

# 소결온도에 따른 0.7Ba(Mg,Ta)O<sub>3</sub>-0.3Ba(Co,Nb)O<sub>3</sub> 세라믹스의 마이크로파 유전특성에 관한 연구

論 文

50C-3-2

## Microwave Dielectric Properties of 0.7Ba(Mg,Ta)O<sub>3</sub>-0.3Ba(Co,Nb)O<sub>3</sub> Ceramics with Sintering Temperature

李文基\* · 金南永\*\* · 李永熙\*\*\*

(Moon-Kee Lee · Nam-Young Kim · Young-Hie Lee)

**Abstract** - 0.7Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-0.3Ba(Co<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> ceramics were prepared by the conventional mixed oxide method. The ceramics were sintered at the temperature of 1500~1575[°C] for 5 hours in air. The microwave dielectric properties of the specimens were investigated with sintering temperature. The 0.7BMT-0.3BCN ceramics showed typical XRD patterns of the complex perovskite structure. Dielectric constant and quality factor were increased with increasing the sintering temperature. In the case of the specimens sintered at 1575[°C] for 5 hours, dielectric constant, quality factor and temperature coefficient of resonant frequency were good values of 28, 23545 at 10[GHz] and -1.2 [ppm/°C], respectively.

**Key Words** : 0.7Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-0.3Ba(Co<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>, Dielectric constant, Quality factor, Temperature coefficient of resonant frequency

### 1. 서 론

최근 인공위성을 이용한 통신 기술은 방송서비스나 트렁크 라인용의 장거리 전송 등에 주로 이용되어 왔으나 수 년 전 부터는 산업의 고도화에 따른 위성 사용자의 요구와 디지털 위성통신 기술의 발달에 의하여 VSAT(very small aperture terminal)을 이용한 위성 데이터 통신시스템이 출현하여 점차 확장되고 있다.[1]

VSAT시스템에 의한 데이터 통신망은 위성통신 고유의 장 점을 그대로 갖추어 높은 전송 신뢰도와 낮은 전송비용을 갖 는 망 구축이 가능하고, 망의 사용 비용을 안정화시킬 수 있 으며, 망의 추가 및 삭제가 간편하여 망 운용관리가 용이한 장점과 시스템의 지연, 성능 및 신뢰도 등이 기존 지상 데이 터 통신망에 뒤지지 않기 때문에 유럽 및 미주 지역에서 VSAT 망은 큰 신장세를 보이고 있다.[2] RF 부품 중 유전 체 공진기는 안테나 공용기, 대역통과필터, 발진기 등에 사용 되고 있으며, 다른 소자들에 비해 우수한 주파수의 온도안정 성, 저손실, 고신뢰성 및 열적 안정성 등의 특징이 있어 현재 셀룰러 이동통신 단말기의 핵심부품으로 이용되고 있다. 유 전체 공진기용 재료는 유전율 및 품질계수에 따라 복합 페로 브스카이트계[3], Ba<sub>2</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub> 또는 (Zr,Sn)TiO<sub>4</sub>계[4][5], BaO-Ln<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>계 재료로 크게 구분된다.[6] 초기 마이크로파 유

전체 재료에 대한 연구는 통신기기의 소형화, 집적화 추세에 따라 고유전율 재료에 집중되어져 왔다. 그러나, 상용 주파수 가 10GHz대 이상으로 높아지고 통신시스템이 디지털화되어감 에 따라 고품질계수를 갖는 Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>[BMT]와 Ba(Zn<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>[BZT]계 등의 복합 페로브스카이트 세라믹스 의 필요성이 급증하고 있다. 복합 페로브스카이트 재료[일반 식 A(B<sub>1/3</sub>B'<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> A=Ba,Sr, B=Mg,Zn,Mn,Ni,Co,Ca, B'=Nb,Ta ]의 마이크로파 유전특성에 대한 연구는 Kawashima 등[7]이 Ba(Zn<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>[BZT], Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>[BMT]의 소결시간을 조절함으로써 유전손실을 향상시킬 수 있다는 보고를 한 후 다른 복합 페로브스카이트 재료와 그 고용체의 마이크로파 유전특성 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, Tamura 등[8]과 Wakino 등[9]은 BZT, BMT에 각각 BaZrO<sub>3</sub> 와 SnO<sub>2</sub>을 첨가하여 유전손실이 향상된 Ba(Zr,Zn,Ta)O<sub>3</sub>, Ba(Sn,Mg,Ta)O<sub>3</sub>를 보고하였다. 이러한 재료의 마이크로파 유전특성을 향상시키기 위해서는 원자의 치환, 결합제어, 원 자배열의 규칙성을 증가시켜야 하는 것으로 알려져 있다. 그 러나 1600°C 이상의 소결온도와 장시간의 열처리 공정등의 큰 문제점을 가지고 있어 그 개선이 절실히 요구되고 있다. 실제적인 응용을 위해서는 소결온도의 감소와 B-site ordering과 미세구조에 크게 의존하는 마이크로파 유전특성 을 조절하기 위한 연구가 계속되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 우수한 마이크로파 유전특성을 갖는 BMT에 음의 공진주파수의 온도계수를 갖는 Ba(Co<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> [BCN]을 고용시킨 0.7Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-0.3Ba(Co<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> [이하 0.7BMT-0.3BCN] 세라믹스를 제작하였으며, 소결온도 에 따른 구조 및 마이크로파 유전특성을 조사하여 1600[°C] 이하의 온도에서 소결 가능한 고품질계수의 VSAT용 마이크 로파 유전체를 개발하였다.

\* 正 會 員 : 光云大 電子材料工學科 碩士課程

\*\* 正 會 員 : 光云大 電子工學部 副教授 · 工博

\*\*\* 正 會 員 : 光云大 電子材料工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2000年 9月 18日

最終完了 : 2001年 2月 9日

## 2. 실험

본 연구에서는 VSAT용 Ku대역 마이크로파 유전체 공진기의 요구조건(유전율 27~30, 품질계수>18,000(at 10GHz), 공진주파수의 온도계수 2~6[ppm/°C])을 만족시키기 위하여 시편의 조성을 0.7Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-0.3Ba(Co<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>으로 선택한 후, 일반소성법으로 시편을 제작하였다. 출발원료로 BaCO<sub>3</sub>, MgO, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CoO, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(순도 99.9% 이상)를 사용하였으며, 조성식[Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>, Ba(Co<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>]에 따라 출발물질을 각각 평량한 후, 아세톤을 분산매로 사용하여 지르코니아볼로 24시간 동안 각각 혼합분쇄하였다. 혼합분쇄된 BMT와 BCN 혼합분말을 각각 100[°C] 전기오븐에서 24시간 동안 건조하였으며, 건조 후 각각 알루미늄 도가니에 넣고 1000[°C]에서 2시간 동안 1차 하소하였다. 1차 하소한 BMT와 BCN 분말을 조성비에 따라 알루미늄 유발에 넣어 혼합분쇄한 후, 예비반응과 혼입유기물을 제거하기 위하여 1200[°C]에서 2시간 동안 2차 하소하였다. 2차 하소한 BMT-BCN 분말을 원통형 금형(φ=6.8[mm])에 넣고 1000[kg/cm<sup>2</sup>] 압력으로 성형하였으며, 성형한 시료를 1500~1575[°C]에서 5시간동안 소결하였다. 이상의 제조공정은 그림 1과 같다.

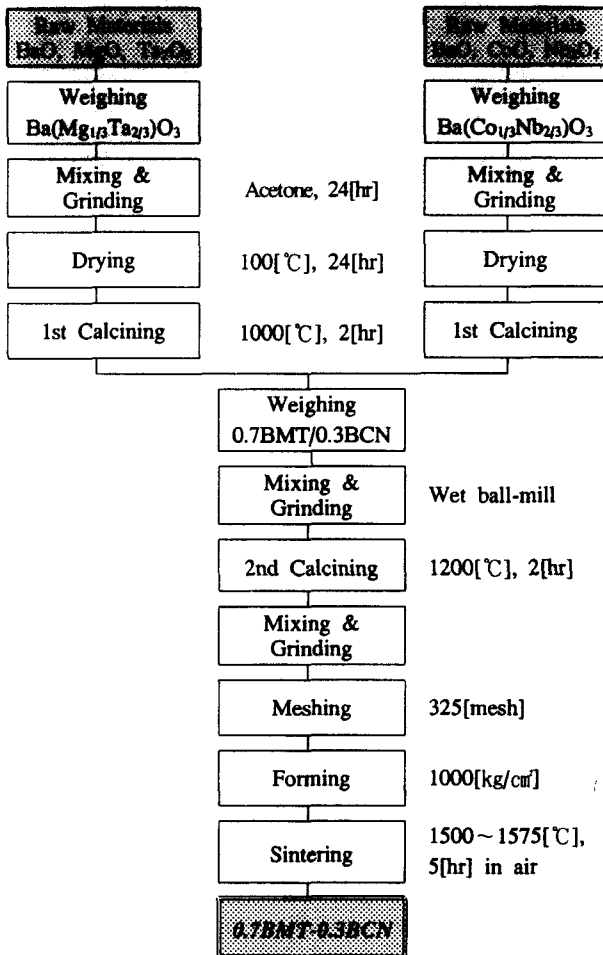


그림 1. 0.7BMT-0.3BCN 세라믹스의 제조공정  
Fig. 1. Manufacturing process of 0.7BMT-0.3BCN ceramics

혼합 분쇄한 시료의 가열과정 중에서 발생하는 물리, 화학적 변화는 시차열분석(DTA) 및 열중량분석(TGA)을 통해 관찰하였다. 또한, X-선 회절분석을 통하여 소결온도에 따른 결정구조의 변화 및 고용체 형성과정 등을 조사하였다.

제작된 0.7BMT-0.3BCN 세라믹스 공진기의 마이크로파 유전특성은 Hakki와 Coleman[10]에 의해 제시되고 Kobayashi 등[11]이 보정한 유전체 공진기법[12]으로 Network Analyzer(HP 8720D)를 사용하여 측정하였으며, 공진주파수의 온도계수(Temperature coefficient of resonant frequency,  $\tau_f$ )는 측정장치(Zig)를 전기오븐에 넣고 25~60[°C]까지 온도 변화에 따른 공진주파수의 변화량을 측정 한 후, 식(1)을 이용하여 계산하였다.[13]

$$\tau_f = \frac{(f_{60} - f_{25})}{(T_{60} - T_{25})} \times \left(\frac{1}{f_{25}}\right) \quad (1)$$

여기서,  $f_{25}$  : 25[°C]에서의 공진주파수  
 $f_{60}$  : 60[°C]에서의 공진주파수,  
 $T_{25}$  : 25[°C],  $T_{60}$  : 60[°C]

## 3. 결과 및 고찰

BaCO<sub>3</sub>, MgO, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 원시료를 혼합한 후 온도에 따른 물리, 화학적 변화를 관찰하고자 25[°C]~1400[°C]의 범위에서 DT-TG 분석을 하였으며, 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 휘발성 불순물 및 불밀 과정 중 혼입된 유기물의 연소에 의하여 310[°C]에서 발열 피크와 중량의 감소가 발생하였으며, 시료 자체에 포함된 CO<sub>2</sub>의 휘발에 의해 650[°C]에서 1200[°C] 까지 약 14.5%의 중량감소가 발생하였다. 829[°C] 및 973[°C]에서의 흡열피크는 BaO와 MgO 및 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 반응에 의한 BMT의 고용체 형성에 의한 것으로 사료된다.

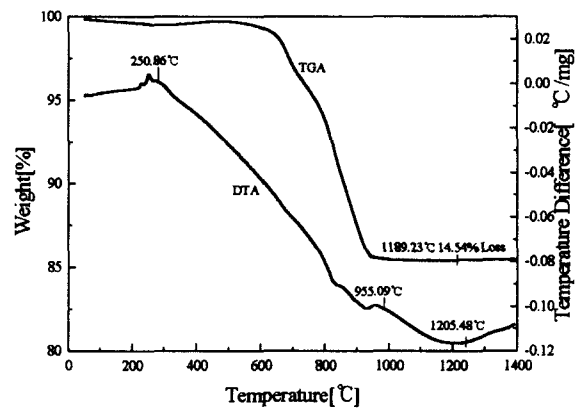


그림 2. Ba(Mg,Ta)O<sub>3</sub> 분말의 DT-TG 분석  
Fig. 2. DTA and TGA patterns of the Ba(Mg,Ta)O<sub>3</sub> powder.

그림 3은 BCN 분말의 DT-TG 분석 결과이다. 250[°C]의 발열 피크와 중량의 감소는 휘발성 불순물 및 유기물의 연소에 의해 발생한 것이며, 600[°C]에서 1000[°C]까지 넓은 온도 범위에 걸친 중량 감소는 시료 자체에 포함된 CO<sub>2</sub>의 휘발에 의한 것으로 생각된다. 955[°C]에서의 흡열피크는 BaO와 CoO 및 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 반응에 의한

BCN의 고용체 형성에 의한 것으로 생각되며 1000[°C]이상에서 큰 중량손실은 관찰되지 않았다.

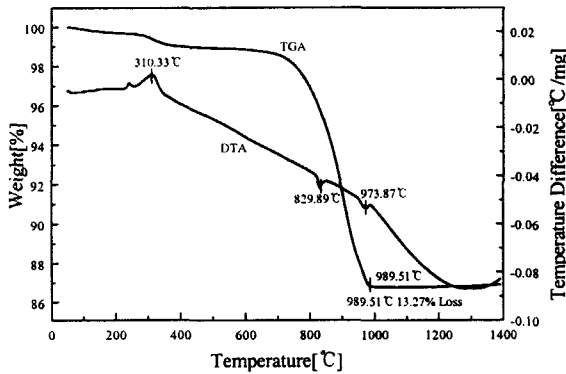


그림 3. Ba(Co,Nb)O<sub>3</sub> 분말의 DT-TG 분석  
Fig. 3. DTA and TGA patterns of the Ba(Co,Nb)O<sub>3</sub> powder.

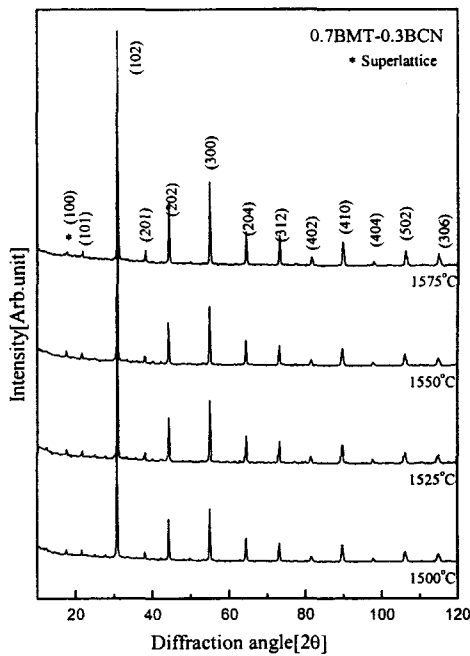


그림 4. 소결온도에 따른 0.7BMT-0.3BCN 시편의 X-선 회절모양  
Fig. 4. X-ray diffraction patterns of the 0.7BMT-0.3BCN specimens with sintering temperature.

소결온도 변화에 따른 0.7BMT-0.3BCN의 X-선 회절분석 결과를 그림 4에 나타내었다. 소결온도가 증가함에 따라 (101), (102), (201), (202) 및 (212) 등의 회절피크가 확인되어 복합 페로브스카이트상으로 형성된 것을 확인할 수 있었다. 초격자 반사면인 (100)면의 존재로부터 BMT와 BCN의 고용체 형성과정을 통한 규칙화가

진행되고 있음을 확인하였으나, kawashima 등[7]이 보고한 B-site의 1:2 규칙화를 나타내는 (422)면과 (226)면의 X-선 회절선 분리는 나타나지 않았다. 이는 장시간 열처리를 통하여 규칙화가 가능한 복합 페로브스카이트 물질에서 B-site 이온들의 규칙화가 완전히 이루어지지 않았음을 나타내었으며, 소결시간의 증가를 통하여 개선 가능할 것으로 생각된다.

소결온도에 따른 0.7BMT-0.3BCN 시편의 파단면을 SEM으로 조사하여 그림 5에 나타내었다. 1500[°C]에서 소결한 시편의 경우 침상 결정립(needle-like phase) 형태를 이루었으며, 소결온도가 증가함에 따라 결정립이 성장하고 기공이 감소하였으며, 1575[°C]에서 소결한 시편의 경우 기공이 없는 매우 치밀한 구조와 1μm이상의 결정립 크기의 우수한 미세구조적 특성을 나타내었다.

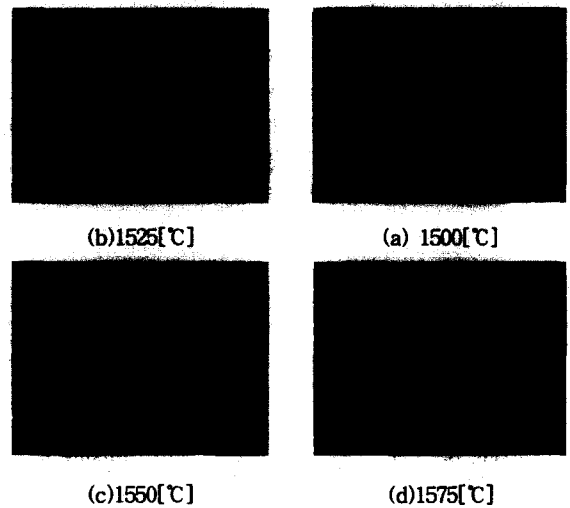


그림 5. 소결온도에 따른 0.7BMT-0.3BCN 시편의 미세구조 특성  
Fig. 5. Microstructure of the 0.7BMT-0.3BCN specimens with sintering temperature.

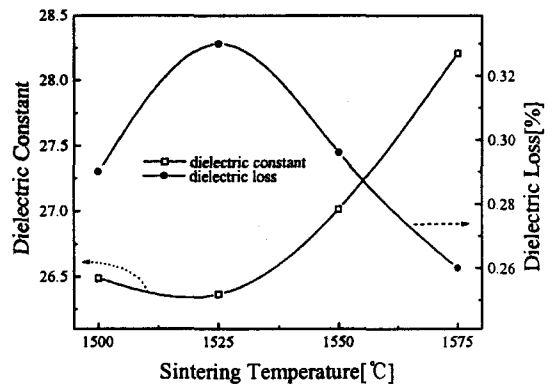


그림 6. 소결온도 변화에 따른 0.7BMT-0.3BCN 시편의 유전특성  
Fig. 6. Dielectric properties of the 0.7BMT-0.3BCN specimens with sintering temperature.

소결온도에 따른 0.7BMT-0.3BCN 시편의 유전특성을 그

립 6에 나타내었다. 시편의 유전율은 BMT의 유전율(≈25)보다 높은 유전율(≈31)을 갖는 BCN에 의하여 27~28.5의 유전율을 나타내었으며, 1525[°C]에서 약간의 유전율 감소와 유전손실의 증가가 나타났다. 이는 1500[°C]이하에서 주도하던 BCN상의 과잉열처리로 인하여 감소한 것으로 생각된다. 전 소결온도 범위에서 0.35% 이하의 유전손실 특성을 나타내었다.

소결온도 및 조성에 따른 0.7BMT-0.3BCN시편의 무부하 품질계수 특성을 고찰하기 위하여 HP 8720D Network Analyzer에 나타난 TE<sub>011</sub> 공진 피크로부터 공진주파수, 3[dB] 대역폭을 측정하였으며, 그 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 소결온도 변화에 따른 0.7BMT-0.3BCN 시편의 공진특성  
Table 1. Resonant properties of the 0.7BMT-0.3BCN specimens with sintering temperature

Composition (BMT/BCN)	Sintering Temp. [°C]	$f_r$ [GHz]	Q at 10[GHz]	TCRF $\tau_f$ [ppm/°C]
0.7/0.3	1500	10.95	11996	-1.2
	1525	11.05	12216	
	1550	10.99	17267	
	1575	10.85	23545	

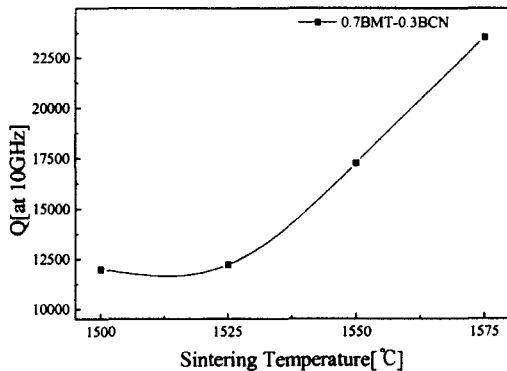


그림 7. 소결온도에 따른 0.7BMT-0.3BCN 시편의 품질계수

Fig. 7. Quality factor of 0.7BMT-0.3BCN specimens with sintering temperature.

다상(multi-phase)으로 구성된 세라믹스에서 공진주파수의 온도계수는 각 구성상들의 체적비에 의존하여 대수 혼합 법칙(logarithmic mixing rule)에 따라 결정되는 것으로 보고되어 있다.[14][15] 보고된 바와 같이 소결온도의 변화에 따라 시편의 공진주파수의 온도계수의 변화는 나타나지 않았으며, 본 연구에서 실험한 BMT의 공진주파수의 온도계수는 +4.4ppm/[°C]의 값을 가지며, BCN은  $\tau_f = -6\text{ppm}/[^\circ\text{C}]$ 의 값을 갖고 있어 0.7BMT-0.3BCN의 경우, 대수 혼합 법칙을 적용하면 공진주파수의 온도계수는 +1.28ppm/[°C] 이어야하나 1600[°C] 이상의 소결온도를 갖는 BMT상의 형성 및 B-site

의 ordering이 완전히 이루어지지 않아  $\tau_f = -1.2\text{ppm}/[^\circ\text{C}]$ 의 공진주파수의 온도계수 특성을 나타내었다.

소결온도 변화에 따른 0.7BMT-0.3BCN 시편의 품질계수 특성을 그림 7에 나타내었다. 모든 시편에서 10,000[at 10GHz] 이상의 우수한 품질계수 특성을 나타내었으며, 1550[°C] 이상에서 소결한 시편의 경우, 15,000[at 10GHz] 이상, 그리고 1575[°C]에서 소결한 시편의 경우, VSAT용 유전체 공진기로 적용 가능한 20,000[at 10GHz]이상의 우수한 특성을 나타내었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 일반소성법으로 Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>에 Ba(Co<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>을 고용하여 0.7BMT-0.3BCN 세라믹스를 제작하여 소결온도의 변화에 따른 구조 및 마이크로파 유전특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 0.7BMT-0.3BCN 세라믹스는 복합 페로브스카이트상으로 형성되었으나, B-site의 1:2 규칙화는 완벽히 이루어지지 않았다.
2. 소결온도의 증가에 따라 0.7BMT-0.3BCN 시편의 유전율은 26.5에서 28.5로 증가하였으며, 공진주파수는 11GHz로 소결온도에 큰 변화를 나타내지 않았다.
3. 1500[°C] 이상의 온도에서 소결한 0.7BMT-0.3BCN 시편은 12,000[at 10GHz] 이상의 품질계수와 안정한 공진주파수의 온도 특성을 나타내었다.
4. 1575[°C]에서 5시간 소결한 0.7BMT-0.3BCN 시편의 유전율, 품질계수 및 공진주파수의 온도계수는 각각 28, 23,545[at 10GHz], -1.2[ppm/°C]의 우수한 특성을 나타내었다.

본 연구를 통하여 BMT의 장시간의 열처리 공정에 따른 제조의 문제점을 해결하였으며, 이와 같은 소결온도와 마이크로파 유전특성이 서로 다른 복합 페로브스카이트 구조의 물질을 고용하여 특성 및 제조공정을 개선시킬 수 있는 가능성을 제시하였다. 1575[°C]에서 5시간 소결한 0.7BMT-0.3BCN 세라믹스는 1600[°C]이하의 소결온도와 N<sub>2</sub> 등 분위기 가스가 없는 대기 중에서 제작 가능하고 20,000[at 10GHz] 이상의 고품질계수 특성을 나타내어 VSAT용 유전체 공진기의 요구 조건을 만족하였으며, 공진주파수의 온도계수를 조절하기 위하여 첨가물과 B-site의 규칙화를 진행시키는 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 산·학·연 공동기술개발 컨소시엄의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.(A10)

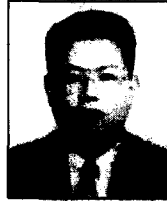
#### 참 고 문 헌

[1] Park J. H. et al., "Key Distribution for Secure VSAT Satellite Communications", IEEE Transactions on Broadcasting, V.44, N.3, pp.274~277, 1998.  
[2] J. B. Shealy, T. Jackson et."A 2 watt ku-band linear (multi-carrier) transmit module for vsat applications", Proceedings of the 1999 IEEE MTT-S International

Microwave Symposium Digest-Volume 3,  
pp.1055~1058, 1999.

- [3] S. Nomura, "Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> Ceramics with Temperature-Stable High Dielectric Constant and Low Microwave Loss", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.21, No.10, pp.L624~L626, 1982.
- [4] J. K. Plourde, "Ba<sub>2</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub> as a Microwave Dielectric Resonator", J. Am. Ceram. Soc., Vol.58, No.9-10, pp.418~420, 1975.
- [5] K. Wakino, "Microwave Characteristics of (Zr,Sn)TiO<sub>4</sub> and BaO-PbO-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> Dielectric Resonator", J. Am. Ceram. Soc., Vol.67, No.4, pp.278~281, 1984.
- [6] S. Nishigaki, "Microwave Dielectric Properties of (Ba,Sr)O-Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> Ceramics", Am. Ceram. Soc. Bull., Vol.66, No.9, pp.1405~1410, 1987.
- [7] S. Kawashima et al., "Ba(Zn<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> Ceramics with Low Dielectric Loss at Microwave Frequency", J. Am. Ceram. Soc., Vol.66 No.6, pp.421, 1985.
- [8] H. Tamura et al., "Improved High-Q Dielectric Resonator with Complex Perovskite Structure", J. Am. Ceram. Soc., Vol.67, No.4, c-59, 1984.
- [9] K. Wakino et al., "Dielectric Resonator Materials and Their Application for Mobile Communication Systems", Br. Ceram. Trans. J., Vol.89, No.2, pp.39, 1990.
- [10] B. W. Hakki, "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.
- [11] Y. Kobayashi, "Resonant Modes of Dielectric Rod Resonator Short-Circuited at Both Ends by Parallel Conducting Plates", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. Mtt-28, No.10, pp.1077~1085, 1980.
- [12] Y. Kobayashi, "Microwave measurement of Dielectric Properties of Low-Loss materials by the Dielectric Rod Resonator Method", IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, Vol. Mtt-33, No.7, pp.586~592, 1985.
- [13] M. Furuya, "Microwave Dielectric Properties for Ba(Mg<sub>1/3</sub>Ta<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-A(Mg<sub>1/2</sub>W<sub>1/2</sub>)O<sub>3</sub>(A=Ba,Sr and Ca) Ceramics", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.33, No.9B, pp.5482~5487, 1994.
- [14] J. M. Wu, "Reaction Sequence and Effect of Calcination and Sintering on Microwave Properties Of (Ba,Sr)O-Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> Ceramics", J. Am. Ceram. Soc., Vol.73, No.6, pp.1599~1605, 1990.
- [15] M. Onoda, "Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-Sr(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> Solid Solution Ceramics with Temperature-stable, High Dielectric Constant and Low Microwave Loss", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.21, No.12, p.1707, 1982.

## 저 자 소 개



이 문 기 (李文基)

1994년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업.  
1997년 광운대 산업정보대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자재료공학과 박사과정

Tel : 02-940-5164

E-mail : hayoung@explore.kwangwoon.ac.kr



김 남 영 (金南永)

1987년 광운대 공대 전자공학과 졸업. 1991년 SUNY at Buffalo 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 현재 광운대 공대 전자공학부 부교수

Tel : 02-940-5071, Fas : 02-941-5688

E-mail : nykim@daisy.kwangwoon.ac.kr



이 영 희 (李永熙)

1973년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1985~1986년 Penn. State MRL 객원연구원. 현재 광운대 공대 전자재료공학과 교수

Tel : 02-940-5164, Fax : 02-915-8084

E-mail : yhlee@daisy.kwangwoon.ac.kr