

# RFIC 상에서 RF 필터 소형화에의 응용을 위한 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 Open stub의 RF 특성에 관한 연구

오현수<sup>1</sup> · 김수정<sup>2</sup> · 윤영<sup>†</sup>

(Received June 2, 2017 ; Revised August 4, 2017 ; Accepted September 19, 2017)

## RF characteristics of open stub employing thin-film ML/CPW composite structure for application to miniaturization of RF filter on RFIC

Hyun-Soo Oh<sup>1</sup> · Soo-Jeong Kim<sup>2</sup> · Young Yun<sup>†</sup>

**요약:** 본 논문에서는 실리콘 유전체 위에 박막필름 전송선로를 이용한 Open stub의 RF 특성과 RF 매칭 구성 요소에 대하여 연구하였다. 박막필름 전송선로를 이용한 Open stub의 Q 팩터의 값이 7.6으로 종래의 마이크로스트립 선로를 이용한 Open stub의 Q 팩터의 값은 2.5였다. 박막필름 전송선로를 이용한 Open stub의 높은 Q 팩터는 신호선과 박막필름 전송선로 사이의 높은 결합 용합에서 유래되었다. 또한 마이크로스트립/코프레너 구조를 가지는 박막필름 전송 선로는 종래의 코프레너 선로보다 길이가 짧은 것을 이용하여 필터의 소형화에 응용할 수 있다.

**주제어:** Open stub, 박막필름 전송선로(TFTL), RF 특성, 하모닉 제거 필터, 고주파 억제 특성

**Abstract:** In this paper, open stubs employing thin-film transmission line (TFTL) were fabricated on a silicon substrate, and their basic radio-frequency (RF) characteristics were studied for application to RF-matching components. The Q value of an open stub employing TFTL was found to be 7.6, whereas that of a conventional open stub was 2.5. The comparatively high Q value of the open stub employing TFTL arises from the high coupling capacitance between the line and the TFTL. In addition, TFTL can be applied to miniaturized RF filters.

**Keywords:** Open stub, Thin-film transmission line (TFTL), RF characteristics, Harmonic rejection filter, Harmonic suppression characteristic

### 1. 서론

정보 통신 기술이 발전하면서 인류의 삶의 질은 더욱 양질로 발전해나가고 있다. 이러한 정보 통신 기술의 발전은 통신 단말기의 소형화 및 경량화, 다기능화, 저단가화로 더욱 발전해나가고 있는 추세이다. 이러한 흐름에 발맞추기 위하여 통신 단말기의 소형화는 더욱 절실하며, 통신 단말기의 핵심 소자 중 일부인 수동소자의 소형화 역시 해결해야할 과제로 떠오르고 있다. 그러나 결합기, 분배기, 필터와 같은 수동소자는 점유면적이 커서 IC 내부에 집적되지 못하고 외부의 프린트 기판상에 설게 제작되고 있다[1]-[5]. 특히, 필터의 경우에는 통신 시스템의 송수신단에 모두 실장되어 신호 및 주파수를 여과/통과시키는 핵심 소자 중 하나이다. 분포정수회로를 이용한 필터에는 주로 전송선로 (transmission line) 및 단락선로 (short stub),

개방선로 (open stub)가 사용되고 있다[2]-[5]. 이 중 개방선로는 밀리미터파 대역에서 기본적으로 사용되는 정합소자이기 때문에 쓰임새가 다양하다[2]-[5]. 그러나 기존의 마이크로스트립 선로를 이용한 개방선로는 선로과장이 긴 이유로 인해 실제 필터로 제작할 시에는 점유면적이 크다는 단점이 있다.

본 연구 그룹은 최근 상기의 문제를 해결하기 위하여 실리콘 RFIC 상에서 단과장을 가지는 마이크로스트립/코프레너 복합구조의 박막필름 전송선로를 개발하였다[5]. 상기의 전송선로는 기존의 전송선로의 선로과장에 비하여 56.8% 선로과장 축소효과를 보여주었다[5]. 본 논문에서는 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로를 이용한 개방선로를 제안하였다. 구체적으로 상기 Open stub의 Q-Factor를 고찰하였고, 본 논문에서

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1692-5641>): Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: yunyoung@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4426

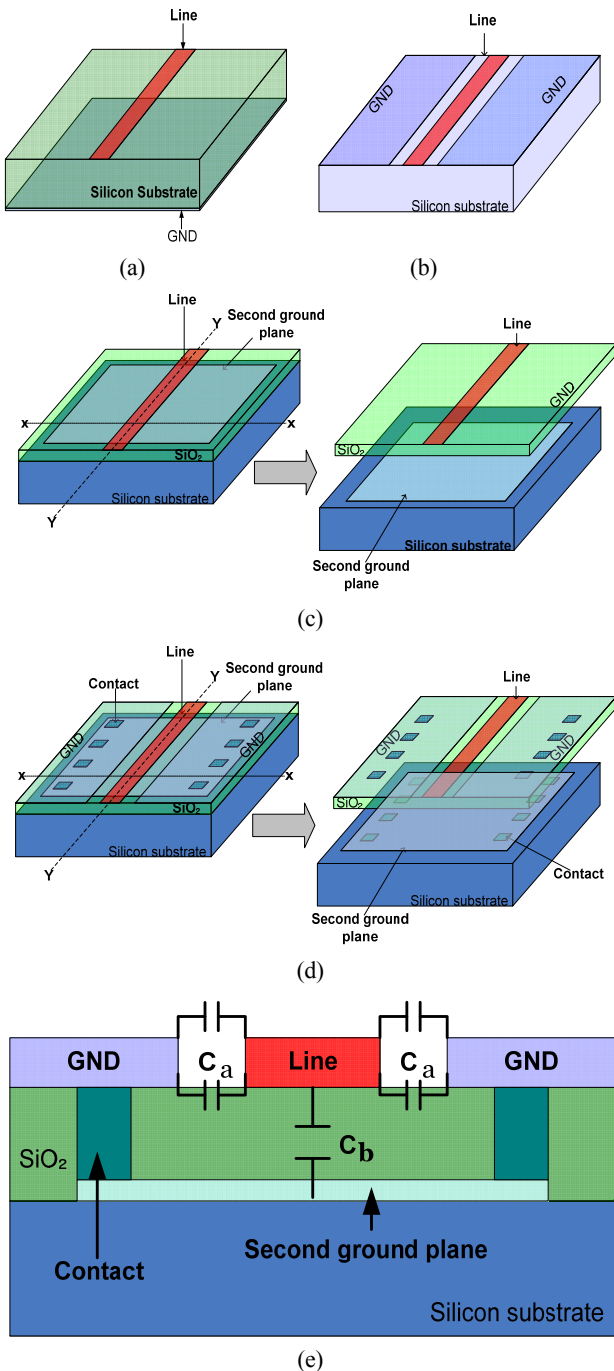
<sup>1</sup> Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: ohs8415@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-5057

<sup>2</sup> Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: crystal@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-5057

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 제안하는 개방 선로를 이용하여 대역 저지 필터로의 적용 가능성 및 소형화에의 응용 가능성을 고찰하였다.

## 2. 실리콘 유전체 상에서 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로를 이용한 Open stub의 RF 특성



**Figure 1:** (a) A structure of microstrip line (b) A structure of Coplanar (c) A structure of Thin-film Transmission line (d) A structure of Thin-film Transmission line coplanar (e) Its X-X cross-sectional view

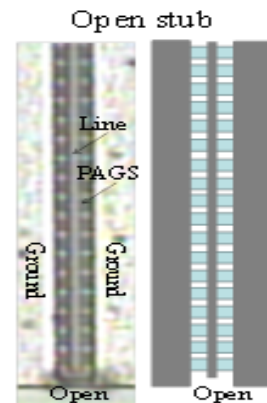
**Figure 1 (a)**는 마이크로 스트립 선로이며, 실리콘 유전체 위에 선로가 존재하며 유전체 하단에 접지면이 존재한다. **Figure 1 (b)**는 코프레너 선로이며 실리콘 유전체 위에 선로와 접지면이 존재한다. **Figure 1 (c)**는 박막필름 마이크로 스트립 선로로서 실리콘 유전체 위에 제 2 접지면이 존재하며, 제 2 접지면과 선로의 사이에는  $SiO_2$  박막 필름이 존재한다. **Figure 1 (d)**는 본 논문에서 제안하는 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 구조이다[5]. 박막필름 코프레너 구조는 최하층의 실리콘 기판과  $SiO_2$  박막 필름 위에 전송선로 및 접지면이 존재하고  $SiO_2$  박막 필름과 실리콘 기판 사이에 제 2 접지면이 존재한다. 상부 접지면과 제 2 접지면은 Contact로 전기적으로 연결되어 있어 접지전위를 제공한다. 본 논문에서 제안하는 구조는 상부의 전송선로와 접지면과의 용량성분  $C_a$ 뿐만 아니라 전송선로와 제2 접지면과의 추가적인 단위 길이 당 용량성분  $C_b$  또한 존재하여 총 용량은  $C = C_a + C_b$ 가 된다. 따라서 기존의 마이크로 스트립 선로나 박막필름 전송선로에 비해서 용량이 크기 때문에 선로 파장이 줄어들게 된다. 이는 선로 파장과 용량성분은 반비례하기 때문이다. 선로 파장과 용량과의 관계식은 다음과 같다[6].

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

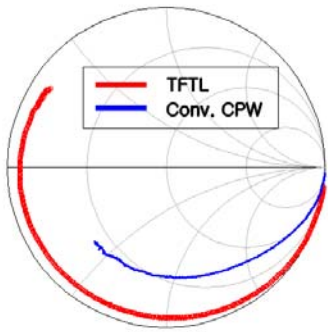
$$\lambda_g = \frac{2\pi}{f\sqrt{LC}} = \frac{2\pi}{f\sqrt{L(C_a + C_b)}} \quad (2)$$

식 (1)은 종래의 선로에 해당하며, 식 (2)는 박막필름 전송선로에 해당한다. 위의 식에서  $f$ 는 동작주파수,  $L$ 은 단위 길이 당 인덕턴스,  $C$ 는 단위 길이 당 용량,  $\lambda_g$ 는 선로파장이다.

**Figure 2**는 유전체 높이 200  $\mu m$ , 전송선로 폭  $W = 20 \mu m$ , 선로와 접지면과의 간격  $G = 20 \mu m$ , 선로의 길이  $L = 500 \mu m$  로 실제 제작한 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 사진과 레이아웃이다.



**Figure 2:** A photograph and layout of the open and short stub employing Thin-film Transmission Line (TFTL) on silicon substrate



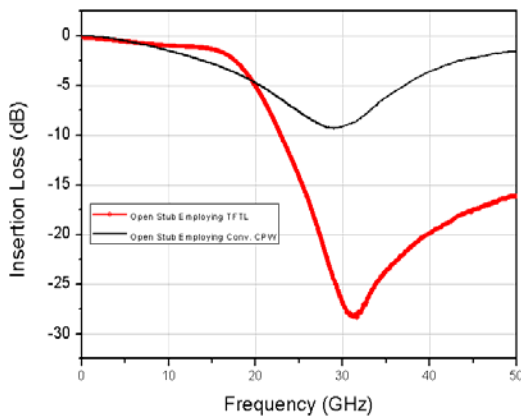
**Figure 3:** Measured return loss ( $S_{11}$ ) of the open stub employing TFTL and conventional coplanar waveguide on silicon substrate

Figure 3는 500MHz에서 50GHz까지 측정된 제작한 박막 필름 코프레너 구조체의 반사 손실과 종래의 코프레너 선로의 반사손실이다. 이상적인 Open Stub의 경우 주파수가 높아질수록 스미스 차트의 최외각 원을 따라서 시계방향으로 이동한다. 종래의 코프레너 선로를 이용하여 만든 Open Stub는 주파수가 높아질수록 스미스 차트의 안쪽으로 이동하는 것을 알 수 있고, 박막필름 코프레너 구조체를 이용하여 만든 Open Stub의 삽입 손실이 이상적인 Open Stub의 삽입손실과 유사하게 최외각 원을 따라감을 확인할 수 있다.

다음으로 박막필름 코프레너 구조체의 Q 팩터에 대하여 연구하였다. Q 팩터는 중심주파수  $f_0$ 와 -3dB 대역폭의 비로써 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$Q = f_0 / \Delta f_{-3dB} \quad (3)$$

Figure 4는 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로를 이용해 만든 1/4 파장 Open Stub의 삽입손실  $S_{21}$ 와 종래의 마이크로스트립 선로를 이용하여 만든 1/4 파장 Open Stub의 삽입손실  $S_{21}$ 이다. 측정된  $S_{21}$ 을 토대로 계산한 Q 팩터 값을 Table 1에 나타내었다.



**Figure 4:** Measured 2 port insertion loss  $S_{21}$  of quarter wave length open stubs on silicon substrate

**Table 1:** Q-factors of open stubs on silicon substrate

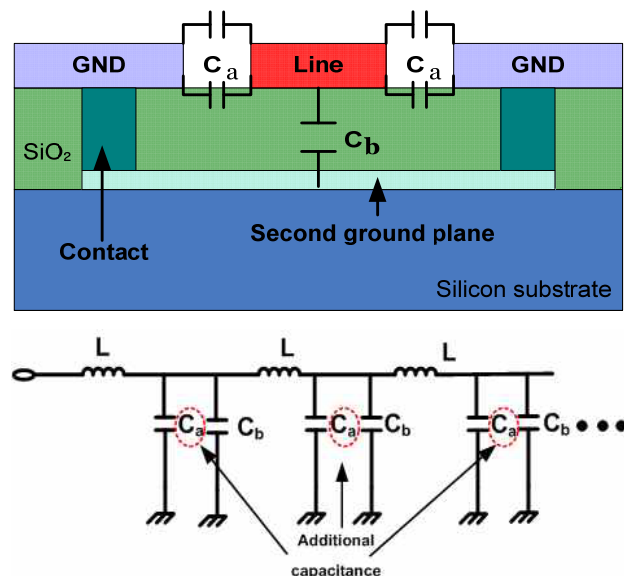
Item	Q factor	Frequency
Open stub employing TFTL	7.6	32.1 GHz
Open stub employing conventional CPW	2.5	29.1 GHz

마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로를 이용해 만든 Open Stub가 종래의 코프레너 선로를 사용해서 만든 Open Stub에 비해 Q 팩터의 값이 높은 것을 알 수 있다. Q 팩터 값이 높다는 것은 주파수 선택도가 양호하다는 것을 의미하며, 필터의 경우 스킵트 특성이 좋아짐을 의미한다.

종래의 코프레너 선로 구조는 선로에서 접지면으로 누설되는 전류가 있어 비교적 큰 손실을 초래한다. 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 경우 종래의 코프레너 선로보다 적은 손실을 가지는데 그 이유는 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 용량 성분인  $C_a, C_b$ 가 bypass 역할을 하여 선로에서 접지면으로 누설되는 전류를 차단시키기 때문이다. 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로를 이용해 만든 Open Stub의 Q 팩터 값이 높은 이유는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$Q = \frac{\beta}{2\alpha} \quad (4)$$

따라서, 손실이 적은 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로를 사용하였기에 종래의 코프레너 선로 구조보다 더 높은 Q값을 얻을 수 있었다.



**Figure 5:** An equivalent circuit of the transmission line employing TFTL on silicon substrate

Figure 5는 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 구조와 상기 선로의 등가회로이다. 아래와 같이 종래의 박막형 마이크로스트립 선로의 등가회로에 용량성분  $C_b$ 가 단위길이 당 주기적으로 존재하는 전송선로로 표현이 가능하다[5].

### 3. Filter 소형화에의 적용

앞선 절에서 언급했던 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 단파장 특성과 Q 팩터 값이 높은 것을 활용하여 실리콘 RFIC상에서 구현되는 RF Filter의 소형화에 적용 시킬 수 있다. Open Stub를 사용하면 Open Stub의 길이와 1/4파장의 길이가 같은 주파수 대역을 억제하는 필터를 만들 수 있으며, Figure 6은 Open Stub를 이용하여 필터를 만들었을 때 종래의 코프레너 선로와 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로를 이용했을 때의 필터의 크기 차이를 보여 주고 있다. 같은 주파수 억제용 필터를 만들 때 종래의 마이크로스트립선로보다 선로길이가 짧은 Open Stub를 이용해서 필터를 제작 할 수 있음을 알 수 있다. 이는 앞 절에서 언급했던 추가된 용량성분 때문임을 알 수 있다. 또한 종래의 코프레너 선로 보다 선로길이가 짧은 것을 이용하여 필터의 크기를 줄일 수 있음을 의미한다. Figure 7은 Open Stub 길이에 따른 각 주파수별 삽입 손실을 나타내고 있다.

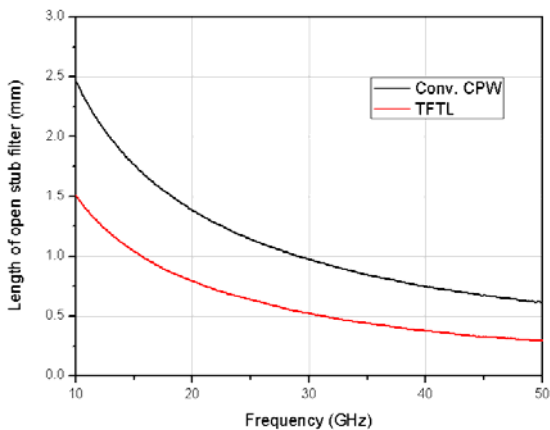


Figure 6: The length of the open stub filter on silicon substrate required for a rejection of specific frequencies

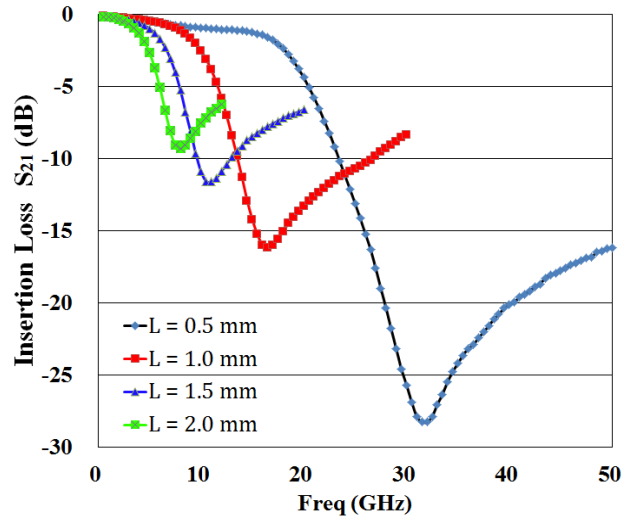


Figure 7: Measured band rejection characteristic of the open stub filters employing TFTL with various length on silicon substrate

### 4. 결 론

본 연구에서는 실리콘 유전체 위에 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 기본적인 RF 특성과 실리콘 RFIC상에서의 RF Filter 소형화를 연구하였다. 종래의 코프레너 선로와 비교한 결과 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 경우 추가적인 용량 성분  $C_b$  때문에 Q 팩터의 값이 7.6으로 종래의 코프레너 선로의 2.5에 비해 높은 값을 얻을 수 있었다. 또한 마이크로스트립/코프레너 구조를 가지는 박막필름 전송 선로는 종래의 코프레너 선로보다 길이가 짧은 것을 이용하여 필터의 소형화에 응용할 수 있다. 따라서 실리콘 유전체 위에 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로를 이용한 Open stub는 초소형 온칩용 RF 수동 및 정합소자에 매우 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

### 후 기

이 논문은 2014년도 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2014R1A2A1A11049844).

## References

- [1] Y. Yun, K. S. Lee, C. R. Kim, K. M. Kim, and 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 Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 10, pp. 3805-3817, 2006.
- [2] K. J. Son, J. H. Jeong, S. J. Han, and Y. Yun, "A study on equivalent circuit of short wavelength transmission line employing second ground plane on silicon RFIC for application to wireless communication system," *Conference, the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 56, pp. 285-286, 2013 (in Korean).
- [3] J. H. Jeong, S. Y. Kang, and Y. Yun, "A short wavelength transmission line employing periodically arrayed capacitive devices on MMIC," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 34, no. 6, pp. 840-845, 2010 (in Korean).
- [4] J. H. Kim, J. H. Jeong, and Y. Yun, "A study on RF characteristics of transmission line employing inverted periodically arrayed capacitive devices for application to highly miniaturized wireless communication system on MMIC," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 39, no. 1, pp. 52-57, 2015 (on Korean).
- [5] K. J. Son, J. H. Jeong, S. J. Han, and Y. Yun, "A Short wavelength and low loss thin-film transmission line employing ML/CPW composite structure on silicon substrate," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 442, pp. 138-141, 2014.
- [6] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1990.