

PBG를 이용한 밀리미터웨이브 대역 고출력 증폭기에 대한 연구

Study on Millimeter Wave Power Amp Employing PBG

임석순 · 서철헌 · 김태원 · 박규호* · 송희석*

Serk-Sun Im · Chul-Hun Seo · Tae-Won Kim · Kyu-Ho Park* · Hee-Seok Song*

요 약

본 논문에서는 밀리미터 웨이브 대역의 PBG(Photonic Band Gap)를 적용한 고출력 증폭기를 설계하였다. 증폭기는 24.6 GHz~24.75 GHz 사이의 동조대역을 가지며 증폭기의 선형성과 효율을 개선하기 위하여 PBG는 증폭기의 2차 고조파를 제거하도록 설계되었다. 또한 기존의 PBG 형태보다 저지 특성이 좋으면서도 출력 라인을 따라서 구현되는 PBG의 길이는 감소하도록 PBG를 변형하여 최적화 시켰다. 제작된 PBG는 증폭기의 2차 고조파대역에 대하여 35 dB 이상의 저지 특성을 보여준다. 증폭기는 입·출력 반사특성과 출력전력의 개선을 위하여 Lange Coupler를 이용한 Balanced 구조를 가지도록 설계하였다.

Abstract

In this paper, We designed the millimeter wave power amplifier employing PBG. The amplifier has the bandwidth from 24.6 GHz to 24.75 GHz. For improvement of the Linearity and the PAE of the amplifier, PBG was designed to suppress the 2nd harmonic of the Amplifier. The Proposed PBG have smaller area and better rejection characteristic than conventional PBG structure. The fabricated PBG shows 35 dB or more of rejection characteristic at the 2nd harmonic band of the amplifier. The amplifier has balanced structure having lange coupler which means better input · output return loss and higher output power.

Key words : PBG, Power Amp, Linearity, PAE

I. 서 론

PBG 구조는 주기적인 불연속 구조를 갖고 진행파의 일정대역을 저지하는 특성을 가지고 있으며, 이는 광학분야의 브래그 격자에 대한 연구로부터 시작되어, 이후 마이크로파 대역에서 접지면에 PBG를 이용한 각종 마이크로 스트립 회로의 성능 개선에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 예를 들면 안테나의 방사패턴 향상이나^{[1]-[3]}, 광대역 감쇄기^[4], 전력증폭기의 출력 효율과 선형성을 개선하는 등의

것이다^{[5],[6]}. 그 중 PBG를 이용한 전력증폭기 성능 개선에 관한 연구는 2.4 GHz나 5.8 GHz 같은 대역에서 주로 이루어졌다. 그러나 앞으로 중요성이 더욱 부각되고, 연구가 활발해질 K-band나 Ka-band와 같은 높은 주파수 대역의 증폭기에의 PBG적용은 아직 이루어진 바가 없다. 본 논문에서는 PBG를 밀리미터 대역의 전력 증폭기의 출력단에 구현함으로써 출력효율과 선형성 개선에 대한 연구를 수행하였다. 증폭기의 선형성 개선이라는 초점에 맞추어 PBG를 최적화시켜 기존 PBG보다 작은 면적을 차

송실대학교 정보통신전자공학부(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

*전자부품연구원 무선회로 연구센터(Wireless Communication Research Center, Korea Electronics Technology Institute)

· 논문 번호 : 20021102-07S

· 수정완료일자 : 2002년 12월 9일

지하면서도 같은 성능을 유지할 수 있도록 설계하였으며 Lange Coupler를 이용한 balanced 구조의 24.5 GHz 대역의 전력증폭기를 설계하였다.

II. PBG 설계

일반적으로 마이크로스트립 라인 구조에서 PBG 구조는 격자의 주기 Λ 와 마이크로스트립 라인 내에서 전파의 파장 λ_g 가 식 (1)을 만족하도록 설계한다.

$$\Lambda = \lambda_g / 2 \quad (1)$$

[7],[8]에서는 각기 다른 격자를 직렬, 또는 병렬로 위치시킴으로써 기존 PBG보다 넓은 저지대역을 얻어낸 바 있다. 그러나 전력증폭기의 선형성과 효율을 개선하고자 할 때 가장 중요하게 고려되는 부분은 증폭기의 2차 고조파 성분의 제거이다. 만약 식 (1)을 만족하는 격자주기보다 더 짧은 격자의 주기구조를 가지면서도 증폭기의 2차 고조파를 제거할 수 있는 PBG격자를 구현할 수 있다면 회로를 소형화 할 수 있으므로 격자의 주기를 짧게 만들기 위한 연구를 수행하였다.

그림 1은 PBG의 폭 W 에 따른 저지대역 특성의 변화를 보여준다. 2개의 격자를 마이크로스트립 라인의 그라운드에 위치하였으며 기판은 두께가 0.254 mm(10 mil) 이고 유전율 9.8을 가지는 알루미나 기판을 사용하여 시뮬레이션 하였다. PBG의 주기 Λ 를 고정시킨 채 폭 W 를 증가시킴에 따라 저지대역이 낮은 주파수로 이동하며 저지특성 또한 향상됨을 알 수 있다. 다만 폭을 지나치게 증가시키면 통과대역의 손실과 리플이 증가할 수 있으므로 이에 주의하여 설계하여야 한다.

그러나 증폭기가 사용하고자 하는 대역폭이 PBG의 통과 대역에 비하여 리플을 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 큰 문제가 되지는 않으나 S_{11} 특성이 좋은 곳에 증폭기의 대역이 위치하도록 PBG를 설계하는 것이 바람직하다.

그림 2는 기존의 PBG와 최적화된 PBG의 저지대역특성을 비교하고 있다. 그림 2의 (a), (b)와 같이 같은 면적안에 최대한의 격자를 나열하였으며 그림 2의 (b)에 제안된 격자의 경우 폭을 증가시킨 대신

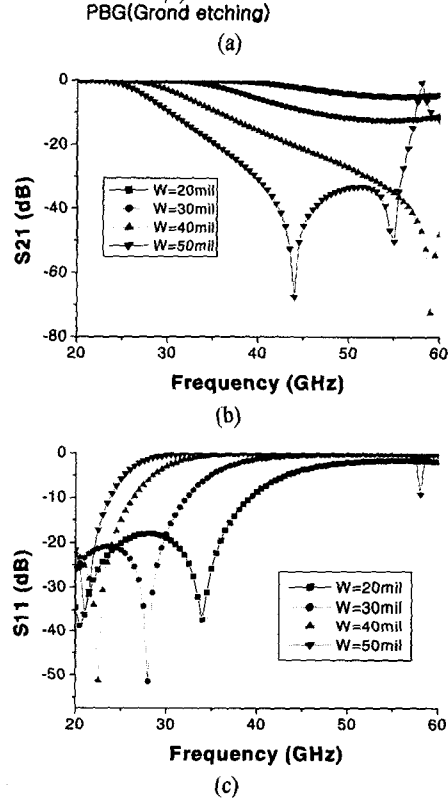
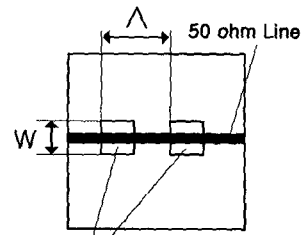


그림 1. W 에 의한 PBG의 저지 특성 변화
(a) 모의 실험 된 PBG의 구조
(b) 모의 실험 된 S_{21}
(c) 모의 실험 된 S_{11}

Fig. 1. PBG with various Width W .
(a) Simulated PBG structure
(b) Simulated S_{21}
(c) Simulated S_{11}

에 주기를 더 짧게 구현함으로써 동일한 주파수에 저지대역이 나타나도록 하였다. 그림 2에서 보여주는 바와 같이 증폭기의 2차 고조파만을 제거하고자 한다면 제안된 구조가 더 작은 면적을 사용하고도 효과적으로 저지대역을 형성할 수 있음을 알 수 있다.

그림 3은 제작된 PBG의 회로도와 주파수 응답을 보여준다. 증폭기의 2차 고조파에 해당하는 49 GHz

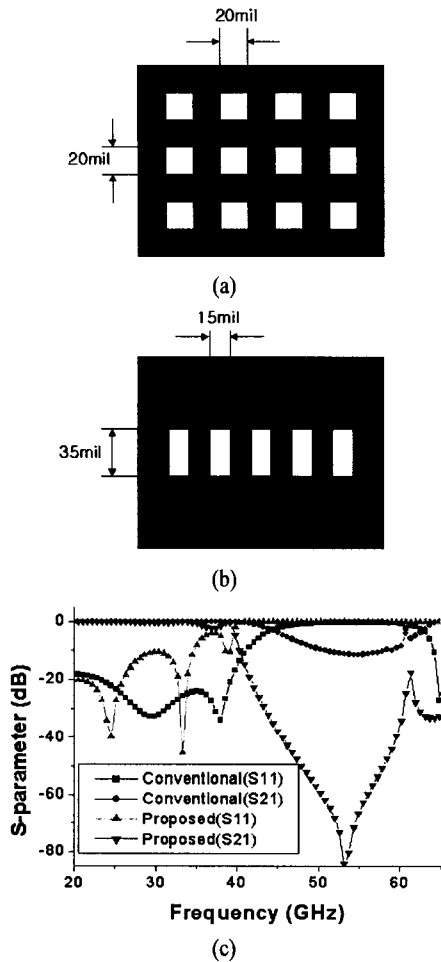


그림 2. 기존의 PBG와 제안된 PBG의 특성 비교
 (a) 기존의 PBG(20*20 mil)
 (b) 제안된 PBG(15*35 mil)
 (c) 모의실험 결과
 Fig. 2. Comparison of conventional and proposed PBG.
 (a) Conventional PBG(20*20 mil)
 (b) Proposed PBG(15*35 mil)
 (c) Simulated result

근방의 대역에서 35 dB 이상의 저지대역을 형성시킴을 보여주고 있다. 증폭기의 증폭대역에 해당하는 24.6 GHz~24.75 GHz에서는 27 dB 이상의 반사손실(Return loss)을 보여주고 있다. 또한 0.927 dB의 삽입손실이 발생하였는데 이는 PBG 자체 특성에 의한 삽입손실에 커넥터 손실, 기판과 50 ohm 라인 사이의 리본 연결 등으로 인한 손실이 더해진 것으로 사료된다.

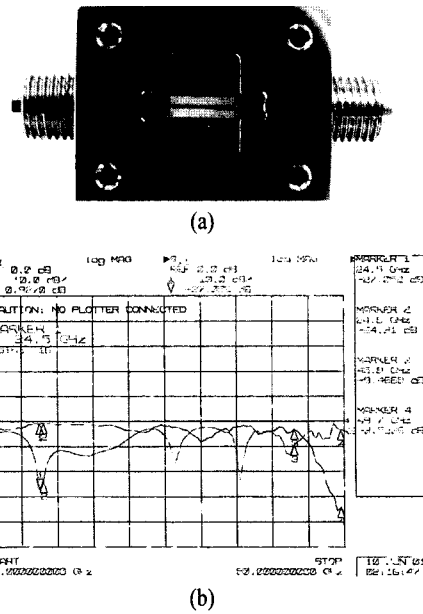


그림 3. 제작된 PBG와 주파수 응답 특성
 (a) 제작된 PBG
 (b) 주파수 응답 특성
 Fig. 3. Fabricated PBG and Frequency Response.
 (a) Fabricated PBG
 (b) Frequency Response of PBG

III. 밀리미터 웨이브 대역 증폭기 설계

본 논문에서는 밀리미터 웨이브 대역에서 동작하는 하이브리드 타입의 전력증폭기를 설계하였다.

소자는 Excelics사의 EFA240BV(GaAs Power FET)를 사용하였다. 일반적으로 밀리미터 대역에서 사용하는 제작방식은 기판을 캐리어에 접착후 캐리어를 다시 하우징에 고정하는 캐리어 타입의 제작방식으로 이에 따른 여러 제반 여건들을 고려하여 시뮬레이션을 행하였다. 증폭기는 24.6 GHz~24.75 GHz의 동작대역과 27 dBm의 출력을 가지도록 설계하였다.

그림 4는 설계된 전력증폭기의 회로도를 보여준다. 계단형 임피던스 방식을 이용하여 입출력 정합을 하였으며, 소자가 원하는 대역에서 27 dBm의 출력을 가지기에 충분치 않기 때문에 Lange coupler를 이용한 Balanced 형태를 가지도록 하였다. 증폭기의 출력부와 Lange coupler의 중간에는 PBG를 접지면에 위치하였다.

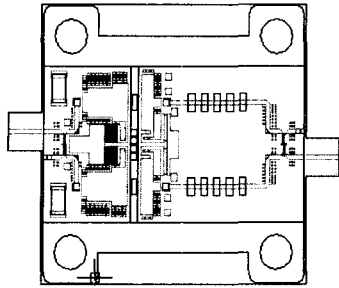


그림 4. 설계된 전력증폭기의 회로도
Fig. 4. Layout of the designed Amplifier.

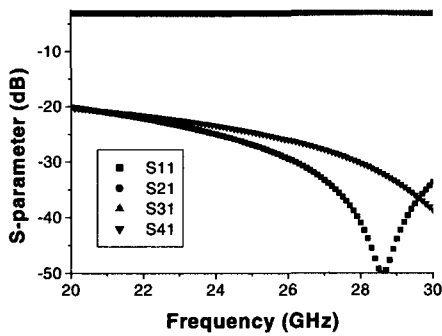


그림 5. 설계된 Lange Coupler의 특성
Fig. 5. Simulated Result of Lange Coupler.

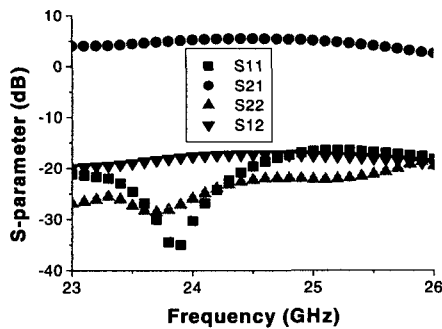
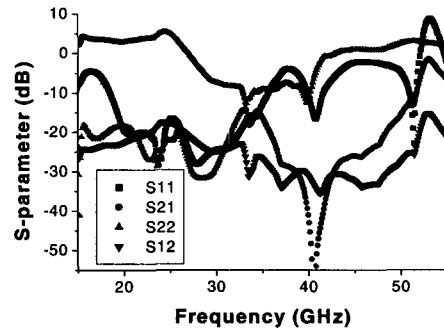


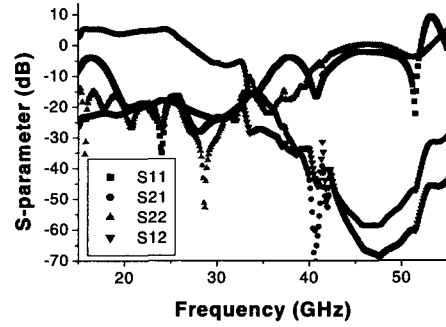
그림 6. 설계된 증폭기의 대역내 특성
Fig. 6. Simulated Result of Lange Coupler.

그림 5는 설계된 Lange coupler의 특성을 보여주고 있다. 넓은 대역에 걸쳐서 -3 dB의 분기가 이루어지고 있으며 -20 dB 이하의 S_{11} 및 S_{41} 이 보장되고 있다.

그림 6은 설계된 전력증폭기의 대역내의 S-parameter 특성을 보여준다. 설계된 증폭기는 5 dB의 이득을 가지며 -17 dB 이하의 S_{11} 및 -20 dB



(a)



(b)

그림 7. 설계된 증폭기의 광대역 특성
(a) PBG가 적용되지 않은 증폭기
(b) PBG 적용된 증폭기

Fig. 7. Simulated Wideband S-parameter of Amplifier.
(a) Amp without PBG
(b) Amp with PBG

이하의 S_{22} 의 특성을 보여주고 있다.

그림 7은 넓은 대역에 걸쳐서 PBG를 적용한 증폭기와 적용하지 않은 증폭기의 S-parameter를 보여주고 있다. 대역내에서는 두 개의 증폭기가 유사한 특성을 보이지만 2차 고조파성분이 발생하는 50 GHz의 대역에서 PBG를 적용한 증폭기의 S_{21} 이 35 dB 이상 낮아진 것을 볼 수 있다.

이는 PBG의 영향으로 2차 고조파 대역에 저지대역이 형성되었기 때문이며 이는 증폭기의 2차 고조파를 제거해줌으로써 선형성과 효율을 향상시킬 수 있다는 것을 말해준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 밀리미터 웨이브 대역에 PBG를

적용한 전력증폭기를 하이브리드 방식을 이용하여 제작할 수 있도록 설계하였다. 설계된 증폭기는 24.6 GHz~24.75 GHz의 증폭대역을 가지도록 하였으며, 증폭기의 2차 고조파를 좀더 효과적으로 제거할 수 있도록 EM simulation을 통하여 기존의 PBG를 변형하여 최적화 시켰다. 최적화된 PBG는 Lange Coupler를 이용한 Balanced 구조의 전력증폭기의 출력단에 위치하여 설계하였다.

참 고 문 헌

[1] Y. Horii, M Tsutsumi, "Harmonic Control by Photonic Bandgap on Microstrip Patch Antenna", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 9, pp. 13-15, 1999.
 [2] Y. Qian, et al., "A Novel Approach for Gain and Bandwidth Enhancement of Patch Antenna", *RAWCON'98 Proceedings*, pp. 221-224, 1998.
 [3] K. Ma, F. Yang, Y. Qian and T. Itoh, "Non-leaky Conductor-Backed CPW Using A Novel 2-D PBG Lattice", *1998 Asia-Pacific Microwave*

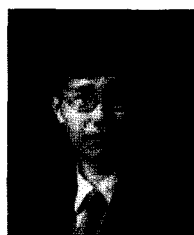
Conference, WE2B-5, pp. 509-512, 1998.
 [4] F. Yang, Y. Qian and T. Itoh, "A Novel Uniplanar PBG Structure for Filter and Mixer Application", *1999 IEEE MTTT-S Digest*, WE1C-6, pp. 919-922, 1999.
 [5] V. Radisic, Y. Qian and T. Itoh, "Broadband power amplifier using dielectric photonic bandgap structure", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 8, pp. 13-14, 1998.
 [6] J. H. Yoon, C. Seo, "Improvement of Broadband Feedforward Amplifier Using Photonic Bandgap", *IEEE Microwave & Wireless Components Lett.*, vol. 11, no. 11, pp. 450-452, Nov. 2001.
 [7] T. S. Kim, C. Seo, "Novel Photonic Bandgap Structure for Lowpass Filter of Wide Stopband", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, no. 1, pp. 13-15, Jan. 2000.
 [8] I. Rumsey, P. M. Melinda and P. K. Kelly, "Photonic Bandgap Structures Used as Filters in Microstrip Circuits", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 8, pp. 336-338, 1998.

임 석 순



2001년 2월: 숭실대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2001년 3월~현재: 숭실대 대학원 정보통신전자공학부 재학중
 [주 관심분야] 이동 및 위성통신 시스템, RF 부품, RF 모듈

서 철 현



1983년 3월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 3월: 서울대 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1993년 3월: 서울대 대학원 전자공학과 (공학박사)
 1993년~1995년: MIT 연구원
 1993년~1997년: 숭실대학교 정보통신공학과 조교수
 1997년~현재: 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수
 1999년 8월~2001년 1월: MIT 방문교수
 [주 관심분야] 이동 및 위성통신 Microwave 부품 및 시스템, PBG를 이용한 RF 부품

김 대 원



2001년 2월: 숭실대학교 정보통신
공학과 (공학사)
2001년 3월~현재: 숭실대 대학원
정보통신전자공학부
[주 관심분야] RF 및 microwave
전력증폭기

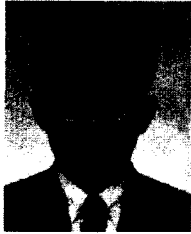
송 희 석



1997년 2월: 서강대학교 전자공학
(공학사)
1998년 7월~2000년 8월: 서강대
대학원 전자공학과 (공학석사)
1997년 1월~1998년 7월: 현대전
자
2000년 7월~현재: 전자부품연구

원 무선회로연구센터 전임연구원
[주 관심분야] 적층 및 모듈 설계

박 규 호



1988년 2월: 서강대학교 전자공학
과 (공학사)
1995년 7월~1997년 8월: 서강대
대학원 전자공학과 (공학석사)
2001년 2월~현재: 서강대 대학원
전자공학과 박사과정
1987년 12월~1994년 7월: 금성통

신(현 LG 전자) 연구소 대리
1994년 8월~1995년 7월: (주)홍창연구소 선임연구원
1996년 2월~1996년 12월: KMW(주)연구소 선임연구원
1997년 7월~현재: 전자부품연구원 무선회로 연구센터 책
임연구원
[주 관심분야] 고출력 증폭기 (LPA, HPA), PBG, DGS를
이용한 RF 부품연구, 이동통신용 세라믹 필터