

불순물 첨가에 따른  $Al_2O_3$  세라믹 공진기의 마이크로파  
유전특성에 관한 연구

A Study on the Microwave Dielectric Properties of  $Al_2O_3$  Ceramics  
Resonator added with Impurities

이문기*	광운대학교 공과대학 전자재료공학과
박인길	신성전문대학 전자과
류기원	여주전문대학 전자과
이성갑	서남대학교 공과대학 전자전기공학과
이영희	광운대학교 공과대학 전자재료공학과

Lee, Moon-Kee*	Dept. of Electronic Materials Eng., Kwangwoon Univ.
Park, In-Gil	Dept. of Electronic, Shin Sung Junior College
Ryu, Ki-Won	Dept. of Electronic, Yeo Joo Junior College
Lee, Sung-Gap	Dept. of Electronic Eng., Seo Nam Univ.
Lee, Young-Hie	Dept. of Electronic Materials Eng., Kwangwoon Univ.

ABSTRACT

Microwave dielectric properties of  $Al_2O_3$  ceramics resonator were investigated with impurity addition. Increasing the contents of  $Bi_2O_3$ , Q-value and  $Q \times f$  were increased. In the specimen with the content of  $Bi_2O_3$ (0.3wt%), dielectric constant, quality factor and temperature coefficient of resonant frequency(TCRF,  $\tau_f$ ) had a good values of 10.76, 23,253(at 9.68[GHz]) and -39.09[ppm/°C], respectively. The TCRF value was decreased with  $MnO_2$  and increased with  $Sm_2O_3$ ,  $La_2O_3$ .

1. 서 론

최근 정보화 사회로의 진행이 가속화됨에 따라 마이크로파를 이용한 무선호출기, 휴대전화, PCS(Personal Communication System), 위치추적시스템(GPS: Global Positioning System) 등 이동 및 위성통신산업의 중요성이 날로 급증하고 있다. 이에 따라 무선시스템의 소형경량화가 요구되고 있는

며 특히 마이크로파 대역에서 사용되는 소자는 그 용도에 따라 각기 요구되는 특성이 다르기 때문에 그 요구 특성에 맞는 다양한 재료의 개발 및 연구가 시급한 실정이다.<sup>1)</sup>

고주파 또는 마이크로파의 송수신 회로나 증폭 회로 등은 미약한 고속 신호(~120dB)를 사용하기 때문에 기본적으로 손실값이 낮아야한다. 또한 고

유전율을 가진 유전체를 사용하면 부품의 소형화는 가능하지만 안테나 이득의 감소와 주파수 대역폭의 감소 등이 수반됨으로 GPS안테나로 사용할 경우에는 저유전율 기판( $\epsilon_r = 10 \sim 20$ )을 사용하는 것이 일반적이다.<sup>2)</sup>

따라서 본 연구에서는  $Al_2O_3$ 에  $Bi_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO_2$ ,  $Sm_2O_3$ ,  $La_2O_3$  등의 불순물을 첨가하여 저유전율을 갖는 유전체 공진기를 제작한 후 유전율과 품질계수 및 공진 주파수의 온도계수 등의 마이크로파 유전특성을 조사하여 GPS안테나용 세라믹 기판으로의 응용 가능성을 검토 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시편의 제작

고순도의  $Al_2O_3$ 에  $Bi_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $MnO_2$ ,  $Sm_2O_3$  및  $La_2O_3$ 을 표 1에 따라 평량한 후 아세톤을 분산매로 하여 볼밀로 24[hr]동안 혼합 분쇄하였다. 혼합 분쇄한 시료를 100[°C] 전기오븐에서 24[hr]동안 건조한 후 PVA를 첨가하여 200 mesh의 단립으로 조립하였다. 조립된 분말을 원통형 금형( $\phi = 12.8$  [mm])에 넣고 1,000[kg/cm<sup>2</sup>]의 압력을 인가하여 원통형으로 성형한 후 1550[°C]와 1575[°C]에서 2[hr]동안 대기중에서 소결하였다.

표 1. 시편의 화학조성 및 소결온도

	조성	소결 온도	
		1550	1575
A1	$Al_2O_3 + 0.1wt\%Bi_2O_3$	○	○
A2	$Al_2O_3 + 0.2wt\%Bi_2O_3$	○	○
A3	$Al_2O_3 + 0.3wt\%Bi_2O_3$	○	○
A4	$Al_2O_3 + 0.12wt\%MnO_2$	○	○
A5	$0.9Al_2O_3 + 0.1TiO_2$	○	○
A6	$Al_2O_3 + 0.3wt\%La_2O_3$	×	○
A7	$Al_2O_3 + 0.3wt\%Sm_2O_3$	×	○

### 2.2 측정

불순물 첨가에 따른 시편의 소결상 및 결정학적 특성을 관찰하기 위해 Rigaku사의 D/MAX-III X-ray generator를 사용하여 X-선 회절분석을 하였으며, 전자현미경을 사용하여 미세구조를 관찰하였다. 마이크로파 대역의 유전율은 연마된 원통형 시편을 두장의 도체판 사이에 넣고(Hakki-Coleman Methode), Network Analyzer[HP 8720C]를 사용하여 TE<sub>01</sub> 공진 모드의 공진주파수를 측정한 후 시편의 크기로부터 구하였다.<sup>3)</sup> 시편의 무부하 Q(Q<sub>0</sub>)(이하에서는 품질계수, Q로 정의)는 원통형 급속용기내에 시편을 넣고 공진주파수 f<sub>0</sub>를 측정한 후 식 (1)~(3)을 이용하여 구하였다.<sup>4)</sup>

$$Q_0 = \frac{Q_L}{1 - a_t} \quad (1)$$

$$Q_L = \frac{f_0}{BW \text{ (at } 3[\text{dB}])} \quad (2)$$

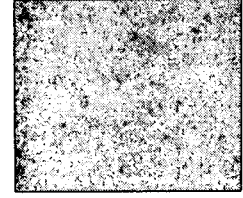
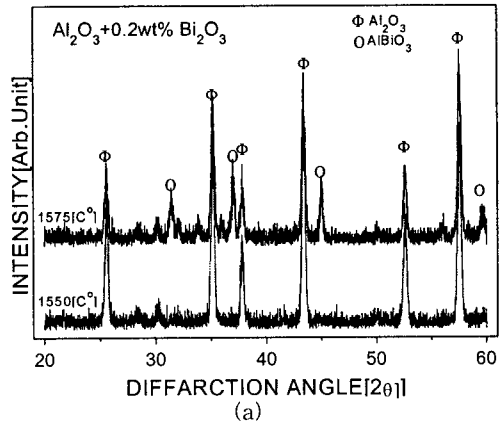
$$a_t = 10^{\frac{IL_0 [\text{dB}]}{20}} \quad (3)$$

여기서 Q<sub>L</sub>은 부하 Q(Loaded Q), IL<sub>0</sub>는 삽입손실(Insertion Loss)이다.

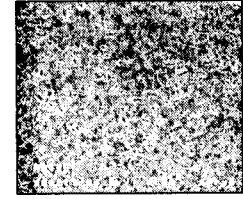
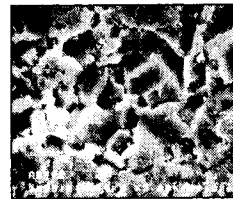
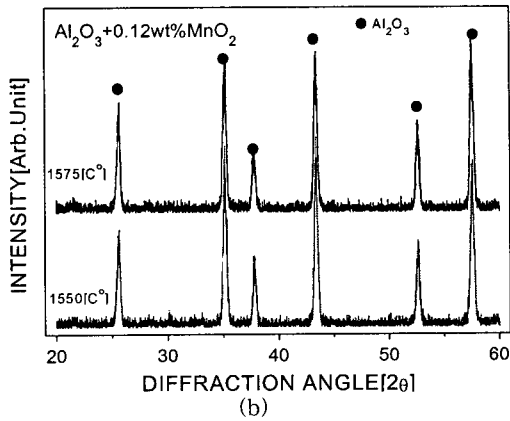
공진주파수의 온도계수는 원통형 시편이 삽입된 측정장치(zig)를 전기오븐내에 넣고, 온도에 따른 공진주파수의 변화량을 측정한 후 25~85[°C] 온도 범위에 대해 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

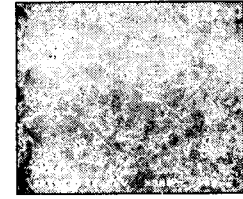
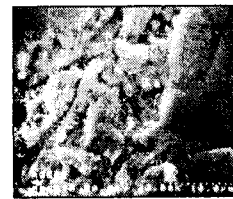
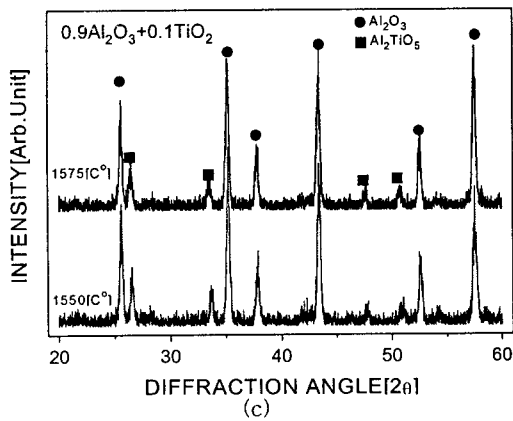
그림 1은 불순물 첨가에 따른  $Al_2O_3$  세라믹의 X선 회절분석 결과이다. 0.2wt%의  $Bi_2O_3$ 를 첨가한 시편의 경우(그림 1.a) 소결온도가 1550[°C]에서 1575[°C]로 상승함에 따라  $AlBiO_3$ 상의 피크가 증가하였고, 중간상 및 이차상의 피크도 관찰되었다.  $MnO_2$ 가 첨가된 경우(그림 1.b)에는 소결온도 증가에 따른 큰 변화는 나타나지 않았으며,  $TiO_2$ 와 혼합된 시편에서는  $Al_2O_3$ 상과  $Al_2TiO_5$ 상이 공존하며



X3000 (a)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.2\text{wt}\% \text{Bi}_2\text{O}_3$  X300



X3000 (b)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.12\text{wt}\% \text{MnO}_2$  X300



X3000 (c)  $0.9\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.1\text{TiO}_2$  X300

그림 1. 소결온도 및 불순물 첨가에 따른  $\text{Al}_2\text{O}_3$  시편의 X선 회절모양

소결온도가 증가함에 따라  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ 상이 증가하였다.

그림 2는 불순물 첨가에 따른 시편의 미세구조

그림 2. 불순물에 따른  $\text{Al}_2\text{O}_3$  시편의 미세구조 [소결온도 1575°C]

를 나타낸 것이다. 그림2의 (a)와 (b)의 경우는 불순물 첨가에 의하여 불순물이 결정립계로 석출됨에 따라 결정립이 성장하지 못하여, 결정립의 크기가 작았으나, 그림 (c)의  $0.9\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.1\text{TiO}_2$  시편은 크고 뚜렷한 형태의 결정립을 관찰 할 수 있었다.

표2는 불순물 첨가에 따른  $\text{Al}_2\text{O}_3$  시편의 마이크로파 유전특성을 나타낸 것이다, 품질계수 Q는  $\text{TE}_{011}$  공진피크로부터 공진주파수, 3dB 대역폭 및 삽입손실을 측정 후 식 (1)~(3)을 이용하여 구하였으며, 각 시편의 공진주파수가 다르기 때문에 시편의 품질계수를 고찰하기 위해서는  $Q \times f$ 의 값을 이용하는 것이 바람직하다.<sup>5)</sup>  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  첨가량의 증가에 따라 유전율이 감소하였으며, 이는 결정립의 크기가 감소되었기 때문으로 생각된다. 그러나,

표 2. 불순물 첨가에 따른 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 시편의 마이크로파 유전특성

	Sintering Temp. [°C]	Resonant Frequency f[GHz]	Dielectric constant ( $\epsilon_r$ )	Q	Q×f [GHz]
A1	1550	9.57444	11.42	2,254	21,577
	1575	9.66512		4,910	47,451
A2	1550	9.67164	10.78	7,791	77,095
	1575	9.69572		19,098	185,166
A3	1550	9.71495	10.76	20,563	199,765
	1575	9.68428		23,253	225,186
A4	1550	9.69362	10.74	16,644	161,347
	1575	9.67963		26,364	255,196
A5	1550	9.43814	11.83	3,168	29,909
	1575	9.45586		2,697	25,503
A6	1575	9.91400	10.90	3,304	32,762
A7	1575	9.90500	11.03	3,962	39,244

시편의 Q×f값은 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 첨가량의 증가와 소결온도 상승에 따라 크게 증가하였으며, 이는 AlBiO<sub>3</sub>상의 증가에 기인한 것으로 사료된다. 그러나 공진주파수의 온도계수는 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 0.1wt% 첨가한 시편의 경우 -34.35[ppm/°C]에서 0.3wt% 첨가한 시편의 경우 -38.09[ppm/°C]으로 감소하였다. MnO<sub>2</sub>를 첨가한 시편의 경우, Q×f값이 255,196[GHz]인 매우 양호한 특성을 나타내었으나, 공진주파수의 온도계수( $\tau_f$ )는 -41[ppm/°C]로 낮게 나타났다

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 TiO<sub>2</sub>를 90/10의 조성비로 제조한 시편의 경우의 유전율은 불순물을 첨가하지 않은 순수한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>( $\epsilon_r=9.8$ )에 비하여 증가하였으며, 이는 고유전율을 갖는 TiO<sub>2</sub>상과 Al<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub>상의 증가에 기인한 것이라 생각된다. 반면 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 보다 낮은 TiO<sub>2</sub>의 품질계수에 기인하여 시편의 품질계수는 감소하였다. 공진주파수의 온도계수를 개선하기 위해 Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가한 시편은  $\tau_f$ 가 -28[ppm/°C]로 순수한 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>( $\tau_f=-39$ )에 비하여 상승하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹에 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub>, Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 불순물을 첨가하여 유전율과 공진주파수 및 품질계수 등의 마이크로파 유전특성을 고찰한 결과, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가에 따라 품질계수의 증가가 나타났으며, 0.3wt% 첨가한 시편의 경우 유전상수, 품질계수 및 공진주파수의 온도계수는 각각 10.76, 23,253(at 9.68[GHz]), -39.09[ppm/°C]로 유전율과 품질계수는 양호하였다.

MnO<sub>2</sub> 첨가에 따라 품질계수는 증가하였으나 공진주파수의 온도계수는 감소하였다. Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가한 시편은 공진주파수의 온도계수가 개선되었다.

본 연구에서는 GPS안테나로서 사용 가능한 양호한 값의 유전율과 품질계수를 갖는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 공진기를 제작하였고, 향후  $\tau_f$ 를 0[ppm/°C]으로 조절하기 위한 연구를 진행할 예정이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] D. M. Pozar, "Microstrip antennas", IEEE Proceeding., Vol. 80, pp. 79~91, January 1992
- [2] 김경룡, "이동통신기기 고주파 회로용 세라믹 기판의 기능과 역할", 월간 세라믹스, pp. 76~78, 1996.11
- [3] B. W. Hakki et al., " A Dielectric Resonator Method of Measuring Inductive Capacities in the Millimeter Range", IRE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol.Mtt-24, No.10, pp. 402~410, 1960.
- [4] 河島後一郎 等, "マイクロ波誘電體の評價方法", エレクトロニクセラミクス, No.1, pp.50~56, 1986
- [5] Y. Konish, "Novel Dielectric Waveguide Components - Microwave Applications of New Ceramic Materials", Pro. of IEEE, Vol.79, No.6, pp.726~740, 1991.