

논문 2004-41SD-8-6

마이크로머시닝 기술을 이용한 새로운 형태의 고주파 저손실 Microstrip 전송선의 제작

(Fabrication of novel micromachined microstrip transmission line for millimeter wave applications)

이 한 신*, 김 성 찬*, 임 병 옥*, 신 동 훈**, 김 순 구**, 박 현 창**, 이 진 구***

(Han Shin Lee, Sung-Chan Kim, Byeong-Ok Lim, Dong-Hoon Shin, Soon-Koo Kim, Hyun-Chang Park, and Jin-Koo Rhee)

요 약

본 논문에서는 RF 부품 수동소자 중 가장 기본적인 요소가 되는 전송선로를 DAML(Dielectric-supported Airbridge Microstrip Line) 형태의 새로운 구조로 제안하였으며, MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술 중 표면 마이크로머시닝(surface micromachining) 기법을 이용하여 구현하였다. 제안된 구조는 마이크로스트립 라인(microstrip line)의 응용 형태로서 기존의 신호선(signal line)과 ground 사이에 유전체 지지대(dielectric post)를 사용하였고, 신호선을 공중으로 띄우면서 넓은 범위의 임피던스에서 유전체 손실(dielectric loss)을 최소화 하였다. 본 논문에서 제작된 전송선로는 10 μm 의 신호선의 높이와 10 $\mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 의 지지대(post) 면적과 9 μm 의 지지대(post)의 높이와 5 mm의 길이로 제작 되었다. 50 GHz에서 일반적인 마이크로스트립(microstrip) 전송선의 손실이 약 7.5 dB/cm 이상 되는 것과 비교하여 본 논문에서 제안한 구조에서는 50 GHz에서 전송선의 손실이 약 1.1 dB/cm가 되는 것을 얻었다.

Abstract

This paper describes a new GaAs-based surface-micromachined microstrip line supported by dielectric post and air-gapped signal line with ground metal. This new type of dielectric-supported air-gapped microstripline(DAML) structure is developed using surface micromachining techniques to provide easy means of airbridge connection between the signal lines and to archive low losses at millimeter-wave frequency band with wide impedance range. Each DAMLs with the length of 5 mm are fabricated and the measured characteristics are compared with those of the conventional microstrip transmission line. These transmission lines are composed of 10 μm height of signal line, post size of 10 $\mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$, and post height of 9 μm . By elevating the signal lines from the substrate using the micromachining technology, the substrate dielectric loss can be reduced. Compared with of the conventional microstrip transmission line showing 7.5 dB/cm loss at 50 GHz, the loss can be reduced to 1.1 dB/cm loss at 50 GHz.

Keywords : MMIC, Surface MEMS, Microstrip line, DAML

I. 서 론

최근의 통신 시장의 급속한 발전으로 가용주파수 대역의 불가피한 확장이 이루어 졌다. 이에 따라 밀리미터파 대역에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 수십 GHz 이상의 밀리미터파 대역을 이용한 초고주파 회로의 제작 기술은 회로를 구성하는 핵심 부품을 하나의 기판에 함께 제작하는 방식을 취하는 단일 초고주파 집적회로(MMIC: Monolithic Microwaves Integrated Circuit)가 주류를 이루고 있다. MMIC 회로는 반도체 공

* 학생회원, ** 정회원, *** 중신회원
동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터
(Millimeter-wave INnovation Technology research center, Dongguk university)
※ 본 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터
를 통한 한국과학 재단의 우수 연구센터 지원금에
의하여 수행되었음.
접수일자: 2003년8월21일, 수정완료일: 2004년7월21일

정을 기반으로 하는 평면 구조이고 소자와 소자를 연결하는 전송선도 평면구조를 가져야 하므로 대부분의 MMIC 회로는 마이크로스트립과 CPW를 전송선으로 사용하고 있다^{1,2)}. 현재 MMIC 회로에서 가장 많이 사용되고 있는 마이크로스트립 전송선의 경우 많은 연구가 이루어졌지만, 공정 측면에서는 ground와의 연결을 위해서는 반드시 back side via-hole 공정이 필요한데, 이 공정은 전체 MMIC 공정 비용 중 상당한 부분을 차지하며, 수율(yield)에도 큰 영향을 준다. 또한 전기적 면으로 보아도 밀리미터 대역 이상의 주파수에서는 전송선의 손실이 큰 문제점으로 나타난다. 마이크로스트립에서 신호는 quasi-TEM 모드로 전송되며 도체에 의한 손실, 사용 주파수가 높아지면서 두드러지게 나타나는 방사(radiation) 손실과 기판에 의한 유전체 손실 등이 전송선 손실의 주원인이다.

최근 들어서 이러한 손실 문제를 해결하기 위하여 MEMS 기술을 활용한 저손실 전송선의 연구가 여러 그룹에서 진행되고 있다³⁻¹⁰⁾. 하지만 현재 개발된 전송선들은 기존의 전송선에 비교하여 고주파에서는 손실 특성이 뛰어난 장점을 가지고 있는 반면에 매우 복잡한 공정 조건과 MMIC 회로에 적합하지 않은 구조적 단점을 가지고 있다. 또한 CPW 형태를 기본으로 하는 전송선 구조에서는 CPW의 열전달 문제와 라이브러리의 미비 등이 여전히 존재하고 있다. 그래서 본 연구에서는 MMIC 회로에 사용 가능 할 수 있는 마이크로스트립 라인을 기본으로 MEMS 기술을 사용하여 기존의 문제를 해결 할 수 있는 구조를 제안하였다. 제안한 전송선은 dielectric 지지대를 이용해서 공기중에 떠있는 DAML(Dielectric-supported Airbridge Microstrip Line)형태의 마이크로스트립 라인을 MEMS 기술로 구현하였다. 본 연구에서 제안한 전송선은 기존의 마이크로스트립 라인에서 필드가 유전체를 매질로 하여 전송되는 것과는 달리 signal line을 MEMS 기술을 이용하여 공기 중으로 올려서 공기를 전송의 매질로 사용하도록 하였다. 이렇게 되면 유전체의 손실을 줄일 수 있으며 전송선을 제작하는 공정도 간단하여 MMIC 회로와 집적하기에 용이하다는 장점도 가지고 있다.

본 논문에서는 RF 부품 수동소자 중 가장 기본적인 요소가 되는 전송선로를 DAML(Dielectric-supported Airbridge Microstrip Line)형태의 새로운 구조로 제안하였으며, MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술 중 표면 마이크로머싱닝(surface micromachining) 기법을 이용하여 구현하였다. 제안된 구조는 마이크로

스트립 라인(microstrip line)의 응용 형태로서 신호선(signal line)과 ground 사이에 유전체 지지대(dielectric post)를 사용하여 신호선을 공중으로 띄워 기판의 유전체를 공기로 사용함으로써 기판에 의한 유전체 손실을 최소화 하였다.

II. 저손실 전송선로의 구조와 시뮬레이션(simulation) 특성

본 논문에서 제안한 구조는 기존의 마이크로스트립에서 필드가 유전체를 매질로 하여 전송되는 것과는 달리 신호선을 MEMS 기술을 사용하여 공기 중으로 올려서 공기를 전송의 매질로 사용하도록 하였다. 이렇게 되면 유전체에 의한 손실을 줄일 수 있는 장점이 있다. 이러한 전송선은 기본적으로 마이크로스트립 구조를 사

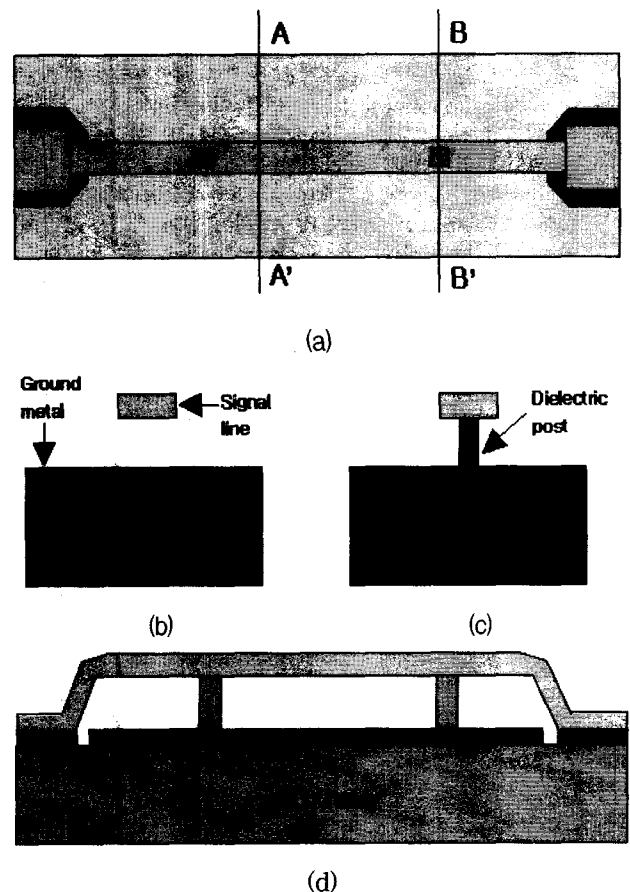
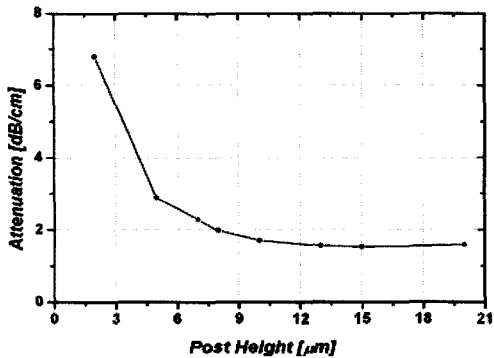
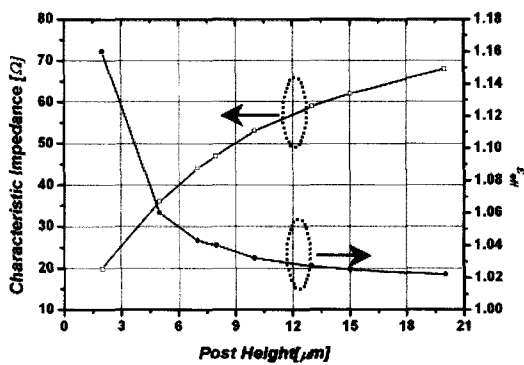


그림 1. 제안된 DAML 구조, (a) DAML의 평면도, (b) A-A'의 단면적, (c) B-B'의 단면적, (d) 길이 방향의 단면적

Fig. 1. Proposed DAML Structure, (a) Top view of DAML, (b) Cross section of A-A', (c) Cross section of B-B', (d) Cross section of longitudinal direction.



(a)



(b)

그림 2. 지지대 높이 변화에 따른 손실 특성과 임피던스 변화, (a) 감쇄 특성, (b) 임피던스 및 유효 유전상수

Fig. 2. Attenuation characteristic, impedance, and effective dielectric constant by a change of the height of signal line, (a) Attenuation characteristic, (b) Impedance and effective dielectric constant.

용하므로 기존에 많이 연구되어 있는 마이크로스트립 구조들을 쉽게 적용 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 구조적으로 마이크로스트립 구조를 갖지만 동일 평면에 신호선과 ground가 있기 때문에 via-hole과 같은 복잡한 공정없이 간단히 제작 할 수 있고 전송의 매질이 공기이기 때문에 기판 유전체에 의한 손실을 줄일수 있는 장점을 가지고 있다. 그림 1은 본 논문에서 제안한 DAML 구조를 보여주고 있다. 제안한 전송선은 크게 ground 금속, 유전체 지지대(dielectric post)와 신호선 금속(signal line metal)의 세 부분으로 구성되어 있다. 가운데 신호선은 기판에 의한 유전체 손실을 최소화 할수 있는 폴리미드(polyimide) 유전체를 지지대로 사용하여 공기 중에 떠 있는 형태로써 표면 마이크로머싱닝 기법을 사용하였다. 위의 DAML 마이크로스트립 라인 은 Ansoft사의 HFSS 시뮬레이션 툴(tool)을 사용하여 설계하였다. 이 시뮬레이션 툴을 사용하여 ground

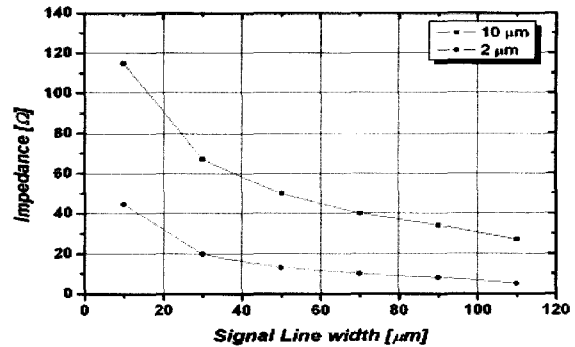


그림 3. Signal line width 변화에 따른 임피던스

Fig. 3. Signal line width vs. characteristic impedance.

와 신호선사이의 높이, 신호선의 폭, 신호선 금속의 두께 등의 파라미터를 바꿔가면서 이들 사이의 관계와 그에 따른 전송선의 특성을 시뮬레이션 하였다. 그림 2는 GaAs 기판위에서 주파수가 50 GHz일 때, 신호선의 폭은 30 μm로 일정하게 놓고 신호선을 지지해주는 지지대의 높이 변화에 따른 DAML 마이크로스트립 전송선의 손실 특성으로 전송선의 감쇄 상수, 임피던스와 유효 유전율을 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과에서 볼수 있듯이 높이가 낮을 경우에는 손실이 매우 크며, 높이가 증가할수록 감소하다가 어느 정도 이상에서는 손실의 감소가 거의 없음을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과를 보면 15 μm 이상에서는 거의 손실이 일정함을 보여주고 있다. 그림 3은 높이 2, 10 μm에서 신호선의 두께에 따른 임피던스를 EM-시뮬레이션을 통해서 계산한 결과이다. 높이가 매우 낮은 2 μm의 경우 신호선의 폭을 아주 작게 하지 않는 경우 큰 임피던스를 얻기가 쉽지 않으며, 높이가 10 μm의 경우 신호선의 폭이 약 50 μm정도에서 50 Ω의 임피던스를 갖는 것을 알 수 있으며, 신호선의 폭을 변화시킴으로서 약 25 ~ 120 Ω을 얻을 수 있었다. 또한 2 μm 높이의 전송선이 10 μm 높이의 전송선 보다 큰 감쇄 상수를 가짐을 알 수 있다. 주파수 50 GHz에서 시뮬레이션의 결과는 높이가 2 μm인 경우 6.8 dB/cm, 높이가 10 μm인 경우 1.71 dB/cm가 각각 계산 되었다.

III. 저손실 전송선로의 제작

위 장에서 설계된 전송선을 MEMS 기술 중 표면 마이크로머싱닝(surface micromachining) 기법을 사용하여 제작하였다. 전체 길이는 5 mm이고 기판으로부터 공중에 떠 있는 신호선까지 거리는 7, 10 μm이며 금속의 두께는 1 μm와 7 μm로 제작하였다. 그림 4는 표면 마

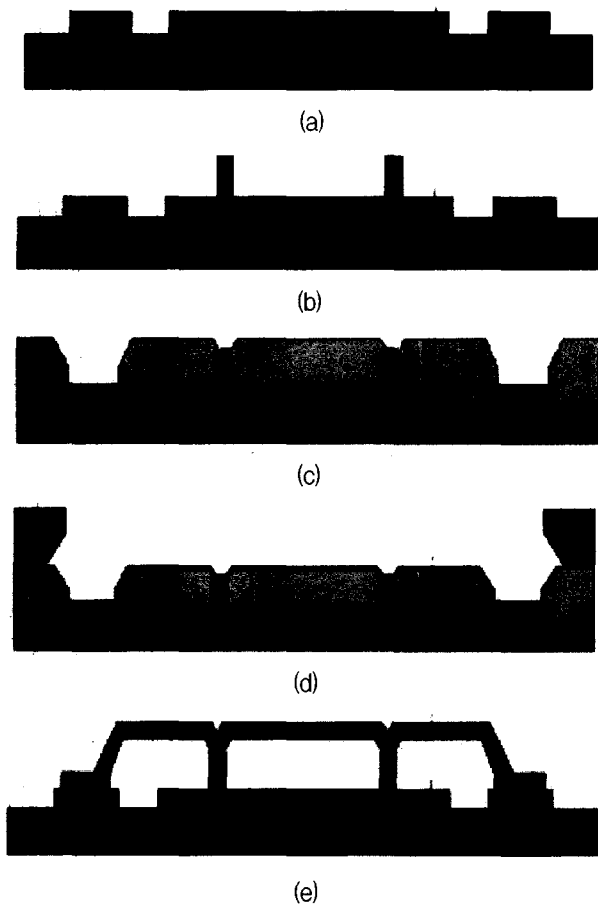


그림 4. DAML의 제작 공정 순서, (a) Ground 금속 형성(Ti/Au 500/4000 Å), (b) 지지대 지역 형성(높이: 9 μm), (c) 희생층의 형성과 베이킹, (d) Au 박막 증착 및 second 금속 패터닝, (e) 희생층의 lift-off

Fig. 4. Fabrication process of DAML, (a) Ground metal formation(Ti/Au 500/4000 Å), (b) Post area formation (height: 9 μm), (c) Sacrificial photo-resist patterning and baking, (d) Thin Au evaporation & Second metal patterning, (e) Sacrificial layer lift-off.

이크로머시닝 기술을 이용한 DAML 구조의 공정 순서 도이다. 그림 4(a)는 ground 영역을 형성하기 위하여 Ti/Au를 열적 증착기를 이용하여 각각 증착하였다. 그림 4(b)는 지지대 영역을 형성하는 과정으로 폴리미드 (polyimide) 유전체를 사용하여 코팅(coating)과 패터닝 (patterning) 과정을 수행하여 6, 9 μm 높이의 구조물을 각각 제작하였다. 그림 4(c)는 희생층을 형성하기 위해 post 높이보다 높은 두께를 갖도록 AZ4903 포토레지스트(photo resist)를 사용하여 사진 식각 공정을 통한 패터닝 과정을 수행하였다. 다음으로 신호선 금속을 증착시킬 때 수직적인 레지스트의 구조로 인한 신호선이 단락되는 현상과 후속 공정시의 열적 안정화를 위하여 대

류 오븐에서 베이킹(baking) 과정을 수행하여 희생층 레지스트의 곡선 형태의 profile을 얻을 수 있었다. 그림 4(d)는 신호선 패터닝시에 희생층(AZ4903)이 현상되는 것을 방지하기 위하여 전송선의 금속 두께가 1 μm인 경우는 Au 박막을 열 증착 방식으로 증착하였다. 신호선 영역의 패터닝 과정을 수행하기 위하여 AZ5214 포토레지스트로 영상 반전 공정을 이용하여 패터닝을 수행하였으며, 후에 Au 에천트(etchant)를 이용하여 노출되어진 Au 박막을 제거하였다. 마지막 과정인 그림 4(e)는 신호선 금속을 형성시키기 위하여 열 증착 방식을 사용하여 Ti/Au를 500/10000 Å 각각 증착시켰다. 금속 증착 후 희생층(AZ4903)을 제거하기 위하여 아세톤 (acetone)을 이용하여 lift-off 공정을 수행하였으며 신호선을 폴리미드가 지지대 역할을 하고 지지대 부분을 제외한 부분은 공중에 떠 있는 air-bridge 형태의 전송선로가 형성되었다.

다음으로 7 μm의 신호선 금속 두께를 얻기 위한 공정으로 희생층 영역을 형성하는 공정과정(그림 4(c))까지는 위의 1 μm의 금속의 두께를 갖는 제작 공정과 같은 방법을 사용하였으며, 희생층 이후의 공정으로 7 μm 두께의 신호선 금속을 증착시키기 위해서는 열 증착으로서는 불가능한 높이가 되어서 Au plating 장비를 사용하여 제작하였다. 얇은 Au 박막 대신 전송선 도금 기반층으로 Ti/Au를 각각 열 증착 방법을 사용하여 연속적으로 증착하였다. 그 위에 신호선 영역의 패터닝 과정을 수행하기 위하여 다시 한 번 AZ4903 포토레지스트를 7 μm보다 높은 두께로 패터닝 과정을 수행하여 도금틀을 형성하였다. 다음 공정으로 Au plating장비를 사용하여 7 μm 높이의 Au를 증착하였다. 이때 도금액의 온도는 60 °C를 유지하였으며 전류밀도는 0.3 A/dm²의 조건을 사용하였다. Au를 증착 시킨 후 도금틀을 아세톤을 이용하여 제거하였으며 다음으로 seed 금속층을 제거하기 위하여 Au etchant를 이용하여 노출된 Au 층을 제거하였고, Ti층은 BOE(Buffered Oxide Etchant)를 사용하여 제거하였다. 마지막 과정으로 희생층 영역을 제거하기 위하여 다시 한 번 아세톤을 이용하여 희생층 영역을 제거하여 공기 중에 떠 있는 전송선이 형성되었다. 그림 5는 제작 완성된 DAML 전자현미경 사진이다. 신호선과 ground 사이에 존재하던 희생층이 모두 제거 되었으며, 안정된 모습의 전송선로를 보여주고 있다. 측정을 위하여 전송선로 양끝 단에 패드(pad)를 연결하였다.

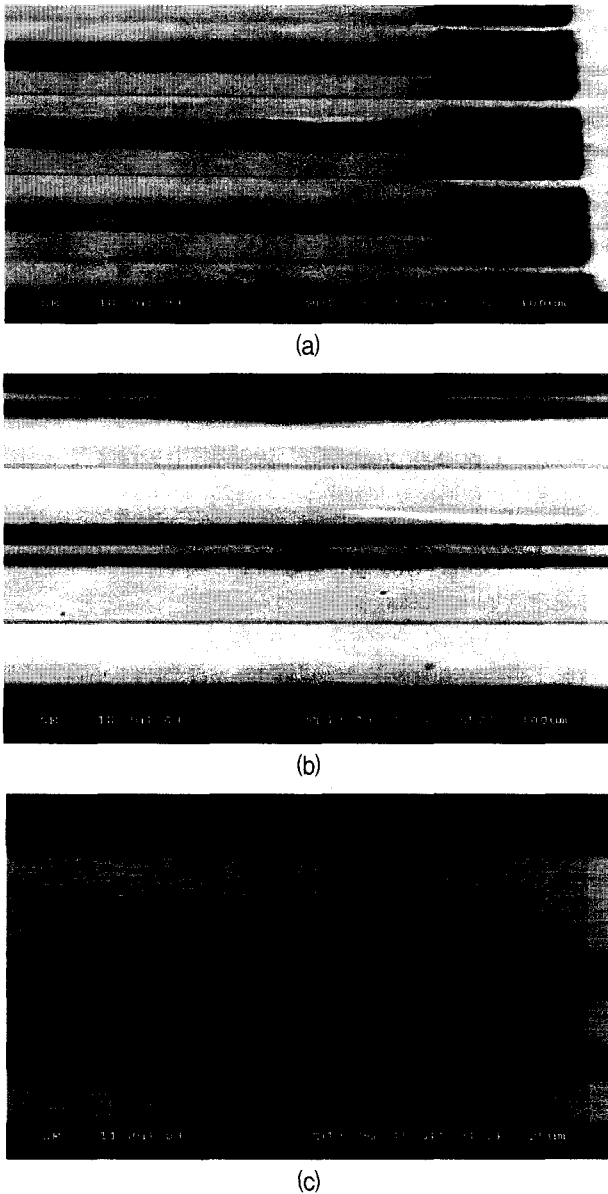


그림 5. DAML의 전자 현미경 사진, (a) 패드 영역, (b) 지지대 영역, (c) 공기 중에 떠 있는 전송선로
 Fig. 5. SEM photograph of fabricated DAML, (a) Area of the pad, (b) Area of the post, (c) the signal line elevated from the substrate.

IV. 측정 결과

제작 완성된 전송선로는 HP8510C vector network analyzer를 사용하여 100 MHz부터 50 GHz까지의 주파수 범위에서 on-wafer 측정하여 전송선의 산란계수 (S-parameter)를 얻었다. 측정방법은 Agilent에서 제시하는 calibration 방법에 의거하였다. Probe 끝단을 기준으로 GGB사에서 제공하는 calibration substrate의 SOLT (Short-Open-Load-Thru) 절차로 수행하였다. 측정 주파수 전대역에서 reflection은 -40 dB 이하, transmi-

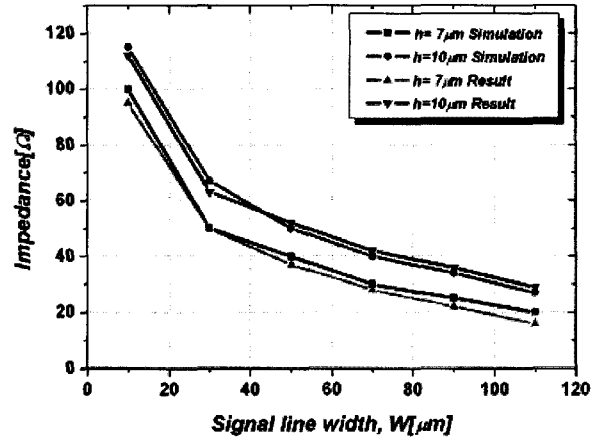


그림 6. 특성 임피던스의 측정값과 시뮬레이션값 비교
 Fig. 6. Comparison of simulation and measurements of characteristic impedance.

표 1. 신호선의 ground의 높이와 신호선 금속의 두께 변화에 따른 특성 임피던스
 Table 1. The characteristic impedance by the change of the height and the thickness of the signal line metal.

신호선 높이(H)	신호선의 금속두께(T)	특성 임피던스 (W=10 ~ 110 μm)	손실 (@50 GHz) (W=70 μm)
7 μm	1 μm	100 ~ 20 ohm	2.2 dB/cm
10 μm	1 μm	115 ~ 27 ohm	1.5 dB/cm
10 μm	7 μm	106 ~ 24 ohm	1.1 dB/cm

ssion은 ± 0.2 dB 이내, 0.2 ° 이내의 오차로 보정된다. 그림 6은 특성 임피던스 측정값과 시뮬레이션 값을 서로 비교한 그래프로 신호선의 두께는 1 μm로 일정한 경우 높이 변화에 따른 임피던스의 변화를 보이고 있으며 시뮬레이션 값과 측정값이 거의 일치함을 알 수 있다.

표 1은 신호선의 ground로부터의 높이와 신호선 금속의 두께변화에 따른 임피던스 값을 보여주고 있다. 이 결과에서 볼 수 있듯이 신호선의 폭의 변화에 따라 24 ~ 106 Ω의 특성임피던스를 얻을 수 있었다.

그림 7은 신호선의 폭 변화와 ground와의 높이 변화에 따른 주파수 손실 특성을 보이고 있다. 그림 7(a)는 신호선과 ground와의 간격은 10 μm이고 신호선 금속의 두께는 1 μm이다. 이 때 신호선의 폭이 70 μm인 경우 손실 값은 50 GHz 주파수에서 1.5 dB/cm, 50 μm의 경우는 2.5 dB/cm, 30 μm일 때는 3.7 dB/cm의 손실 특성을 보이고 있다. 그림 7(b)는 신호선과 ground와의 간격은 10 μm이고 신호선 금속의 두께가 7 μm로 변화 하였을 때의 손실특성 결과로서 신호선의 폭이 70 μm인 경우 손실 값은 50 GHz 주파수에서 1.1 dB/cm, 50 μm의

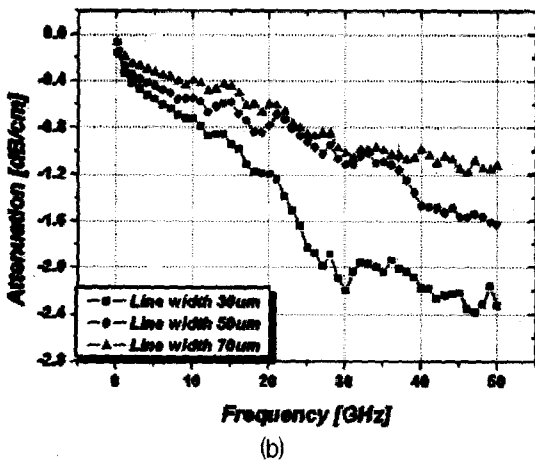
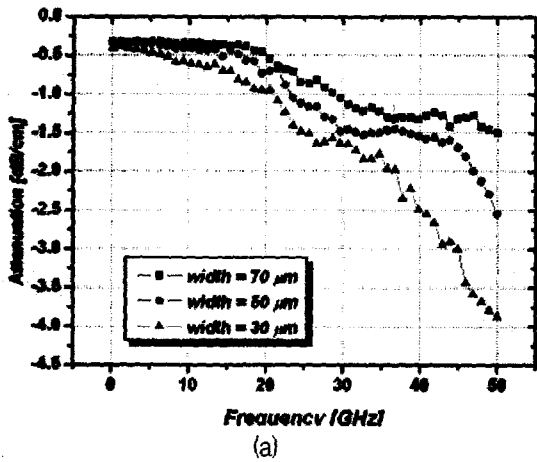


그림 7. 신호선 폭에 변화에 따른 감쇄 특성, (a) 높이: 10 μm , 금속두께: 1 μm , (b) 높이: 10 μm , 금속두께: 7 μm

Fig. 7. Measured attenuation of DAMLs vs. different signal line width, (a) height: 10 μm , metal thickness: 1 μm , (b) height: 10 μm , metal thickness: 7 μm .

경우는 1.5 dB/cm, 30 μm 일 때는 2.2 dB/cm의 손실 특성을 보이고 있다. 이로써 신호선의 폭 및 두께가 증가할수록 전류밀도의 집중 현상을 방지하므로 인한 손실 특성이 향상되는걸 알 수 있었다. 그림 8은 신호선과 ground와의 간격 변화에 따른 손실 특성으로서 신호선 금속의 두께는 7 μm 이며 신호선의 폭이 30 μm 일 때를 서로 비교하였다. 이 결과 신호선과ground와의 간격이 10 μm 인 경우 50 GHz 주파수에서 2.3 dB/cm의 특성을 보였으며, 간격이 7 μm 의 경우는 3.2 dB/cm의 손실 특성을 보이면서 신호선과 ground와의 간격이 넓어질수록 전기장의 세기 및 전류밀도가 약해져서 손실이 향상되는걸 알 수 있다.

본 논문에서 얻어진 결과는 다른 연구 그룹의 저손실 전송선로에 비하여 제작 방법이 매우 간단하면서도 우

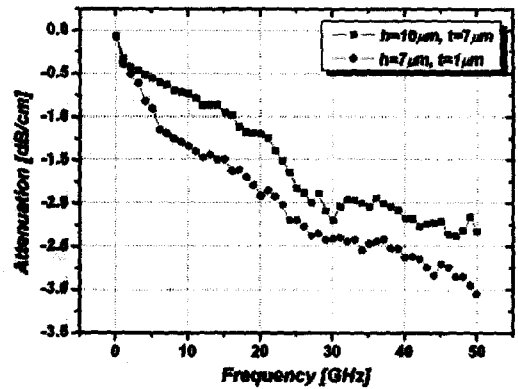


그림 8. 신호선과 ground와의 높이에 따른 감쇄 상수
Fig. 8. Attenuation characteristic vs. height of signal line.

표 2. 저손실 전송선로의 특성 비교
Table 2. Comparison of the characteristics of low loss transmission lines.

비교	손실특성 (dB/cm)	측정주파수 (GHz)
Reference 5	6	50
Reference 6	0.35	25
Reference 11	< 1	50
Reference 12	1.3	40
본 논문	1.1	50

수한 손실특성을 나타내었다. 표 2에 타 저손실 전송선로와의 특성비교를 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 GaAs 기판 위에 표면 마이크로머싱 기법을 이용하여 저손실 전송선로를 제작하였다. DAML의 구조는 마이크로스트립 형태이며 유전체 손실을 최소화하기 위하여 신호선이 기판으로부터 공기중에 7, 10 μm 의 높이를 갖고 떠 있도록 폴리머드 유전체를 지지대로 사용하였으며 일정한 간격으로 배치시켰다. DAML의 측정결과 신호선과 ground와의 거리가 10 μm 이고 신호선의 금속 두께가 7 μm 일 때 106 ~ 24 Ω 사이의 넓은 임피던스 범위를 가졌으며 50 GHz에서 1.1 dB/cm의 낮은 손실 특성을 보였다. 본 논문에서 제시한 DAML은 위의 결과로서 밀리미터파 대역에서의 전송선로의 손실을 최소화함으로써 집적화를 통한 MMIC 성능을 향상시킬 수 있으며 또 다른 수동소자의 응용에도 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

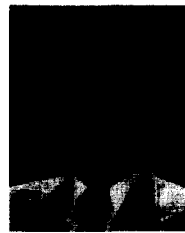
참고 문헌

- [1] C. Kermarrec, et al., "The first GaAs fully integrated microwave receiver for DBS applications at 12 GHz", 14th European Microwave Conference Proceedings, pp. 749-754, 1985.
- [2] R. Majidi-Ahy, et al., "5~100 GHz InP coplanar waveguide MMIC distributed amplifier", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.38, pp. 1986-1993, 1990
- [3] L. Katehi, G. Rebeiz, T. Weller, R. Drayton, H-J Cheng, and J. Whitaker, "Micromachined Circuits for Millimeter and Sub-millimeter-wave Applications", IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 35, no. 5, pp. 9-17, October 1993.
- [4] H. Kamitsuna, "A Very Small, Low-Loss MMIC Rat-Race Hybrid Using Elevated Coplanar Waveguides", IEEE Microwave and guided wave letters, vol. 2, no. 8, pp. 337-339, August 1992.
- [5] H. Henri, S. Gonzague, V. Matthieu, C. Alain, D. Gilles, "Ultra low loss transmission lines on low resistivity silicon substrate", Microwave Symposium Digest. 2000 IEEE MTT-s International, vol. 3, pp. 1809-1812, Boston, America, June 2000.
- [6] E. C. Park, Y. S. Choi, B. I. Kim, J. B. Yoon, and E. S. Yoon, "A Low Loss MEMS Transmission Line with Shielded Ground", Micro Electro Mechanical Systems, MEMS-03 Kyoto. IEEE The Sixteenth Annual International Conference on, pp. 136-139, Jan. 19-23, 2003.
- [7] V. Milanovic, M. Gaitan, E. D. Bowen, M. E. Zaghoul, "Micromachined microwave transmission lines in CMOS technology", Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, vol 45, no 5, pp. 630-635, May 1997.
- [8] G. E. PonchaK and A. N. Downey, "Characterization thin film microstrip lines on polyimide", Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part B: Advanced Packaging, IEEE Transactions on, vol. 21, no. 2, pp. 171-176, May 1998.
- [9] T. L. Willke and S. S. Gearhart, "Novel Micromachined Liga Microstrip Transmission Lines and Filters", Microwave Symposium Digest. IEEE MTT-s International, pp. 1189-1192, 2000.
- [10] J. R. Thorpe, D. P. Steenson, and R. E. Miles, "High frequency transmission line using micromachined polymer dielectric", Electronics Letter, vol. 34, no. 12, pp. 1237-1238, June 1998.
- [11] Youngwoo Kwon, Hong-Teuk Kim, Jae-Hyoung Park, and Yong-Kweon Kim, "Low-loss micromachined inverted overlay CPW lines with wide impedance ranges and inherent airbridge connection capability", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 11, no. 2, pp. 59-61, Feb 2001.
- [12] Inho Jeong, Seong-Ho Shin, Ju-Hyun Go, Joong-Soo Lee, Choong-Mo Nam, Dong-Wook Kim, and Young-Se Kwon, "High performance air gap transmission lines for millimeter wave applications," IEEE Microwave Symposium Digest, vol. 2, pp. 661-664, 2002.

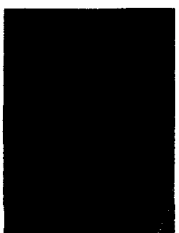
저자 소개



이 한 신(학생회원)
2002년 환경대학교 전자공학과
공학사
2002년 3월~현재 동국대학교
대학원 전자공학과 석사과정
<주관심분야: RF MEMS 수동 소
자 공정, 밀리미터파 소자 제작>



김 순 구(정회원)
1989년 동국대학교 물리학과
이학사
1984년 동국대학교 물리학과
이학석사
1994년 동국대학교 물리학과
이학박사
1999년~현재 동국대학교 밀리미터파 신기술
연구센터 연구교수
<주관심분야: 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작>



김 성 찬(학생회원)
1999년 동국대학교 전자공학과
공학사
2001년 동국대학교 전자공학과
공학석사
2001년 3월~현재 동국대학교
대학원 전자공학과 박사과정
<주관심분야: 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작>



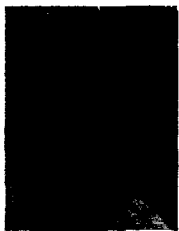
박 현 창(정회원)
1986년 서울대학교 전자공학과
공학사
1989년 Cornell University 전자
공학과 공학석사
1993년 Cornell University 전자
공학과 공학박사
1992년~1995년 University of Virginia 연구원
1995년~현재 동국대학교 전자공학과 부교수
<주관심분야: 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작>



임 병 옥(학생회원)
2000년 환경대학교 전자공학과
공학사
2002년 동국대학교 전자공학과
공학석사
2002년 3월~현재 동국대학교
대학원 전자공학과 박사과정
<주관심분야: 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작>



이 진 구(중신회원)
1969년 국립 항공대학교
전자공학과 공학사
1975년 서울대학교 전자공학과
공학석사
1982년 Oregon State University
전기공학과 공학박사
1985년 Cray Research, USA, Research Scientist.
1985년 Microwave Semiconductors, USA,
Senior Engineer
1990년~1991년 University of Michigan,
Visiting Research Scientist
1995년~현재 한국 전자과학기술 이사
2002년~현재 대한전자공학회 부회장
1985년~현재 동국대학교 전자공학과 교수
1999년~현재 동국대학교 밀리미터파 신기술
연구센터 소장
<주관심분야: 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작>



신 동 훈(정회원)
1982년 동국대학교 물리학과
이학사
1984년 동국대학교 물리학과
이학석사
1999년 런던대학교 전기전자
공학과 공학박사
1999년~현재 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구
센터 연구교수
<주관심분야: 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작>