

# Photonic Bandgap과 Coplanar Waveguide를 이용한 증폭기의 설계 및 제작

정회원 윤진호\*, 서철현\*

## Design and Fabrication of Amplifier Using Photonic Bandgap and Coplanar Waveguide

Jinho Yoon\*, Chulhun Seo\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 IMT-2000, 무선LAN, PCS 대역인 R-band에서 Coplanar waveguide (CPW)와 Photonic Bandgap (PBG)을 이용한 증폭기를 설계 및 제작하였다. 기존 마이크로스트립을 이용한 증폭기에만 적용되던 PBG 기술을 처음으로 CPW를 이용한 증폭기에 적용하여 출력효율 및 IMD를 측정하였다. PBG구조는 매칭 네트워크 구성을 위해 최적화 되었으며 이로인해 임출력 반사손실이 최소화 되도록 PBG 구조가 정합되었다. 측정결과 CPW구조에 새롭게 적용된 PBG구조를 이용하여 동일 IMD에 대해 15%의 출력효율과 동일 출력에 대해 IMD 4.5dB 향상을 얻을 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, a R-band hybrid amplifier with the coplanar waveguide(CPW) and the photonic bandgap(PBG) structure is designed and fabricated. The PBG and the CPW techniques are simultaneously employed in amplifier to improve the power added efficiency(PAE) and the IMD(Intermodulation Distortion) in R-band. In this paper, the PBG structures are optimized to obtain matching network. The output impedance of amplifier and the input impedance of PBG are matched to minimize the return loss. The PAE and the IMD were improved 15% and 4.5dB compared with the conventional amplifier, respectively.

### 1. 서 론

PBG구조의 기판을 사용하면 주파수가 높아짐에 따라 평면형 기판을 이용한 RF 부품들에 나타나는 문제점들 중 안테나의 협대역의 밴드폭 및 낮은 이득, Surface Wave 손실, 고출력 증폭기(HPA, LPA)의 선형화문제, 필터의 하모닉 성분을 해결할 수 있으며 광대역 특성, 고이득 특성, 고효율 등 뛰어난 특성을 지닌 RF 부품을 설계할 수 있다. HPA에서는 출력 단자에서 PBG구조를 사용함으로써 증폭기 내부구조의 변화 없이 출력 효율을 향상시킬 수 있는 특성을 지닐 수 있다<sup>[1-2]</sup>. 필터에서는 광대역 저

지대역을 형성하여 불필요한 하모닉 성분들을 제거할 수 있는 차단 특성이 좋은 고급 필터의 설계가 가능하다<sup>[3]</sup>. 따라서 광대역과 저왜곡성에 있어 기존의 RF부품에 비해 물리적으로 월등한 장점을 갖기 때문에 PBG 구조를 이용한 RF 부품기술은 기존 기술의 한계를 극복하여 정보 전송 대역폭과 품질을 획기적으로 증대시킬 수 있는 기술이다. 외국의 연구기관에서는 1999년 그 동안의 연구결과를 통해 PBG 구조를 마이크로 및 밀리미터파 이동통신 및 안테나 구조에 적용하여 효율적이고 효과적인 무선 통신 부품을 개발할 수 있다는 가능성을 발표했다. CPW 역시 임피던스 매칭이 까다롭고 열방출이 떨

\* 숭실대학교 정보통신공학과 (E-mail: railgun@hanmail.net)  
논문번호 : 010197-0725, 접수일자 : 2001년 7월 25일

어지는 문제가 있어서 MMIC분야에 국한적으로 적용되고 있으나 현재 Clip to Clip 공정<sup>[4]</sup>으로 많은 부분 해소된 상태이다. 또한 CPW를 이용할 경우 후면 접지공정이 불필요하여 이를 응용하는 시스템 설계에 용이하게 적용할 수 있다.

본 논문에서는 ADS로 CPW를 이용한 증폭기를 설계했으며 불연속의 해석을 위해 Microwave Office, HFSS를 이용하였다. 능동소자로 범용 FET인 ATF-26884를 사용하였으며 PBG를 증폭기 출력단에 적용하였다.

## II. 증폭기 설계 및 PBG특성

CPW 라인은 기판의 두께에 따라 비교적 안정된 입출력 특성을 갖고있지만<sup>[5]</sup> 기판의 양 그라운드 사이의 폭(2S+W)이 기판의 두께와 동일할 경우 Q값이 일반적으로 마이크로스트립 라인보다 적은 특성이 있다<sup>[6]</sup>. 그러므로 동일한 Q값을 얻기 위해서는 양 그라운드 사이의 폭을 충분히 선택하여 설계하는 것이 중요하다. 입출력의 일반적인 포트인 50Ω에 맞추기 위해 유전율 3.2 기판에 3mm의 폭과 0.2mm의 슬롯을 가지는 CPW 라인을 구현했다. 또한 CPW는 도파관의 특성을 가지기 때문에 결합이나 병렬 스타브를 동일평면상에 구현하면 모드의 불연속 특성이 발생하게 되므로 Air-Bridge를 구현하여 이러한 특성을 최소화 해주어야 한다<sup>[7-9]</sup>. 그림 1은 설계된 CPW를 이용한 증폭기와 PBG의 구조이다. 마이크로스트립 양옆으로 회색 처리된 부분이 그라운드 역할을 하게된다. 최대 증폭도를 위해 입력, 출력 복소임피던스 매칭과 더불어 PBG 입력과 증폭기 출력의 매칭이 병행되어야 한다. 우선 CPW를 이용한 증폭기를 설계한다. CPW 50Ω라인 및 L,C의 구현은 ADS 라이브러리 및 수식을 참고하였다. 증폭기 제작 후 출력에 발생하는 2, 3차 고조파를 측정하여 고조파를 억제하기 위한 PBG 격자 사이지를 결정한다. 결정된 격자 사이즈로 CPW상에 PBG격자를 설계합니다. Load-Pull 매칭을 이용하여 증폭기 출력측 임피던스와 PBG격자 입력임피던스를 복소매칭하여 연결한다. 이것은 증폭기 출력측에서 발생하는 고조파가 전체 IMD 및 효율에 가장 큰 영향을 미치기 때문이며 PBG격자를 증폭기 입력 및 증폭기 주위에 설계도 가능하다.

PBG의 설계는 광통신 소자에서 논의 되던 브래그 격자구조를 응용한 것으로 각 격자는 차단주파수의  $\lambda/4$  크기를 갖도록 설계되어진다. 하나의 격자

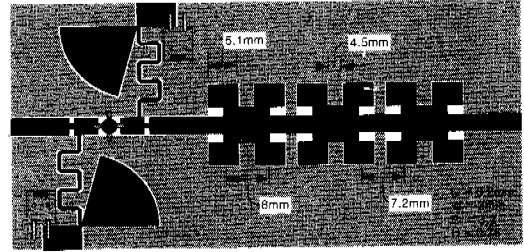


그림 1. CPW를 이용한 증폭기와 PBG 구조

크기는 차단하려고 주파수의(여기서는 2차 고조파에 해당하는 4GHz)  $\lambda/4$ 로 가로세로 크기를 결정한다. 3차 고조파를 동시에 제거하기 위해 3차 고조파에 해당하는 6GHz의  $\lambda/4$ 격자를 병렬로 연결한 것이 그림 1의 형태이다. 즉 2차고조파는 8mm격자로 3차고조파는 5.1mm 격자로 제거한다. 이것이 일반적인 대역통과 필터와 다른점은 L,C구조를 이용한 것이 아니라 파장의 반사를 이용하여 제거하므로 PBG라 한다. 다만 매칭회로를 잘못 설계하면 Fundamental 신호를 1~2dB 감소시키기 때문에 주의가 필요하다.

그림 2는 CPW 라인과 동일 평면에 구현한 PBG 반의 특성을 보여주고 있다. R-band에서 2차 고조파 대역인 3GHz 대역에서 -20dB의 감쇄효과를 보여주고 있으며 6GHz 대역에서는 -40dB의 우수한 고조파 차단효과를 나타낸다. PBG 격자의 크기를 조절함으로써 3차는 물론 5차 이상까지 광대역의 차단특성도 가능하다.

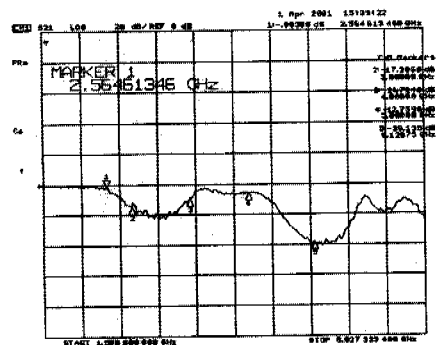


그림 2. CPW 평면에 구현한 PBG특성

증폭기는 General FET인 ATF-26884 사용하였다. R-band에서  $P_{1dB}$ 는 22dBm이고 이때 바이어스 전원은  $V_{ds}=3V$ ,  $I_{ds}=30mA$ 으로 열방출, 고조파특성이 발생하지 않는다면 최대 19.5dBm의 출력을 낼 수 있는 A급 바이어스를 선택했다. Push\_Pull 동작의

C급 증폭을 할경우 CPW 뿐만 아니라 Balun, Slot Waveguide의 추가 필요성 때문에 모드 불연속의 가능성에 세심한 주의가 필요하다<sup>[9]</sup>.

### III. 측정

출력 특성을 2-tone으로 측정하였다. 측정 단계는 첫째, 증폭기만의 출력 특성과 IMD를 측정후 동일 조건에서 PBG를 적용했을 때 나타나는 출력과 IMD 특성을 측정하였다. 둘째, 증폭기의 목표를 IMD 25dBc로 잡고 동일 IMD를 만족하는 증폭기만의 출력과 PBG를 적용했을 때 얻어지는 출력을 측정하였다. 이 두가지 측정으로 PBG를 CPW를 이용한 증폭기에 적용할 경우 얻을 수 있는 IMD 향상 및 고정된 IMD 상태에서 출력 향상을 도출함으로써 효율 극대화를 측정할 수 있었다.

그림 3은 CPW를 이용한 증폭기의 2-tone 결과이다. 2GHz 대역 주파수에서 1.25MHz 떨어진 2-tone을 입력으로 주었으며 이때 출력은 15.7dBm이고 IMD는 25dBc인 것을 확인할 수 있다. 효율은 35%이다.

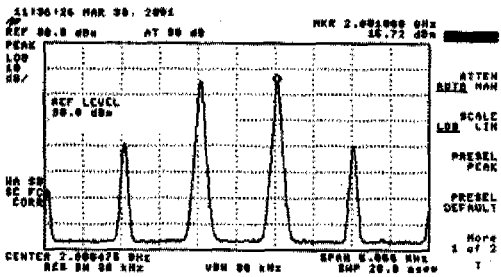


그림 3. CPW를 이용한 증폭기의 2-tone 측정결과

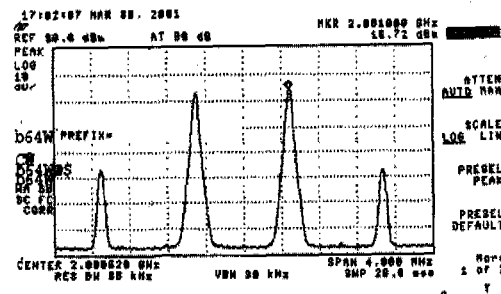


그림 4. PBG와 CPW를 이용한 증폭기 IMD 특성

그림 4는 PBG를 적용했을 때 IMD 특성이다. IMD가 4.5dB 향상된 것을 확인할 수 있는데 이력

한 결과는 PBG가 증폭기에서 발생하는 IMD3 2f<sub>1</sub>-f<sub>2</sub>, 2f<sub>2</sub>-f<sub>1</sub> 성분중 2f<sub>1</sub>, 2f<sub>2</sub>를 효과적으로 억제하기 때문이다.

그림 5는 동일 IMD에 PBG를 적용했을 때 출력 특성이다. IMD 25dBc에 대해서 출력은 17.4dBm으로 1.7dBm 향상되어 효율이 15% 향상된 것을 확인할 수 있다. 측정된 출력이 1W 미만의 측정결과지만 고출력 증폭기에 적용될 때 이보다 적은 수치의 효율 향상을 기대할 수 있다.

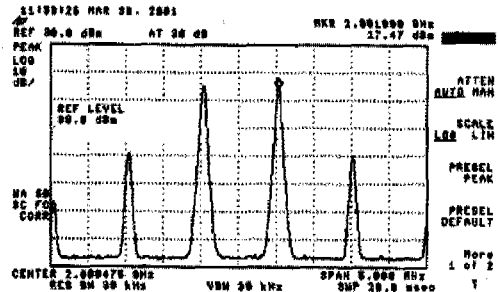


그림 5. 동일 IMD일 때 출력 특성

### IV. 결론

본 논문에서는 IMT-2000, 무선 LAN, PCS 대역인 R-band에서 CPW와 PBG를 이용한 증폭기를 제작 및 측정하였다. PBG 기술을 처음으로 CPW를 이용한 증폭기에 적용하여 출력 및 IMD를 측정하였다. 측정된 출력이 1W 미만의 측정 결과지만 고출력 증폭기에 적용될 때 적은 수치의 효율향상과 IMD 향상도 큰 장점으로 작용할 것으로 기대할 수 있다. 측정결과 CPW를 이용한 증폭기에 PBG 구조의 이용으로 동일 IMD에 대해 출력 1.7dB, 동일 출력에 대해 IMD 4.5dB 향상을 얻을 수 있었으며 15%이상의 효율향상을 얻을 수 있었다.

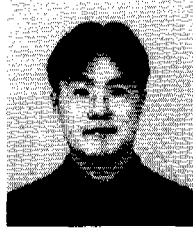
### 참고문헌

- [1] Vesna Radisic, Yongxi Qian, and Tatsuo Itoh, "Broad-Band Power Amplifier Using Dielectric Photonic Bandgap Structure," *IEEE Trans. MTT Guided wave letters*, Vol. 8, No. 1, Jan, 1998.
- [2] J.H.Yoon and Chulhun Seo, "Improvement of Broadband Feedforward Amplifier Using Photonic Bandgap," *IEEE Trans. MTT Guided wave letters*, To be published.

- [3] T.S.Kim and Chulhun Seo, "Novel Photonic Bandgap Structure for Lowpass Filter of Wide Stopband," *IEEE Trans. MTT Guided wave letters*, vol.10, no.1, pp.13-15, Jan. 2000.
- [4] Qiming Ren, Yingjie Gao, and Ingo Wolff, "A L-Band High Efficiency Power Amplifier in CPW Techniques," *Asia Pacific Microwave Conference*, Vol. 3, pp. 1109-1112, Jan. 1997.
- [5] Jeffrey B. Knorr, and Klaus-Dieter Kuchler, "Analysis of Coupled Solts and Coplanar Strips on Dielectric Substrate," *IEEE Trans. MTT Guided wave letters*, Vol. 23, No. 7, July, 1975.
- [6] A. Gopinath. "A Comparison of Coplanar Waveguide and Microstrip for GaAs Monolithic Integrated Circuits." *IEEE Trans. MTT-S International Microwave Symposium Digest*. pp. 109-110, Jan. 1979.
- [7] N. I. Dib, and P. B. Katehi, "Analysis of Shielded CPW Discontinuities with Air-Bridges," *IEEE Trans. MTT-S International Microwave Symposium Digest*. pp. 469-472, Feb. 1991.
- [8] Hang. Jin, and Ruediger Vahdieck, "Calculation of Frequency-Dependent S-Parameter of CPW Air-Bridges Considering Finite Metallization Thickness and Conductivity," *IEEE Trans. MTT-S International Microwave Symposium Digest*. pp. 207-210, Jan. 1992.
- [9] Pang-Cheng Hsu, Cam Nguyen, and Mark Kintis, "Uniplanar Broad-Band Push-Pull FET Amplifiers," *IEEE Trans. MTT*, Vol. 45, No. 12, pp.2150-2152, Dec, 1975.

윤진호(Jinho Yoon)

정회원



2000년 2월 : 숭실대학교  
정보통신공학과 졸업  
(학사)

2000년 3월~현재 : 숭실대학교  
정보통신공학과  
석사과정 재학중

<주관심 분야> RF 및 마이크로웨이브 대역 전력증  
폭기설계, RF 회로설계, RFIC 회로설계.

서철현(Chul-hun Seo)

정회원

한국통신학회논문지 Vol. 23, No. 1 참고