

# MEMS 기술을 이용한 Q-band MIMIC 발진기의 설계 및 제작

백태종, 이문교, 임병옥, 김성찬, 이복형, 안단, 신동훈, 박형무, 이진구  
동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터  
e-mail : jkrhee@dgu.edu

## Design and fabrication of Q-band MIMIC oscillator using the MEMS technology

Tae-Jong Baek, Mun-Kyo Lee, Byeong-Ok Lim, Sung-Chan Kim, Bok-Hyung Lee  
Dan An, Dong-Hoon Shin, Hyung-Moo Park, and Jin Koo Rhee  
Millimeter-wave INnovation Technology researchcenter(MINT), Dongguk University

### Abstract

We suggest Q-band MEMS MIMIC (Millimeter wave Monolithic Integrated Circuit) HEMT Oscillator using DAML (Dielectric-supported Airgapped Microstrip Line) structure. We elevated the signal lines from the substrate using dielectric post, in order to reduce the substrate dielectric loss and obtain low losses at millimeter-wave frequency. These DAML are composed with height of 10  $\mu\text{m}$  and post size with 20  $\mu\text{m}$   $\times$  20  $\mu\text{m}$ . The MEMS oscillator was successfully integrated by the process of 0.1  $\mu\text{m}$  GaAs PHEMTs, CPW transmission line and DAML. The phase noise characteristic of the MEMS oscillator was improved more than 7.5 dBc/Hz at a 1 MHz offset frequency than that of the CPW oscillator. And the high output power of 7.5 dBm was measured at 34.4 GHz.

### I. 서론

상업용 무선통신 시스템은 다량의 정보를 얼마나 빠르게 전송할 수 있는지와 단말기의 크기를 작게 하면서 전력효율을 높이는 방향으로 발전하고 있다. 군사

적인 응용에서는 앞서 밝힌 방향과 함께 보안성과 특수성을 중시하므로, 밀리미터파 대역을 추구하고 있다. 앞으로는 휴대폰, 무선 랜, DMB (Digital Multimedia Broadcasting) 서비스 등과 같은 많은 상용서비스로 인해 마이크로웨이브 대역에서 초고속 통신을 위한 광대역 주파수 자원의 확보가 어려워져, 밀리미터파 대역을 상업용으로 많이 사용할 것으로 예상된다.

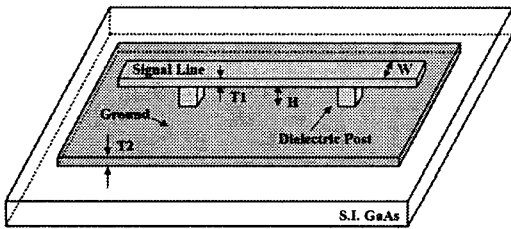
다량의 정보를 빠르게 전송하기 위해서는 광대역의 주파수 자원뿐만 아니라 시스템의 낮은 BER (Bit Error Ratio) 특성도 필요로 한다. RF (Radio Frequency) front-end단의 국부발진기 위상잡음 특성은 시스템의 BER 특성을 향상시킴으로 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히, 밀리미터파 통신을 위한 저가격, 소형의 발진기는 기존의 하이브리드 방식으로는 미세패턴의 구현이 어렵고, 대량생산의 어려움 때문에 MIMIC 화가 요구된다. 우수한 위상잡음 특성을 갖는 밀리미터파 발진기는 높은 Q값을 갖는 공진회로의 설계나 상대적으로 낮은 주파수에서 매우 좋은 위상잡음 특성의 발진기를 주파수 체배함으로써 구현할 수 있다. 그러나 주파수 체배 방식은 원하는 출력을 얻기 위해 주 변회로가 복잡해지고, 체배에 따른 위상잡음 특성이 나빠지는 단점이 있다.

본 논문은 MINT의 0.1  $\mu\text{m}$  PHEMT MIMIC 라이브리리와 MEMS 기술을 사용한 DAML 공정을 사용하여,

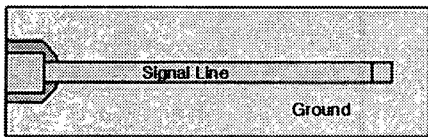
MEMS MIMIC 발진기를 one-chip화 하였다. 제작한 MEMS MIMIC 발진기는 같은 구조로 설계한 CPW MIMIC 발진기와 위상잡음 특성 비교를 하였다.

## II. 설계 및 제작

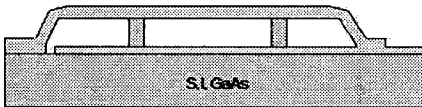
본 논문에서 제안한 DAML의 구조는 기존의 마이크로스트립 구조에서 유전체를 전송의 매질로 사용하는 것과 달리 신호선을 MEMS 기술을 사용하여 공기 중으로 올려서 공기를 전송의 매질로 사용하여 유전체에 의한 손실을 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 전체적으로 마이크로스트립 라인의 형태를 취하고 있으나 기존의 마이크로스트립 라인과는 다르게 접지면과 전송선이 동일면에 위치하기 때문에 via-hole 같은 후면공정이 필요 없는 장점을 가진다. 제안된 DAML 구조를 그림 1에 나타내었다. 구성 성분은 크게 접지면, 유전체 지지대, 전송선으로 구성되어 있다 [1].



(a) DAML의 구조



(b) MEMS 공진기의 평면도



(c) 길이 방향의 단면적

그림 1. 제안된 DAML의 구조

그림 1-(a)는 DAML 구조를 보여주고 있다. DAML 구조는 크게 ground 금속, 유전체 지지대와 신호선 금속의 세 부분으로 구성된다. 신호선은 기판에 의한 유전체 손실을 최소화 하기 위하여 polyimide 유전체를 사용하여 지지대를 형성함으로써 공기중에 떠 있는 형태로 surface Micromachining 기법을 사용하여 구현하였다. 그림 1-(b), 1-(c)은 MEMS 공진기에 사용된 DAML을 이용한 short-stub의 평면도 및 단면도를 보여주고 있다.

발진기의 설계는 device-level power combined oscillator 구조에 높은 Q 값을 갖는 DAML의 MEMS 공진기를 함께 적용하여 설계하였다. 70  $\mu\text{m} \times 2$  PHEMT에서 양쪽 소스 단에  $\lambda/4$  MEMS 공진기를 설계한 발진기 회로를 그림 2에 나타내었다. PHEMT 소자의 발진을 얻기 위해서, 적절한 피드백 소자와 임피던스를 형성시켜 부성저항 특성을 유도하였다. 부성저항 발진기의 발진조건은 식 1과 같다 [2].

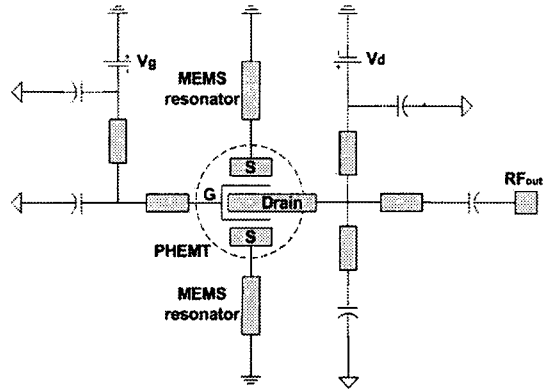


그림 2. 발진기 회로

$$\Gamma_L \cdot \Gamma_R = 1 \quad (1)$$

여기서  $\Gamma_L$ 은 부하에 대한 반사계수,  $\Gamma_R$ 은 공진기에 대한 반사계수이다. 발진 주파수에서 식 2는 공진기의 반사손실과 능동소자의 반사이득이 같고,  $\Gamma_L$ 과  $\Gamma_R$ 의 편각의 합이  $360^\circ$ 의 정수배임을 나타낸다. 발진기 회로는 common 게이트 구조로 설계하였으며, PHEMT의 부성저항을 유도하기 위해서 게이트 단에 적절한 길이의 stub를 사용하였다. 회로의 동작은 두개의 70  $\mu\text{m} \times 1$  PHEMT에서 발진이 일어나며, 소자내의 드레인단에서 각각의 발진전력이 합쳐져서 출력되는 원리이다.

설계된 Q-band 발진기는 MINT의 MIMIC 공정을 이용하여 제작하였다 [3]. 집적화 공정은 0.1  $\mu\text{m}$  GaAs PHEMT와 CPW 전송라인 그리고 MIM (Metal-Insulator-Metal) 커패시터로 구성되며 공진기 부분을 CPW와 MEMS의 2가지 구조를 사용하여 각각 제작하였다. 그림 3은 surface micromachining 기술을 이용한 MEMS 공진기 공정 순서도이다. 첫 그림은 PHEMT의 소스 부분과 MIMIC의 ground 부분으로 Ti/Au를 열적 증착기를 이용하여 각각 증착하였다 (그림 3-(a)). 다음은 유전체 지지대를 형성하는 과정으로 polyimide 유전체를 사용하여 지지대를 제작하였고 (그림 3-(b)), 희생층을 형성하기 위해 AZ 4903 photo resist를 사용하여 노광 및 현상 과정을 수행하였다 (그림 3-(c)).

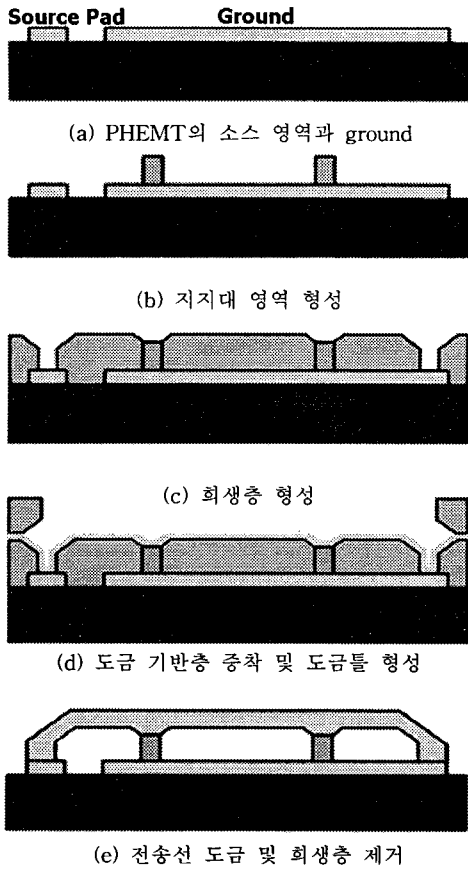
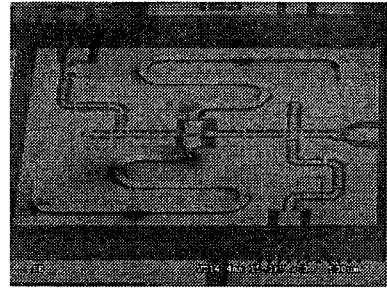


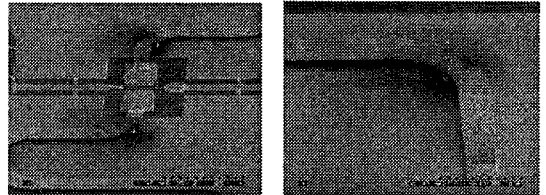
그림 3. MEMS resonator 제작 공정 순서

신호선의 형성을 위해 도금 기반층으로 Ti/Au를 각각 열 증착 방법을 사용하여 연속적으로 증착하고, 그 위에 AZ 4903 photo resist를 사용하여 도금틀을 형성하며 (그림 3-(d)), 마지막 과정으로 Au plating 장비를 이용하여 5  $\mu\text{m}$  높이의 Au를 도금하였다. 이 때 도금액의 온도는 50  $^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였으며 전류밀도는 0.3  $\text{A}/\text{dm}^2$  조건을 사용하였다. Au를 도금한 후 도금틀은 아세톤을 이용하여 제거하고, 도금 기반층 (Ti/Au)을 제거하기 위하여 Au etchant와 BOE (Buffered Oxide Etchant)를 사용하여 각각 제거하였다. 도금 기반층의 제거 후 다시 한 번 아세톤을 이용하여 희생층을 제거하였다 (그림 3-(e)) [4]. 그림 4 에 제작된 MEMS 발진기의 SEM 사진을 나타내었다.

공기중의 MEMS 라인을 이용한 공진기는 GaAs 기판상의 CPW 라인을 이용한 공진기보다 유전체 손실이 적기 때문에 상대적으로 높은 Q값을 갖는다. 또한 MEMS 공진기는 GaAs 기판상에 집적화가 가능하므로, 기존의 CPW MIMIC 발진기보다 좋은 위상잡음 특성의 MIMIC 발진기를 설계할 수 있다.



(a) MEMS MIMIC 발진기 (1.7 mm  $\times$  1.4 mm)



(b) 소스와 공진기 연결부위  
(c) Ground와 공진기 연결부위

그림 4. MEMS MIMIC 발진기 SEM 사진

그림 5 는 MEMS 발진기와 CPW 발진기의 위상 잡음 비교를 위해 제작한 CPW 발진기 사진이다.

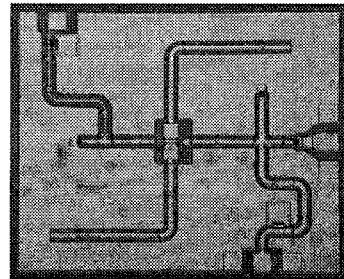


그림 5. CPW MIMIC 발진기 사진

### III. 측정 결과 및 논의

측정은 Anritsu사의 스펙트럼 분석기 MS2668C와 Agilent사의 V-band 스펙트럼 분석기 8561E로 On-wafer 측정하였다. 그림 6 는 제작된 MEMS 발진기의 출력 스펙트럼으로 34.5 GHz에서 약 7.5 dBm의 높은 출력전력이 측정되었다. 그림 7 은 MEMS 발진기와 CPW 발진기의 스펙트럼 분포를 비교한 것이다. 측정된 MEMS 발진기가 CPW 발진기보다 우수한 위상 잡음특성을 나타내는 것을 알수 있다. 그림 8 은 발진기의 PHEMT가 같은 바이어스 조건일 때 측정된 위상잡음을 그래프로 나타낸 것이다. 1 MHz 오프셋에

서 MEMS 발진기의 위상잡음 특성이 CPW 발진기의 위상잡음 특성에 비해 약 7.5 dBc/Hz 이상 개선되었다.

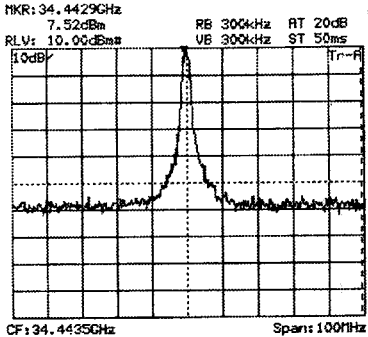


그림 6. MEMS 발진기의 출력 스펙트럼

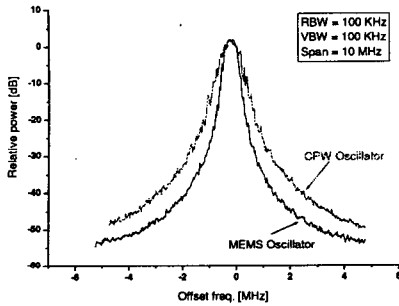


그림 7. MEMS 발진기와 CPW 발진기의 위상잡음 특성 비교

그림 8. 바이어스에 따른 위상잡음 특성 비교

#### IV. 결론

본 논문에서는 MINT의 0.1  $\mu\text{m}$  PHEMT MIMIC 라이브러리와 MINT MEMS 라이브러리를 이용 MEMS MIMIC 발진기를 one-chip화 하였다. 공기중의 MEMS 라인을 이용한 공진기는 GaAs 기판상의 CPW 라인을 이용한 공진기보다 유전체의 손실이 적어 높은 Q값을 갖는다. MEMS 공진기와 CPW 공진기의 Q값을 구해보면, MEMS 공진기의 경우 67, CPW 공진기의 경우 55로 MEMS 공진기가 CPW 공진기보다 약 12정도 큰 결과를 얻었다. 위의 공진기 특성을 이용하여 낮은 위상잡음 특성의 MIMIC 발진기를 설계 제작하였으며 MEMS 발진기의 위상잡음 특성이 CPW 발진기의 위상잡음 특성에 비해 7.5 dBc/Hz 이상 개선이 되어 MEMS MIMIC 발진기의 우수한 특성을 알수 있었다.

또한 MEMS 기술을 이용한 DAML 구조는 MIMIC와 집적화가 가능하므로 밀리미터파 대역의 여러 가지 수동소자의 응용에 다양하게 적용가능할 것으로 사료된다.

#### Acknowledge

\* 이 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터를 통한 한국과학 재단의 우수 연구센터 지원금에 의하여 수행되었다.

#### 참고문헌

- [1] George E. Ponchak, Alan N. Downey, "Characterization of thin Film Microstrip Lines on Polyimide" IEEE transactions on componens, Packaging, and Manufacturing Technology, Part B, Vol. 21, No. 2, May 1998
- [2] I. D. Robertson, MMIC DESIGN, The Institution of Electrical Engineer. pp. 339~341.
- [3] Tae-Sin Kang, Seong-Dae Lee, Bok-Hyoung Lee, Sam-Dong Kim, Hyun-Chang Park, Hyung-Moo Park, and Jin-Koo Rhee, "Design and Fabrication of a Low-Noise Amplifier for the V-band," J. Korean Phys. Soc., vol. 41, no. 4, pp. 533~538, Oct. 2002.
- [4] Han-Shin Lee, Sung-Chan Kim, Byoung-Ok Lim, Kyoung-Man Kim, Won-Young Uhm, Young-Hoon Chun, Donh-Hoon Shin, Soon-Koo Kim, Hyun-Chang Park, and Jin-Koo Rhee, "Fabrication of low loss transmission line with Surface micromachining technology," AWAD2003 pp. 13-17, June 2003.