

# 이동통신용 $(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_3 - (\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_3$ 세라믹스의 마이크로파 유전 특성

논문  
10-9-6

## Microwave Dielectric Properties of the $(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_3 - (\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_3$ Ceramics for mobile communication

윤중락\*, 이현용\*, 김경용\*\*  
(Jung-Rag Yoon, Heun-Yong Lee, Kyung-Yong Kim)

### Abstract

The microwave dielectric properties of  $(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_3$  and  $(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_3 - (\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_3$  ceramics were investigated. Dielectric constant, quality factor and temperature coefficient of resonant frequency of  $(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_3$  ceramics sintered at 1450°C for 2 hours were 86.2, 2780(at 3.8GHz) and 215ppm/°C, respectively. The solid solution of  $X(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_3 - (1-X)(\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_3$  had the A site complex perovskite structure in the range of all compositions. As a amount  $(\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_3$  increased, dielectric constant and quality factor were decreased. whereas, temperature coefficient of resonant frequency was optimized to zero at the composition of  $0.6(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_3 - 0.4(\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_3$ , where dielectric constant and quality factor were 86.2, 950(at 3.8GHz), respectively. Also, band-pass filters made of this material were examined.

**Key Words(중요용어)** : Microwave dielectric(마이크로파 유전체), Dielectric constant(유전상수), Quality factor(품질계수), Temperature coefficient of resonant frequency(공진주파수 온도계수), Band-pass filter(대역통과 필터)

### 1. 서 론

최근 정보 통신량의 급격한 증가로 저주파 대역의 통신량이 급증함에 따라 사용 주파수 대역이 저주파 대역에서 이동통신 및 위성통신등의 통신시스템을 이용할 수 있는 고주파 대역으로 옮겨가고 있다. 이동 통신 제품은 소형화,경량화,박막화가 요구되며 따라서 고주파용 유전체 세라믹스의 응용이 크게 증대되고 있다.

이러한 고주파 유전체가 통신시스템에 사용되기 위해서는 유전율이 커야 하며 양호한 공진 특성을 갖는 공진기를 만들기 위해 높은 품질계수를 가져야 한다. 또한 공진 회로의 주파수 안정성을 위해 유전체 공진기의 공진주파수의 온도계수가 작아야한다<sup>1)</sup>.

1970년대 중반부터 유전체 공진기에 관한 연구가 활발히 진행되어 유전율이 20~30 정도인  $A(\text{B}_1^{2+}\text{B}_2^{5+})\text{O}_3$ 의 복합 페로브스카이트구조를 갖는 저 유전율 재료와 유전율이 30~40 정도인  $(\text{Zr},\text{Sn})\text{TiO}_4$ ,  $\text{Ba}_2\text{Ti}_9\text{O}_{20}$  그리고 유전율이 70~110 정도로서 혼합상을 갖는 고유전율의  $\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 계,  $\text{BaO}-\text{Sm}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 계 및 최근 보고된  $(\text{Pb},\text{Ca})\text{ZrO}_3$ 계로 크게 구분된다<sup>2)</sup>.

일반적으로 유전율이 높은 재료는 품질계수가 작고 공진주파수 온도계수가 커지는 경향을 나타내기 때문에 단일 물질계에서 이 3가지 특성을 동시에 만족시키기는 어렵다. 따라서 공진주파수 온도계수도 낮추고 유전율과 품질계수를 동시에 향상시키기 위하여 (+) 공진주파수 온도계수를 가지는 재료와 (-) 공진주파수 온도계수를 가지는 재료를 일정 비율로 적층하거나 혼합하여 양호한 유전특성을 얻는 연구도 행해지고 있다.

이러한 재료로서 사용 가능한 대표적인 재료는  $(\text{A}^{1+}_{1/2}\text{B}^{3+}_{1/2})\text{TiO}_3$ 계로서 A site에 금속 이온( $\text{Na}^{+}$ ,

\* : 명지대학교 공대 전기공학과  
\*\* : 한국과학기술연구원  
접수일자 : 1997년 4월 11일  
심사완료 : 1997년 10월 6일

Li<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>)과 B site에 금속이온(Sm<sup>3+</sup>,Nd<sup>3+</sup>,La<sup>3+</sup>)을 조합시킨 것으로 평균 2가로된 화합물의 경우 단일 화합물로서 공진주파수 온도계수가 0인 재료는 없으나 A site 금속 이온과 B site 금속 이온을 조합하여 높은 유전율을 가지면서 공진주파수 온도계수가 (-)로 큰 값을 가지는 재료가 보고되고 있다.<sup>3,4)</sup>

본 연구에서는 먼저 (+) 공진주파수를 갖는 (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>의 하소 및 소결온도에 따른 고주파 유전 특성을 조사하고 공진주파수 온도계수를 0으로 조절하기 위하여 유전율이 80이고 공진주파수 온도계수가 - 312 ppm/°C인 (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>를 혼합하여 물비에 따른 고주파 유전특성, 결정구조를 고찰하였다. 또한 본 재료를 이용하여 900[MHz]대역 유전체 대역 통과 필터를 제작하였다.

## 2. 실험 방법

본 실험에서 사용한 출발 원료는 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,TiO<sub>2</sub>(고순도 화학,일본)및 Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (롱프랑,프랑스)로서 순도 99% 이상의 시약을 사용하였으며 조성식에 따라 원료 분말을 칭량한 후 순수물을 분산매로 하여 지르코니아 볼로 24시간 습식 혼합 분쇄하였다.

슬러리를 건조하여 (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>경우 기초 실험으로 부터 얻은 하소 조건인 1100°C,<sup>(5)</sup> (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>는 900 ~ 1100°C에서 각 2시간 동안 하소하여 합성하였다. 하소 분말을 혼합시와 동일한 조건으로 24시간 동안 습식 재분쇄하여 건조한 후 PVA 수용액을 첨가하여 200mesh체로 체거름한 후에 직경이 15mm인 금속제 틀에서 1.0[ton/cm<sup>2</sup>]의 압력으로 성형하였다. (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 조성을 승온속도 300°C/h로 하여 1350 ~ 1500°C 범위에서 50°C 간격으로 2시간 소결하였으며 X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 조성은 1350 ~ 1450°C 범위에서 2시간 유지한 후 로냉하는 방법을 택하였다.

소결 시편의 표면은 다이아몬드 페이스트를 이용하여 연마한 후에 XRD로 형성된 상을 분석하고 열적 에칭하여 전자주사현미경으로 미세조직을 관찰하였다.

고주파 유전특성은 두장의 은판 사이에서 TE<sub>011</sub> 공진모드를 이용한 B.W. Hakki and P.D Coleman의 방법<sup>(6)</sup>으로 측정하였으며, 같은 지름을 갖고 높이가 3배인 유전체를 제작하여 TE<sub>013</sub> 모드의 유전 특성을 측정하여 은판의 표면저항(R<sub>s</sub>)을 측정한 후 품질계수를 계산하는 Y. Kobayashi and S.Tanaka의 방법<sup>(7)</sup>으로 품질계수를 측정하였다. 공진주파수 온도계수

측정은 Cavity법으로서 측정시 열팽창계수를 고려하여 온도급을 한 세라믹스를 이용하였으며 25°C부터 80°C의 온도범위에서 공진주파수 변화를 측정하여 식 (1)을 이용하여 공진주파수 온도계수를 계산하였다.

$$\tau_f = \frac{1}{f_{os}} \cdot \frac{df_o}{dT} \times 10^6 \text{ [ppm/}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

f<sub>os</sub>: 25[°C]에서의 공진주파수

df<sub>o</sub>: 25[°C]와 T[°C]사이의 공진주파수의 변화량

dT: 25[°C]와 T[°C]사이의 온도의 변화량

## 3. 결과 및 고찰

표 1은 (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 조성의 하소 및 소결온도에 따른 소결밀도와 고주파 유전 특성으로서 하소 조건 900°C,2시간인 경우, 1000°C 이상에서 하소하여

표 1. (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> 세라믹스의 하소 및 소결 온도에 따른 유전 특성과 밀도 변화

Table.1 Dielectric properties and apparent density of (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> ceramics as a function of calcination and sintering temperature.

하소 온도 (°C)	소결온도 (°C)	유전율 (ε <sub>r</sub> )	품질계수 (Q)[f:3.8GHz]	공진주파수 온도계수 (τ <sub>f</sub> )	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )
900	1350	80.3	1790	180	4.875
	1400	82.6	1930	208	4.894
	1450	84.9	2050	254	4.902
	1500	84.2	1980	220	4.895
1000	1350	79.8	1930	173	4.865
	1400	82.7	2350	196	4.878
	1450	86.2	2780	215	4.901
	1500	85.3	2450	218	4.869
1100	1350	79.3	2050	175	4.855
	1400	82.5	2150	195	4.864
	1450	85.5	2450	205	4.892
	1500	85.1	1950	211	4.899

1450°C 에서 2시간 소결했을 때 보다 유전율 및 품질 계수가 낮게 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 900°C에서 2시간 하소한 분말의 경우, 그림 1의 XRD 분석결과에서 나타나듯이 합성이 충분히 이루어지지 않아  $(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_3$  뿐만 아니라  $\text{Sm}_2\text{Ti}_2\text{O}_7, \text{TiO}_2$  등과 같은 미반응상이 존재함을 볼 수 있었으며 하소 과정에서 미반응한  $\text{Sm}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ 과 같이 유전율이 낮고 ( $K = 61$ ), 유전손실이 높은 ( $\tan \delta = 4 \times 10^{-4}$ ) 물질이 미반응 상태로 남아서 소결체의 유전특성에 영향을 주는 것으로 예상된다.

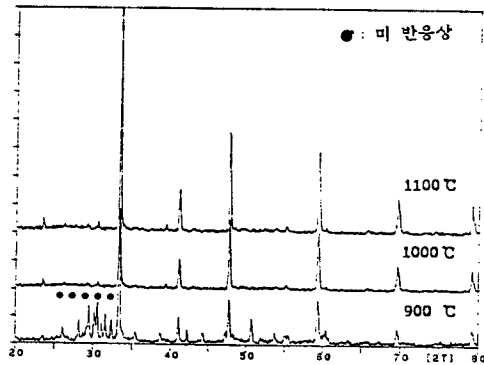


그림 1.  $(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_4$  세라믹스의 하소온도에 따른 XRD 형태

Fig. 1. XRD patterns of  $(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_4$  ceramics as a function of calcination temperature.

소결 온도에 따른 유전 특성을 보면 1450°C, 2시간 소결까지는 소결 온도가 증가할수록 유전율 및 품질계수가 증가하고 1500°C에서는 오히려 유전 특성이 감소함을 볼 수 있으며 유전율의 경우는 시편의 밀도 증가와 유사한 경향을 나타냄을 볼 수 있다.

공진주파수 온도계수의 경우 유전율 30이상의 많은 유전체에서 유전율  $\epsilon_r$ 과 유전율의 온도계수  $\tau_{\epsilon}$ 과  $\tau_{\epsilon} = -\alpha \cdot \epsilon_r$  관계를 나타낸다.<sup>8)</sup> 여기서  $\alpha$ 는 유전체의 선팅창계수이며 산화물계의 경우 보통 8 ~ 12ppm/°C 정도이다. 또한 유전체에서 공진주파수( $f_0$ )가  $\sqrt{\epsilon}$ 의 곱에 반비례하는 관계로부터 공진주파수 온도계수  $\tau_f$ 와 유전율의 온도계수  $\tau_{\epsilon}$ 은 다음 관계를 만족한다.

$$\tau_f = -1/2\tau_{\epsilon} - \alpha$$

따라서 유전율이 증가할수록 유전율의 온도계수와 공진주파수 온도계수가 증가하는 경향을 나타내

다.  $(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_3$ 의 경우에도 공진주파수 온도계수가 유전율에 비례하는 유전체 세라믹스의 일반적인 경향을 보여주고 있다.

페로브스카이트구조에서 A 자리가 Li, K, Na와 같은 1가 이온과 La, Sm, Nd, Pr와 같은 3가의 이온으로 복합화된  $(\text{A}^{1/2}, \text{B}^{3/2})\text{TiO}_3$ 계 화합물은 1가 이온이 Na 또는 K일 경우 공진주파수 온도계수가 (+)로 큰 값을 가지며 1가 이온이 Li인 경우는 공진주파수 온도계수가 (-)로 큰 값을 나타내며 3가 이온의 이온 반경에 따라 유전특성이 변화하며 Sm(1.09Å) 및 Nd(1.12Å)의 경우 우수한 유전율 및 품질계수를 나타낸다.<sup>3,4,9)</sup>

따라서, 이와같은 공진주파수 온도계수가 (+)인 유전 재료와 (-)인 유전재료를 일정 비율로 혼합하면 공진주파수 온도계수도 조절 가능하고 좋은 유전 특성을 나타낼 수 있다.

본 논문에서 각 조성마다 소결 온도를 달리하였으며 소결온도에 따른 밀도 및 유전 특성의 변화보다는 조성의 변화에 의한 유전 특성을 조사하기 위하여 기초 소결 실험을 통하여 각 조성에서 최고의 밀도를 가지는 소결 온도를 택하였으며 X=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1에서 각각의 소결 온도는 1450, 1435, 1415, 1400, 1350°C이다.

그림 2는  $X(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_3 - (1-X)(\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_3$  세라믹스의 XRD 분석 결과이다. 기본 구성 화합물 모두 페로브스카이트 구조로서  $(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_3$ 와  $(\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_3$ 는 입방정 구조를 가지고 가지는 것으로 알려져 있고<sup>3)</sup> 이들 고용체 역시 완전한 페로브

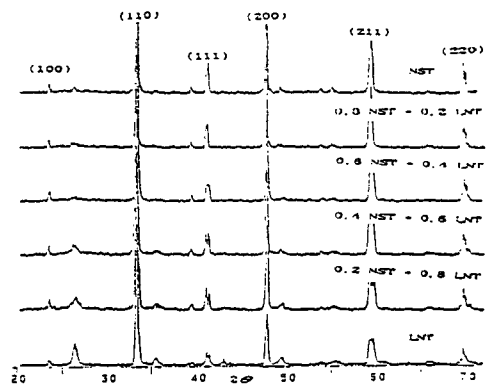


그림 2.  $X(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_4 - (1-X)(\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_4$  세라믹스의 조성 변화에 따른 XRD 형태

Fig. 2. XRD patterns of  $X(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_4 - (1-X)(\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_4$  ceramics as function of composition .

스카이트 결정 구조를 나타냄을 볼 수 있으며 이차 상에 의한 회절선은 볼 수 없었다. 또한, (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 세라믹스의 Li와 Nd 이온들의 규칙 배열에 기인한 회절 피크들은 분명하게 보이지 않은 반면 (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 양이 증가함에 따라 Li 와 Na,Nd, Sm 이온들의 치환 및 허용인자의 증가에 의해 격자의 왜곡이 감소되어 피크가 이동함을 볼 수 있다.

그림 3은 그림 2의 XRD 결과로부터 구한 격자상수로서 (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>의 격자 상수는 4.901이고 (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>의 경우 3.820로서 (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>의 양이 증가함에 따라 거의 직선적으로 변화함을 볼 수 있으며 이와 같은 결과는 두 화합물이 고용체를 이루고 있음을 보여준다.

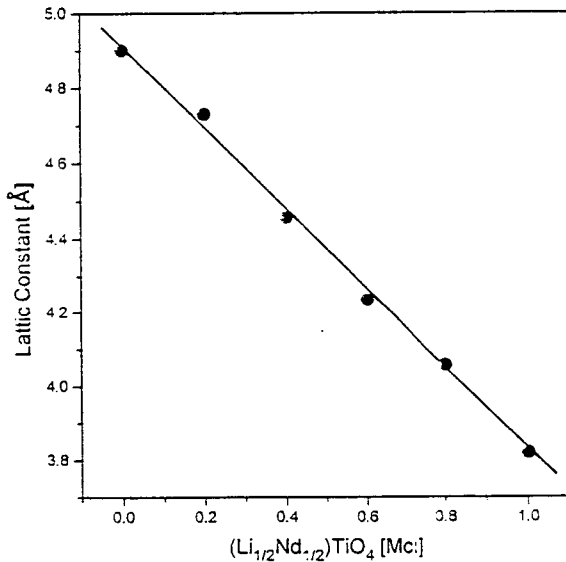


그림 3. X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> 세라믹스의 조성 변화에 따른 격자상수  
Fig. 3. Lattice constant of X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> ceramics as function of composition

그림 4는 X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 세라믹스의 밀도와 기공을 변화로서 겉보기 밀도의 경우, (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>의 첨가량이 증가함에 따라 소결 밀도가 감소함을 볼 수 있는 데 이와 같은 결과는 (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>보다 (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 분자량이 작기 때문이다. 그러나 X=0.2, 0.8에서는 밀도가 증가하는데, 이것은 그림 5의 미세구조 사진에 나타나듯이 입방정 형태의 큰 결정립과 비교적 작은 결정립들이 조밀하게 충전되어 기공이 적어짐에 따라

밀도가 증가되는 것으로 예상된다. 이론 밀도의 경우는 격자상수와 동일한 경향을 보이며 이는 Na 이온 자리에 이온 반경이 작은 Li 이온이 치환되므로 격자 구조가 변화되어 나타나는 결과이다. 기공율은 이론 밀도 ρ<sub>th</sub>와 겉보기 밀도 ρ를 이용하여 다음식으로 구하였으며 X=0.2에서 가장 적은 값을 볼 수 있는 데 이와 같은 결과는 앞서 설명한 밀도의 경향과 유사함을 볼 수 있다.

$$Porosity (\%) = \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_{th}} \right) \times 100$$

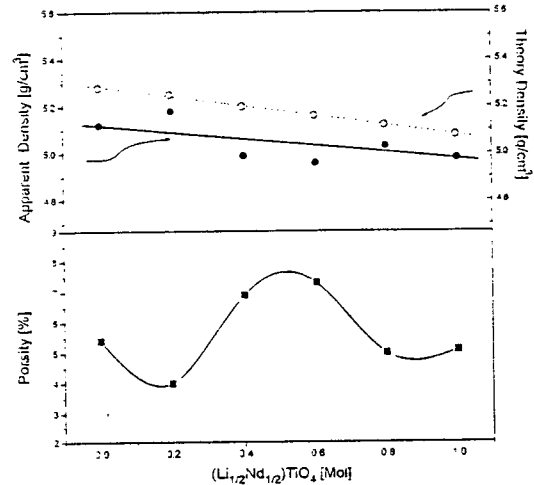


그림 4. X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> 세라믹스의 조성 변화에 따른 밀도 및 기공율  
Fig. 4. Density and porosity of X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> ceramics as function of composition .

그림 5는 X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 세라믹스의 미세 구조로서 (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>의 경우 5 ~ 10 μm와 2 ~ 3 μm의 결정립들이 불균일하게 분포하고 있으며 (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>의 미세구조는 2 ~ 5 μm 크기로 직사각형태의 결정립과 비교적 둥근 형태의 작은 결정립이 조밀하게 충전되어있다. 또한, (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>의 첨가량에 따른 결정립의 형태가 부피분율<sup>10)</sup>을 따름을 볼 수 있으며 X=0.4 ~ 0.6에서는 Li 이온이 결정립으로 확산되어 과도한 입성장이 진행됨에 따라 결정립간에 3차원적 구조를 형성하여 기공이 다수 존재함을 볼 수 있다.

일반적으로 다상이 존재하는 세라믹스에서 유전율의 변화는 각상의 유전율과 부피분율 그리고 기공

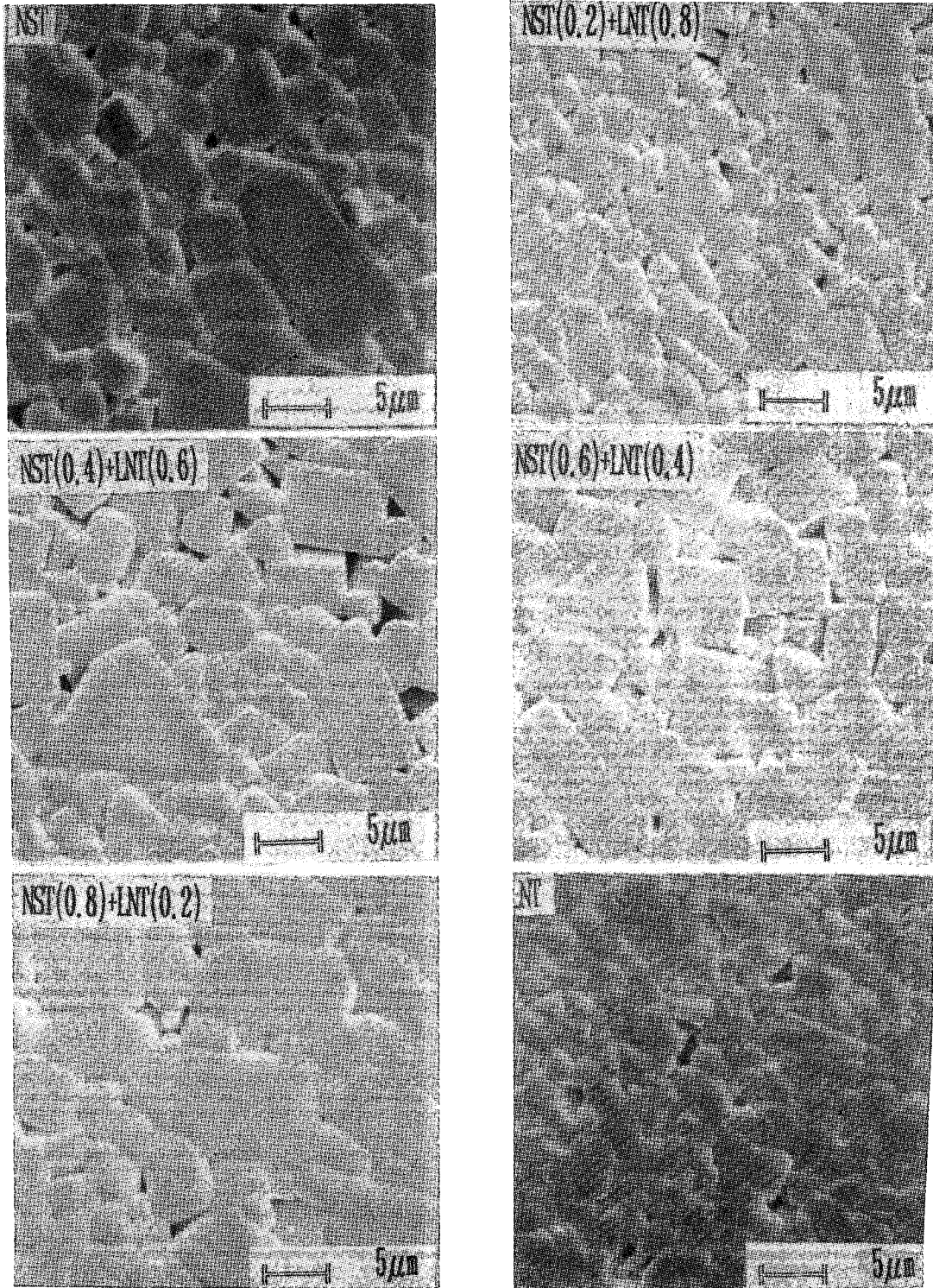


그림 5.  $X(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_4 - (1-X)(\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_4$  세라믹스의 조성 변화에 따른 미세구조  
Fig. 5. SEM photographs of  $X(\text{Na}_{1/2}\text{Sm}_{1/2})\text{TiO}_4 - (1-X)(\text{Li}_{1/2}\text{Nd}_{1/2})\text{TiO}_4$  ceramics as function of composition.

및 결합에 영향을 받으며 특히 세라믹스내에 소량 포함되는 기공의 경우 유전율에 영향을 크게 미치지 못하는 반면 기공이 늘어나 연결 기공을 가지면 유전율은 직렬 혼합 법칙에 의해 크게 감소되는 것으로 알려져 있다<sup>10</sup>.

이와같은 영향을 고려하여 본 실험에서는 X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 세라믹스의 유전율( $\epsilon_r$ )과 기공율(P)을 보정한 유전율( $\epsilon_{cor}$ )을 그림 6에 나타냈으며 기공율을 보정한 유전율은 다음식으로 계산하였다.

$$\epsilon_r = \frac{(100 - P) \epsilon_{cor} \left( \frac{2}{3} + \frac{1}{3 \epsilon_{cor}} \right) + P}{(100 - P) \left( \frac{2}{3} + \frac{1}{3 \epsilon_{cor}} \right) + P}$$

유전율의 측정 결과 조성 변화에 대한 유전율의 변화는 직선으로 나타나지 않았으며 특히, 기공율이 적은 X=0.2,0.4경우에는 유전율이 다소 증가함을 볼 수 있다. 반면에 기공율을 보정한 유전율의 경우 측정치보다 유전율이 증가하고 변화 양상이 거의 직선적으로 변화되었으며 일반적인 세라믹스와 같이 유전율의 변화는 각상의 유전율과 부피분율 및 기공에 따름을 볼 수 있다.

그러나 X=0.2,0.4경우는 측정된 유전율에서 유전율

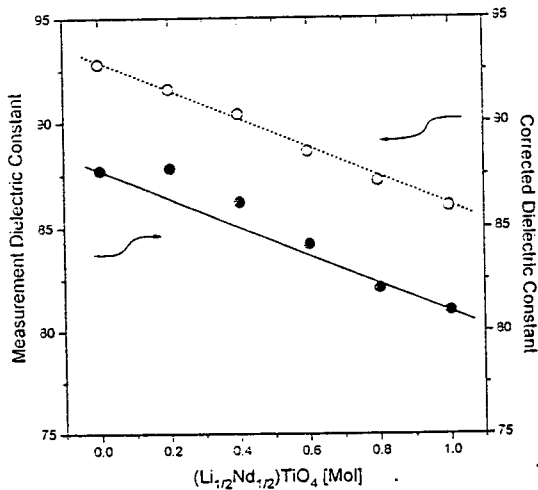


그림 6. X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> 세라믹스의 조성 변화에 따른 유전율

Fig. 6. Dielectric constant of X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> ceramics as function of composition.

이 높이 나타나는 것으로 보아 기공율에 의한 유전율의 상승보다는 Na 대신에 치환되는 Li 이온에 의한 부분적인 격자 왜곡에 의해 이온 변위가 커지므로하여 나타나는 결과로 예상된다.

그림 7은 X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 세라믹스의 첨가량에 따른 품질계수 변화를 나타낸 그림으로 품질계수가 작은 (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>를 증가할수록 감소하는 경향을 보인다. 일반적으로 세라믹스 유전체에서의 손실은 결정립의 격자 빈자리, 불순물등에 의한 점결합과 입계, 기공, 이차상등의 불균질한 미세구조로 인해서 일어나게 되므로 유전율이나 공진주파수 온도계수와 달리 예측하는 것이 어렵다.

특히, X=0.2인 경우에는 품질계수가 급격히 저하됨을 볼 수 있으며 이와 같은 결과는 Na 대신에 치환되는 Li이온에 의한 부분적인 격자 왜곡에 의해 유전율의 상승하여 이온의 평형 위치로부터 변위가 커지므로하여 이에 수반되는 내부 마찰에 의한 손실에 의한 것으로 예상된다.

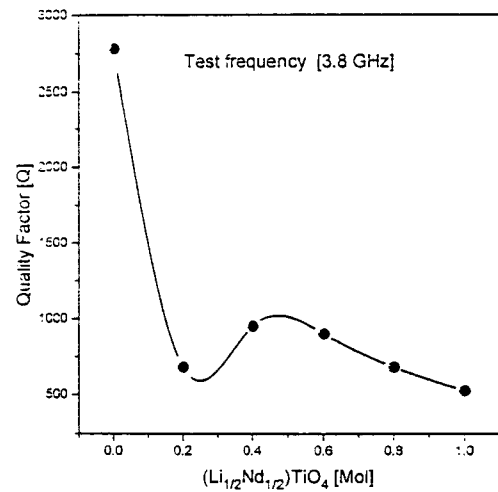


그림 7. X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> 세라믹스의 조성 변화에 따른 품질계수

Fig. 7. Quality factor of X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> ceramics as function of composition.

그림 8은 X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 세라믹스의 첨가량에 따른 공진주파수 온도계수의 변화로서 구성 화합물중 (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>는 +215 ppm/°C 이고 (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>는 -312ppm/°C 으로서 (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>양이 증가할수록 (+)에서 (-)로 거

의 직선적으로 감소하며 X=0.6에서 공진주파수 온도계수가 0에 가까운 2ppm/°C을 얻을 수 있었다.

이상의 결과로부터 X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>에서 첨가량에 따라 공진주파수 온도계수로 조절할 수 있음을 알 수 있었으며 X=0.6조성에서 유전을 86.2, 품질계수 950 (at 3.8GHz) 그리고

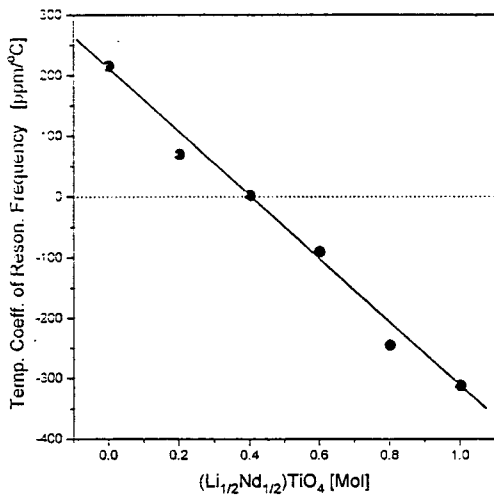


그림 8. X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> 세라믹스의 조성 변화에 따른 공진주파수의 온도계수

Fig. 8. Temperature coefficient of resonant frequency of X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>4</sub> ceramics as function of composition.

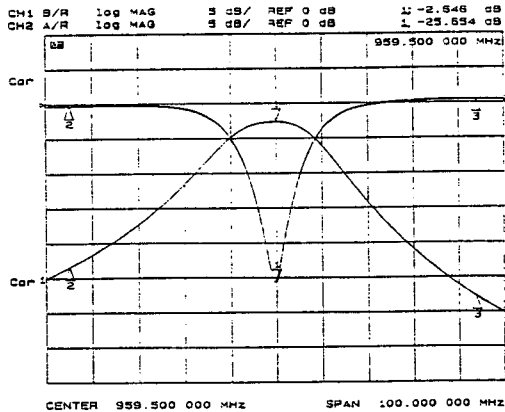


그림 9. 대역통과 필터의 전송 및 반사 특성

Fig. 9. Transmission and reflection properties of the band-pass filter

공진주파수 온도계수가 2ppm/°C인 마이크로파 유전체 재료를 얻을 수 있었다.

그림 9는 이상의 결과로부터 얻은 0.6(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> - 0.4(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>조성을 이용하여 6 × 6 mm의 유전체 공진기를 제작하여 은 코팅을 한후 공진기의 한면을 연마하여 λ/4 TEM모드 공진기를 제작한 후 2-pole 대역통과 필터를 제작한 결과이다. 중심주파수는 959.5[MHz]이고 대역폭은 10[MHz]인 대역통과 필터의 반사손실이 25[dB]이하로서 임피던스 매칭이 만족한 상태에서 삽입손실이 2.646[dB]로서 현재 실용화된 2.5[dB]이하에는 못 미치지만 첨가제등을 이용하여 품질계수를 1000정도로 향상시킨 실용화가 가능할 것으로 예상된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>-(1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>계의 제조 조건과 마이크로파 유전특성에 관해 조사하였다. (Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>는 하소조건 1000°C, 2시간 및 소결조건 1450°C, 2시간에서 품질계수가 2780으로 최대값을 가졌으며, 이때의 유전을 및 온도계수는 각각 88.2, 215ppm/°C이었다. 여기에 (Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>를 합성한 X(Na<sub>1/2</sub>Sm<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> - (1-X)(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub>계에서는 공진주파수 온도계수의 조절이 가능하였으며 X=0.6조성에서 유전을 86.2, 품질계수 950 (at 3.8GHz) 그리고 공진주파수 온도계수가 2ppm/°C인 마이크로파 유전체 재료를 얻을 수 있었다. 또한 본 조성을 이용하여 유전체 대역 통과 필터를 제작한 결과 삽입손실이 2.646 [dB]였다.

#### ※ 감사의 글

본 논문은 명지대학교 '97년도 교내 연구비 지원으로 연구된 내용으로서 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. H.Ouchi and S.Kawashima, "Dielectric Ceramics for Microwave Application", Jpn. J. Phys., 24 (suppl. 24-2), pp.60-64, 1985.
2. W.Wersing, "Electronic Ceramics", Elsevier Applied Sci, pp.67-119, 1991.
3. T.Hisakazu, B.Yoko, E.Kenichi, O.Yasuhiko, S.Ken-ichi, K.Kazuhiko and N.Shoichi, "Dielectric Characteristics of (A<sup>1+</sup><sub>1/2</sub>B<sup>3+</sup><sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> Ceramics at Microwave Frequencies", Jpn. J. Appl. Phys 30

- (9B),pp.2339-2342, 1991.
4. K.Kenichi,B.Yoko,T.Hisakazu,S.Kenichi and N. Shoichi,"Microwave Dielectric Properties of CaO-Li<sub>2</sub>O-Ln<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> Ceramics," Jpn.J.Appl. Phys 32(9B),pp.4319-4322, 1993.
  5. 윤중락, 홍석경, 최 환, 김경용, "(Li<sub>1/2</sub>Nd<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 세라믹스의 고주파 유전 특성," 전기학회 논문지 42권 10호,pp.64-69, 1993
  6. B.W.Hakki and P.D.Coleman, "A Dielectric Resonator Method of Measuring Inductive Capacities in the Millimeter Range", IRE Trans. on Microwave Theory Tech., MTT-8, pp.402-410, 1960.
  7. Y.Kobayashi and S.Tanaka, "Microwave Measurement of Dielectric Properties of Low-Loss Materials by the Dielectric Rod Resonator Method", IEEE Trans.on Microwave Theory and Techniques, MTT-33(7), pp.586-592, 1985.
  8. J.Takahashi, K.Kageyama and T.Hayashi, "Dielectric Properties of Double-Oxide Ceramics in the System Ln<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> (Ln=La,Nd and Sm)," Jpn.J.Appl.Phys 30(9B),pp.2354-2358, 1991.
  9. 윤중락, 홍석경, 김경용, "(Na<sub>1/2</sub>La<sub>1/2</sub>)TiO<sub>3</sub> 세라믹스의 고주파 유전 특성," 한국재료학회 논문지 3 권 5호,pp.4764-481, 1993
  10. D.A.Payne and L.E.Cross, "Microstructure Property Relations for Dielectric Ceramics: I. Mixing of Isotropic Homogeneous Liner Dielectric," *Ceramic Microstructure* 76.Ed. by R.M.Fulrath and J.A.Park. Westview Press, Boulder,Co, pp. 584-5971977

**저자소개**



**윤중락**

1965년 9월 18일생. 1993년 명지대 공대 전기공학과 졸업(석사). 1992년 8월-'93년 12월 한국과학기술원 세라믹공정실 근무. 1994년-'96년 한국쌍신전기 선임연구원. 현재 삼화콘덴서 연구소 주임연구원. 1994년 8월-현재 명지대 전기공학과 박사과정.



**김경용**

1951년 5월 19일생. 1976년 고려대 공대 재료공학과 졸업(석사). 1983년 노스캐로라이나 주립대 재료공학과 졸업(박사). 1984년 플로리다 주립대 Post. Dr. 1985년-현재 한국과학기술연구원 세라믹스 공정연구실 책임연구원.



**이현용**

1949년 7월 25일생. 1977년 고려대 공대 전기공학과 졸업(석사). 1983년 동 대학교 전기공학과 졸업(공학). 1992년 9월-'94년 7월 영국 Univ. of Scheffield 교환교수. 1979년-현재 명지대학교 전기공학과 교수.