

MMIC상에서 주기적으로 배치된 용량성 소자를 이용한 단파장 전송선로 정장현¹ · 강석엽¹ · 윤 영[†]

(원고접수일 : 2010년 1월 26일, 원고수정일 : 2010년 4월 26일, 심사완료일 : 2010년 5월 10일)

A Short Wavelength Transmission Line Employing Periodically Arrayed Capacitive Devices on MMIC

Jang-Hyeon Jeong¹ · Suk-Youb Kang² · Young Yun[†]

요 약 : 본 논문에서는 MMIC상에서 온칩용 수동소자 제작을 위해서, 주기적으로 배치된 용량성 소자를 이용한 단파장 전송선로를 제안하였다. 제안된 PACD(periodically arrayed capacitive devices) 선로 구조는 기존의 마이크로스트립 선로에 비해 매우 짧은 선로파장 특성을 보였다. PACD 선로 구조는 주파수 5GHz에서 기존의 마이크로스트립 선로 파장의 8%의 파장단축 효과를 보였고, PPGM구조의 선로 파장의 38%의 파장단축 효과를 나타내었다. 이러한 PACD선로 구조는 MMIC상에서 온칩용 수동소자 제작에 유용한 특성으로 판단된다.

주제어 : 전송선로, 주기적으로 배치된 용량성 소자, 모놀리식 초고주파 집적회로

Abstract: In this paper, short-wavelength transmission line employing periodically arrayed capacitive devices (PACD) structures were developed for application to a development of miniaturized on-chip passive components on GaAs monolithic microwave integrated circuit (MMIC). The transmission line employing PACD structure showed a wavelength much shorter than conventional microstrip line. Concretely, the wavelength of the transmission line employing PACD structure was 8 % of the conventional microstrip line on GaAs substrate at 5GHz. And It was 38% of the microstrip line employing PPGM at 5GHz. It was recognized that the basic characteristics of the transmission line employing PACD structure were investigated for application to the miniaturized passive on-chip components.

Key words: Transmission Line, PACD(periodically arrayed capacitive devices), MMIC(monolithic microwave integrated circuit)

1. 서 론

최근 SoC(System on Chip) 화에 따른 단말기의 소형화, 고집적화가 RF 부품시장에서 요구되어지고 있으며, 그 중 RF 송수신단은 수동소자를 다량 집적한 고집적 단말기가 요구되어지고 있는 추세이다. 따라서 이를 위한 수동소자의 집적화 기술은 매우 중요하다고 할 수 있다. 특히, 결합기 및

분배기, 필터 등의 대부분의 수동소자들은 큰 점유면적으로 인해 MMIC 내부에 집적되지 못하고 있으며, MMIC 외부의 프린트 기판 상에 설계 및 제작되고 있는 실정이다[1,2]. 위의 문제점을 해결하기 위해서는 MMIC 내부에 집적 가능한 소형 수동소자 개발을 위해 단파장 선로의 개발이 필요하다.

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

¹ 한국해양대학교 전파공학과

이를 위해 본 연구 그룹에서는 PPGM (periodically perforated ground metal) 구조를 제안하였으며, 상기 구조로부터 단파장 특성을 확인하였다[3,4]. 그러나, PPGM 구조의 경우 주기적 구조를 구성하는 단위 셀의 크기가 너무 커지면, 단위 길이당 존재하는 주기적인 셀의 수가 감소하여 오히려 파장이 증가하였다[3,4]. 따라서, PPGM 선로구조의 파장은 종래의 마이크로스트립 선로파장의 20 %정도로 단파장특성을 보여주었으나, 그 이상의 파장축소 효과는 실현되지 못하였다.

본 연구에서는 상기의 문제점을 해결하기 위해서 GaAs 반도체 상에서 주기적으로 배열된 용량성 소자를 이용한 선로구조(PACD: periodically arrayed capacitive devices)를 제안한다. 본 연구에서 제안된 전송선로는 종래의 PPGM 선로구조에 비해 더욱 짧은 선로파장을 보여주었으며, 구체적으로는 PPGM 파장의 38%의 단파장 특성을 보여주었다. 상기 PACD 선로구조는 이제까지 발표된 주기적 구조의 선로[5-11]중에서 가장 짧은 파장특성을 보여준다.

2. 주기적으로 배치된 용량성 소자를 이용한 단파장 전송선로

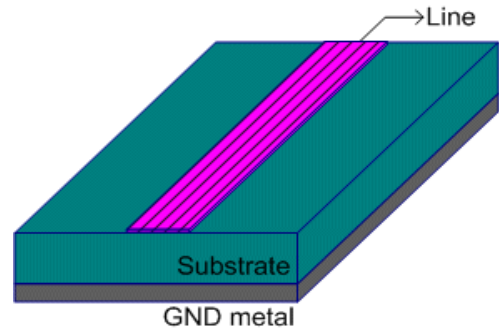
2.1 PACD 선로구조

Figure 1 (a)는 기존의 GaAs 반도체 상의 마이크로스트립 구조[6]를 보여준다. 선로와 접지 금속막 사이에 발생하는 전계에 의해 단위 길이당 정전용량 C_a 가 존재하며, 선로상에 흐르는 전류에 의해 인덕턴스가 발생한다. 따라서, 마이크로파 전송선로는 Figure 1(b)와 같이 주기적인 LC구조와 등가이다. 따라서, Figure 1에서 보여진 기존의 마이크로스트립 선로의 특성 임피던스 Z_0 와 선로 파장 λ_g 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

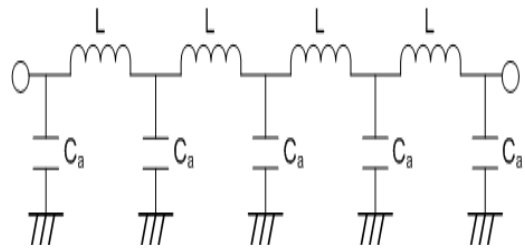
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1)$$

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

상기 식에서 인덕턴스 L 은 선로의 단위 길이당 인덕턴스 치에 해당하며, f 는 동작주파수이다. 식 (1)과 (2)에서 알 수 있듯이 선로와 접지 금속사이의 용량 C 가 증가 할수록 특성임피던스 Z_0 와 선로 파장 λ_g 은 감소한다. 이 점에 주목하여 본 논문에서는 반도체 기판상에 주기적으로 배열된 용량성 소자를 이용한 선로구조 (PACD: periodically arrayed capacitive devices)를 제안한다.



(a)



(b)

Figure 1: (a) Structure of conventional microstrip line (b) its equivalent circuit

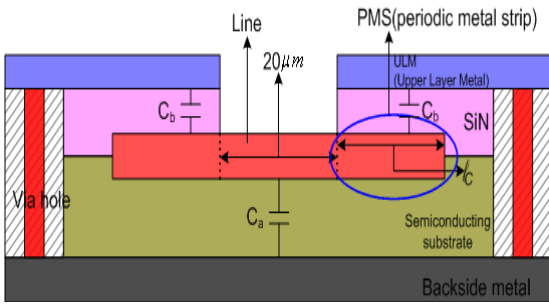
Figure 2(a)는 주기적으로 배열된 용량성 소자를 이용한 선로(PACD: periodically arrayed capacitive devices)의 구조의 X-X 방향에 대한 단면 구조이고, (b)는 Y-Y방향에 대한 단면구조이다. 빗무늬 형태의 선로의 형태는 그림과 같이 직선의 선로의 양단에 주기적인 금속 스트립 (PMS: periodic metal strip)이 접속되어 있다. 선로가 주기적으로 용량성분을 가지게 하기 위해서 주기적인 금속 스트립(PMS: periodic metal strip)상

에 상부금속 ULM(upper layer metal)을 배치하고, PMS와 ULM사이에는 SiN을 삽입하였다. 그리고, ULM은 비어홀을 통해 뒷면의 접지금속막(backside metal)에 연결됨으로써 ULM은 접지가 된다. 따라서, Figure 2(a)와 (b)와 같이 PACD 구조는 종래의 마이크로스트립 선로에 비해 PMS와 접지면인 ULM 사이에 존재하는 주기적인 용량 C_b 가 추가적으로 존재한다.

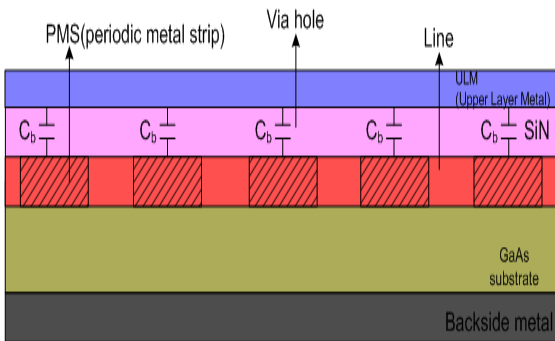
선로의 임피던스와 선로파장은 종래의 선로구조에 비해 줄어들게 된다. 식 (1)과 (2)에 PACD의 이론을 적용하면 다음과 같다.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C_a + 2C_b}} \tag{3}$$

$$\lambda_g = \frac{1}{f\sqrt{L(C_a + 2C_b)}} \tag{4}$$



(a)



(b)

Figure 2: (a) Cross-section view according to X-X direction of microstrip line employing PACD
(b) Cross-section view according to Y-Y direction of microstrip line employing PACD

추가적으로 발생한 용량 C_b 에 의해 Figure 2의 PACD 구조는 종래의 전송선로보다 더 짧은 파장을 보여준다. 즉, Figure 1의 종래의 선로구조의 경우, 식 (1)과 (2)의 용량부는 $C = C_a$ 이지만, Figure 2(a)와 (b)의 PACD 구조에 대해서는 $C = C_a + 2C_b$ 가 되므로, PACD 구조를 이용한

Figure 2(a)의 용량성 소자부분인 PMS의 길이 l_c 를 조절하면, 용량 C_b 는 쉽게 변화시킬 수 있으며, 그 결과, 특성임피던스 Z_0 와 선로파장 λ_g 의 크기를 조절할 수 있다. 그리고 l_c 의 길이를 증가시켜도 단위 길이당 셀의 수는 고정되어 주기적인 구조를 유지하므로 선로 파장의 축소 효과가 있게 된다.

2.2 단축파장 전송선로의 파장축소 특성

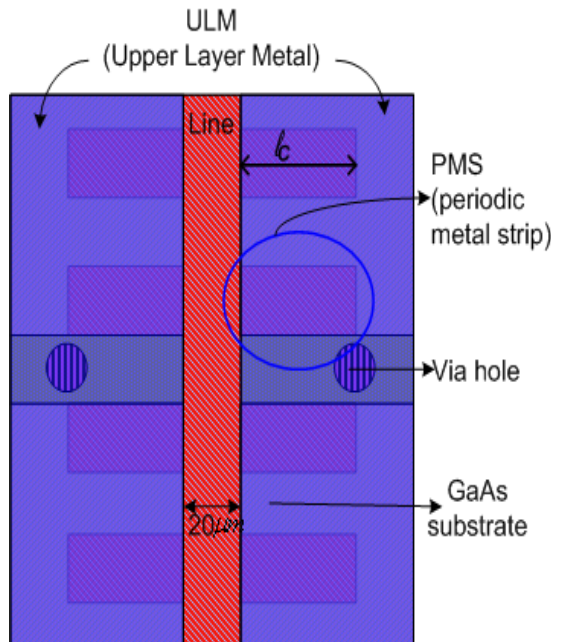


Figure 3: Top view of microstrip line employing PACD

Figure 3은 GaAs 기판 상에 제작된 PACD 구

조의 top view를 보여준다. 선로부분의 폭과 PMS의 폭은 $20\mu\text{m}$ 이다. 이 장에서는 기존의 마이크로스트립 선로 파장과 본 논문에서 PACD 구조의 선로 파장을 비교해 보았다.

Figure 4는 본 연구에서 제안한 PACD 선로구조를 실제로 제작한 선로의 top-view이다. Figure 5는 기존의 마이크로스트립 선로의 파장과 PACD 구조의 파장을 측정된 값의 결과를 비교한 그래프이다. PACD 구조의 선로파장은 종래의 마이크로스트립 선로의 8%로 축소됨을 볼 수 있다. 예를 들어, 주파수 5 GHz에서 종래의 마이크로스트립 선로의 경우, 선로파장 λ 는 21.12 mm이며 PACD 구조의 경우, $l_c=30\mu\text{m}$ 일 때의 선로파장 λ 는 1.71 mm이다. 또한, Figure 5에서와 같이, l_c 값이 커질수록 용량성분 C_b 가 증가하므로 파장이 감소하는 것을 볼 수 있다. 주파수 5 GHz에서, l_c 값이 $10\mu\text{m}$ 일 때 선로파장은 2.76 mm이고, l_c 값이 $20\mu\text{m}$ 일 때 선로파장은 1.99 mm이고, l_c 값이 $30\mu\text{m}$ 일 때 선로파장은 1.71 mm이다. 이러한 결과는 다음과 같이 설명될 수 있다. 즉, Figure 2에서 보이는 l_c 가 커질수록 선로와 상부금속(ULM) 사이의 용량 C_b 가 커지므로, 식 (4)의 분모항이 커져 l_c 가 커질수록 파장이 감소하게 된다. 이는 종래의 PPGM 구조의 선로파장 축소비를 20%보다도 훨씬 더 축소된 양이다. 상기 결과를 미루어 볼 때, PACD 구조를 이용하면 MMIC상에 초소형의 수동소자를 제작할 수 있음을 알 수 있다.

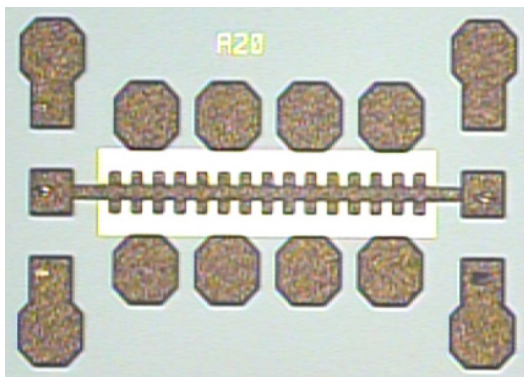


Figure 4: A top-view of microstrip line employing PACD

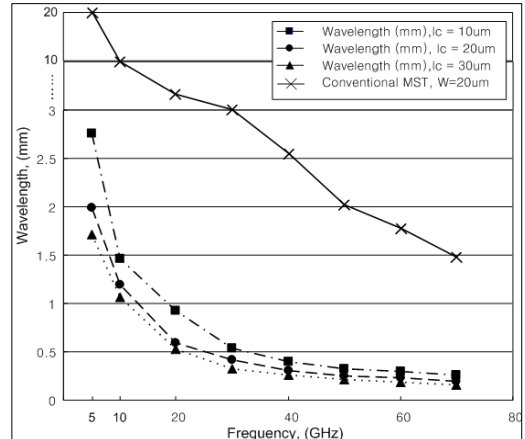


Figure 5: Measured wavelength of microstrip line employing PACD and conventional one

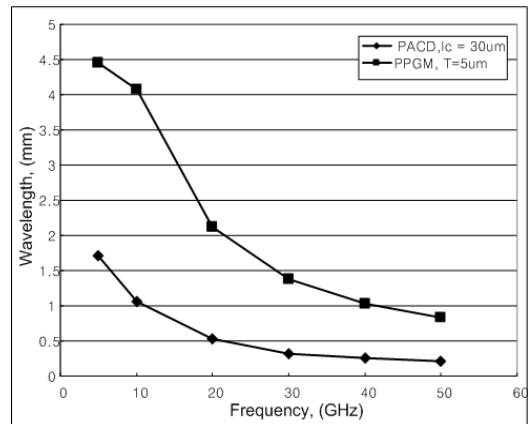


Figure 6: Measured wavelength of microstrip line employing PACD and PPGM

Figure 6은 PACD 선로 구조와 기존에 제안된 PPGM 선로 구조의 선로파장을 비교한 그래프이다. Figure 5와 6에서 알 수 있듯이 주파수 5GHz에서 기존의 마이크로스트립 선로의 파장은 21.12mm이고, PPGM 선로의 경우($T=5\mu\text{m}$ 일 때)는 4.46mm로 20%의 파장 축소를 보였다. 이에 반해 본 연구에서 제안한 PACD구조의 선로의 경우는 $l_c=30\mu\text{m}$ 일 때, 선로 파장이 1.71mm로 기존의 마이크로스트립 선로의 파장의 약 8%, PPGM 구조의 선로 파장의 38%정도로 축소됨을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 제안된 PACD구조가 PPGM구조의 선로에 비해 더 짧은 선로 파장

을 가지고 있으므로, MMIC상에 초소형의 수동 소자를 제작함에 더 유리함을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 PACD 구조를 이용하여 GaAs MMIC용 파장단축 전송선로 구조를 개발하였다. 본 연구에서 제안된 PACD 구조의 선로는 기존의 PPGM선로와 종래의 마이크로스트립 선로에 비해 선로파장 축소 효과가 월등히 뛰어났다. 예를 들어, PPGM 선로의 경우($T=5\mu\text{m}$ 일 때)는 4.46mm로 기존의 마이크로스트립 선로의 20%의 파장 축소를 보였다. 이에 반해 PACD구조의 선로의 경우는 $l_c=30\mu\text{m}$ 일 때, 선로 파장이 1.71mm로 PPGM 선로의 38%로 축소되었다. 상기의 결과로부터, PACD 구조를 이용한 전송선로는 GaAs MMIC 용 초소형 온칩 수동소자 및 정합소자에 매우 유효하게 사용될 수 있음을 알 수 있다. 상기 PACD 선로구조는 이제까지 발표된 주기적 구조의 선로 중에서 가장 짧은 파장특성을 보여준다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-0007452). 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임. 이 논문은 2008년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단).

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] 윤영, "GaAs MMIC상에서 주기적으로 천공된 홀을 가지는 접지 금속막 구조를 이용한 전송선로 특성연구 및 코프레너 선로를 이용한 온칩 초소형 임피던스 변환기에의 응용", *한국마린엔지니어링학회지*, 제32권, 제8호, pp. 160-168, 2008.
- [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.
- [7] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, J. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A design of low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, pp. 86-93, Jan. 2001.
- [8] A.Lai, and T. Itoh, "Microwave composite right/left-handed metamaterials and devices," in *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.*, Suzhou, China, Dec. pp. 31-34, 2005.
- [9] J. Gao, and L. Zhu, "Per-Unit-Length parameters of 1-D CPW metamaterials with simultaneously series-C and shunt-L loading," in *proc. Asia-Pacific Microwave Conf.*, Suzhou, China, pp. 39-42, 2005.
- [10] F. R. Yang, K. P. Ma, Y. Qian, and T. Itoh, "A UC-PBG structure and its applications for microwave circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*,

vol. 47, no. 8, pp. 1509-1514, Aug. 1999.

- [11] A. S. Andrenko, Y. Ikeda, and O. Ishida, "Application of PBG microstrip circuits for enhancing the performance of high-density substrate patch antennas," *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 32, no. 5, pp. 340-344, 2002.

저 자 소 개



정장현(鄭章鉉)

2010년 2월 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
2010년 3월~현재 : 한국해양 대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] 무선통신용 MMIC/RFIC 등

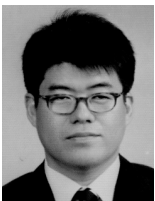


강석엽

1997년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학사), 1999년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학석사), 2005년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학박사), 2001년 7월~2006년 8월: (주)아이엔텍 대표이사
2006년 8월~현재: 한국해양대학교 전

파공학과 연구교수

[주 관심분야] 무선통신 시스템, 초고주파 회로, 항공통신 시스템, 안테나 설계, RFID/USN 기술



윤영(尹榮)

1993년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사), 1995년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사), 1999년 3월: 일본 오사카 대학교 전기공 학과 (공학박사), 1999년 4월~2003년 9월: 마쯔시 따전기 반도체 디바이스 연구센터

MMIC/RFIC 연구그룹

2003년 9월~현재: 한국해양대학교 전파 공학과 부교수

[주 관심분야] 무선통신용 MMIC/RFIC 등