

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

손기준¹ · 정장현² · 김동일³ · 윤영[†]

(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 Son¹ · Jang-Hyeon Jeong² · Dong-Il Kim³ · Young Yun[†]

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. 서 론

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, Tel: 051-410-4426

1 Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: 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, Tel: 051-410-5057

3 Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: 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 SiO₂ 박막필름은 제 2 접지면과 상부의 선로 사이에 존재하게 된다. 상기 박막필름 마이크로스트립 선로는 선로와 제 2 접지면 사이에 용량 C_b가 발생하며, Figure 1 (a)와 (b)의 종래의 마이크로스트립 선로 및 코플레너 선로 보다 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 SiO₂ 박막필름이 존재한다. 그리고 제 2 접지면은 SiO₂ 박막필름과 실리콘 기판 사이에 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_b에 뿐만 아니라 상부 접지면과 선로사이의 용량 C_a도 존재하여 전체용량은 C = C_a + C_b가 되므로, 박막필름 마이크로스트립 선로보다 파장이 더 짧아지게 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.

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

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

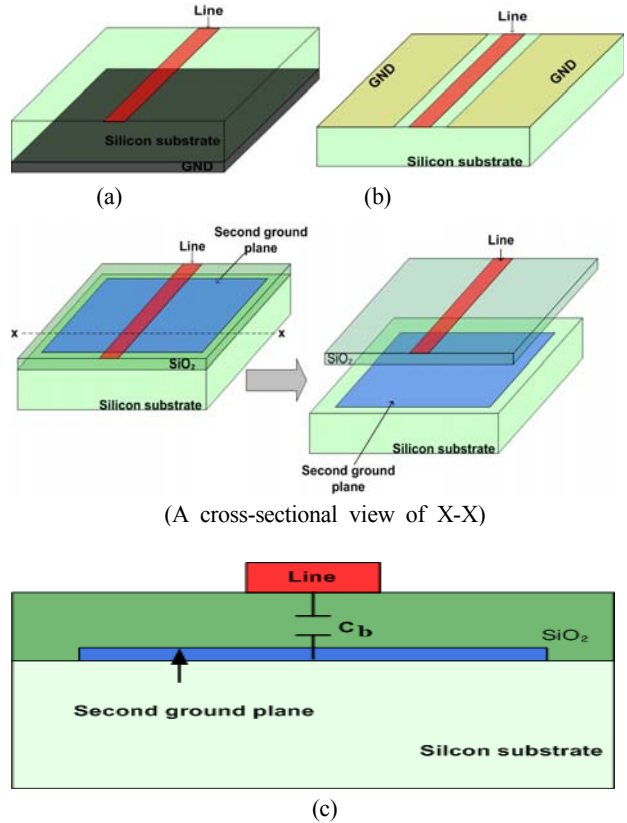


Figure 1: (a) microstrip line, (b) coplanar waveguide and (c) thin-film microstrip line

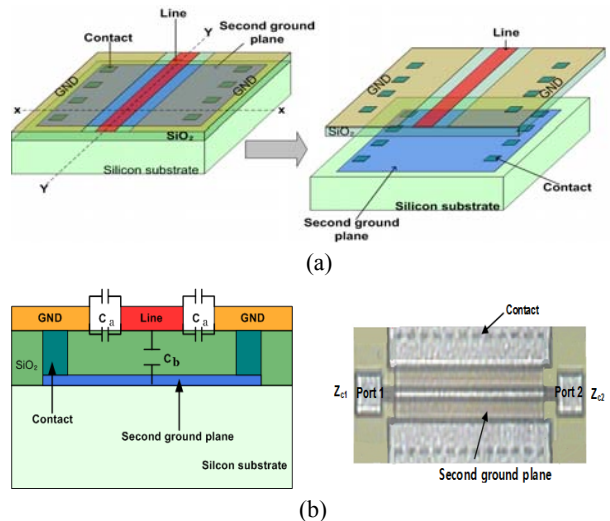


Figure 2: (a) The thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure (b) A cross-sectional view of X-X and manufactured transmission line

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.

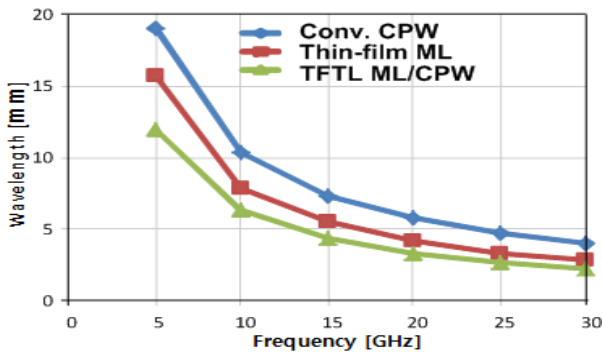


Figure 3: Wavelength of various transmission lines on silicon substrate

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.

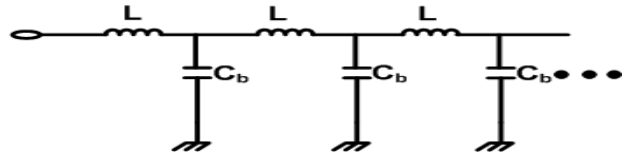


Figure 4: Equivalent of Thin-film microstrip line

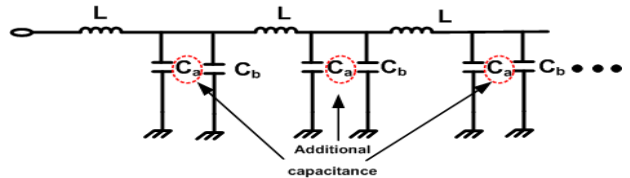


Figure 5: Equivalent of The thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure

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 β , ω , 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.

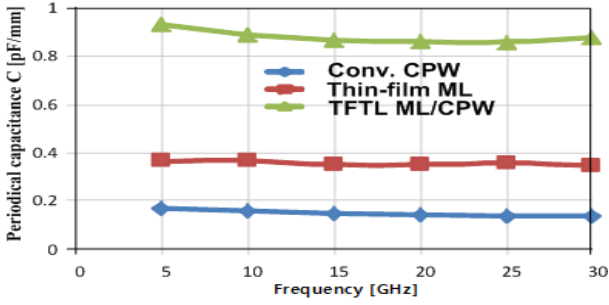


Figure 6: Measured equivalent periodic capacitance per unit length for various transmission lines on silicon substrate

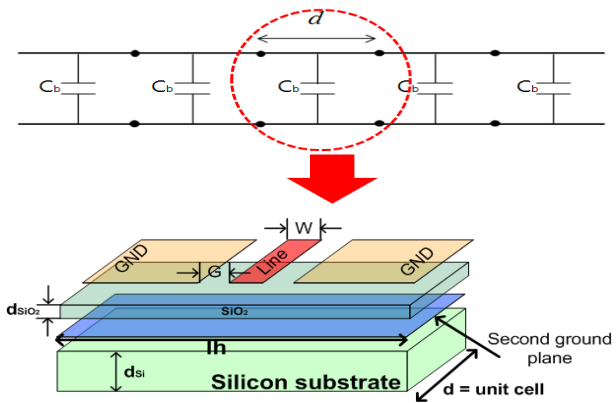


Figure 7: Equivalent circuit of the thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure with periodically loaded capacitance C_b

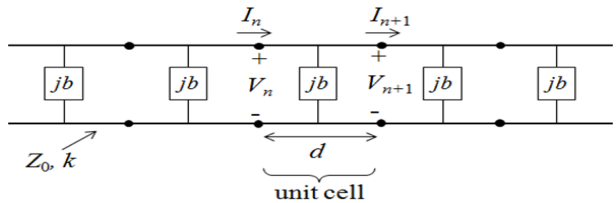


Figure 8: Voltage and current on the equivalent circuit of the thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure

상기의 내용을 토대로 본 연구에서는 대역폭을 추출하기 위하여 주기적인 등가회로[9]를 이용하였다. Figure 7과 같이 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로는 용량 C_a 와 인덕턴스 L 로 구성된 전송선로와 용량 C_b 로 나타낼 수 있으며, 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 추가적인 용량인 C_b 가 종단된 길이 d 인 주기적인 전송선로의 등가회로를 표현하고 있다. 상기의 내용에서 설명한 것과 같이, 마이크로스트립/코프레너 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 ω 및 Z_o 는 각각 동작주파수 f 에 대한 각주파수 $2\pi f$ 이며, Z_o 는 종래의 코프레너 선로의 특성임피던스이다. 위의 Figure 8에서 단위 셀 d 의 길이는 $40 \mu\text{m}$ 이며, SiO_2 박막필름의 두께는 $1 \mu\text{m}$ 이다. Figure 8은 마이크로스트립/코프레너 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 코프레너 선로의 유효유전율이다. 상기에서 제안한 선로의 구조에 대한 전송상수를 γ 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.

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

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

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

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

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.

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

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

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

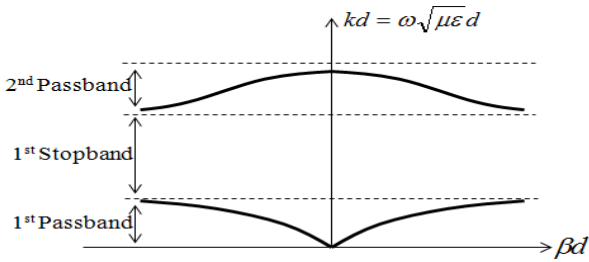


Figure 9: k-β graph

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 ≤ 377 B-W : 377	377 ~ 1360	1360 ~ 1464 B-W : 104
TFTL ML/CPW			

Figure 9는 상기 Equation (15)-(17)을 통해 통과대역과 저지대역의 k와 β의 관계를 그래프로 나타낸 것이며, Table 1은 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 통과대역 및 저지대역 특성결과를 보여주고 있다.

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

4. 마이크로스트립/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 등가회로 분석

앞 절에서 고찰한 주기적인 서셉턴스가 존재하는 등가회로는 대역폭의 계산에 유용하게 사용될 수 있다[9]. 그러나 실지 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/코플레너 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 RLC등가회로에 관하여 분석하였으며, Figure 10는 마이크로스트립/코플레너 구조 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 Nth의 단위 셀의 등가회로를 나타내고 있다. 상기내용 에서 말한 것과 같이 용량 Cb는 상부의 선로와 제 2 접지면 사이에 발생하는 것이며, Lind, RL, Ca는 각각 마이크로스트립/코플레너 구조 복합구조를 가지는 박막필름 전송선로의 상부에 존재하는 기생 인덕턴스와 저항성분이고, Ca는 상부의 선로와 접지면 사이의 커플링에 의해서 발생하는 주기적인 용량이다. 또한, 실리콘 기판과 제 2 접지면 사이에도 미세한 용량인 Cf가 발생한다. 위의 등가회로의 파라미터들은 Equation (18)-(23)와 같이 선로 폭 W, 선로와 상부 접지면 사이의 간격 G, SiO2 박막필름 두께 dSiO2 들을 함수로 하는 close-form 수식으로 표현되었다.

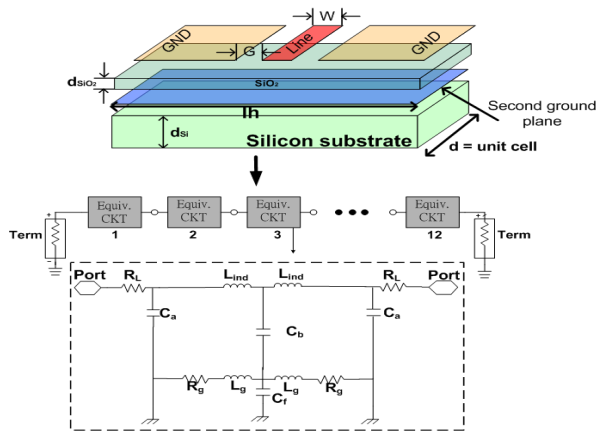


Figure 10: per unit cell of the thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure

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

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

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

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

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

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

위의 Equation (18)-(23)에서 dSiO₂, dSi, lh(=284 μm)는 각각 SiO₂ 박막필름의 두께와 실리콘 기판의 두께, 제 2 그라운드 폭이다.

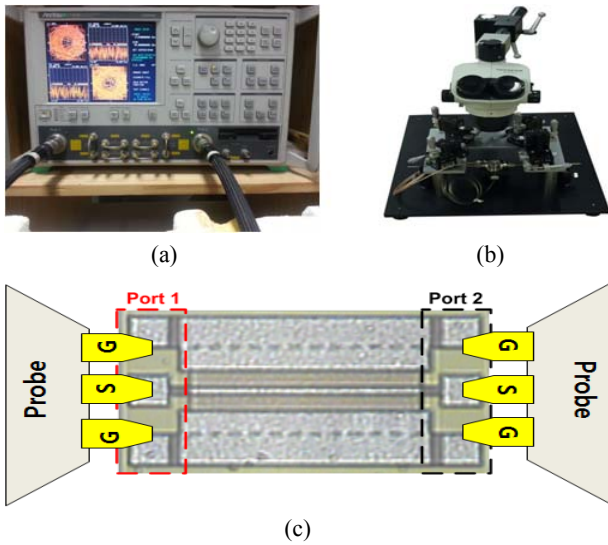


Figure 11: (a) Vector Network Analyzer (b) Probe Station (c) Magnified view of TFTL employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure

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 계산결과의 RF 특성이 유사한 것을 확인할 수 있다.

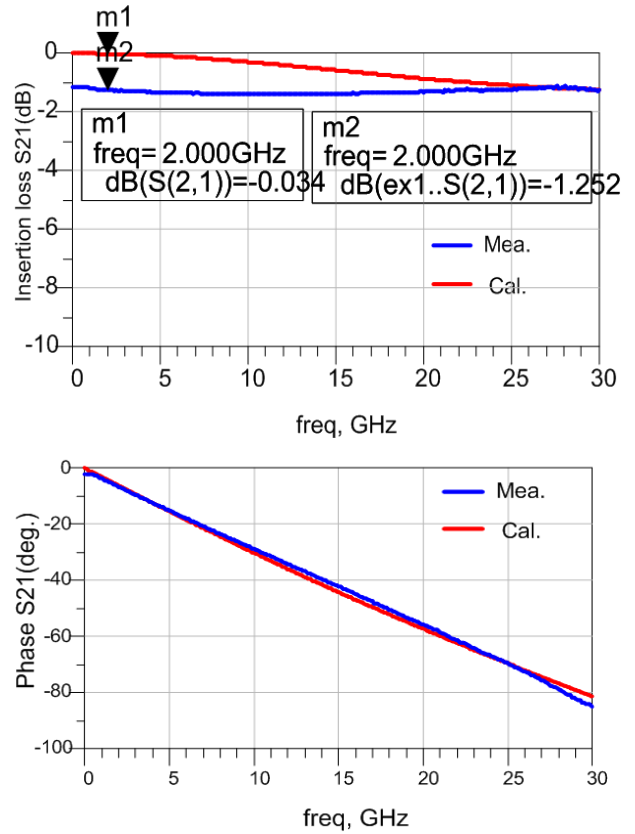


Figure 12: RF characteristic of the thin-film transmission line (TFTL) employing microstrip line/coplanar waveguide (ML/CPW) composite structure.(W=20μm, lh=284μm, dSiO₂=1μm, dSi=600μm)

5. 결론

본 연구에서는 실리콘 RFIC 상에서 무선통신 시스템의 소형화 개발의 응용하기 위한 마이크로스트립/코프레너 복합구조를 가지는 단과장 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 RLC등가회로를 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*, 2nd 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 π -type multiple coupled microstrip lines," *Proceedings of the 10th Conference on Science and Technology*, pp. 135-138, 2007.
- [6] Y. Yun, T. Fukuda, T. Kunihisa, 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.