

인쇄회로기판 용 Epoxy/BaTiO₃ 내장형 커패시터 필름에 관한 연구

조성동 · 이주연 · 백경욱
한국과학기술원 재료공학과

Study on the Epoxy/BaTiO₃ Embedded Capacitor Films for PWB Applications

Sungdong Cho, Jooyeon Lee and Kyung-Wook Paik
Department of Materials Science & Engineering, KAIST

초 록: 경화 전 상온 보관성이 우수하며 넓은 면적에 균일한 두께와 균일한 유전특성의 커패시터를 쉽게 형성할 수 있는 epoxy/BaTiO₃ composite 커패시터 필름을 제조하였다. 이 필름은 필름 형성특성과 가공성, 그리고 상온 보관성이 우수한 에폭시계 이방성 전도 필름(Anisotropic Conductive Film: ACF) 용으로 개발된 레진을 기본으로 하고, 유전상수를 높이기 위한 충전제로 2종류의 BaTiO₃ 분말을 사용하였다. X-선 회절을 통하여 두 분말의 결정구조와 이에 따른 유전상수의 변화를 살펴보았으며, 점도 측정을 통해 분산제의 양을 정하였다. 필름의 경화온도와 적정한 경화제의 양을 결정해주기 위해 differential scanning calorimeter (DSC)와 커패시터의 특성 분석을 통해 경화제 양에 따른 필름 및 커패시터 특성에 미치는 영향을 살펴보았다. 이 필름을 이용하여 두께 7 μm에서 10 nF/cm² (이때의 유전상수는 80)의 높은 전기용량을 가진 우수한 커패시터를 성공적으로 제작하였다.

Abstract: Epoxy/BaTiO₃ composite capacitor films with excellent stability at room temperature, uniform thickness, and electrical properties over a large area were successfully fabricated. The composite capacitor films with good film formation capability and easy process ability were made from epoxy resin developed for ACF as a matrix and two kinds of BaTiO₃ 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 (XRD). And the optimum amount of dispersant, phosphate ester, was determined by viscosity measurement of suspensions. DSC and dielectric property tests were conducted to decide the right curing temperature and the optimum amount of the curing agent. As a result, the capacitors of 7 μm thick film with 10 nF/cm² and low leakage current were successfully demonstrated.

Key Words: Embedded capacitor, Embedded capacitor film, Barium titanate, Composite

1. 서 론

최근 들어 전자제품의 경박단소화와 전기적 고성능화를 위하여 수동소자에 대한 관심이 날로 증가하고 있는데 이는 사용되는 수동소자의 수가 능동소자의 수에 비해 훨씬 더 많기 때문에, 그 단적인 예로써 휴대용 이동통신 기기의 경우 능동소자에 대한 수동소자의 비가 20:1을 넘고 있다고 한다.^{1,2)} 현재 이 수많은 수동소자들은 대부분의 경우 개별형 부품 (discrete component) 형

태로 기판의 표면에 실장 되고 있어 기판의 많은 면적을 차지할 뿐 아니라 특히 고주파에서 소자간의 접속거리가 길어 전기적 기생성분을 유발시킴으로 전기적인 성능을 저하시키며, 납땀을 통한 접속 수가 많아짐에 따라 신뢰성에 문제를 일으키는 것으로 알려져 있다.²⁾

내장형 수동소자 (embedded 또는 integral passive)란 이러한 문제점을 해결하기 위해 제안된 기술로서 Fig. 1에서 보는 바와 같이 기존의 개별형 수동소자 들을 기판의 표면으로부터 다층구조 기판의 한 층으로 집적 시키

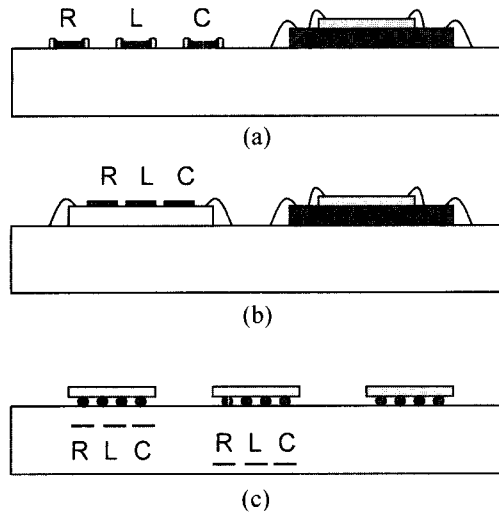


Fig. 1. Schematic diagrams of (a) Discrete, (b) Integrated, and (c) Embedded passives.

는 것을 의미한다. 이와 같은 방법을 이용하면 수동소자가 차지하던 면적을 줄일 수 있어 칩의 밀도를 높일 수 있을 뿐만 아니라 소자간의 접속길이가 짧아져 인덕턴스 성분의 감소에 따른 전기적 성능의 향상을 동시에 기대할 수 있다. 수동소자 중에서도 커패시터(capacitor)에 대한 관심이 큰데 이는 수동소자의 40% 이상을 차지할 뿐만 아니라 decoupling capacitor 또는 by-pass capacitor와 같이 전자회로상의 역할이 중요하기 때문이다.

내장형 커패시터 (embedded capacitor)의 후보재료 중의 하나인 polymer/ceramic composite은 폴리머의 우수한 가공성과 세라믹의 높은 유전상수를 결합한 것이다. 공정온도가 낮고 비용이 적게 들면서 비교적 우수한 성능의 커패시터를 형성할 수 있을 뿐만 아니라 특히 epoxy/ceramic composite의 경우 현재 많이 사용되고 있는 인쇄회로기판 (printed wiring board)과의 상호적합성 (compatibility)을 가지고 있어 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.^{3,4)} 그런데 유전체 필름을 도포하기 위한 방법으로 대부분의 연구에서 스펀코팅 방법을 많이 사용하고 있다. 이 방법은 비교적 얇은 두께의 필름을 도포할 수 있어 높은 커패시턴스를 얻을 수 있다는 장점이 있으나, 재료의 낭비가 많고, 두께의 조절이 용이하지 않으며, 넓은 면적에 균일한 두께의 필름을 도포하기 어려워 균일한 특성의 커패시터를 얻기 어렵다는 단점을 가지고 있다.

본 연구는 이러한 스펀코팅 방법의 단점을 극복하여 균일한 두께와 균일한 전기적, 유전적 특성을 가진 필름을 넓은 면적에 쉽게 도포하여 내장형 커패시터를 제작

할 수 있는 인쇄회로기판 용 epoxy/BaTiO₃ 내장형 커패시터 필름 (embedded capacitor film: ECF)의 제작에 관한 것이다. 이는 내장형 커패시터의 제작에 있어 높은 커패시턴스 값을 얻는 것도 중요하지만 균일한 특성의 오차범위가 작은 커패시터를 얻을 수 있는가 하는 점 또한 매우 중요하기 때문이다. 이를 위하여 matrix가 되는 폴리머로 에폭시를 기본으로 하며 필름 형성특성과 가공성이 우수한 이방성 전도필름 용 레진을 도입해 이용하였으며,⁵⁾ 커패시터 필름의 도포방법으로는 테일캐스팅 방법을 이용하였다. 본문에서는 이렇게 만들어진 필름을 이용해 커패시터를 제작하고, 이에 대한 공정특성과 커패시터의 특성에 대해 연구하였다.

2. 실험방법

2.1. 사용 재료들

BaTiO₃의 유전상수는 입자의 크기에 따라 변한다. 1 μm 근처에서 최대값을 가지며 그 이하에서는 입자 크기가 작아짐에 따라 감소하는 것으로 알려져 있는데,⁶⁾ 이것은 입자 크기가 작아짐에 따라 tetragonality가 감소하기 때문으로 이해되고 있다.⁷⁾ 따라서 높은 유전상수의 필름을 얻기 위해서는 분말 선택 시 입자 크기가 매우 중요하다. 한편 polymer/ceramic composite 필름에서 유전상수를 높이기 위해서는 유전상수가 큰 세라믹 분말의 충전율 (packing density)을 높여야 한다. 한가지 크기의 단일 구형입자를 사용하였을 때 얻을 수 있는 충전율은 이론상으로 약 74 vol%이며 이보다 더 높은 충전율을 얻기 위해서는 크기차이가 많이 있는 2종류 이상의 입자를 혼합하여 큰 입자 사이의 빈 공간을 작은 입자가 채울 수 있도록 해야만 한다. 본 연구에 사용된 BaTiO₃ 분말은 직경 0.9 μm의 분말A와 직경 0.06 μm의 분말B의 구형 또는 구형에 가까운 두 가지 분말을 이용하였으며 XRD 분석을 통해 결정구조를 파악하였다. BaTiO₃ 분말의 분산제로는 널리 알려진 phosphate ester (BYK Chemie, Germany)를 이용하였으며,⁹⁾ 유기용매로는 2-Butanone (MEK)과 Toluene을 3:1로 혼합하여 사용하였다.

Matrix가 되는 폴리머로는 ACF 용으로 개발된 레진을 이용하였다. 이 레진은 경화 후 접착력과 열적 안정성이 우수한 열경화성 수지 Bisphenol-A와 Bisphenol-F 타입의 에폭시를 기본으로 하여, 경화 전 유연성 (flexibility)과 점착성 (tackiness)을 부여하기 위해 분자량이 큰 열가소성수지 phenoxy 레진을 혼합한 것이다.⁵⁾ 경화제로는 경화 시작온도가 높고 상온에서는 경화가 진행되지 않는 잠재성 경화제 (latent curing agent) dicy-

andiamide (DICY)를 이용하였다.¹⁰⁾ 위와 같은 레진과 경화제의 조합은 상온에서의 보관성과 접착성, 공정 중 취급의 용이성을 높이고, 경화 후 접착력과 고온에서의 열적 안정성을 고려한 것이다. 이 레진의 중요한 특징의 하나는 이형지 (releasing paper) 위에 green tape 상태로 도포할 수 있다는 것으로, 솔벤트 건조 후 원하는 형태로 잘라 필요한 곳에 가압착 하고 이형지를 떼어내는 방법으로 전사 (transfer)할 수 있어 photolithography와 같은 작업 없이 원하는 모양의 소자 형성이 가능하며, 유연성이 있는 필름이 만들어져 취급이 용이하다는 장점도 가지고 있다.

2.2. 분산제와 경화조건 결정

분산제의 양을 결정하기 위하여 분말과 분산제 그리고 솔벤트로 이루어진 현탁액 (suspension)을 만들어 48시간 동안 볼밀링 (ball milling)을 수행한 후 분산제의 양에 따른 점도 변화를 측정하였다. 점도 측정에 사용된 분산제의 양은 분말A (직경 0.9 μm)의 경우 분말의 1.0, 1.2, 1.4, 1.6 wt% 이었으며 분말B (직경 0.06 μm)의 경우는 2.5, 3, 4, 5, 8 wt%로 하였다. 이때 현탁액 내의 분말의 부피는 두 경우 모두 33.3 vol%로 하였다.

경화제의 적정한 양과 경화 온도를 결정하기 위해 경화제를 폴리머 레진의 2, 5, 10, 14, 16, 18, 20 wt%로 넣어 커패시터 필름을 만들고, 이를 DSC를 이용하여 필름의 온도에 따른 열량변화를 상온에서 250°C 까지 관찰하였으며, 실제 커패시터를 제작해 경화제의 양에 따른 커패시터 특성변화를 살펴보았다. 이때 분말은 분말 A 이었으며, 최종적으로 형성된 필름 내에서의 분말의 부피는 모두 65 vol%가 되도록 하였다. 이때 필름 형성 및 커패시터의 제작과정은 아래와 같다.

2.3. 내장형 커패시터 필름 제작 및 특성 평가

먼저 레진은 세 종류의 폴리머를 MEK와 Toluene 1:3

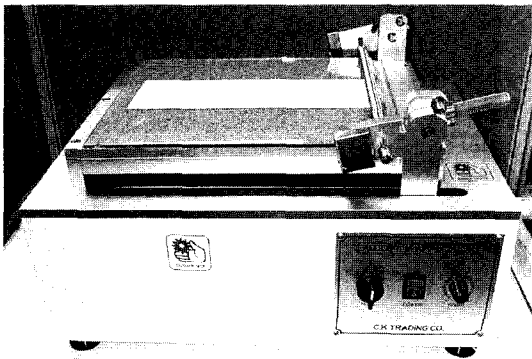


Fig. 2. Bar Coater used in film formation.

혼합 용매에 녹여 따로 보관하였다. 분말 역시 같은 용매에 분산제와 함께 넣어 분산을 시킨 후 경화제를 첨가하여 48시간 이상 볼밀링을 수행하였다. 볼밀링을 마친 후 분말이 들어 있는 슬러리에 폴리머 레진을 넣어 잘 섞어주고 이것을 Fig. 2와 같은 자동도공장치 (automatic control film coater)와 bar coater를 이용하여 이형지 위에 도포하여 필름을 제작하였다. 그리고 나서 형성된 필름 내에 존재하는 솔벤트를 제거하기 위하여 80°C에서 3분 동안 convection oven에 넣어 건조를 하였다.

커패시터를 형성하기 위하여 0.5 μm의 알루미늄이 입혀진 Si 기판에 필름 라미네이션 (lamination) 방법으로 필름을 접착하였다. 라미네이션 시 압력은 55 psi로 하였는데, 가압착 및 솔벤트의 제거를 위해 110°C에서 1시간 유지 후, 200°C로 올려 30분 동안 유지시켜줌으로 완전한 경화가 이루어지도록 하였다. 라미네이션 후, 상부 전극은 알루미늄을 스퍼터링 (sputtering) 방법으로 0.5 μm 두께만큼 증착하였으며 이때 shadow mask를 이용하여 0.1257 cm²의 원형 전극이 형성되도록 하였다.

라미네이션 된 필름의 두께는 alpha-step (surface profilometer)을 이용하여 측정하였고, 커패시턴스와 유전손실은 HP 4284A LCR meter를 이용하여 100 kHz에서 측정하였으며, 누설전류는 Keithley 236 Source Measure Unit을 이용하여 각 필름의 두께에 따라 5 MV/m 까지 바이어스를 가하고 10 V와 5 MV/m에서의 전류의 값을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분말의 결정 구조와 분산제의 양 결정

Fig. 3은 이 두 분말의 모양을 SEM을 통하여 같은 배율로 관찰한 것으로 두 분말의 크기 차이와 형태를 볼 수 있다.

Fig. 4는 두 분말의 XRD분석 결과이다. XRD 패턴에서 BaTiO₃의 입방정 구조 (cubic structure)와 정방정 구조 (tetragonal structure)는 비슷한 위치에서 피크 (peak)가 나타나며 이 두 구조의 구별은 2θ가 45° 이상인 위치에서 피크의 갈라짐을 통해 할 수 있다. 다시 말해 정방정 구조에서는 피크의 분리가 나타나지만 입방정 구조에서는 나타나지 않는다. Fig. 4를 보면 큰 분말인 분말 A의 경우 뚜렷한 peak의 갈라짐이 보이지만 분말B의 경우는 그렇지 않다. 따라서 분말A는 정방정 구조를 가지고 있지만 분말B는 입방정 구조로 생각되어지며 이는 문헌상의 결과와도 일치한다.⁷⁾ 따라서 tetragonality가 더 높은 것으로 나타난 분말A를 이용해 만들어진 필름의 유전상수가 분말 B를 사용해 만든 필름의 유전상수보다

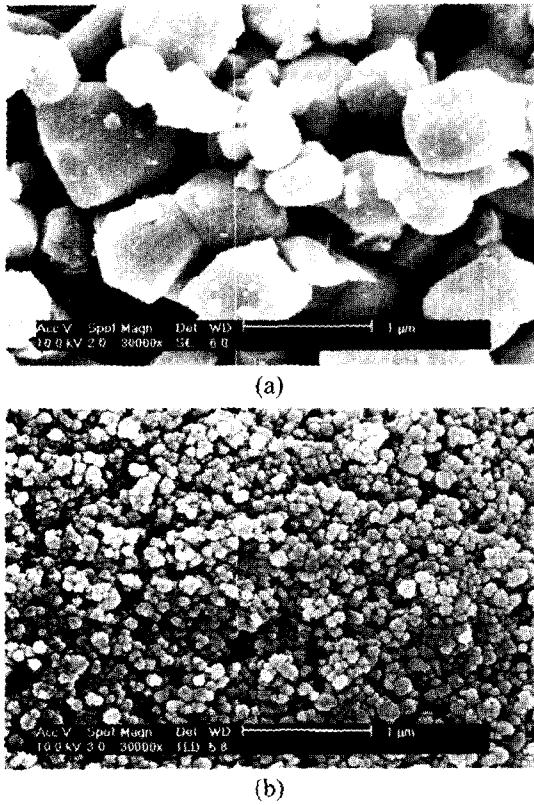


Fig. 3. SEM images of Powder A (0.9 μm) and Powder B (0.6 μm).

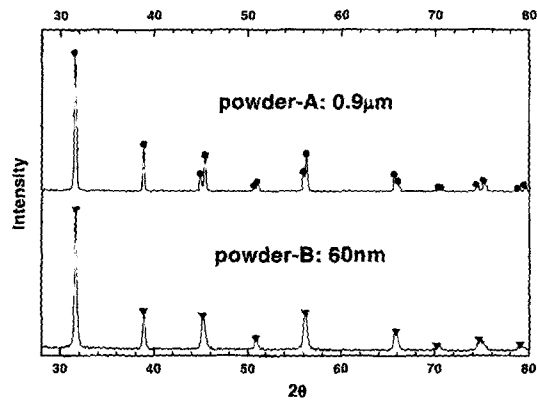


Fig. 4. X-ray Diffraction patterns (θ - 2θ) of Powder A & Powder B.

더 클 것으로 예상되어 지며 이에 대해서는 뒤에 확인하고자 한다.

Fig. 5는 두 분말에 대해 분산제 phosphate ester의 첨가량에 따른 현탁액의 점도 변화를 나타낸 것이다. 두 경

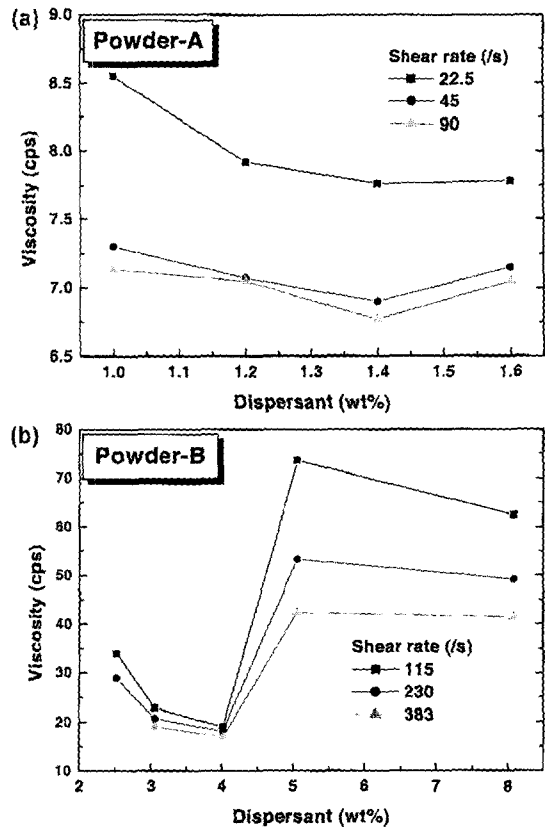


Fig. 5. Viscosity variation as a function of the amount of dispersant for (a) Powder A and (b) Powder B.

우 모두 전단속도 (shear rate)가 증가함에 따라 점도가 감소하는 유사소성 (pseudoplastic) 거동을 보였으며, 작은 분말인 분말B의 겔보기 점도가 큰 분말인 분말A 보다 높음을 알 수 있다. 두 분말에 대해 점도가 최소가 되는 분산제의 양은 분말A의 경우 1.4 wt%, 분말B의 경우는 4.0 wt%일 때였다.

3.2. 경화제의 양에 따른 경화거동 및 전기적 특성

Fig. 6은 경화제의 양에 따른 경화 온도와 열량변화와의 관계를 나타낸 것이다. 그래프의 0점선 (base line)을 기준으로 아래 방향은 발열반응, 위 방향은 흡열반응을 나타낸다. 경화는 폴리머 사슬들 사이에서 network을 형성하는 과정으로 흡열반응이며, 따라서 Fig. 6(a)에서 알 수 있듯이 DICY에 의한 경화는 약 160°C 이상에서 진행이 시작되는 것으로 생각된다. 문헌에 의하면 DICY의 경화온도는 140~160°C인데,¹⁰⁾ 이에 비해 실험결과는 다소 높은 값으로, 이는 폴리머 레진에 세라믹 분말이 혼합되어 폴리머의 경화를 방해하기 때문인 것으로 생각

된다. 경화제의 양이 적은 경우 피크의 모양이 평평하고 높은 온도까지 경화가 지속되었으며, 14 wt% 이상일 때

부터 뚜렷한 모양의 피크가 나타났는데 이때 피크의 온도는 약 180°C 이었다. Fig. 6(b)는 경화제의 양에 따른 흡열량을 나타낸 것으로 Fig. 6(a)에서 흡열 피크의 면적을 계산한 것이다. 이를 보면 10 wt%일 때 흡열량이 최대가 되었고 14 wt%에서는 비슷하였으며 그 이상에서는 조금씩 감소하는 것을 관찰 할 수 있었다.

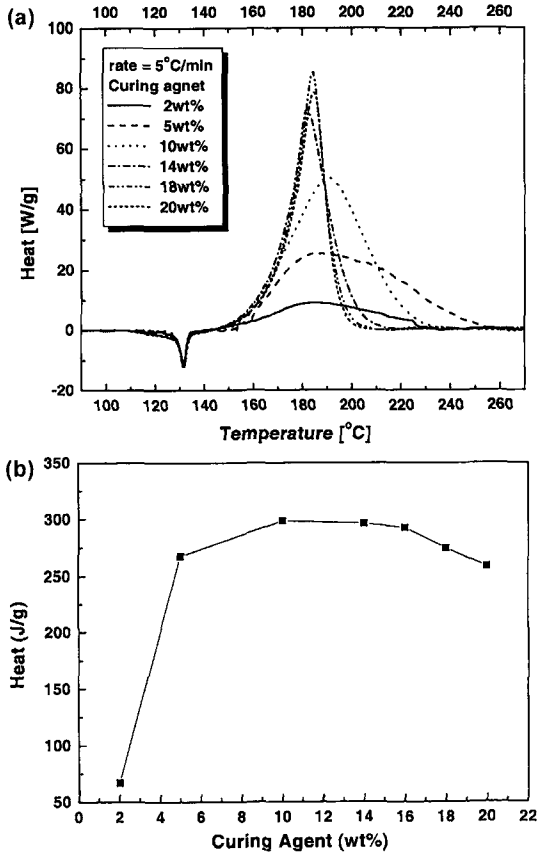


Fig. 6. Differential scanning calorimeter analysis; (a) DSC traces of compositefilms, (b) Endothermic energy as a function of the amount of curing agent.

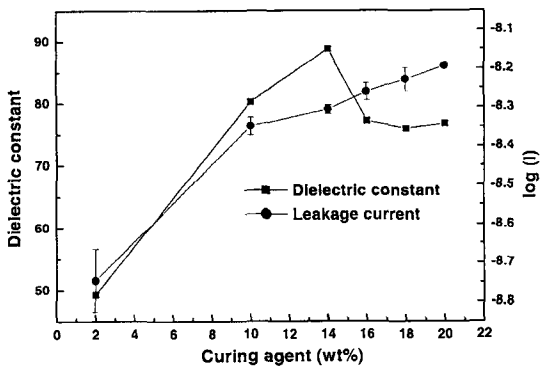


Fig. 7. Dielectric constant and leakage current of the capacitive films as a function of amount of curing agent.

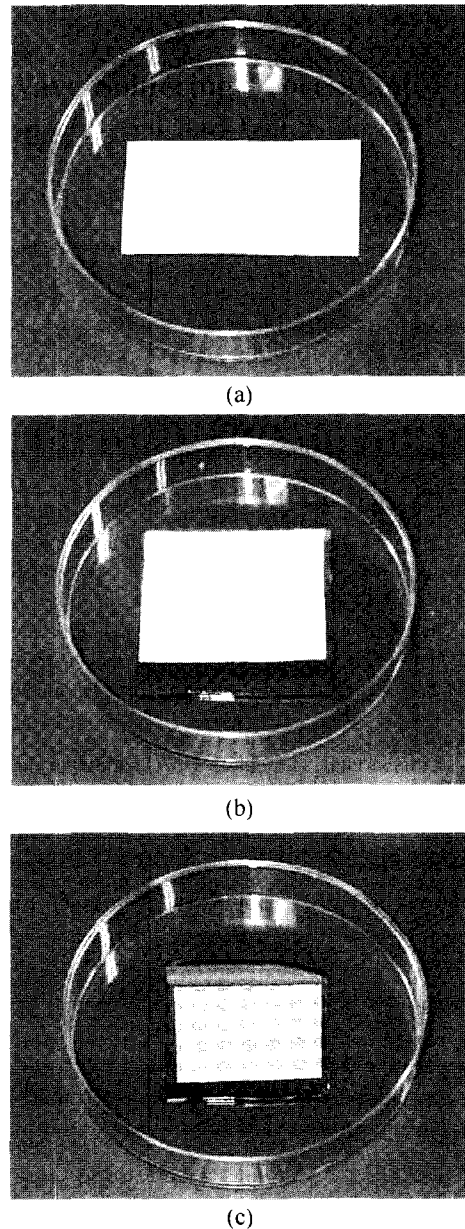


Fig. 8. (a) Film formed on a releasing paper, (b) Film adhered on bottom electrode, (c) Final capacitors.

Fig. 7은 경화제의 양에 따른 커패시터의 특성 변화를 나타낸 것이다. 유전상수를 살펴보면 경화제의 양이 증가함에 따라 함께 증가하다가 14 wt%에서 최대값을 보였으며 그 이상에서는 약간의 감소가 나타났다. 이것은 경화도와 관련이 있을 것으로 생각되는데, 일반적으로 경화도가 증가하면 필름의 밀도가 증가하고 기공이 감소하여 유전상수는 증가한다. Fig. 7의 경화제의 양에 따른 유전상수의 변화는 유전상수가 최대가 되는 경화제의 양이 Fig. 6에서 보았던 것처럼 경화가 가장 많이 진행된 것으로 판단되는 경화제의 양과 일치하는 점으로 미루어 볼 때 경화도의 증가에 따른 필름의 밀도증가가 원인일 것으로 추정된다. 누설전류의 경우 전반적으로 경화제의 양에 따라 증가하는 것이 관찰되었다. 이는 첨가된 경화제가 필름 내에서 불순물로 작용할 수 있기 때문으로 생각된다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 ECF의 적정한 경화제의 양은 14 wt%인 것으로 판단된다.

3.3. 필름의 형성 및 특성평가

위와 같은 과정을 통해 재료 및 공정을 최적화하여, epoxy/BaTiO₃ ECF를 성공적으로 제작하였으며 이 ECF를 이용하여 커패시터를 제작할 수 있었다. Fig. 8의 (a), (b), (c)는 각각 자동도공장치를 이용해 이형지 위에 도포된 커패시터 필름의 모습, 하부 전극 위에 라미네이션 방법으로 필름을 접착한 모습, 상부전극까지 증착된 완성된 커패시터의 모습이다. 이형지 위에 도포된 필름은 유연성이 있는 동시에 경화 전에도 어느 정도 접착성을 가지고 있어 취급에 있어 어려움이 없었으며, 원하는 곳에 가압착 후 이형지를 쉽게 제거할 수 있다.

이 필름을 사용해 완성된 세가지 커패시터 필름의 조성 및 전기적 특성을 Table 1에 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 앞서서의 X-ray 분석결과에서 예상할 수 있었던 것처럼 입경이 큰 분말A의 유전상수가 분말B의 유전상수보다 더 크기때문으로 설명할 수 있다. 한편 본 연구를 통해 만들어진 커패시터의 최대 유전상수 값은 bimodal 62 vol%, 11.7 μm 필름에서 102 이었다. Bimodal에서 파우더의 부피함량이 unimodal에 비해 더 작음에도 불구하고 훨씬 더 높은 유전상수가 나올 수 있었던 것은 크기차이가 큰 두 종류의 파우더를 사용함으로써 충진율을 더 높였기 때문으로 생각된다.^{8,11)} 단위면적 당 전기용량의 최대값은 unimodal 65 vol%, 7 μm 필름에서 10.25 nF/cm² (이때의 유전상수는 80)이었다. 따라서 bimodal을 이용해 두께를 4 μm까지 줄이고 유전상수를 150까지 높일 수 있다면 30 nF/cm²의 높은 전기용량도 조만간 달성할 수 있으리라 예상된다.

누설전류의 경우 10 V에서 모두 10⁻⁷ A/cm² 이하로 이는 내장형 커패시터의 용도로 사용에 있어 충분히 작은 값이다. 하지만 두께가 더 작아질 경우 누설전류의 급격한 증가가 예상되며 이에 대한 고려가 향후에 필요하리라 예상된다.

4. 결 론

ACF용 레진과 두 종류의 BaTiO₃ 분말을 이용하여 내장형 커패시터 필름(ECF)을 제작하였으며, 이를 이용해 커패시터를 성공적으로 제작하여 이의 특성을 평가하였다. XRD 분석을 통해 두 분말의 결정구조를 확인하였으며, 현탁액의 점도 측정을 통해 점도가 최소가 되는 때의 분산제의 양을 결정하였다. 잠재성 경화제 DICY를

Table 1. Some properties of the epoxy/BaTiO₃ composite capacitor made with the embedded capacitor films

Properties	Powder-A	Powder-B	Bimodal
Volume loading	65%	67%	65% (A:B=3:1)
Thickness(m)	6.96	15.1	11.74
Capacitance(nF)	1.29±0.02	0.33±0.02	0.97±0.04
Specific capacitance(nF/cm ²)	10.25±0.18	2.59±0.18	7.70±0.32
Dielectric constant	80.6	44	101.9
Dielectric loss	0.029	0.0262	0.029
Leakage current			
(A/cm ²)	10V	9.04×10 ⁻⁸	1.91×10 ⁻⁸
	5 MV/m	1.50×10 ⁻⁶	-
			5.08×10 ⁻⁸
			6.73×10 ⁻⁶

이용한 레진의 경화는 160°C 이상의 높은 온도에서 이루어 졌으며, DSC의 흡열 피크의 모양과 면적, 그리고 커패시터의 특성변화를 살펴 보았을 때 적절한 경화제의 양으로 레진의 14 wt%인 것으로 나타났다. 분말의 크기는 필름의 유전상수에 영향을 주었는데 큰 입자를 사용한 필름의 유전상수가 작은 입자를 사용한 필름의 유전상수 보다 더 높았다. ECF를 이용해 만들어진 커패시터의 특성 측정 결과 10 nF/cm²의 높은 전기용량 값을 얻었으며 유전상수의 경우 bimodal 분말을 이용하여 102를 달성하였다. 이 때 누설전류는 모두 1×10⁻⁷ A/cm² 이하로 충분히 작았다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 전자패키지재료연구센터의 지원으로 수행하였습니다.

참고문헌

1. J. Rector, "Economic and Technical Viability of Integral Passives", in Proc. of 48th Electron. Comp. Technol. Conf., 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, 11, 253-268 (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, 313-322 (2000).
5. 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., 56, 769-777 (1995).
6. G. Arlt, D. Henning, and G. de With, "Dielectric properties of fine-grained barium titanate ceramics," J. Appl. Phys. 58, 1619-1625 (1985).
7. K. Uchino, E. Sadanaga, and T. Hirose, "Dependence of Crystal Structure on Particle Size in Barium Titanate," J. Am. Ceram. Soc., 72, 1555-1558 (1989).
8. R. M. German, Particle Packing Characteristics, Metal Powder Industries Federation (1989).
9. 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, 164-183 (1984).
10. W.G. Potter, "Epoxy Resins", ILIFFE BOOKS, London (1970).
11. 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).