

## RF 소자의 소형화를 위해 실리콘 박막상에서 다양한 형태의 주기적 스트립 구조를 가지는 전송선로의 기본특성 연구

한성조<sup>1</sup> · 정장현<sup>2</sup> · 윤영<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2013년 7월 18일, 원고수정일: 2013년 9월 17일, 심사완료일 : 2013년 9월 17일)

### A study on basic characteristics of transmission lines employing various periodic strip structures on silicon substrate for a miniaturization of RF components

Sung-Jo HAN<sup>1</sup> · Jang-Hyeon JEONG<sup>2</sup> · Young YUN<sup>†</sup>

**요약** : 본 논문에서는 실리콘 RFIC(radio frequency integrated circuit) 상에서 초소형 수동소자에의 응용을 위하여 다양한 형태의 주기적 스트립 구조(PSS, periodic strip structure)를 이용한 전송선로의 기본 특성을 연구하였다. 그 결과에 의하면, 본 논문에서 제안한 다양한 형태의 PSS 구조를 가지는 전송선로는 종래의 코플레너 선로(CPW, coplanar wave guide)에 비해 강한 slow-wave 특성에 의해 단파장 특성을 보여주었으며, 특히, PSS와 접지면 사이에 contact가 존재하고 PSS에 slot이 존재하지 않는 with-contact 구조가 RF 소자의 소형화에 가장 효과적임을 알 수 있었다. 구체적으로 with-contact 형태의 전송선로에 대한 실리콘 박막상의 점유면적은 종래의 코플레너 선로에 비해 4.39%로 점유면적이 대폭 축소되었다. 대역폭 계산결과에 의하면 모든 형태의 PSS 구조는 적어도 차단주파수가 384 GHz이상의 광대역 특성을 보여주었다. 상기 결과들로부터 본 논문에서 제안한 다양한 형태의 PSS 구조를 가지는 전송선로는 광대역 및 초소형 RF 수동소자로서 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있으며, 특히, with-contact 구조가 RF 소자의 소형화에 가장 효과적임을 알 수 있었다.

**주제어** : 실리콘 박막, 주기적 스트립 구조 (PSS), 전송선로, 코플레너 선로(CPW)

**Abstract** : In this work, we studied basic characteristics of transmission lines employing various PSS (periodic strip structure) on silicon substrate for application to a miniaturization of RF components. According to the results, the transmission lines employing various PSS showed wavelength shorter than conventional coplanar waveguide due to their strong wave characteristics. Especially, with-contact structure was most effective for a miniaturization of RF component. Concretely, the size of the transmission line employing with-contact was only 4.39 % of the conventional coplanar waveguide, According to the bandwidth extraction result, the bandwidth of the transmission lines employing various PSS structures were wider than 384 GHz. Above results indicate that the transmission lines employing various PSS can be effectively used for application to a broadband and miniature RF component, and especially, with-contact is most effective for a miniaturization of RF components.

**Key words** : Silicon substrate, PSS (periodic strip structure), transmission line, coplanar waveguide

<sup>†</sup> Corresponding Author: Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University  
727 Taejong-ro, Yeongdo-Gu, Busan 606-791, Korea, E-mail: yunyoung@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4426

<sup>1</sup> Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: hsj0926@hhu.ac.kr,  
Tel: 051-410-5057

<sup>2</sup> Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: jjh2010@hhu.ac.kr,  
Tel: 051-410-5057

### 1. 서론

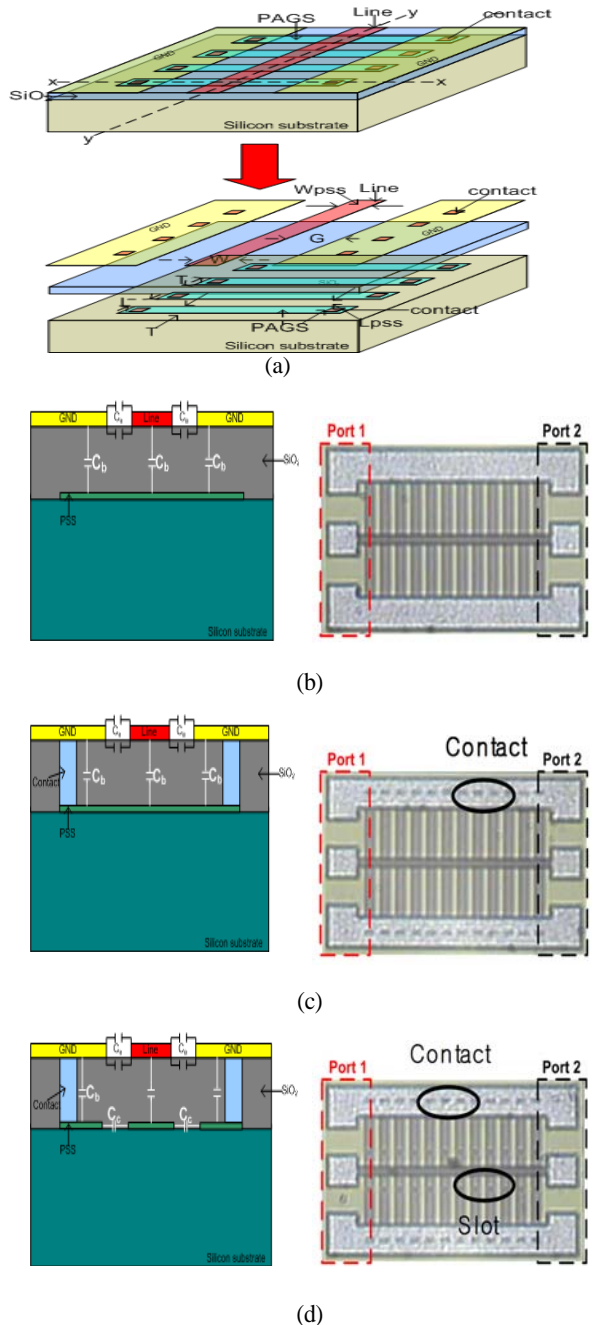
21세기에 접어들면서 통신 기술 및 초고주파 기술이 발달되고 있고, 고정된 장소가 아닌 언제 어디서든 자동차, 선박 등의 다양한 장소에서 통신이 가능해졌다. 이러한 통신기술에 발전에 따라 무선통신 시스템의 고집적, 소형화, 경량화 등에 대한 요구들이 증가하고 있는 추세이다. 능동 소자 뿐만 아니라 수동소자 역시 무선통신기기의 필수 요소이며, 통신기기의 소형화를 위해서는 수동소자의 소형화가 커다란 이슈라고 할 수 있다. 그러나 대부분의 수동소자들은 큰 점유면적으로 인하여 RFIC (radio frequency integrated circuit) 내부에 직접되지 못하고 외부에서 설계, 조작되어 왔다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는, RFIC 내부에 집적 가능한 초소형 수동소자의 개발을 위한 단파장 전송선로의 개발이 필요하다.

상기의 문제점을 해결하기 위하여 본 연구그룹에서는 실리콘 RFIC 상에서 주기적 스트립 구조 (periodic strip structure)를 이용한 코플레너 선로를 발표하였다[1]. PSS 선로 구조는 기존의 코플레너 선로에 비하여 뛰어난 과장 축소효과를 보여주었다. 본 논문에서는 실리콘 RFIC 상에서 초소형 수동소자 개발에의 응용을 위하여 참고논문 [1]에서 발표된 다양한 PSS 구조에 대한 광범위한 RF 특성을 연구하였다. 구체적으로 PSS 구조의 선로과장, 특성임피던스 및 삽입손실의 변화에 대한 연구와  $\alpha$ (감쇠정수),  $\beta$ (전송상수)의 특성연구, 유효유전율, 용량성, 대역폭 등 광범위한 RF 특성을 연구하였다.

### 2. 다양한 형태의 주기적 스트립 구조를 이용한 코플레너 선로의 구조

본 연구그룹에서는 실리콘 RFIC 상에서 주기적 스트립 구조(Periodic Strip Structure)를 이용한 코플레너 선로를 발표하였다[1]. PSS 선로 구조는 기존의 코플레너 선로에 비하여 뛰어난 과장 축소효과를 보여주었다. 본 논문에서는 RFIC 상에서 초소형 수동소자 개발에의 응용을 위하여 상기 PSS 구조의 여러 가지 구조적 변화에 대한 RF 특성을 연구하였다. Figure 1은 전체적인 PSS 선로 구조와 Contact 및 slot의 유무에 따른 구

조의 변화들을 보여주고 있다.



**Figure 1:** (a) Structure of coplanar waveguide employing PSS. (b) Structure of PSS without contact (c) Structure of PSS with contact (d) Structure of PSS with slot

Figure 1에서 볼 수 있듯이, 전체구조의 상부에 선로와 GND 함께 존재하는 코프레너 타입으로 아래로는 SiO<sub>2</sub> 유전체 박막이 존재하고, 하부에 실리콘 기판이 존재한다. 그리고 실리콘 기판 과 SiO<sub>2</sub> 사이 PSS를 주기적으로 삽입하고 contact를 통하여 기판 상부의 GND와 연결하는 구조이다. 따라서, PSS 역시 접지 금속으로부터 접지 전위를 공급받게 된다.

Figure 1에서 알 수 있듯이, 기존의 코프레너 선로의 경우는 선로와 상부에 존재하는 GND 사이에 존재하는 전체의 용량부는  $C=C_0$ 이지만, PSS 구조에서는 추가적으로 발생한 용량성  $C_p$ 에 의하여, 전체의 용량성은  $C=C_0+C_p$ 가 되므로, PSS 구조를 이용한 선로의 임피던스와 선로파장은 기존의 선로구조에 비해 줄어들게 된다[1]. PSS의 이론을 적용하면 다음과 같다[2].

$$\lambda_g = \frac{1}{f\sqrt{LC}} = \frac{1}{f\sqrt{L(Ca+Cb)}} \quad (1)$$

Figure 1의 (b)의 경우에는 PSS에 contact가 존재하지 않는 구조이며, Figure 1의 (c)와 (d)의 경우는 둘다 contact가 존재하나 (d)의 경우 스트립 사이에 slot이 존재함에 따라 스트립 사이에 새롭게 추가된 용량성 Cc가 발생하게 된다.

### 3. 다양한 형태의 주기적 스트립 구조를 이용한 코프레너 선로의 RF 특성

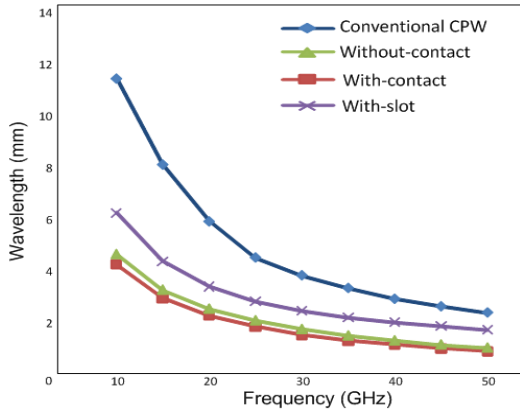
본 논문에서는 초소형 수동소자의 응용을 위하여 다양한 형태의 주기적 스트립 구조 (Figure 1 참조)를 이용한 코프레너 선로를 개발하였고, 본 절에서는 상기 선로들의 RF 기본 특성을 규명하였다. Figure 2는 PSS 구조의 contact 유/무와 스트립 사이에 slot을 추가했을 경우의 선로파장을 비교한 그래프이다. Figure 2의 측정결과는 Figure 1의 PSS 구조의 기본 셀 사이의 간격과 선로 폭, 두께 모두를 20 μm로 설정하여 측정하였다. Figure 2에서 보이는 바와 같이 with-contact (Figure 1(c))가 선로파장이 10 ~ 50 GHz 범위에서 가장 단파장의 특성을 나타

내는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어, 주파수 10 GHz에서 4가지 경우에 대한 파장 결과, contact만 존재하는 주기적 스트립 구조를 이용한 코프레너 선로가 기존의 코프레너 선로에 비하여 약 37.1%의 파장축소 효과를 보여주었다. 이러한 결과는 다음과 같이 설명될 수 있다. Without-contact (Figure 1(b))의 경우, PSS 구조는 상부에 있는 GND면과 격리되어 PSS면이 완전한 접지면을 이루지 못하였으며, 마지막으로 with slot (Figure 1(d))의 경우, 추가적인 용량 성분 Cc가 발생하였으나, PSS가 서로 격리 되어 완전한 접지면을 이루지 못하였다고 판단된다. 실질 특성임피던스가 30 Ω이며 중심주파수 30 GHz에서 선로의 길이가 λ/4인 전송선로를 구현하는 경우, with-contact (Figure 1(c)) 형태의 전송선로를 이용하면 실리콘 박막상의 점유면적은 0.0086 mm<sup>2</sup>가 되며, 이는 종래의 코프레너 선로를 이용하는 경우에 비해 점유면적이 4.39%로 점유면적이 대폭 축소되었다. With-contact (Figure 1(c)) 형태의 전송선로를 이용하는 경우와 종래의 코프레너 선로를 이용하는 경우에 대한 면적은 Table 1에 요약되어 있다.

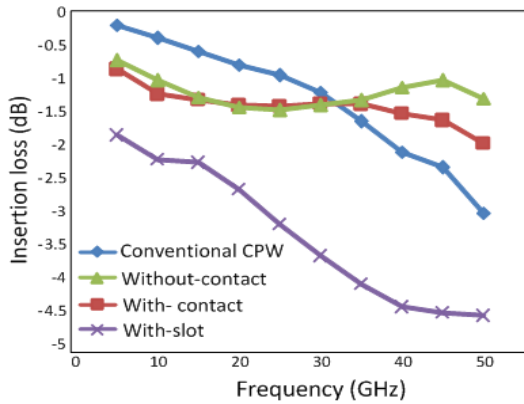
Table 1: λ/4 transmission lines with a characteristic impedance of 30 Ω at a center frequency of 30 GHz.

Structures	Line width	Line length	Size
Conventional CPW	200 μm	0.98 mm	0.196 mm <sup>2</sup>
with-contact (Figure 1(c))	20 μm	0.43 mm	0.0086 mm <sup>2</sup>

Figure 3은 본 논문에서 제안하는 다양한 형태의 PSS구조의 전송선로와 기존의 코프레너 선로의 삽입손실을 비교한 그래프이다. Figure 3에서 알 수 있듯이 삽입손실의 경우 without-contact (Figure 1(b))와 with-contact (Figure 1(c))가 가장 양호한 특성을 보이며, without-contact (Figure 1(b))가 5 ~ 50 GHz 범위에서 -1 ± 0.5 dB로, with-contact (Figure 1(c))의 -1.5 ± 0.5 dB 보다 다소 양호한 성능을 보이지만, 큰 차이는 관찰 할 수 없었다.



**Figure 2:** Measured wavelengths of coplanar waveguide employing various PSS structures and conventional one.



**Figure 3:** Insertion loss of the coplanar waveguide employing various PSS structures and conventional one.

본 논문에서는 선로과장, 삽입손실 외에 감쇠정수  $\alpha$ , 전파상수  $\beta$ , 유효유전율, 대역폭 등을 해석하였다. 일반적으로 전계와 자계는 다음 식 (2), (3)으로 표현된다[4][9].

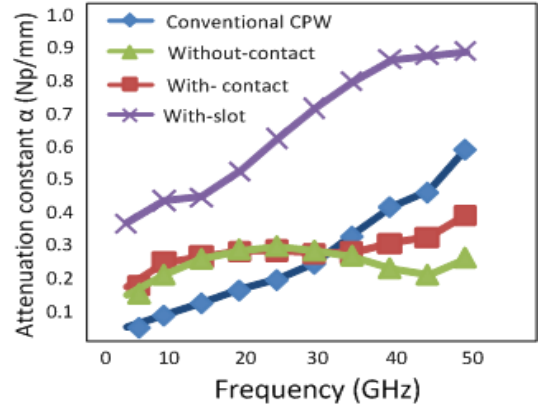
$$E = E_0 e^{-(\alpha + j\beta)z} \quad (2)$$

$$H = H_0 e^{-(\alpha + j\beta)z} \quad (3)$$

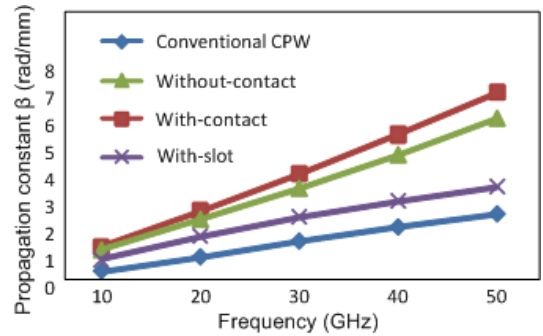
상기 식에서의 감쇠상수  $\alpha$ 와 전파상수  $\beta$ 의 값은 다음 식 (4), (5)를 이용하여 구해진다.

$$\alpha = -0.5 \ln [10^{0.1 \times S_{21} (dB)}] / l \quad (4)$$

$$\beta = 2\pi / \lambda_g = \omega \sqrt{LC} \quad (5)$$



**Figure 4:** Measured attenuation constant  $\alpha$  of the coplanar waveguide employing various PSS structures and conventional one.



**Figure 5:** Measured propagation constant  $\beta$  of the coplanar waveguide employing various PSS structures and conventional one.

**Figure 4**와 **Figure 5**는 본 논문에서 개발된 다양한 형태의 주기적 스트립 구조를 이용한 전송선로와 기존의 코플레너 선로의 감쇠상수  $\alpha$ 와 전파상수  $\beta$ 를 비교한 그래프이다. 상기의 그림들에서 나타나는 다양한 형태의 주기적 스트립 구조를 이용한 전송선로의 감쇠상수  $\alpha$ 와 전파상수  $\beta$ 는 높이  $W = 600 \mu\text{m}$ 의 실리콘 기판상에 측정되었으며, PSS의 셀의 폭은  $20 \mu\text{m}$ 이다. **Figure 4**와 **5**에서 볼 수 있듯

이, 다양한 형태의 주기적 스트립 구조를 이용한 전송선로의 감쇠상수  $\alpha$ 의 경우, without-contact (Figure 1(b))와 with-contact (Figure 1(c))가 가장 낮은 수치를 보이며, 구체적으로 주파수 40 GHz 대역에서 without-contact (Figure 1(b))와 with-contact (Figure 1(c))의  $\alpha$  값은 각각 0.22 와 0.3 Np/mm이다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 without-contact (Figure 1(b))와 with-contact (Figure 1(c))가 가장 양호한 손실 특성을 보이기 때문이다.  $\beta$ 의 경우는 Figure 5에서 보는 바와 같이 PSS 구조가 주기적구조 조이므로 slow-wave 특성에 의해 기존의 코프레너 선로보다 높은 전송상수  $\beta$  값을 보인다. 특히, with-contact (Figure 1(c))가 가장 높은 값을 보이며, 구체적으로 40 GHz 5.6 (rad/mm)이다. 상기 결과로부터 with-contact (Figure 1(c))의 경우가 slow-wave 효과가 가장 크며, 이는 사이즈 축소에 가장 효과적임을 의미한다. 상기 결과는 with-contact (Figure 1(c))의 경우가 가장 단파장 특성을 보이기 때문이다.

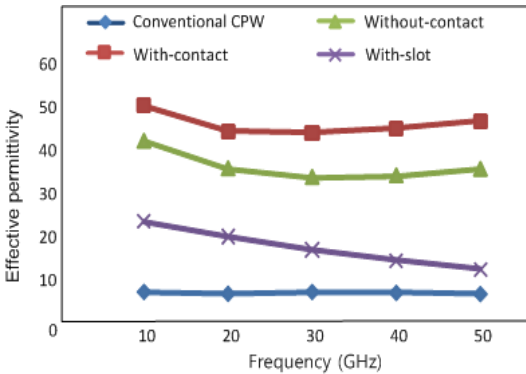


Figure 6: Measured effective permittivity of the coplanar waveguide employing various PSS structures and conventional one.

Figure 6은 본 논문에서 제안하는 다양한 형태의 주기적 스트립 구조를 이용한 전송선로와 기존의 코프레너 선로의 유효유전율을 비교한 그래프이다. 일반적으로 유효유전율은 아래의 식과 같이 표현되어 지며[4], 상기의 Figure 6에서 알 수 있듯이, 주기적 스트립 구조를 이용한 PSS 구조의 전송선로는 기존의 코프레너 선로에 비하여 훨씬 높은 유효유

전율을 가진다. 구체적으로 주파수 40 GHz 대역에서 상기 3가지 구조에 대한 유효유전율은 without-contact (Figure 1(b))와with-contact (Figure 1(c))가 각각 33.8과 44.8이며, with-slot (Figure 1(d))이 14.2이다. 상기 결과로부터 with-contact (Figure 1(c))의 경우가 유효유전율이 가장 크며, 이 역시 with-contact (Figure 1(c))의 경우가 가장 단파장 특성을 보이기 때문이다. 상기 결과들로부터 PSS 구조들 가운데 with-contact (Figure 1(c))가 가장 단파장 특성 및 가장 높은 전송상수  $\beta$  값과 유효유전율 값을 보이며, 사이즈 축소에 가장 효과적임을 알 수 있었다. 이에 대한 근본적인 이유는 with-contact (Figure 1(c))가 가장 높은 주기적인 용량값을 가지기 때문이다. 즉, 식 (5), (6)으로부터 알 수 있는 바와 같이 주기적인 용량값이 클수록  $\beta$  값과 유효유전율값이 커짐을 알 수 있다. 따라서, 이에 대해 보다 자세히 고찰하기 위해서 아래의 식 (7)을 이용하여 종래의 코프레너 선로와 PSS 구조들에 대한 주기적인 용량값을 측정하였다.

$$\epsilon_{eff} = \left( \frac{\beta}{\omega} \cdot \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \right)^2 = \frac{LC}{\mu_0 \epsilon_0} \quad (6)$$

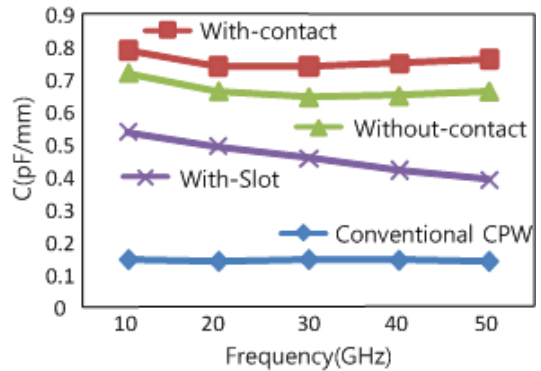


Figure 7: Measured capacitance value of the coplanar waveguide employing various PSS structures and conventional one.

$$C = \frac{\beta}{\omega Z_0} = \frac{1}{\omega Z_0} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \quad (7)$$

**Figure 7**은 본 논문에서 제안하는 다양한 형태의 주기적 스트립 구조를 이용한 전송선로와 기존의 코프레너 선로의 용량을 비교한 그래프이다. **Figure 7**에서 보이는 바와 같이, 주기적 스트립 구조를 이용한 전송선로는 기존의 코프레너 선로에 비하여 높은 용량성분을 가지며, 특히 with-contact (**Figure 1(c)**)가 가장 높은 주기적인 용량값을 가지는 것을 알 수 있다. 구체적으로 주파수 40 GHz 대역에서 상기 3가지 구조에 대한 용량성은, without-contact (**Figure 1(b)**)가 0.646 pF/mm, with-contact (**Figure 1(c)**)의 경우 0.744 pF/mm, with slot (**Figure 1(d)**)은 0.419 pF/mm를 보여준다. 따라서, with-contact (**Figure 1(c)**)가 단과장 특성과 가장 큰  $\beta$  값과 유효 유전율 값을 보이는 이유는 주기적인 용량값이 가장 크기 때문임을 상기 결과로부터 알 수 있다.

**Table 2**는 본 논문에서 개발된 다양한 형태의 주기적 스트립 구조를 이용한 전송선로와 기존의 코프레너 선로의 대역폭을 비교한 그래프이다. PSS 선로 구조의 대역폭을 계산하기 위하여 용량  $C_b$ 가 중단된 길이  $d$  인 주기적 전송선로로 표현되었다[4]. PSS 선로구조는 용량  $C_a$ 와  $C_b$ 를 가지지만, 용량  $C_a$ 는 마이크로스트립선로의 선로와 접지사이에 존재하는 용량이므로, 길이  $d$ 인 주기적인 전송선로에 내제되어 있다. PSS 구조에서 주기적으로 PSS와 GND사이에 발생하는 용량성 성분  $C_b$ 는 주기적인 세셉턴스  $j_b$ 로 표현될 수 있으며, 다음 식 (8)와 같다.

$$j_b = j\omega C_b / Y_0 = j\omega C_b Z_0 \quad (8)$$

$$b = \omega C_b Z_0 \quad (9)$$

$$C_b = \epsilon_{SiO_2} \cdot \frac{S_{PSS}}{d_{SiO_2}} = 7 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{W_{PSS} \times L_{PS}}{d_{SiO_2}} \quad (10)$$

$$d = \frac{L}{2} + T + \frac{L}{2} = L + T \quad (11)$$

위의 식에서  $d_{SiO_2}$ 과  $\epsilon_{SiO_2}$ 은 각각 SiO<sub>2</sub>의 두께와 유전율을 나타내며,  $W_{PSS}$ ,  $L_{PSS}$ ,  $T$ 는 각각 GND의 폭과 길이, 주기적으로 나열된 open-stub의 간격을 나타낸다. 주기적 구조의 n번째 단위 셀에 대한 입출

력 전류  $I_n, I_{n+1}$ 과 입출력 전압  $V_n, V_{n+1}$ 은 ABCD 행렬에 의해 식 (12) 같이 표현 된다.

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

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\cos kd - \frac{b}{2} \sin kd) & j(\sin kd + \frac{b}{2} \cos kd - \frac{b}{2}) \\ j(\sin kd + \frac{b}{2} \cos kd + \frac{b}{2}) & (\cos kd - \frac{b}{2} \sin kd) \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$kd = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_c} d \quad (14)$$

위의 식 (14)에서  $\omega, \mu, \epsilon$ 와  $d$ 는 각각 주파수  $2\pi f$ , 단위 셀을 구성하는 전송선로의 투자율, 유전율 및 길이이다. 만일 주기적인 구조상에서 전송상수를  $\gamma$ 라 가정하면 다음 식 (15), (16)이 성립한다.

$$V_{n+1} = V_n e^{-\gamma d} \quad (15)$$

$$I_{n+1} = I_n e^{-\gamma d} \quad (16)$$

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

$$\begin{bmatrix} A - e^{\gamma d} & B \\ C & D - e^{\gamma d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{n+1} \\ I_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

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

$$\frac{e^{-\gamma d} + e^{+\gamma d}}{2} = \cosh \gamma d$$

$$\frac{(A+D)}{2} = (\cos kd - \frac{b}{2} \sin kd) \quad (18)$$

주기적 구조 상에서의 전송 상수  $\gamma$ 는 손실성분을 가지므로  $\gamma = \alpha + j\beta$ 가 되어, 아래의 식 (19)가 성립 된다.

$$\cosh \gamma d = \cosh \alpha d \cosh \beta d + j \sin \alpha d \sin \beta d$$

$$= \cos kd - \frac{b}{2} \sin kd \quad (19)$$

위의 식 (19)를 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 아래의 각각 식 (20), (21)과 같다.

$$\cosh j\beta d = \cos \beta d = \cos kd - X kd \sin kd, \text{ Passband} \quad (20)$$

$$\cosh \alpha d = |\cos kd - X kd \sin kd| \geq 1, \text{ Stopband} \quad (21)$$

$$X = \left( \frac{C_0 Z_0}{2\sqrt{\epsilon_e} \sqrt{\mu_0 \epsilon_e} d} \right) \quad (22)$$

Table 2는 식 (20) ~ (22)를 이용하여 구한 대역폭 결과이다. RF 대역에서 물리적으로 의미가 있는 대역폭은 1차 통과대역이다. 모든 PSS 구조는 적어도 차단주파수가 384 GHz이상의 광대역 특성을 보여주고 있으며, PSS구조의 전송선로는 광대역의 전송선로 및 광대역 분포정수형 수동소자에 이용될 수 있음을 알 수 있다. 상기 결과들로부터 본 논문에서 제안한 다양한 형태의 PSS 구조를 가지는 전송선로는 광대역 및 초소형 RF 수동소자로서 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있으며, 특히, PSS와 접지면 사이에 contact가 존재하고 PSS에 slot이 존재하지 않는 with-contact (Figure 1(c))구조가 RF 소자의 소형화에 가장 효과적임을 알 수 있다.

**Table 2.** Measured pass - and stopband of the coplanar waveguide employing various PSS and conventional one.

Structures	1st passband (GHz)	1st stopband (GHz)	2nd passband (GHz)
Without-contact (Figure 1(b))	f ≤ 407 BW=407	407~1455	1455~1566 BW=111
with-contact (Figure 1(c))	f ≤ 384 BW=384	384~1455	1455~1552 BW=97
with-slot (Figure 1(d))	f ≤ 481 BW=481	481~1455	1455~1608 BW=153

### 3. 결론

본 논문에서는 RFIC 상에서 초소형 수동소자 개발에의 응용을 위하여 다양한 PSS 구조에 대한 RF 특성을 연구하였다. 구체적으로 PSS 구조의 선로파장, 특성임피던스 및 삽입손실의 변화에 대한 연구와  $\alpha$  (감쇠정수),  $\beta$  (전송상수)의 특성연구, 유효유전율, 용량성, 대역폭 등 광범위한 RF 특성을 연구하였다. 선로파장의 경우, PSS와 접지면 사이에 contact가 존재하고 PSS에 slot이 존재하지 않는 with-contact (Figure 1(c))가 가장 짧은 파장특성을 보여주었으며, 기존의 코프레너 선로에 비하여 약 37.1%로 파장이 축소됨을 확인 할 수 있었다. 따라서, with-contact (Figure 1(c)) 형태의 전송선로를 이용하면 소형화된 RF용 소자를 구현할 수 있다. PSS 구조가 주기적 구조이므로 slow-wave 특성에 의해 기존의 코프레너 선로보다 높은 전송상수  $\beta$  값과 유효유전율 값을 보였다. 특히, with-contact (Figure 1(c))가 가장 높은 전송상수  $\beta$  값과 유효유전율 값을 보였으며, 구체적으로 40 GHz에서  $\beta$  값과 유효유전율 값을 각각 5.6 (rad/mm)과 44.8이다.

With-contact (Figure 1(c))가 가장 높은 전송상수  $\beta$  값과 유효유전율 값을 보이는 이유는 다른 구조에 비해 주기적이 용량값이 가장크기 때문임을 알 수 있었다. 상기 결과로부터 with-contact (Figure 1(c))구조가 다른 구조에 비해 slow-wave 성이 가장 강하며, 따라서, 사이즈 축소 효과가 가장 큼을 알 수 있다. 실지 특성임피던스가 30  $\Omega$ 이며 중심주파수 30 GHz에서 선로의 길이가  $\lambda/4$ 인 전송선로를 구현하는 경우, with-contact (Figure 1(c)) 형태의 전송선로를 이용하면 실리콘 박막상의 점유면적은 0.086 mm<sup>2</sup>가 되며, 이는 종래의 코프레너 선로를 이용하는 경우에 비해 점유면적이 4.39%로 점유면적이 대폭 축소되었다.

삽입손실의 경우, 주기적 구조인 PSS가 종래의 전송선로에 비해 훨씬 낮은 손실특성을 보였으며, 특히 PSS와 접지면 사이에 contact가 존재하지 않고 PSS에 slot이 존재하지 않는 without-contact (Figure 1(b))와 with-contact (Figure 1(c))가 가장 양호한 특성을 보였다. 구체적으로 without-contact (Figure 1(b))가 5 ~ 50 GHz 범위에서  $-1 \pm 0.5$  dB로,

with-contact (Figure 1(c))의  $-1.5 \pm 0.5$  dB 보다 다소 양호한 성능을 보이지만, 큰 차이는 관찰 할 수 없었다. 대역폭 계산결과에 의하면 모든 형태의 PSS 구조는 적어도 차단주파수가 384 GHz이상의 광대역 특성을 보여주었다. 상기 결과들로부터 본 논문에서 제안한 다양한 형태의 PSS 구조를 가지는 전송선로는 광대역 및 초소형 RF 수동소자로써 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있으며, 특히, PSS와 접지면 사이에 contact가 존재하고 PSS에 slot이 존재하지 않는 with-contact (Figure 1(c))구조가 RF 소자의 소형화에 가장 효과적임을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임. 본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2010 - 0007452).

## 참고문헌

- [1] J. G. Ju, Y. Yun, "A study of highly miniaturized on-chip Wilkinson power divider employing periodic strip structure for application to silicon RFIC", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 34, no. 4, pp. 540-546, 2010, in Korean.
- [2] M. Zargari and D. Su, "Challenges in designing CMOS wireless systems on a chip", IEICE Transactions on Electronics, E90-C, pp. 1142-1148, 2007.
- [3] Y. Yun, S. H. Kim, "A development of ultra-compact passive components employing periodic ground structure for silicon RFIC", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 33, no. 4, pp. 562-568, May. 2009, in Korean.
- [4] D. M. Pozar, Microwave Engineering, Addison-Wesley, 2005 3rd eds. Chapter [3], [4], [8], 1994.
- [5] Y. Yun, M. Nishijima, M. Katsuno, H. Ishida, K. Minagawa, T. Nobusada, and T. Tanaka, "A fully-integrated broadband amplifier MMIC employing a novel chip size package," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 50, pp. 2930-2937, 2002.
- [6] Y. Yun, RF Active Circuit Design Theory and Practice, Hongpub, Chapter [5], 2005.
- [7] K. Masu, K. Okada, and H. Itoh, "RF passive components using metal line on Si CMOS", IEICE Transactions on Electronics, vol. E89-C, no. 6, pp. 681-691, 2006.
- [8] Y. S. Lin, C. C. Chen, H. B. Liang, T. Wang, and S. S. Lu, "Characterization and modeling of pattern ground shield and silicon-substrate effects on radio-frequency monolithic bifilar transformers for ultra-wide band radio-frequency integrated circuit applications", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 46, no. 1, pp. 65-70, 2007.
- [9] Y. Yun, K. S. Lee, C. R. Kim, K. M. Kim, Member, IEEE, 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.