

論文2002-39SD-9-2

산화된 다공질 실리콘 기판 위에 제작된 에어브리지를 가진 CPW Phase Shifter와 Shunt Stub

(CPW Phase Shifter and Shunt Stub with Air-Bridge Fabricated on Oxidized Porous Silicon(OPS) Substrate)

沈俊煥*, 朴東國*, 姜仁鎬*, 權載祐**, 朴正用**,
李鍾玄**, 田重成***, 芮秉德****

(Jun-Hwan Sim, Dong-Kook Park, In-Ho Kang, Jae-Woo Kwon, Jeong-Yong Park, Jong-Hyun Lee, Joong-Sung Jeon, and Byeong-Duck Ye)

요 약

본 논문에서는 표면 마이크로머시닝을 사용하여 10 μm 두께의 다공질 실리콘 산화막으로 제조된 기판 위에 에어브리지를 가진 CPW phase shifter와 shunt stub을 제작하였다. CPW phase shifter의 크기는 $S-W-S_g = 100-30-400 \mu\text{m}$ 로 설계되었다. “ㄷ” 모양을 가진 에어브리지의 폭은 100 μm , 길이는 400-460-400 μm 이다. 낮은 손실을 얻기 위하여, step 된 에어브리지를 가진 CPW phase shifter가 제안되었다. Step된 에어브리지를 가진 구조가 step이 없는 에어브리지를 가진 구조보다 삽입손실이 보다 더 향상되었다. 제작된 CPW phase shifter의 위상특성은 28 GHz의 넓은 주파수 범위에서 180°의 천이를 나타내었다. 그리고 short-end series stub의 동작주파수는 28.7 GHz이며, 반사손실은 -20 dB를 나타내었다. 또한 short-end shunt stub의 동작주파수는 28.9 GHz이며, 반사손실은 -23 dB를 나타내었다. 이상의 결과에서 중앙 전송선에 설계된 stub은 크기 감소로 고 밀도 칩 레이아웃을 이끌 수 있는 장점을 가진다.

Abstract

This paper presents a CPW phase shifter and shunt stub with air-bridge on a 10- μm -thick oxidized porous silicon(OPS) substrate using surface micromachining. The line dimensions of the CPW phase shifter was designed with $S-W-S_g = 100-30-400 \mu\text{m}$. And the width and length of the air-bridge with “ㄷ” shape were 100 μm and 400-460-400 μm , respectively. In order to achieve low attenuation, stepped air-bridge CPW phase shift was proposed. The insertion loss of the stepped air-bridge CPW phase shift is more improved than that of no stepped air-bridge CPW phase shift. The measured phase characteristic of the fabricated CPW phase shifter is close to 180° over a very broad frequency range of 28 GHz. The measured working frequency of short-end series stub is 28.7 GHz and the return loss is -20 dB. And the measured working frequency of short-end shunt stub is 28.9 GHz and the return loss is -23 dB at midband. As a result, the patterning of stub in the center conductor of CPW lines can offer size reduction and lead to high density chip layouts.

* 正會員, 韓國海洋大學校 電波·情報通信工學部
(Division of Radio and Information Communication Engineering, Korea Maritime University)

** 正會員, 慶北大學校 電子電氣컴퓨터工學部
(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

*** 正會員, 韓國海洋大學校 産業技術研究所

(Research Institute of Industrial Technology, Korea Maritime University)

**** 正會員, 韓國海洋大學校 海事輸送科學部
(Division of Maritime Transportation Science, Korea Maritime University)

※ 이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(과제번호:KRF-2001-005-E00016)

接受日字:2002年5月9日, 수정완료일:2002年8月26日

I. 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.^[1~3] 최근에 실리콘 기판 상에 10 μm 두께 이상의 절연층을 형성하여 마이크로웨이브 전송선로 특성을 개선하기 위하여 다공질 실리콘 연구가 보고되었다.^[4~7] 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.

무선통신 시스템에서 phase shifter는 많은 독립된 위상 조정기에 적용되어 왔다. 이러한 응용분야에서 저손실 및 저가의 phase shifter에 대한 기술 개발이 활발하게 진행되고 있다.^[8~9] 그리고 위상필터는 마이크로웨이브 회로에서 중요한 구성요소이다. 복잡한 필터 설계에는 series와 shunt stub 구조를 포함하고 있다. 이들 stub 구조 중에서 center conductor에 패턴화된 CPW stub는 crosstalk와 parasitic radiation을 최소화 할 수 있다. 또한, 이러한 설계는 소자의 크기를 감소시킬 수 있기 때문에, $\lambda/4$ 전송선의 길이를 줄이기 위한 유용한 방법으로 이용될 수 있다.^[10~12] 따라서 본 논문에서는 RF 회로에 응용하기 위하여 낮은 비저항의 실리콘 기판 위에 OPS 층을 형성하고, 그 위에 에어브리지를 가진 CPW phase shifter와 center conductor에 패턴화된 series와 shunt stub를 제조하고, 그 특성을 조사하였다.

II. 설계 및 제작

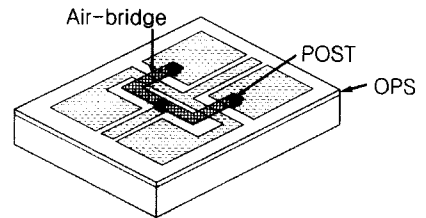
1. 설계

그림 1은 두 가지 종류의 에어브리지로 연결된 CPW phase shifter 구조에 대한 개략도이다. 에어브리지는 “ㄷ” 형태의 모양으로 연결되어 있으며, 각각의 길이는 400-460-400 μm 이다. 그림 1(a)는 폭이 100 μm 이며, 그

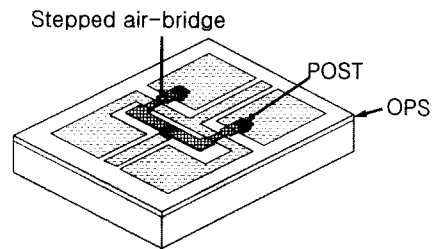
림 1(b)는 손실을 줄이기 위한 step-compensated 에어브리지로서 에어브리지 아래의 신호선과의 교차되는 부분을 양쪽에서 약 20 μm 정도 step을 주어서 폭이 60 μm 이다. 그리고 CPW 전송선은 폭이 100 μm , 간격은 30 μm , 전체 길이는 2 mm로 구성되어 있다. 그림 2는 두 가지 형태의 phase shifter에 대한 각 파라미터를 나타낸 것이고, 표 1은 각 파라미터의 값을 정리한 것이다.

그림 3은 두 가지 종류의 stub을 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 short-end series stub이고, 그림 3(b)는 에어브리지로 연결된 short shunt stub이다. Series stub의 중앙 전송선은 S-W-S_g = 40-20-30 μm 이며, 양쪽에 대칭으로 구성되어 있다. 그리고 중앙 전송선의 전체 폭은 140 μm , 바깥 접지선의 폭은 400 μm 이며, 전체 길이는 2 mm로 되어 있다. 에어브리지를 가진 shunt stub은 중앙 전송선이 S-W-S_g = 50-20-40 μm 이며, 양쪽 대칭으로 구성되어 있다. 그리고 에어브리지는 길이가 120 μm , 폭이 70 μm 로 되어 있다. 중앙 전송선의 전체 폭은 180 μm , 중앙 전송선과 바깥 접지선과의 간격은 30 μm 이며, 전체 길이는 역시 2 mm로 되어 있다.

그림 4는 series와 shunt stub에 대한 각 파라미터를 나타낸 것이고, 표 2는 각 파라미터의 값을 정리한 것이다.



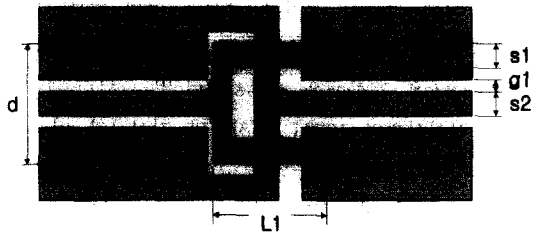
(a) CPW phase shifter with no stepped air-bridge



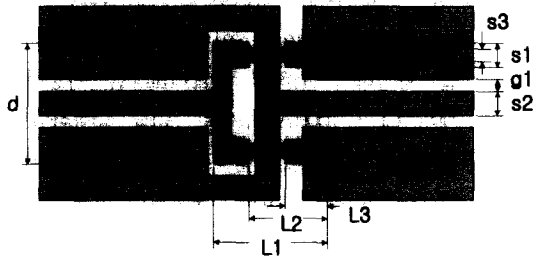
(b) CPW phase shifter with stepped air-bridge

그림 1. “ㄷ” 형태의 에어브리지를 가진 CPW phase shifter의 구조

Fig. 1. Structures of CPW phase shifter with air-bridge of “ㄷ” shape.



(a) CPW phase shifter with no stepped air-bridge



(b) CPW phase shifter with stepped air-bridge

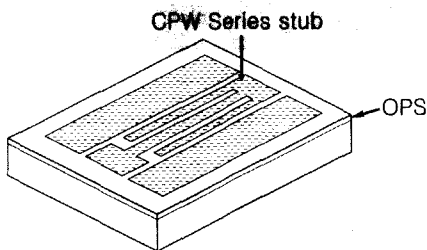
그림 2. CPW phase shifter의 파라미터

Fig. 2. Parameters of CPW phase shifter.

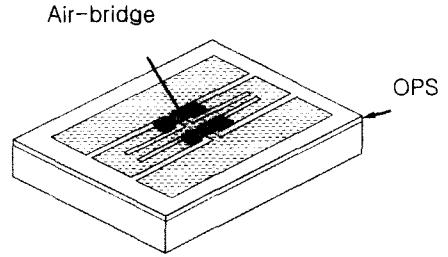
표 1. CPW phase shifter의 파라미터 값

Table 1. Parameter's values of CPW phase shifter.

구조 파라미터	No stepped air-bridge (μm)	Stepped air-bridge (μm)
s1	100	100
s2	100	100
s3	·	60
g1	30	30
d	660	660
L1	20	400
L2	·	310
L3	·	190



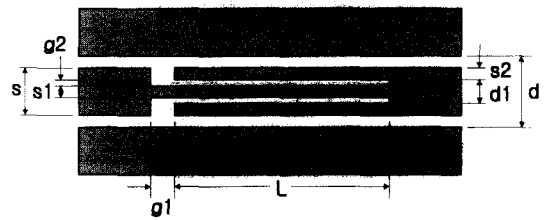
(a) CPW short-end series stub



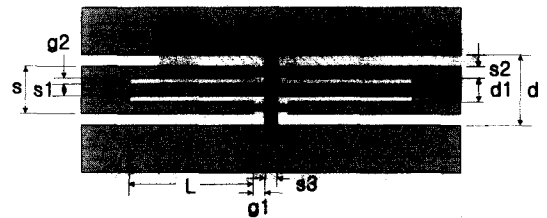
(b) CPW short shunt stub with air-bridge

그림 3. CPW series 및 shunt stub의 구조

Fig. 3. Structures of CPW series and shunt stub.



(a) CPW short-end series stub



(b) CPW short shunt stub with air-bridge

그림 4. CPW series 및 shunt stub의 파라미터

Fig. 4. Parameters of CPW series and shunt stub.

표 2. CPW stub의 파라미터 값

Table 2. Parameter's values of CPW stub.

구조 파라미터	CPW short-end series stub (μm)	CPW short shunt stub with air-bridge (μm)
s	140	180
s1	40	50
s2	30	50
s3	·	40
g1	100	30
g2	20	20
d	200	240
d1	80	80
L	1,500	750

2. 제조 공정

그림 5는 에어브리지로 연결된 CPW phase shifter 및 shunt stub의 제조공정도이다. 사용된 실리콘 기판은 P형 (100), $\rho = 5 \sim 10 \Omega \cdot \text{cm}$ 이며, 두께는 $515 \mu\text{m}$ 이다. 먼저 실리콘 웨이퍼를 양극반응하여 다공질 실리콘을 형성한 후, 다단계 열산화를 사용하여 OPS를 형성

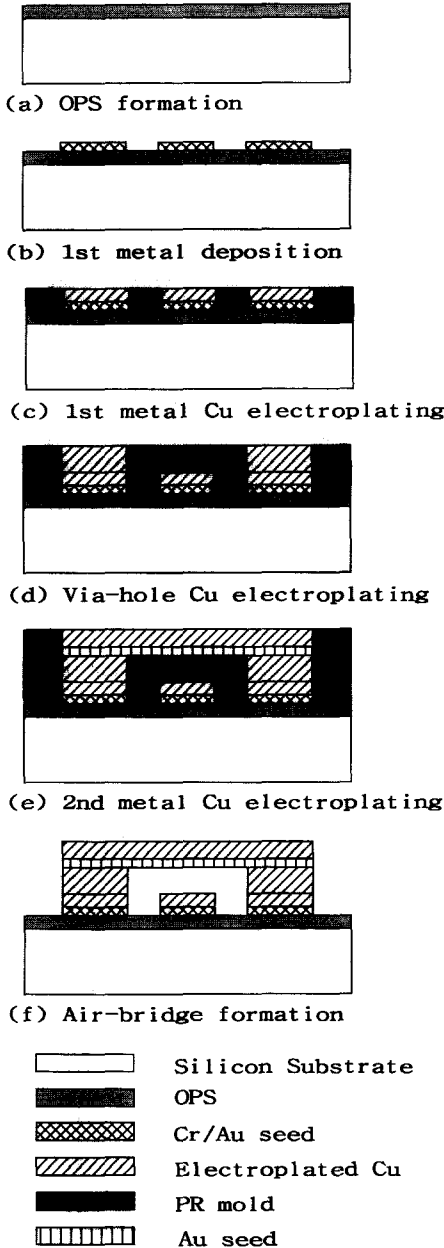


그림 5. Air-bridge interconnect CPW 공정순서
Fig. 5. Process Procedure of Air-bridge inter-connected CPW.

하였다. 이때 다공질 실리콘 형성을 위해 전류밀도는 $20\text{mA}/\text{cm}^2$ 이었고, 반응용액은 48wt% 불산(HF)/에틸알코올($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)을 혼합액을 사용하였다.^[11] 그리고 400°C , 30분의 건식산화와 1000°C , 1시간의 건식산화 및 100°C , 1시간의 습식산화 공정을 수행하여 산화층 내부에 잔존하는 기공을 제거하며, 표면을 치밀화 하는 다단계 열산화 공정을 수행하였다^[12](그림 5(a)). 그림 4는 다단계 열산화된 $10 \mu\text{m}$ 두께의 산화된 다공질 실리콘 층을 나타낸 전자 현미경 사진이다. 이렇게 형성된 OPS 위에 CPW를 형성하기 위하여 evaporator를 이용하여 500\AA 두께의 Cr과 1000\AA 두께의 Au를 증착하였다. PR공정으로 Cr/Au 패턴링하여 1차 도금을 위한 base metal seed layer를 형성하였다(그림 5(b)). 도금용 PR공정으로 1차 도금을 위한 영역을 정의하여 Cu 도금을 행하였다. 이때, 도금은 5분간의 무전해 도금과 전류밀도가 10mA 로서 15분 동안 전해도금을 수행하였다(그림 5(c)). 그리고 에어브리지를 base metal과 연결하기 위하여 도금용 PR공정으로 Via 영역을 정의하여 2차 도금을 행하였다. 이때 사용된 도금공정은 3분간의 무전해 도금과 5mA 의 전류 밀도로 7분간의 전해 도금하였다(그림 5(d)). 다음으로 에어브리지를 seed layer 형성을 위하여 evaporator를 이용하여 1000\AA 두께의 Au를 증착하였다. 이어서 Au를 패턴링한 후, 도금용 PR공정으로 도금할 영역을 정의하여 3차 도금을 행하였다. 이때 도금은 5분간의 무전해 도금과 5mA 의 전류 밀도로 10분간의 전해 도금하였다(그림 5(e)). 마지막으로 아세트론에 시편을 5분 정도 담궈 희생층으로 사용된 모든 PR을 제거하여 에어브리지를 형성하였다(그림 5(f)).

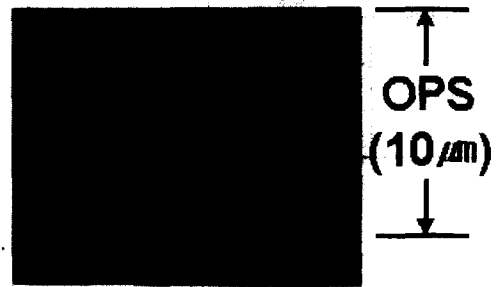


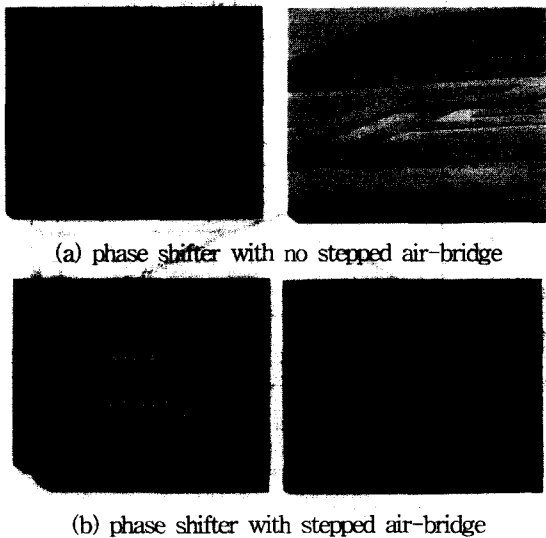
그림 6. $10 \mu\text{m}$ 두께의 산화된 다공질 실리콘
Fig. 6. $10\text{-}\mu\text{m}$ -thick oxidized porous silicon.

III. 결과 및 토의

1. CPW phase shifter

그림 7은 제작된 CPW phase shifter의 전자 현미경 사진이다. 제작된 Cu 전송선의 두께는 2 μm , "c" 모양의 에어브리지의 두께는 3 μm 이다. 여기서 희생층으로 사용된 PR은 완전히 제거되었으며, 에어브리지는 완전히 떠 있는 구조를 이루고 있음을 알 수 있다.

제작된 소자의 phase shifter에 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.



(a) phase shifter with no stepped air-bridge

(b) phase shifter with stepped air-bridge

그림 7. 제작된 CPW phase shifter의 SEM 사진
Fig. 7. SEM photograph of the fabricated CPW

그림 8은 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 9는 기준이 되는 CPW에 대한 step된 에어브리지를 가진 phase shifter의 주파수에 따른 위상변화를 나타낸 것이다. 그림에서 1~28 GHz까지 약 180°의 위상변화를 보여주고 있다. 그리고, 그림 10은 step된 에어브리지를 가진 CPW phase shifter 구조에서 주파수에 따른 180° 위상변화의 변화폭을 나타낸 것이다. 측정된 주파수 범위에서 위상의 변화는 거의 없음을 보여주고 있다.

2. CPW series and shunt stub

그림 11은 제작된 CPW series 와 shunt stub의 전자 현미경 사진이다. 여기서도 희생층으로 사용된 PR은

완전히 제거되었고, 에어브리지는 완전히 떠 있음을 알 수 있다. 그림 12는 제작된 short-end series stub의 주파수에 따른 시뮬레이션 및 측정된 전송특성을 나타낸 것이다. 그림 12(a)에서 시뮬레이션된 동작주파수 $f_0 = 28.5$ GHz이며, 그림 12(b)에서 측정된 동작주파수는 28.7 GHz이다. 동작주파수의 결과치는 예상치보다 약 +0.7% 이동하여 시뮬레이션 값과 거의 일치함을 알 수 있다. 그리고, 동작주파수에서 삽입손실은 시뮬레이션 값보다 측정치가 약 -10 dB 정도의 차이를 보이고 있다. 이것은 실제 제작시에 나타난 소자의 크기의 변화와 OPS 유전막의 유전율을 시뮬레이션에서 설정한 값과 실제 제작된 소자의 유전율과의 차이에 기인한다고 할 수 있다.

그림 13은 제작된 에어브리지를 가진 short-end shunt stub의 주파수에 따른 측정된 전송특성을 나타낸 것이다. 그림에서 측정된 동작주파수는 $f_0 = 28.9$ GHz로서 설계된 값과 거의 일치함을 알 수 있었다. 그리고 midband에서 반사손실은 약 -20.3 dB 이다. 이상의 결

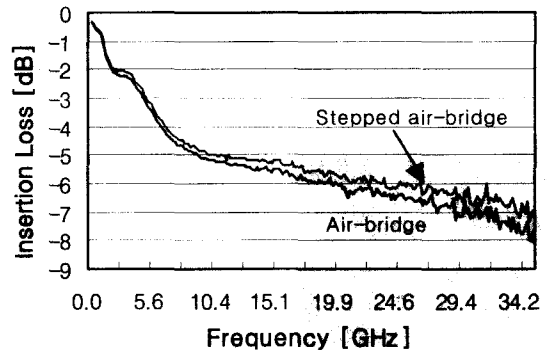


그림 8. 제작된 CPW phase shifter의 삽입손실 비교
Fig. 8. Comparison of insertion loss of the fabricated CPW phase shifter.

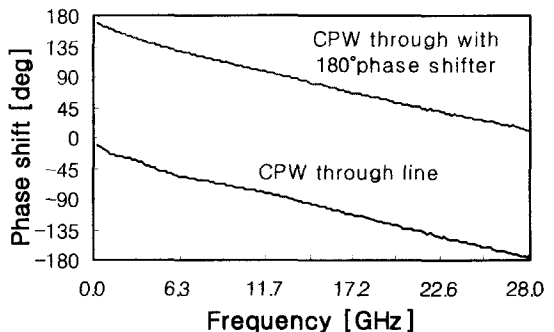


그림 9. 주파수에 따른 측정된 phase shift 특성
Fig. 9. Measured phase shift versus frequency.

과로부터, 중앙 전송선에 설계된 series와 shunt stub은 기존의 접지선에 설계된 stub에 비하여 size reduction 효과를 가지면서 성능의 향상을 얻을 수 있었다.

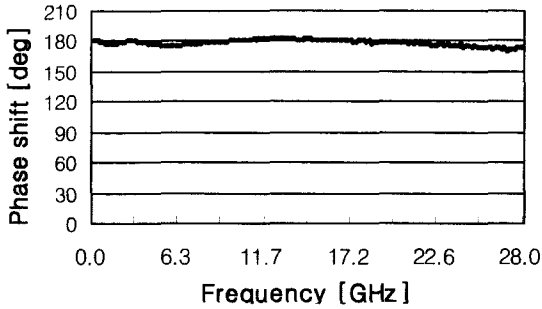
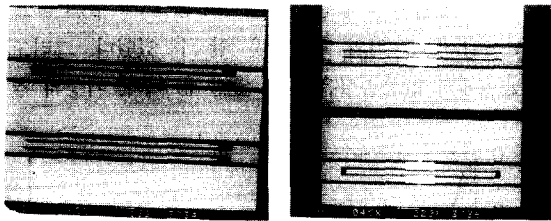
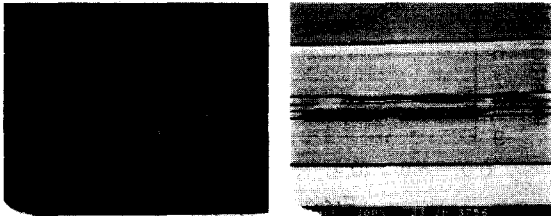


그림 10. 주파수에 따른 180° phase shift의 변화
Fig. 10. Variation of 180° phase shift versus frequency.

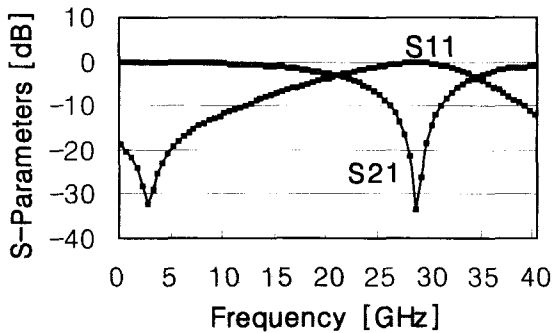


(a) series and shunt stub

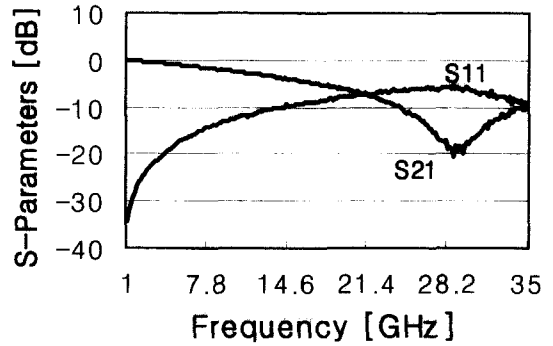


(b) magnified air-bridge of shunt stub

그림 11. 제작된 series and shunt stub의 SEM 사진
Fig. 11. SEM photograph of the fabricated series and shunt stub.



(a) simulated performance



(b) measured performance

그림 12. series stub의 시뮬레이션 및 측정 결과
Fig. 12. Simulated and measured results of series stub.

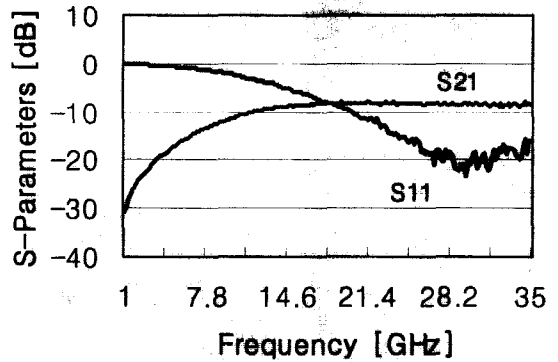


그림 13. 에어브리지를 가진 shunt stub의 측정 결과
Fig. 13. Measured results of shunt stub with air-bridge.

IV. 결 론

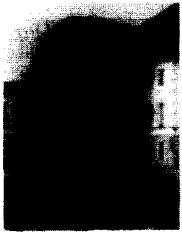
본 논문에서는 실리콘 기판상의 전송선로 특성을 개선하기 위하여 10 μm 두께의 다공질 실리콘 산화막으로 제조된 기판을 사용하여 표면 마이크로머시닝 기술로 에어브리지로 연결된 CPW phase shifter와 stub를 제작하고, 그 특성을 조사하였다. 간격이 30 μm 신호선이 100 μm 인 step된 에어브리지를 가진 CPW phase shifter의 삽입손실은 step이 없는 phase shifter보다 향상된 특성을 보였다. phase shift 특성은 28 GHz에 걸쳐 거의 180°의 위상차를 나타내었다. 그리고, 제작된 short-end series stub의 동작주파수는 28.7 GHz이며, 동작주파수의 결과치는 시뮬레이션 값보다 약 +0.7% 이 동하여 예상치와 거의 일치함을 알 수 있다. 또한, CPW shunt stub의 동작주파수도 28.9 GHz로 예상치에

거의 근접하게 나타났다. 이상의 제작된 결과로부터, 두꺼운 OPS 기판 위에 제작된 에어브리지로 연결된 CPW phase shifter 및 shunt stub는 실리콘 기판을 이용한 고성능, 저가의 마이크로파 및 밀리미터파 회로 응용에 충분히 활용될 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] J. Buechler, E. Kasper, P. Russer, and K. Strohm, "Silicon high-resistivity-substrate millimeter-wave technology", *IEEE Microwave Theory Tech.*, Vol. MITT-34, pp. 1516~1521, Dec. 1986.
- [2] A. C. Reyes, S. M. El-Ghazaly, S. Dorn, M. Dydyk, and D. K. Schroder, "Silicon as a microwave substrate", in *IEEE MTT-S Dig.*, 1994, pp. 1759~1762.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] R. J. Welty, S. H. Park, P. M. Asbeck, K. -P. S. Dancil, and M. J. Sailor, "Porous silicon technology for RF integrated circuit applications", in *Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems*, 1998, pp. 160~163.
- [6] R. L. Peterson and R. F. Drayton, "Dielectric properties of oxidized porous silicon in a low resistivity substrate", in *IEEE MTT-S Dig.*, 2001, pp. 765~768.
- [7] 권재우, 박정용, 이동인, 이종현, 김전황, 이해영, 심준환, "산화된 다공질 실리콘 기판 위에 제작된 MMIC용 Air-Bridge Interconnect를 가진 Coplanar Waveguides", 2001년도 대한전자공학회 통신 소사이어티 및 신호처리 소사이어티 추계학술발표회 논문집, Nov. 2001, pp. 357~360
- [8] N. S. Barker and G. M. Rebeiz, "Optimization of distributed MEMS phase shifters", in *IEEE MTT-S Dig.*, 1999, pp. 299~302.
- [9] A. Borgioli, Y. Liu, A. S. Nagra, and R. A. York, "Low-loss distributed MEMS phase shifter", *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, Vol. 10, No. 1, pp. 7~9, Jan. 2000.
- [10] S. Iordanescu, G. Bartolucci, S. Simion, and M. Dragoman, "Coplanar waveguide stub/filters on thin membranes and standard substrates", in *IEEE MTT-S Dig.*, 1997, pp. 357~360.
- [11] K. Hettak, N. Dib, A. Omar, G. Y. Delisle, M. G. Stubbs, S. Toutain, "A useful new class of miniature CPW shunt stubs and its impact on millimeter-wave integrated circuits", *IEEE Microwave Theory Tech.*, Vol. 47, No. 12, pp. 2340~2349, Dec. 1999.
- [12] K. Hettak, T. Laneve, and M. G. Stubbs, "Size-reduction techniques for CPW and ACPS structures", *IEEE Microwave Theory Tech.*, Vol. 49, No. 11, pp. 2112~2116, Nov. 2001.

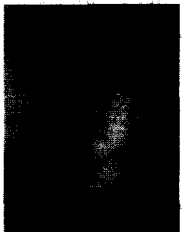
저 자 소 개



沈俊煥(正會員)

1991년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사). 1993년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학석사). 1998년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학박사). 1998년 9월~현재: 한국해양대학교 전파·정보통신공학부 조교수. <주

관심분야: 집적회로설계 및 공정기술, 반도체센서, 마이크로머시닝기술, RF-MEMS>



朴東國(正會員)

1987년 2월: 부산대학교 전자공학과(공학사). 1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1994년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사). 1994년 8월 - 1996년 3월: LG전자 선임연구

원. 1996년 4월 - 현재: 한국해양대학교 전파·정보통신공학부 부교수. 2000년 1월 - 2001년 1월: 미국 UCLA 전기공학과 방문교수. <주관심분야: 안테나, RF MEMS, 이동통신 부품>

姜仁鎬(正會員)

1982년 3월 - 1986년 2월: 서강대학교 전자공학과(공학사). 1987년 3월 - 1989년 2월: 서강대학교 전자공학과(공학석사). 1992년 3월 - 1996년 2월: 서강대학교 전자공학과(공학박사). 1989년 3월 - 1992년 2월: 경주전문대학 전임강사. 1992년 3월 - 1996년 3월: 신홍전문대학 조교수. 1996년 4월 - 현재: 한국해양대학교 전파·정보통신공학부 부교수. <주관심분야: RFIC 설계, 초고주파 수동 및 능동 회로설계>

權載祐(學生會員) 第39券 SD編 第4號 參照

현재: 경북대학교 전자전기공학부 대학원 박사과정 재학

朴正用(正會員) 第39券 SD編 第4號 參照

현재: (주) 티오스 연구소장

李鍾玄(正會員) 第37券 SD編 第2號 參照

현재: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수



田重成(正會員)

1989년 2월: 대구대학교 물리학과(이학사). 1997년 2월: 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사). 2000년 8월: 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과(공학박사).

2000년 7월~현재: 한국해양대학교 산업기술연구소 전임연구원. <주관심분야: 마이크로 수동 및 능동 회로설계, 전자파 수치해석, 위성통신 시스템 등>

芮乘德(正會員)

1983년 2월: 한국해양대학 항해학과 졸업(공학사). 1985년 2월: 한국해양대학 대학원 항해학과 졸업(공학석사). 1996년 3월: 일본 톳토리 대학 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 3월: 일본 톳토리 대학 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박사). 1986년 12월 - 1989년 11월 상선 1등항해사 근무. 1989년 12월 - 1991년 3월 한국해양대학 조교. 1991년 4월 - 현재: 한국해양대학 해사대학 교수. <주관심분야: 반도체 박막 센서 제작 및 특성 해석, 신호 처리, 신경회로망, 퍼지 이론>