

## BaTiO<sub>3</sub> 분말의 입자 크기가 내장형 커패시턴용 에폭시/BaTiO<sub>3</sub> 복합체 필름의 유전상수와 누설전류에 미치는 영향에 관한 연구

조성동\* · 이주연 · 백경욱

한국과학기술원 재료공학과

대전광역시 유성구 구성동 373-1 (E-mail: chosd1@cais.kaist.ac.kr)

### Study on the Effects of BaTiO<sub>3</sub> Particle Size on Dielectric Constant and Leakage Current of Epoxy/BaTiO<sub>3</sub> Composite Films for Embedded Capacitors

Sung-Dong Cho\*, Joo-Yeon Lee and Kyung-Wook Paik

Department of Materials Science and Engineering

Korea Advanced Institute of Science and Technology

373-1, Kusong-dong, Yusong-gu, Taejon 305-701, Korea

**초 록:** 폴리머/세라믹 복합체는 내장형 커패시터(embedded capacitor)의 유전 재료로 많은 관심을 불러 일으키고 있다. 본 논문은 bisphenol-A 타입의 에폭시와 직경 0.1~0.9  $\mu\text{m}$ 의 크기가 다른 6가지 종류의 BaTiO<sub>3</sub> 분말을 이용하여 스펀코팅 방법으로 도포된 epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite film의 유전상수와 누설전류에 미치는 분말 크기의 영향에 관한 것이다. 전체적으로 BaTiO<sub>3</sub> 입자가 67 vol% 함유된 Epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite 필름의 유전상수는 사용한 BaTiO<sub>3</sub> 분말의 크기가 커짐에 따라 증가하였다. 이것은 입자의 크기가 증가함에 따른 입자의 유전상수의 증가때문이며, XRD 분석을 통해 입자의 크기가 증가함에 따라 tetragonality가 증가함을 확인하였다. 복합체 필름의 누설전류도 또한 사용한 입자의 크기가 커짐에 따라 증가하였다. 이와 같은 현상의 원인은 분말의 크기가 증가함에 따라 단위길이 당 입자의 수가 감소하여 전위 장벽의 수가 줄어들고 하나의 전위 장벽에 걸리는 바이어스의 증가로 인한 전위장벽 낮춤 효과의 증대에 따른 것으로 판단된다. 이상의 결과를 토대로 볼 때 큰 입자의 분말을 사용할 때 높은 유전상수를 얻을 수 있는 반면 필름의 누설전류가 커지는 단점을 가지고 있음을 알 수 있었으며, 작은 크기의 분말은 이와 반대이다. 따라서 높은 유전상수와 낮은 누설전류 두 특성간의 절충이 요청되며 필요에 따라 적절한 크기의 분말 선택이 중요함을 알 수 있었다.

**Abstract:** Polymer/ceramic composite is of great interest as a dielectric material for embedded capacitors. This paper is concerned in the effects of BaTiO<sub>3</sub> particle size on epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite films for embedded capacitors. 6 different size powders smaller than 1  $\mu\text{m}$  in diameter and bisphenol-A type epoxy were used for this experiment. Dielectric constant of the epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite capacitors increases as the powder size increases at the same powder loading, which is due to the increase of tetragonality of the powders as particle size increases. And leakage current of the capacitors also increases dramatically as the powder size increases. It was explained that this is due to the decrease of the number of BaTiO<sub>3</sub>/epoxy/BaTiO<sub>3</sub> potential barriers per unit length and, moreover, the enhancement of potential barrier lowering effects caused by increase of potential drop per one barrier. As a result, there is tradeoff between high dielectric constant and low leakage current in the epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite capacitors. So it is important to select proper size BaTiO<sub>3</sub> powders in accordance with needs.

**Key Words:** embedded capacitor, barium titanate, polymer/ceramic composite, dielectric constant, leakage current

## 1. 서 론

최근 들어 전자제품의 경박단소화와 전기적 고성능화를 위하여 수동소자에 대한 관심이 날로 증가하고 있는데 이는 사용되는 수동소자의 수가 능동소자의 수에 비해 훨씬 많기 때문으로, 휴대용 이동통신 기기의 경우 능동소자에 대한 수동소자의 비가 20:1을 넘고 있다.<sup>1,2)</sup> 내장형 수동소자(integral passive 또는 embedded passive) 기술이란 기존의 개별형 수동소자 들을 기판의 표면으로부터 제거하여 다층구조 기판의 한 층에 형성하여 집적 시켜 주는 것을 말한다. 이렇게 함으로써 수동소자가 차지하고 있는 면적을 줄임으로 칩의 밀도를 높일 수 있으며, 소자간의 접속길이를 짧게 함으로 기생 인덕턴스 성분이 감소하여 전기적 성능의 향상을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 납땀을 통한 접속을 줄임으로 기계적 신뢰성의 향상을 동시에 얻을 수 있다. 수동소자 중에서도 커패시터(capacitor)에 대한 관심이 큰데 이는 사용되는 수동소자 수의 40% 이상을 차지할 뿐만 아니라 decoupling capacitor 또는 by-pass 커패시터와 같이 회로상에서의 역할이 중요하기 때문이다.

내장형 커패시터(embedded capacitor)의 후보 재료 중의 하나인 폴리머/세라믹 복합체는 폴리머의 우수한 가공성과 세라믹의 높은 유전상수를 결합한 것이다. 공정온도가 낮고 비용이 적게 들면서도 비교적 우수한 성능의 커패시터를 형성할 수 있을 뿐만 아니라 특히 에폭시/세라믹 복합체의 경우 현재 많이 사용되고 있는 플라스틱 인쇄회로 기판과의 상호적합성을 가지고 있어 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>3-8)</sup>

에폭시/세라믹 복합체의 유전상수에 가장 큰 영향을 주는 물질은 세라믹 분말이다. 같은 두께에서 단위 면적 당 높은 커패시턴스(capacitance)를 얻기 위해서는 필름의 유전상수를 높여야 하며, 이를 위해서는 충전제로 사용하는 세라믹 분말의 선택이 매우 중요하다. 본 연구에서는 세라믹 충전제로서 BaTiO<sub>3</sub>를 사용하였는데 이는 가장 널리 사용되고 있는 고유전율 물질이기 때문이며, BaTiO<sub>3</sub>의 높은 유전상수 및 강유전 성질은 정방정 구조에서 기인하는 것이다.

BaTiO<sub>3</sub> 분말의 크기에 따른 결정구조의 변화에 대해서는 많은 연구가 있었으나, 분말의 크기와 유전상수와의 관계에 대해서는 분말의 유전상수를 직접적으로 측정할 수 있는 방법이 없어 이를 명확하게 이야기 하는 것은 쉽지 않다. 그러나 BaTiO<sub>3</sub> 소결체 또는 박막의 경우 결정립(grain)의 크기에 따른 유전상수의 변화는 많은 연구가 되었으며 이를 통해 분말의

크기와 유전상수와의 관계를 어느 정도 예상할 수 있다. G. Arlt<sup>9)</sup>에 의하면 BaTiO<sub>3</sub>의 유전상수는 결정립의 크기에 따라 변하는데 0.7 μm 근처에서 최대값을 가지며 그 이하에서는 입자 크기가 작아짐에 따라 유전상수도 감소한다고 한다. 0.7 μm 이상에서 결정립의 크기가 작아짐에 따라 유전상수가 증가하는 것은 입계의 증가에 따른 domain wall의 급격한 증가에 기인 한 것이며, 0.7 μm 이하에서는 입자의 크기가 작아짐에 따라 tetragonality가 감소하기 때문이라고 설명하였다. K. Uchino<sup>10)</sup>에 따르면 분말의 경우 1 μm 이하에서 크기가 감소함에 따라 tetragonality가 줄어드는 것을 관찰하였는데, 0.3 μm까지는 서서히 감소하며 그 이하에서 급격히 감소하여 입방정구조로 변한다고 하였다.

따라서 위의 문헌들을 토대로 분말의 유전상수 또한 입자의 크기에 따라 달라질 것으로 예측할 수 있으며, 적절한 크기의 분말을 선택하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 크기가 다른 6종류의 BaTiO<sub>3</sub> 분말을 이용하여 BaTiO<sub>3</sub> 분말의 입자크기가 에폭시/BaTiO<sub>3</sub> 복합체 커패시터의 유전상수와 그리고 커패시터의 또 다른 중요한 특성중의 하나인 누설전류에 미치는 영향을 살펴보고 이를 고찰하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 사용 재료

본 연구에 사용된 재료는 크게 BaTiO<sub>3</sub> 분말, 분산제, 솔벤트, 에폭시, 경화제로 구분할 수 있다.

실험에 사용된 BaTiO<sub>3</sub> 분말은 총 6가지 이며 입자 크기 및 몇 가지 특성을 Table 1에 정리하였다. Table 1에 나타난 것처럼 평균입자크기가 0.15~1 μm의 것

Table 1. Characteristics of powders used for this study

Powder #	Particle size (μm)		Spec. surface area (m <sup>2</sup> /g) by BET	Dispersant (wt%)
	D <sub>avg</sub>	D <sub>med</sub>		
S- 01	0.173	0.151	13±3	2.4
S- 02	0.334	0.254	7.1	1.6
S- 03	0.411	0.319	4.0±0.4	2.2
S-05B	0.811	0.752	2.2	1.6
S- 04	0.893	0.832	2.4	1.6
S- 05	0.975	0.916	2.3	1.4

Ba/Ti ratio: 0.999±0.003, PSA: particle Size Analysis, These are based on the data provided by manufacturers.

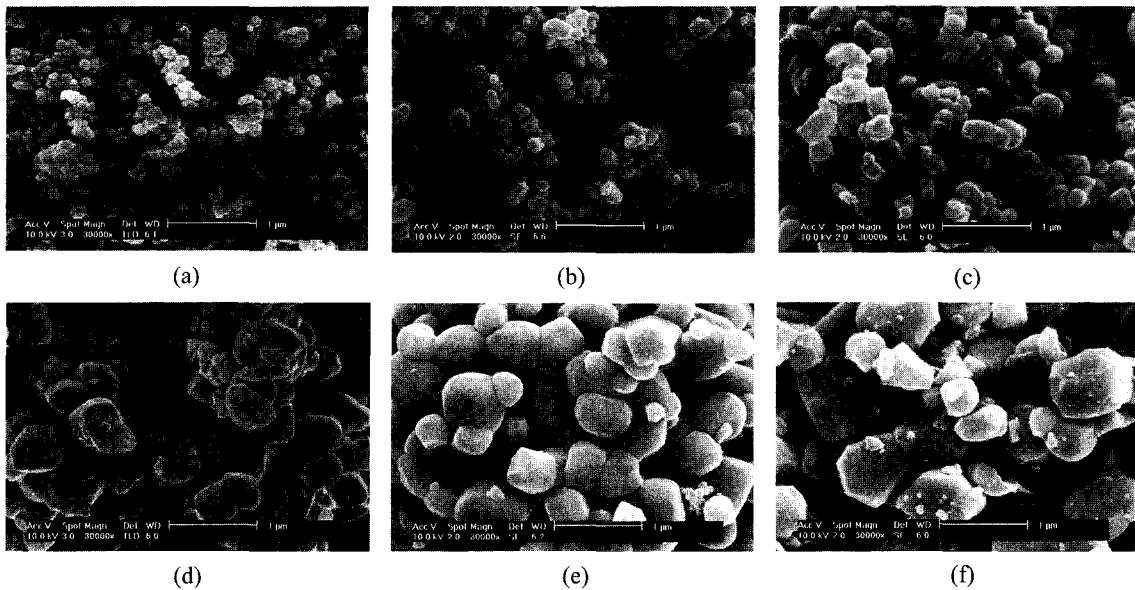


Fig. 1. SEM images of BaTiO<sub>3</sub> powders used for the study; (a) S-01, (b) S-02, (c) S-03, (d) S-05B, (e) S-04, and (f) S-0.

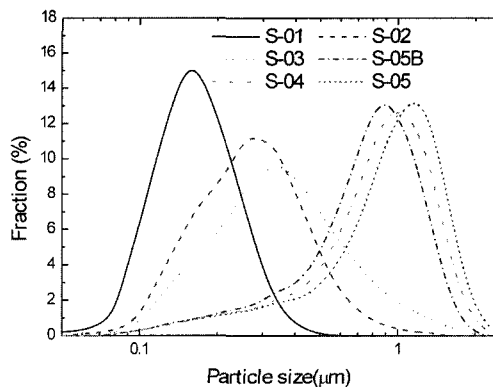


Fig. 2. Particle size distributions of the 6 powders.

으로 모두 동일한 제조업체에서 수열합성법에 의해 만들어졌으며 그 크기 순서는 작은 것부터 시작해서 S-01, S-02, S-03, S-05B, S-04, S-05가 된다. Fig. 1은 6가지 BaTiO<sub>3</sub> 분말의 Scanning Electron Microscope (SEM) 사진으로, 모든 분말들이 구형에 가까운 모양을 하고 있음을 알 수 있다. Fig. 2는 6가지 분말의 크기 분포를 나타낸 것이다. 이들 분말들의 결정구조와 tetragonality는 X-ray diffraction (XRD) 패턴분석을 통해 파악하였다.

BaTiO<sub>3</sub> 분말의 분산제로는 널리 알려진 phosphate ester (BYK Chemie)를 이용하였으며,<sup>11)</sup> 유기용매로는 propylene glycol monomethyl ether acetate (PGMEA:

b.p.=146°C)를 이용하였다. 분산제의 양은 각 분말 별로 분산제의 양에 따른 혼탁액(suspension)의 점도 변화를 관찰하여 점도가 최소가 될 때의 양을 넣어 주었으며 Table 1에 그 양을 표시하였다.

Matrix가 되는 폴리머로는 bisphenol-A 타입의 에폭시(E.E.W.: 5,000~6,000)를 이용하였으며, 경화제로는 경화 시작온도가 높고 상온에서는 경화가 진행되지 않아 상온 보관성이 우수한 잠재성 경화제(latent curing agent) dicyandiamide (DICY)를 에폭시 질량의 14 wt% 만큼 넣어 이용하였다.

## 2.2. 커패시터 제작과정

유기 용매인 PGMEA에 적정량의 분산제를 넣은 후 BaTiO<sub>3</sub> 분말을 넣고 48시간 동안 불밀을 수행하여 분말을 분산시켰다. 여기에 에폭시를 첨가하고 다시 24시간 불밀을 수행하였는데 이 때 에폭시의 양은 에폭시와 파우더의 부피비가 1 : 2 (67 vol%)가 되도록 하였다. 이렇게 만들어진 슬러리를 하부전극용 Al이 입혀진 Si 기판 위에 붓고 스펀코터를 이용해 도포하였다. 이때 회전속도는 2000 rpm과 4000 rpm 두 가지로 하였다. 이후 시편들을 진공오븐에 넣고 110°C에서 한 시간 동안 두어 솔벤트를 제거한 후 온도를 200°C까지 올려 30분 동안 유지시켜 경화가 진행되도록 하였다. 상부전극은 shadow마스크를 시편 위에 밀착시킨 후 Al을 스퍼터링하여 두께 5000 Å, 면적 0.126 cm<sup>2</sup>의 원형 전극이 생성되도록 하였다.

### 2.3. 커패시터 특성평가

Si 기판과는 별도로 유리기판 위에 필름을 도포한 후, alpha-step (surface profilometer)을 이용하여 두께를 측정하였다. 완성된 커패시터의 특성 평가를 위해 커패시터, 유전손실(dielectric loss;  $\tan\delta$ ), 누설전류를 측정하였다. 커패시터와 유전손실은 HP 4284A LCR meter를 이용하여 100 kHz에서 측정하였으며, 누설전류는 Keithley 236 Source Measure Unit을 이용하여 각 필름의 두께에 따라 0.1 MV/cm 까지 바이어스를 가하고 10 V와 0.1 MV/cm에서의 전류의 값을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 분말의 크기에 따른 유전상수의 변화

Fig. 3(a)는 6가지 분말의 XRD 패턴들이다. BaTiO<sub>3</sub>의 결정구조의 구별은 45°근처의 {200} peak을 가지고 할 수 있다. 정방정 구조에서는 (200)과 (002)의 두 peak으로 구별이 되지만 cubic 구조에서는 하나의 peak으로 나타난다. Fig. 3(a)에서 45°근처의 peak을 살펴보면 가장 작은 분말인 S-01에서는 이러한 peak의 분리현상을 발견하기 힘들었다. S-02의 경우 확실한 peak의 분리는 나타나지 않았지만 peak의 모양이

비대칭적인 것으로 볼 때 두 peak이 가까이 있어 겹쳐진 상태로 나타난 것으로 보여진다. S-03 이상의 분말에서는 (200) peak과 (002) peak의 분리가 확실히 나타났다. Fig. 3(b)는 {200} peak을 확대하여 본 것으로 각 분말별로 두 peak의 변화를 확실히 볼 수 있다. 이를 통해 각 분말의 결정구조를 정리하면 S-03 이상 크기의 분말은 정방정 구조를 S-01 분말은 입방정 구조를, 그리고 S-02는 이들의 중간 상태를 가지고 있는 것으로 생각된다.

Tetragonality를 정량화 하기 위해 (200) peak와 (002) peak의 위치 차이를 구하였는데 그 결과가 Fig. 4이다. S-01 분말은 두 peak의 구별이 사실상 불가능하여 여기에 포함하지 않았다. 두 peak의 위치 차이 ( $\Delta 2\theta$ )는 tetragonality와 비례하므로  $\Delta 2\theta$ 가 클수록 tetragonality가 크다고 할 수 있으며, 따라서 Fig. 4를 보면 전반적으로 분말의 크기가 커짐에 따라 tetragonality가 증가하며 S-05B 크기 이상의 분말은 거의 비슷함을 알 수 있다.

Table 2는 6가지 종류의 파우더를 이용해 만든 epoxy/BaTiO<sub>3</sub> 복합체 커패시터의 두께, 커패시턴스, 유전손실(dielectric loss)의 측정값을 정리한 것이다. 코팅속도와 분말의 종류에 따라 2.5~4.5  $\mu\text{m}$ 의 두께의 필름이 생성되었으며, 커패시턴스는 9~20 nF/

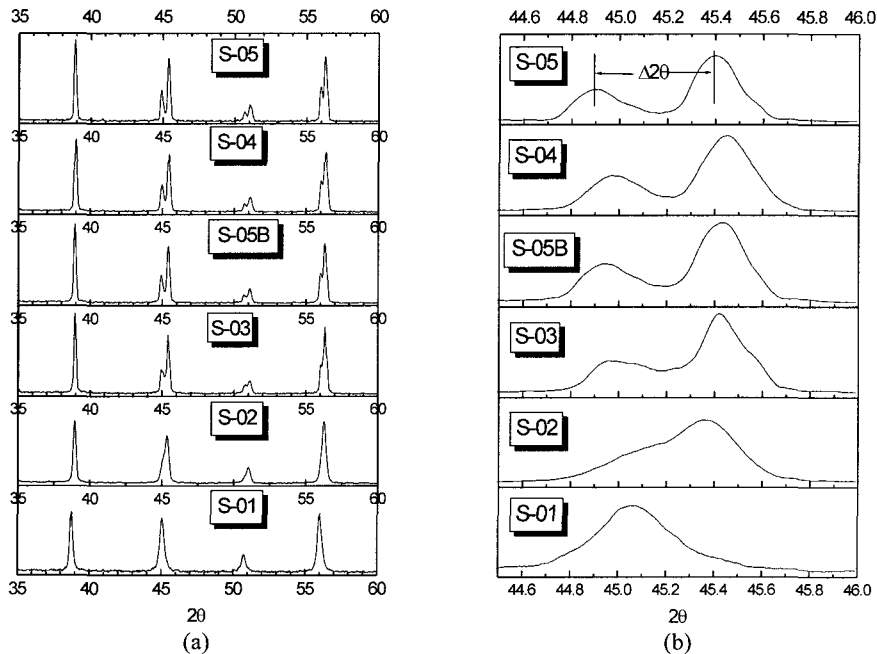
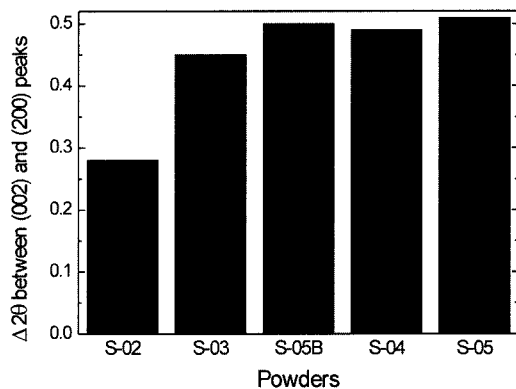
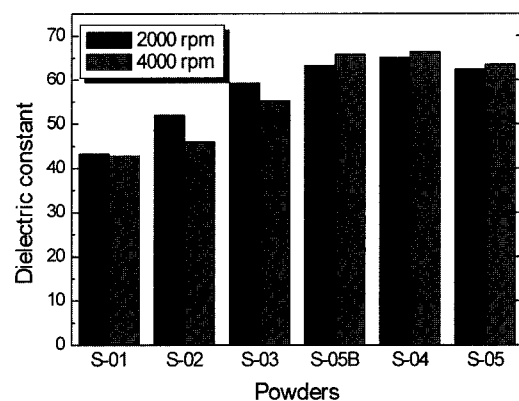


Fig. 3. XRD pattern of the powders as a function of  $2\theta$  ranging from (a) 35° to 60°, and (b) 44.5° to 46°.

**Table 2.** Measured values of properties of epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite capacitors with various powders

Powder	Coating speed (rpm)	Thickness ( $\mu\text{m}$ )	Capacitance (nF/cm <sup>2</sup> )	Dielectric loss
S- 01	2000	4.249	9.014	0.0225
	4000	2.403	15.75	0.0239
S- 02	2000	4.253	10.84	0.0228
	4000	2.72	14.96	0.0218
S- 03	2000	4.5	11.65	0.0232
	4000	2.873	16.95	0.0236
S- 05B	2000	4.192	13.37	0.0214
	4000	2.725	21.30	0.0257
S- 04	2000	4.352	13.24	0.0266
	4000	3.761	18.46	0.0253
S- 05	2000	3.74	14.81	0.0229
	4000	2.55	22.08	0.0241

**Fig. 4.** Difference between (002) peak and (200) peak positions.**Fig. 5.** Dielectric constant of epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite capacitor fabricated with various powders.

cm<sup>2</sup> 이었고, 유전손실 값은 모든 경우 0.03이하의 값을 보였다.

Fig. 5는 앞에서의 측정값을 이용해 계산된 유전상수의 평균값이다. 그림에서 나타난 것처럼 에폭시/BaTiO<sub>3</sub> 복합체 커패시터의 유전상수는 입자크기가 커짐에 따라 증가하는 경향을 보였으며 S-05B 이상에서는 거의 동등하거나 약간 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 앞에서 설명한 분말 크기에 따른 tetragonality의 변화와 유사한 모습이었다. 따라서 분말의 크기에 따른 에폭시/BaTiO<sub>3</sub> composite capacitor의 유전상수의 변화는 대부분 분말의 결정구조의 차이, 즉

tetragonality의 차이에서 기인했던 것으로 생각된다.

### 3.2. 분말의 크기에 따른 누설전류의 변화

Fig. 6은 각 필름의 두께에 따라 0.1 MV/cm의 바이어스(bias)를 인가하였을 때 에폭시/BaTiO<sub>3</sub> 복합체 커패시터 (67 vol% 분말 함유)의 분말의 크기에 따른 누설전류의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 입자의 크기가 커짐에 따라 누설전류가 급격히 증가함을 알 수 있으며 2000 rpm 보다는 4000 rpm으로 스핀코팅을 한 필름의 누설전류가 더 컸다.

에폭시/BaTiO<sub>3</sub> 필름에서 분말의 함량이 낮고 분산

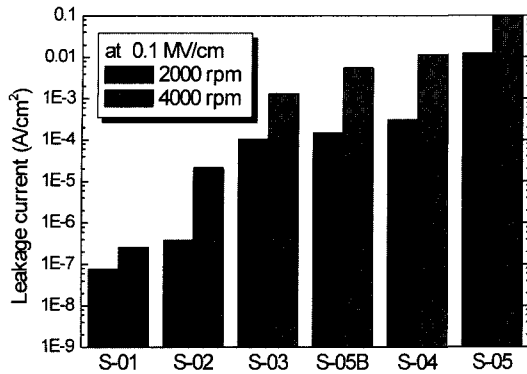


Fig. 6. Leakage current of the epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite capacitors with the various powders at 0.1 MV/cm.

이 잘된 경우 모든 BaTiO<sub>3</sub> 입자는 에폭시로 둘러싸이고 BaTiO<sub>3</sub> 입자 사이의 연결은 없다고 가정할 수 있다. 그러나 BaTiO<sub>3</sub> 분말의 양이 늘어나면 BaTiO<sub>3</sub> 입자들끼리 접촉이 발생하고 마침내 상부전극으로부터 하부전극까지 전 필름두께에 걸쳐 입자들이 연결되는 percolation 현상이 나타나게 된다. BaTiO<sub>3</sub>는 분말은 에폭시에 비해 전기가 잘 통하는 물질이다. 따라서 필름의 양단에 바이어스를 인가하였을 때, percolation 이 발생할 수 있는 양보다 적은 양의 분말을 함유한 경우 전류의 흐름은 BaTiO<sub>3</sub> 입자를 둘러싼

에폭시에 의해 방해를 받아 누설전류가 작지만, percolation이 발생하면 BaTiO<sub>3</sub> 입자를 따라 전류가 잘 흐를 수 있어 누설전류가 급격히 증가한다.<sup>12)</sup>

단일크기의 구형 분말을 사용한 경우 이론적으로 얻을 수 있는 최대 충전율과 percolation threshold는 이론상으로 약 74 vol%이다. 본 실험에 사용한 BaTiO<sub>3</sub>의 함량은 67 vol%로서 이보다는 작은 값이므로 percolation이 일어나기 전이며, Fig. 7을 통해 이를 확인할 수 있다.

따라서 입자의 커짐에 따른 누설전류의 증가는 다음과 같이 이해할 수 있다. 분말의 크기가 증가하면 에폭시/BaTiO<sub>3</sub> 복합체 필름의 단위 길이 당 BaTiO<sub>3</sub> 입자의 수는 감소하고 전류의 흐름을 방해하는 BaTiO<sub>3</sub>분말/에폭시/BaTiO<sub>3</sub>분말 계면의 수가 감소한다. 또한 전위 장벽 역할을 하는 이 계면의 수가 줄어들수록 같은 바이어스를 인가하였을 때 하나의 전위장벽에 걸리는 바이어스가 증가하여 전위장벽 낮춤효과(potential barrier lowering effect)가 더 크게 나타나므로 더욱 더 급격한 누설전류의 증가가 나타나는 것으로 생각된다. 결론적으로 분말의 크기가 증가함에 따라 지나가야 하는 BaTiO<sub>3</sub>분말/에폭시/BaTiO<sub>3</sub> 분말의 전위 장벽의 수가 줄고 하나의 전위 장벽에 걸리는 바이어스가 증가하기 때문에 누설전류의 급격한 증가가 나타난 것으로 생각된다.

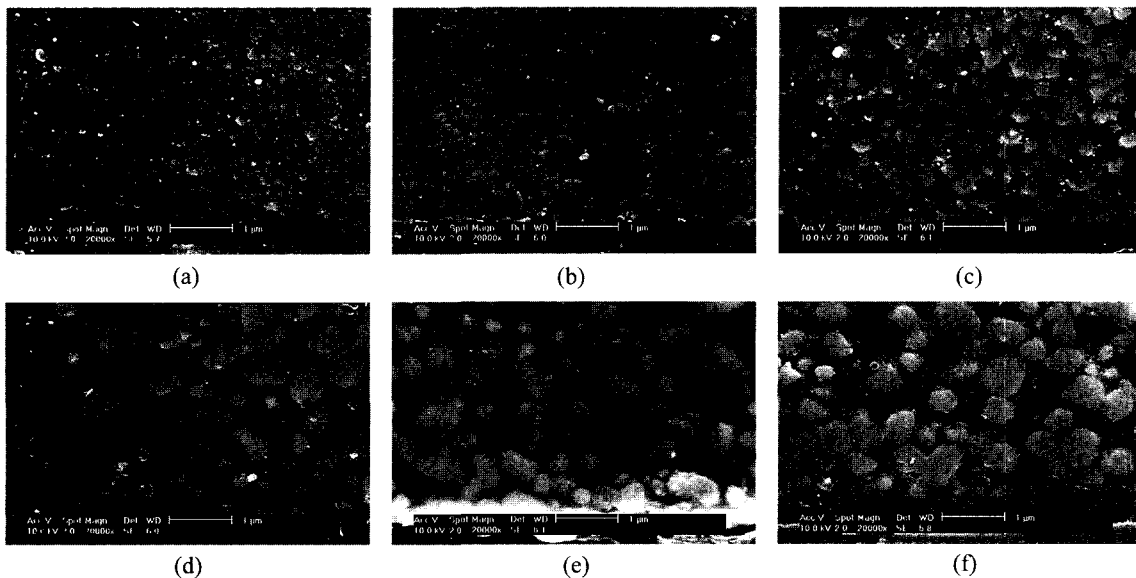


Fig. 7. Cross section images of the epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite films fabricated with 6 different powders ( $\times 20000$ ); (a) S-01, (b) S-02, (c) S-03, (d) S-05B, (e) S-04, and (f) S-05.

#### 4. 결 론

크기가 다른 6종류의 BaTiO<sub>3</sub> 분말을 이용하여 에폭시/BaTiO<sub>3</sub> 복합체 커패시터를 제작하고 그의 특성 평가를 통해 분말의 크기에 따른 커패시터의 유전상수 변화와 누설전류 변화를 살펴보았다. 복합체 커패시터의 유전상수는 입자의 크기가 증가함에 따라 증가하였는데 이는 분말 크기의 증가에 따라 분말의 tetragonality의 증가 때문이었다. 누설전류의 경우 입자의 크기가 증가함에 따라 급격한 증가를 보였다. 이는 단위길이 당 BaTiO<sub>3</sub> 입자의 수가 감소하고 이에 따라 BaTiO<sub>3</sub>/에폭시/BaTiO<sub>3</sub>의 전위 장벽의 수가 줄어들 뿐만 아니라 전위장벽 낮춤효과가 증가하기 때문으로 생각된다. 이상의 결과를 종합하여 보면 1 μm 보다 작은 입자들의 경우 큰 입자는 높은 유전상수를 얻을 수 있다는 장점이 있지만 누설전류 또한 크다는 단점을 가지고 있다. 이와는 반대로 작은 입자는 유전상수는 작지만 누설전류는 작다는 좋은 점을 가지고 있음을 알 수 있었다. 따라서 높은 유전상수와 낮은 누설전류사이에서 어느 정도 절충이 필요하며 이 두 가지를 잘 고려하여 필요에 맞게 적절한 크기의 분말을 선택하는 것이 중요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 전자패키지재료연구센터의 지원으로 수행하였습니다.

#### 참고문헌

1. J. Prymark, *et al.*, "Fundamentals of Passives: Discrete, Integrated, and Embedded", Chap. 11 in Fundamentals of Microsystems Packaging, ed. by R. R. Tummala, 420, McGraw-Hill Book Company, New York (2001).
2. J. Rector, "Economic and Technical Viability of Integral Passives", in Proc. of 48<sup>th</sup> Electronic Components and Technology Conf., Seattle, WA, 218 (1998).
3. S. K. Bhattacharya and R. R. Tummala, "Next Generation Integral Passives: Materials, Processes, and Integration of Resistors and Capacitors on PWB substrates", J. Mater. Sci: Materials in Electronics, 11(3), 253 (2000).
4. S. Ogitani, S. A. Bidstrup-Allen, and P. A. Khol, "Factors Influencing the Permittivity of Polymer/Ceramic Composite for Embedded Capacitors", IEEE Trans. on Advanced Packaging, 23(2), 313 (2000).
5. B. A. Schutzberg, *et al.*, "Integral Thin Film Capacitors: Materials, Performance and Modeling", in Proc. of 50<sup>th</sup> Electronic Components and Technology Conf., Las Vegas, NV, 1564 (2000).
6. Y. Rao, *et al.*, "Novel high Dielectric Constant Nanostructure Polymer-ceramic Composite for Embedded Capacitor Application", in Proc. of 50<sup>th</sup> Electronic Components and Technology Conf., Las Vegas, NV, 183 (2000).
7. S. D. Cho and K. W. Paik, "Relationship between Suspension Formulations and the Properties of BaTiO<sub>3</sub>/Epoxy Composite Films for Integral Capacitors", in Proc. of 51<sup>st</sup> Electronic Components and Technology Conf., Orlando, FL, 1418 (2001).
8. 조성동, 이주연, 백경옥, "인쇄회로기판 용 Epoxy/BaTiO<sub>3</sub> 내장형 커패시터 필름에 관한 연구", 마이크로전자 및 패키징학회지, 8(4), 59 (2001).
9. G. Arlt, D. Henning, and G. de With, "Dielectric properties of fine-grained barium titanate ceramics", J. Appl. Phys., 58(4), 1619 (1985).
10. K. Uchino, E. Sadanaga, and T. Hirose, "Dependence of Crystal Structure on Particle Size in Barium Titanate", J. Am. Ceram. Soc., 72(8), 1555 (1989).
11. K. Mikeska and W. R. Cannon, "Dispersant for Tape Casting Pure Barium Titanate", in Advances in Ceramics Vol. 9, Forming of Ceramics, ed. by J. A. Mangels, The American Ceramic Society, 164 (1984).
12. 조성동, 이주연, 백경옥, "BaTiO<sub>3</sub> 분말의 크기와 함량이 내장형 커패시터 용 에폭시/BaTiO<sub>3</sub> 복합체 필름의 특성에 미치는 영향", 한국마이크로전자 및 패키징학회 춘계 기술심포지움, 경기대학교, 수원, 142 (2002).