

# PWB 기판용 Embedded Capacitor 필름 제작에 관한 연구

이주연\*, 조성동, 백경욱  
한국과학기술원 재료공학과

## Study on the Fabrication of Embedded Capacitor Films for PWB substrate

Jooyeon Lee\*, Sungdong Cho, and Kyung-Wook Paik  
Department of Materials Science and Engineering, KAIST  
jooyeon@cais.kaist.ac.kr

### Abstract

Epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite film type capacitors with excellent stability at room temperature, uniform thickness, and electrical properties over a large area were successfully fabricated. We fabricated composite capacitor films with good film formation capability and easy process ability, from ACF-resin as a matrix and two kinds of BaTiO<sub>3</sub> powders as fillers to increase the dielectric constant of the composite film. The crystal structure of the powders and its effects on dielectric constant of the films were investigated by X-ray diffraction. DSC and dielectric properties tests were conducted to decide the right curing temperature and the optimum amount of the curing agent. As a result, the capacitors of 7 $\mu$ m thick film with 10nF/cm<sup>2</sup> and low leakage current were successfully demonstrated.

### 1. 서론

최근 들어 전자제품의 경박단소화와 전기적 고성능화를 위하여 수동소자에 대한 관심이 날로 증가하고 있는데 이는 사용되는 수동소자의 수가 능동소자의 수에 비해 훨씬 더 많기 때문으로, 휴대용 이동통신 기기의 경우 능동소자에 대한 수동소자의 비가 20을 넘고 있다.[1,2] 내장형 수동소자(integral passive 또는 embedded passive)란 기존의 개별형 수동소자 들을 기판의 표면으로부터 제거하여 다층구조 기판의 한 층으로 집적시키는 것으로, 수동소자가 차지하고 있는 면적을 줄일 수 있어 chip density를 높일 수 있으며, 소자간의 접속길이가 줄어 전기적 성능의 향상뿐만 아니라, 기계적인 신뢰성의 향상을 동시에 기대할 수 있다. 내장형 캐패시터(embedded capacitor)의 후보 재료 중의 하나인 polymer/ceramic composite은 폴리머의 우수한 가공성과 세라믹의 높은 유전상수를 결합한 것으로, 공정온도가 낮고 비용이 적게 들면서 비교적 우수한 성능의 캐패시터를 형성할 수 있을 뿐만 아니라 PWB 기판과의 상호적합성도 가지고 있어 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다.[3,4]

본 연구는 기존에 필름 도포방법으로 많이 사용하고 있는 스펀코팅 방법의 단점을 극복하여 균일한 두께와 균일한 전기적, 유전적 특성을 가진 필름을 넓은 면적에 쉽게 도포하여 내장형 캐패시터를 제작할 수 있는 PWB(Printed Wiring Boards) 기판용 epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite 캐패시터 필름의 제작에 관한 것이다. 이를 위하여 matrix가 되는 폴리머로 에폭시를 기본으로 하며 필름 형성특성과 가공성이 우수한 이방성 전도필름(ACF)용 레진을 도입해 이용하였으며, 캐패시터 필름의 도포방법으로는 tape casting방법을 이용하였다. 이렇게 만들어진 필름을 이용해 캐패시터를

제작하고, 이에 대한 공정특성과 그 캐패시터 필름의 특성에 대해 연구하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. Materials

실험에 사용된 재료는 크게 BaTiO<sub>3</sub> 분말, 분산제, 솔벤트, 에폭시 레진, 경화제로 구분할 수 있다. BaTiO<sub>3</sub>의 유전상수는 입자의 크기에 따라 변하는데 1 $\mu$ m 근처에서 최대값을 가지며 그 이하에서는 입자 크기가 작아짐에 따라 유전상수도 감소하는 것으로 알려져 있는데 이는 입자의 tetragonality와 관련이 있다.[5,6] 본 연구에 사용된 BaTiO<sub>3</sub> 분말은 직경 0.9 $\mu$ m의 분말A와 직경 0.06 $\mu$ m의 분말B의 구형 또는 구형에 가까운 두 가지 분말을 이용하였으며 X-ray diffraction pattern(XRD) 분석을 통해 결정구조를 파악하고자 하였다.

BaTiO<sub>3</sub> 분말의 분산제로는 널리 알려진 phosphate ester (BYK Chemie)를 이용하였으며,[7] 유기 용매로는 2-Butanone (MEK)과 Toluene을 3:1로 혼합하여 사용하였다. Matrix가 되는 polymer로는 ACF용 레진을 이용하였다. 이 레진은 경화 후 접착력과 열적 안정성이 우수한 열경화성 수지 Bisphenol-A와 Bisphenol-F 타입의 에폭시를 기본으로 하여, 경화 전 flexibility와 tackiness를 부여하기 위해 분자량이 큰 열가소성수지 phenoxy 레진을 혼합한 것이다.[8] 경화제로는 경화 시작 온도가 높고 상온에서는 경화가 진행되지 않아 pot life가 긴 잠재성 경화제(latent curing agent), DICY를 이용하였다.[9]

### 2.2. 경화조건 결정

경화제의 적절한 양과 경화 온도를 결정하기 위해 경화제를 폴리머 레진의 2, 5, 10, 14, 16, 18, 20wt%로 넣어 캐패시터 필름을 만들고, 이를 DSC(differential scanning calorimeter)를 이용하여 필름의 온도에 따른 열량변화를 상온에서 250 $^{\circ}$ C까지 관찰하였으며, 실제 캐패시터를 제작해 경화제의 양에 따른 캐패시터 특성변화를 살펴보았다. 이때 사용한 분말은 분말A 이었으며, 최종적으로 형성된 필름 내에서의 BaTiO<sub>3</sub> 분말의 부피는 모두 65vol%가 되도록 하였다.

### 2.3. 필름 도포 공정 및 캐패시터 특성평가

먼저 레진은 세 종류의 폴리머를 MEK와 Toluene 1:3 혼합 용매에 녹여 따로 보관하였다. 분말 역시 같은 용매에 분산제와 함께 넣어 분산을 시킨 후 경화제를 첨가하여 48시간 이상 ball milling을 수행하였다. 이 후 분말이 들어 있는 슬러리에 폴리머 레진을 넣어 잘 섞어주고 이것을 자동도공장치(automatic control film coater)와 bar coater를 이용하여 이형지 위에 도포하여 필름을 제작하였다. 형성된 필름 내에 존재하는 솔벤트를 제거하기 위하여 80 $^{\circ}$ C에서 3분 동안 convection oven에 넣어 건조를 하였다. 캐패시터를 형성하기 위하여 0.5 $\mu$ m의 알루미늄이 입혀진 Si 기판에 필름 라미네이션(lamination) 방법으로 필름을 접착하였다. 상부 전극은 0.5 $\mu$ m의 알루미늄을 sputtering 방법으로 입혔다. 라미네이션 된 필름의 두께는 alpha-step (surface profilometer)을 이용하여 측정하였다. 완성된 캐패시터의 특성 평가를 위해 capacitance, 유전손실(dielectric loss; tan), 누설전류를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 분말의 결정 구조

Fig.1은 두 분말의 XRD분석 결과이다. XRD pattern에서 BaTiO<sub>3</sub>의 입방정구조와 사방정구조는 비슷한 위치에서 peak이 나타나며 이 두 구조의 구별은 2 $\theta$ 가 45 $^{\circ}$  이상인 위치에서 peak의 갈라짐을 통해 할 수 있다. Fig.1을 통해 볼 때 큰 입자인 분말A는 사방정 구조를 가지고 있고, 작은 입자인 분말B는 입방정 구조에 가까움을 알 수 있으며 이는 문헌상의 결과와도 일치한다.[6] 따라

서 tetragonality가 더 높은 것으로 나타난 분말A를 이용해 만들어진 필름의 유전상수가 분말B를 사용해 만든 필름의 유전상수보다 더 클 것으로 예상된다.

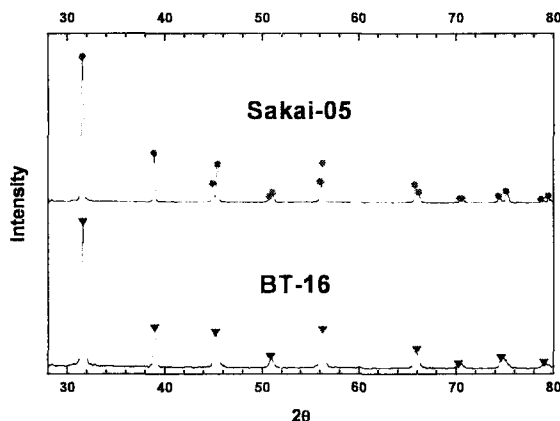


Fig. 1. X-ray Diffraction patterns ( $\theta$ - $2\theta$  scan) of powder A( $0.9\mu\text{m}$ ) and powder B( $60\text{nm}$ )

### 3.2. 경화제의 양에 따른 경화거동 및 전기적 특성

Fig.2는 경화제의 양에 따른 경화 온도와 열량변화와의 관계를 나타낸 것이다. Fig.2(a)에서 알 수 있듯이 DICY에 의한 경화는 약  $160^{\circ}\text{C}$  이상에서 진행이 시작되는 것으로 생각된다. 문헌에 의하면 DICY의 경화온도는  $140\text{--}160^{\circ}\text{C}$ 인데,[8] 이에 비해 실험결과는 다소 높았다. 경화제의 양이 적은 경우 peak이 평평하고 높은 온도까지 경화가 지속되었으며, 14 wt% 이상일 때부터 sharp한 모양의 peak이 나타났으며 peak 온도는 약  $180^{\circ}\text{C}$ 였다. Fig.2(b)는 경화제의 양에 따른 흡열량을 나타낸 것으로 Fig.2(a)에서 흡열 peak의 면적을 계산한 것이다. 이를 보면 10wt%일 때 흡열량이 최대가 되었고 14wt%에서는 비슷하였으며 그 이상에서는 조금씩 감소하는 것을 관찰 할 수 있었다. Fig.3은 경화제의 양에 따른 캐패시터의 특성 변화를 나타낸 것이다. 유전상수의 경우 대체적으로 경화제의 양이 증가함에 따라 함께 증가하다 14wt%에서 최대가 되었다. 누설전류의 경우 16wt% 이상에서 급격한 증가가 나타났는데 이는 적정량 이상의 경화제는 불순물로 작용할 수 있기 때문으로 생각된다. 따라서 위의 결과들을 종합해보면 적절한 경화제의 양은 ACF 레진의 14wt%인 것으로 판단된다

### 3.3 필름의 형성 및 특성평가

ACF용으로 개발된 에폭시 레진을 이용하여, epoxy/BaTiO<sub>3</sub> composite 필름 캐패시터를 성공적으로 제작할 수 있었다.

이 필름을 사용해 완성된 세 가지 캐패시터 필름의 조성 및 전기적 특성을 Table1에 정리하였다. 이 중 두 가지는 분말A와 분말B를 각각 단독으로 사용한 것이며 bimodal이라 함은 분말A와 분말B를 3:1로 혼합하여 사용한 것을 말한다. 얻어진 유전상수 값을 비교해보면 분말A를 이용해 만들어진 필름의 유전상수가 분말B를 이용해 만들어진 필름의 유전상수보다 높았다. 이는 앞에서의 x-ray 분석결과에서 예상할 수 있었던 것처럼 입경이 큰 분말A의 tetragonality가 분말B에 비해 더 크기 때문으로 설명할 수 있다. 한편 본 연구를 통해 만들어진 캐패시터의 최대 유전상수 값은 bimodal 62vol%, 11.7m 필름에서 102이었다. Bimodal에서 파우더의 volume loading양이 unimodal에 비해 더 작음에도 불구하고 훨씬 더 높은 유전상수가 나올 수 있었던 것은 크기차이

가 큰 두 종류의 파우더를 사용함으로써 충전율이 더 높기 때문으로 생각된다.[10] 단위면적 당 전 기용량의 최대값은 unimodal 65 vol%, 7 $\mu$ m 필름에서 10.25 nF/cm<sup>2</sup> 이었다. 누설전류의 경우 10V 에서 모두 10<sup>-7</sup> A/cm<sup>2</sup> 이하로 이는 내장형 캐패시터의 용도로 사용에 있어 충분히 작은 값이었다.

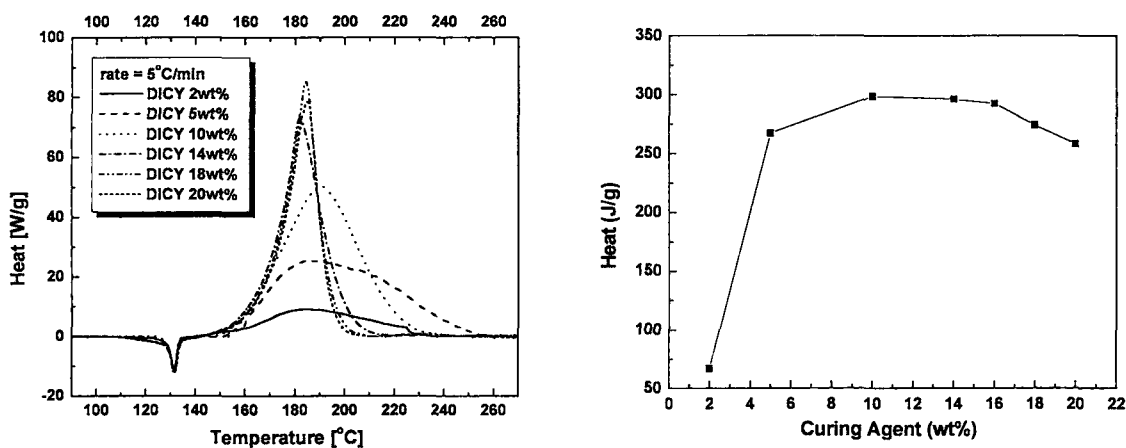


Fig. 2. Differential scanning calorimeter analysis; (a) DSC traces of composite films, (b) Endothermic energy as a function of the amount of the curing agent.

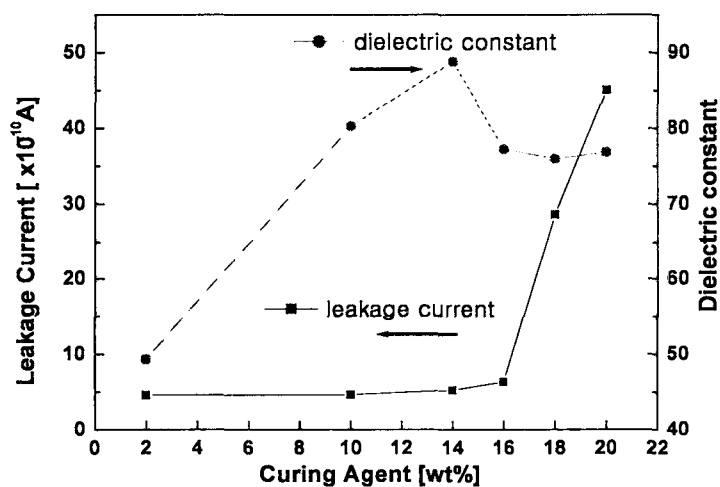


Fig. 3. Dielectric constant and leakage current of the capacitive films as a function of amount of the curing agent.

#### 4. 결론

ACF용 레진과 두 종류의 BaTiO<sub>3</sub> 분말을 이용하여 내장형 캐패시터 필름을 성공적으로 제작하였으며, 이의 특성을 평가하였다. XRD 분석을 통해 두 분말의 결정구조와 tetragonality를 확인하였다. 캐패시터 필름의 경화는 160°C 이상의 높은 온도에서 이루어 졌으며, DSC의 흡열 peak의 모양과 면적, 그리고 캐패시터의 특성변화를 살펴 보았을 때 적절한 경화제의 양으로 ACF 레진의 14wt%인 것으로 나타났다. 분말의 크기는 필름의 유전상수에 영향을 주었는데 큰 입자를 사용한 필름의 유전상수가 작은 입자를 사용한 필름의 유전상수 보다 더 높았는데, 이는 큰 입자의

tetragonality가 더 우수하기 때문이다. 이 필름을 가지고 캐패시터를 만들어 특성을 측정한 결과 10nF/cm<sup>2</sup>의 높은 전기용량 값을 얻었으며 유전상수의 경우 bimodal 분말을 이용하여 102를 달성 하였으며 이 때 누설전류는 두 경우 모두 110<sup>-7</sup>A/cm<sup>2</sup> 이하로 충분히 작았다.

Table 1. Properties of the embedded capacitor films

Properties		Powder-A	Powder-B	Bimodal
Volume loading		65%	67%	62% (A:B=3:1)
Thickness(μm)		6.96	15.1	11.74
Capacitance(nF)		1.289	0.325	0.97
Specific capacitance(nF/cm <sup>2</sup> )		10.25	2.59	7.7
Dielectric constant		80.6	44	101.9
Dielectric loss		0.029	0.0262	0.029
Leakage current (A/cm <sup>2</sup> )	10V	9.044×10 <sup>-8</sup>	-	5.077×10 <sup>-8</sup>
	5MV/m	1.497×10 <sup>-6</sup>	-	6.729×10 <sup>-6</sup>

## 5. 참고문헌

- [1] J. Rector, "Economic and Technical Viability of Integral Passives", in *Proc. of 48th Electron. Comp. Technol. Conf.*, pp. 218 (1997)
- [2] J. Prymark, S. Bhattacharya, and K. Paik, "Fundamentals of Passives: Discrete, Integrated, and Embedded", Chap. 11 in *Fundamentals of Microsystems Packaging*, ed. by R. R. Tummala, McGraw-Hill Book Company, New York (2001)
- [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*, Vol. 11, pp. 253-268 (2000)
- [4] S. Ogitali, S. A. Bidstrup-Allen, and P.A. Khol, "Factors Influencing the Permittivity of Polymer/Ceramic Composite for Embedded Capacitors", *IEEE Trans. on Advanced Packaging*, Vol. 23, pp. 313-322 (2000)
- [5] G. Arlt, D. Henning, and G. de With, "Dielectric properties of fine-grained barium titanate ceramics", *J. Appl. Phys.* Vol. 58, pp. 1619-1625 (1985)
- [6] K. Uchino, E. Sadanaga, and T. Hirose, Dependence of Crystal Structure on Particle Size in Barium Titanate, *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 72, pp. 1555-1558 (1989)
- [7] 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, pp. 164-183 (1984)
- [8] W.G. Potter, *Epoxide Resins*, ILIFFE BOOKS, London (1970)
- [9] S. Asai, U. Saruta, M. Tobita, M.Takano, and Y. Miyashita, "Development of an Anisotropic Conductive Adhesive Film (ACAF) from Epoxy Resins", *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 56, pp. 769-777 (1995)
- [10] V. Agarwal, P. Chahal, R. R. Tummala, and M. G. Allen, Improvements and Recent Advances in Nanocomposite Capacitors Using a Colloidal Technique, *Proceeding of 48th Electronic Component Technology Conference*, 165-170 (1998)