

해양 IT 소자에의 응용을 위한 RFIC/MMIC용 초소형 저임피던스 윌킨슨 전력분배기 설계

(: , :)

Highly Miniaturized and Low impedance Wilkinson Power Divider on RFIC/MMIC for application to IT components of Ocean Engineering.

Choong-ryul KIM⁺, Young YUN⁺⁺

Abstract : In this paper we propose low-impedance and miniaturized a wilkinson power divider on MMIC passive component which was fabricated by a novel microstrip line structure employing periodically perforated ground metal (PPGM). The novel microstrip line structure showed much lower impedance and shorter guided-wavelength than conventional one. Using the novel microstrip line with periodically perforated ground metal, a miniaturized 17 power divider was fabricated. The line width of the power divider was 20 μm , and the size of it was 0.110 mm², which is 21 % of conventional one. The power divider exhibited good RF performances from 10 to 20 GHz.

Key words : PPGM: Periodically perforated ground metal(주기접지금속막), Power coupler/divider(전력결합/분배기), GaAs(가), Low-impedance()

1. 서 론

정보화 사회의 급속한 발전에 따라 통신 방식이 점차 유선 방식에서 무선 방식으로 발전하였다. 특히 선박통신 장비의 대부분이 무선 통신장비에 의존하고 있다.

무선 통신 방식은 시간과 공간의 제약을 받지 않고 휴대가 간편한 소형, 경량화 된 단말기를 필요로 한다. 이에 따른 서비스를 제공 할 수 있는 시스템의 개발과 각 부품들의 자체 개발이 우선적으로 선행되어야 하는 것은 필수적이다.

따라서 정보화 사회의 통신 수단인 무선통신 기술에서 신호를 주고받는 기능을 하는 송수신 부품은 가장 중요한 부품의 하나로 시스템의 성능을 좌우하

로 시스템의 경쟁력을 확보하기 위해서는 부품의 집적화에 의한 소형화, 저가격화가 요구되는 한편 고기능화가 요구되고 있다.

따라서 MMIC/RFIC 상에 있어 소형화, 집적화는 가장 중요하다. 예를 들어 GaAs MMIC상의 전력증폭기, 송수신단의 배런스형 믹서(balanced mixer)등의 소형화, 집적화에 있어 입출력 단의 전력결합/분배기(power coupler/divider)등과 하이브리드 등의 수동소자가 요구되는데 일반적인 RF 송수신단에는 저잡음 증폭기를 제외하고는 적어도 100 μm 이상의 게이트 폭(Wg)을 가지는 FET(field effect transistor)가 사용된다. 이러한 GaAs FET는 보통 10 ~ 25 Ω 의 낮은 게이트 입력임피던스를 가지며, 따라서 회로구성을 간략화하기 위해서는 FET입력부에 10 ~ 25 Ω 의 저임피던스 선로로 제작된 전력결합/분배기

+ 김 충 열(한국해양대학교 전파공학과), E-mail: curukim@empal.com, Tel: 051)410-4426
++ 윤 영 , 한국해양대학교 전파공학과

또는 하이브리드 등이 필요하다.^{[1]~[4]}

그러나 GaAs 기판 뒷면에 접지 금속막을 가지는 기존의 마이크로스트립 선로를 이용하여 저임피던스 선로를 제작하는 경우 (30 Ω 이하의 특성임피던스 선로) 선로 폭이 매우 커진다. 예를 들어 100 μm의 높이를 가지는 GaAs 기판상에 20 Ω 선로를 제작하는 경우 선로 폭은 약 400 μm가 되며, 15 Ω 선로를 제작하는 경우 선로 폭은 약 800 μm이 된다.

따라서 기존의 마이크로스트립 선로를 이용해서 전력결합/분배기 또는 하이브리드 등의 수동소자를 MMIC상에 집적하는 것은 매우 어려우므로, 면적이 큰 수동소자들은 MMIC가 실장된 프린트 기판상에 제작된다.^{[1]~[4]} 이는 곧 MMIC실장 모듈(module)면적의 증가와 모듈실장 가격 증가의 원인이 된다.

따라서 본 논문에서는 GaAs MMIC상의 수동소자의 소형화를 위하여, 주기적 홀을 가지는 접지금속막 선로 구조가 제안되었다.^[5] 즉 선로 사이와 GaAs 기판 뒷면의 접지금속막 사이에 사다리형의 주기 접지 금속막을 삽입하여 선로의 용량성분을 증가시킴으로써, 선로의 저임피던스화를 실현함과 동시에 선로파장 감소에 의한 MMIC 수동소자 사이즈의 축소를 실현하였다. 그리고 상기 선로구조를 이용하여 GaAs 기판 상에 17 Ω 임피던스라인으로 MMIC용 월킨슨 전력결합/분배기를 설계하였다.

2. 주기 접지금속막을 이용한 GaAs MMIC용 소형 · 저임피던스 마이크로스트립 선로

일반적인 마이크로스트립 라인의 선로구조와 LC등가 회로 구조는 Fig.1 에 보여 진다. 선로의 캐패시턴스 Ca는 GaAs 기판의 접지금속막과 선로 사이의 단위 길이 당 값이다. 또한 기존의 마이크로스트립 라인은 주기적인 LC등가회로로 표현되고 특성임피던스 Z_0 와 선로파장 λ_g 은 다음과 같이 표현된다.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1)$$

$$\lambda_g = \frac{1}{f/LC} \quad (2)$$

C:선로와 GaAs 접지금속막 사이의 단위 길이 당 용량 (C=Ca)

L:선로의 단위길이당 인덕턴스 값

f:동작 주파수

즉 선로와 접지금속막 사이의 용량 C가 증가 할수록 특성임피던스 Z_0 와 선로파장 λ_g 은 감소한다.

따라서 마이크로스트립 선로 사이와 GaAs 기판 뒷면의 접지금속막 사이에 주기적 홀을 가지는 접지금속막을 삽입하여 선로의 용량성분 C를 증가시킴으로써, 선로의 저임피던스화를 실현함과 동시에 선로 파장 감소에 의한 MMIC 수동소자 사이즈의 축소를 실현한 연구 결과가 보고되었다.^[5]

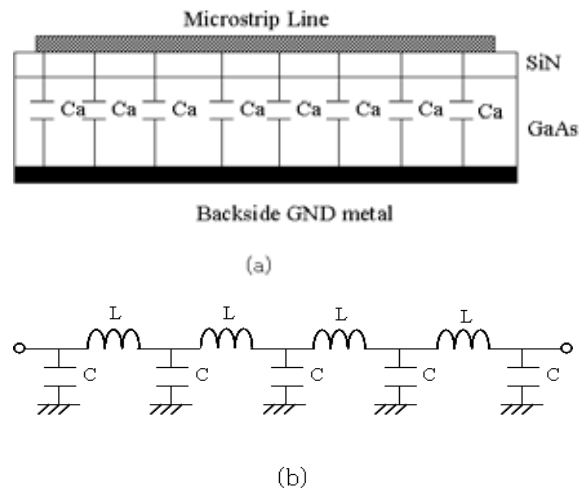


Fig.1 (a) The conventional microstrip line structure and, (b) equivalent circuit.^[5]

Fig.2의 (a)는 본 논문의 주기적 홀을 가지는 접지금속막 마이크로스트립 선로 구조이다.

Figure 2 (b)는 Fig.2.(a)의 X-X방향에 대한 단면구조이다, 선로와 GaAs 기판의 접지금속막 사이에 추가로 주기적 홀을 가지는 접지금속막 (PPGM: periodically perforated ground metal)을 삽입하였으며 주기 접지금속막은 via hole을 통해서 GaAs 기판의 접지금속막에 연결되어 접지전위를 공급한다. 접지금속막과 선로 사이에는 SiN(실리콘나이트라이드) 박막을 삽입하였다.

Figure 2 (c)는 Y-Y방향에 대한 단면구조이다. 접

지금속막 선로구조의 용량에 있어서, 기존의 마이크로 스트립 라인 구조에서의 용량 C_a 뿐만 아니라 접지 금속막과 선로 사이의 용량 C_b 가 추가적으로 존재한다. 기존의 마이크로스트립 선로구조(Fig.1)에서는 식 (1), (2)의 용량 $C=C_a$ 이지만, Fig.2. (a)-(c)의 접지금속막 선로에 대해서는 $C=C_a+C_b$ 가 되므로, 주기적 홀을 가지는 접지금속막 선로의 임피던스와 선로 파장은 기존의 선로 구조에 비해 줄어들게 된다.

Figure 2 (a)의 주기적 홀의 간격 T , 선로 간격 L 등을 조절하면 주기 접지금속막과 선로 사이의 용량 C_b 는 쉽게 변화시킬 수 있으며 그 결과 특성임피던스 Z_0 와 선로파장 λ_g 의 크기를 조절 할 수 있다.

주기적 홀을 가지는 접지금속막 선로구조에 대해서 주기적 홀의 간격 T , 주기적 홀의 폭 L 을 각각 $20 \mu\text{m}$ $5 \mu\text{m}$ 로 설정하였다.

Figure 3과 4는 주기적 접지금속막 선로구조에 대한 특성임피던스의 파장을 보여준다.

Figure 3에서 보는 바와 같이 기존의 마이크로스트립 선로의 경우에는 선로폭 W 가 $400 \mu\text{m}$ 일 때 특성 임피던스가 20Ω 인 반면, 주기 접지금속막 선로구조의 경우에는 선로폭 W 가 $20 \mu\text{m}$ 일 때 특성임피던스가 17Ω 정도이다.

Figure 4는 주기 접지금속막 선로구조와 기존의 선로구조의 선로파장의 선로폭 W 의 의존성에 대한 측정결과를 보여준다. 선로파장은 개방스터브로부터 측정하였으며, 10 GHz 에서 측정하였다. 선로 폭 W 가 $20 \mu\text{m}$ 인 기존의 선로의 경우에는 선로파장이 5.6 mm 인 반면, 선로폭 W 가 $20 \mu\text{m}$ 인 주기적 홀을 가지는 접지금속막 선로의 경우에는 선로파장이 2.2 mm 밖에 되지 않는다.

상기 결과들로부터 본 논문의 선로구조를 이용하면, 선로의 저임피던스화를 실현함과 동시에 선로파장 감소에 의한 MMIC 수동소자 사이즈를 축소할 수 있음을 알 수 있다.^[5] 이를 이용하여 본 논문에서는 PPGM 선로 구조의 전력결합/분배기를 설계하였다. 이는 기존의 마이크로스트립 선로 구조를 이용하는 것보다 소형화가 용이하여 MMIC/RFIC 상의 수동소자 설계에 적합하다.

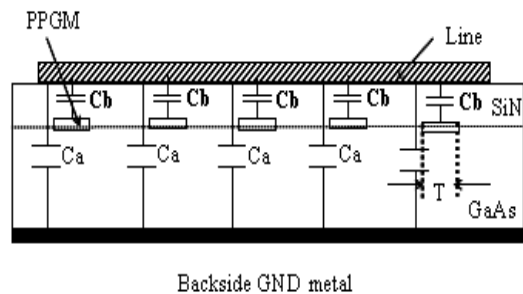
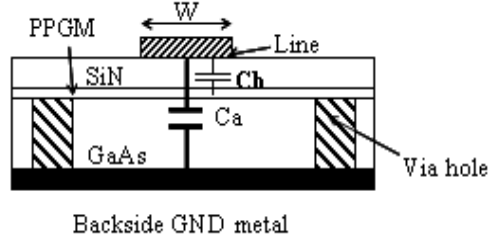
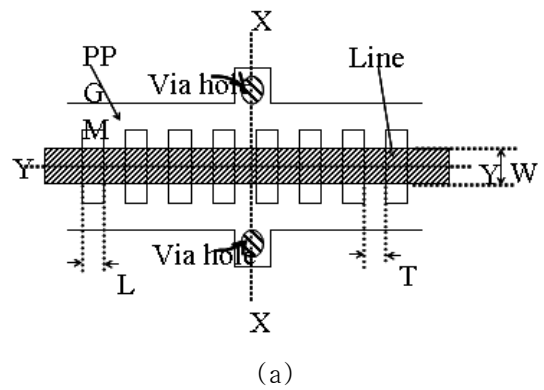


Fig.2 (a) A Microstrip line structure employing PPGM and (b) a cross-sectional view according to X-X direction and, (c) a cross-sectional view according to Y-Y direction.^[5]

- L: inductance originating from line and loop current of hole.
- Cb: capacitance between line and PPGM.
- Cg: gap capacitance between the adjacent lines of PPGM.

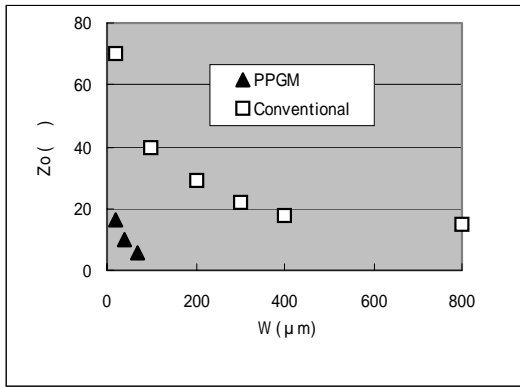


Fig. 3. Measured characteristic impedance Z_0 for the novel microstripline employing PPGM and conventional one.

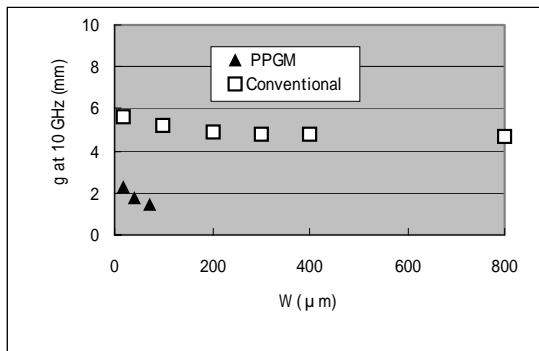


Fig. 4. Measured guided-wavelength λ_g for the novel microstrip line employing PPGM and conventional one.

3. RFIC/MMIC용 소형, 저임피던스 일킨슨 전력결합/분배기 설계

본 논문은 PPGM을 응용하여 전력증폭기, 믹서 등의 전력결합/분배에 있어서 필수적인 power divider를 GaAs MMIC 용으로 설계 시뮬레이션 하였다. GaAs는 두께 95um, 유전율 12.58 loss tangent는 0.006이고 SiN는 두께는 0.1um, 유전율은 6.8 loss tangent는 0.002로 설정하였다.

Power divider는 중심주파수가 15GHz이며, 임피던스가 17Ω인 선로구조로 설계하였으며, 이에 대한 레이아웃은 Fig.5에 보여 진다.

기존의 선로구조를 이용하면 17 Ω 선로의 선로폭

800 μm이고 선로의 높이 95 μm인 GaAs 기판상에 설계하는 경우, 선로과장 λ_g 는 약 5 mm ($\lambda_g/4=1.25$ mm)이며, 반면 17 Ω 선로인 선로폭 20 μm의 주기적 홀을 가지는 접지금속막 선로구조를 설계하는 경우는 선로과장 λ_g 는 약 1.68 mm ($\lambda_g/4=0.42$ mm)이다.

따라서 기존의 선로구조를 이용하여 동작중심주파수가 15 GHz인 17 Ω 선로 power divider를 높이 95 μm의 GaAs 기판상에 제작하는 경우 선로폭은 약 800 μm 정도가 되며, power divider의 면적은 약 4 mm²가 된다. 그러나 본 논문의 주기 접지금속막 선로구조를 이용하여 상기 power divider를 제작하면 선로폭은 20 μm가 되며, 그 면적은 종래의 선로구조를 이용하여 제작한 power divider의 약 21%인 0.110 mm²가 된다.

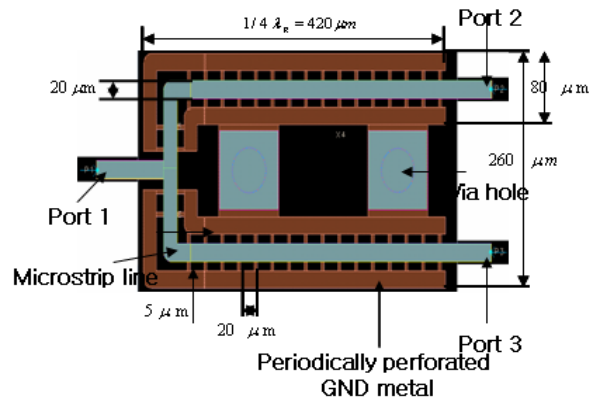
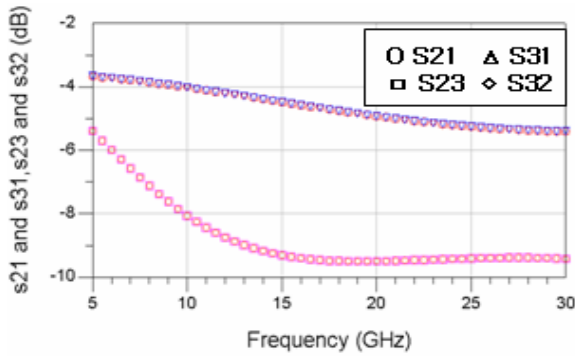
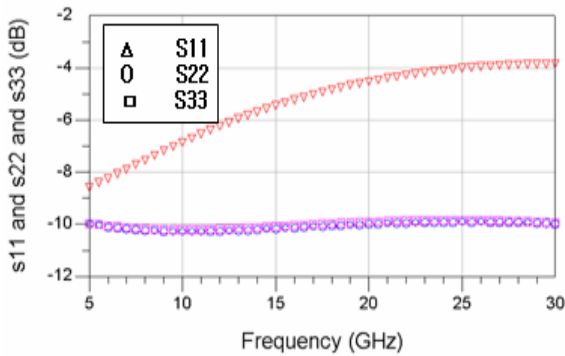


Fig. 5. A layout of the power divider fabricated by the novel microstrip line employing PPGM.

Figure 6 (a)는 상기 power divider의 전력분배 및 절연특성을 보여주며, Fig.6 (b)는 반사계수를 보여준다. 측정데이터는 9.2 Ω 포트임피던스로 표준화되었다. 10~20 GHz에 걸쳐서 양호한 전력분배 특성이 관찰되며 10~20 GHz 사이에서 -9dB 이하의 양호한 절연특성을 관찰할 수 있다. 또한 동작 중심주파수 15GHz에서 전력분배는 -4dB 절연 특성은 -9.3dB 정도이다. 그리고 반사계수는 s_{11} , s_{22} , s_{33} 각각 -5.4dB, -10dB 이다.



(a)



(b)

Fig. 6. (a) Power division and isolation characteristics for the power coupler/divider and, (b) reflection coefficient.

4. 결 론

본 논문에서는 GaAs MMIC상에 저임피던스/소형화 수동소자를 구현하기 위하여, 주기적 홀을 가지는 접지금속막 선로구조를 응용하였으며 이로부터 소형화된 power divider를 설계 시뮬레이션 하여 선로의 저임피던스화와 선로파장의 축소 및 수동소자의 소형화를 실현하였다. 제안된 선로구조를 응용하여 GaAs기판상에 17 Ω 임피던스라인으로 MMIC용 윌킨슨 전력결합/분배기를 설계 하였다. 선로폭은 종래의 1/40인 20 μm였으며, 그 면적은 종래의 약 21 %인 0.117 mm²이었다. 설계된 전력결합/분배기는 10 ~ 20 GHz 사이에서 양호한 RF특성을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 한국해양대학교 신진교수연구비지원사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] K.Matsunaga, I.Miura and N. Iwata, "A CW 4-W Ka-Band Power Amplifier Utilizing MMIC Multichip Technology", *IEEE J. Solid State Circuits*, vol.35, no.9 pp.1293-1297, 2000.
- [2] I. Bahl, P. Bhartla, *Microwave Solid State Circuit Design*, John Wiley & Sons, Inc., Chapter 10, 1988.
- [3] Y.Itoh, M.Nii, N.Takeuchi, Y. Tsukahara and H.Kurebayashi, "MMIC/Super-MIC/MIC-Combined C- to Ku-Band 2W Balanced Amplifier Multi-Chip Module", *IEICE Trans. Electron.*, vol. E80-C, no. 6, pp. 757-762, 1997.
- [4] D. R. Webster, G.Ataei and D. G. Haigh, "Low-Distortion MMIC Power Amplifier Using a New Form of Derivative Superposition", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol.49, no.2, pp. 328-332, 2001.
- [5] Young Yun, 'Miniaturised, low impedance ratrace fabricated by microstrip line employing PPGM on MMIC' *IEE Electronics Letters*, Vol. 40, No.9, pp. 540-541, April, 2004 [SCI]