

전자선 조사된 에폭시 몰딩 컴파운드의 유전 특성

Dielectric Characteristics of Epoxy Molding Compound irradiated with Electron Beam

홍 능표	광운대학교 전기공학과
박 우현	광운대학교 전기공학과
이 성용	광운대학교 전기공학과
김 태수	서울산업대학교 광공학과
이 수원	철도전문대학 전기신호과
홍 진웅	광운대학교 전기공학과

NungPyo HONG	Dept. of Electrical Eng., KwangWoon Univ.
WooHun PARK	Dept. of Electrical Eng., KwangWoon Univ.
SungYong LEE	Dept. of Electrical Eng., KwangWoon Univ.
DaeSoo KIM	Dept. of Apply Optics and Optical Eng., Seoul Nat'l Polytechnic Univ.
SooWon LEE	Dept. of Electrical and Signal Eng., Nat'l Railroad junior College
JinWoong HONG	Dept. of Electrical Eng., KwangWoon Univ.

Abstract

In this experiment, the specimen is selected for epoxy resin used in the molding compound materials for the power semiconductors. The specimen was divided into the two parts, one is a specimen without irradiation, the other is irradiated with electron beam, of which dose is 1[Mrad], 2[Mrad], 4[Mrad], 8[Mrad] and 24[Mrad], respectively.

From the analysis for the physical properties of the specimen, the carbonyl group which is asffact the electrical properties is decreased according to increase the dose of the electron beam. In the measurement of dielectric characteristics among the electrical properties, the frequency dependance of the dielectric characteristics is confirmed that its β -peak is represented by one peak due to attribute to the main chain below 50[$^{\circ}$ C], and two peak above the temperature 100[$^{\circ}$ C].

1. 서론

반도체는 전력계통에 사용되고 있는 개폐소자의 소형화, 고성능화, 고신뢰화의 기능을 발휘하고 있다. 이러한 응용에 있어서 소자 자체의 절연성은 무시할 수는 없는 요인으로 작용하고 있다.

본 실험에서는 전력용 반도체의 몰딩재료로 사용되는 에폭시 수지의 물성 분석과 유전 특성을 조사하여 기초적인 자료를 제공함과 동시에 전자선 조사를 가하므로써 발생하는

특성의 변화를 조사하여 특성 변화 요인에 대한 근거 자료를 제공하고자 한다. 물성분석은 적외선 분광, 차동열량계, X선 회절분석, 전자 현미경 분석의 방법을 이용하였으며, 전기적 특성실험으로 인가전압 범위 500[mV] ~ 1500[mV], 주파수 범위 30[Hz] ~ 150[kHz], 온도 범위 20[$^{\circ}$ C] ~ 180[$^{\circ}$ C]에서 유전 특성 실험을 하였다. 실험을 통해 얻은 결과를 기초로 하여 시료내의 특성 변화 요인에 대한 분석을 보고한다.

2. 사용 시료 및 실험 방법

시료의 전자선 조사에 따른 전기적 특성을 조사하기 위하여 유전 특성을 실험하였으며, 측정장치의 구성은 그림 1과 같다. 한편 측정용 전극장치는 연구실에서 제작하였고, 전극 구성과 크기는 그림 2와 같다.

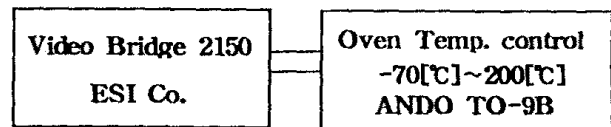


Fig. 1 Block diagram of measuring device

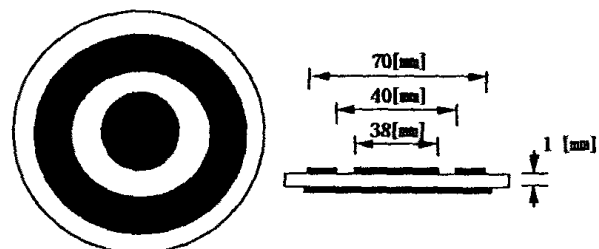


Fig. 2 Geometry of electrode and specimen

온도범위는 30~180[$^{\circ}$ C]사이에서 측정하였으며, 측정장치는 Video Bridge(ESI Ins. 2150)를 이용하여 주파수 30[Hz] ~

150(kHz), 인가전압 500~1500(mV)에서 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

(1) 시료의 물성 연구

에폭시수지는 구조에 따라 반응성, 정도 및 물리적, 화학적, 전기적 성질이 달라진다. 적외선 흡수 분광을 이용한 IR 흡수 밴드의 분석을 통해 분자량에 따라 흡수피크가 크게 됨을 알 수 있다. 사용된 시료는 파수 1630~1580(cm^{-1}) 밴드의 벤젠환을 표준으로 하고 있다. 적외선 흡수 밴드에서 파수 1730~1705(cm^{-1}) 범위에서의 예리한 피크는 carbonyl기(CO)의 기여로 시료의 전기적 특성에 큰 영향을 미친다.

일반적으로 이 피크는 열 또는 자외선에 의한 신화가 진행되므로 인해, 각종 CO 기가 증가하는 것으로 보고되고 있는데, 전자선 조사의 경우, 전자선 조사량이 증가함에 따라 감소되는 것을 확인할 수 있다.

또한, 전자선 조사량 변화에 따른 시료의 구조 변화를 조사하기 위해 $2\theta=0\sim 40(^{\circ})$ 범위에서 XRD(X-ray diffraction)를 실험하였다. 에폭시는 결정성이 낮으나, 순도가 높아지면 결정성이 생긴다. 시료의 XRD로부터 전자선 조사량 증가에 따라 변화된 피크가 나타남을 확인할 수 있다.

에폭시는 $2\theta=10\sim 30(^{\circ})$ 범위에서 부정형 부분과, 충전제와 경화제에 포함된 무기질 피크가 공동 기여하는데, 조사량이 증가함에 따라 피크의 진폭도 커지고 비정질 부분도 약간 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 순수한 시료의 경우, $2\theta=23\sim 24(^{\circ})$ 에서의 피크는 없으나 전자선을 조사하면 이 부근에서 새로운 피크가 나타남을 확인할 수 있다.

에폭시는 경화제속에 충전제로 실리카를 이용하고 있는데, $2\theta=30(^{\circ})$ 이상 영역의 피크는 조사량이 증가하여도 크게 변화하지 않으므로 시료 제작시 혼입된 무기질(Si)과 열방출을 위해 혼입된 금속성분(Al)의 기여로 사료되며, 전자선 조사량 4(Mrad)까지는 $2\theta=23\sim 24(^{\circ})$ 에서의 피크는 커지나, 4(Mrad) 이상이 되면 적어지는 것을 확인할 수 있는데, 이것은 전자선 조사로 인해 약한 체인이 분리되어 새로운 radical이나 이온이 생기고, 최종적으로 시료의 가교나 분해 등을 유발시킨 것으로 사료된다.

에폭시 수지(가교형 고분자)는 무정형으로 결정성이 낮으나 전자선 조사시 조사 에너지에 의해 결합의 일부가 분리되며 분해된 부분이 결정으로 성장할 수 있을 것으로 사료된다. 이와같은 현상은 XRD에서 조사량 변화에 따라 예리한 결정피크가 커지는 것으로 보아 부분적으로 분해된 것들이 결정성을 갖기 때문으로 예측된다.

(2) 시료의 유전 특성 분석

1) 주파수 의존 특성

주파수 10(kHz)를 경계로 높은 주파수 영역의 피크를 α 피크라고, 낮은 주파수 영역을 β 피크라 칭한다. 그림 3은 원

시료(전자선 미조사 시료)에 인가전압 750(mV)의 유전 특성을 도시한 것으로 온도 50($^{\circ}\text{C}$)이하에서는 한개의 β 피크가 나타나지만, 온도가 아보다 높아지면 2개의 β 피크가 나타나며, 또한 측정온도가 높아지면 손실진폭도 커진다. 그러나 α 피크는 측정 온도의 증가에 따라 손실진폭은 커지나, 최대 손실 주파수는 낮은 주파수 영역으로 이동함을 알 수 있다.

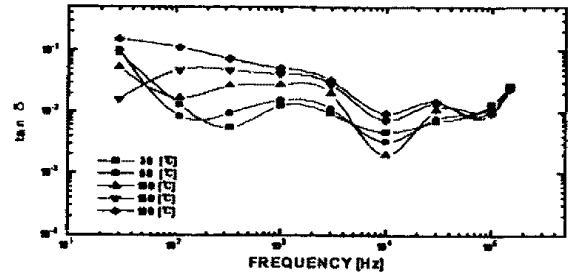


Fig. 3 Frequency Dependence of Dielectric Characteristics (Original specimen)

그림 4는 1(Mrad) 조사된 시료에 750(mV) 인가시 유전 특성으로 α , β 피크의 경향은 원시료와 비슷하다.

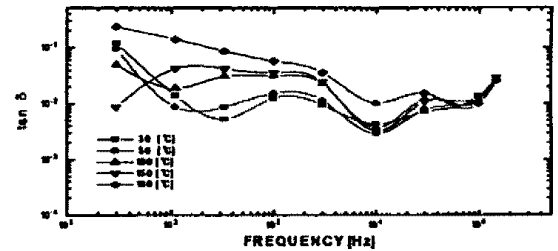


Fig. 4 Frequency Dependence of Dielectric Characteristics (1(Mrad))

그림 5는 2(Mrad) 조사된 시료의 유전 특성으로 750(mV) 인가시 유전특성은 원시료, 1(Mrad) 조사된 시료와 비슷하나, 50($^{\circ}\text{C}$)이하 β 피크의 피크 주파수는 원시료의 경우 2(kHz), 1(Mrad) 조사된 시료는 1.3(kHz), 2(Mrad) 조사된 시료는 750(Hz)로 조사량이 증가됨에 따라 낮은 주파수로 이동됨을 확인할 수 있다. 그리고 β 피크에서 100($^{\circ}\text{C}$) 이상의 경우 2개의 피크가 나타나는데, 이 중 고주파수(2(kHz))에서 나타나는 피크는 일정하지만, 저주파수 영역에서 나타나는 피크는 온도의 증가에 따라 낮은 주파수 쪽으로 이동됨을 확인할 수 있다.

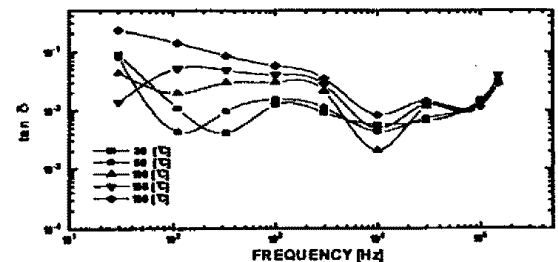


Fig. 5 Frequency Dependence of Dielectric Characteristics (2(Mrad))

그림 6, 7은 조사량 4(Mrad), 8(Mrad) 조사된 시료의 유전 특성도인데, 조사량이 증가됨에 따라 2(Mrad)이하의 유전

특성과는 다른 경향을 나타낸다.

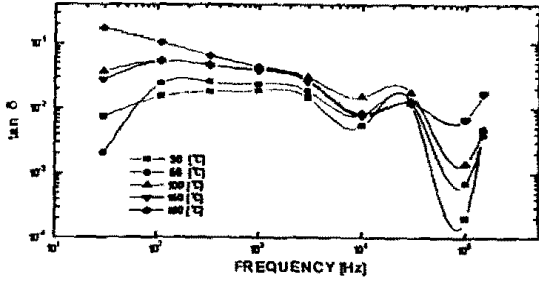


Fig. 6 Frequency Dependence of Dielectric Characteristics (4(Mrad))

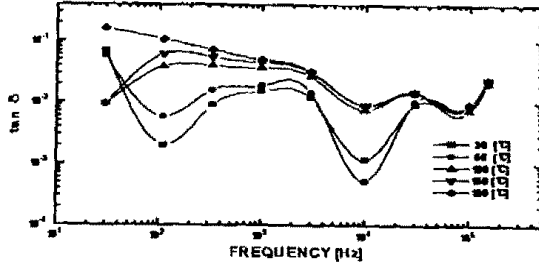


Fig. 7 Frequency Dependence of Dielectric Characteristics (8(Mrad))

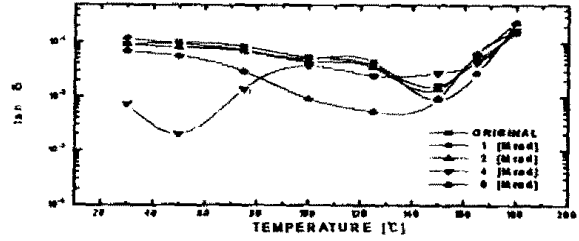
β 피크는 50(°C)이하의 경우, 하나의 피크만 존재했는데, 이것은 시료가 고온용 용융재료로써 DSC로 확인해 본 결과 유리전이온도(T_g)가 일반 시료보다 높아서 50(°C)이하에서는 안정된 분자구조로 인한 주쇄의 기어로 손실피크가 한개 (β) 나타내지만, 100(°C)이상이 되면 2개가 나타남을 확인할 수 있었다. 2개 피크중 2(kHz)(β_1)에서 나타나는 피크는 조사량이 적은 시료에서와 같으나, 낮은 주파수 영역의 또 다른 피크(β_2) 주파수는 저주파수로 이동됨을 확인할 수 있다. 이것은 측정온도가 100(°C)이상이 되면 전자선 조사시 분해되거나 생성된 radical들은 조사량 증가에 따라 그 수가 증가되므로, 손실 진폭은 커지나 주파수는 일정한 것으로 사료된다(β_1). 그러나 저주파수의 피크(β_2)는 조사량이 증가할수록 낮은주파수 영역으로 이동되는데, 이것은 전자선 조사로 일부 가교되기 때문으로 사료된다, 이같은 특징은 DSC에서 보인 전자선 조사된 시료에 대한 유리전이온도는 169(°C)에서 139.5(°C)로 낮아지는 것을 보면 확인할 수 있는데, 측정온도가 높아지면 손실은 커지면서, 동시에 저주파수 영역으로 이동될 것으로 예측된다.

한편 α 피크는 조사량 변화에 따라 거의 변화가 없으나 측정온도가 높아지면 손실진폭은 커지는데, 이것은 전도에 영향을 주는 캐리어의 기어로 사료된다.

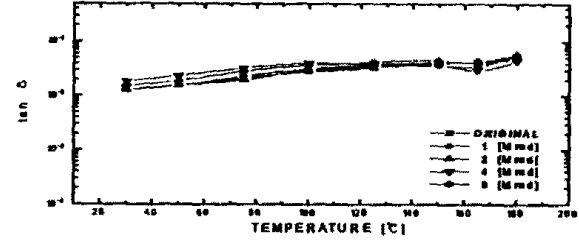
2) 온도 의존 특성

그림 8의 (a), (b), (c)는 인가전압 750(mV)에서의 30(Hz), 1(kHz), 150(kHz) 주파수 범위에 대한 유전 특성의 온도 의존성을 도시하고 있다.

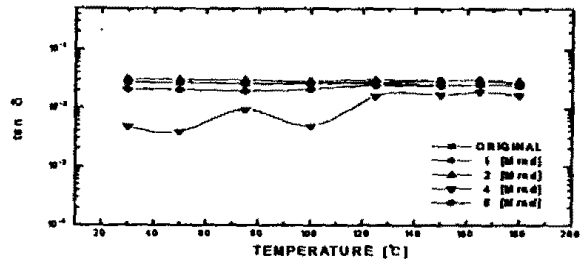
그림(a)에서 온도 120(°C)를 경계로 저온영역에서의 유전특성은 조사량 2(Mrad)이하 시료는 거의 일정하지만, 조사량



(a) 30(Hz)



(b) 1(kHz)

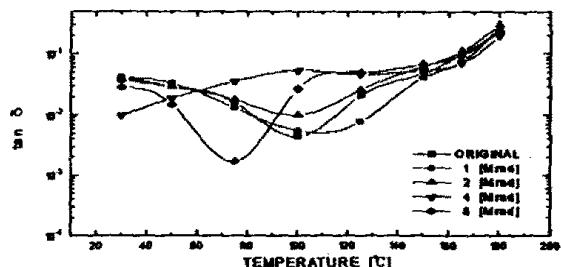


(c) 150(kHz)

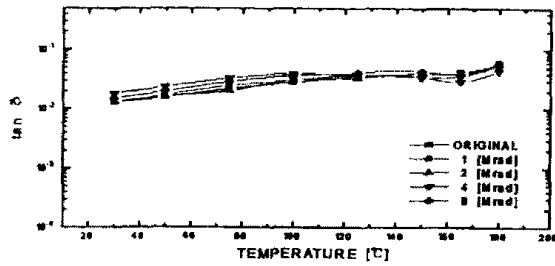
Fig. 8 Temperature dependence of Dielectric Characteristics (Applying Voltage 750(mV))

이 4(Mrad)이상이 되면 조사량이 낮은 시료보다 유전손실의 진폭이 크게 줄어들음을 알 수 있다. 그러나 주파수가 1(kHz)로 높아지면 유전 특성에 흡수 피크는 나타내지 않고 거의 일정하게 증가되면서 조사량에 따라 큰 영향을 없는 것으로 사료된다. 그리고 주파수가 150(kHz)(그림(c))인 경우는 전자선 조사량 4(Mrad) 시료를 제외한 모든 유전특성의 크기는 2×10^{-2} 으로 거의 일정하지만, 전자선 조사량이 4(Mrad)인 시료는 온도 120(°C)이하에서는 4×10^{-2} 으로 매우 적지만 120(°C)이상이 되면 1.6×10^{-2} 으로 커지는 것을 확인할 수 있다.

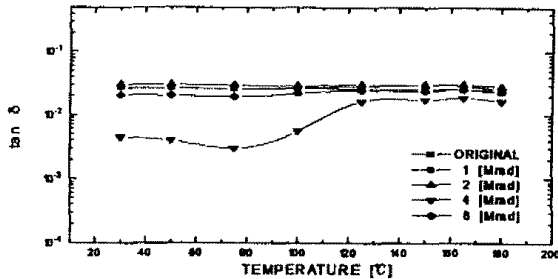
그림 9의 (a),(b),(c)는 인가전압 1500(mV), 주파수 30(Hz), 1(kHz), 150(kHz)에서의 유전특성의 온도 의존성을 도시하고 있다.



(a) 30(Hz)



(b) 1(kHz)



(c) 150(kHz)

Fig. 9 Temperature dependence of Dielectric Characteristics (Applying Voltage 1500(mV))

그림(a)에서 조사량이 8(Mrad)인 경우 최대 손실이 나타나는 온도는 120(°C)이고, 조사량이 4(Mrad)인 시료는 100(°C)에서 최대 손실이 나타나며 조사량이 각각 1, 2(Mrad)인 시료는 약 40(°C)부근에서 최대 손실이 나타남을 알 수 있으며 원시료의 경우는 측정온도 범위보다 낮은 온도에서 나타날 것으로 예측된다. 그림 (b)에서 온도가 30(°C)로부터 180(°C)로 높아짐에 따라 유전손실은 거의 일정하게 커지면서 흡수피크는 나타나지 않는다. 그림 (c)에서 조사량이 4(Mrad)인 시료는 온도 30(°C)~90(°C)까지는 손실의 크기가 4×10^{-3} 으로 거의 일정하다가 120(°C)이상에서는 손실의 크기가 1.6×10^{-2} 으로 커진다.

그러나, 나머지 시료의 경우, 유전정점의 크기는 2×10^{-3} 으로 온도가 30(°C)에서 180(°C)로 높아져도 거의 일정하다.

특히, 4(Mrad)조사된 시료의 경우, 유전정점의 크기가 커지는 것은 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy, Model: Voyager, NORAN Co.)을 이용하여 분석한 결과, 전도성을 나타내는 C, O성분이 가장 적게 나타나는 것으로 보아 도전성의 기어로 사료된다.

4. 결론

전력용 반도체 물당재료인 고온 저팽창 에폭시 수지를 시료로 선택, 전자선 조사에 따른 전기적 특성을 조사하기 위하여 물성실험과 전기적 특성 실험을 한 결과, 전기적 특성에 영향을 미치는 carbonyl기는 전자선 조사에 따라 감소되는 것을 확인 하였다. XRD에서 $2\theta = 23 \sim 24[^\circ]$ 범위에서 새로운 피크는 전자선 조사에 따라 시료의 가교나 분해로 인해 약간의 결정성을 갖기 때문으로 사료된다. 물성분석을 통해 Si, Sb등은 전자선 조사량의 변화에 대해 거의 변화가

없으나, Si은 전자선 조사량에 변화에 따라 크게 변화함을 알 수 있다.

또한, 유전특성의 주파수 의존성 중, β 피크는 50(°C)이하에서는 주파의 기여로 하나의 피크만 존재하나 100(°C)이상에서는 2개 피크가(β_1, β_2) 나타난다. 온도의존성에서는 150(kHz)의 경우 4(Mrad) 조사된 시료의 유전정점 크기가 가장 적은데, 이것은 도전성의 영향으로 사료된다.

참고 문헌

1. G.P.Schmidt and J.P.Wiley, "A Statistical Model for Viscosity Changes During Epoxy Resin Cure", Proceedings of ANTEC'84, Society of plastics Engineering, p270~273, 1984
2. C.A.May et al, "Rheological and Chemical Overview of Thermoset Curing", Chemorheology of Thermoset Polymers, Vol 227, ACS symposium series, C.A. May, Ed, American Chemical Society, p1~24, 1983
3. 坂本良憲, "實務者のための 電子線加工", 高分子刊行會, 京都, 1989
4. 松田ほか, JAERI-M, 87-170, 日本原子力研究所, 1987
5. J.B.Warren, Radiation Curing '82 Conference Proceedings, P5-1, 1982