

논문 2005-42TC-1-12

PBG를 이용한 Oscillator의 Phase Noise Reduction에 관한 연구

(A Study on Phase Noise Reduction Technique
in Oscillator Using PBG)

오 익 수*, 서 철 현**

(Icsu Oh and Chulhun Seo)

요 약

본 논문에서는 광전자 밴드갭의 공진 특성을 이용하여 마이크로웨이브 발진기에서 위상잡음을 줄이기 위한 새로운 구조를 제시하였다. 낮은 Q값을 가지고 있는 마이크로스트립 라인 공진기의 접지 면에 PBG 구조를 적용하였다. 그래서 2.4 GHz대역의 100 KHz offset에서 기존의 마이크로스트립 라인 발진기의 위상잡음 특성에 비해 약 10 dBc 개선시킨 결과를 얻었다. 출력 전력은 7.09 dBm을 획득하였다.

Abstract

In this paper, a new technique to reduce the phase noise in microwave oscillators is proposed using the resonant characteristics of the Photonic Bandgap(PBG). We applied PBG structure to ground of the microstrip line resonator with the low Q(Quality factor). Therefore, we improved about 10 dBc in contrast to phase noise characteristic of the conventional microstrip line oscillator at 2.4 GHz @100 MHz offset. Output power is 7.09 dBm.

Keywords : PBG, Oscillator, Phase Noise

I. 서 론

무선 통신의 발전과 동시에 무선 통신에 쓰이는 RF 부품의 성능을 향상시키기 위한 노력들이 지속적으로 이루어지고 있다. 이러한 많은 연구들 중에서 주기적인 구조를 갖고 진행파의 일정 대역을 저지하는 특성을 가지는 것으로 접지 면을 식각하여 증폭기의 효율을 향상시킨다거나, 광대역 저역 통과 여파기 및 안테나의 성능 개선에 PBG(Photonic Band Gap) 구조를 응용하고 있다^[1~4]. 본 논문에서는 PBG 적용에 미약한 국부 발진

기(Local Oscillator)에 PBG 기술을 접목시켜서 발진기를 제작하였다.

우선 발진기의 설계에 있어서 가장 중요한 변수 중에 하나가 위상잡음이다. 모든 RF시스템의 설계를 할 경우에 고려하는 부분으로 저주파 대역에서는 캐패시터나 인덕터를 이용해서 발진기를 만들어도 큰 어려움이 없지만, 주파수 대역이 올라갈수록 발진기는 마이크로 스트립라인을 많이 이용하게 된다. 그런데 마이크로 스트립라인은 낮은 Quality(Q) factor 특성을 가지고 있기 때문에 발진기의 위상잡음을 나쁘게 하는 요인이 된다. 또한 인덕터의 경우에 높은 Quality factor를 얻기 위해 spiral 구조로 인덕터를 만들 경우 회로의 크기에 영향을 미치기 때문에 MMIC로 구현하는데 어려움을 갖게 된다^[5~8].

본 논문은 발진기의 설계에 있어서 마이크로스트립 라인의 낮은 Quality factor의 개선과 MMIC로의 구현

학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 정보통신공학부
(School of Electronic Engineering Soongsil
University)

※ 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음

접수일자: 2004년10월5일, 수정완료일: 2004년12월18일

을 위해서 마이크로스트립 기판의 접지면에 PBG를 적용하였다.

II. 광전자 밴드갭의 적용

광전 밴드갭(Photonic Bandgap, PBG) 구조는 일, 이, 삼차원 배열의 홈과 같은 불연속 구간이 주기적으로 형성된 구조로 광학분야에서 이러한 구조에 대한 응용 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이러한 구조는 주기의 차수에 해당하는 파장에 대해 흥미로운 물리적 현상이나 새로운 전파 효과들을 초래한다. 광자들이 주기적인 격자에서 전자와 유사하게 동작하여 PBG 구조로 불려지고 있다. PBG는 광학 분야의 브래그 격자에 대한 연구로부터 비롯되었지만, 마이크로파와 밀리미터파 대역을 포함한 광범위한 주파수 대역에서도 동일한 특성을 갖는다^[9]. 이미 알려진 바와 같이 PBG 구조에 의해 형성되는 저지대역의 중심 주파수를 결정하는 중요한 역할을 담당한다. 원하는 주파수에서의 저지대역 형성을 위한 위상 정합조건은 다음과 같다.

$$-\beta = \beta - \frac{2\pi}{\Lambda}$$

$$\lambda_g = 2\Lambda$$



그림 1. 접지 면에 PBG를 적용한 마이크로 스트립 선로

Fig. 1. Microstrip line applied PBG to ground.

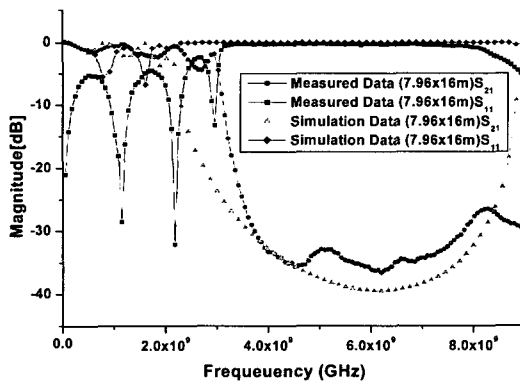


그림 2. PBG 모의실험 및 측정결과

Fig. 2. PBG simulation and measured result.

[그림 1]은 기본적인 PBG구조를 나타낸 것이고, [그림 2]는 제작된 PBG의 모의 실험 및 측정결과를 나타낸 그림이다.

PBG는 마이크로스트립 회로에서 특정 주파수 이상의 주파수에서 저지 대역 특성이나 차단 특성을 갖는 성능을 가지고 있다. 또 이러한 성능은 PBG의 격자 구조 및 형태 - 격자의 주기에 대한 격자의 크기 비, 격자 모양 - 에 따라 여파 특성이 변화하므로 마이크로스트립을 이용한 회로에서 원하고자 하는 성능을 갖는 구조를 만들어서 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그래서 일반적으로 증폭기나 여파기 등에서 높은 Quality factor를 얻기 위해서 jig같은 하우징 기법이나 Mems 공정을 하지만, 본 논문에서는 마이크로스트립 라인에 저역 통과 여파 특성과 차단 주파수 이상에서 광대역의 차단 특성을 갖는 PBG를 적용함으로써 발진기의 고조파 특성을 억제하는데 사용하고자 한다.

발진기에 적용된 PBG구조는 공진부의 임피던스와 부성 저항과의 발진 조건을 만족시켜줘야 하므로 최적화되어야 한다. 또한 PBG가 평면 구조를 가지고 있기 때문에 성능 개선을 위한 다른 회로의 적절 설계 및 제작이 필요 없으므로 평면 기판에서의 제작을 쉽게 하는 효과를 얻을 수 있다.

결국, 마이크로스트립 발진기의 위상잡음을 개선시키기 위하여 PBG의 공진 특성을 적용함으로써 공진부의 Quality factor를 극대화시켜 위상잡음을 줄일 수 있는 새로운 설계 기술이다.

III. PBG를 적용한 발진기 설계 및 제작

발진기는 발진 조건을 만족하게 되면 공진기의 공진 주파수에서 발진이 일어나며 발진기의 발진 주파수는 공진기의 공진 주파수에 종속되며 이를 외부에서 인위적으로 변환시키게 되면, 발진기의 발진 주파수는 공진기의 공진 주파수를 따라 변하게 된다. 주로 사용되는 공진기는 LC공진기, 유전체 공진기, YIG등 여러 가지 종류가 있는데 LC 공진기는 일반적으로 저렴하면서 구현이 용이하고, 소형이므로 넓지 않은 밴드에서 사용된다. 그런데 주파수 대역이 올라감에 따라서 LC 공진기를 사용하는 데에는 한계가 있다. 즉 고주파대역에서 발진기는 마이크로스트립 라인 공진기를 쓰게 된다.

발진기는 특정 주파수를 정확하게 출력해야 하는데, 소자의 불안정한 영역에 동작시키다보니 시간 축 상에서의 파형이 찌그러지거나 위상이 틀어지는 현상이 나

타나게 되는데 이것이 발진기의 중요한 성능 지표인 위상잡음이라고 한다.

위상잡음은 발진부의 Quality factor(Q)값이 높을수록 잡음특성이 우수하게 나타난다. 그래서 Q값을 높이는 연구가 많이 이루어지고 있다. 특히 마이크로스트립 선로의 Q값은 YIG나 DR의 경우보다 훨씬 낮다. 그래서 본 논문에서는 PBG라는 특별한 구조를 이용해서 좀 더 높은 Q를 획득하고자 한다.

$$Quality\ factor = w \frac{average\ energy\ stored}{energy\ loss/sec\ ond} \quad (1)$$

우선 Quality factor는 (식 1)에서 보는 것처럼 표현된다. 여기에서 [그림 3]과 같이 살펴보면 윗면의 길게 뻗은 마이크로스트립 라인 밑에 PBG cell을 식각시킨 이유가 Q 값과 관련지어 있는 것이다.

공진주파수에 대해서 윗면의 마이크로스트립 라인과 아랫면의 PBG 셀 사이에서 독립된 공간 또는 선로 간에 전/자기적으로 교류신호에너지가 상호 전달되는 coupling 효과가 나타나게 된다. 이것은 등가적으로는 커패시터의 용량이 커지는 작용을 하게 되고 공진주파수 대역에 대한 저장되는 에너지의 증가의 효과를 보이게 된다. 이것을 위의 식으로 유추하면 Q 값의 증가를 얻게 되는 것이고 위상잡음 특성을 향상시키는 결과를 낳게 되는 것이다.

$$Q\ (Shunt\ LC) = w\ \omega RC \quad (2)$$

이론적으로 보면, 마이크로스트립 라인 밑을 PBG 셀

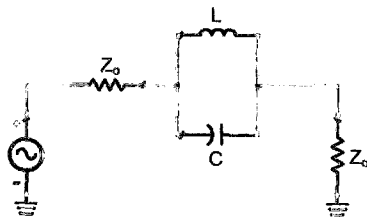


그림 3. PBG 등가회로
Fig. 3. PBG Equivalent Circuit.

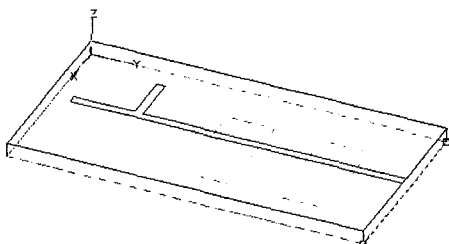


그림 4. PBG를 적용한 공진기 회로
Fig. 4. Resonator Circuit applying PBG.

을 넣어 식각시킨 등가회로가 [그림 3]으로 병렬공진회로이다. 그런데 Quality factor는 병렬공진에서 (식 2)와 같이 표현되어진다. 여기서 PBG에 의한 coupling 증가로 병렬공진의 커패시턴스가 증가하면서 Q 값이 커지게 되는 것이다.

PBG를 적용한 공진기설계는 [그림 4]에서 보는 것처럼 Teflon 기판의 윗면에는 두 개의 마이크로스트립 라인 open stub으로 되어있고 아랫면에는 PBG cell을 식각시킨 형태로 Ansoft사의 HFSS simulator를 사용하여 모의실험을 하였고 제작하여 특성을 확인하였고 모의실험을 통해서 얻은 분산 파라미터는 부성저항 값과 관련지어서 발진을 얻는 조건에 맞도록 모의실험 되었다.

발진기는 HP사의 Advanced Design System(ADS) simulation tool을 사용하여 발진 주파수 2.4 GHz의 발진기를 설계하였다. FET의 Source단에 인덕터와 마이크로스트립 라인을 이용하여 부성저항을 발생시켰으며 출력정합회로도 발진 조건에 맞게 설계하였다. 발진기 설계에 사용한 트랜지스터는 NEC사의 super

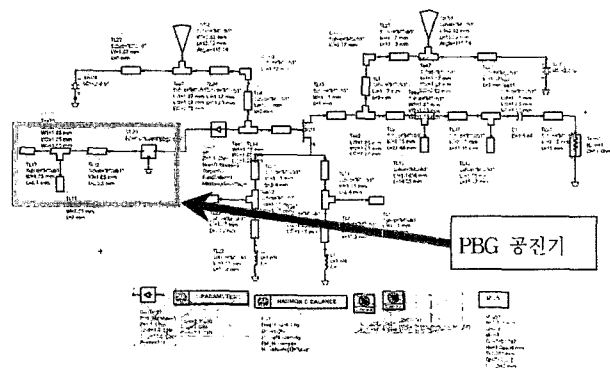


그림 5. 발진기에 PBG를 적용한 회로도
Fig. 5. Schematic applying PBG to Oscillator.

표 1. 모의 실험 발진 결과
Table 1. Oscillation Results to Simulation.

	PBG 적용 안함	PBG 적용
발진 주파수(GHz)	2.403GHz	2.397GHz
출력 전력(dBm)	6.192dBm	6.124dBm
위상 잡음(dBc/Hz)	-75.70 @1kHz	-79.76 @1kHz

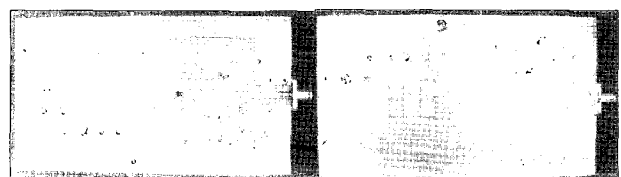


그림 6. PBG를 적용한 발진기 제작물
Fig. 6. Oscillator Manufacture applying PBG.

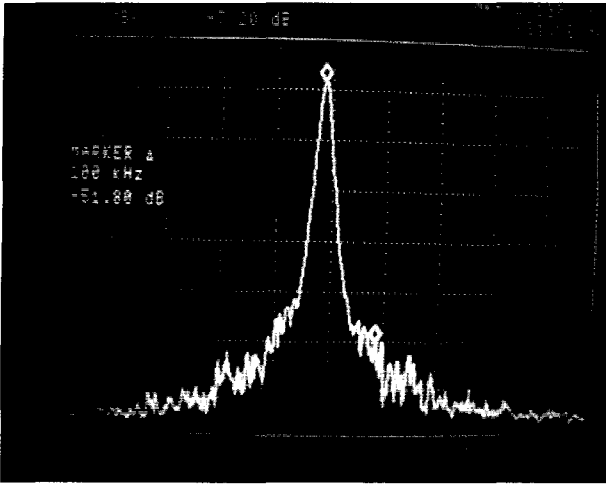


그림 7. 발진기에 PBG를 적용한 주파수 스펙트럼
 Fig. 7. Frequency Spectrum applying PBG to Oscillator.

표 2. 실물 제작 측정 결과
 Table 2. Measured Results of a Manufacture.

	PBG 적용 안함	PBG 적용
발진 주파수(GHz)	2.38	2.36
출력 전력(dBm)	3.84	7.09
위상 잡음(dBc/Hz)	-81.06 @100kHz	-91.8 @100kHz

low noise HJ FET인 NE3210S01을 사용하였다.
 [그림 5]는 ADS에서 PBG를 적용한 공진기를 적용하여 발진기를 만든 최종 회로도이다. Harmonic Balance 시뮬레이션을 통해서 2.4 GHz 대역에서 PBG를 적용하지 않고 발진을 일으킨 발진기와 PBG를 적용하여 발진을 일으킨 발진기의 모의실험 결과는 다음의 [표 1]에서 보여주고 있다.

PBG를 적용하여 제작한 실물이 아래 제시되어져 있다. 공진부의 마이크로 스트립 라인 밀면의 접지 부분을 식각하여 제작된 모습을 볼 수 있다.

[그림 6]와 [그림 7]은 실제 제작한 모습과 PBG를 적용한 발진기의 Spectrum Analyzer로 측정된 결과이다.

마지막으로 [표 2]는 실물 제작된 PBG를 적용했을 때 측정된 결과를 나타내고 있다. 결과에서 보는바와 같이 발진 주파수에의 약간의 차이가 있었으나 우리가 염두에 두었던 위상잡음 성능이 약 10 dBc정도 개선되었다.

IV. 결 론

본 논문은 공진부에 PBG 적용하여 모의실험 및 실

제 제작하여 발진기에서의 위상잡음 성능을 향상시킨 결과를 보여주고 있다. PBG를 적용하지 않은 발진기와 적용한 발진기의 위상잡음 특성을 비교 했을 때, 10 dBc의 위상잡음 성능 향상을 얻었다.

이것은 마이크로 스트립 라인만으로 공진기를 만들었을 때와 PBG까지 적용하여 만든 공진기를 비교해 볼 때 PBG를 적용한 공진기가 마이크로스트립 라인 공진기의 낮은 Quality factor를 개선한 것이라고 말할 수 있다.

또, PBG와는 다른 구조로 알려져 있지만 저역 통과 여파 특성과 저지 대역 특성이 비슷한 Defected Ground Structure(DGS)를 적용하여 발진기의 위상잡음을 향상시킨 경우와 마찬가지로 PBG를 적용함으로써 위상잡음에 대한 특성을 향상시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Seo, Chulhun. "A High-Power Amplifier Using Photonic Bandgap and Coplanar Waveguide," *Microwave and Optical Technology Letters*, v.36 no.2, 2003, pp.108-110.
- [2] Chew, Siou Teck ; Itoh, T. "PBG-Excited Split-Mode Resonator Bandpass Filter," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol.11 no.9, 2001, pp.364-366.
- [3] I. Rumsey, P. M. Melinda and P. K. Kelly, "Photonic Bandgap Structures Used as Filter in Microstrip Circuits," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol.8, pp.336-338, 1998.
- [4] Ali, M. "Design of a Wideband Microstrip Patch Antenna on a PBG Type Substrate," *Proceedings of IEEE Southeastcon*, 2002. pp.48-51.
- [5] J.K.A. Everard and C.D. Broomfield, "Transposed flicker noise suppression in microwave oscillators using feedforward amplifier" *IEEE Electronics Letter 28th*, vol.36, no. 20, pp. 1710-1711, September 2000.
- [6] J. K. A Everard and C. Broomfield, "Reduced Flicker Noise in Microwave Oscillators using Feedforward Amplifier" *IEEE MTT-S Digest.*, pp. 1431-1434, 2001.
- [7] P.A. Dallas and J.K.A Everard, "Characterization of flicker noise in GaAs MESFETs for oscillator applications" *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques.*, vol. 2, pp. 245-257, February 2000.
- [8] Young-Taek Lee, Jong-Sik Lim, Jun-Seok Park, Ahn, D.; Sangwook Nam, "A novel phase noise reduction technique In oscillators using defected

ground structure" *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE.*, vol. 12, Issue: 2, pp. 39 41, Feb 2002.

- [9] Kim, Taesun ; Seo, Chulhun, "A Novel Photonic Bandgap Structure for Low-Pass Filter of Wide Stopband," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol.10, no.1, January 2000.
- [10] David M. Pozar, "Microwave Engineering", Addison Wesley, 1990.

저 자 소 개



오 익 수(학생회원)
2003년 숭실대학교 정보통신전자
공학부 졸업.(공학사)
2003년 3월~숭실대학교 정보통신
공학과 석사과정
<주관심분야: RF Front_End
System 및 소자>

서 철 현(정회원)

대한전자공학회논문지 vol. 31, no. 6 참조

