

마이크로머시닝 기술을 이용한 밀리미터파 Cavity 공진기 설계

송기재⁽¹⁾, 윤범상⁽¹⁾, 배중선⁽¹⁾, 박경열⁽¹⁾, 이현태⁽¹⁾, 이종철⁽¹⁾, 이병제⁽¹⁾,
김종현⁽¹⁾, 김남영⁽¹⁾, 박재영⁽²⁾, 김근호⁽²⁾, 부종욱⁽²⁾, 정기용⁽²⁾

⁽¹⁾ 광운대학교 RFIC 연구 및 교육센터/미션 테크놀로지 연구센터
서울시 노원구 월계동 447-1

⁽²⁾ LG 전자기술연구소, 소재재료연구소, 마이크로시스템 & RF팀
서울시 서초구 우면동 16번지

Millimeter Wave Cavity Resonators Using Micromachining Technique

K. J. Song⁽¹⁾, B. S. Yoon⁽¹⁾, J. S. Bae⁽¹⁾, K. Y. Park⁽¹⁾, H. T. Lee⁽¹⁾, J. C. Lee⁽¹⁾, B. Lee⁽¹⁾,
J. H. Kim⁽¹⁾, N. Y. Kim⁽¹⁾, J. Y. Park⁽²⁾, G. H. Kim⁽²⁾, J. U. Bu⁽²⁾, and K. W. Cjung⁽²⁾

RFIC Research and Education Center & Mission Technology Research Center,

Kwangwoon Univ., 447-1 Wolgye0dong, Nowon-ku, Seoul 139-701, Korea

Email: jcllee@daisy.kwangwoon.ac.kr

요 약

본 논문은 마이크로머시닝 기술을 이용한 밀리미터파 대역의 공진기 설계를 제시한다. 밀리미터파 대역에서 3D 설계 tool인, HP HFSS ver. 5.5를 사용하였다. One-port cavity 공진기는 공진 주파수가 39.34 GHz, 반사 손실은 14.5 dB, 그리고, loaded Q (Q_L)는 150 을 보인다. Two-port cavity 공진기의 경우, 공진 주파수는 39 GHz이고, 삽입 손실과 반사 손실은 각각 4.6 dB 와 19.8 dB. 그리고 loaded Q와 unloaded Q는 각각 44.3과 107로 측정되었다.

I. 서론

최근 수 년간 밀리미터파 대역에서의 응용분야가 확대됨에 따라 그동안 보편적으로 사용되어 왔던 마이크로 스트립 전송로(Microstrip line)를 이용한 설계 방식으로는 이러한 주파수 대역에서 한계가 있으며, 이러한 한계를 극복하기 위한 방안 중 하나로, 기존의 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 또는 micromachining 기술을 RF 분야, 특히 밀리미

터파 대역에서 응용하고자 하는 시도가 활발히 진행되고 있다 [1-2].

MEMS 기술은 초소형 센서 및 구조물 제작에 주로 응용되어 왔으며 최근 그 응용분야가 미국을 중심으로 초고주파 대역의 소자 개발에 적용되고 있으며 RF MEMS라는 RF 연구분야가 형성 되게 되었다. RF MEMS 소자는 기존의 반도체 공정과 호환이 가능하며 기존의 구조적인 문제점들을 3차원적으로 해결함으로써 기존의 RF 소자들에 비해 High-Q, Low Loss (radiation, ohmic).

Low Dispersion 등의 우수한 장점을 가지고 있다. 또한 소자를 집적하기 용이한 구조이므로 이러한 특성들로 말미암아 RF MEMS 분야는 밀리미터파 대역에서 그 응용 영역이 더욱 확장되리라 예상된다.

II. Cavity 공진기 설계

Cavity 공진기의 중요한 특성에는 공진 주파수, 삽입 손실과 반사 손실, 그리고 Q(Quality factor) 등으로 정의 할 수 있다. 우수한 특성을 얻기 위해서는 modeling을 통한 3차원적 해석이 필요하며, 이를 위해 가장 정확한 방법 중 하나라고 알려져 있는 FEM (Finite Element Method) 방식을 이용한 설계를 시행하였다. 본 연구에서는 one port와 two port cavity 공진기의 설계에 있어 FEM 방식을 응용한 HP HFSS v5.5를 통해 최적화 하였다 [3].

그림 1은 one port cavity 공진기의 구조를 설명하고 있다. 본 cavity 공진기의 구조는 실제 제작 공정에서 사용하고 있는 material parameter들을 적용한 구조이다. 즉 실리콘 기판의 두께, Quartz 기판의 두께, cavity를 형성하는 에칭 공정 등을 고려하여 전체 공진기의 구조가 결정되게 된다. 이 공진기의 특성은 S11 특성이 설계 공진 주파수에서 가장 적은 값을 갖게 되며, 이것의 의미는 결국 EM 에너지가 slot을 통해 coupling되어 원하는 주파수에서 cavity 안으로 흡수되어 cavity 안에서 머물다 소멸하게 됨을 의미한다. Cavity 공진기는 입력단의 마이크로 스트립 선로와 커플링 slot, 그리고 micromachining 기술을 이용한 metal cavity로 구성되어 있다. 입,출력 단의 마이크로 스트립 선로는 Cavity 공진기의 feeding line으

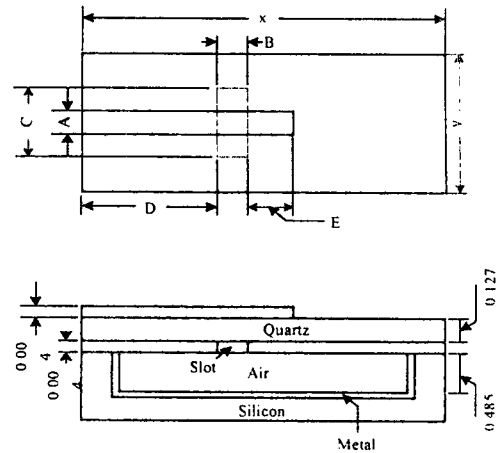


그림 1. One-port cavity resonator의 구조

로써, 50 Ω 임피던스 정합을 통해 선로의 폭을 결정한다. 입,출력단의 마이크로 스트립 선로 설계에서 중요한 것은 바로 아래에 있는 quartz layer의 유전률에 따른 마이크로 스트립 선로의 $\lambda_g/4$ 에 해당되는 길이를 결정하는 것이다. 그러나, 현재 상용화되어 있는 software를 이용하였을 때, 실제 이론 값과는 차이가 있음이 잘 알려져 있다. Cavity 공진기의 경우, magnetic coupling을 이용하기 때문에 최대의 magnetic 성분이 존재하는 곳에서 Coupling를 하는 것이 우수한 특성의 공진기를 설계할 수 있는 방법이다. 따라서, 마이크로 스트립 선로의 open 기점에서 $\lambda_g/4$ 떨어진 곳이 최대의 magnetic field를 발생시키기 때문에 정확한 $\lambda_g/4$ 를 얻는 것이 중요하다.

또한, Slot의 length가 길면 길수록, slot 자체에서의 공진 모드가 발생하기 전에는 입, 출력 단간의 coupling이 커지는 사실을 알 수 있다. 또한, slot의 폭에 따라 주파수와 Q값에 상당히 민감하게 변화한다는 사실도 software를 통한 시뮬레이션 결과로부터 확인할 수 있다. Slot이 cavity의 wall쪽으로 진행할 수록 Quality factor가 커진다 [3].

III. Cavity 공진기 제작

Air Cavity Resonator의 제작 공정은 크게, Cavity 공정과 Microstrip 선로 및 slot공정을 수행한 후에 두 개의 구조물을 Bonding하는 과정을 통해 제작된다.

먼저, Air Cavity Resonator의 제작 공정은 Cavity 공정을 위해 640 μm 의 두께를 갖는 Silicon wafer에 LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition)를 사용하여 SiNx 1800Å을 양면에 증착한다. 그리고 ICP를 사용하여 Wet etching mask patterning을 한 후, Silicon etchant인 KOH를 사용하여 Wafer를 485 μm 정도 Etching한다. 그 위에 Ground metal을 도금하기 위해 Al 300 Å, Au 700 Å을 Sputter를 사용하여 증착한 후에 Au 1.5 μm 를 도금한다. Microstrip 및 slot공정은 유전체로써 125 μm 의 두께를 갖는 Quartz 기판을 사용하였다. Quartz 기판위에 마이크로스트립 선로를 도금하기 위해서, 먼저 Ti 300 Å, Au 700 Å을 Sputter를 사용하여 증착하고, 그 위에 Au를 4.0 μm 를 도금한다. 그리고, 반대쪽 면에 Sputter를 사용하여 Al 5000 Å을 증착한다. Slot patterning을 위해서 AL-12 etchant를 사용하여 Al을 Wet etching한다.

IV. Cavity resonator 설계 및 측정 결과

On-wafer probe에 의한 측정을 위해 Jmicro Technology사의 CPW-to-Microstrip transition adaptor인 Probepoint™0503 chip과 cavity 공진기의 feeding 선로인 Microstrip과 wire-bonding하여 측정하였다 [4]. 그림 2는 설계된 시뮬레이션 결과이며, 그림 3은 측정된 결과이다. 실제 제작 공정 상의 어려움으로 one-port 공진기의 경우 36.3 GHz의 공진 주파수를 갖는 공진기만을 측정할 수 있었다. 그림 3에 이 공진기의 측정 결과를 나타내었다. 설계치와 비교하여 중심 주파수는 39.34 GHz로 3 GHz 정도 고주파쪽으로 이동하였음을 볼 수 있다. S11 값은 -14.5 dB, Q_L 은 150 정도로 설계치와 유

사하였다.

그림 4는 Two-port cavity resonator의 시뮬레이션 결과이며, 그림 5는 실제 제작하여 측정한 결과이다.

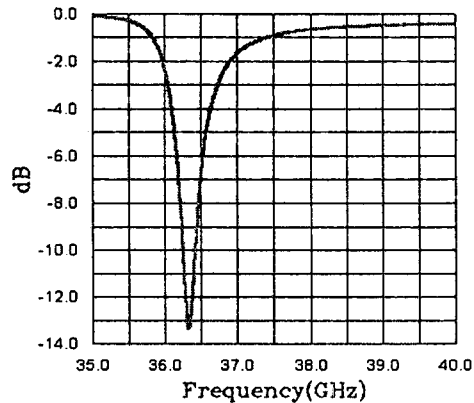


그림 2. One-port 공진기 시뮬레이션 결과

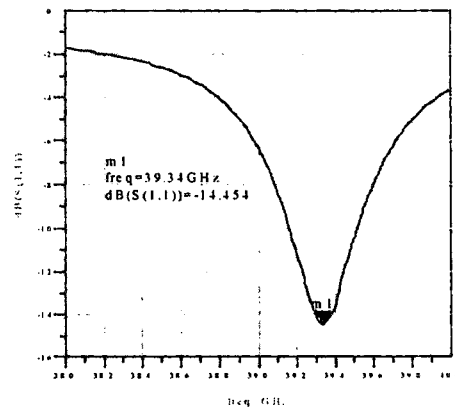


그림 3. One-port resonator 측정결과

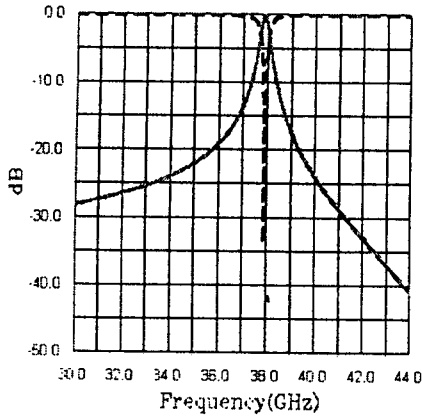


그림 4. Two-port resonator 시뮬레이션 결과

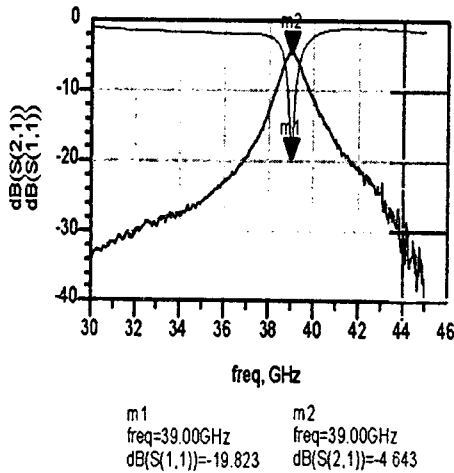


그림 5. Two-port resonator 측정 결과

V. 결론

본 논문에서는 MEMS 기술을 이용한 밀리미터파 대역에서의 high-Q cavity 공진기를 제안하였고, 그 개념과 실제 설계 및 제작과정을 통하여 그 가능성을 입증하였다. MEMS를 이용하여 Cavity 공진기를 설계하였을 때 초소형으로 제작이 가능하므로 향후 이를 이용하여 RF부품을 제작할 경우 소형화 및 밀리미터파 소자로서의 응용 가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 선도기반기술사업 중 초소형 정밀 기계 기술개발사업의 위탁과제로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] J. Papapolymerou, J. C. Cheng, J. East, and L. P. B. Katehi, "A Micromachined High-Q X-Band Resonator," *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol 7, No. 6, pp. 168-170, 1997.
- [2] Y. Kwon, et al., "A Ka-band MMIC Oscillator Stabilized with a Micromachined Cavity," *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 9, No. 9, pp. 360-362, 1999.
- [3] A. R. Brown, P. Blondy, and G. M. Rebeiz "Micro-wave and Millimeter-wave High-Q Micromachined Resonators," *Int. J. RF and Microwave Computer Aided Eng.*, pp. 326-337, 1999.
- [4] *J-micro Technology Product Information*, Portland, 1994.