

복합산화물 (Ba Ca)TiO₃-ZnO의 구조적 및 유전분극 특성



The Structural and Dielectric Polarization Characteristics of Composite Oxide Material in (Ba Ca)TiO₃-Zn.

홍경진^{*}, 임장섭^{**}, 정우성^{*}, 민용기^{***}, 김용주^{****}, 김태성^{*}

(Kyung-Jin Hong, Jang-Seob Lim, Woo-Sung Jung, Yong-Ki, Min, Yong-Ju Kim, Tae-Sung Kim)

Abstract

The ZnO is stabilize dielectric constant over a broad temperature range because its addition makes the relaxation time short.

In this study, the composite oxide material (Ba_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃ was mixed by ZnO additive material and the dielectric polarization characteristics was studied. The relative density was over 90 [%] at all specimen in the structural characteristics. Among of the specimen, the relative density of (Ba_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃ with ZnO (0.4mol) has a 95[%]. The grain size of composite oxide material with an increasing ZnO increased and it was 1.0[μm]~1.22[μm].

In the electrical characteristics, the charge and discharge current was increased by ZnO addition. The dielectric relaxation time was increased by space charge polarization at above 110[°C] and the dielectric relaxation time was fixed by space charge polarization of para-dielectric layer at below 110[°C]. The dielectric relaxation time was maximum when the grain size was small.

The dielectric relaxation time is decreased with an additive material ZnO and interface polarization, existing void at the grain and grain boundary. The remnant polarization is increased and the coercive electric field is decreased by ZnO

Key Words(중요용어) : Additive material(첨가제), Dielectric polarization(유전분극), Relative density(상대 밀도), Space charge polarization(공간전하분극), Dielectric relaxation time(유전완화시간), Remnant polarization(잔류분극), Coercive electric field(항전계)

1. 서 론

강유전체 복합산화물은 높은 유전율을 갖는 전기적인 특성과 열에 안정한 기계적 특성을 갖고 있으며, 약간의 조성 변동에 의해서도 많은 화합물이 생성될 수 있다. 강유전체 복합산화물인 BaTiO₃의 전기적 특성은 상온 부근의 정방정계와 상전이 온도 이상에서 존재하는 입방정계의 물성

에 의해 그 특성이 좌우된다.^{1) 2)}

복합산화물은 입자의 크기와 입계층의 두께가 분역에 미치는 영향 및 자발분극의 발생에 따른 유전율 증가^{3) 4)}, 그리고 구조적 특성인 소결특성에 의한 유전율의 메카니즘에 관하여 연구가 진행되고 있다. 특히 BaTiO₃ 세라믹은 1[μm]의 작은 입경에서도 90° 분역이 존재한다고 보고되고 있다.⁵⁾ 온도보상용으로서 (Ba Ca)TiO₃ 유전체에 관한 연구는 많이 진행되고 있지만 온도변화에 따른 유전완화시간이 길게되어 분극배열의 시간이 길어지므로 내부손실이 발생한다⁶⁾. 특히 ZnO는 전계의 변화에 대하여 유전완화시간이 짧기 때문에 유전용량의 안정화에 기여할 수 있다. 그러나 ZnO의 첨가에 따른 복합산화물의 분역과 유전완화에 관한 연구는 아직 미진한 상태이다

* : 전남대학교

** : 목포해양대학교

*** : 광주대학교

**** : 충주공업전문대학

접수일자 : 1996년 6월 24일

심사완료 : 1997년 3월 3일

본 연구에서는 (Ba_{0.85} Ca_{0.15})TiO₃에 ZnO를 혼합한 후, (Ba_{0.85} Ca_{0.15})TiO₃-ZnO 복합산화물 유전체를 제작하여 구조적 특성 및 유전분극 현상에 관하여 연구하였다.

구조적인 특성으로는 시료의 수축률과 소성밀도를 측정하였다. 또한 시료 내부의 생성물이 결정으로 성장되거나 산소의 결핍으로 인하여 유전율에 영향을 주기 때문에 입계의 특성도 고찰하였다.

전기적인 특성으로는 직류전압이 인가되는 경우 온도를 변화시키면서 유전체의 유전흡수 현상을 고찰하였으며, 유전체의 분극과 전계특성은 소야-타워 회로를 제작하여 온도변화에 따른 잔류분극과 항전계의 특성을 고찰하였다. 그림 1은 유전체에 충전되는 전류를 측정하기 위한 회로도이다.

2. 시료제작 및 측정

BaCO₃와 CaCO₃의 원료 분말을 0.85:0.15의 몰비 [mol%]로 혼합 조성한 후, (Ba_{0.85} Ca_{0.15})CO₃와 TiO₂는 1:1의 몰비[mol%]로 혼합 평량하였다. (Ba_{0.85} Ca_{0.15})TiO₂ 원료분말에 첨가제로는 ZnO를 각각 0.1~0.4 [mol%]로 변화시켜 시료를 제작하였다. 혼합 평량된 재료는 에탄올 용매와 지르코니아 불을 사용하여 습식으로 24시간 불밀하였다. 불밀 공정이 끝난 후, 원료 분말은 자연건조시키고 1150[°C]에서 하소시켰다. 하소시킨 복합산화물 분말은 24시간 다시 불밀하고 건조시켰다. 분말의 입자를 균일하게 하기 위하여 200[mesh]의 체로 분말의 입자크기를 제어하였다. 이것에 바인더(PVA)를 3wt% 혼합하여 지름 16[mm], 두께 1[mm]의 원반형으로 프레스 하였다. 시료는 고온로에서 6.66[°C/min]의 온도상승으로 600[°C]에서 1시간 건조시키고 동일한 온도상승 조건하에서 1200[°C]까지 상승하여 각각 2시간 소결하였다. 표 1은 실험에서 사용한 시료의 혼합 조건이다.

소결된 재료에 대한 기공의 존재를 고찰하기 위하여 소성밀도와 수축률을 계산하였으며, 소성밀도와 입자의 크기 변화를 고찰하기 위하여 XRD 및 SEM 사진을 분석하였다. 입자의 크기는 XRD 결과에서 얻어진 값을 이용하여 구하였다.

시료의 충·방전특성을 고찰하기 위해 커패시터에 직렬로 100[MΩ] 저항을 삽입하여 RC 등가 회로를 만들고, 회로에 직류전압 40[V]를 인가하여 오실로스코프로(Lecroy OSC 9374L) 측정하였다. 온도에 따른 유전완화특성은 1[kHz]의 주파수하에서 유전율과 유전손실(H.P-L.C.R Meter)을 측정하고 유전완화시간으로 계산하여 고찰하였다. 또한,

표 1 원료 분말의 혼합조건

Table 1. The Mixing Condition of Raw Powder.

Sample	Powder [Mol%]	BaCO ₃ [Mol%]	CaCO ₃ [Mol%]	TiO ₂ [Mol%]	ZnO [Mol%]
Z1		0.85	0.15	1	0.1
Z2		0.85	0.15	1	0.2
Z3		0.85	0.15	1	0.3
Z4		0.85	0.15	1	0.4

유전체의 분극과 전계특성은 소야-타워 회로를 제작하여 온도변화에 따른 잔류분극과 항전계의 특성을 고찰하였다. 그림 1은 유전체에 충전되는 전류를 측정하기 위한 회로도이다.

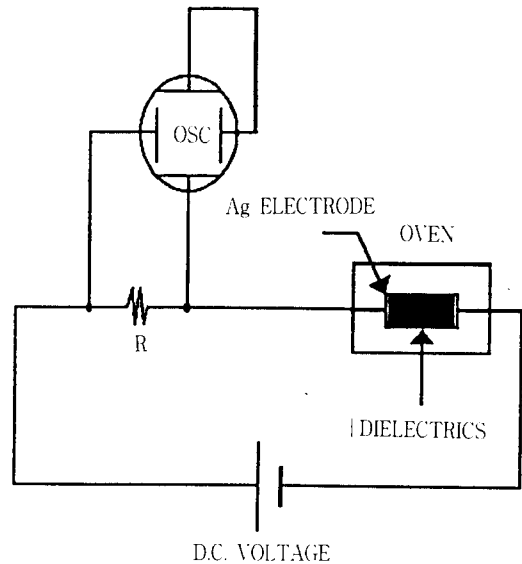


그림 1 충전전류 측정회로

Fig. 1. The measurement circuit for charge current.

3. 실험 결과 및 고찰

3-1. 구조적 특성

결정의 입자 크기가 작으면 독립된 결정격자가 형성되지만 결정화가 진행되면 주위의 결정에 의해서 입자가 불규칙적으로 생성되기 때문에 결정의 성장은 중단된다²⁾.

그림 2는 복합산화물 유전체의 상대밀도와 수축율이다. 0.1몰의 Zn을 첨가한 Z1에서는 수축이 작았으며, 0.2몰 이상을 혼합한 경우 수축률이 크게 증가하였다. 상대밀도는 0.4몰의 Zn을 혼합하였을

때 95[%]로서 가장 우수하였다. 이는 육방결정인 Zn^{2+} 가 같은 결정구조를 갖는 Ti^{4+} 와 고용에 한계가 있기 때문에 Ti의 부족으로 입자의 크기가 커지게 된다. 또한 입계에 서로 다른 상이 존재하기 때문에 기공이 감소하여 상대밀도가 증가하며 상대밀도가 증가할 경우 수축율도 증가한다고 생각된다.

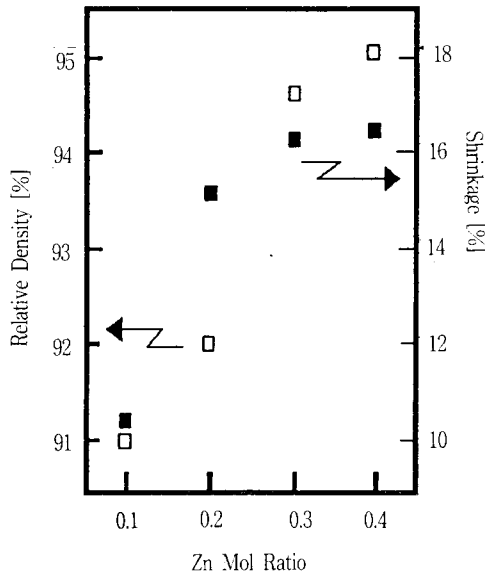


그림 2 상대밀도와 수축율
Fig. 2. The relative density and shrinkage.

그림 3은 복합산화물을 1200[°C]에서 2시간 소결시킨 X선 회절이다. Z2에서는 Z1보다도 전반적으로 피크가 성장하였고 (110)면의 피크가 특히 증가하였다. Z3에서는 $CaTiO_3$ 피크의 성장과 (110)면 피크는 감소하였다. Z4에서는 ZnO의 피크가 관측되었는데 이는 TiO_2 와 ZnO가 비반응 되어 2개의 상이 존재한다고 생각된다.

표 2는 복합산화물 유전체의 입자 크기와 격자상수비이다. 입자의 크기가 0.4~1.0[μm] 정도인 $BaTiO_3$ 계의 세라믹 유전체는 유전율이 크게 되고, 입자의 크기가 1[μm] 이상이 되면 유전율이 저하된다고 보고되고 있다⁸⁾. 표 2에서 복합산화물의 입자 크기는 1.0~1.22[μm]이었다. ZnO의 첨가량이 증가할수록 입자의 크기는 증가하였으며 0.3몰을 혼합하였을 때 입자의 크기가 커짐을 알 수 있었다. 이것은 c 축과 a 축의 입자 격자비가 가장 클 때 입자가 크게되어 격자상수의 증가비와 일치하였다.

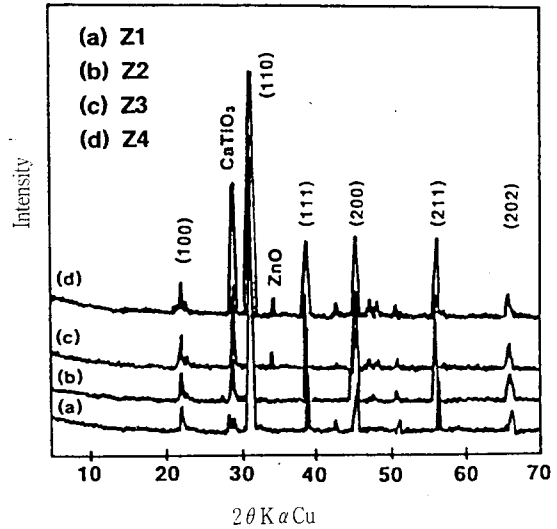


그림 3. 1200[°C]에서 소결시킨 복합산화물의 XRD
Fig. 3. The X-ray diffraction pattern composite oxide material capacitor at calcinated 1200[°C].

표 2 입자의 크기와 격자상수의 비
Table 2. The Grain Size and Lattice Constant Ratio.

Properties Specimen	Grain size [μm]	Lattice constant ratio c/a	Single crystall volume [$10^{-23} m^3$]
Z1	1.1143	1.008351	6.336
Z2	1.2270	1.008342	6.356
Z3	1.4337	1.009458	6.342
Z4	1.1426	1.008434	6.3758

사진 1에서 Z1의 시료는 입자의 크기가 구형으로 이루어져 있으며 첨가제인 ZnO의 증가에 의해 입자의 형상은 사각형으로 성장함을 알 수 있다. Z2와 Z3에서는 제 2상에 의한 입계층의 존재가 얇게 형성되었다. Z4에서는 Z2와 Z3보다도 입계층의 존재가 확실하게 나타나고 있다. 이는 ZnO의 입계층 존재로 인하여 수축율은 포화되기 시작하고, 상대밀도는 증가되어 그림 2와 같은 결과를 얻었다. Peigney는 ZnO를 첨가하여 소결한 경우 ZnO가 액상형태로 존재하였는데 고상반응이 끝난 것으로

보고하였다⁹⁾.

본 실험에서도 ZnO의 첨가량이 증가할수록 액상의 형태로 나타난 제2상의 형성으로 고상반응이 충분히 진행된 것으로 사료된다.

3-2. 전기적 특성

유전체에 순간적으로 전압을 인가하면 전극사이에 축적되어진 전하는 지수 함수적으로 증가하여

최종적으로 포화가 일어난다. 인가전압을 순간적으로 차단하면 전하는 지수 함수적으로 감소해서 0으로 된다.

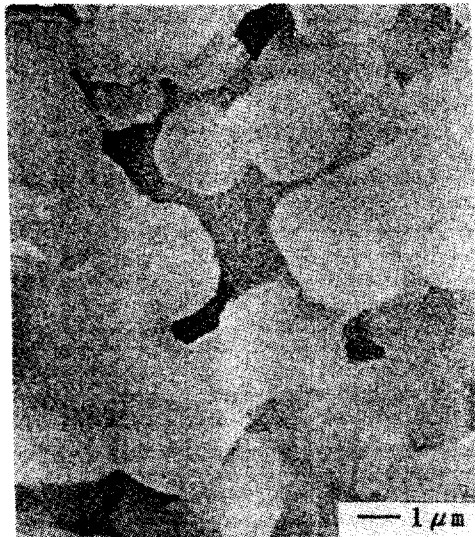
순시전하는 순시분극에 의한 전하와 유전체를 진공상태로 치환한 경우에 발생하는 전하에 의해서 형성된다. 흡수전하 또는 잔류전하는 유전완화를 동반하는 분극에 의한 전하이다.



(a) Z1



(b) Z2



(c) Z3



(d) Z4

사진 1 복합산화물의 SEM사진

Photo 1. The SEM photograph of composite oxide material.

그림 4는 복합산화물 유전체에 직류전계를 인가한 경우 충전전류를 나타낸 것이다. 직류전계를 BCTZ 유전체에 인가하고 일정시간후 직류전계를 소거한 결과, 모든 시료에서 상시충전전류의 값은 방전전류보다 2.2배 정도 높아졌다. 충전전류와 방전전류의 차이는 저항과 병렬로 조합된 유전체에 전계를 인가할 때, 전극으로부터의 전자주입에 의해 순간적으로 많은 전류가 흐르게 되고, 공간전하 분극에 의해서 전류의 흡수가 일어난다고 생각된다. 전계를 소거하면 유전체의 내부에 축적된 전하가 모두 방전되어야 하지만 유전체 내부의 등가 저항에 의해 주울열 손실을 일으키게 된다¹⁰⁾. ZnO의 몰비를 증가시키에 따라 상시충전전류의 값은 증가하다가 0.3몰을 혼합한 Z3를 기준으로 최대가 되었으며 0.4몰을 혼합한 Z4에서는 다시 감소하는

특성을 나타내었다. 이것은 입자의 격자비가 큰 경우 상시충전전류의 값이 작게 나타났다.

입자의 형상이 사각형인 유전체는 첨가량의 증가에 의해서 유전완화시간이 증가하는 결과로부터 상시충전전류 값의 변화는 입자의 형상과 입자의 크기와 관련이¹¹⁾ 있다고 생각된다.

그림 5는 주파수 1[kHz]하에서 실온부터 146[°C]까지 온도를 변화시킨 복합산화물 유전체의 유전완화시간이다. 온도의 증가에 따라 유전완화시간이 길어지는 이유는 Ti^{4+} 이온이 대칭중심으로부터 변위함으로써 자발분극을 갖다가 큐리온도에서 Ti의 변위에 의한 자발분극이 소멸하여 이온이나 공격자점의 이동에 의한 공간전하분극이 발생하기 때문이라 생각된다.

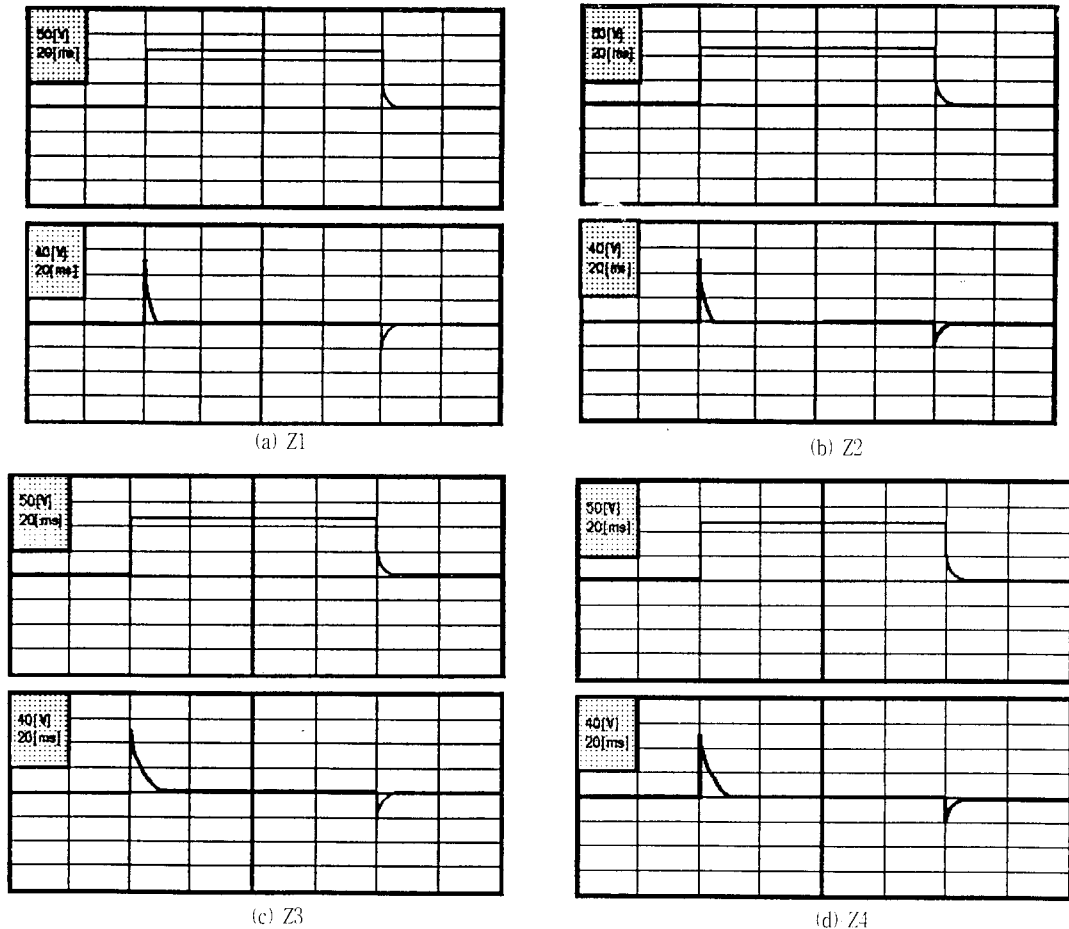


그림 4. DC전압을 가한 경우 복합산화물의 충전전류

Fig. 4. The charge current of composite oxide dielectric to supply DC voltage.

그림 5에서 복합산화물은 온도변화에 의해서 유전완화시간이 가장 크게 변화하는 111[°C]이상에서 공간전하분극으로 인하여 흡수전류 영역에서 누설전류 영역으로 되는 유전완화시간이 증가하였으나, 111[°C]이하에서는 상유전층의 존재로 감소하였다. 이는 온도가 증가함에 따라 공간전하분극이 형성되어 흡수전류의 시간영역이 길게 되는 것을 의미하고, 岡崎清의 결과¹²⁾와 일치함을 알 수 있었다.

ZnO의 몰비를 증가시킴에 따라 유전완화시간은 감소하다가 0.3몰에서 최소가 되었으며, 0.4몰부터는 다시 증가되는 특성을 나타내었다. 온도의 영향에 의해서 유전완화시간이 증가하는 이유는 ZnO의 첨가물이 시료 내에서 불순물로 작용하고, 입계와 입계 사이에서 기공이 존재하여 계면 분극이 형성되기 때문이라 생각한다.

강유전체의 자발분극은 외부전계에 의해서 발전되고 분극은 전계의 함수로 표현된다. (Ba_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃-ZnO(BCTZ) 세라믹 유전체는 온도 및 주파수의 변화에 의해서 유전특성이 나타나게 된다. 저주파수에서 온도의 영향이 작은 배향분극과 온도의 영향에 민감한 계면분극은 유전특성과 감쇠정수까지의 값지만 비유전율과 유전완화시간은 다르다.

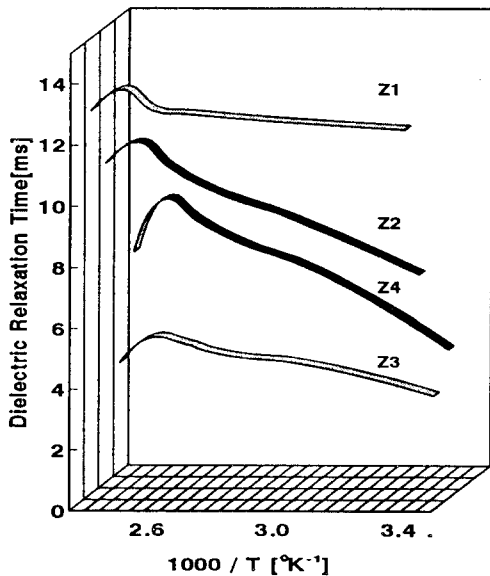


그림 5. 주파수 1[kHz]하에서 실온부터 146[°C]까지 온도변화 시킨 복합산화물의 유전완화시간

Fig. 5. The dielectric relaxation time of composite oxide dielectric from R.T to 146[°C] at 1[kHz].

저주파수와 저온에서는 공간전하의 분극과 자발분극에 의해서 유전완화시간이 증가한다. 그러나 고온과 고주파수의 범위에서는 주파수의 변화에 따라 분극의 형성 속도도 빨라지고 온도가 높기 때문에 열 운동에 의해 자유에너지가 최소로 되어 유전완화시간이 감소한다¹¹⁾.

표 3은 실온에서 전계의 세기를 5[kV/cm]로 인가하고 주파수를 1[kHz]로 하여 분극[P]과 전계[E]를 측정할 것이다. BCTZ 유전체는 외부전계가 존재하지 않는 경우 영구쌍극자가 평행하게 배열되어 길정 내에서 전체 분극은 나타나지 않는다. 그러나 외부에서 전계를 가하면 전계와 역방향의 자발분극을 갖는 분역은 변위되고 단분극의 길정으로 되며, 전계의 방향을 반대로 하면 분역도 반전하여 자발분극과 평행한 방향과 직각인 방향으로 배열된다.

단분극 질서는 분역벽을 유지하기 위하여 에너지가 필요하기 때문에 분역의 크기와 수는 정전에너지의 감소와 분역벽 에너지의 증가에 의해서 평행이 된다. 외부에서 전계를 가하면 분극에너지는 분극과 전계의 곱으로 되기 때문에 점점 많은 분극이 전계의 방향으로 배열되며 초기에는 분극의 위치에너지가 급격히 증가한다. 전계의 방향을 반대로 하면 분극이 0인 상태가 나타나고 분역이 반대방향으로 향한다. 이러한 에너지는 BCTZ 세라믹 유전체의 내부에서 열에너지로 소모되고 유전손실이 된다. BCTZ 세라믹 유전체는 ZnO의 첨가량의 증가에 의해서 잔류분극은 증가하고 항전계는 감소하였다.

표 3. BCTZ 세라믹 유전체의 잔류분극과 항전계

Table 3. The Remnant Polarization and Coercive Field of BCTZ Ceramic Dielectrics.

Property Specimen	Remanent Polarization [$\mu\text{C}/\text{cm}^2$]	Coercive Field [kV/cm]
Z1	115	2.875
Z2	162	2.5
Z3	219	2.375
Z4	219	2.375

강유전체는 온도의 변화에 따라 쌍극자의 상호작용이 다르게 되는 특성이 있다. 저온에서는 쌍극자의 배열이 규칙적으로 정렬되며, 모든 분역이 전계의 방향으로 배열되면 전계의 세기가 증가할 수

록 유기된 분극의 크기도 증가한다. 그러나 전계를 제거하여도 분극은 소멸되지 않고 유한한 값인 잔류분극을 갖는다.

표 4는 큐리온도에서의 BCTZ 세라믹 유전체의 잔류분극과 항전계이다.

표 4. 큐리온도에서 BCTZ 세라믹 유전체의 잔류분극과 항전계

Table 4. The Remnant Polarization and Coercive Field of BCTZ Ceramic Dielectrics at Curie Temperature.

Property Specimen	Remnant Polarization [$\mu\text{C}/\text{cm}^2$]	Coercive Field [kV/cm]
Z1	113	2.7
Z2	160	2.35
Z3	217	2.17
Z4	216	2.15

표 3과 표 4에서 잔류분극과 항전계는 온도의 증가에 의해서 감소하였는데 이것은 온도의 증가에 의해서 열산란이 발생하여 분극이 불규칙적으로 되면서 자발분극이 감소하였음을 의미한다. 그러나 전계를 제거하면 온도에 의해서 영구쌍극자의 방향이 무질서하게 되어 배향분극은 소멸된다.

4. 결 론

(Ba_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃에 ZnO를 혼합한 후 (Ba_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃-ZnO 복합산화물 유전체의 구조적 특성 및 유전분극 현상을 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 0.1몰의 ZnO를 첨가한 산화물에서는 수축이 작았으며, 0.2몰 이상을 혼합한 경우 수축률이 크게 증가하였다. 상대밀도는 0.4몰의 ZnO를 혼합하였을 때 95[%]로서 가장 우수하였다. Z2와 Z3에서는 세 2상에 의한 입계층의 존재가 얇게 형성되었으며, Z4에서는 Z2, Z3와는 달리 입계층이 확실히 존재하였다.
- 직류전계를 (Ba_{0.85}Ca_{0.15})TiO₃-ZnO에 인가한 후 직류전계를 소거한 결과, 상시충전전류는 방전전류보다 2.2배 정도 높았다. 입자의 격자비가 큰 경우 상시충전전류의 값이 작았으며 상시충전전류 값의 변화는 입자의 형상과 입자의 크기와 관련이 있었다.
- 복합산화물 유전체는 111[°C]이상에서 공간전하 분극에 의한 흡수전류 영역에서 누설전류 영역

으로 되는 유전완화시간이 증가하였으며, 111[°C]이하에서 상유전층에 의해 유전완화시간이 감소하였다.

- 온도의 증가에 의해서 열산란이 발생하여 분극이 불규칙적으로 되면서, 잔류분극과 항전계는 감소하였다. 전계를 가한 경우 분극에너지는 전계의 방향으로 배열되어 증가하였으며, 분극에너지는 BCTZ 세라믹 유전체 내부에서 열에너지 및 유전손실로 되었다.

참 고 문 헌

- 内海和明, "低温焼結積層セラミックコンデンサの技術動向", エレクトロニックセラミクス, 1987, pp.5-9
- 山下 洋八, "積層セラミックコンデンサ用鉛系誘電體材料", エレクトロニック-セラミクス, 1987, pp.22-26
- A.G.Castellanos-Guzman, "200 Years of Research On Boracites", ISAF94, 1994, pp.6-8
- 藤川 信儀, "卑金屬電極積層セラミックコンデンサ", エレクトロニック-セラミクス, 1987, pp.43-48.
- Jan Fousek, "Joseph Valasek and the Discovery of Ferroelectricity", ISAF94, 1994, pp.1-5
- Philippe Gillet, "Phase Changes and Thermodynamic Properties of CaTiO₃ Spectroscopic Data. Vibrational Modeling and Some Insights on the Properties of MgSiO₃ Perovskite", Phys. Chem. Minerals 20, 1993, pp.159-170
- Hiromu Yamaguchi, "Structural and Electrical Characterization of SrTiO₃ Thin Films Prepared By Metal Organic Chemical Vapor Deposition", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32, 1993, pp.4069-4073
- A.J.Bell, "Grain Size Effect in Barium Titanate-Revisited", ISAF94, 1994, pp.14-17
- A.Peigney, "Phase Evolution during Sintering of Bi-Ti-Doped Zinc Oxide", Journal of the European Ceramic Society 11, 1993, pp.533-543
- Hsing-I Hsiang, "Dielectric Properties and Ferroelectric Domain of BaTiO₃ Powder", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32, 1993, pp.5029-

5035

11. 産業技術 CENTER, CERAMIC 材料技術集成, 1982, pp.342-356

12. 岡崎清, セラミック誘電體, 1993, 대광문화사, pp. 100-150

서사소개

홍경진



1989년 전남대학교 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 석사. 1995년 현재 동 대학원 박사과정 수료. 1992년 10월 1995년 3월 일본 秋田대학 연구생. 1994년 3월 1995년 2월 전남대학교 전기공학과 조교.

김용주



1934년 5월 14일생. 1958년 3월 한양대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1970년 2월 동대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1987년 2월 동대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1964~1978 충주공업 초급대학교수. 1979~1984 충주공업전문대학장. 1987~1990 당학회 이사. 1991~1994 당학회 감사. 1995~현재 당학회 부회장. 충주산업대학교 전기공학과 교수.

임장섭



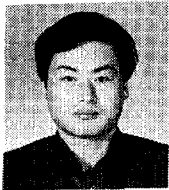
1967년 1월 19일생. 1989년 2월 전남대학교 전기공학과 졸업. 1991년 2월 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 2월 동 대학원 전기공학과 수료(박사과정). 1994년 3월 일본 아키타대학 전기전자공학과 연구생. 1997년 현재 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수.

김태성



1935년 11월 29일생. 1959년 2월 전남대학교 전기공학과 졸업. 1981년 2월 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1983년 7월 일본 경산대학위대학 전기공학과 연구교수. 1989년 7월 일본 동경공업대학 전기공학과 연구교수. 1995년 현재 전남대학교 전기공학과 교수. 당학회 부회장

정우성



1959년 6월 19일생. 1987년 조선대학교 전기공학과 공학사. 1994년 2월 전남대학교 대학원 석사학위. 1994년 3월-현재 목포대학교 전기공학과 조교.

민용기



1960년 9월 1일생. 1982년 2월 전남대학교 공대 전기공학과(공학사). 1986년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1992년 2월 전남대학교 대학원 전기공학과(공학박사). 1992년 3월-현재 광주대학교 공대 전기공학과 조교수.