

포토닉 밴드갭 구조를 이용한 두껍고 큰 유전상수 패치 안테나의 성능 향상

기철식(奇喆植)^{0*}, 박익모(朴益模)^{*}, 이정일(李精一)^{**}, 임한조(林漢祚)^{*}

^{*}아주대학교 분자과학기술학과 및 전자공학부, 경기도 수원시 팔달구 원천동 산5

^{**}한국과학기술연구원 광전자연구실 131호, 서울시 성북구 하월곡동 39-1

Improvement of Performance of Thick High Dielectric Patch Antennas Using Photonic Bandgap Structures

Chul-Sik Kee^{*}, Ikmo Park^{*}, Jung Il Lee^{**}, and Hanjo Lim^{*}

^{*}Department of Molecular Science & Technology and School of Electronic Engineering

Ajou University Suwon 442-749, Korea

^{**}Photonic Research Center, KIST, SungBukku, Seoul, 136-791, Korea

Abstract

This paper presents that photonic bandgap structures suppressing the propagation of surface waves can improve the performance of the patch antennas on thick high dielectric constant substrate. The forbidden propagation of surface wave due to the photonic bandgap enhances the radiation efficiency and reduce the back radiation drastically with maintaining the small size and wide bandwidth of the antennas.

I. 서론

두껍고 큰 유전상수를 갖는 기판 위에 제작된 패치 안테나 (patch antenna)는 그 작은 크기와 넓은 밴드폭으로 인해 마이크로파 집적회로 (microwave integrated circuit)에 직접 응용될 수 있고 주변 소자와 연결이 용이해 개인통신단말기부터 위성통신장비까지 넓은 응용가능성을 가지고 있다. 하지만 그 응

용에 있어 걸림돌이 되고 있는 것은 표면파 발생으로 인한 복사효율의 저하이다. 일반적으로 패치 안테나에서 복사되는 전자기파의 일부는 공기 층으로 나가지 못하고 표면파 (surface wave)의 형태로 기판과 공기의 계면을 따라 전파된다. 기판이 유한한 크기를 갖기 때문에 계면을 따라 전파되던 표면파는 기판 언저리에서 회절/산란되어 공기 층으로 복사되므로 패치에서 복사된 전자기파와 간섭하게 된다. 그

래서 표면파의 기판 언저리에서 회절/산란은 복사패턴 (radiation pattern)에 간섭무늬 (ripples)를 만들고 뒷 방향 복사 (backward radiation)를 증가시켜 복사 효율 (radiation efficiency)을 낮아지게 한다. 표면파로 인한 패치 안테나의 성능저하는 기판의 유전상수가 크고 두께가 두꺼울수록 잘 나타나 효과적으로 표면파의 전파를 억제할 수 있는 방법의 개발은 작은 기판 크기와 넓은 밴드폭을 갖는 두껍고 큰 유전상수의 패치 안테나의 응용에 있어 매우 중요하다.

최근 전자기파의 전파를 효과적으로 제어할 수 있는 새로운 방법, 소위 포토닉 밴드갭^[1] (photonic bandgap (PBG))을 이용한 전자기파의 제어가 마이크로파에서 큰 관심의 대상이 되고 있다^[2]. PBG는 전자기파의 전파가 허용되지 않는 특정 주파수 영역을 뜻한다. 이러한 주파수 영역은 특성 임피던스가 일정한 주기로 반복하여 바뀌는 구조에서 형성되며 그 폭은 반복되는 임피던스간의 비에 비례하고 대략 반주기에 해당하는 주파수 근처에 위치한다^[3,4]. 사실 PBG는 가시광 영역에서 제안된 것이지만 PBG특성은 모든 전자기파에 적용되므로 마이크로파 소자의 성능 향상에도 매우 유용하다. 이미 PBG 구조를 이용해 안테나의 전력 이득 향상과 복사형태 개선^[5,6], 고차 harmonic 주파수제거를 통한 전력 증폭기^[7], 낮은 손실을 갖는 slow-wave 마이크로스트립 구조^[8], 분할기^[9] 등이 제안되고 있으며 PBG 구조를 응용한 새로운 마이크로 및 밀리미터파 소자의 개발도 기대되고 있다. 하지만 PBG를 형성하기 위해서는 일정한 주기가 적어도 6 혹은 7번은 반복되어야 되기 때문에 마이크로파영역에서의 PBG 구조를 이용한 소자의 크기는 기존의 마이크로파 소자에 비해 매우 크다. 최근 이러한 PBG 크기문제를 다소 해결한 새로운 PBG 구조가 제안되었는데 이 구조는 주기에 해당하는 주파수보다 훨씬 낮은 주파수 영역에서 표면파의 전파를 저지하는 주파수 대역 (surface-wave band gap)을 갖는다^[10]. 이 특성은 그 구조가 표면파저지대역에서 큰 특성 임피던스를 가지기 때문이다. 그래서 이 구조를 소위 큰 임피던스 전자기적 표

면 (high impedance electromagnetic surface (HIES))이라 부른다^[10]. 그러므로 HIES은 큰 유전상수를 갖는 두꺼운 기판 위에 제작된 패치 안테나의 장점 (작은 크기와 넓은 밴드폭)을 그대로 유지하면서 표면파발생으로 인한 단점 (낮은 복사효율 과 좋지 않은 복사패턴)을 개선하는데 매우 유용할 수 있다. 본 논문에서는 같은 크기의 얇은 기판과 두꺼운 기판 그리고 HIES로 둘러싸인 두꺼운 기판의 패치 안테나의 반사계수와 복사패턴들을 실험적으로 측정 비교하여 HIES가 두꺼운 기판의 패치 안테나의 복사패턴과 복사효율을 획기적으로 개선할 수 있음을 보였다.

II. 안테나 구조 및 제작

그림 1은 HIES를 갖는 두꺼운 기판의 패치 안테나를 보여준다.HIES는 그림에서 보듯이 정사각형 금

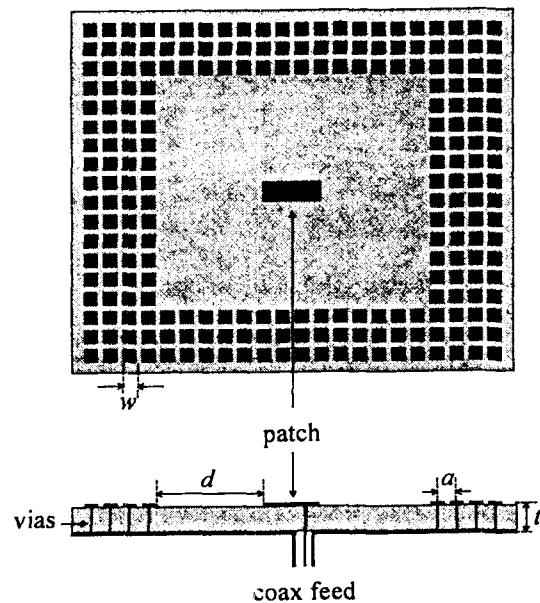


그림 1. 큰 임피던스 전자기적 표면으로 둘러싸인 고 유전상수 기판위에 제작된 패치 안테나의 개략도.

Fig. 1. Schematics view of patch antenna surrounded by high-impedance electromagnetic surface on thick high dielectric substrate.

속 패치의 2차원 배열로 접지평면과 금속막대 (vias) 로 연결되어 있다. HIES는 그 배열의 주기에 비해 훨씬 긴 파장의 표면파의 진파를 저지하므로 짧은 주기를 갖는 배열로 낮은 주파수대역의 표면파 전파를 저지할 수 있어 기판의 크기변화 없이 패치 주위에 HIES를 실현할 수 있다. HIES의 표면파저지대역의 중심 주파수 ω_{center} 는 금속 패치의 주기 패치 사이의 간격에 비해 매우 큰 경우 대략 아래의 식으로 주어진다^[10].

$$\omega_{center} = \frac{c}{\sqrt{1+\epsilon}} \sqrt{\frac{\pi}{wt \cosh^{-1}[a/(a-w)]}}, \quad (1)$$

여기서 c 는 전자기파의 진공속도, ϵ 는 기판의 전상수, w 는 금속패치의 폭, t 는 기판의 두께, 그리고 a 는 2차원 배열의 주기이다. HIES와 복사패치간의 거리 d 는 안테나의 고유복사주파수에 영향을 줄 수 있다. HIES가 복사패치에 너무 가까우면 공진 볼륨 (cavity volume)이 작아져 고유복사주파수가 증가한다. 그러므로 고유복사주파수의 영향을 주지 않는 최소한의 거리는 실제 제작에 앞서 수치적 계산을 통해 반드시 구해져야한다.

먼저 큰 유전상수 안테나 특성에 있어 두께에 따른 표면파의 효과를 보기 위해 유전상수가 10.2 인 RT/Duroid 6010 기판으로 1.27 mm와 2.54 mm의 두께를 갖는 패치 안테나를 제작하였다. 안테나 고유복사주파수는 모두 5.8 GHz주위에서 50 Ohm 매칭이 잘 되도록 복사패치의 크기를 정했고 기판의 크기는 모두 52 mm x 52 mm이다. 이 기판의 각 면의 길이는 대략 고유복사주파수의 진공중의 파장에 해당한다. 일반적으로 기판의 두께가 두꺼울수록 표면파의 효과가 크게 나타나므로 두께가 2.54 mm인 안테나의 특성에 있어 HIES에 의한 표면파저지효과를 살펴보았다. 고유복사주파수 5.8 GHz 주위의 표면파저지대역을 가지는 HIES의 디자인 변수는 $a=3$ mm, $w=2.5$ mm, 이고 각 패치 중심은 구멍을 뚫어 구리선으로 접지평면과 연결하였다. 고유복사주파수

의 변화가 거의 없는 최소한의 복사패치와 HIES간의 거리는 FDTD 계산을 통해 대략 10 mm 임을 알았다. 그래서 52 mm x 52 mm 크기의 기판에는 4 주기를 갖는 HIES가 복사패치 주위에 만들어질 수 있다.

III. 측정결과

그림 2는 동축 케이블로 급전된 각 안테나의 반사계수 (return loss)의 측정결과이다. 1.27 mm 두께의 안테나의 밴드폭은 1.07 %로 좁은 반면 두께를 두 배로 2.54 mm의 안테나는 밴드폭은 3.93 %로 얇은 기판에 비해 4 배정도 넓다. 이것은 두께의 증가로 인해 전자기파의 에너지가 기판 안에 좀더 많은 갇혀 (trapped) 있기 때문이다. 하지만 이 갇힌 에너지는 표면파와 손실파 (leaky wave)형태로 기판 내에서 전파되어 안테나 특성을 저하시킨다. HIES로 둘러싸인 안테나의 밴드폭은 3.03 %로 두꺼운 기판의 안테나의 밴드폭과 비슷하다. 이 결과는 복사패치로부터 적절히 떨어진 HIES는 안테나의 고유복사주파수와 밴드폭에 거의 영향을 주지 않는 것을 보여준다. 그리고 HIES로 인해 두꺼운 기판 안테나의 고유복사주파수에서의 반사계수가 -20 dB에서 -35 dB까지 감소하므로 HIES가 두꺼운 기판안테나의 복사효율을 크게 증가시킬 수 있음을 예측할 수 있다.

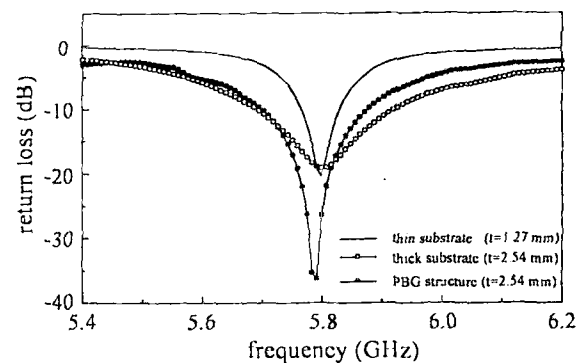


그림 2. 다른 세 안테나들의 측정된 반사계수.

Fig. 2. The measured return loss of three different antennas.

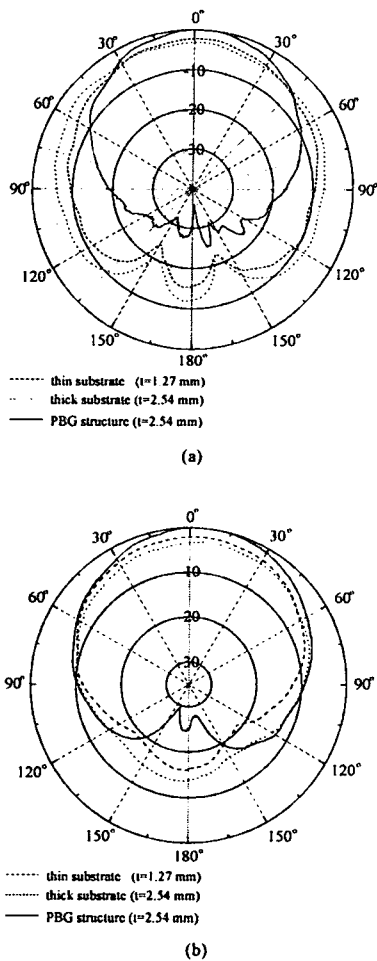


그림 3. 다른 세 안테나의 측정된 복사패턴: (a) E 평면, (b) H 평면.

Fig. 3. The measured radiation patterns of three different antennas: (a) E plane, (b) H plane.

그림 3는 각 안테나의 복사패턴을 E 평면 (a)과 H 평면 (b)에서 측정한 결과이다. 비교를 위해 각 안테나의 복사 값은 HIES 안테나의 최고 복사 값으로 나누어졌다. 두께 1.27 mm의 얇은 기판 안테나와 2.54 mm의 두꺼운 기판 안테나의 복사패턴은 표면파의 기판 언저리에서의 회절/산란으로 인한 낮은 복사이득과 강한 뒷 복사를 잘 보여주고 있다. 기판의 두께가 두꺼울수록 표면파의 발생이 많아 두꺼운 기판 안테나의 복사패턴은 얇은 기판 안테나의 복사패턴에 비해 이득이 낮고 뒷 복사의 강도가 크다. 하지만 HIES로 둘러싸인 두꺼운 기판 안테나의 복사패턴은 높은 이득과 많이 줄어든 뒷 복사를 보여준다.

표 1. 다른 세 안테나의 밴드폭, 앞 복사와 뒷 복사.

Table 1. Bandwidth, front radiation and back radiation of three different antennas.

안테나 특성	%BW	Front radiation	Back radiation
Thin substrate (t=1.27 mm)	1.07	-2.34 dB	-15.50 dB
Thick substrate (t=1.27 mm)	3.93	-3.24 dB	-11.92 dB
PBG structure	3.03	0 dB	-30.0 dB

이런 두꺼운 기판 안테나의 성능향상은 분명히 HIES에 의한 표면파 진파의 저지에 의한 것이다. 세 종류 안테나의 특성은 표 1에 정리되어 있다. 표에서 보는바와 같이 두꺼운 기판 안테나의 최고 복사 값은 HIES로 인해 2 배정도 증가하고 뒷 복사는 획기적으로 줄어든 것을 볼 수 있다. 그러므로 표면파저지대역을 갖는 PBG 구조인 HIES는 두꺼운 기판 안테나의 기판크기와 넓은 밴드폭을 그대로 유지하면서 복사패턴과 복사효율을 획기적으로 개선할 수 있다. HIES의 표면파저지 특성은 안테나뿐만 아니라 표면파로 인한 마이크로파 소자들간의 상호작용을 줄이는데도 매우 유용할 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 표면파저지대역을 갖는 PBG 구조인 HIES를 이용해 패치 안테나에서 발생하는 표면파의 진파를 억제하므로 두껍고 큰 유전상수 기판위에 제작된 패치 안테나의 복사효율을 증가시키고 뒷 복사를 획기적으로 줄일 수 있음을 보였다.

감사의 글 - 이 연구는 산업자원부가 주관하는 차세대 신기술사업인 차세대 무선통신용 트랜시버시스템 개발의 연구비 지원에 의한 것이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] J. D. Joannopoulos, R. D. Meade, and J. N. Winn, *Photonic Crystals*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1995.
- [2] See for examples, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2059-2150, Nov. 1999.
- [3] C.-S. Kee, J.-E. Kim, H. Y. Park, S. J. Kim, H. C. Hong, Y. S. Kwon, N. H. Myung, S. Y. Shin, and H. Lim, "Essential parameter in the formation of photonic bandgaps," *Phys. Rev. E*, vol. 59, no. 4, pp. 4695-4698, Apr. 1999.
- [4] C.-S. Kee, J.-E. Kim, H. Y. Park, and H. Lim, "Roles of wave impedance and refractive index in photonic crystals with magnetic and dielectric properties," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2148-2150, Nov. 1999.
- [5] T. J. Ellis and G. M. Rebeiz, "MM-wave tapered slot antenna on micromachined photonic bandgap dielectrics," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1157-1160, June 1998.
- [6] J. S. Colburn and Y. Rahmat-Samii, "Patch antennas on externally perforated high dielectric constant substrates," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 47, no. 12, pp. 1785-1794, Dec. 1999.
- [7] V. Radisic, Y. Qian, and T. Itoh, "Broadband power amplifier integrated with slot antenna and novel harmonic tuning structure," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1895-1898, June 1998.
- [8] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli, and T. Itoh, "Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines," *IEEE Trans. Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 8, no. 2, pp. 69-71, Feb. 1998.
- [9] S.-S. Oh, C.-S. Kee, J.-E. Kim, H. Y. Park, T. I. Kim, I. Park, and H. Lim, "Duplexer using microwave photonic band gap structure," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 76, no. 16, pp. 2301-2303, Apr. 2000.
- [10] D. Sievenpiper, L. Zhang, R. F. J. Broas, N. G. Alexopolous, and E. Yablonovitch, "High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2059-2074, Nov. 1999.