

論文2002-39TC-11-5

# 다층 포토닉 밴드갭 구조를 이용한 소형의 광대역 저지 여파기 설계

## (Design of a Compact and Wide Bandstop Filter using a Multilayered Photonic Bandgap Structure)

徐在玉\*\*\*, 朴盛大\*\*, 金鎮良\*, 李海英\*

(Jae-Ok Seo, Seong-Dae Park, Jin-Yang Kim, and Hai-Young Lee)

### 요약

본 논문에서는 마이크로스트립 전송선로의 유전체 기판(substrate) 내에 삽입된 EGP(Elevated Ground Plane)와 비아를 이용하는 소형의 새로운 포토닉 밴드갭(PBG : Photonic Bandgap) 구조를 제안하였고, 세라믹 기판에 적용된 최적구조를 설계하였다. 해석 결과, 제안된 새로운 PBG 구조는 기존의 평면 PBG 구조에 비해서 크기가 52.5 % 축소되었고 대역폭은 45 % 증가하였다. 그리고 접지면 식각 다층 PBG 구조에 비해서는 크기가 32 % 감소하였고 침예도(sharpness)가 향상되었으며 차단주파수 이상에서 40 GHz 까지 전력손실이 8 dB 이상 개선되었다. 따라서 본 논문에서 제안된 PBG 구조는 대역 저지 또는 저역통과 여파기로 사용할 수 있으며, 이러한 여파기 특성은 경박 단소화된 마이크로파 대역 집적회로나 모듈 개발에 효과적으로 활용될 수 있으리라 기대된다.

### Abstract

In this paper, we proposed novel photonic bandgap(PBG) structure using EGP(Elevated Ground Plane) and via in ceramic substrate of microstrip line. From analysis result, the proposed PBG structure is reduced 52.5% at size and increased 45 % at bandwidth compared to typical planar PBG structure. It is also reduced 32 % at size and improved more than 8 dB at power loss compared to typical multilayer DGS(Defected Ground Structure). The proposed PBG structure also can be used bandstop and lowpass filter and it will be useful for small microwave integrated circuit and module development.

**Keywords** : PBG(Photonic Bandgap), Bandstop, LTCC, 밀리미터파, 필터

### I. 서론

최근에 주목을 받고 있는 분야 중의 하나인 포토닉

밴드갭(PBG: Photonic Bandgap) 구조는 광학 분야에서 처음으로 연구가 시작되었으나<sup>[1]</sup>, 최근에는 마이크로파 및 밀리미터파 응용등 활용분야가 확대되고 있다<sup>[2-3]</sup>. 최근에는 이러한 PBG 구조를 사용하여 고효율 안테나 및 전력증폭기, 여파기등을 구현한 다양한 연구 결과들이 보고되어 지고 있다<sup>[4-7]</sup>.

\* 正會員, \*\*\* 學生會員, 亞洲大學校 電子工學部  
(Department of Electronics Engineering, Ajou University)

\*\* 正會員, 電子部品研究院 高周波材料研究센터  
(High Frequency Material Research Center, Korea Electronics Technology Institute(KETI))

接受日字:2002年8月16日, 수정완료일:2002年10月14日

최근에 대역저지 여파기로 제안된 PBG 구조는 신호선의 파동 임피던스를 주기적으로 변화시킨 구조, 유전체 기판에 구멍을 뚫어서 결합모드가 생성되도록 한 구

조, 접지면 식각을 통한 마이크로 스트립 구조들이 제안되었다<sup>[8-10]</sup>. 그러나 지금까지 제안된 이러한 PBG 구조들은 광대역 특성을 얻거나 실장(packaging)시에 많은 단점을 지니고 있다. 첫째, 신호선의 파동 임피던스를 주기적으로 변화시킨 1차원 구조는 20 dB이상의 저지대역 특성을 얻기 위하여 5차 이상의 셀수로 구현되어야 하기 때문에 크기가 커지는 문제점과 함께 광대역화의 어려움이 있다<sup>[9]</sup>. 둘째, 접지면 식각을 통해 구현된 PBG 구조는 기구에 삽입될 경우 기구의 접지면 형성으로 인하여 실장시 접지면 식각의 효과가 유용하지 못하기 때문에 이러한 효과를 고려한 기구 설계가 필요한 단점이 있다. 마지막으로 지금까지 제안된 일반적인 PBG 구조들은 설계 주파수에 따라 주기가 결정되면서 큰 크기로 구현되며, 광대역을 위하여 다른 주기의 PBG 구조들을 중첩시키는 경우에도 크기가 커지는 단점이 있다<sup>[11-13]</sup>. 따라서 이러한 단점들을 극복하기 위하여 PBG 단위 셀의 크기를 줄이는 동시에 각각의 PBG 단위 셀사이의 격자상수(lattice constant) 거리를 줄여야 한다.

본 논문에서는 지금까지 제시된 PBG 구조들의 단점을 해결하기 위해 LTCC 공정을 이용하여 쉽게 구현할 수 있는 새로운 PBG 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 PBG 셀을 기판에 삽입함으로써 접지면 식각을 통해 구현된 PBG 구조에서 발생하는 패키징 및 열문제에 효과적이며, 단위 PBG 셀간의 격자상수 길이를 줄임으로써 광대역의 저지대역 여파기를 구현할 수 있는 장점이 있다<sup>[14]</sup>. 이러한 제안된 구조의 전자기적인 해석을 위하여 완전 수치 해석법(full-wave analysis)인 유한요소법을 이용하여 1~40 GHz까지 해석하였다. 다층 PBG 구조를 사용한 해석 결과, 기존의 평면 PBG 구조에 비해서 크기가 52.5 % 축소되면서 동시에 대역폭은 45 % 증가(fig. 3(a)=13.35 GHz~28.88 GHz, fig. 3(b)=14.49 GHz~36.88 GHz)하였다. 또한 기존에 제안된 접지면 식각 다층 PBG 구조에 비하여 본 논문에서 제안된 PBG 구조는 대역폭 향상과 동시에 30 GHz 이상의 차단주파수에서 전력손실이 8 dB 이상 개선되었다. 따라서 넓은 저지대역 특성을 이용한 PBG 구조는 대역저지 또는 저역통과 여파기로 사용할 수 있으며, 이러한 여파기 특성은 마이크로파 대역 집적회로나 모듈 개발에 효과적으로 활용될 수 있으리라 기대된다.

## II. 구조 및 해석 방법

### 1. 해석 구조 및 방법

#### (1) PBG 구조의 단위 셀에 대한 구조

<그림 1>은 0.4 mm 두께의 세라믹 기판 ( $\epsilon_r=7.8, \tan\delta=0.005$ )에 비아와 EGP(Elevated Ground Plane)를 삽입하여 향상된 저지대역 특성을 얻기 위해 마이크로 스트립 선로에 구현된 PBG 구조를 나타내고 있다. <그림 1>에서 50  $\Omega$  선폭을 고려하여 마이크로 스트립 신호선의 선폭(Ws)을 0.58 mm로 설계하였으며, 신호선과 EGP의 간격(hEMS)을 0.05 mm로 설정하였다. EGP의 두께와 비아(via)의 직경은 각각 0.013 mm, 0.017 mm이며, EGP의 폭과 길이는 각각 0.58 mm, 0.5 mm로 설계하였다.

<그림 2>는 <그림 1>의 단위 셀을 주기적으로 배열한 것이다. <그림 2>의 구조에서 단위 셀간의 격자상수 거리에 따라서 대역저지 특성의 높은 차단주파수가 변하기 때문에 셀간의 격자 상수(a)를 줄임으로써 소형의 광대역 저지 필터를 구현하기 위한 해석 구조이다<sup>[14]</sup>.

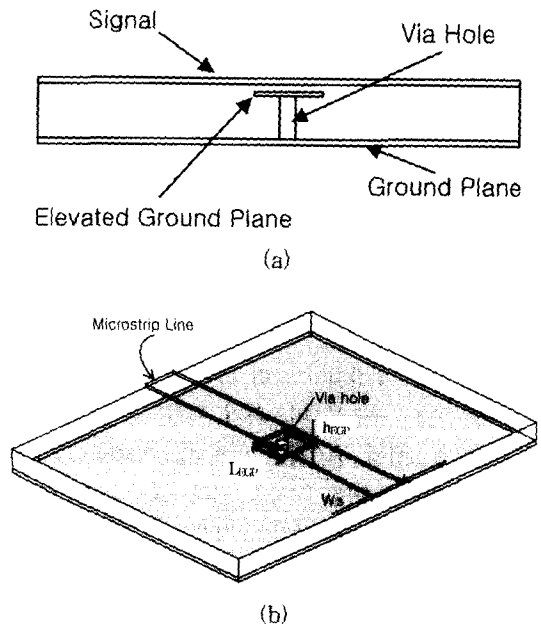


그림 1. 소형의 PBG 단위 셀 구조: (a) 측면도; (b) 3차원 구조

Fig. 1. Compact PBG unit cell structure: (a) side view; (b) 3-dimensional structure.

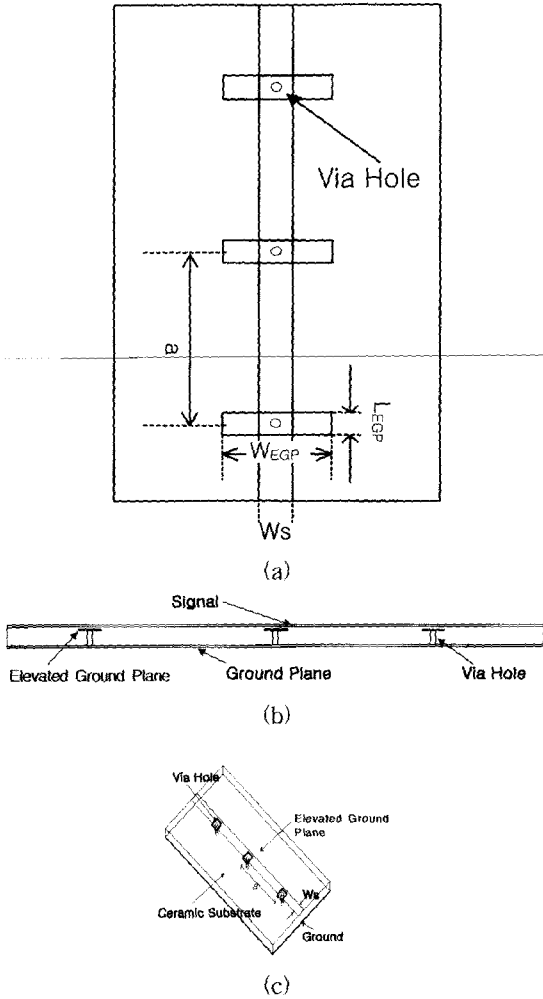


그림 2. 소형의 PBG 셀로 구성된 제안된 PBG 구조; (a) 평면도; (b) 측면도; (c) 3차원 구조  
 Fig. 2. (a) The proposed PBG structure for compact PBG cells; (a) Top view; (b) Side view; (c) 3-dimensional structure.

<그림 3>은 일반적인 평면 PBG 구조와 제안된 소형의 다층 PBG 구조를 비교하기 위한 구조이다. <그림 3(a)>는 신호선에 주기적인 임피던스 변화를 형성하여 나타낸 일반적인 PBG 구조를 나타내고 <그림 3(b)>는 <그림 2>의 구조에서 셀간의 격자상수 길이에 따른 대역폭의 변화를 해석한 후의 소형의 다층 PBG 구조를 나타낸다. <그림 4(b)>는 <그림 4(a)>보다 2.4배 길며 기판을 포함한 물질 값들은 동일한 조건을 이용하여 설계하였다.

<그림 4>는 기존의 접지면 식각 다층 PBG 다층 구조와 본 논문에서 제안된 소형의 광대역 여파기를 위한 PBG

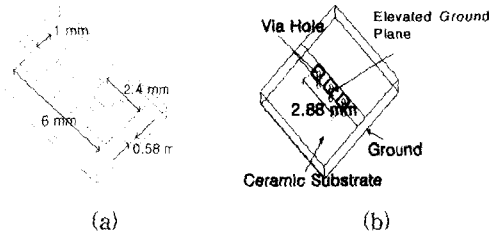


그림 3. (a) 일반적인 평면 PBG 구조; (b) 제안된 소형의 다층 PBG 구조  
 Fig. 3. conventional planar PBG structure and the compact multilayered PBG structure; (a) conventional planar PBG structure; (b) The proposed compact multilayered PBG structure.

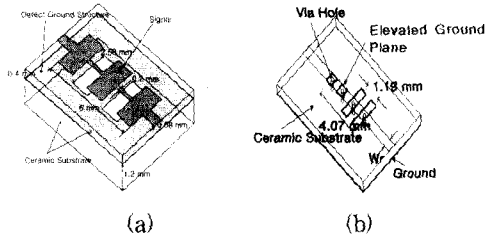


그림 4. 기존의 접지면 식각 다층 PBG 구조와 본 논문에서 제안된 소형의 광대역 PBG 구조; (a) 기존에 제안된 다층 PBG 구조; (b) 본 논문에서 제안된 소형의 광대역 여파기를 위한 PBG 구조  
 Fig. 4. The typical multilayered PBG structure and proposed new PBG structure; (a) The typical multilayered PBG structure; (b) The proposed PBG structure for compact and wide bandstop filter in this paper.

구조를 나타낸 그림이다. <그림 4(a)>는 신호선의 임피던스 변화와 함께 접지면 식각을 통해 임피던스의 변화를 증가시킴으로써 대역을 넓히고자하는 구조이다<sup>[11]</sup>. <그림 4(b)>는 EGP의 넓이가 각각 다른 두개의 PBG 구조를 중첩시킴으로써 여파기의 광대역 특성을 얻기 위해 본 논문에서 제안된 구조이다. <그림 4(a)>와 <그림 4(b)>의 비교를 위하여 기판을 포함한 물질 값들은 동일한 조건을 이용하여 설계하였다.

### III. 해석 결과

#### 1. 해석 결과

<그림 5>는 <그림 1>의 단일 PBG 셀에서 EGP의

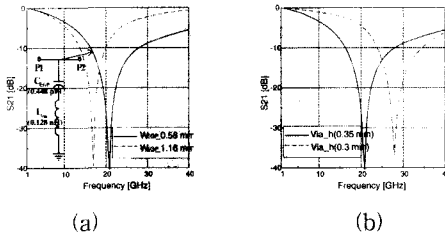


그림 5. 그림 1의 단일 PBG 셀에서 EGP의 폭 (WEMS)과 비아 높이(hv)의 변화에 따른 S-파라미터; (a-b) 삽입손실  
 Fig. 5. S-parameter according to variation of inserted metal sheet width(WEMS) and via height(hv) of unit PBG cell(fig. 1); (a-b) Insertion loss.

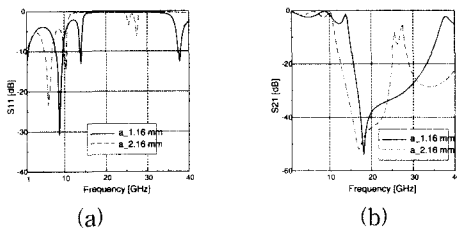


그림 6. PBG 구조에서 격자상수 길이의 변화에 따른 S-파라미터; (a) 반사손실; (b) 삽입손실  
 Fig. 6. S-parameter for lattice constant length variation in PBG structure(fig. 2); (a) Return loss; (b) Insertion loss.

폭과 비아 높이의 변화에 따른 해석 결과를 나타낸 것이다. <그림 5>에서 살펴보면, 단일 PBG 구조에서 EGP의 크기와 비아 경로 혹은 높이를 조절함으로써 공진 주파수를 결정할 수 있음을 보여준다.

<그림 6>은 <그림 2>의 구조에서 PBG 셀사이의 격자상수 길이 변화에 따른 대역폭의 변화를 해석한 결과이다. 본 논문에서 제안된 하나의 셀이 LC 공진 특성을 나타내는 PBG 구조는 낮은 차단주파수가  $1/\sqrt{LC}$ 에 의해 결정되기 때문에 셀 사이의 거리를 변화시키더라도 낮은 차단 주파수는 변화가 없으며, 높은 차단 주파수는 셀 사이의 격자 상수(a)에 의해  $v_p/2a$ 로 결정되기 때문에 셀 사이의 격자 상수 거리를 줄일 경우 차단 주파수가 높은 주파수로 이동함으로써 대역폭이 넓어진다<sup>[14]</sup>. 여기서  $v_p$ 는 위상속도이다. <그림 6>을 살펴보면, 10 GHz 근처의 낮은 차단 주파수는 가까워진 셀간의 거리로 인하여 오른쪽으로 약간 이동하였으나 대역폭은 격자상수의 거리가 1.16 mm인 경우 2.16 mm일때보다 대

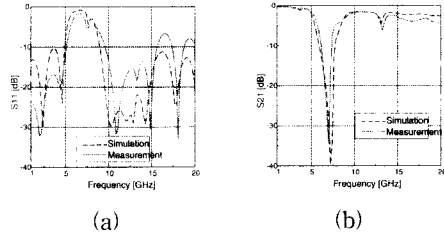


그림 7. 제안된 PBG 단위 셀을 저주파에서 검증하기 위한 PBG 구조의 해석 및 측정 결과; (a) 반사손실; (b) 삽입손실;  
 Fig. 7. (a) Analysis & measurement result of the PBG structure to verify proposed PBG unit cell at low frequency; (a) Return loss; (b) Insertion loss.

역폭이 증가되는 것을 확인할 수 있다.

<그림 7>은 제안된 PBG 단위 셀을 저주파에서 검증하기 위해 크기를 확대하여 제작 측정, 해석한 결과를 나타낸 것이다. 제작 측정한 결과, 해석한 결과와 같은 대역 저지 특성을 확인하였다.

2. 결과 비교 및 고찰

지금까지 제안된 PBG 구조들은 설계 주파수에 의해서 주기가 결정되기 때문에 작은 크기로 우수한 차단 특성을 지닌 대역저지 여파기를 구현하기가 어렵다. 그러나 본 논문에서 제안된 PBG 구조는 PBG 셀 사이의 격자상수를 줄임으로써 훨씬 작은 크기의 광대역 저지 여파기를 구현할 수 있다.

<그림 8>은 <그림 3>에서 일반적인 평면형 PBG 구조와 본 논문에서 제안된 PBG 구조의 해석 결과를 비교한 것이다. 해석 결과, 본 논문에서 제안된 구조는 기

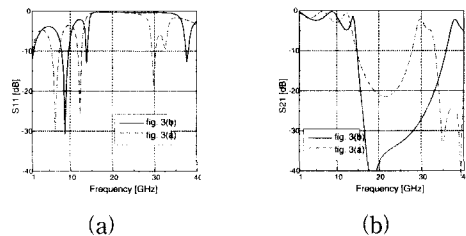


그림 8. 일반적인 평면형 PBG 구조(fig. 3(a))와 본 논문에서 제안된 PBG 구조(fig. 3(b))의 해석 결과 비교; (a)반사손실; (b)삽입손실  
 Fig. 8. Analysis result comparison of conventional planar PBG structure(fig. 3(a)) and the proposed PBG structure(fig. 3(b)); (a)Return loss; (b)Insertion loss.

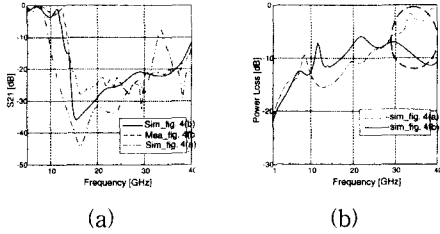


그림 9. 기존에 제안된 다층 PBG 구조 구조(fig. 4(a))와 넓은 저지 대역을 형성하기 위하여 제안된 PBG 구조(fig. 4(b))의 해석 결과; (a)삽입손실; (b)전력손실

Fig. 9. Simulation and measurement results of the typical multilayered PBG structure(fig. 4(a)) and the proposed 3-dimensional structure for wide bandstop(fig. 4(b)); (a)Insertion loss; (b)Power loss.

존의 일반적인 평면 PBG 구조보다 대역폭이 45 % 증가하였으며, 크기면에서는 52.5 % 감소하였다. 또한 저지 대역 여파기의 차단 특성또한 평면형 구조보다 크게 개선된 것을 <그림 8>을 통하여 확인할 수 있다.

<그림 9>는 기존에 제안된 접지면 식각 다층 PBG 구조와 본 논문에서 넓은 저지대역을 형성하기 한 소형의 PBG 구조에 대한 해석 및 측정결과를 나타낸다. 측정 결과, 본 논문에서 제안된 PBG 구조가 기존의 구조에 비하여 30 GHz 이상에서도 우수한 저지대역 특성을 보여주고 있다. 특히 <그림 9(c)>를 살펴보면, 기존의 PBG 구조는 차단 주파수 이상에서 본 논문에서 제시한 구조보다 전력손실이 5 dB 이상 나빠지는 것을 확인할 수 있다. 또한 크기면에서 본 논문에서 제안한 구조는 기존의 구조에 비하여 32 % 감소하였다. 따라서 지금까지의 비교 결과로부터 본 논문에서 제안된 LTCC 공정을 이용한 다층 PBG 구조가 크기 축소와 성능 향상면에 있어서 큰 장점을 지닌 것을 확인할 수 있다.

### III. 결 론

본 논문에서는 LTCC 공정을 이용하여 쉽게 구현할 수 있는 소형의 광대역 PBG구조를 제안하였고, 저지대역이 다른 두개의 PBG 구조를 직렬로 연결하여 넓은 저지 대역을 형성하는 대역 저지 여파기를 설계하였다. 기존에 제안된 PBG 구조들이 주파수에 따라서 주기가 결정되면서 큰 크기로 구현되는 반면, 본 논문에서 제안된 PBG 구조는 단일 셀에서 병렬 커패시턴스와 인덕턴



그림 10. 제작된 그림 4(b)의 실물 사진  
Fig. 10. Fabricated picture of fig. 4(b).

스에 따라 차단 주파수를 결정하고 단위 PBG 셀간의 격자상수 길이를 줄임으로써 기존의 평면 PBG 구조에 비해서 크기가 52.5 % 축소되었고 대역폭은 45 % 증가하였다. 또한 서로 다른 주기를 가지는 PBG 구조를 중첩시킴으로써 기존에 제안된 다층 PBG 구조에 비하여 크기면에서 32 % 감소하였으며 차단 주파수 이상에서 전력손실을 8 dB 이상 향상시켰다. 넓은 대역폭과 함께 훨씬 작은 크기의 대역 저지 여파기를 구현할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안된 PBG 구조는 마이크로파 대역 집적회로나 모듈 개발에 효과적으로 활용될 수 있으리라 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] E. Yablanovich, "Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics," Phys. Rev. Lett., vol. 58, No. 20, pp. 2059~2062, May, 1987.
- [2] T. J. Ellis and G. M. Rebeiz, "MM-wave tapered slot antennas on micromashed photonic bandgap dielectrics," IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp. 1157~1160, June 1996.
- [3] M. P. Kesler, J. G. Maloney, and B. L. Shirley, "Antenna design with the use of photonic bandgap material as all dielectric planar reflectors," Microw. Opt. Tech. Lett., vol. 11, No. 4, pp. 169~174, Mar. 1996.
- [4] V. Radisic, Y. Qian, and T. Itoh, "Broadband power amplifier using dielectric photonic bandgap structure," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 8, No. 4, pp. 13~14, Jan. 1998.
- [5] Jinho Yoon, and Chulhun Seo, "Improvement of Broadband Feedforward Amplifier Using Photonic Bandgap," IEEE Microwave and Wireless Components Lett., vol. 11, No. 11, pp.

- 450~452, Nov. 2001.
- [6] Yasushi Horri and Makoto Tsutsumi, "Harmonic Control by Photonic Bandgap on Microstrip Patch Antenna," *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 9, No. 1, pp. 13~15, Jan. 1999.
  - [7] F. R. Yang, K. P. Ma, Y. Qian, and T. Itoh, "A Uniplanar Compact Photonic-Bandgap(UC-PBG) Structure and Its Applications for Microwave Circuits," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 47, No. 8, pp. 1509~1514, Aug. 1999.
  - [8] B. Lenoir, D. Baillargeat, S. Verdeyme, and P. Guillon, "Finite Element Method for Rigorous Design of Microwave Devices using Photonic Band Gap Structure," *IEEE MTT-S Dig.* vol. 2, pp. 1061~1064, June. 1998.
  - [9] T. Y. Yun, K. Chang, "Uniplanar One-Dimensional Photonic-Bandgap Structures and Resonators," *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, No. 3, pp. 549~553, Mar. 2001.
  - [10] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli, T. Itoh, "Novel 2-D Photonic Bandgap Structure for Microstrip Lines," *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 8, No. 2, pp. 69~71, Feb. 1998.
  - [11] L. Zhu, H. Bu, K. Wu, "Unified CAD Model of Microstrip Line with Backside Aperture for Multilayer Integrated Circuit," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 981~984, June 2000.
  - [12] I. Rumsey, M. Piket-May, P. Keith Kelly, "Photonic Bandgap Structures Used as Filters in Microstrip Circuits," *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 8, No. 10, pp. 336~338, Oct. 1998.
  - [13] T. Kim, C. Seo, "A Novel Photonic Bandgap Structure for Low-Pass Filter of Wide Stopband," *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol. 10, pp. 13~15, Jan. 2000.
  - [14] D. F. Sievenpiper, E. Yablonovitch, J. N. Winn, S. Fan, P. R. Villeneuve, and J. D. Joannopoulos, "3D Metallo-Dielectric Photonic Crystals with Strong Capacitive Coupling between Metallic Islands," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 80, No. 13, pp. 2829~2832, March, 1998.

저 자 소 개



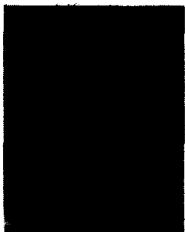
徐在玉(學生會員)

2001년 : 호남대학교 전파공학과 졸업(공학사). 2001년~현재 : 아주대학교 전자공학부 대학원 석사과정 재학. <주관심분야 : 밀리미터파대역 패키지 및 HMIC 설계, 밀리미터파대역 패키징 기법, LTCC 기술을 이용한 RF 모듈 설계, RF 수동 및 능동소자 설계>



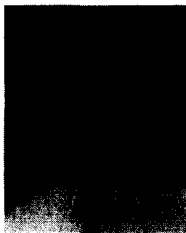
金鎭良(正會員)

1999년 : 아주대학교 전자공학부 졸업(공학사). 2001년 : 아주대학교 전자공학부 대학원 졸업(공학석사). 2001년~현재 : 아주대학교 전자공학부 대학원 박사과정 재학. <주관심분야 : 밀리미터파용 수동소자의 최적화 기법, 밀리미터파 회로 모듈링 및 패키징 기법, MEMS 패키지 설계>



朴盛大(正會員)

1993년 : 서울대학교 무기재료공학과 졸업(공학사). 1995년 : 서울대학교 대학원 무기재료공학과 졸업(공학석사). 1995년~1997년 9월 : 쌍용중앙연구소 연구원. 1997년 10월~2000년 : 대우전자(고등기술연구원) 주임연구원. 2001년~현재 : 전자부품연구원 전임연구원. <주관심분야 : LTCC를 이용한 밀리미터파 모듈 제조 공정 기술, 후막 미세라인 재료 기술 및 RF 모듈 제조 공정 기술>



李海英(正會員)

1980년 : 아주대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1980년~1982년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1987년~1989년 : Dept. of E.E Univ. of Texas at Austin(공학박사). 1990년~1992년 : 금성중앙연구소(현 LG 전자기술원) 책임연구원. 1992년~현재 : 아주대학교 전자공학부 교수. <주관심분야 : 밀리미터파 회로 모듈링 및 MEMS 패키징 기법, RFIC 및 MMIC 최적 설계, EMI/EMC를 고려한 초고속 PCB설계 기법>