

# 실리콘 RFIC 상에서 무선 통신 시스템의 소형화를 위한 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 등가회로 및 대역폭에 관한 연구

손기준<sup>1</sup> · 정장현<sup>2</sup> · 김동일<sup>3</sup> · 윤영<sup>†</sup>

(Received October 24, 2013 ; Revised February 4, 2014 ; Accepted March 10, 2014)

## Study on Equivalent Circuit and Bandwidth of Short Wavelength Thin-film Transmission Line Employing ML/CPW composite structure for Miniaturization of wireless Communication System on RFIC

Ki-Jun Son<sup>1</sup> · Jang-Hyeon Jeong<sup>2</sup> · Dong-Il Kim<sup>3</sup> · Young Yun<sup>†</sup>

**요약:** 본 논문에서는 실리콘 RFIC 상에서 무선 통신 시스템의 소형화에의 응용을 위하여 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 단파장 박막필름 전송선로의 RF특성에 관하여 연구하였다. 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 파장은 종래의 코프레너 선로에 비하여 단파장특성을 보여주고 있으며, 특히 10 GHz에서 파장이 6.26 mm로 종래의 코프레너 선로의 60.5 %이다. 또한 본 논문에서는 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 등가회로와 대역폭에 관하여 연구를 진행하였다. 등가회로는 단위 셀로 나타냈으며, 상기 등가회로의 각 소자들은 closed-form 수식을 통하여 이론적으로 계산하였다. 측정 결과 0 ~ 30 GHz 범위에서 계산수치와 측정수치가 유사하게 나온 것을 확인 할 수 있었다. 대역폭 계산결과 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로는 차단주파수가 377 GHz 이상의 광대역 특성을 보여주고 있다. 상기 결과들로부터 본 논문에서 제안한 전송선로를 이용하여 광대역 및 초소형 RF 수동소자로써 유용하게 사용될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

**주제어:** 박막필름 전송선로, 실리콘, RFIC, 코프레너

**Abstract:** In this paper, we study the RF characteristics of the short wavelength thin-film transmission line employing microstrip line (ML)/coplanar waveguide (CPW) composite structure on silicon substrate for application to RFIC (radio frequency integrated circuit). The thin-film transmission line employing ML/CPW composite structure showed a wavelength shorter than conventional transmission lines. Concretely, at 10 GHz, the wavelength of the transmission line employing ML/CPW composite structure was 6.26 mm, which was 60.5 % of the conventional coplanar waveguide. We also extracted the bandwidth characteristic of the transmission line employing ML/CPW composite structure using equivalent circuit analysis. The S parameter of the equivalent circuit showed a good agreement with measured result. According to the bandwidth extraction result, the cut-off frequency of thin-film transmission line employing ML/CPW composite structure was 377 GHz. Above results indicate that the transmission line employing ML/CPW composite structure can be effectively used for application to broadband and compact RFIC.

**Keywords:** Thin-film transmission line, Silicon, RFIC, Coplanar Waveguide

### 1. 서론

현재 정보통신기술이 점차 첨단화되어지면서 무선통신 시스템의 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 첨단화된 무

선통신시스템을 위해서 소형화 및 저단가가 중요한 과제로 떠오르고 있다[1]-[5]. 그러나 필터, 분배기/결합기와 같은 RF 수동소자들은 큰 점유 면적을 차지하기 때문에 RFIC

† 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, 606-791 Korea, E-mail: [yunyoung@kmou.ac.kr](mailto:yunyoung@kmou.ac.kr), Tel: 051-410-4426

1 Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: [skj8827@kmou.ac.kr](mailto:skj8827@kmou.ac.kr), Tel: 051-410-5057

2 Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: [jjh2010@kmou.ac.kr](mailto:jjh2010@kmou.ac.kr), Tel: 051-410-5057

3 Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: [dikim@kmou.ac.kr](mailto:dikim@kmou.ac.kr), Tel: 051-410-4932

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.

(Radio Frequency Integrated Circuit) 외부에 제작 되어왔다 [6]. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 RFIC 내부에 집적 가능한 초소형 수동소자의 개발을 위한 단파장 전송선로의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 실리콘 기판 상에서 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로에 관하여 연구하였다. 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로는 종래의 코플레너 선로에 비하여 단파장 특성을 보여주고 있다. 본 논문에서는 RFIC 상에서 초소형 수동소자 개발에 응용하기 위하여 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 RF 특성을 연구하였다. 구체적으로는 선로파장, 커패시턴스, 대역폭 및 등가회로에 관하여 연구하였다.

## 2. 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 구조

Figure 1 (a)는 종래의 마이크로스트립 선로이며, 실리콘 기판상에 선로가 존재하고 실리콘 기판아래에는 접지면이 존재한다. Figure 1 (b)는 경우 종래의 코플레너 선로이고, 실리콘 기판상에 선로와 접지면이 존재하게 된다. 그리고 Figure 1 (c)는 종래의 박막필름 마이크로스트립 선로를 보여주고 있으며, 실리콘 기판상에 제 2 접지면이 존재한다. 그리고 SiO<sub>2</sub> 박막필름은 제 2 접지면과 상부의 선로 사이에 존재하게 된다. 상기 박막필름 마이크로스트립 선로는 선로와 제 2 접지면 사이에 용량 C<sub>b</sub>가 발생하며, Figure 1 (a)와 (b)의 종래의 마이크로스트립 선로 및 코플레너 선로보다 큰 용량성분을 가진다. 이러한 고용량 특성 때문에 박막필름 마이크로스트립 선로는 종래의 마이크로스트립 선로와 코플레너 선로에 비해 단파장 특성을 보여주었다[7].

Figure 2는 본 논문에서 제안하는 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로를 보여준다[8]. Figure 2에서와 같이 최상부에도 접지면이 선로의 양쪽으로 위치하고 있으며, 선로와 상부 접지면 아래쪽에는 SiO<sub>2</sub> 박막필름이 존재한다. 그리고 제 2 접지면은 SiO<sub>2</sub> 박막필름과 실리콘 기판사이에 존재한다. 또한 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로는 상부의 접지면과 제 2 접지면이 Contact를 통하여 전기적으로 연결되어 접지전위를 공급한다. 박막필름 마이크로스트립 선로와 비교하였을 때, 본 연구에서 제안한 구조는 제 2 접지면과 선로 사이의 주기적인 용량 C<sub>b</sub>에 뿐만 아니라 상부 접지면과 선로사이의 용량 C<sub>a</sub>도 존재하여 전체용량은 C = C<sub>a</sub> + C<sub>b</sub>가 되므로, 박막필름 마이크로스트립 선로보다 파장이 더 줄어들게 된다.

아래 식은 선로파장과 용량사이의 관계식이며, Equation (1-a)의 경우는 종래의 박막필름 마이크로스트립 선로에 해당하며, Equation (1-b)는 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로에 해당한다.

$$\lambda_g = \frac{1}{f\sqrt{LC}} \tag{1-a}$$

$$\lambda_g = \frac{1}{f\sqrt{LC}} = \frac{1}{f\sqrt{L(C_a + C_b)}} \tag{1-b}$$

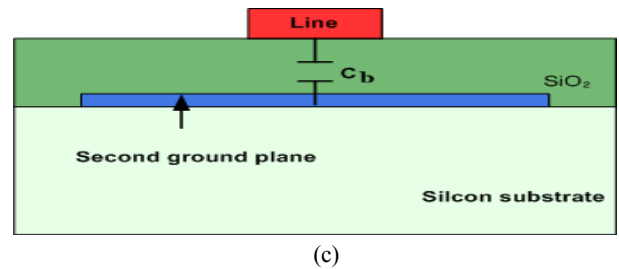
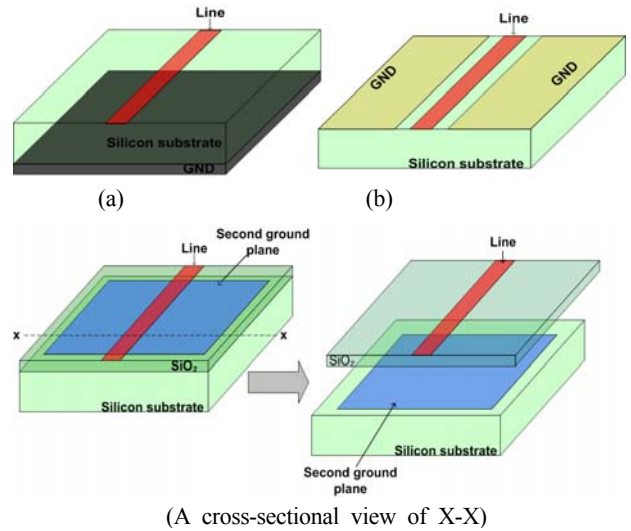


Figure 1: (a) microstrip line, (b) coplanar waveguide and (c) thin-film microstrip line

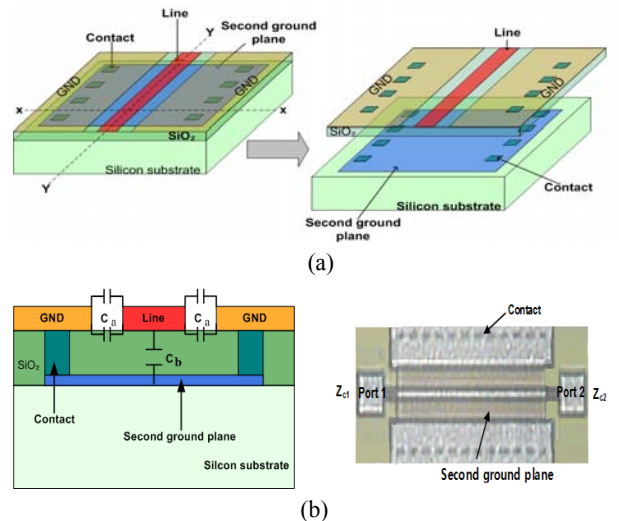


Figure 2: (a) The thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure (b) A cross-sectional view of X-X and manufactured transmission line

### 3. 마이크로스트립/코플레너구조를 가지는 박막필름 전송선로의 RF 특성

#### 3.1 선로파장

본 논문에서는 실리콘 RFIC 상에서 무선 통신 시스템의 소형화에의 응용을 위하여 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 단파장 박막필름 전송선로의 RF특성에 관하여 연구하였다. 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 파장은 종래의 코플레너 선로에 비하여 단파장특성을 보여주고 있으며, 특히 10 GHz에서 파장이 6.26 mm로 종래의 코플레너 선로의 60.5%이다. 또한 본 논문에서는 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 등가회로와 대역폭에 관하여 연구를 진행하였다. 등가회로는 단위 셀로 나타냈으며, 상기 등가회로의 각 소자들은 closed-form 수식을 통하여 이론적으로 계산하였다. 측정 결과 0 ~ 30 GHz 범위에서 계산수치와 측정수치가 유사하게 나온 것을 확인 할 수 있었다. 대역폭 계산결과 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로는 차단주파수가 377 GHz 이상의 광대역 특성을 보여주고 있다. 상기 결과들로부터 본 논문에서 제안한 전송선로를 이용하여 광대역 및 초소형 RF 수동소자로서 유용하게 사용될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

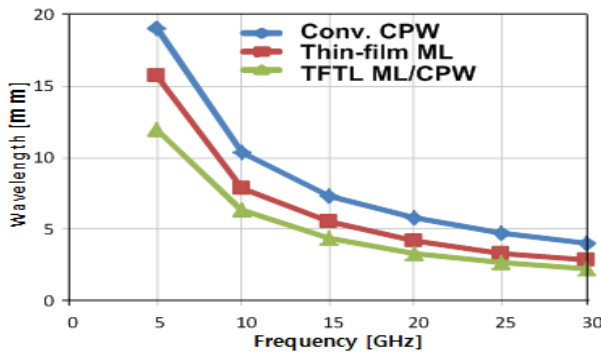


Figure 3: Wavelength of various transmission lines on silicon substrate

#### 3.2 주기적 용량성 및 대역폭

본 절에서는 주기적인 용량성 이론[9]를 적용하여 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로에 대한 대역폭을 계산하였다. Figure 1 (c)의 박막필름 마이크로스트립 선로는 Figure 4와 같이 등가회로를 나타낼 수 있으며, 주기적인 용량  $C_b$ 와 인덕턴스  $L$ 이 존재하게 된다.

본 논문에서 제안한 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로가 단파장 특성을 보이는 이유는 종래의 전송선로에 비해 전체적인 용량이 증가하였기 때문이며, 따라서 종래의 박막필름 마이크로스트립 선로의 등가회로에 용량  $C_a$ 가 주기적으로 존재하는 전송선로로 표현가능하며, 아래와 같은 등가회로와 같이 나타낼 수 있다.

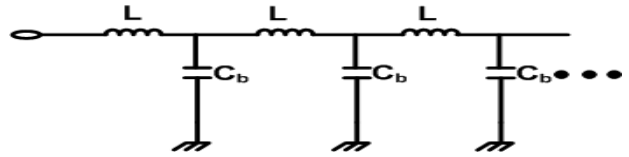


Figure 4: Equivalent of Thin-film microstrip line

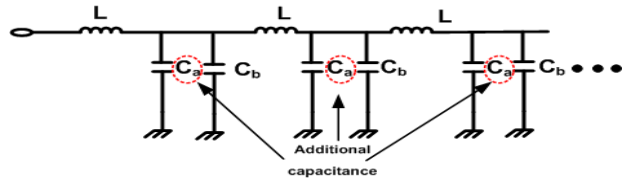


Figure 5: Equivalent of The thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure

전송선로에 대한 전파상수, 특성임피던스 및 단위길이 당 용량을 구하는 식은 다음과 같다[9].

$$\beta \approx \omega \sqrt{LC} \tag{2}$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{3}$$

$$C = \frac{L}{Z_o^2} = \frac{\beta}{\omega Z_o} = \frac{1}{\omega Z_o} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \tag{4}$$

상기 식에서  $\beta$ ,  $\omega$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $Z_o$ 는 각각 전파상수, 동작 주파수  $f$ 에 대한 각주파수  $2\pi f$ , 단위 길이 당 인덕턴스, 단위 길이 당 커패시턴스, 전송선로의 특성임피던스이고 Equation (4)에서의  $C$ 는 단위길이 당 용량 값을 구하는 식이다. 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로 및 종래의 박막필름 마이크로스트립 선로의 용량은 상기의 수식들을 통하여 추출할 수 있으며, Figure 6은 Equation (2)-(4)를 이용하여 종래의 코플레너 선로와 박막필름 마이크로스트립 선로 및 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 주기적인 용량을 나타내고 있다. Figure 6에서 보는바와 같이 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로는 종래의 코플레너 선로와 박막필름 마이크로스트립 선로에 비해 아주 큰 용량 값을 보이며, 구체적으로 코플레너 선로, 박막필름 마이크로 스트립 선로 및 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 평균값은 각각 0.15, 0.35, 0.88 pF/mm이다. Equation (1-b)로부터 전송선로의 용량이 클수록 선로파장이 감소하는 것을 알 수 있으며, Figure 3에서 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로가 종래의 전송선로보다 단파장 특성을 보이는 이유는 가장 큰 용량 값을 가지기 때문이다.

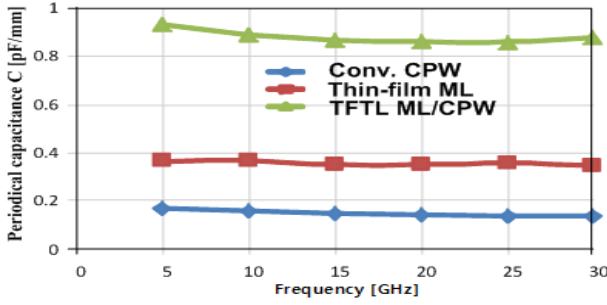


Figure 6: Measured equivalent periodic capacitance per unit length for various transmission lines on silicon substrate

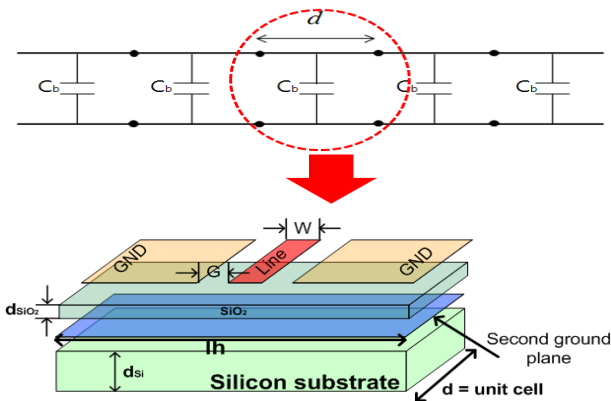


Figure 7: Equivalent circuit of the thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure with periodically loaded capacitance  $C_b$

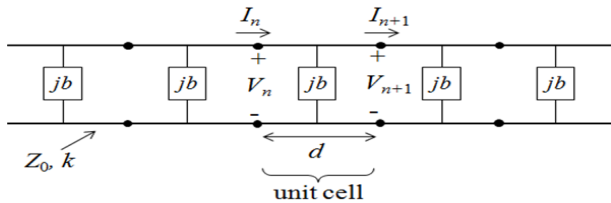


Figure 8: Voltage and current on the equivalent circuit of the thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure

상기의 내용을 토대로 본 연구에서는 대역폭을 추출하기 위하여 주기적인 등가회로[9]를 이용하였다. Figure 7과 같이 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로는 용량  $C_a$ 와 인덕턴스  $L$ 로 구성된 전송선로와 용량  $C_b$ 로 나타낼 수 있으며, 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 추가적인 용량인  $C_b$ 가 종단된 길이  $d$ 인 주기적인 전송선로의 등가회로를 표현하고 있다. 상기의 내용에서 설명한 것과 같이, 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로는 용량  $C_a$ 와  $C_b$ 를 갖지만, 용량  $C_a$ 는 상부의 신호라인과 접지면 사이에 존재하는 용량이므로, 길이  $d$ 인 주기적인 전송

선로에 포함되어있다. 제 2 접지면과 상부의 선로 사이에서 발생하는 용량  $C_b$ 는 주기적인 세셉턴스  $jb$ 로 표현될 수 있으며, 아래의 식 과같이 나타낼 수 있다.

$$jb = j\omega C_b/Y_o = j\omega C_b Z_o \quad (5)$$

$$b = \omega C_b Z_o \quad (6)$$

상기 식에서  $\omega$  및  $Z_o$ 는 각각 동작주파수  $f$ 에 대한 각주파수  $2\pi f$ 이며,  $Z_o$ 는 종래의 코플레너 선로의 특성임피던스이다. 위의 Figure 8에서 단위 셀  $d$ 의 길이는  $40 \mu\text{m}$ 이며,  $\text{SiO}_2$  박막필름의 두께는  $1 \mu\text{m}$ 이다. Figure 8은 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 등가회로 상에 존재하는 전류 및 전압을 보여주고 있으며, 본 구조의  $n$ 번째 단위 셀에 대한 입출력 전류  $I_n, I_{n+1}$ 과 입출력 전압  $V_n, V_{n+1}$ 은 ABCD 행렬에 의해 아래와 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} V_n \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{n+1} \\ I_{n+1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos kd - \frac{b}{2} \sin kd & j(\sin kd + \frac{b}{2} \cos kd - \frac{b}{2}) \\ j(\sin kd + \frac{b}{2} \cos kd + \frac{b}{2}) & \cos kd - \frac{b}{2} \sin kd \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$kd = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_c} d \quad (9)$$

상기 식에서  $\mu_0, \epsilon_0, \epsilon_c$ 는 각각 공기에 대한 투자율, 유전율 및 종래의 코플레너 선로의 유효유전율이다. 상기에서 제안한 선로의 구조에 대한 전송상수를  $\gamma$ 라고 가정하면 다음의 식으로 표현 가능하다.

$$V_{n+1} = V_n e^{-\gamma d} \quad (10)$$

$$I_{n+1} = I_n e^{-\gamma d} \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} V_n \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{n+1} \\ I_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{n+1} e^{\gamma d} \\ I_{n+1} e^{\gamma d} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} A - e^{\gamma d} & B \\ C & D - e^{\gamma d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{n+1} \\ I_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

위의 방정식이 0이 아닌 근을 갖으며, 무손실 회로에서  $AD - BC = 1$  임을 적용하여 방정식을 풀이하면 다음과 같다.

$$\frac{e^{-\gamma d} + e^{\gamma d}}{2} = \cosh \gamma d \quad (13)$$

$$\frac{(A + B)}{2} = \left( \cos kd - \frac{b}{2} \sin kd \right)$$

마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로 상에서의 전송상수  $\gamma$ 는 손실을 가지고 있으므로  $\gamma = \alpha + \beta$ 가 되어, 아래의 수식이 성립된다.

$$\begin{aligned} \cosh \gamma d &= \cosh \alpha d \cos \beta d + j \sin \alpha d \sin \beta d \quad (14) \\ &= \cos kd - \frac{b}{2} \sin kd \end{aligned}$$

상기 식을 통하여  $\alpha = 0, \beta \neq 0$ 일 때의 통과대역을 구할 수 있으며,  $\alpha \neq 0, \beta = 0$ 일 때의 저지대역을 구할 수 있다. 통과대역과 저지대역을 구하는 수식은 아래와 같다.

$$\cos \beta d = \cos kd - Xkd \sin kd, \text{ Passband} \quad (15)$$

$$\cos \alpha d = |\cos kd - Xkd \sin kd| \geq 1, \text{ Stopband} \quad (16)$$

$$X = \left( \frac{C_b Z_o}{2 \sqrt{\epsilon_c} \sqrt{\mu_o \epsilon_o} d} \right) \quad (17)$$

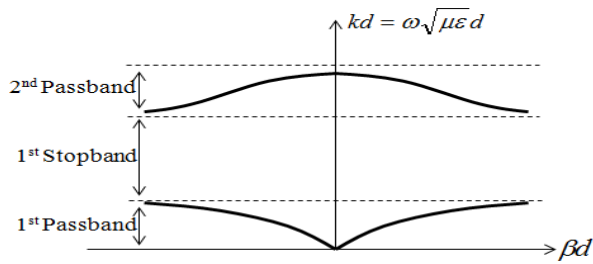


Figure 9: k- $\beta$  graph

Table 1: Measured pass and stopband of the thin-film transmission line employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure.

band	1st Passband (GHz)	1st Stopband (GHz)	2nd Passband (GHz)
Structures	$f \leq 377$ B·W : 377	377 ~ 1360	1360 ~ 1464 B·W : 104
TFTL ML/CPW			

Figure 9는 상기 Equation (15)-(17)을 통해 통과대역과 저지대역의  $k$ 와  $\beta$ 의 관계를 그래프로 나타낸 것이며, Table 1은 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 통과대역 및 저지대역 특성결과를 보여주고 있다.

RF 대역에서 물리적으로 의미가 있는 대역폭은 1차 통과대역이다. 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 차단주파수는 377 GHz 이상의 광대역 특성을 보여주고 있다. 상기결과로부터, 본 논문에서 제안한 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로는 377 GHz까지의 광대역에서 초소형의 RF 수동소자의 개발에 유용하게 쓰일 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 등가회로 분석

앞 절에서 고찰한 주기적인 서셉턴스가 존재하는 등가회로는 대역폭의 계산에 유용하게 사용될 수 있다[9]. 그러나 실제 RF 회로설계에 사용되기 위해서는 손실특성들을 고려한 RLC등가회로가 이용되어야 하며, 이러한 R, L, C 값은 선로의 폭, 길이 등을 함수인 close-form 수식으로 표현되어야 한다.

본 장에서는 실리콘 RFIC 상에서 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 RLC등가회로에 관하여 분석하였으며, Figure 10는 마이크로스트립/코프레너 구조 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 Nth의 단위 셀의 등가회로를 나타내고 있다. 상기내용 에서 말한 것과 같이 용량  $C_b$ 는 상부의 선로와 제 2 접지면 사이에 발생하는 것이며,  $L_{ind}$ ,  $R_L$ ,  $C_a$ 는 각각 마이크로스트립/코프레너 구조 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 상부에 존재하는 기생 인덕턴스와 저항성분이고,  $C_a$ 는 상부의 선로와 접지면 사이의 커플링에 의해서 발생하는 주기적인 용량이다. 또한, 실리콘 기판과 제 2 접지면 사이에도 미세한 용량인  $C_f$ 가 발생한다. 위의 등가회로의 파라미터들은 Equation (18)-(23)와 같이 선로 폭  $W$ , 선로와 상부 접지면 사이의 간격  $G$ , SiO<sub>2</sub> 박막필름 두께  $d_{SiO_2}$  들을 함수로 하는 close-form 수식으로 표현되었다.

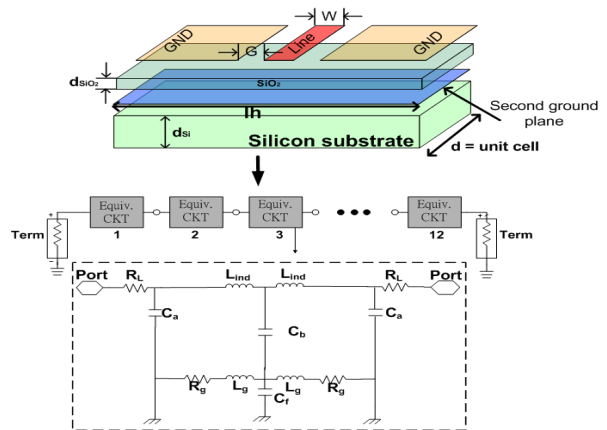


Figure 10: per unit cell of the thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure

$$C_a = [0.049 - 0.813 * (\frac{d}{G}) + 0.397 * (\frac{d}{G})^2] (pF) \quad (18)$$

$$\begin{aligned} C_b = & [1.57 * 10^{-4} + 3.12 * 10^{-6} * (\frac{d}{d_{SiO_2}}) \\ & - 1.76 * 10^{-3} * (\frac{d}{d_{SiO_2}})^2] (pF) \end{aligned} \quad (19)$$

$$L_g = 7.24 * \frac{l_h}{d} (nH) \quad (20)$$



$$L_d = [0.038 - 0.191 * (\frac{d}{W}) + 0.0883 * (\frac{d}{W})^2] (nH) \quad (21)$$

$$R_g = 0.998 * \frac{d}{l_h} (\Omega) \quad (22)$$

$$C_f = 1.24 * \frac{d}{d_{si}} (pF) \quad (23)$$

위의 Equation (18)-(23)에서 dSiO<sub>2</sub>, dSi, lh(=284 μm)는 각각 SiO<sub>2</sub> 박막필름의 두께와 실리콘 기판의 두께, 제 2 그라운드 폭이다.

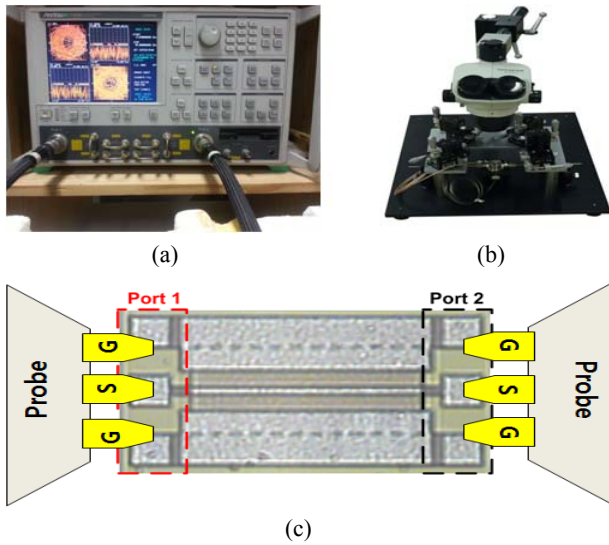


Figure 11: (a) Vector Network Analyzer (b) Probe Station (c) Magnified view of TFTL employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure

Figure 11 (a), (b)는 본 논문에서 제안한 마이크로스트립/코프레너구조 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로를 측정하기 위한 측정기기이며, Vector Network Analyzer와 Probe station을 연결하여 마이크로스트립/코프레너구조 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로를 측정 결과를 Advanced Design System Tool을 이용하여 측정치와 계산치를 비교하였다. Figure 11 (c)는 Probe station으로 본 전송선로의 모습을 확대한 것이다.

아래의 Figure 12는 상기의 Close-form 수식을 이용하여 마이크로스트립/코프레너구조를 가지는 박막필름 전송선로의 RF 특성을 비교한 결과로 구체적으로 삽입손실 및 위상차를 비교한 것이다. 삽입손실의 경우 측정치와 계산치의 차이는 0 ~ 30 GHz범위에서 최대 -1.2 dB의 차이를 나타내고 있고, 위상차의 경우 측정치와 계산치가 거의 동일한

것을 확인할 수 있다. 상기의 결과로부터 측정결과와 계산 결과의 RF 특성이 유사한 것을 확인할 수 있다.

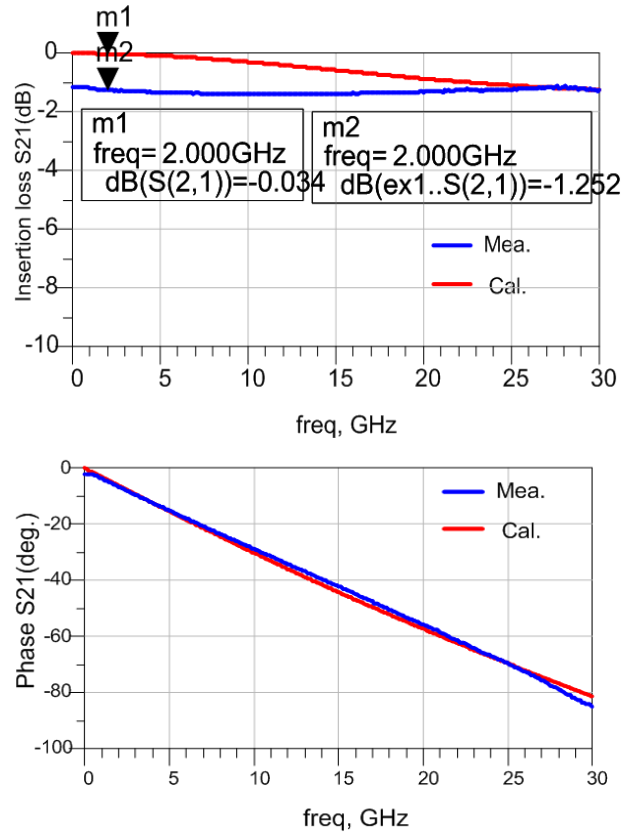


Figure 12: RF characteristic of the thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure. (W=20μm, lh=284μm, dSiO<sub>2</sub>=1μm, dSi=600μm)

## 5. 결론

본 연구에서는 실리콘 RFIC 상에서 무선통신 시스템의 소형화 개발의 응용하기 위한 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 단파장 박막필름 전송선로에 관하여 연구하였다. 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로와 종래의 전송선로의 선로과장 비교한 결과 종래의 코프레너 선로와 박막필름 마이크로스트립 선로의 경우 10 GHz에서 각각 10.35, 7.83 mm인 반면 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로는 6.26 mm로 종래의 코프레너 선로의 선로과장의 60.5 %이다. 대역폭의 경우 차단주파수는 377 GHz 이상의 광대역 특성을 보여주고 있다. 또한, 본 논문에서는 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 등가 회로를 추출하였다. 단위 셀에 대한 RLC 등가회로를 추출하였으며, 각각의 R, L, C 성분은 전송선로의 치수에 대한 close-form 수식으로 표현되었다. 측정치와 계산치를 비교한 결과 0 ~ 30 GHz의 범위에서 삽입손실은 최대 -1.2 dB의 차이를 나타내고 있고, 위상차는 거의 동일하다. 상기의 결과로부터 계산한 RF 특성은 0 ~ 30 GHz의 범위에서 측정결과와 유사한 특성을 보여주었다.

## 후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임. 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2014R1A2A1A11049844).

## References

- [1] D. R. Webster, G. Ataei, and D. G. Haigh, "Low-distortion MMIC power amplifier using a new form of derivative superposition," IEEE Transactions of Microwave Theory and Techniques, vol. 49, no. 2, pp. 328-332, 2001.
- [2] R. E. Collin, Foundation of Microwave Engineering, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, 1992.
- [3] J. C. Chiu, J. M. Lin, and Y. H. Weang, "A novel planar three-way power divider," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 16, no. 8, pp. 449-451, 2006.
- [4] X. Li, Y. J. Yang, L. Yang, S. X. Gong, T. Hong, X. Chen, and Y. J. Zhang, "Novel design of unequal wilkinson power divider or dual-band operation," Microwave Optical Technology Letters, vol. 52, no. 8, pp. 1736-1739, 2010.
- [5] Y. B. Park, H. N. Joh, S. H. Kim, Y. Yun, and I. H. Kang, "Highly miniaturized passive components employing novel  $\pi$ -type multiple coupled microstrip lines," Proceedings of the 10th Conference on Science and Technology, pp. 135-138, 2007.
- [6] Y. Yun, T. Fukuda, T. Kuniyama, and O. Ishikawa, "A high performance downconverter MMIC for applications," Institute of Electronics Information and Communication Engineers Transaction Electronics, vol. E84-C, no. 11, pp. 1679-1688, 2001.
- [7] D. P. Shea and J. E. Mitchell, "A 10 Gb/s 1024-way split 100-km long reach optical access network," Journal of Lightwave Technology, vol. 25, no. 3, pp. 685-293, 2007.
- [8] 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 for miniaturization of wireless communication system on silicon RFIC," Proceedings of the Korean Institute of Communications and Information Sciences summer Conference, vol. 51, pp. 285-286, 2013 (in Korean).
- [9] D. M. Pozar, Microwave Engineering. Reading, MA: Addison-Wesley, 1990.