

평면회로 기법에 의한 SIW Cavity 공진기를 이용한 X-밴드 발진기

X-Band Oscillator Using SIW Cavity Resonator Based on Planar Circuit Technique

이현욱,

이일우,

남 희,

이종철

(광운대학교 석사과정) (광운대학교 석사과정) (광운대학교 박사과정) (광운대학교 교수)

Key Words : substrate integrated waveguide (SIW), resonator, cavity, integrated circuits, coupling structure, oscillator, quality factor

목 차

- I. 서 론
- II. SIW 공동 공진기 및 발진기 설계
- III. 발진기 측정 결과
- IV. 결 론
- 참고문헌

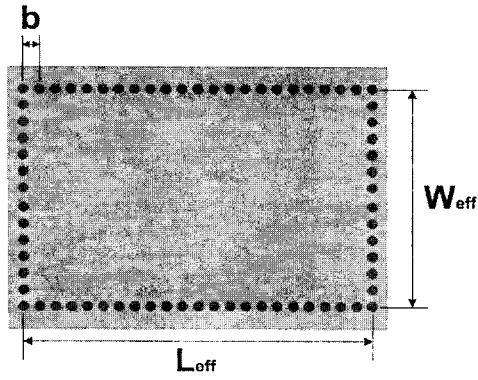
I. 서론

무선통신시대를 맞아 위성통신에 대한 이용 수요가 급격하게 증가하는 추세에 따라 위성통신 산업과 이동통신 개발 기술이 요구되었으며 다양한 고품질의 서비스를 제공하기 위한 효과적인 운용을 위해서는 핵심 초고주파 부품개발과 시스템의 뒷받침이 필수적이다. 전송 데이터양이 증가함에 따라 상대적으로 넓은 대역폭을 가지는 높은 발진 주파수를 필요로 하게 되었고 주파수의 안정도와 위상잡음이 전체 시스템의 데이터 오류 특성에 중요한 영향을 미치므로 우수한 위상잡음 특성을 갖는 발진기가 필수적으로 요구되고 있는 실정이다. 우수한 위상잡음 특성을 위해서는 공진기의 Q 값을 개선시켜야 한다 [1]. 그 중 유전체 공진기는 Q 값이 우수하여 발진기에 널리 이용되고 있으나, 3차원 구조를 갖고 있어 회로의 소형화와 다른 회로들과의 집적이 어렵기 때문에[2], 이러한 문제들을 해결하기 위하여 비교적 낮은 Q 값에도 불구하고 다른 회로와의 집적이 용이한 2차원 구조인 마이크로스트립 공진기가 일반적으로 이용되고 있다.

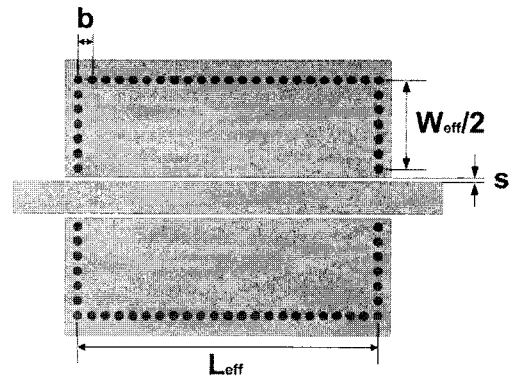
본 논문에서는 우수한 반사 특성을 갖고 동시에 평면회로에 집적이 용이한 9.45 GHz (X-band) SIW(Substrate Intergrated Waveguide) cavity 공진기로 이루어진 발진기를 설계하였다. 본 논문에서 제안된 SIW 구조는 평면형 유전체 기판에 다수의 via-hole 을 이용함으로써 rectangular waveguide 와 유사한 특성을 갖는다 [3, 4].

II. SIW Cavity 공진기 및 발진기 설계

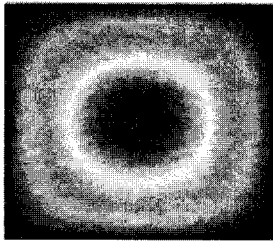
SIW(Substrate Intergrated Waveguide) cavity 구조는 다수의 via-hole 을 이용하여 하나의 유전체로 채워진 rectangular waveguide 로 근사화 할 수 있다 [3]. SIW 구조에서는 via-hole 의 지름과 각 via-hole 사이의 거리가 회로의 삽입손실과 방사손실에 큰 영향을 미치기 때문에 손실을 줄이기 위해 각각의 via-hole 사이의 거리를 0.2λ 이하로 설계해야 한다 [3]. 일반적인 SIW cavity 구조와 전기장 분포가 <그림 1>과 <그림 2> 에 각각 나타나 있다. 일반적인 2-단자 도파관 공진기는 대부분 공진주파수에서 대역통과 특성을 갖고 있으며, 대역저지 특성을 갖는 도파관 공진기는 급전위치에 따라 민감한 특성을 보이기 때문에 대역저지 특성 구현에 어려움이 있다 [5]. 따라서 본 논문에서는 대역저지 특성을 위해 50-Ω 마이크로스트립라인과 결합 구조를 갖는 SIW cavity 공진기를 제안한다. <그림 3> 은 제안된 50-Ω 마이크로스트립라인과 결합 구조를 갖는 SIW cavity 공진기를 나타낸다. SIW는 기판집적형 도파관으로 via-hole 을 이용하여 도파관을 구현할 수 있어 일반적인 도파관의 단점 즉, 집적의 어려움을 극복할 수 있다. <그림 4> 는 결합 구조 SIW cavity 공진기의 전기장 분포를 나타낸다 [6]. 전자파가 진행하는 방향 즉, 50-Ω 마이크로스트립라인 중앙으로부터 수직인 방향으로 전기장 에너지가 최대인 것을 확인할 수 있다. 공진주파수에서 전자기적 에너지는 SIW cavity 의 via-hole 로 구분되는 metallic wall 내부의 유전체에 저장되고, 이러한 특성을 바탕으로 공진주파수에서 대역저지 특성을 갖는 SIW



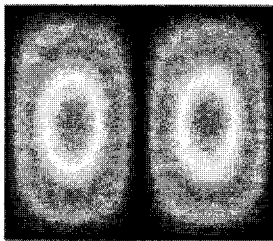
<그림 1> SIW cavity 공진기
 <Fig. 1> Typical Structure of a SIW cavity



<그림 3> 50-Ω 마이크로스트립라인과 결합구조를 갖는 SIW cavity 공진기
 <Fig. 3> Coupling structure of the SIW cavity with 50-Ω microstrip line



(a)

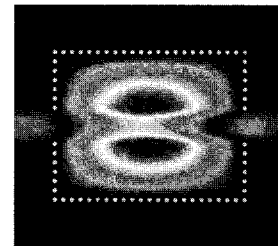


(b)

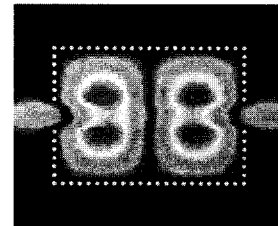
<그림 2> SIW cavity 공진기 내부의 전기장 분포
 <Fig. 2> Distribution of electric fields for the SIW cavity. (a) mode 1 and (b) mode 2.

cavity 공진기를 설계 할 수 있다. SIW cavity의 TE₁₀ 모드와 rectangular waveguide 에서의 TE₁₀ 모드 특성은 매우 비슷하며. SIW cavity 공진기의 공진주파수는 다음 식을 이용하여 구할 수 있다 [7].

$$F_R(TE_{mq}) = \frac{c_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{(m/W_{eff})^2 + (q/L_{eff})^2}. \quad (1)$$



(a)



(b)

<그림 4> 반사특성을 갖는 SIW cavity 공진기 내부의 전기장 분포
 <Fig. 4> Distribution of electric fields for the reflection-type SIW cavity resonator. (a) mode 1 and (b) mode 2.

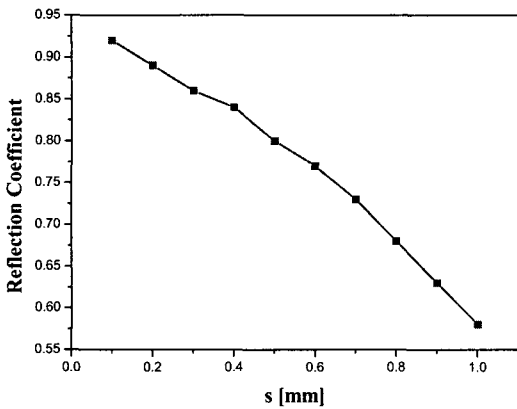
위 식에서 L_{eff} 와 W_{eff} 는 다음 식(2) 로 정의된다.

$$\begin{aligned} L_{eff} &= L - \frac{D^2}{0.95b}, \\ W_{eff} &= W - \frac{D^2}{0.95b}. \end{aligned} \quad (2)$$

식(1) 에서 c₀ 는 빛의 속도, ε_r 은 비유전율, m 과 q 는 모드 지수(mode index). L_{eff} 과 W_{eff} 는 SIW cavity 의 크기를 나타낸다. 그리고 식(2) 에서 L 과 W 는 같은 공진주파수를 가지는 rectangular waveguide 의 크기, D 는 via-hole 의 지름이다. 먼저 9.45 GHz 에서 TE₁₀₁ mode 를 갖는

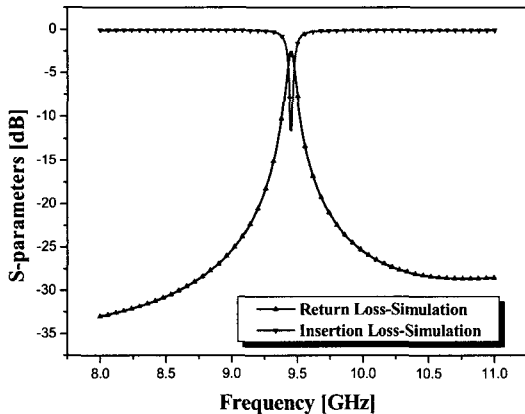
rectangular waveguide 의 크기를 구한다 [5]. 그 다음 via-hole 의 지름을 결정하고, 식(2) 를 이용하여 L_{eff} 과 W_{eff} 를 구하여 식(1) 로부터 공진주파수를 구한다. 50- Ω 마이크로 스트립 라인과 결합 구조를 갖는 SIW cavity 역시 근사적으로 같은 공진주파수에서 동작하도록 하기 위해 이것의 폭이 앞서 구한 폭의 절반($W_{eff}/2$) 이 되도록 설계 하였다 [7].

입·출력포트와 급전선 사이에 파워손실이 최소가 되어 반사특성이 향상되도록 SIW cavity 공진기와 급전선로가 임피던스 매칭이 되어야 한다. 이 경우, 반사계수가 1에 가까울수록 특성이 우수하다고 할 수 있다. <그림 3> 은 공진주파수 9.45 GHz 에서 50- Ω 마이크로스트립라인과 SIW cavity 공진기 사이의 거리(s)에 따른 반사계수 값을 나타낸다. s 크기가 작을수록 반사계수가 증가함을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 SIW cavity 공진기의 s 는 제작 가능성을 고려하여 0.19 mm



<그림 5> 공진주파수에서의 s값에 따른 반사계수

<Fig. 5> Reflection coefficient versus gap size at the resonance frequency.



<그림 6> SIW cavity 공진기의 모의실험 결과

<Fig. 6> Simulation results of the SIW cavity resonator

로 하였으며 각각의 via-hole 의 지름은 0.6 mm 이고 각 via-hole 중심 간의 거리는 1.18 mm 로 설계 하였다. <그림 6> 에 SIW cavity 공진기의 모의실험결과를 나타내었으며, 공진주파수인 9.45 GHz 에서 삽입손실 12.44 dB, 반사손실 2.48 dB 로 나타났다 [6]. 반사특성결과를 이용하여 Q_L (loaded quality factor) 를 계산할 수 있으며 다음 식(3)으로 나타낼 수 있다 [8].

$$Q_L = \frac{w_0}{\Delta w}. \quad (3)$$

SIW cavity 공진기의 모의실험결과 Q_L 은 472.5 으로 계산 되었으며 공진기의 크기 및 기판정보를 <표 1> 에 나타내었다. 또한, 공진기의 Quality factor 가 발진기의 위상잡음 특성에 큰 영향을 미친다는 것을 식(4) 를 통해 알 수 있다 [9, 10].

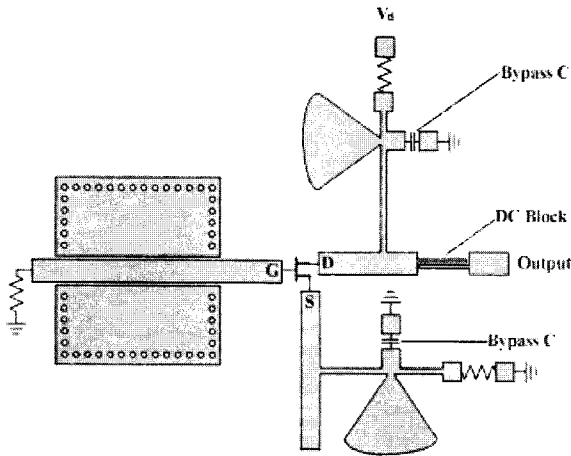
$$L\{\Delta w\} = 10 \log \left[\frac{2FkT}{P_{sig}} \left\{ 1 + \left(\frac{w_0}{2Q\Delta w} \right)^2 \left(1 + \frac{\Delta w_{1/f^3}}{|\Delta w|} \right) \right\} \right]. \quad (4)$$

여기서 F는 feedback 발진기의 effective noise figure, P_{sig} 는 carrier signal power, k 는 Boltzman 상수, T 는 절대온도, Q 는 공진기의 quality factor 를 각각 나타낸다. 즉, $L(\Delta w)$ 는 반송신호파위에 대한 노이즈 파워의 비로 볼 수 있다. 설계한 발진기 구조를 <그림 7> 에 나타내었다. 본 논문에서 제안한 SIW cavity 공진기는 FET 의 gate 단과 연결되도록 하였으며, bias 회로는 self-bias 회로로 설계하여 전원을 한 개만 사용하도록 하였다 [11].

<표 1> SIW cavity 공진기 파라미터

<Table 1> The design parameters

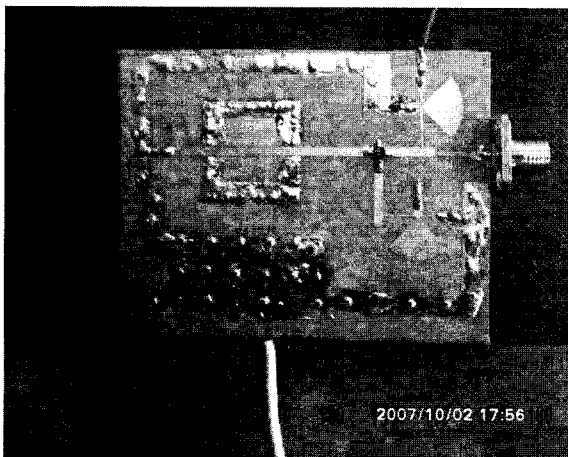
Parameters	SIW cavity resonator
f_0 (GHz)	9.45
W_{eff} (mm)	12.16
L_{eff} (mm)	15.67
b (mm)	1.18
D (mm)	0.6
s (mm)	0.19
ϵ_r	2.54
h (mm)	0.54



<그림 7> 직렬피환형 X-band 발진기의 구조.

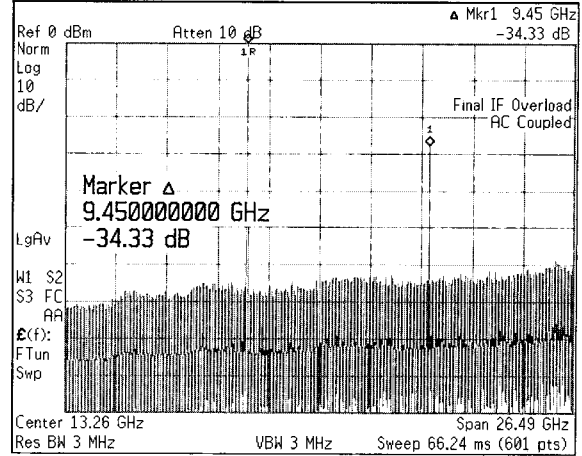
<Fig. 7> Schematic view of an X-band oscillator circuit with the series feedback topology.

그리고 RF Choke 는 $\lambda_g/4$ 마이크로스트립라인과 radial 스텐드 및 바이패스 커패시터로 구성하였다. 소자는 Agilent 사의 ATF-13786 GaAs MESFET를 사용하였고, ADS (Advanced Design System) 2006A 로 모의실험을 하였다. 비유전율 2.54, 높이 0.54 mm인 기판에 9.45 GHz에서 발진하도록 회로를 설계하였으며 이는 SIW cavity 공진기의 공진주파수와 일치한다.

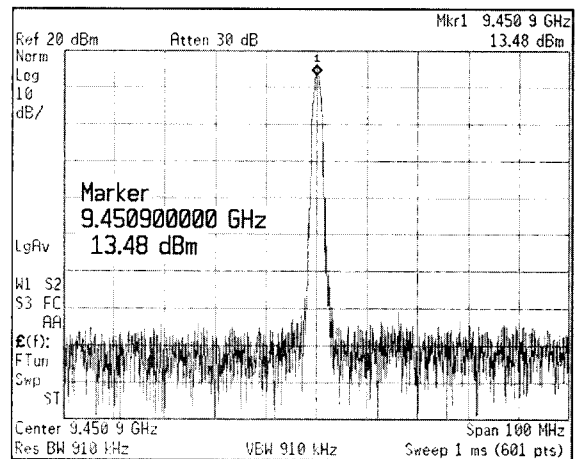


<그림 8> 실제 제작한 SIW cavity 공진기를 이용한 발진기.

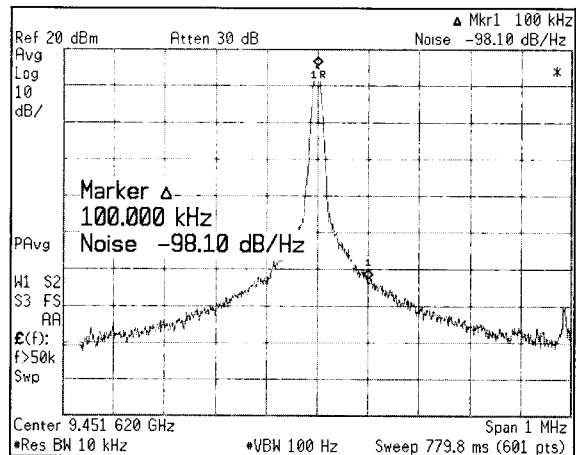
<Fig 8> Photograph of the fabricated 9.45 GHz oscillator with the SIW cavity resonator.



(a)



(b)



(c)

<그림 9> 발진기 측정 결과 (a) 고조파 특성 (b) 출력파워 (c) 위상잡음

<Fig 9> Measurement results of the oscillator (a) second harmonic suppression (b) output power level (c) phase noise characteristic ($V_{DS}=3.97$ V, $I_D=44.6$ mA).

III. 발진기 측정 결과

높이 0.54 mm, 비유전율 2.54 인 Teflon 기판에 제작된 X-band 발진기가 <그림 8> 에 나타나있으며, Agilent E4440A PSA series spectrum analyzer 를 이용하여 측정하였다. $V_{DS} = 3.97 \text{ V}$, $I_D = 44.6 \text{ mA}$ 에서 측정된 결과, 9.45 GHz에서 출력파워가 13.48 dBm 이고 처음 출력파워와 두 번째 고조파 출력 파워의 차이는 34.33 dBc 로 나타났으며. 위상잡음은 100 kHz offset frequency 에서 98.1 dBc/Hz 로 나타났다. 측정 결과 스펙트럼을 <그림 9> 에 나타내었다.

IV. 결론

본 논문에서는 평면회로에 집적이 용이한 SIW cavity 공진기를 이용한 X-band 발진기를 설계하였다. 공진주파수에서 전자기적 에너지는 SIW cavity의 via-hole 로 구분되는 metallic wall 내부의 유전체에 저장되고 그 때 저장된 전자기적 에너지는 50- Ω 마이크로스트립라인과 결합구조를 통하여 나타난 것이므로 대역저지 특성이 나타난다. SIW cavity 공진기는 평면 구조이면서 3차원구조인 rectangular waveguide 와 비슷한 특성을 나타내므로 높은 Q_L 값을 가지며, 이를 이용해 발진기를 제작함으로써 평면회로에 집적이 용이하다는 것을 입증 하였다. 따라서 회로의 소형화, 고집적화, 고성능화를 이루는데 기여할 수 있을 것이라 예상된다.

참고문헌

1. K. Hosoya, S. Tanaka, Y. Amamiya, T. Niwa, H. Shimawaki, and K. Honjo, "Low phase-noise 38-GHz HBT MMIC oscillator utilizing a novel transmission line resonator," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 1, pp.47-50, June 2000.
2. P. G. Wilson and R. D. Carver, "An easy-to-use FET DRO design procedure suited to most CAD programs," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 3, pp. 1033-1036, June 1989.
3. D. Deslandes and K. Wu, "Single-substrate integration technique of planar circuits and waveguide filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, no. 2, pp. 593-596, Feb. 2003.
4. D. Deslandes and K. Wu, "Integrated microstrip and rectangular waveguide in planar form," *IEEE Microwave and Wireless Components Lett.*, vol. 11, no. 2, pp. 68-70, Feb. 2001.
5. D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., 1998.
6. *Ansoft HFSS, version 10.0*
7. Y. Cassivi, L. Perregrini, P. Arcioni, M. Bressan, K. Wu, and G. Conciauro, "Dispersion characteristics of

- substrate integrated rectangular waveguide," *IEEE Microwave and Wireless Components Lett.*, vol. 12, no. 9, pp. 333-335, Sept. 2002.
8. A. P. S. Khanna and Y. Garault, "Determination of loaded, unloaded, and external quality factors of a dielectric resonator coupled to a microstrip line," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 31, no. 3, pp. 261-264, Mar. 1983.
9. D. B. Leeson, "A simple model of feedback oscillator noise spectrum," *Proc. IEEE*, vol. 54, pp. 329-330, Feb. 1966,
10. G. D. Vendelin, A. M. Pavio, U. L. Rohde, *Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques*, Wiley Interscience., 1990.
11. G. Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, 2nd Ed., Prentice Hall., 1997.