Mo 치환한 $BiNbO_4$ 세라믹 후막 모노폴 안테나의 전기적 특성

서원경, 안성훈*, 정천석*, 이재신
울산대학교 첨단소재공학부, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부*

The effects of Mo doping on Electrical Properties of $BiNbO_4$ Ceramic Thick Film Monopole Antenna

Won-Kyung Seo, Sung-Hun Ahn*, Chun-Suk Jung*, and Jae-Shin Lee
School of Materials Science and Engineering, University of Ulsan
*School of Electrical Engineering, University of Ulsan

Abstract

We fabricated thick film monopole antennas using Mo-doped $BiNbO_4$ ceramics and investigated their electrical properties as a function of the Mo-doping concentration. Compared with undoped $BiNbO_4$ ceramics, 10 at.% Mo-doping improved microwave dielectric properties of ceramics by increased sintered density as well as decreased space charge density. Further increase in the Mo-doping concentration caused formation of Bi_2MoO_6 phases, resulting in deterioration of the microwave characteristics. The gain and bandwidth of the ceramic monopole antenna were also greatly affected by the Mo-doping concentration. When Mo-doping concentration was 10 at.%, highest gain of ~0.7dBi with lowest bandwidth of 30% at 2.3GHz was obtained.

Key Words : Dielectric constant, Quality value($Q \times f_0$), Resonant Frequency, Monopole antenna, Bandwidth, Gain

1. 서 론

휴대용 단말기는 휴대, 이동이라는 특수성으로 인해 단말기의 성능 향상 이외에도 소형화 및 경량화를 크게 요구하므로 가능한 모든 RF 부품을 소형화하기 위해 하나의 칩 형태로 제작하여야 한다. 특히, 시스템 마지막 단에서 신호를 송수신하는 안테나의 경우, 종래에 주로 사용되던 휩(whip) 안테나가 휴대 전화 케이스로부터 돌출되어서 부러지기 쉽고, 불필요한 공간을 차지함에 따라 최근 내장 가능한 세라믹 칩 안테나 및 PIFA(Planar Inverted-F Antenna)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[1-4] 특히, 세라믹 칩 안테나는 유전체 세라믹을 사용하여 전기적 길이를 크게 줄인 안테나로서 PIFA에 비해 그 크기가 매우 작다. 또한, 구조가 간단하고, MIC(microwave integrated circuit)와의 호환성이 우수하다는 장점을 가지고 있다.

그러나, 일반적인 세라믹 칩 안테나의 경우 복사저항에 비해 큰 리액턴스 값을 가지므로 효율, 임피던스 매칭 및 주파수 대역폭 등의 안테나 특성에 제약을 받는다.[5,6] IMT-2000의 단말기용 안테나의 경우 사용 주파수 대역폭은 250MHz이며, 임피던스 대역폭이 12.2% (VSWR<2.0)이상인 광대역 특성이 요구된다.[7]

본 연구에서는 보다 크기가 작고 넓은 대역폭을 가지는 안테나 제작을 위해 종래의 유전율 10 이

하의 유전체 대신 유전율이 35~40이며 저유전율계에 비해 Q가 작으며 저온소결이 가능한 것으로 알려진[8-10] $BiNbO_4$계 세라믹스를 이용하여 후막 모노폴 안테나를 제작하였다. 특히, $BiNbO_4$ 세라믹스의 Mo치환에 의한 미세구조 및 유전특성의 변화가 안테나 특성에 미치는 영향에 대해 관찰하였다.

2. 실험방법

2.1 시편 제작 및 특성 관찰

99.9%이상의 Bi_2O_3, MoO_3, Nb_2O_5, CuO분말을 조성비에 따라 평량하고, 24시간 동안 습식 혼합한 후 650~900℃에서 4시간 하소하였다. 이후 재분쇄 및 건조된 분말에 binder로 10%PVA를 혼합한 후 15$mm\phi$의 disc 형태로 성형, 650~1200℃ 온도에서 소결 하였다. 소결된 시편은 표면연마 후 network analyser(HP8753D)를 이용하여 유전특성을 측정하였다.

2.2 모노폴 안테나 제작 및 특성 관찰

합성된 $Bi(Nb_{1-6x/5}Mo_x)O_4$ 분말을 이용하여 5000cps 정도의 점도를 가지는 슬러리를 제조한 후 테이프주입법으로 200㎛두께의 green sheet를 제작하였다. 제조된 세라믹 sheet에 12×1mm의 전극을 형성, 1mm 두께로 적층한 후 15×11mm 크기로 절단하여 소결하였다. 이후 2GHz 대역에서 network analyser (Anritsu 56100A)를 이용하여 중심 주파수와 VSWR, 그리고 복사패턴 및 안테나 이득을 측정하였다. 그림 1에 제작된 적층형 모노폴 안테나의 구조를 도시하였다.

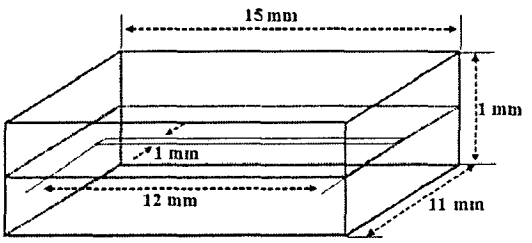

Fig. 1. The schematic of ceramic monopole antenna.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 Mo 치환에 따른 $BiNbO_4$ 세라믹스의 유전율 및 품질계수 특성 변화를 나타낸 그림이다. Mo를 첨가하지 않은 시편보다 Mo를 0.1분율 치환한 경우 유전율은 약간 감소하나 품질계수 Q는 현저히 증가하였다. 이러한 품질계수 상승은 Mo 치환에 의한 미세구조의 치밀화 및 공간 전하량의 감소에서 기인된 것으로 사료된다. 왜냐하면 Mo^{6+} 이온이 donor로 작용하여 Nb Vaconcy를 형성하므로 소결을 촉진시키기 때문이다.[11] 또한 대부분의 Bi계 세라믹스의 경우 소결 중 Bi 휘발로 인해 p-type화되는 경향이 있다. 즉, donor인 Mo에 의해 전하밀도가 감소하게 된다.[12],[13] Mo 치환량인 x가 0.1이상이면 유전율과 품질계수 모두 감소함을 알 수 있다. 이것은 그림 3과 그림4의 적정 소결온도에서 소결된 세라믹스의 SEM 사진 및 XRD 패턴에서 볼 수 있듯이 Mo에 의한 Bi_2MoO_6 액상의 형성이 증가하기 때문이다.

그림 5는 Mo 치환에 따른 $BiNbO_4$ 세라믹스의 전기전도도 변화를 나타낸 그래프로 x=0.1일 때 가장 낮은 전도도를 보여주고 있다. 이때 electron-hole pair 형성에 의한 전하 농도가 가장 낮다는 것을 의미한다. 이후 donor 량 증가에 따라 major carrier가 electron으로 바뀌며 x=0.4부터 전도도가 급증하게 되고 전기적 손실이 증가하게 된다. 하지만 x=0.5 조성에선 주 조성이 Bi_2MoO_6로 바뀌며 전기전도도가 감소하는 것을 보인다.

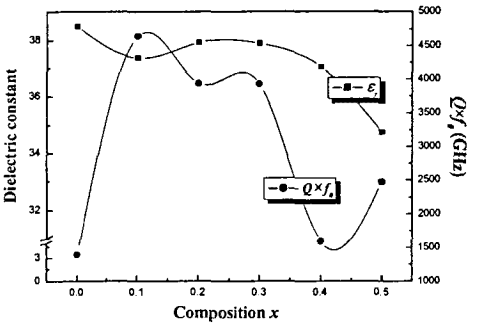

Fig. 2. The microwave dielectric properties of $Bi(Nb_{1-6x/5}Mo_x)O_4$ ceramics as a function of Mo-doping concentration.

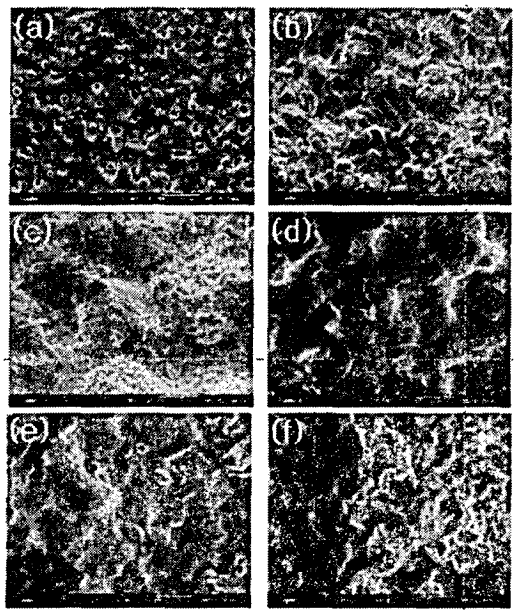

Fig. 3. SEM photographs of $Bi(Nb_{1-6x/5}Mo_x)O_4$ ceramics.
(a) x=0, Ts=1000℃ (b) x=0.1, Ts= 1000℃
(c) x=0.2, Ts=900℃ (d) x=0.3, Ts=850℃
(e) x=0.4, Ts=800℃ (f) x=0.5, Ts=750℃

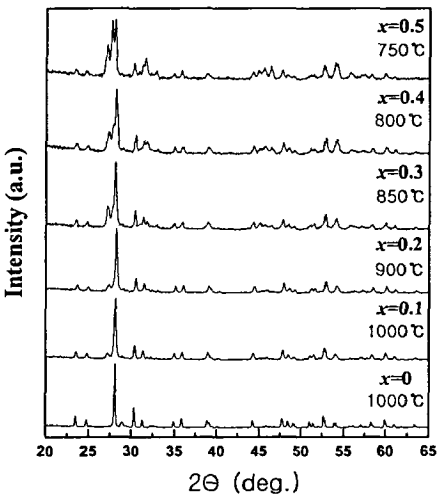

Fig. 4. XRD patterns of $Bi(Nb_{1-6x/5}Mo_x)O_4$ eramics. The sintering temperature is indicated on the figure.

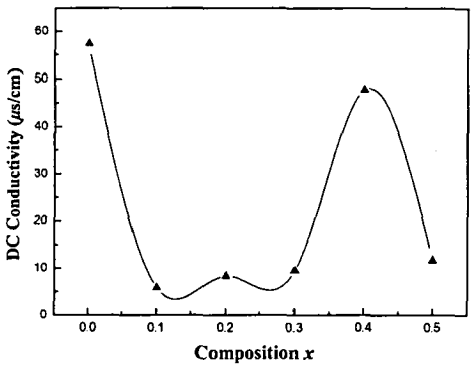

Fig. 5. DC electric conductivity of $Bi(Nb_{1-6x/5}Mo_x)O_4$ ceramics.

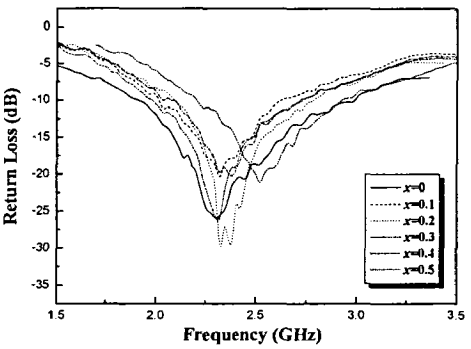

Fig. 6. Effect of Mo-doping on the return loss of $Bi(Nb_{1-6x/5}Mo_x)O_4$ ceramic monopole antenna.

그림 6은 Mo 치환량 변화가 공진 주파수 및 반사손실에 미치는 영향에 대해 나타낸 것으로 Mo 치환량이 증가할수록 공진주파수가 증가하며 모든 조성 범위에서 700MHz 이상의 우수한 대역폭을 보여주고 있다.

일반적으로 유전체 부품의 크기는 주파수와 유전율에 반비례한다. 즉, 같은 크기의 시편의 중심 주파수를 측정할 경우 유전율이 감소할수록 주파수는 증가한다는 것이다. Mo 치환의 경우에도 역시 같은 경향을 보여 준다.[14][15] x=0.3 이상이 되면 유전율이 감소하며 공진주파수가 증가하고 있다.

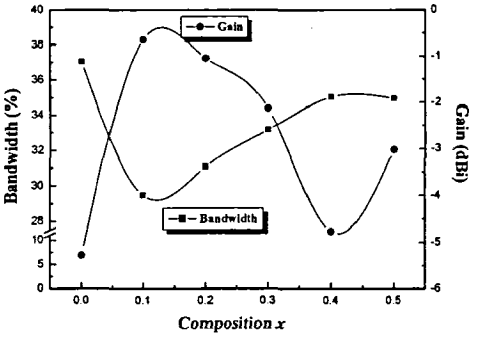

Fig. 7. Impedance bandwidth and Gain of monopole antenna with $Bi(Nb_{1-6x/5}Mo_x)O_4$ ceramics as a function of Mo-doping concentration.

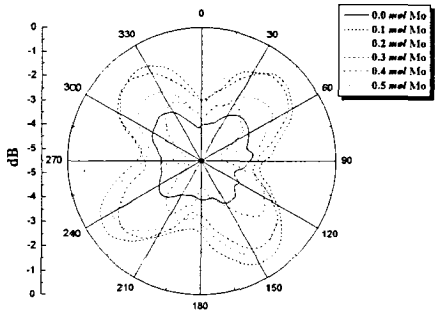

Fig. 8. Measured radiation patterns(x-y plane) of monopole antenna with Mo-doped $BiNbO_4$ ceramics.

조성별 주파수 대역폭의 비교를 위해 그림 7에 Mo 치환량 변화에 따른 임피던스 대역폭($\Delta f/f_r$, %) 변화를 나타내었다. 또한 조성별 이득추이를 알아보기 위해 Mo량 변화에 따른 이득 변화를 나타내었다. 일반적으로 전자회로적인 측면에서는 유전율이 증가할수록 캐패시턴스 증가에 의한 리액턴스 증가로 Q값이 상승하여 대역폭이 좁아지는 것으로 알려져 있다.[5],[15] 하지만 그림 7에서 볼 수 있듯이 유전율 보다는 소재 자체의 품질계수의 영향을 직접적으로 받음을 알 수 있다. 또한 그림 7의 안테나 이득과 그림 8의 복사패턴(x-y평면)을 살펴보면 Mo 치환량에 따른 품질계수 변화 추이를 그대로 따르고 있다.

안테나 또는 일반적인 유전체 공진기에 있어서 중심주파수의 대역폭(Bandwidth)은 손실을 의미한다. 대역폭이 커질수록 그만큼 손실이 많다는 의미이다. 그리고, 대부분의 유전체 세라믹스의 경우 단결정이 아닌 다결정체로 수많은 결정립과 입계를 지니고 있다. 따라서 그림 3와 같이 미세조직이 불균일해 질수록 파장의 산란은 증가하며 이로 인해 주파수 손실은 증가하게된다. 즉, Mo 치환된 BiNbO4 세라믹스의 미세조직 변화에 따른 유전특성 변화가 안테나 특성 변화에 직접적인 영향을 미친 것으로 사료되어진다.

4. 결 론

본 연구에서는 보다 크기가 작고 넓은 대역폭을 가지는 안테나 제작을 위해 종래의 유전율 10 이하의 유전체 대신 유전율이 35~40이며 저유전율계에 비해 Q가 작으며 저온소결이 가능한 $BiNbO_4$계 세라믹스를 이용하여 후막 모노폴 안테나를 제작하였다. 특히, $BiNbO_4$ 세라믹스의 Mo치환에 의한 미세구조 및 유전특성변화가 안테나 특성에 미치는 영향에 대해 관찰하였다

그 결과 $BiNbO_4$ 세라믹스에 Mo를 소량 치환하게 되면 Q 값이 현저히 증가하였으며, Mo 치환량인 x가 0.1 이상되면 Bi_2MoO_6 액상의 형성과 공간전하 밀도가 증가하며 유전율 및 $Q \times f_0$가 감소하였다. 안테나 특성에 있어서는 유전율 감소와 함께 모노폴 안테나의 공진주파수는 증가한 반면 모든 조성이 2GHz 대역에서 700MHz 이상의 우수한 주파수 대역폭을 보여주었다. 특히 Mo 치환에 따라 미세조직 변화로 Q값이 감소하며 임피던스 대역폭이 증가하는 경향을 보여 주었다. 그러나 Q값의 감소와 함께 손실의 증가로 안테나 이득은 감소하였다. 따라서 세라믹과 같은 다결정체의 경우 재료특성이 안테나 특성에 직접적인 큰 영향을 미치는 것으로 사료되어진다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 유망전자부품기술개발 사업(Electro-0580)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] Y. Dakeya, T. Suesada, K. Asakura, N.

Nakajima, and H. Mandai, "Chip Multilayer Antenna for 2.45GHz-Band Application Using LTCC Technology", IEEE MTT-s Digest, p. 1696-1696, 2000.

[2] 이종환, 우종명, 김현학, 김경용, "PCS용 표면 실장형 칩 안테나 설계", 한국전자파학회논문지, 11권 1호, p. 55-62, 2000.

[3] P. K. Panayi, M. O. Al-Nuaimi, and I. P. Iverissimtzis, "Tuning techniques for planar inverted-F antenna", Elelctron. Lett., Vol. 37, p. 1003-1004, 2001.

[4] P. Salonen and M. Keskilammi, "Novel dualband planar inverted-F antenna", Microwave Conference, 2000 Asia-Pacific, p. 706-710, 2000.

[5] 심성훈, 강종윤, 박용욱, 윤석진, 윤영중, 김현재, "IMT-2000 단말기용 적층형 세라믹 칩 안테나의 설계", 한국전자파학회논문지, 13권 3호, p. 301-306, 2002.

[6] K. Fujimoto, "Electrical Small Antennas", J. IEICE, Vol. 55, No. 9, p. 1235-1239, 1972.

[7] Y. Wang and C. K. Lee, "Small Broadband Microstrip Patch Antenna for IMT-2000 Handsets", Radio and Wireless Conference, RAWCON 2000, IEEE, p. 187-190, 2000.

[8] 박정흠, 장낙원, 윤광희, 최형욱, 박창엽, "적층형 마이크로파 소자용 $BiNbO_4$ 유전체 세라믹스의 유전특성", 전기전자재료학회, Vol. 9, No. 9, p. 900-905, 1996.

[9] C. F. Yang, "Improvement of Quality Value and Shift of τ_f Value of $BiNbO_4$ Ceramics with Addition of $CuO-V_2O_5$ Mixtures", J. J. Appl. Phys. Vol. 38, p. 6797-6800, 1999.

[10] C. L. Huang, M. H. Weng, and C. C. Wu, "The Microwave Dielectric Properties and Microstructures of La2O3-Modified $BiNbO_4$ Ceramics", J. J. Appl. Phys. Vol. 39, p. 3506-3510, 2000.

[11] G. A. Smolenski and A. L. Agranovskaya, "Dielectric Polarization of a Number of Complex Compounds", Soviet Phys. Solid State, Vol. 1, No. 10, p. 1429-37, 1960.

[12] Villegas M., Caballero AC., Moure C., Duran P., Fernandez JF., "Factors affecting the electrical conductivity of donor-doped $Bi_4Ti_3O_{12}$ piezoelectric ceramics", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 82, No. 9, p. 2411-2416, 1999.

[13] I. Pribosic, D. makovec and M. Drofenik, "Electrical properties of donor- and accetor-doped $BaBi_4Ti_4O_{15}$", J. Eu. Ceram. Sov., Vol. 21, p. 1327-1331, 2001.

[14] 김원률, 이권익, 홍성욱, 김홍수, "5.8GHz ISM 대역용 구형 유전체 공진 안테나 설계", 제주대학교 산업기술원구소 논문집, 12권, 1호, p. 71-76, 2001.

[15] 이기성, 채윤경, 최익권, "IMT-2000 단말기용 변형된 역 F형 광대역 세라믹 유전체 칩 안테나", 한국전자파학회논문지, 13권, 7호, p. 625-631, 2002.