

주파수 가변형 밀리미터파 필터의 제작 및 실험

박재형, 김홍득, 권영우, 김용권
 서울대학교 전기공학부

Fabrication and experiment of tunable millimeter-wave filters

Jae-Hyoung Park, Hong-Teuk Kim, Youngwoo Kwon, Yong-Kweon Kim
 School of electrical engineering, Seoul national university

Abstract -In this paper, new micromachined tunable bandpass filters for multi-band millimeter-wave telecommunication systems are proposed. Two types of mm-wave tunable filters are fabricated using micromachining technology and the responses of the filters are measured. One is two-pole lumped elements filter and the other two-pole resonators filter. Frequency tunability of the filter is achieved by changing the gap between a common CPW ground plate and the movable cantilever beam connected to the transmission line with the controllable range of 2.5 μm . The deflection of cantilever beam is measured with the applied DC voltage. With the applied bias voltage from 0 to 50 V, the fabricated filters show 0.6 GHz(2.3 %) at 26.6 GHz, and 0.8 GHz(2.5%) at 32 GHz center frequency shift for the lumped elements and resonators filter, respectively.

태로 제작된 인덕터와 가변 정전 용량기를 연결하여 LC 공진을 이용한 필터(two-pole lumped elements filter)를 나타내며, 그림 1 (b)는 반파장 공진기를 이용한 필터(two-pole resonators filter)이다. 그림에서와 같이 필터는 CPW(coplanar waveguide) 신호 전송선(transmission line)과 이 끝에 연결된 가변 정전 용량기, 그리고 가변 정전 용량의 값을 변화시키기 위한 DC 바이어스 선 등으로 구성하였다. 이와 같이 연결된 정전 용량기의 값을 변화시킴으로써 중심 주파수를 가변시키도록 설계하였다. 그림 2는 유리 기판 (Corning #7740) 위에 제작된 필터의 전자 현미경 사진이다.

가변 정전 용량기를 구현하기 위해 한쪽 부분이 고정되어 움직이는 외팔보 구조를 사용하였다. 구조물과 바닥 CPW 접지 전극 사이에 전압을 인가함으로써 구조물과 바닥 전극 사이의 거리를 조절할 수 있고 이를 통해 정전 용량을 제어한다. 그림 3은 외팔보 구조의 전자 현미경 사진이다. 외팔보 구조의 크기는 200 $\mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ 이며 바닥 전극으로부터 6 μm 떠 있다.

1. 서 론

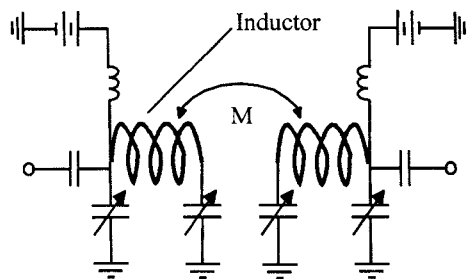
현재 수십 GHz 이상의 밀리미터파 대역을 이용하는 고주파 소자의 핵심 부품 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 고주파 소자의 제작 기술에 있어서 스위치나 바랙터(varactor), 트랜지스터 등과 같이 외부 회로로 따로 부착되는 수동 및 능동 소자로 인한 전기적 손실 증가는 고품질의 밀리미터파 송수신 시스템의 제작을 어렵게 한다. 최근 이러한 문제점의 해결 방법으로서 마이크로머시닝 기술을 이용한 고주파 소자의 제작에 관한 연구가 많은 주목을 받고 있다. 마이크로머시닝 기술을 사용함으로써 외부 회로로 따로 필요한 소자들을 집적화 할 수 있으므로 손실을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 제작비용, 소자의 크기 및 손실을 줄일 수 있는 장점이 있다.

마이크로머시닝 기술이 발전함에 따라 이를 이용하여 마이크로파와 밀리미터파에서 응용하는 여러 가지 형태의 필터를 제안하였다[1-3]. 그러나 이전의 중심 주파수 가변형 필터 연구에서는 중심 주파수가 수백 MHz 정도에서만 가능하였고 수십 GHz 이상의 고주파 필터에서는 중심 주파수가 고정되어 있기 때문에 이를 가변시키기 위해서는 바랙터 등과 같은 외부 소자를 따로 필요로 하게 된다. 이는 다중 대역을 가지는 통신 시스템에 응용하기에 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 마이크로머시닝 기술을 이용하여 30 GHz 정도의 고주파에서 중심 주파수 가변이 가능한 두 가지 형태의 밀리미터파 필터를 제안하고 제작된 필터의 신호 전달 특성을 통하여 마이크로머시닝 기술을 이용한 가변형 고주파 필터의 가능성을 확인하였다.

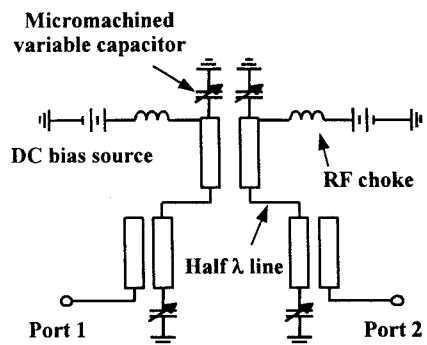
2. 본 론

2.1 필터 설계

본 연구에서 제안된 두 가지 형태의 가변형 밀리미터파 필터의 회로도는 그림 1 과 같다. 그림 1 (a)는 나선형

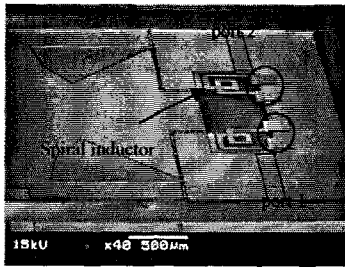


(a)

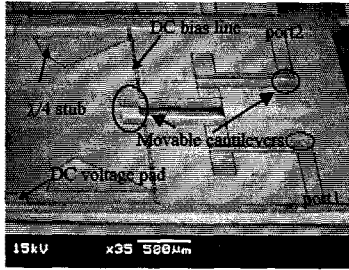


(b)

그림 1 두 가지 형태의 가변형 밀리미터파 필터 회로도 (a) two-pole lumped elements filter, (b) two-pole resonators filter



(a)



(b)

그림 2 제작된 필터의 SEM 사진 (a) two-pole lumped elements filter, (b) two-pole resonators filter

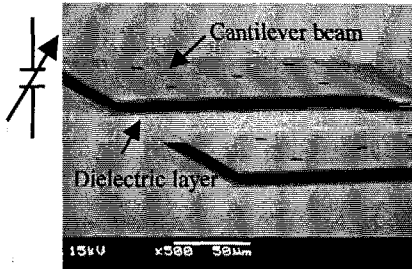


그림 3 가변 정전 용량기로 사용되는 외팔보 구조

2.2 제작 공정

저 손실의 밀리미터파 필터의 구현을 위해 신호 전송선과 가변 정전 용량기는 금 전해 도금 구조물을 이용하여 제작하였다. 기판으로는 표면 유전체 손실을 줄이기 위해 유리(Corning #7740)기판을 사용하였다. 가변형 고주파 필터의 제작 공정은 그림 4와 같다. 먼저 신호 전송선 부분의 금 전해 도금 기반층으로 Ti(200 Å) 과 Au(1500 Å)을 열증착(thermal evaporation) 방법을 사용하여 연속적으로 증착한다(그림 1(a)). 그 위에 감광제(AZ4533)를 3.5 µm 높이로 도포한 후 사진 식각 과정을 거쳐 도금층을 형성하여 금 전해 도금을 해서 2 µm 두께의 신호 전송선 부분을 제작한다(그림 1 (b)). 그리고 도금층과 기반층을 제거한 다음(그림 1 (c)), 구조물을 구동할 때 바닥 전극과의 절연을 위해 산화막을 패터닝한다(그림 1 (d)). 6 µm 두께의 희생층 형성을 위해 감광제(AZ4562)를 사진 식각 공정으로 패터닝한 후(그림 1 (e)) 구조물 전해 도금을 위해 필요한 기반층이 옆벽에도 균일하게 증착되도록 감광제를 열처리한다(그림 1 (f)). 그런 다음 도금 구조물을 위한 기반층을 증착하고 후막 감광제(PMER P-LA900PM)를 이용하여 도금층을 제작한다(그림 1 (g)). 여기에 금을 전해 도금함으로써 원하는 형태의 구조물을 제작할 수 있

다(그림 1 (h)). 마지막으로 도금층을 제거하고 기반층을 식각한 다음 희생층을 제거함으로써 가변 고주파 필터를 위한 떠 있는 구조물이 형성된다(그림 1 (i), (j)).

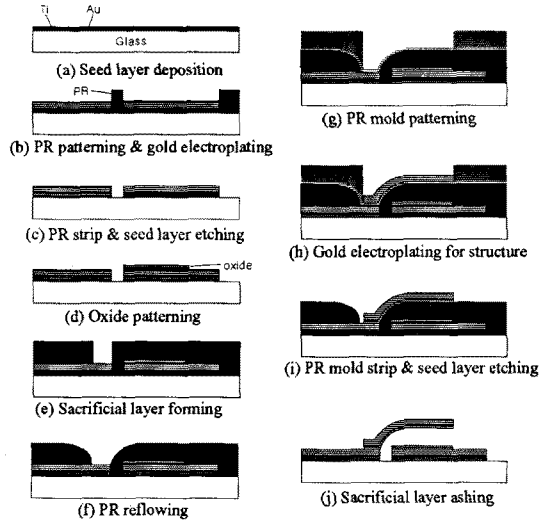


그림 4 제작 공정

2.3 결과 및 검토

외팔보 구조물에 정전압을 인가하면 구조물은 정전력에 의해 변위가 변한다. 인가 전압에 따른 구조물의 변위를 비접촉 레이저 변위계를 이용하여 측정하였다. 그림 5는 구조물의 두께가 각각 1.8 µm 와 2.4 µm 인 경우 인가 전압에 따른 구조물 끝 부분의 변위 측정 결과이다. 측정 결과에서 알 수 있듯이 인가 전압이 증가함에 따라 구조물이 서서히 증가하다가 문턱 전압 이상이 인가되면 구조물이 바닥 전극에 갑자기 달라붙는 현상이 발생한다. 측정된 문턱 전압은 1.8 µm 와 2.4 µm 구조물에 대해 각각 53 V 와 77 V 로 관찰되었다. 실제로 필터에서 가변 정전 용량기로 사용될 때 구조물의 변위가 연속적으로 변하는 영역에서만 정전 용량 변화를 제어할 수 있고 본 실험에서 제작된 구조물의 경우 제어 가능한 구조물 변위의 범위는 약 2.5 µm이다.

제작된 필터에 대해 신호를 인가하여 필터 특성을 관찰하고 구조물에 전압을 인가하여 중심 주파수의 변화 정도를 측정하였다. 그림 6은 LC 공진을 이용한 필터(그림 1 (a) two-pole lumped elements filter)의 경우 시뮬레이션 결과와 실제 제작된 필터의 측정 결과를 비교한 것이다. 그림 7은 반파장 공진기를 이용한 필터(그림 1 (b) two-pole resonators filter)의 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 나타낸다. 설계된 필터의 시뮬레이션을 위해 상용 소프트웨어인 IE3D를 이용하였다. 측정 결과에서 알 수 있듯이 LC 공진을 이용한 경우, 외팔보 구조물에 0 V에서 50 V의 전원을 인가함에 따라 중심 주파수가 26.6 GHz에서 26 GHz로 변화하였다(2.3% tuning). 그리고 반파장 공진기를 이용한 필터의 경우에는 중심 주파수가 32 GHz에서 31.2 GHz로 2.5 % 정도 가변 하였음을 알 수 있다. 이는 시뮬레이션 결과에서 예측된 중심 주파수 가변 범위에 비해 작은 값을 가진다. 이것은 가변 정전 용량을 변화시키기 위해 사용되는 두 평판사이의 거리에 있어서 시뮬레이션에서 사용된 모델은 실제 제작된 필터에서의 구조물 변위와는 다르기 때문이다. 즉 시뮬레이션에서는 가변 정전 용량기의 두 평판이 항상 평행하게 유지를 하면서 두 판사이의 거리를 변화하는 것으로 계산된 반면 제작된 필터의 경우 외팔보 구조물에 의한 정전 용량의

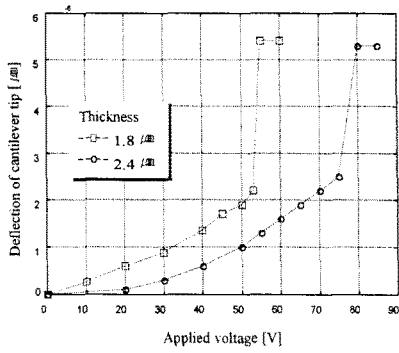
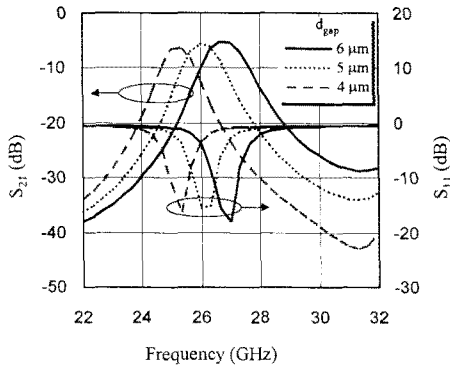
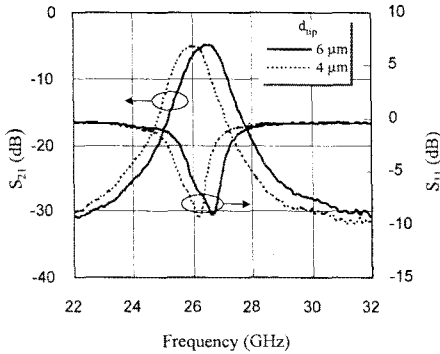


그림 5 인가 전압에 따른 구조물의 변위



(a)

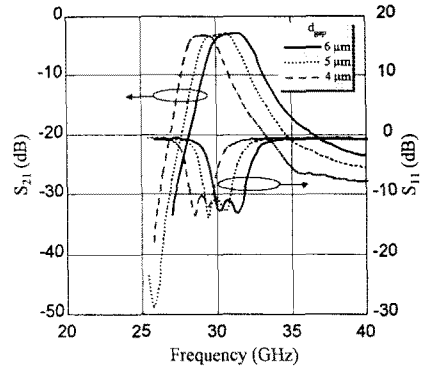


(b)

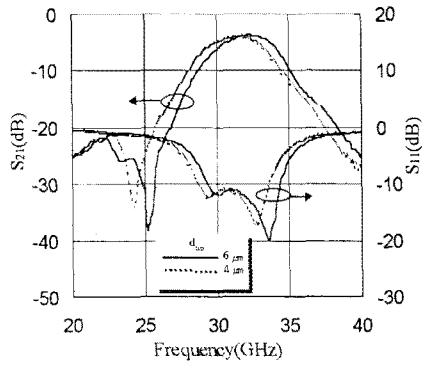
그림 6 two-pole lumped elements filter 특성 (a) 시뮬레이션 결과 (b) 측정 결과

변화이다. 구조물 끝부분의 변위가 가장 큰 반면 구조물의 앵커 부분은 거의 변위가 발생을 하지 않기 때문에 실제로 계산된 값에 비해 제작된 필터의 경우, 정전 용량의 변화가 작고 또한 중심 주파수의 가변 범위도 작아진다.

두 가지 형태의 필터에 대해 필터 손실은 각각 4.9 dB와 3.8 dB로 관찰되었다. 이는 유리 기판에서 발생하는 유전체 손실과 금 구조물의 도체 손실 및 radiation에 의해 발생하는 손실로 생각할 수 있다. 이를 확인하기 위해 유리 기판의 유전체 손실이 없는 경우와 이를 포함한 경우의 시뮬레이션 결과를 비교해보았다. 시뮬레이션 결과 LC 공진 필터의 경우 유전체에 의한 손실이 3.5 dB로 계산되었고 반파장 공진기를 이용한 필터의 경우에는 2 dB로 계산되었다. 또한 실험에서 사용된 금 도금 구조물의 도체 손실은 30 GHz 정도에서 약 2dB/cm를 나타냄을 측정할 수 있는데, 이와 같은 결과로부터 제작된 필



(a)



(b)

그림 7 two-pole lumped elements filter 특성 (a) 시뮬레이션 결과 (b) 측정 결과

터에서 나타난 필터 손실은 시뮬레이션에서 알 수 있는 유전체 손실과 측정된 도체 손실과의 합으로 나타남을 알 수 있다. 특히 유전체 손실값이 크기 때문에 저항이 큰 기판을 사용함으로써 필터의 손실을 개선할 수 있으리라 기대된다.

3. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파 영역에서 중심 주파수 가변이 가능한 새로운 형태의 필터를 제안하고 이를 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작하고 측정하였다. 측정 결과 26.6 GHz에서 2.3 %, 32 GHz에서 2.5 %의 중심 주파수 가변 범위를 얻을 수 있었다. 따라서 마이크로머시닝 기술을 이용함으로써 다중 대역 통신 시스템 구현을 위한 저비용의 집적화된 밀리미터파 필터의 가능성을 확인하였다.

Acknowledgement

이 연구는 과학기술부와 산업자원부가 주관하는 초소형 정밀 기계 선도 기술개발사업의 연구비지원에 의한 것입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] D. J. Young, V. Malba, J. J. Ou, A. F. Bernhardt, and B. E. Boser, "A Low-Noise RF Voltage-Controlled Oscillator Using On-Chip High-Q Three-Dimensional Coil Inductor and Micromachined Variable Capacitor," Solid-State Sensor and Actuator Workshop, Dig. Tech. Papers, pp. 128-131, 1998.
- [2] S. V. Robertson, L. P. B. Katehi, and G. M. Rebeiz, "Micromachined Self-Packaged W-Band Bandpass Filters," IEEE MTT-S, pp. 1543-1546, 1995.
- [3] P. Blondy, A. R. Brown, D. Cros, and G. M. Rebeiz, "Low Loss Micromachined Filters for Millimeter-Wave Telecommunication Systems," IEEE MTT-S, pp. 1181-1184, 1998.