Regular paper
Journal of the KIECS. pp. 965-970, vol. 13, no. 5, Oct. 31 2018, t. 91, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2018.13.5.965

접힌 기판 집적형 도파관 구조를 이용한 대역통과 필터

윤태순*

Bandpass Filter Using Folded Substrate Integrated Waveguide Structure

Tae-Soon Yun*

요 약

본 논문에서는 두 장의 기판을 이용하여 접힌 기판 집적형 도파관 구조의 활용을 위한 트랜지션이 제안되었고, 이러한 FSIW 구조는 간단한 대역통과 필터로 응용되었다. FSIW 구조는 SIW 구조와 유사한 특성을 가지며 도파관의 장축을 반으로 줄일 수 있다는 장점이 있다. FSIW 구조의 트랜지션은 접지에 연결된 λg/4 선로를 이용하여 설계되었고, FSIW 구조의 대역통과 필터는 5단의 타원함수 특성을 갖는 저역통과 필터를 FSIW 구조의 입출력부에 연결하여 설계하였다. 제작된 FSIW 구조의 대역통과 필터는 중심주파수 5.75 GHz, 대역폭 33.2%를 가졌고, 중심주파수에서 삽입 손실과 반사 손실은 각각 0.63dB와 19.1dB를 가졌다.

ABSTRACT

In this paper, the transition of the folded substrate integrated waveguide (FSIW) using two substrates is suggested and applied to the bandpass filter. The FSIW has similar characteristics with the SIW and can be reduced the width of the SIW. The transition between the FSIW to the microstrip is designed by using shorted quarter wavelength line. Also, the bandpass filter is designed by using the FSIW and the elliptic lowpass filter of 5 section. Fabricated bandpass filter has the center frequency of 5.75 GHz and the bandwidth of 33.2%. Also, the insertion loss and return loss at the center frequency are 0.63dB and 19.1dB, respectively.

키워드

Folded Substrate Integrated Waveguide, Bandpass Filter, Elliptic Lowpass Filter, Transition
접힌 기판 집적형 도파관, 대역 통과 필터, 타원 저역 통과 필터, 트랜지션

Ⅰ. 서 론

대역통과 필터는 초고주파 시스템에서 원하는 주파수를 선택하는 소자로써 다양한 주파수를 혼용하여 사용하는 현대의 전파 환경 하에서 매우 중요한 초고주파 소자라고 할 수 있다[1-4]. 이러한 대역통과 필터는 다양한 구조와 소재로써 연구되어 왔고, 현재도 새로운 시스템 및 주파수에 맞춰 연구가 진행 중에 있다.

한편, 도파관은 일반적인 초고주파 전송 선로인 마이크로스트립 선로의 Q값이 100에서 250 정도인 것에 비해 10,000 이상의 Q값을 가져 매우 우수한 주파수 선택 특성을 가진다. 이러한 높은 Q값은 공진기 또는 필터로써 구현되었을 때 원하는 주파수만 선택하는 특성이 탁월하게 개선될 수 있다. 그러나 도파관은 다른 소자 및 시스템과 집적화가 어렵다는 단점을 가지고 있다[5]. 도파관의 집적화를 구현하기 위해 그림 1(a)와 같은 SIW(: Substrate Integrated

* 교신저자: 호남대학교 전자공학과
• 접 수 일 : 2018. 07. 16
• 수정완료일 : 2018. 08. 30
• 게재확정일 : 2018. 10. 15
• Received : July. 16, 2018, Revised : Aug. 30, 2018, Accepted : Oct. 15, 2018
• Corresponding Author : Tae-Soon Yun
Dept. of Electronics Eng., Honam University,
Email : easteryun@gmail.com

Waveguide(기판 집적형 도파관))이 제안되어[6-9] 사용되고 있으나, 도파관의 차단주파수 특성에 의해 SIW의 폭이 크다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 기존의 SIW 구조를 다층의 기판을 이용하여 접힌 기판 집적형 도파관(FSIW: Folded Substrate Integrated Waveguide) 구조의 트랜지션을 제안하고 이를 이용하여 대역통과 필터를 구현하고자 한다.

II. FSIW 구조 및 특성

그림 1은 기존의 SIW 구조 및 FSIW 구조를 나타내고 있다. SIW 구조의 기본 전파 모드 (dominant mode)는 TE10모드로 그림 1(a)의 비아홀 사이의 거리 (a)가 장축이 되고, 기판의 두께 (h)가 도파관의 높이가 된다. 따라서 SIW 구조의 차단주파수는 식 (1)을 통해 구할 수 있다[5, 9].

$$f_{c,mn} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}}\sqrt{(\frac{m\pi}{a})^2+(\frac{n\pi}{b})^2} \quad (1)$$
$$\rightarrow f_{c,10} = \frac{1}{2a\sqrt{\mu\epsilon}}$$

식 (1)에 의해 원하는 주파수를 통과하는 SIW 구조를 형성하기 위해서는 도파관의 장축 (a), 즉 그림 1에서 비아홀 사이에 넓은 거리를 보장하여야 한다. 도파관의 장축 거리 개선을 위해 본 논문에서 제안하는 FSIW 구조는 그림 1(b)와 같이 두 개의 기판을 이용하여 좁은 면적에 원하는 거리 (a)를 구현하였다. 즉 본 논문에서 원하는 5.8GHz 통과 대역을 위해 차단주파수를 5.0GHz로 형성하고자 한다면 SIW 구조의 장축 (a)는 30mm로 설계하여야 하지만, FSIW 구조는 절반의 길이로 설계가 가능하다. 본 논문에서는 하부 기판과 상부 기판을 통해 도파관 구조가 연결되는 부분의 길이를 0.8mm로 좁게 하여 비아 홀 사이의 거리를 10mm로 최적화 하였다. 이것은 계단형 공진기에서 임피던스 비율에 따라 공진기의 길이가 감소하는 것과 같은 원리이다.

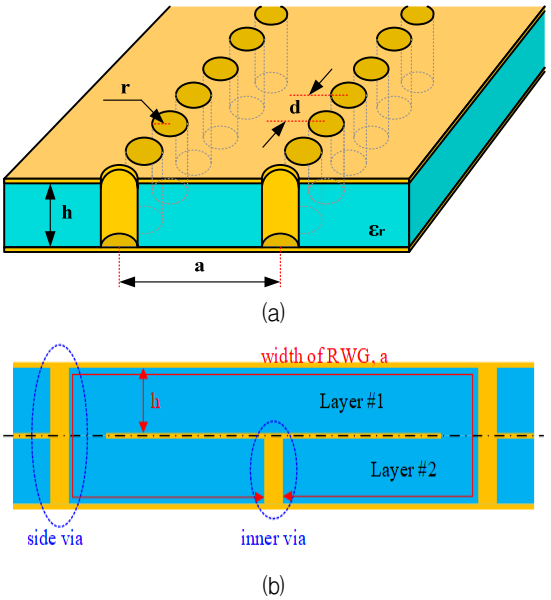

그림 1. (a) 일반적인 기판 집적형 도파관 및 (b) 접힌 기판 집적형 도파관의 구조
Fig. 1 Schematics of (a) conventional substrate integrated waveguide (SIW) and (b) folded substrate integrated waveguide (FSIW)

SIW 구조에서 비아 홀 사이의 간격 (d)는 0.2λ 보다 작게 하여 0.1dB/λ 이하의 손실을 가지는 구형 도파관으로 근사화 할 수 있다[6]. 본 논문에서는 FSIW 구조의 비아 홀 반지름의 크기 및 비아 홀 사이 간격에 따른 특성을 모의 실험하였다.

그림 2의 특성은 두 장의 유전율 2.55, 기판 두께 0.76mm인 테프론 기판으로 FSIW 구조를 형성하여 모의 실험한 것이다. 이 때, 그림 1(b)에 나타낸 양쪽 끝의 비아 홀과 두 번째 기판의 가운데에 위치한 비아 홀의 반지름 크기는 동일하게 형성하였고 FSIW 구조의 길이는 40mm로 설계하여 5.8GHz의 유효파장의 길이 (약 102mm)로 환산하여 그래프로 나타내었다.

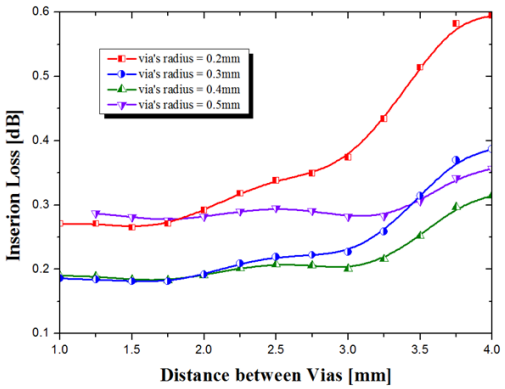

그림 2. 비아 홀의 반지름 및 거리에 따른 FSIW 구조의 손실
Fig. 2 Insertion losses of the FSIW structure as the radius and distance of the via-holes

FSIW 선로의 손실 특성은 비아 홀의 반지름이 0.4mm인 경우 가장 적고, 비아 홀 사이 간격이 지름의 2~3 배 정도에서 낮은 손실 값을 갖는 것을 알 수 있다. 이론적으로 파장에 따라 0.1dB 손실로 최적화할 수 있는 것에 비해 큰 손실값을 갖는 것은 테프론 기판의 유전체 손실값이 0.0023을 나타내기 때문이다. 모의 실험을 통해 FSIW 선로구조를 구성하는 비아 홀에 따른 손실 특성은 일반적인 SIW 구조와 유사하다는 것을 알 수 있다.

III. FSIW 구조를 이용한 대역통과 필터

SIW 선로 및 FSIW 선로는 도파관의 형태를 가지므로 선로 또는 FSIW 구조에 의한 소자의 특성을 측정하기 위해 집적화가 가능한 마이크로스트립 선로 또는 코플래너 웨이브가이드(coplanar waveguide: CPW) 구조로 입·출력부를 변환해 주어야 한다. 본 논문에서는 입·출력부를 마이크로스트립 선로로 구현하기 위해 마이크로스트립 선로와 FSIW 구조의 트랜지션을 그림 3과 같이 설계하였다. FSIW 구조는 TE10모드로 전파가 진행되므로, 트랜지션은 각 구조의 접점에서 전기적 접지를 형성하고 $\lambda_g/4$ 지난 지점에서 최대 전계가 형성될 수 있도록 설계하였다.

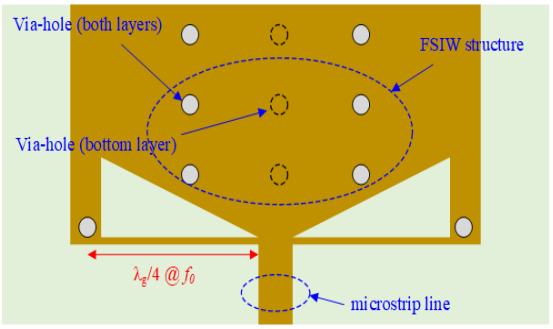

그림 3. 마이크로스트립 선로와 FSIW 구조의 트랜지션 윗면 구조
Fig. 3 Top structure of the transition between microstrip-line and FSIW structure

그림 4는 그림 1(b)와 같이 형성된 FSIW 선로에 대해 입·출력부에 트랜지션을 추가하여 마이크로스트립 선로로 신호를 인가하여 설계한 결과이다.

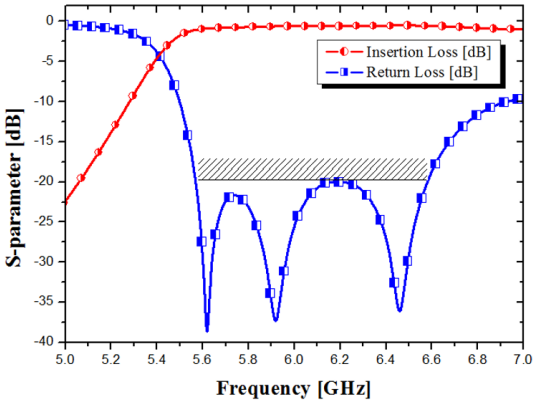

그림 4. 마이크로스트립 선로와 FSIW 구조의 트랜지션의 설계 결과
Fig. 4 Simulated results of the transition between microstrip-line and FSIW structure

FSIW 구조의 외부 비아 홀 사이의 거리를 10mm로 최적화하여 차단주파수는 5.5GHz로 다소 증가하였으나, 반사손실이 20dB인 대역폭은 16.45%로 나타났다. 이러한 트랜지션 방법은 $\lambda_g/4$ 선로를 이용함에 따라 광대역 특성을 얻기는 어려우나 특정 주파수를 통과시키는 회로에는 간단하게 적용할 수 있다.

본 논문에서는 FSIW 구조가 도파관의 특성에 따라 고역통과 특성을 가짐을 이용하여 마이크로스트립

선로 구조의 저역통과 필터를 FSIW 구조의 입출력부에 삽입하여 간단히 대역통과 필터를 구현하고자 하였다. 저역통과 필터는 기울기 특성이 우수한 5단의 타원함수 필터로 설계하였으며, 그 구조는 그림 5와 같이 인덕터로 등가되는 높은 임피던스를 갖는 전송선로와 커패시터로 등가되는 낮은 임피던스를 갖는 전송선로로 2단과 4단에는 직렬 공진기로 구현되어 타원 함수의 특성을 나타낸다.

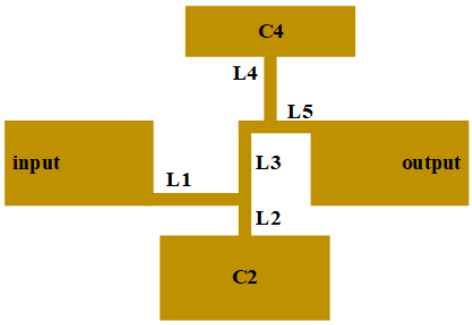

그림 5. 5단 타원함수 저역통과 필터의 구조
Fig. 5 Structure of the lowpass filter of 5 stage using the elliptic function

5단의 타원함수 저역통과 필터는 필터의 기울기 특성을 향상시키기 위해 저지대역의 영점 주파수를 차단주파수의 1.1배가 되는 프로토타입을 사용하여 설계하였으며[10], 이 때 설계변수 값은 표 1과 같다.

표 1. 5단의 타원함수 저역통과 필터 설계변수
Table 1. Designed parameters of the elliptic lowpass filter

stage	prototype	impedance	electrical length
1	0.8130	143Ω	16.287
2	0.9242	143Ω	9.885
	0.4934	39Ω	41.303
3	1.2245	143Ω	24.531
4	0.3719	143Ω	42.771
	2.1350	39Ω	16.620
5	0.2913	143Ω	5.836

저역통과 필터의 설계 결과는 그림 6과 같이 차단주파수 6.7 GHz를 가지며 최종 대역통과 필터의 설계 주파수인 5.8GHz에서 삽입 손실 0.26dB, 반사 손실 16.1dB를 나타내었다.

설계된 저역통과 필터를 FSIW 구조의 입력부와 출력부에 연결하여 간단한 구조의 대역통과 필터를 설계하여 제작하였다. 그림 7은 유전율 2.55의 테프론 기판을 이용하여 제작된 FSIW 구조를 이용한 대역통과 필터의 사진이다.

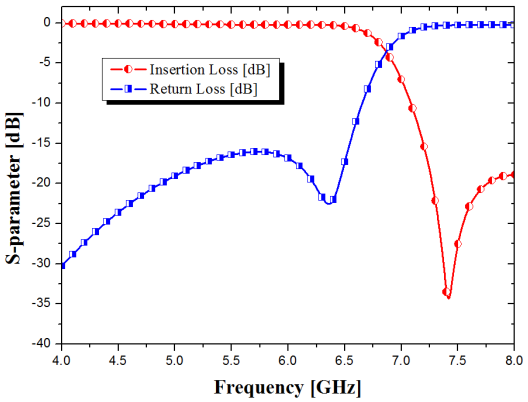

그림 6. 5단 저역통과 필터의 설계 결과
Fig. 6 Simulated results of the lowpass filter of 5 stage using the elliptic function

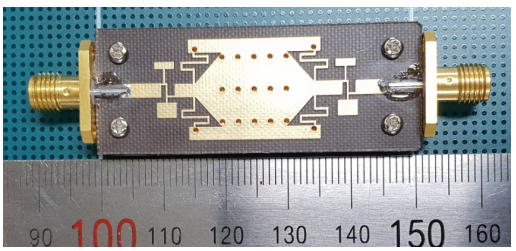

그림 7. FSIW 구조를 이용한 대역통과 필터의 사진
Fig. 7 Photograph of the bandpass filter using the FSIW structure

그림 7에서 필터의 크기를 줄이기 위해 트랜지션을 위한 $\lambda_g/4$ 마이크로스트립 선로는 meander-line으로 구현되었고, 입출력부의 커넥터 양쪽에서 볼트와 너트를 이용하여 두 장의 기판을 연결하였다.

5.8GHz의 중심주파수와 30%의 대역폭으로 설계된 FSIW 구조를 이용한 대역통과 필터는 중심주파수 5.75GHz에 대역폭 33.2%로 측정되었다. 중심주파수에

서의 삽입 손실과 반사 손실은 각각 0.63dB, 19.1dB로 측정되었다. 이러한 결과는 그림 8과 같다.

그림 8은 최종 설계된 FSIW 구조와 5단 타원함수를 갖는 저역통과 필터를 이용한 대역통과 필터의 설계 및 측정 결과를 나타내고 있다. 비아 홀 및 두 장의 기판 배열 등 제작 상의 오차에 의해 설계 값에 비해 측정 결과의 주파수가 다소 상향되어 있지만, 측정 결과는 설계 결과와 유사한 값을 나타내고 있다.

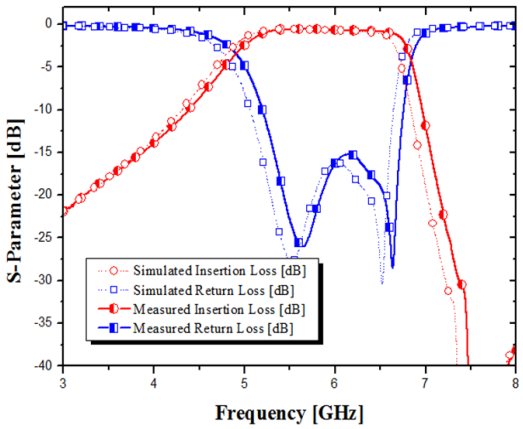

그림 8. FSIW 구조를 이용한 대역통과 필터의 결과
Fig. 8 Simulated and measured results of the bandpass filter using the FSIW structure

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 도파관의 집적화를 위한 SIW 구조의 크기를 줄이기 위해 고안된 FSIW 구조의 트랜지션을 제안하여 간단한 대역통과 필터를 설계 및 제작하였다.

FSIW 구조는 하층 기판의 중간에 위치하는 비아 홀을 통해 도파관 구조의 끝단을 형성하고 상층 기판과 하층 기판을 관통하는 비아 홀을 통해 도파관의 벽면을 구성하여 SIW 구조에 비해 도파관의 장축의 길이를 반으로 줄일 수 있다. FSIW 구조를 구성하는 비아 홀 사이 간격에 따른 특성은 SIW 구조와 유사하게 비아 홀 지름의 2~3배에서 낮은 손실 값을 가졌고, 비아 홀 반지름이 0.4mm에서 최적화되었다.

FSIW 구조의 활용을 위해 전기적 접지로 연결되는 $\lambda_g/4$ 선로를 이용하여 마이크로스트립 선로와 트랜지션을 구성하였고, 5단의 타원함수 특성의 저역통과 필터를 입출력부에 연결하여 간단히 대역통과 필터를 설계하였다. 최적화되어 측정된 FSIW 구조의 대역통과 필터는 5.75GHz의 중심주파수에서 33.2%의 대역폭을 가지며, 0.63dB와 19.1dB의 삽입 손실과 반사 손실을 각각 나타냈다.

이러한 FSIW 구조는 우수한 선택도 특성을 갖는 도파관 구조를 마이크로스트립 구조와 같은 평면 구조로 활용할 수 있어 다양한 고주파 소자 및 회로에 적용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 2017년도 호남대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

References

[1] T. Yun and S. Koh, “Numerical Analysis of the Dual-mode Resonator Using Shunt-stub for the Filter Application,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 2, Apr. 2018, pp. 327-332.

[2] T. Sun, “Harmonic-Suppressed Hairpin Bandpass Filter for the Microwave Radiometer,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Oct. 2014, vol. 9, no. 10, pp. 1169-1174.

[3] C. You, B. Song, and I. Hwang, “Research Regarding Filter Composition and Motor control for Yagi-Antenna Remote Tracking System,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 11, Nov. 2016, pp. 1039-1044.

[4] G. Matthaei and L. Young, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*. Dedham, MA: Artech House, 1980.

[5] N. Marcuvits, *Waveguide Handbook*. London: Peter Peregrinus Ltd, 1986.

[6] D. Deslandes and K. Wu, “Single-Substrate Integration Technique of Planar Circuits and Waveguide Filters,” *IEEE Trans. Microwave Theory*

Tech., vol. 51, no. 2, Feb. 2003, pp. 593-596.
[7] X. Chen and K. Wu, "Substrate integrated waveguide cross coupled filter with negative coupling structure," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 56, no. 1, Jan. 2008, pp. 142-149.
[8] I. Lee, H. Nam, T. Sun, and J. Lee, "Spurious Suppressed Substrate Integrated Waveguide Bandpass Filter Using Stepped-Impedance Resonator," *Korean Institute of Electromagnetic Eng. & Sci.*, vol. 10, no. 1, Mar. 2010, pp. 1-5.
[9] T. Yun, H. Nam, J. Kim, B. Lee, J. Choi, K. Kim, T. Ha, and J. Lee, "Harmonics Suppressed Substrate-Integrated Waveguide Filter with Integration of Low-pass Filter," *Microwave and Optical Tech. Lett.*, vol. 50, no. 2, Feb. 2008, pp. 447-450.
[10] J. Hong and M. Lancaster, *Microwave Filters for RF/Microwave Applications.* New York: Wiley, 2001.

저자 소개

윤태순(Tae-Soon Yun)

2000년 국민대학교 전자공학과 졸업(공학사)
2002년 광운대학교 전파공학과 졸업(공학석사)
2006년 광운대학교 전파공학과 졸업(공학박사)
2007년 10월~2008년 9월: The SUNY at Buffalo Post Doc.
2008년 10월~2010년 2월: 광운대 BK사업단 연구교수
2010년 3월~현재: 호남대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 마이크로파 소자, 무선전력전송, 고주파 전송 선로