

Si RFIC상의 온칩 수동소자에의 응용을 위한 주기적 접지 금속막 선로를 이용한 단파장 전송선로 개발

조한나* · 박영배** · 윤영†

(원고접수일 : 2007년 12월 11일, 심사완료일 : 2008년 2월 11일)

Development of Short-Wavelength Transmission Line Employing Periodically Perforated Ground Metal for Application to Miniaturized On-chip Passive Components on Si RFIC

Han-Nah Joh* · Young-Bae Park** · Young Yun†

Abstract : In this study, highly miniaturized short-wavelength transmission line employing periodically perforated ground metal (PPGM) structures were developed for application to miniaturized on-chip passive component on Si RFIC. The transmission line employing PPGM structure showed shorter wavelength and lower characteristic impedance than conventional coplanar-type transmission line. The wavelength of the transmission line employing PPGM structure was 57% of the conventional coplanar-type transmission line on Si Radio Frequency Integrated Circuit (RFIC) substrate. Basic characteristics of the transmission line employing PPGM structure were also investigated in order to evaluate its suitability for application to a development of miniaturized passive on-chip components. According to the results, it was found that the PPGM structure is a promising candidate for application to a development of miniaturized on-chip passive components on Si RFIC.

Key words : PPGM(주기적으로 천공된 접지 금속막 선로), Transmission line(전송선로), RFIC (RF 고주파 집적회로), Coplanar-type line (코플레이너형 선로)

1. 서 론

최근 SoC(System on Chip) 화에 따른 단말기의 소형화, 고집적화가 RF 부품시장에서 요구되어지고 있으며, 그 중 RF 송수신단은 수동소자를 다

량 집적한 고집적 SoC형 단말기가 요구되어지고 있는 추세이다. 따라서 이를 위한 수동소자의 집적화 기술은 매우 중요하다. 특히, 실리콘 RFIC의 결합기 및 분배기, 필터 등의 대부분의 수동소자들은 큰 점유면적으로 인해 실리콘 RFIC 내부에 집적되지

† 교신저자 (한국해양대학교 전파공학과) E-mail: yunyoung@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4426

* 한국해양대학교 전파공학과

** 한국해양대학교 전파공학과

못하고 있으며, RFIC 외부의 프린트 기판 상에 설계 및 제작되고 있는 실정이다^{[1], [2]}. 위의 문제점을 해결하기 위해서는 RFIC 내부에 집적 가능한 소형 수동소자 개발을 위해 단파장 선로의 개발이 필요하다. GaAs 화합물 반도체 상의 단파장 전송선로에 대한 연구는 기존에 활발하게 진행되어 왔으나^[3],^[4], 실리콘 반도체 상의 단파장 전송선로에 대한 연구는 지금까지 전무한 실정이다. 또한, 일반적으로 RF용 트랜지스터는 고주파에서는 보통 10~25GHz의 낮은 입력 임피던스를 가지며^[5], 따라서 회로구성을 간략화 하기 위해서는 FET 입력부에 10~25GHz의 저임피던스 정합소자가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 상기의 문제점을 해결하기 위해서 실리콘 반도체 상에서 주기적으로 천공된 접지 금속막(PPGM)구조를 가지는 coplanar-type의 단파장 전송선로를 제안한다. 제안된 전송선로는 기존의 coplanar-type 전송선로에 비해, 짧은 선로파장을 가지며, 저임피던스 특성을 가진다.

2. PPGM 구조를 가지는 coplanar-type 전송선로

2.1 PPGM 구조를 가지는 단파장 전송선로의 구조

Fig. 1은 기존의 실리콘 반도체 상의 coplanar-type의 전송선로^[6] 구조를 보여준다. Fig. 1에서 C_0 는 선로와 접지 금속막 사이에서 발생되는 단위 길이 당 정전용량을 나타낸다. 그리고 Fig. 1에서 보여진 기존의 coplanar-type의 전송선로의 특성 임피던스 Z_0 와 선로 파장 λ_g 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

식 (1), (2)에서 용량 C는 Fig. 1의 선로와 접지 사이의 단위길이당 용량 (예를 들면, Fig. 1의 종래의 선로 구조의 경우에는 C_0 에 해당)에 해당하며, 인덕턴스 L은 선로의 단위 길이 당 인덕턴스치에 해당하며, 그리고, f 는 동작주파수이다. 식

(1), (2)에서 알 수 있는 바와 같이 선로와 접지사이의 용량 C가 증가 할수록 특성임피던스 Z_0 와 선로파장 λ_g 은 감소한다. 이 점에 주목하여, 본 논문에서는 유전체 층 아랫부분에 사다리형의 주기적 접지 금속막을 삽입하여 선로의 용량성분 C를 증가시킨 PPGM 구조를 채택하였다. 실제로, PPGM 구조는 GaAs 화합물 반도체에서는 비어 홀과 함께 사용되었으며, PPGM 구조를 가지는 마이크로스트립 선로를 이용한 다양한 GaAs MMIC 용 온칩 수동소자가 개발되었다^{[3], [4]}. 그러나 실리콘 반도체 상에서 이러한 주기적 구조를 이용한 단파장 전송선로에 관한 연구는 전무한 실정이며, 따라서, 본 연구에서는 주기적 구조를 실리콘 반도체상에 적용하여 그 특성을 살펴보고자 한다. 특히, 실리콘 RFIC의 경우 비어 홀 공정이 불가능 하므로 오직 coplanar-type 전송선로만이 사용될 수 있으며, 따라서, 본 논문에서는 Fig. 2와 같이 화합물 GaAs에 적용되었던 PPGM 구조를 새롭게 변형한 coplanar-type PPGM 구조를 사용하였다.

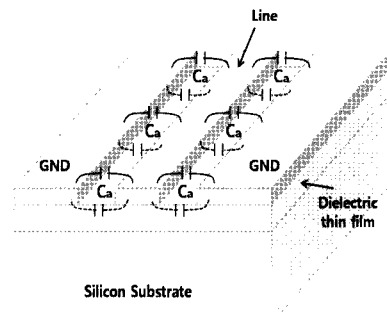
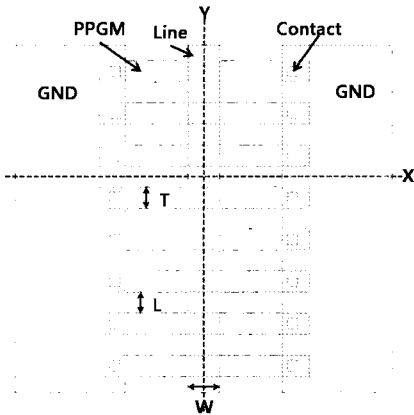


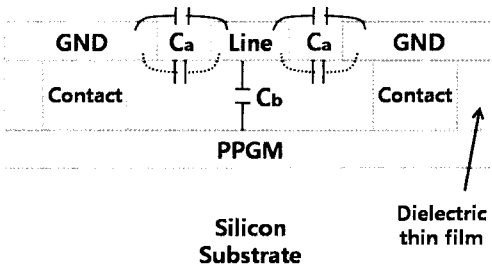
Fig. 1 Structure of coplanar-type transmission line

Fig. 2 (a)는 coplanar-type PPGM 구조를 이용한 전송선로의 구조를 나타내고 있으며, Fig. 2 (b)는 (a)의 X-X 방향에 대한 단면 구조이고, Fig. 2 (c)는 (a)의 Y-Y 방향에 대한 단면 구조이다. 그림에서 보는 바와 같이 선로와 실리콘 반도체 기판 사이에 PPGM을 삽입하였으며, PPGM은 contact를 통해서 접지금속막에 연결되어 접지전위를 공급한다. PPGM과 선로사이에는 유전체 박막을 삽입하였으며 유전체 박막의 두께는 10000Å이다. Fig. 2(c)에서 알 수 있는 바와 같이 PPGM 선로구조의 용량에 있어서, 종래의 coplanar-type

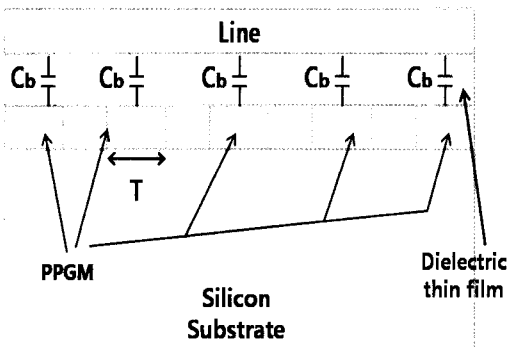
선로구조에서 존재하는 용량 C_a 뿐 아니라 PPGM과 선로사이의 용량 C_b 가 추가적으로 존재한다. 즉, Fig. 1의 종래의 선로구조의 경우, 식 (1), (2)의



(a) Top view of the Coplanar-type transmission line structure employing PPGM



(b) Cross-section view according to X-X direction



(c) Cross-section view according to Y-Y direction

Fig. 2 Microstrip-line Structure employing PRGM

용량부는 $C=C_a$ 이지만, Fig. 2 (a)-(c)의 PPGM 선로에 대해서는 $C=C_a+C_b$ 가 되므로, PPGM 선로의 임피던스와 선로파장은 종래의 선로구조에 비해 줄어들게 된다. Fig. 2 (a)의 선로두께 T, 선로 간격 L 등을 조절하면, PPGM과 선로사이의 용량 C_b 는 쉽게 변화시킬 수 있으며, 그 결과, 특성임피던스 Z_0 와 선로파장 λ_g 의 크기를 조절할 수 있다.

2.2 단파장 전송선로의 파장축소 특성

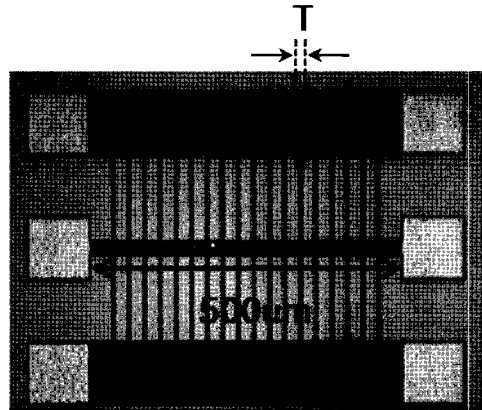


Fig. 3 Fabricated Coplanar-type transmission line employing PPGM (T=5μm)

Fig. 3은 실리콘 기판 상에 제작된 PPGM 선로 구조를 이용한 coplanar-type 전송선로를 보여준다. 선로길이와 주기적 홈 사이의 간격 T는 각각 500 μm와 5 μm이다. 종래의 coplanar-type 전송선로의 파장과 PPGM 구조를 사용하는 전송선로의 파장을 비교하였다.

Fig. 4는 종래의 coplanar-type 전송선로의 파장과 PPGM 구조를 사용한 coplanar-type 전송선로의 파장을 측정한 값과를 비교한 그래프이다. PPGM을 사용하는 경우의 선로파장은 종래의 마이크로스트립 선로의 57 %로 축소됨을 볼 수 있다. 예를 들어, 주파수 20 GHz에서 종래의 전송선로의 경우 선로파장 λ 는 4.51 mm이며, PPGM 구조의 경우, T=5 μm일 때의 선로파장 λ 는 2.58 mm이며, 따라서, 전송선로의 파장이 매우 축소됨을 볼 수 있다. Fig. 5는 PPGM의 단위 선로폭 T (Fig. 2(a)참조)를 각각 T=5 μm, T=10 μm, T=20 μm

로 변화시켰을 때의 파장 변화를 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 5에서와 같이, T 값이 커질수록 용량성분이 증가하므로 파장이 감소하는 것을 볼 수 있다. 예를 들어, Fig. 6에서와 같이 주파수 20 GHz에서, T 값이 5 μm 일 때 선로파장은 2.58 mm이고, T 값이 10 μm 일 때 선로파장은 2.34 mm이고, T 값이 20 μm 일 때 선로파장은 2.20 mm이다. 이러한 결과는 다음과 같이 설명될 수 있다. 즉, Fig. 2에서 보이는 T가 커질수록 선로와 PPGM 사이의 용량 C_b 가 커지므로, 식 (2)로부터 T가 커질수록 파장이 감소하게 된다.

또한, 주파수 20 GHz에서 T값이 20 μm일 때, 유전체 박막 두께 변화에 따른 선로파장은 유전체 박막이 1000 Å일 때 1.598 mm, 5000 Å일 때 2.527 mm, 10000 Å일 때 2.941 mm, 15000 Å일 때 3.175 mm 이다.

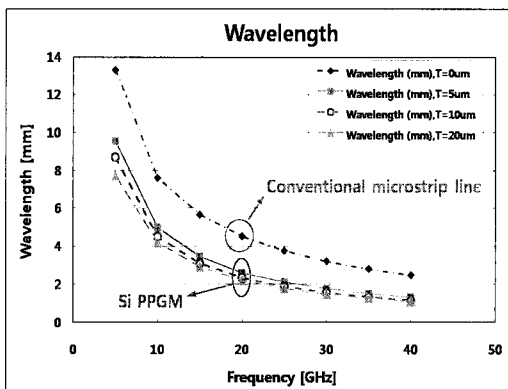


Fig. 4 Measured wavelength vs. frequency

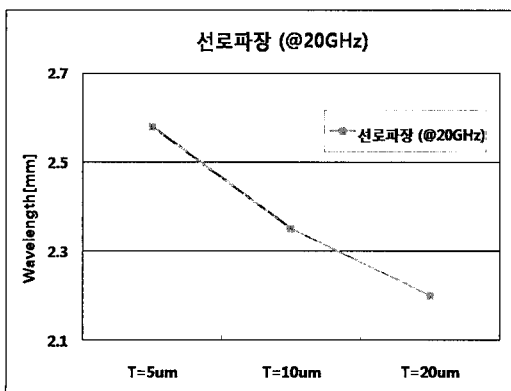


Fig. 5 Measured wavelength vs. T

2.3 선로손실 특성

Fig. 6은 $T = 5 \mu\text{m}$ 이고, 길이가 $500 \mu\text{m}$ 인 전송선로의 손실을 보여준다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 0 ~ 40 GHz 대에서 약 -1.3 dB이하의 선로 손실을 보인다. 이는 PPGM 구조를 사용하지 않는 종래의 실리콘 반도체상의 coplanar-type 전송선로에 필적하는 결과이다. 그러나 상기 결과에서 알 수 있는 바와 같이, GaAs 화합물 반도체에 비해서는 높은 손실을 보여준다⁽¹⁾. 이러한 높은 손실 특성은 실리콘 반도체 기판 자체의 도전성에 기인한다^{(1), (2)}. 상기 결과로부터 PPGM 구조를 가지는 전송선로는 40 GHz이하 대역의 RF 소자에 충분히 이용될 수 있음을 알 수 있다.

2.4 특성 임피던스 특성

Fig. 7은 PPGM 구조를 가지는 coplanar-type의 전송선로의 측정된 특성 임피던스 Z_0 이다. 여기서 T 값은 Fig. 2 (a)~(c)에서와 같이 주기적으로 천공된 직사각형의 홀 간의 간격을 의미한다. PPGM 구조에서 T 값이 커질수록 선로와 PPGM 구조의 메탈 사이에서 생기는 정전용량 C_b 는 증가하게 되며, 그 결과 식 (1)로부터 특성 임피던스 Z_0 값은 줄어들게 됨을 알 수 있다.

실제로 측정결과를 확인해보면, 그림에서 보이는 바와 같이, PPGM이 없는 종래의 coplanar-type 선로구조의 특성임피던스는 85Ω이나, PPGM 구조의 경우 $T = 20 \mu\text{m}$ 일 때 38 Ω의 특성 임피던스를, $T = 10 \mu\text{m}$ 일 때 41 Ω의 특성 임피던스를, $T = 5 \mu\text{m}$ 일 때 47 Ω의 특성 임피던스를 보여준다. 또한, 주파수 20 GHz에서 T값이 20 μm일 때, 유전체 박막 두께 변화에 따른 특성 임피던스는 유전체 박막이 1000 Å일 때 30 Ω, 5000 Å일 때 35 Ω, 10000 Å일 때 38 Ω, 15000 Å일 때 40 Ω 이다. 일반적으로 RF용 트랜지스터는 고주파에서 보통 50 Ω보다 매우 낮은 입출력임피던스를 가지므로⁽⁵⁾, 이와 같은 PPGM 구조의 저임피던스 특성은 RFIC 상에서 트랜지스터 간의 정합에 매우 유용하게 사용될 수 있다.

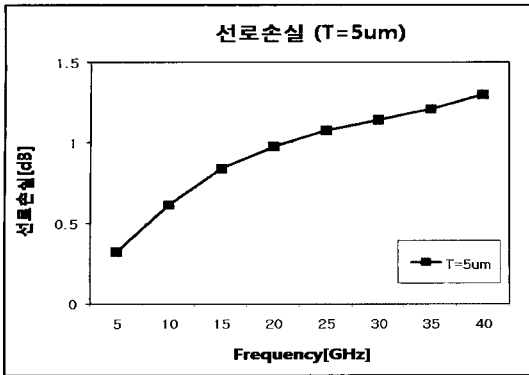


Fig. 6 Measured the insertion loss (T=5μm)

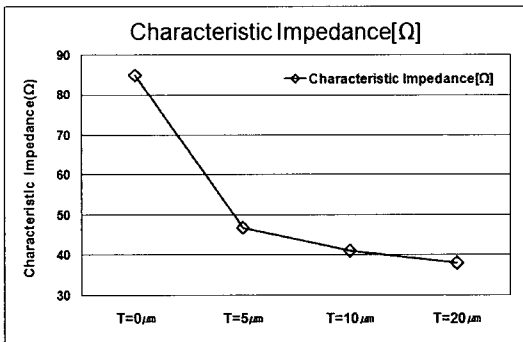


Fig. 7 Measured characteristic impedance Z_0

3. 결 론

본 논문에서는 PPGM 구조를 이용하여 실리콘 RFIC용 전송선로 구조를 개발하였다. PPGM 구조를 사용하는 경우의 선로 파장은 종래의 마이크로스트립 선로의 57%로 축소되었으며, 종래의 coplanar-type 전송선로에 필적하는 -1.3 dB 이하의 손실을 보여주었다. 또한, PPGM을 사용하는 전송선로는 종래의 전송선로에 비해 낮은 특성 임피던스를 보여주었다. 상기의 결과로부터, PPGM 구조를 이용한 전송선로는 실리콘 RFIC용 소형 온 칩 수동소자 및 정합소자에 매우 유효하게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 2단계 BK사업의

지원에 의해 수행되었습니다. 그리고 본 연구의 일부는 정보통신부의 출연금 등으로 수행한 정보통신 연구개발사업의 지원에 의해 수행되었습니다

참고문헌

- [1] A. A. Abidi, "RF-CMOS Comes of Age", IEICE Trans. Electron., vol.E87-C, no. 6, pp.840-853, Jun. 2004.
- [2] J. R. Long, "Passive Components for Silicon RF and MMIC Design", IEICE Trans. Electron., vol. E86-C, no. 6, pp.1022-1031, Jun. 2003.
- [3] Y. Yun, "A Novel Microstrip-Line Structure Employing a Periodically Perforated Ground Metal and Its Application to Highly Miniaturized and Low-Impedance Passive Components Fabricated on GaAs MMIC", IEEE Trans Microwave Theory Tech, 53, pp.1951-1959, June 2005.
- [4] Y. Yun, K. S. Lee, C. R. Kim, K. M. Kim, J. W. Jung, "Basic RF Characteristics of the Microstrip Line Employing Periodically Perforated Ground Metal and Its Application to Highly Miniaturized On-Chip Passive Components on GaAs MMIC", IEEE Trans Microwave Theory Tech, 54, pp.3805-3817, Oct 2006.
- [5] Y. Yun, "A Fully-integrated broadband amplifier MMIC employing a novel chip size package", IEEE Trans Microwave Theory Tech. Vol 50, pp.2930~2937, 2002.
- [6] D.M. Pozar, "Microwave engineering", 2nd ed., Chapter 4, Addison-wesley, 1990

저 자 소 개



조한나(趙한나)

2007년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사), 2007년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] 무선통신용 MMIC/RFIC 등



박영배(朴英培)

2005년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사), 2007년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학석사), 2007년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 박사과정
[주 관심분야] 초고주파 집적회로



윤영(尹榮)

1993년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사), 1995년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사), 1999년 3월: 일본 오사카 대학교 전기공학과 (공학박사), 1999년 4월~2003년 9월: 마쓰시따전기 반도체 디바이스 연구센터 MMIC/RFIC 연구그룹, 2003년 9월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 조교수, [주 관심분야] 무선통신용 MMIC/RFIC 등