı kaybının daha da azalması sağlandı.

4. Bulgular



Şekil 3. Basınca göre ısı empedans grafiği

Akım geçirilen kıvrımlı yapının sıcaklığının arttığı gözlenir. Yapının iki ucu arasındaki voltaj ölçülürse yapıya verdiğimiz akımı da bildiğimizden, yapıya verilen güç bu iki değerle çarpımıyla bulunabilir. Isıl empedans ise yapının ortalama sıcaklığının yapıya verilen güce oranıdır. Yapımızın dirence göre ısı iletkenlik değeri (TCR), ısınmadan önceki resistans değeri ($R_0 = \rho x \text{ uzunluk} / \text{Alan}$) ve ısındıktan sonraki rezistans değeri ($R = \text{Voltaj} / \text{Akım}$) bilindiğinden aşağıdaki denklem yardımıyla yapının ısı değişimi ($T_1 - T_0$) bulunabilir.

$$R = R_0 + TCR \times (T_1 - T_0) \quad (4)$$

Akımı değiştirerek değişik güçlere denk gelen sıcaklık grafiğini yukarıda anlatılan yöntemle oluşturursak grafiğin eğimi bize ısı empedansı verir. Basıncı belirlerken direnç değerlerini değil de ısı empedans değerlerini kullanmamızın nedeni ısı empedansın büyük bir aralıkta değişirken (1-1e5) direncin daha dar aralıkta (1Ω-1kΩ) değişmesidir. Bu anlamda ısı empedans kullanmak daha hassas basınç ölçümü yapmamızı sağlar.

4. Sonuç

Mastrangelo[2,4] ve Stark[5] çeşitli Pirani gauge örnekleri sunmuştur. Fakat bu yapıların fabrikasyonu bizim geliştirdiğimiz pirani gauge kadar kolay değildir. Stark[5]'in geliştirdiği yapının fabrikasyonu [2]'ye göre kısmen kolay olmasına karşılık sensörün çalıştığı basınç aralığı dardır. Bizim geliştirdiğimiz Pirani gauge ise çok geniş basınç aralığında (1mTorr-1000Torr) çalışabilmektedir. Özetle, RF MEMS yapılarının vakum testi için geliştirdiğimiz orijinal Pirani gauge yapısı düşük maliyeti, fabrikasyon kolaylığı, hassasiyeti, birçok MEMS yapısına uygulanabilirliği ve çok düşük basınç değerlerini tespit edebilme özelliğiyle literatüre yenilik olarak sunulmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Brian H. Stark, Yuhai Mei, Chunbo Zhang, Khalil Najafi, "A Doubly Anchored Surface Micromachined Pirani Gauge for Vacuum Package Characterization," *MEMS 2003*, sayfa 506-509.
- [2] C. H. Mastrangelo, R. S. Muller, "Microfabricated thermal absolute pressure sensor with on-chip digital front-end processor," *IEEE J. Solid-State Circuits*, sayı. 26, sayfa 12, Dec. 1991.
- [3] Frank P. Incropera, David P. DeWitt, "Heat and Mass Transfer," *New York, Wiley*, 2002
- [4] C. H. Mastrangelo, Ph.D. Thesis, *Thermal Applications of Microbridges*, in Electrical Engineering and Computer Science at The University of California, Berkeley, CA, 1991.
- [5] Junseok Chae, Brian H. Stark and Khalil Najafi, "A Michomachined Pirani Gauge with Dual Heat Sinks," *IEEE transactions on Advanced Packaging*, sayı 28, konu 4, sayfa 619- 625, Nov. 2005