

표면 마이크로머시닝을 이용한 산화된 다공질 실리콘 기판 위에 제조된 에어브리지를 가진 Coplanar Waveguides

심준환, 박동국, 강인호, 권재우*, 이종현*, 예병덕**
 한국해양대 전파·정보통신공학부, *경북대 전자전기컴퓨터공학부, **한국해양대 해사수송과학부

Coplanar Waveguides with Air-Bridge Fabricated on Oxidized Porous Silicon (OPS) Substrate using Surface Micromachining

Jun-Hwan Sim, Dong-Kook Park, In-Ho Kang, Jae-Woo Kwon*, Jong-Hyun Lee*, Byeong-Duck Ye
 Korea Maritime University, *Kyungpook National University

Abstract - 본 논문에서는 실리콘 기판상의 전송선로 특성을 개선하기 위하여 표면 마이크로머시닝 기술을 이용하여 10 μm 두께의 다공질 실리콘 산화막으로 제조된 기판 위에 에어브리지를 가진 CPW 전송선로와 phase shifter를 제작하였다. 간격이 30 μm , 신호선이 80 μm 인 CPW 에어브리지 전송선의 삽입손실은 4 dB 에서 -0.25 dB 이며, 반사손실은 -28.9 dB 를 나타내었다. CPW phase shifter의 크기는 $S-W-S_g = 100\text{-}30\text{-}400 \mu\text{m}$ 로 설계되었다. "c" 모양을 가진 에어브리지의 폭은 100 μm , 길이는 400-460-400 μm 이다. 낮은 손실을 얻기 위한 Step된 에어브리지를 가진 phase shifter 구조가 step이 없는 에어브리지를 가진 구조보다 삽입손실이 보다 더 향상되었다. 제작된 CPW phase shifter의 위상특성은 28 GHz 의 넓은 주파수 범위에서 180°의 전이를 나타내었다. 이상과 같은 결과로부터 두꺼운 다공질 실리콘은 고 저항 실리콘 집적회로 공정에서 고성능, 저가의 마이크로파 및 밀리미터파 회로 응용에 충분히 활용 될 수 있으리라 기대된다.

1. 서 론

무선통신 시스템의 초고주파 분야에는 GaAs 소재를 주로 사용한다. GaAs는 실리콘에 비해 좋은 장점이 있는 반면에 고가의 제조공정과 실리콘 집적회로 공정에 비해 까다롭다는 몇 가지 단점을 갖고 있다. 이러한 문제점으로 인해 저렴한 비용의 잘 확립된 실리콘 집적회로 제조공정을 이용하여 실리콘 MMIC를 개발하고자 하는 많은 연구가 진행되어 왔다[1]. 최근에 실리콘 기판 상에 10 μm 두께 이상의 절연층을 형성하여 마이크로웨이브 전송선로 특성을 개선하기 위하여 다공질 실리콘 연구가 보고되었다[2]. 산화된 다공질 실리콘 (oxidized porous silicon : OPS)은 마이크로웨이브 영역에서 낮은 비저항의 실리콘 기판의 높은 유전손실을 극복하며, CVD 산화막에 비해 매우 짧은 산화시간을 가진다는 장점을 가지고 있다.

현재 디지털 IC는 실리콘 집적회로공정기술에 기반을 두고 있으며, RF 아날로그 IC와 함께 단일 칩으로 제조될 가능성이 매우 많아지고 있다. 그러므로 실리콘 아날로그회로와 디지털 회로가 하나의 칩속에 병존하는 혼성 모드 회로에 대한 관심이 급증하고 있다. 이런 진보된 실리콘 혼성신호 IC는 Coplanar Stripline(CPS), Coplanar Waveguide (CPW)와 같은 다른 전송매체와 결합하여 최적의 회로설계를 위하여 효율적인 Interconnect기술이 필요하게 되었다[3]. 이러한 Interconnects는 기생 결합커패시턴스를 낮추기 위하여 크기가 작아야 하며, 높은 수율과 낮은 제조단가를 위하여 공정이 단순해야 한다. 이러한 목적에 적합한 기술을 개발하기 위하여 본 논문에서는 표면 마이크로머시닝 기술을 이용하여 에어브리지 interconnect된 CPW 전송선로와 phase shifter를 제작하고 그 특성을 조사하였다.

2. 실험 및 결과

2.1 설계 및 제작

설계된 소자는 에어브리지를 가진 CPW 전송선로 세가지와 phase shifter 두 가지 구조이다.

2.1.1 CPW 구조

그림 1은 세 가지 종류의 에어브리지 interconnect된 CPW 전송선로에 대한 개략도이다. 그림 1(a)와 (b)의 에어브리지 interconnect는 모두 길이가 220 μm , 폭이 100 μm 로 되어 있고, 그림 1(c)는 손실을 줄이기 위한 step 보상된 에어브리지 interconnect로서 길이가 220 μm , 폭이 60 μm 이다. 그림 1(a)의 CPW 전송선은 신호선의 폭이 80 μm 및 100 μm , 간격은 30 μm 및 40 μm 로 총 4가지로 구성되어 있다. 그림 1(b)와 (c)의 CPW는 신호선의 폭이 100 μm , 간격은 30 μm 및 40 μm 로 2가지로 설계되었다. 이때, 각 신호선의 길이는 모두 2 mm 이다.

그림 2는 두 가지 종류의 에어브리지로 연결된 CPW phase shifter 구조에 대한 개략도 이다. 에어브리지는 "c" 형태의 모양으로 연결되어 있으며, 각각의 길이는 400-460-400 μm 이다. 그림 2(a)는 폭이 100 μm 이며, 그림 2(b)는 손실을 줄이기 위한 step 보상된 에어브리지로서 에어브리지 아래의 신호선과의 교차되는 부분을 양쪽에서 약 20 μm 정도 step을 주어서 폭이 60 μm 이다. 그리고 CPW 전송선은 폭이 100 μm , 간격은 30 μm , 전체 길이는 2 mm 로 구성되어 있다.

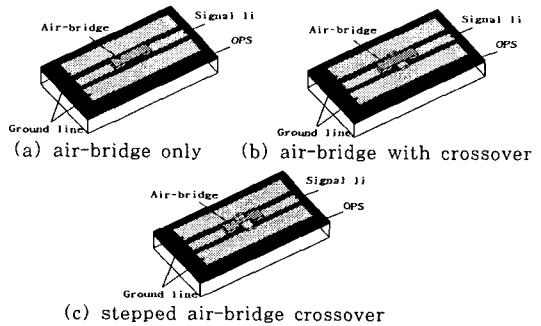


그림 1. 에어브리지 interconnect된 CPW 구조

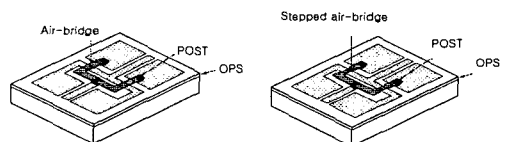


그림 2. "c" 형태의 에어브리지를 가진 phase shifter

2.1.2 제조공정

그림 3은 에어브리지 interconnect된 CPW의 제조공정도이다. 먼저 p형 (100), $5\Omega \cdot \text{cm}$ 인 실리콘 웨이퍼를 양극반응하여 다공질 실리콘을 형성한 후, 다단계 열산화물을 사용하여 OPS를 형성하였다. 이때 다공질 실리콘 형성을 위해 전류밀도는 $20\text{mA}/\text{cm}^2$ 이었고, 반응용액은 43wt% 불산(HF)/에틸알코올($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)을 혼합액을 사용하였다. 그리고 400°C , 30분의 전식산화와 1000°C , 1시간의 전식산화 및 1000°C , 1시간의 습식산화 공정을 수행하여 산화층 내부에 잔존하는 기공을 제거하며, 표면을 치밀화 하는 다단계 열산화 공정을 수행하였다. 이렇게 형성된 OPS 위에 CPW를 형성하기 위하여 evaporator를 이용하여 500Å 두께의 Cr과 1000Å 두께의 Au를 증착하였다. PR공정으로 Cr/Au 패터닝하여 1차 도금을 위한 base metal seed layer를 형성하였다(그림 3(a)). 도금용 PR공정으로 1차 도금을 위한 영역을 정의하여 Cu 도금을 행하였다. 이때, 도금은 5분간의 무전해 도금과 전류밀도가 10mA 로서 15분 동안 전해도금을 수행하였다(그림 3(b)). 그리고 air-bridge를 base metal과 연결하기 위하여 도금용 PR공정으로 Via 영역을 정의하여 2차 도금을 행하였다. 이때 사용된 도금공정은 3분간의 무전해 도금과 5mA의 전류 밀도로 7분간의 전해 도금하였다(그림 3(c)). 다음으로 air-bridge용 seed layer 형성을 위하여 evaporator를 이용하여 1000Å 두께의 Au를 증착하였다. 이어서 Au를 패터닝한 후, 도금용 PR공정으로 도금할 영역을 정의하여 3차 도금을 행하였다. 이때 도금은 5분간의 무전해 도금과 5mA의 전류 밀도로 10분간의 전해 도금하였다(그림 3(d)). 마지막으로 아세톤에 시편을 5분 정도 담그기 회생층으로 사용된 모든 PR을 제거하여 air-bridge를 형성하였다(그림 3(e)).

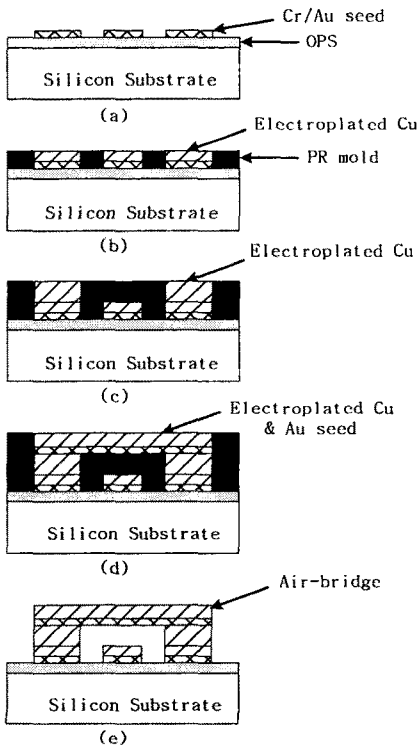


그림 3. 에어브리지 interconnect CPW 제조공정도

2.2 결과 및 측정

제작된 소자의 전송선에 대한 신호 전달 특성을 얻기 위하여 HP8510C 네트워크 분석기를 사용하였으며, Calibration은 고주파 대역에서 정확성이 매우 우수한 TRL (Thru-Reflect-Line) calibration 방법을 이용하였다. 이때, 측정 주파수 범위는 1~35 GHz이었다.

2.2.1 CPW 전송선로

그림 4는 제작된 3가지 형태의 에어브리지 interconnect된 CPW 전송선의 전자 현미경 사진이다. 제작된 전송선의 두께는 $2\mu\text{m}$, air-bridge의 두께는 $3\mu\text{m}$ 이다. 여기서 회생층이 완전히 제거되었으며, air-bridge는 완전히 떠 있는 구조를 이루고 있다.

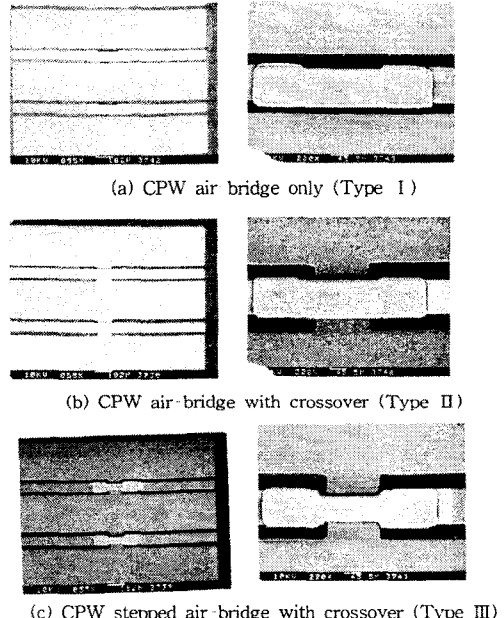


그림 4. 제작된 CPW 전송선의 전자현미경 사진

그림 5는 제작된 CPW phase shifter의 전자 현미경 사진이다. 제작된 Cu 전송선의 두께는 $2\mu\text{m}$, "c" 모양의 에어브리지의 두께는 $3\mu\text{m}$ 이다. 여기서 회생층으로 사용된 PR은 완전히 제거되었으며, 에어브리지는 완전히 떠 있는 구조를 이루고 있음을 알 수 있다.

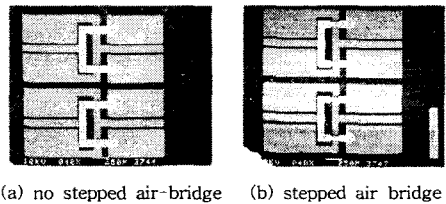


그림 5. 제작된 CPW phase shifter의 현미경 사진

그림 6은 Type I의 형태로 제작된 CPW overpass 전송선의 신호 전송시 인가 주파수에 대한 삽입손실 특성을 나타내며, 그림 7은 인가 주파수에 대한 반사손실을 나타내고 있다. S-W-S = $30\text{--}80\text{--}30\mu\text{m}$ 인 CPW의 삽입손실은 4 GHz에서 -0.25 dB로서 대체적으로 낮은 손실을 나타내고 있으며, 반사손실은 4 GHz에서 -28.9 dB를 나타내어 입력으로 반사되는 손실이 거의 없음을 알 수 있다.

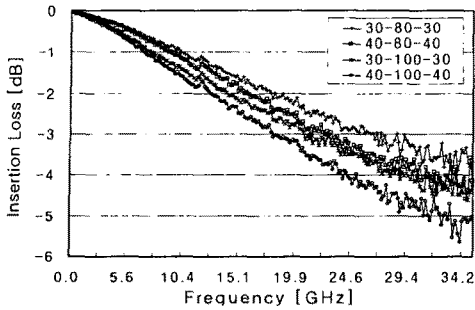


그림 6. 제작된 CPW air-bridge 전송선의 삽입손실

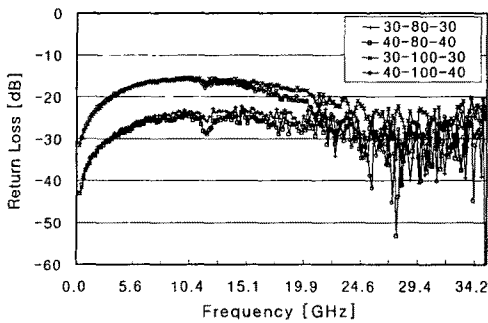


그림 7. 제작된 CPW air-bridge 전송선의 반사손실

그림 8은 air-bridge 아래로 접지선이 지나가는 두가지 형태의 CPW 전송선(S-W-S = 30-100-30 μm)에 대한 신호 전달 특성을 비교하였다. 여기서, stepped air-bridge를 가지는 CPW (Type III)는 손실 특성을 개선하기 위하여 제안된 것이다. 측정된 결과로부터 step compensated air-bridge를 가지는 CPW의 손실이 4 GHz일 때, -0.98 dB 개선됨을 알 수 있었다.

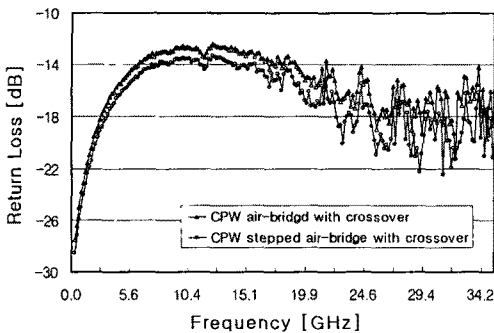


그림 8. Air-bridge 아래에 접지선이 있는 두가지 형태의 CPW의 반사손실 (Type II & III)

그림 9는 제작된 두 가지 CPW phase shifter의 주파수에 따른 삽입손실을 비교한 것이다. 그림에서와 같이 step으로 보상된 CPW phase shifter가 더 좋은 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 10은 기준이 되는 CPW에 대한 step된 에어브리지를 가진 phase shifter의 주파수에 따른 위상변화를 나타낸 것이다. 그림에서 1~28 GHz까지 약 180°의 위상변화를 보여주고 있다.

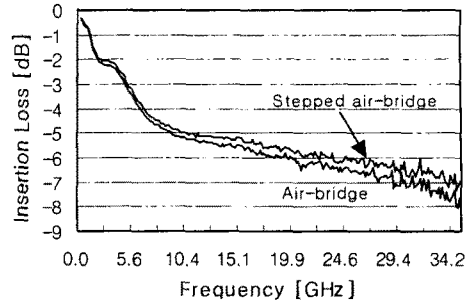


그림 9. 제작된 CPW phase shifter의 삽입손실 비교

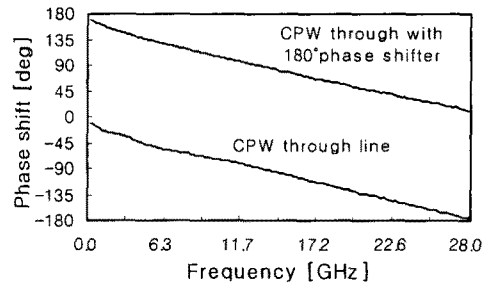


그림 10. 주파수에 따른 측정된 phase shift 특성

3. 결 론

본 논문에서는 10 μm 두께의 다공질 실리콘 산화막으로 제조된 기판을 사용하여 표면 마이크로머시닝 기술로 에어브리지 interconnect된 CPW를 제작하고, 그 특성을 조사하였다. 간격이 30 μm , 신호선이 80 μm 인 CPW air-bridge 전송선의 삽입손실은 4 GHz에서 -0.25 dB이며, 반사손실은 -28.9 dB를 나타내었다. 여기서 50 Ω 로 제작된 S-W-S = 30-80-30 μm 인 CPW의 측정된 특성 임피던스는 45.6 Ω 로 나타났다. S-W-S = 30-100-30 μm 인 step 보상된 에어브리지를 가진 CPW는 반사손실이 4 GHz일 때, Type II에 비하여 -0.98 dB 개선됨을 알 수 있었다. 그리고, 간격이 30 μm , 신호선이 100 μm 인 step된 에어브리지를 가진 CPW phase shifter의 삽입손실은 step이 없는 phase shifter보다 향상된 특성을 보였다. phase shift 특성은 28 GHz에 걸쳐 거의 180°의 위상차를 나타내었다. 이와 같은 결과로부터 두꺼운 다공질 실리콘 위에 다른 전송매체와의 interconnect을 위하여 제작된 에어브리지 interconnect된 CPW는 실리콘 기판을 이용한 고성능, 저가의 마이크로파 및 밀리미터파 회로 응용에 충분히 활용될 수 있으리라 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] C. Warns, W. Menzel, and H. Schumacher, "Transmission lines and passive elements for multilayer coplanar circuits on silicon", *IEEE Microwave Theory Tech.*, vol. 46, no. 5, pp. 616-622, May, 1998.
- [2] C. M. Nam and Y. S. Kwon, "Coplanar waveguides on silicon substrate with thick oxidized porous silicon (OPS) layer", *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 7, no. 8, pp. 236-238, Aug. 1997.
- [3] K. Goverdhanam, R. N. Simons, and L. P. B. Katehi, "Novel three-dimensional vertical interconnect technology for microwave and RF applications", in *IEEE MTT-S Dig.*, 1999, pp. 641-644.