

소결온도와 BCN 조성에 따른 BMT 세라믹스의 구조 및 마이크로파 유전특성

論 文

51C-7-5

The Structural and Microwave Dielectric Properties of the BMT Ceramics with Sintering Temperature and BCN Composition Ratio

崔義善*·李文基*·柳基元**·李成甲***·李永熙§

(Eui-Sun Choi · Moon-Kee Lee · Ki-Won Ryu · Sung-Gap Lee · Young-Hie Lee)

Abstract - The microwave dielectric properties of $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ - $Ba(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ [BMT-BCN] ceramics were investigated. The specimens were prepared by the conventional mixed oxide method with the sintering temperature of $1525^{\circ}C \sim 1575^{\circ}C$. It was found that $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ [BMT] and BCN formed a solid solution with complex perovskite structure. As increasing the mole fraction of BCN, dielectric constant increased while the temperature coefficient of resonant frequency was changed from positive to negative value. The highest value of quality factor, $Q \times f_0 = 138,205GHz$, obtained in the 0.9BMT-0.1BCN ceramics sintered at $1575^{\circ}C$. In the range of $x \geq 0.4$, the dielectric constant was about 30. The 0.55BMT-0.45BCN ceramics sintered at $1525^{\circ}C$ for 5 hours showed the microwave dielectric properties of $\epsilon_r = 30.21$, $Q \times f_0 = 85,789GHz$ and $\tau_f = -2.9015ppm/^{\circ}C$.

Key Words : Quality factor($Q \times f_0$), Dielectric constant(ϵ_r), Complex perovskite structure, Temperature coefficient of resonant frequency(τ_f)

1. 서 론

최근 산업구조가 정보통신 시스템을 주축으로 하는 고도 정보화 사회로 진행됨에 따라 고기능성을 나타내는 통신부품의 필요성이 날로 급증하고 있다.[1-3] 특히 통신주파수가 위성통신에서 사용하는 4~12GHz 외에 20GHz 이상의 K-band(18~26.5GHz)로 대폭 확장되고 통신시스템의 디지털화가 가속됨에 따라 상주파수대역에서 높은 품질계수를 갖는 복합페로브스카이트 재료[4-6] 및 이를 이용한 유전체 공진기의 필요성이 절실히 요구되고 있다. 이와 같은 재료 중 $Ba(Mg,Ta)O_3$ 세라믹은 25의 비유전율과 10GHz에서 16,800이상의 품질계수를 갖으며, $Ba(Zn,Ta)O_3$ 는 30의 비유전율과 14,000 (at 10GHz)의 품질계수를 갖는다.[7-9] ABO_3 구조를 갖는 복합페로브스카이트계 재료는 대부분 높은 품질계수와 우수한 유전적 특성을 나타내지만, 이들 화합물은 제조시 N_2 분위기에서 $1600^{\circ}C$ 이상의 소결온도를 필요로 한다. 따라서 유전특성의 개선과 더불어 소결온도를 낮추는 것이 필요하다.[10-11]

본 연구에서는 소결온도를 낮추고 품질계수특성을 향상시키기 위하여 우수한 품질계수 특성을 갖는 BMT에 낮은 소결온도를 갖는 BCN을 고평하여 $(1-x)Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O_3 - xBa(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ ($x=0.1 \sim 0.5$) 세라믹을 제조하였으며, 소결온도와 조성에 따른 구조적 특성과 마이크로파 유전특성을 조사하여 마이크로파 소자로서의 응용가능성을 조사하였다.

2. 실험

2.1 시편의 제조

본 연구에서는 시편의 조성을 $(1-x)BMT-xBCN$ ($x=0.1 \sim 0.5$)으로 선택한 후 일반소성법으로 시편을 제조하였다. 출발원료로 $BaCO_3$, MgO , Ta_2O_5 , CoO , Nb_2O_5 를 사용하여 먼저 BMT와 BCN을 화학적 양론비에 맞게 각각 평량한 후, 아세톤을 분산매로 지르코니아 불을 사용하여 24시간동안 혼합분쇄하였다. 혼합분쇄된 BMT와 BCN을 각각 $100^{\circ}C$ 전기오븐에서 24시간동안 충분히 건조한 후 알루미늄 도가니에 넣고 $1300^{\circ}C$ 와 $1100^{\circ}C$ 에서 5시간동안 1차 하소하였으며, 하소시 온도상승율은 $5^{\circ}C/min$ 로 하였다. 1차 하소한 BMT와 BCN 분말을 물비에 따라 혼합한 후 다시 24시간동안 혼합분쇄 및 건조하였으며, $1300^{\circ}C$ 에서 2시간동안 2차 하소하였다. 2차 하소한 BMT-BCN 분말을 원통형 금형($\phi=12mm$)에 넣고 $1000kg/cm^2$ 의 압력으로 성형한 후 $1525^{\circ}C \sim 1575^{\circ}C$ 에서 5시간동안 소결하여 시편을 제조하였다. 이러한 BMT-BCN 세라믹스의 제조공정을 그림 1에 나타내었다.

2.2 측정

혼합분쇄된 시료의 가열 과정 중에서 발생하는 물리, 화학적 변화는 시차열분석(DTA) 및 열중량분석(TGA)을 통하여 관찰하였다. 하소한 분말과 소결한 시편의 고용체 형성과정 및 결정구조의 변화를 고찰하고자 X-선 회절분석을 하였다. X-선은 $CuK\alpha_1$ ($\lambda=1.542\text{\AA}$)을 사용하였으며, 스텝폭과 주사속도는 $0.2deg.$, $10deg./min$ 로 하였다. 소결한 시편의 표면을 연마하여 열에칭을 한 후 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 결정립의 형태, 결정립계, 기공 등의 미세구조를 고찰하였다.

* 正會員 : 光云大學 電子材料工學科 博士課程

** 正會員 : 驪州大學 電子科 副教授 · 工博

*** 正會員 : 西南大學 電子電氣工學部 助教授 · 工博

§ 正會員 : 光云大學 電子材料工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2002年 4月 2日

最終完了 : 2002年 5月 6日

마이크로파 유전특성은 양면을 연마한 실린더형 시편에 대하여 Hakki와 Coleman에 의해 제시되고 Kobayashi등이[12-13] 보정한 평판형 공진기법(parallel plate method)으로 비유전율(ϵ_r)을, 투과모드의 캐비티 공진기법(cavity resonator method)으로 무부하 Q와 공진주파수의 온도계수(τ_f)값을 측정하였다.[14-15] 그리고 τ_f 값은 25°C와 85°C에서 측정된 주파수를 식(1)에 넣어서 계산하였다.

$$TCRF = \left(\frac{1}{f_{25}}\right) \cdot \left(\frac{f_{85} - f_{25}}{60}\right) \cdot 10^6 [\text{ppm}/^\circ\text{C}] \quad (1)$$

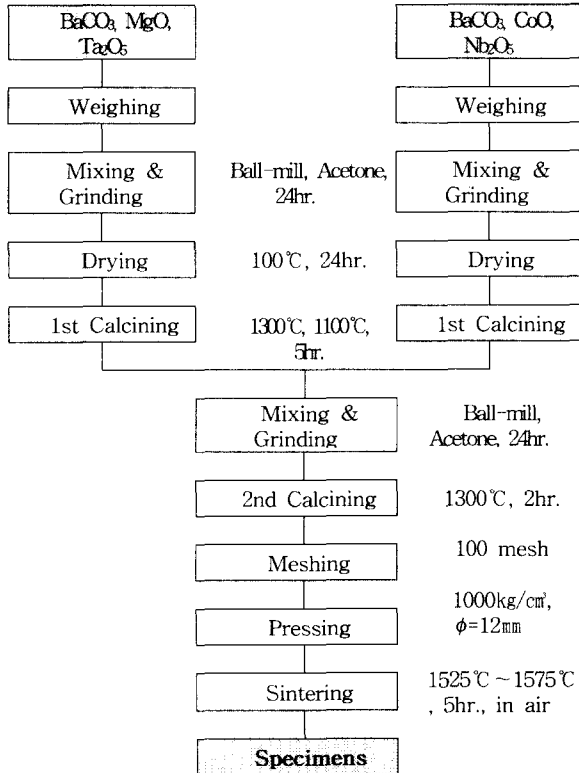


그림 1 BMT-BCN 세라믹스의 제조과정
Fig. 1 Manufacturing process of specimens

3. 결과 및 고찰

BMT 분말을 25°C ~ 1400°C의 범위에서 시차 열분석(DTA) 및 열중량 분석(TGA)을 하였으며, 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 310.33°C에서 휘발성 불순물 및 불밀 혼합 과정 중 혼합된 유기물의 연소에 의해 발열 피크와 중량의 감소가 발생하였다. 또한 650°C에서 990°C까지 넓은 온도 범위에 걸쳐 중량감소가 발생하였으며, 중량손실은 13.27%로 관찰되었다. 이는 시료 자체에 포함된 CO₂의 휘발에 의한 것이며, 829.89°C 및 973.87°C에서의 흡열피크는 BaO와 MgO 및 Ta₂O₅의 반응에 의한 고용체의 형성에 의한 것으로 사료된다. 1000°C 이상에서 큰 중량손실은 관찰되지 않았다.

그림 3에 BCN 분말의 시차열분석 및 열중량분석의 결과를 나타내었다. 600°C에서 1000°C까지 넓은 온도 범위에서 시료 자체에 포함된 CO₂의 휘발에 의해 14.5%의 중량손실이 발생하였으며, 955.09°C에서의 흡열피크는 BaO와 CoO 및 Nb₂O₅의 반응에 의한 고용체의 형성에 의한 것으로 사료된다.

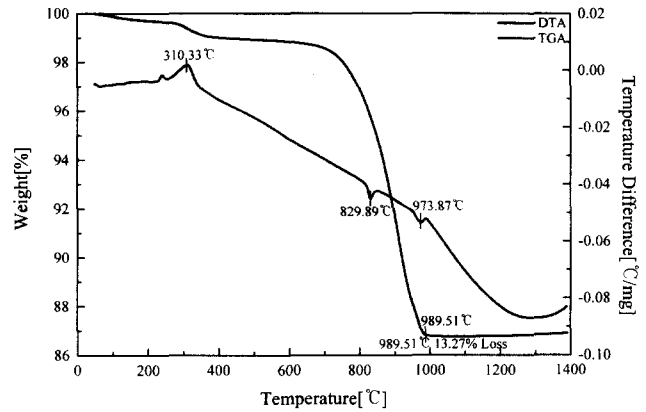


그림 2 BMT시료의 시차열분석 및 열중량분석
Fig. 2 DTA and TGA patterns of the BMT powder

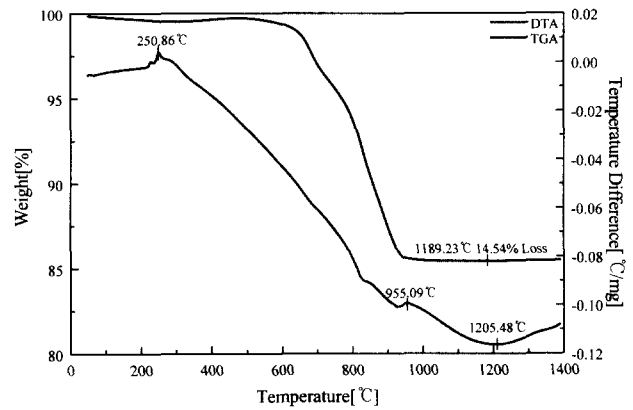


그림 3 BCN시료의 시차열분석 및 열중량분석
Fig. 3 DTA and TGA patterns of the BCN powder

그림 4는 2차 하소한 BMT-BCN 분말의 X-선 회절모양이다. 1300°C에서 5시간동안 하소한 BMT 분말의 회절피크와 큰 차이를 나타내지 않은 것으로 보아 전 조성에서 미반응상과 이차상이 나타나지 않은 BMT-BCN으로 합성되었으며, 초격자 반사면인 (100)면의 존재로부터 BMT와 BCN이 고용체를 형성하면서 규칙화가 서서히 진행됨을 확인할 수 있었다.

그림 5는 1575°C에서 5시간동안 소결한 BMT-BCN 세라믹스의 X-선 회절모양이다. 전 조성에서 미반응상과 이차상이 없는 BMT-BCN 상을 형성하였으며, 복합페로브스카이트상의 형성을 확인할 수 있었다. 하소 분말에 비하여 B-site의 원자들이 규칙적인 구조를 형성함에 따라 X-선 분석에서 관찰되는 (100) 초격자 피크와 그 외 초격자 피크인 (111), (200), (112), (103)면으로부터 그 규칙화가 더 진행되었음을 확인할 수 있었다. 그러나 규칙화는 BCN의 물비가 증가함에 따라서는 감소하는 경향을 나타내었으며, 전 조성에서 완전히 규칙화된 BMT에 비하여 규칙화 정도가 낮게 나타나 규칙화가 완전히 이루어지지 않았으며, B-site의 규칙화의 감소 및 완전하지 못한 규칙화는 마이크로파 유전특성을 감소시킬 수 있을 것으로 생각된다.

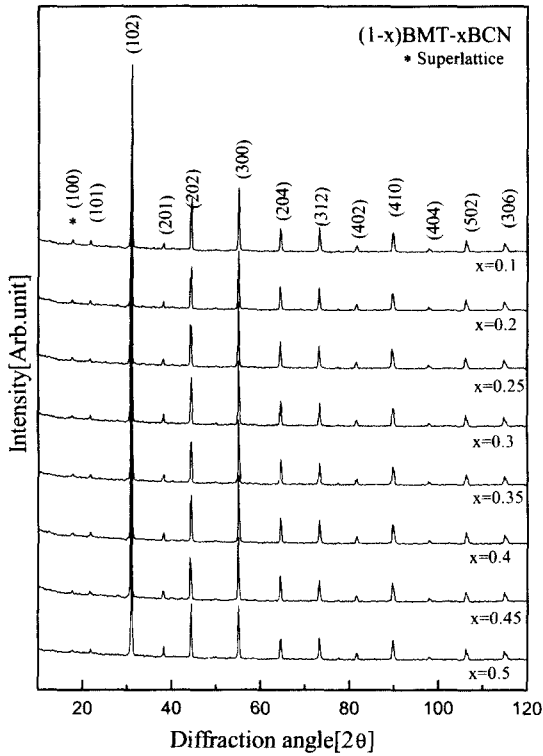


그림 4 2차 하소한 BMT-BCN 분말의 X-선 회절모양
 Fig. 4 X-ray diffraction patterns of the BMT-BCN powder after second calcining

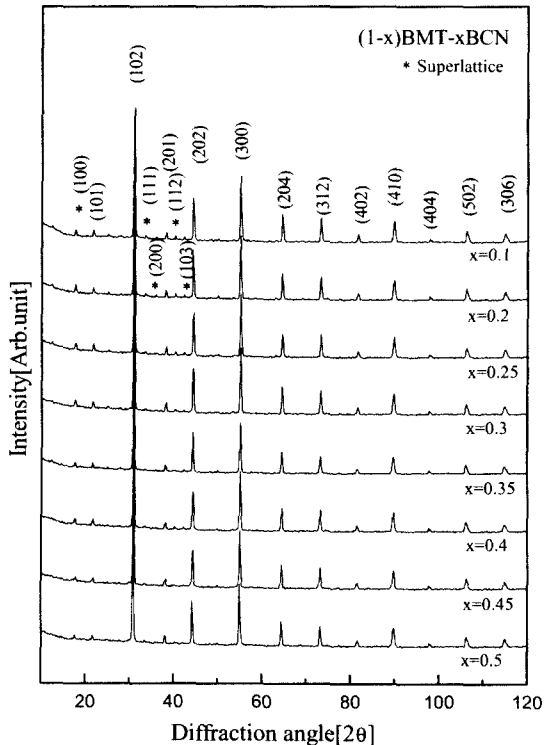


그림 5 1575°C에서 소결한 BMT-BCN 세라믹스의 X-선 회절모양
 Fig. 5 X-ray diffraction patterns of the BMT-BCN ceramics sintered at 1575°C (5hr.)

그림 6은 BMT-BCN 세라믹스의 113.5°~116°의 X-선 피크 분리모양이다. 이는 B-site의 규칙화에 따라 Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O₃에서 Mg와 Ta가 1:2의 규칙화를 나타냄에 따라 X-선 회절의 면지수의 합인 (2H+K+L)/3이 정수가 아닌 초격자 회절선을 나타내며 격자 비틀림 현상을 수반함으로써 (422)와 (226)면의 X-선 회절선 분리가 일어난다는 Kawashima 등[16]의 보고와 일치하였으며, Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O₃와 동일한 결정구조를 갖는 Ba(Co_{1/3}Nb_{2/3})O₃에서도 Co와 Nb의 1:2의 규칙화에 따른 초격자 회절선을 나타내어 격자 비틀림 현상인 (422)와 (226)면의 X-선 회절선 분리가 일어난다. 본 실험에서도 초격자 피크가 격자 비틀림 현상을 수반하여서 (422)와 (226)면의 분리가 나타났다. (1-x)BMT-xBCN의 피크분리는 BCN의 몰비(x)가 증가함에 따라 잘 일어나지 않았으며, 이는 고용한계에 따른 규칙화가 감소하였기 때문이다. 전 조성에서의 완전하지 못한 피크분리는 소결시간과 온도의 조절 등을 통해 개선시킬 수 있을 것이라 생각한다.

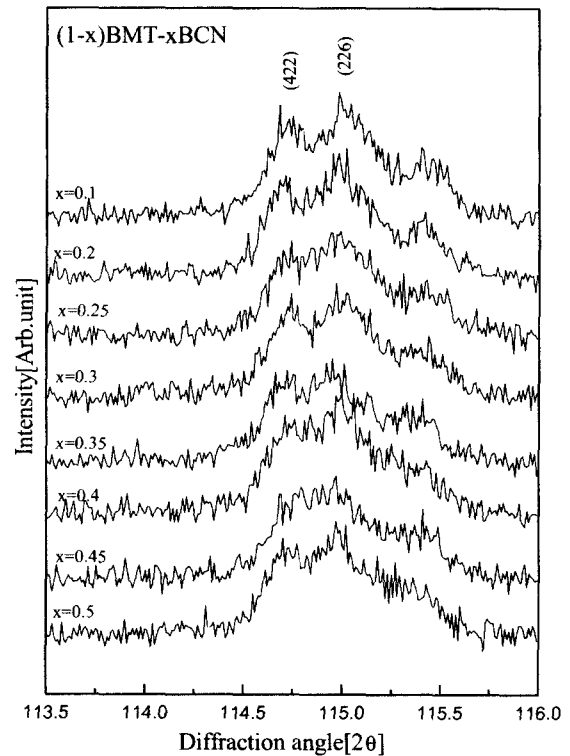


그림 6 BMT-BCN의 (422)와 (226)면의 피크 분리모양
 Fig. 6 Peak splitting of (422) and (226) planes of the BMT-BCN ceramics

그림 7은 1575°C에서 5시간동안 소결한 (1-x)BMT-xBCN 세라믹스의 미세구조이다. x의 값이 0.1~0.4일 경우 균일한 결정립 분포를 나타내었지만, x의 값이 0.45~0.5의 경우 마이크로파 유전특성을 저하시킬 수 있는 불균일한 결정립 분포를 나타내었다. 이는 낮은 소결온도(≒1400°C)를 갖는 BCN이 높은 소결온도로 인하여 과잉 성장을 하였기 때문이며, 이러한 결과로부터 더 낮은 온도에서 소결하였을 경우, 균일한 결정립 분포와 우수한 마이크로파 특성을 얻을 수 있을 것으로 생각한다.

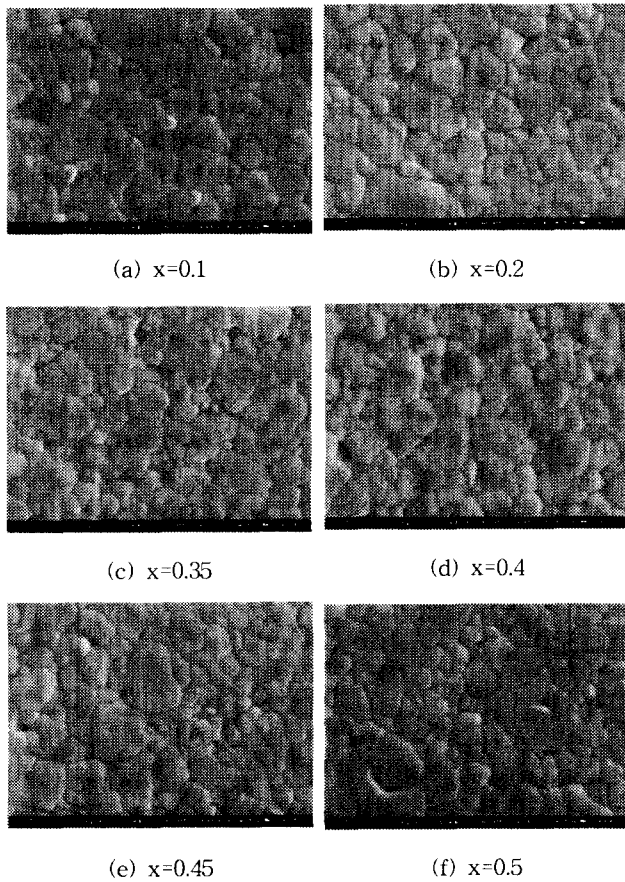


그림 7 (1-x)BMT-xBCN 세라믹스의 미세구조(1575°C, 5시간)
 Fig. 7 Microstructure of the (1-x)BMT-xBCN ceramics(1575°C, 5hr.)

그림 8은 조성비와 소결온도에 따른 밀도를 나타내었다. BCN의 몰비(x)가 증가함에 따라 밀도는 감소하였으며, 이는 불균일한 결정립 성장에 의한 것으로 생각된다. $x \geq 0.3$ 의 범위의 시편들의 경우, 소결 온도가 증가할수록 밀도가 감소하는 경향을 나타내었으며, 이는 높은 소결온도로 인하여 불균일한 결정립 성장과 기공 형성 등에 의한 것이며, 그 외 조성의 시편들은 소결온도의 증가에 따라 밀도가 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 다른 조성의 시편에 비해 0.9BMT-0.1BCN 시편의 경우, 소결온도가 증가함에 따라 밀도가 크게 증가하여 마이크로파 유전특성의 향상이 기대된다.

그림 9는 (1-x)BMT-xBCN 세라믹스의 비유전율을 나타낸 것이다. BMT($\epsilon_r \approx 25$)에 비하여 더 높은 유전율을 갖는 BCN($\epsilon_r \approx 31$)의 고용량이 많아질수록 비유전율은 증가하였으며, 대수혼합법칙에 잘 적용되는 것으로 사료된다. 일정한 소결온도에서 BCN의 몰비(x)가 증가함에 따라 평균 결정립의 크기의 증가 또는 감소에 의한 비유전율의 변화는 많은 차이를 나타내지 않았다. 이런 결과들로부터 유전율은 다른 어떤 인자보다도 재료의 조성에 의해 크게 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다. 1575°C에서 소결한 0.5BMT-0.5BCN 시편이 가장 높은 값의 비유전율($\epsilon_r = 31.12$)을 나타내었으며, 같은 온도에서 소결한 0.9BMT-0.1BCN 시편이 가장 낮은 값($\epsilon_r = 27.03$)을 나타내었다.

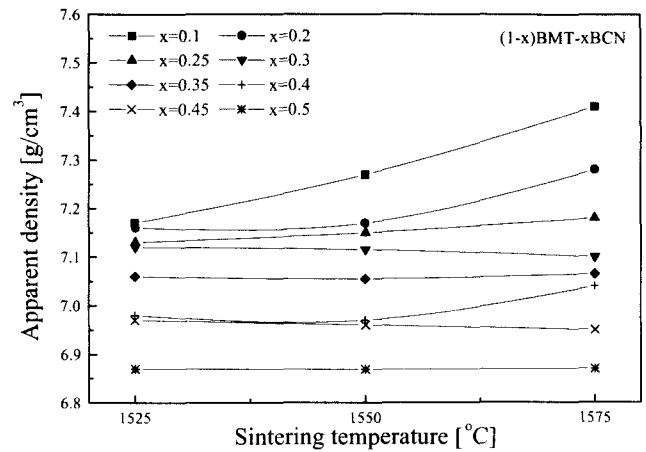


그림 8 (1-x)BMT-xBCN 세라믹스의 밀도
 Fig. 8 Density of the (1-x)BMT-xBCN ceramics

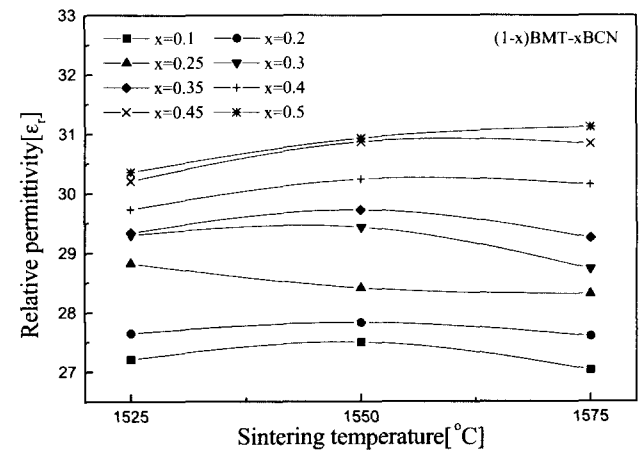


그림 9 (1-x)BMT-xBCN 세라믹스의 유전율
 Fig. 9 Relative permittivity of the (1-x)BMT-xBCN ceramics

그림 10에서는 소결온도에 따른 (1-x)BMT-xBCN 세라믹스의 품질계수($Q \times f_0$) 특성을 나타내었다. BCN의 몰비가 $0.35 \leq x \leq 0.5$ 인 시편은 소결온도가 1525°C에서 1575°C로 증가함에 따라 품질계수값이 감소하였다. 이는 미세구조에서 확인하였듯이 BCN의 결정립 주도로 인한 불균일한 결정립 분포와 기공이 증가하였기 때문이라 사료되며, $0.2 \leq x \leq 0.3$ 조성의 시편은 1550°C에서 가장 높은 품질계수값을 나타내었다. BCN의 몰비(x)가 0.1인 조성의 시편은 결정립의 크기 및 밀도의 증가, 그리고 BMT의 높은 소결온도($\geq 1600^\circ\text{C}$) 조건으로 인하여 소결온도가 증가할수록 그 값이 84,082GHz에서 138,205GHz로 증가하였다. 모든 조성의 시편들 중에서, 1575°C에서 소결한 0.9BMT-0.1BCN 시편이 가장 높은 품질계수값($Q \times f_0 = 138,205\text{GHz}$)을 나타내었으며, 이는 다른 조성의 시편들에 비해 비교적 규칙도가 높고 결정립 분포가 더 균일하며 밀도가 증가하였기 때문이라 생각된다. 0.55BMT-0.45BCN 세라믹스의 경우, 1525°C에서 1575°C로 소결온도가 증가함에 따라 품질계수($Q \times f_0$)는 85,789GHz에서 75,325GHz로 감소하였다. 따라서 더 낮은 온도에서 소결할 경우, 더 치밀하고 균일한

결정립 성장을 통하여 품질계수를 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

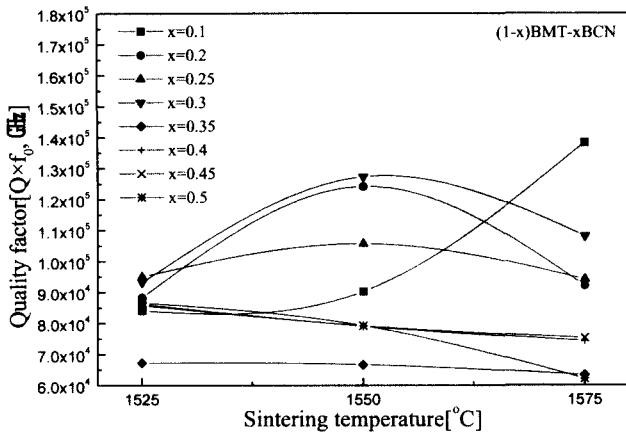


그림 10 소결 온도에 따른 (1-x)BMT-xBCN 세라믹스의 품질 계수

Fig. 10 Quality factor of the (1-x)BMT-xBCN ceramics with sintering temperature

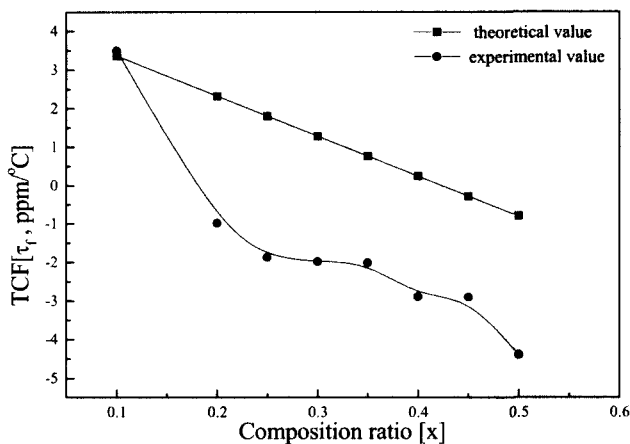


그림 11 (1-x)BMT-xBCN 세라믹스의 공진주파수의 온도계수

Fig. 11 Temperature coefficient of resonant frequency of the (1-x)BMT-xBCN ceramics

다상(multi-phase)의 세라믹스에서 공진 주파수의 온도계수 (Temperature Coefficient of resonant frequency, τ_f)는 소결 온도에 영향을 받지 않고 각 상(phase)들의 체적비에 의존하며, 대수 혼합 법칙(logarithmic mixing rule)에 따라 결정된다고 보고되어 있다.[17]

조성비에 따른 공진주파수의 온도계수를 그림 11에 나타내었다. 공진 주파수의 온도계수가 양(+)의 값인 BMT($\tau_f=+4.4\text{ppm}/^\circ\text{C}$)에 음(-)의 값을 갖는 BCN($\tau_f=-6\text{ppm}/^\circ\text{C}$)을 고용함으로써 BCN의 몰비(x)가 증가함에 따라 공진 주파수의 온도계수(τ_f)는 $+3.492\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 에서 $\tau_f=-4.392\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 의 음의 방향으로 이동하였다. BCN의 몰비(x)가 0.1~0.2인 범위에서 공진주파수의 온도계수는 $0\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 을 나타내었으며, 0.55BMT-0.45BCN 시편의 경우, $-2.901\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 를 나타내었

다. 0.9BMT-0.1BCN 시편을 제외한 모든 조성의 시편에서 이론치보다 낮은 음의 값을 나타내었으며, 이는 규칙화와 결정립 성장 중 Co의 휘발에 의한 것으로 생각된다.

4. 결 론

미세구조의 제어를 통하여 우수한 마이크로파 유전특성을 갖는 마이크로파 유전체를 제조하기 위하여 복합페로브스카이트 구조의 $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ 에 $\text{Ba}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ 을 고용하여 $(1-x)\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3-x\text{Ba}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ($x=0.1\sim 0.5$) 세라믹스를 제조하였으며, 소결 온도에 따른 마이크로파 유전특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 1300°C 에서 2시간 하소한 (1-x)BMT-xBCN 분말은 미반응상과 이차상이 없는 단일상이었으며, $1525^\circ\text{C}\sim 1575^\circ\text{C}$ 에서 소결한 시편에서 단일상 복합페로브스카이트 구조의 BMT-BCN상이 합성되었다.
2. BCN의 몰비가 증가함에 따라 규칙화는 감소하는 경향을 나타내었으며, 밀도와 평균 결정립의 크기는 감소하였다. 또한 공진주파수의 온도계수는 양(+)의 방향에서 음(-)의 방향으로 이동하였으며, 비유전율은 증가하였다.
3. BCN의 몰비 x가 0.35이상일 경우, 소결 온도가 증가함에 따라 품질계수 ($Q \times f_0$)값은 감소하였으며, 0.9BMT-0.1BCN 시편의 경우, $138,205\text{GHz}$ 의 가장 높은 품질계수값을 나타내었다.
4. 1525°C 에서 5시간 소결한 0.55BMT-0.45BCN 시편의 경우, 비유전율, 품질계수, 공진 주파수의 온도계수는 각각 30.21, $85,789\text{GHz}$, $-2.901\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 으로 우수한 특성을 나타내었다.

이상의 결론으로부터 0.55BMT-0.45BCN 세라믹스는 기존의 복합 페로브스카이트 물질에 비해 소결조건이 단순하고 비교적 우수한 마이크로파 유전특성을 나타내어 위성통신용 마이크로파 유전체 재료로 적합할 것으로 생각한다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] S. Nishigaki, S. Yono and H. Kato, "BaO-TiO₂-WO₃ Microwave Ceramics and Crystalline BaWO₄", J. Am. Ceram. Soc., 71(1), C-11-17, 1988.
- [2] N. Negas, G. Yeager, S. Bell, and R. Amren, "Chemistry and properties of temperature compensated microwave dielectrics". NIST spec. publ. 804. in Chemistry of Electronic Ceramic Materials, pp.21, 1991.
- [3] N.Ida, "Microwave NDT", Kluwer Academic Publisher, 1990.
- [4] R. Christoffersen, P. K. Davies and X. Wei, "Effect of

Sn Substitution on Cation Ordering in $(Zr_{1-x}Sn_x)TiO_4$ Microwave Dielectric Ceramics", J. Am. Ceram. Soc., 77(6), pp.1441~1450, 1994.

[5] 이영희 등, "소결온도에 따른 $0.9MgTiO_3-0.1SrTiO_3$ 세라믹스의 구조 및 마이크로파 유전특성", 대한전기학회논문지, Vol.49, No.5, pp.294~298, 2000.

[6] 이영희 등, "소결온도와 Sr몰비에 따른 $Mg_{1-x}Sr_xTiO_3$ 세라믹스의 구조 및 마이크로파 유전특성", 대한전기학회논문지, Vol.50, No.5, pp.226~231, 2001.

[7] 이영희 등, " $0.15(Ba_{0.95}Sr_{0.05})O-0.15Sm_2O_3-0.7TiO_2$ 세라믹스의 마이크로파 유전특성", 한국전기전자재료학회지, Vol.8, No.2, pp.224~228, 1995

[8] Peter K. Davies and Jianzhu Tong, "Effect of Ordering-Induced Domain Boundaries on Low-Loss $Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O_3-BaZrO_3$ Perovskite Microwave Dielectrics", J. Am. Ceram. Soc., 80[7] pp.1727~1740, 1997.

[9] J. M. Wu, "Reaction Sequence and Effect of Calcination and Sintering on Microwave Properties of $(Ba,Sr)O-Sm_2O_3-TiO_2$ Ceramics", J. Am. Ceram. Soc., Vol.73, No.6, pp.1599~1605, 1990.

[10] S. B. Desu and H. M. O'bryan, "Microwave Loss Quality of $Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ Ceramics", J. Am. Ceram. Soc., 68(10), pp.546~551, 1985.

[11] S. Nomura, K. Toyama, and K. Kaneta, " $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ Ceramics with Temperature -Stable Loss", Jpn. J. Appl. Phys. 21(10), L624~L626, 1982.

[12] B. W. Hakki et al., "A Dielectric Resonator Method of Measuring Inductive Capacities in the Millimeter Range", IRE Trans. on Microwave Theory and Technique, Vol. MTT-24, No.10, 1960.

[13] Y. Kobayashi et al., "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, 1985.

[14] K. Wakino, "Relations between Microwave Dielectric Losses and Microstructure on $(Zn,Sn)TiO_3$ Dielectric Ceramics", 日本窯業協會誌, 88(8), pp.475~482, 1980.

[15] 安井 至 外, "セラミックス キャラクタリゼーション技術, 窯業協會, pp.7~8, 1987.

[16] S. Kawashima et al., " $Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ Ceramics with Low Dielectric Loss at Microwave Frequencies", J. Am. Ceram. Soc., Vol.66, No.6, pp.421~423, 1983.

[17] M. Onoda, " $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Sr(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ Solid Solution Ceramics with Temperature-Stable, High Dielectric Constant and Low Microwave Loss", Jpn. J. Appl., Vol.21, No.12, 1982.

저 자 소 개



최 의 선 (崔 義 善)

1998년 서남대 공대 전자공학과 졸업.
2000년 광운대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자재료공학과 박사과정

Tel : 02-940-5164

E-mail : sunsee@explore.gwu.ac.kr



이 문 기 (李 文 基)

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

Tel : 02-940-5164

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



류 기 원 (柳 基 元)

1985년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업.
1987년 광운대 산업정보대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 1994년 광운대 대학원 전자재료공학과 졸업(공학). 현재 여주대학 전자과 부교수.

Tel : 031-880-5200

E-mail : kwryu@yeojoo.ac.kr



이 성 갑 (李 成 甲)

1985년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(박사). 현재 서남대 전기전자멀티미디어공학부 조교수

Tel : 063-620-0246

E-mail : lsgap@tiger.seonam.ac.kr



이 영 희 (李 永 熙)

1973년 연세대 공대 전기공학과 졸업.
1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학).
현재 광운대 공대 전자재료공학과 교수

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

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