

위상차 배열 안테나용 BSCT 세라믹스의 유전 특성

Dielectric Properties of BSCT Ceramics for Phase Array Antenna

조현무, 이성갑, 임성수*, 박인길**

(Hyun-Moo Cho, Sung-Gap Lee, Sung-Soo Lim*, In-Gil Park**)

Abstract

(Ba_{0.6-x}Sr_{0.4}Ca_x)TiO₃ (x=0.10, 0.15, 0.20) specimens were fabricated by the solid state reaction method and then the structural and dielectric properties as a function of the composition ratio and sintering temperature were studied. The BSCT(50/40/10) specimen sintered at 1500°C showed the highest average grain size(18.25 μm). The Curie temperature and dielectric constant at room temperature decreased with increasing Ca content. The dielectric constant and dielectric loss of the BSCT(50/40/10) specimen, sintered at 1450°C, were about 4324 and 0.972% at 1KHz, respectively. Dielectric constant at room temperature decreased with increasing an applied field, tunability of the BSCT(50/40/10) sintered at 1300°C was 18%.

Key Words : BSCT ceramics, dielectric properties, phase array antenna, tunability

1. 서론

강유전성 BaTiO₃ 세라믹은 적층 세라믹 커패시터, PTC 서미스터, 압전 변환재료 등의 다양한 응용분야를 가진 재료로서 현재 가장 널리 활용되고 있는 전자세라믹 재료중의 하나이다. BaTiO₃은 소량의 불순물 첨가와 소결조건 등을 변화시킴에 따라 강유전 특성에서부터 반도체특성에 이르기까지 다양한 전기적 특성을 나타내며, 최근에는 우수한 전기적 특성을 이용하여 반도체 DRAM 소자의 유전체재료로서, 초고주파 대역의 유전체 공진기로도 널리 응용되고 있다.[1,2] 그러나 BaTiO₃은 120°C의 온도부근에서 결정구조가 강유전상의 정방정계에서 상유전상의 입방정계로 변화하는 상전이온도를 가지고 있으며, 0°C와 -90°C 부근에서는 결정구조가 변화하는 전이온도를 가지고 있어 온도에 따른 전기적 특성의 변화가 큰 단점을 가지고 있다. 최근에는 BaTiO₃의 단점을

극복하고, 우수한 전기적 특성을 활용하기 위해 여러 가지 불순물의 첨가와 제조방법을 변화시키는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 상전이 온도부근에서 유전상수가 급격히 변화하는 특성을 이용하여 고감도의 적외선 검출기로의 응용을 위한 연구와 상온부근에서의 높은 유전상수특성을 이용하여 유전체 안테나로의 응용을 위한 연구가 진행되어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 BaTiO₃의 온도변화에 따른 전기적 특성의 안정성을 향상시키기 위해 Ba²⁺ 이온 자리에 Sr²⁺과 Ca²⁺ 이온을 치환시킨 (Ba,Sr,Ca)TiO₃ (BSCT) 세라믹을 제작하였으며, 위상차 배열 안테나로의 응용가능성을 조사하기 위해 조성 및 소결조건에 따른 구조적, 유전적 특성을 측정하였다.

2. 실험

본 연구에서는 조성식 (Ba_{0.6-x}Sr_{0.4}Ca_x)TiO₃ (x=0.10, 0.15, 0.20)에 따라 BaCO₃, SrCO₃, CaCO₃ 및 TiO₂ 시료를 평량한 후, 고상 반응법으로 시편을 제작하였다. 먼저 평량된 각 시료를 아세트산을 분산매

서남대학교 전자전기공학부
(전북 남원시 광치동 서남대학교,
Fax: 063-620-0211
E-mail: lsgap@tiger.seonam.ac.kr)

로 지르코니아볼로 24시간동안 혼합 분쇄하였으며, 혼합 분쇄된 시료를 100℃의 전기오븐에서 24시간동안 건조한 후, 재분쇄하여 1100℃에서 2시간동안 하소하였다. 하소된 분말에 PVA를 3wt% 첨가한 후, 알루미늄 유발을 이용하여 분쇄하고 #100 메쉬체로 체가름하였다. 체가름한 분말을 원통형 금형(ϕ 12mm)에 넣고 1ton/cm²의 압력으로 성형한 후, 1300℃~1500℃에서 2시간 동안 소결하였다. 소결된 시편을 1mm의 두께로 연마한 후, 시편의 양면에 실크 스크린법으로 은전극을 부착하여 전기적 특성을 측정하였다. 결정립의 형태, 결정입계, 기공 등의 미세구조는 전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰하였으며, 유전특성은 impedance/gain analyzer(HP 4194A)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 BSCT(50/40/10) 시편의 소결온도에 따른 표면 미세구조 사진이며, 소결온도가 증가함에 따라 평균 결정립의 크기는 증가하는 경향을 나타내었다. 1300℃와 1350℃에서 소결시킨 시편의 경우에는 조밀한 결정립과 거대 결정립이 혼재되어 분포된 미세구조를 나타내었으며, 소결온도가 1400℃ 이상인 시편에서는 전체적으로 균일한 크기의 결정립 분포를 나타내었다. 시편의 조성변화에 따른 미세구조의 의존성은 관찰되지 않았으며, 모든 시편에서 비교적 치밀하고 미반응 물질 등의 2차상이 존재하지 않는 균질한 미세구조를 나타내었다.

그림 2는 BSCT 시편의 조성 및 소결온도에 따른 상온에서의 비유전상수와 유전손실을 나타낸 것이다. Ca의 첨가량이 증가할수록 BSCT 시편의 비유전상수는 감소하는 특성을 나타내었으며, 이는 최대 비유전상수를 나타내는 상전이 온도가 Ca 첨가량에 따라 저온측으로 이동함에 기인한 것으로 사료된다. 소결온도가 증가함에 따라 상온에서의 비유전상수는 증가하여 1450℃에서 소결시킨 BSCT(50/40/10) 시편에서 4324의 최대값을 나타낸 후, 1500℃에서 소결시킨 경우 약간 감소하는 특성을 나타내었다. 이는 1300℃에서 1450℃까지 소결온도가 증가함에 따라 고유전율의 결정립의 성장과 결정입계에서 유효 공핍층의 감소에 기인한 것으로 보여지며, 1500℃의 경우에는 구조적 특성에서 고찰한 바와 같이 과잉 소결에 의해 유전상수가 약간 감소하는 것으로 사료된다. 유전손실은 BSCT 시편의 조성에 따른 의존성은 관찰되지 않았으며, 1350℃ 이상에서 소결시킨 모든 조성의 시편에서 1% 이하의 우수한 특성을 나

타내었다.

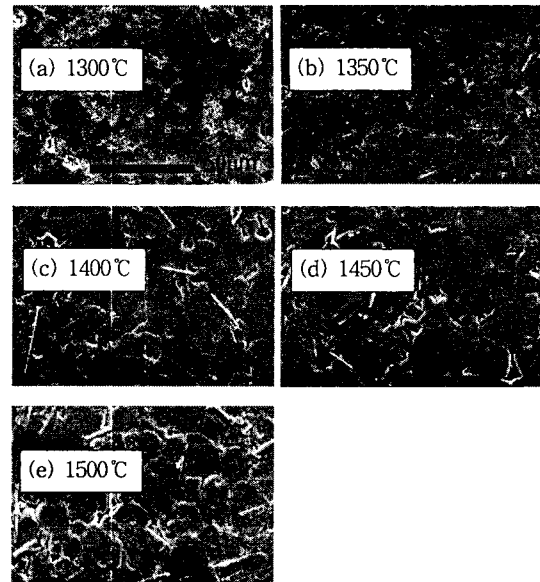


Fig. 1 Microstructure of BSCT(50/40/10) specimens with variation of the sintering temperature.

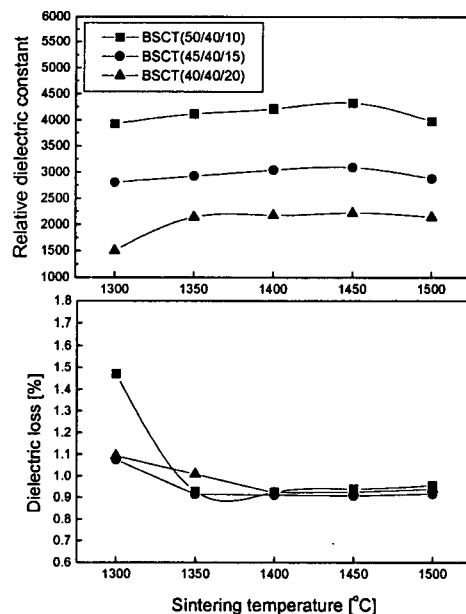


Fig. 2 Relative dielectric constant and dielectric loss at 1KHz of BSCT specimens as a function of the sintering temperature.

그림 3은 -25°C 에서 85°C 까지 온도변화에 따른 BSCT 시편의 비유전상수를 나타낸 것이다. 최대 유전상수를 나타내는 상전이온도는 Ca의 조성비가 증가함에 따라 저온측으로 이동하는 경향을 나타내었으며, 소결온도에 따른 영향은 관찰되지 않았다. 본 연구에서 선택한 조성의 BSCT 시편은 상전이온도가 모두 0°C 이하이었으며, 실온부근에서의 비유전상수는 Ca의 조성비가 감소함에 따라 그리고 소결온도가 증가함에 따라 증가하는 특성을 나타내었다.

그림 4와 5는 각각 600MHz에서 1GHz까지 주파수 변화와 인가 전압에 따른 비유전상수와 유전손실을 나타낸 것이다. 주파수가 증가함에 따라 유전상수는

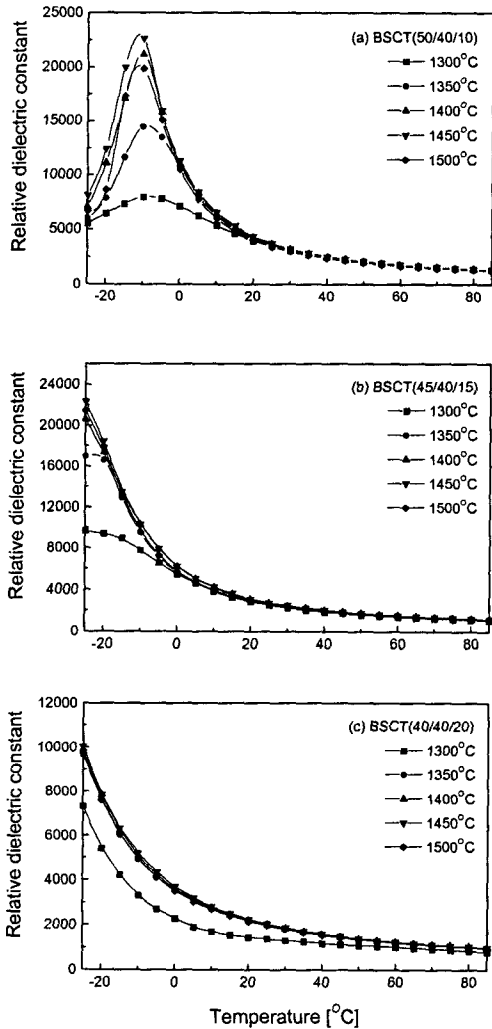


Fig. 3 Relative dielectric constant of BSCT specimens as a function of the temperature.

감소하는 경향을 나타내었으며, 1450°C 에서 소결시킨 시편에서 최대의 유전상수 특성을 나타내었으며, 전체적인 특성은 소결온도에 대해 민감한 변화를 나타내지 않았다. 유전손실은 소결온도에 대한 의존성은 나타나지 않았으며, 모든 시편에서 0.3% 이하의 우수한 특성을 나타내었다. DC 인가전압이 증가함에 따라 비유전상수는 약간 감소하는 특성을 나타내었으며, 비선형적인 관계를 갖는 것으로 보아 Johnson 이론에서 고찰된 바와 같이 상유전상의 정육면체내의 Ti 이온이 비조화성 상호작용에 기인한 것으로 사료된다.[3]

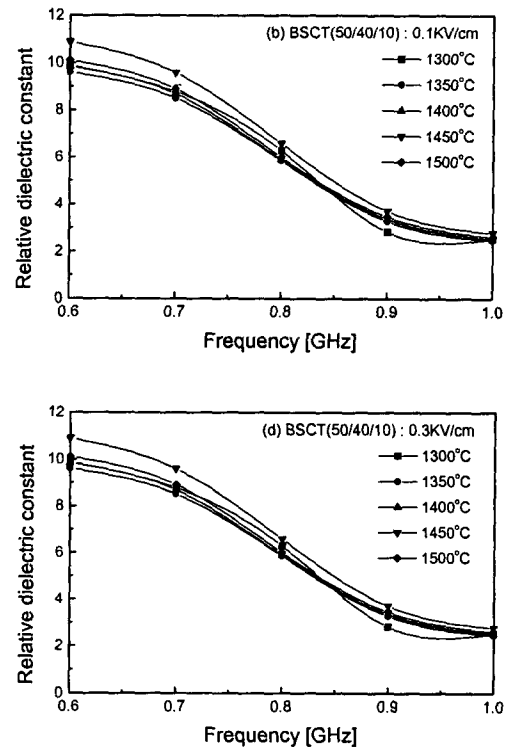


Fig. 4 Relative dielectric constant of BSCT specimens as a function of the frequency and sintering temperature.

그림 6은 1MHz에서 측정된 BSCT 시편의 소결온도에 따른 tunability를 나타낸 것이다. 1300°C 에서 소결시킨 BSCT(50/40/10) 시편에서 약 18%의 가장 우수한 특성을 나타내었으며, BSCT(45/40/15) 시편과 BSCT(40/40/20) 시편의 경우에는 소결온도에 영향을 받지 않고 약 2% 이하의 낮은 특성을 나타내었다. 이러한 특성은 시편의 상전이온도와 관계가 있으며, BSCT(50/40/10) 시편의 상전이온도는 0°C

부근으로 확산형 상전이특성을 나타내며, Ba의 함량이 적을수록 큐리온도는 감소하고 있다. 따라서 실온부근에 존재하는 일부 강유전상의 쌍극자 배열이 인가전계에 따라 영향을 받기 때문에 우수한 특성을 나타내며, Ba의 함량이 적은 시편에서는 실온에서 완전한 상유전상으로 선형 커패시터와 같은 특성을 냄에 따라 tunability가 감소하는 것으로 사료된다. 그러나 이러한 우수한 특성에도 불구하고, 1300°C에서 소결한 시편의 경우에는 유전손실값이 매우 높아 실제 위상차 배열 안테나의 phase shifter로 응용하기가 어렵다.

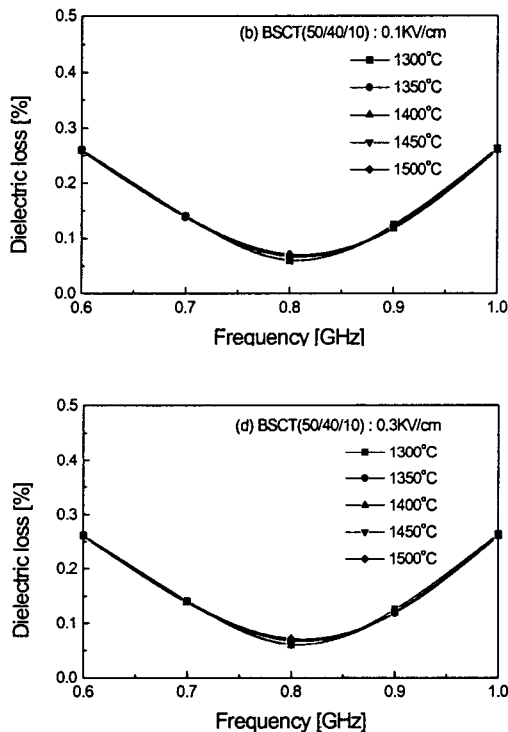


Fig. 5 Dielectric loss of BSCT specimens as a function of the frequency and sintering temperature.

4. 결론

본 연구에서는 $(\text{Ba}_{0.6-x}\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_x)/\text{TiO}_3$ ($x=0.10, 0.15, 0.20$)을 고상 반응법으로 제작한 후, 조성비와 소결 온도에 따른 구조적, 유전적 특성을 고찰하였다. 미세구조 관찰 결과 1300°C~1500°C에서 소결된 모든 조성의 시편에서 2차상 또는 미반응 물질이 없는 다

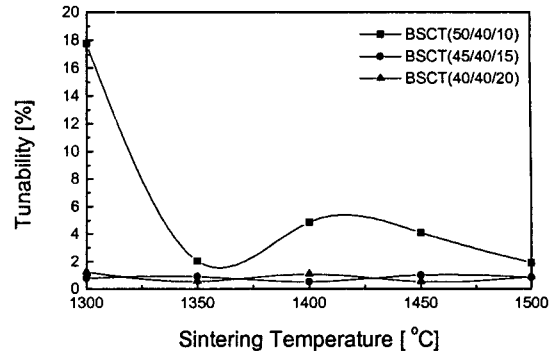


Fig. 5 Tunability of BSCT specimens as a function of the sintering temperature.

결정성의 미세구조를 나타내었으며, 1500°C에서 소결시킨 BSCT(45/40/15) 시편에서 18.25 μm 의 최대 평균 결정립 크기를 나타내었다. BSCT 시편의 Ca 조성비가 증가함에 따라 실온에서의 유전상수는 감소하는 경향을 나타내었으며, 1450°C에서 소결시킨 BSCT(50/40/10) 시편에서 유전상수는 4324, 유전손실은 0.972의 우수한 유전특성을 나타내었다. BSCT 시편의 Ca 조성비가 증가함에 따라 상전이온도는 감소하는 특성을 나타내었으며, 1300°C에서 소결시킨 BSCT(50/40/10) 시편에서 18%의 tunability 특성을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-30200-016-2) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] R. C. Buchanan, Ceramic Materials for Electronics, Dekker, 1986.
- [2] T. Horikawa, N. Mikami, T. Makita, J. Tanimura, M. Kataoka, K. Sato and M. Nunoshita, "Dielectric properties of $(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$ thin films deposited by rf sputtering", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.32. No.9, pp.4126~4130, 1993.
- [3] K.M. Johnson, J. Appl. Phys. vol.33, p.2826, 1961