

# 실리콘 젤의 경화조건에 따른 체적고유저항 특성

## The Volume Resistivity properties due to the Curing Condition of Silicone Gel for Power Semiconductor

송병기, 조경순, 신종열, 김이두, 홍진웅

Byung-gi Song, Kyung-Soon Cho, Jong-Yeol Shin, Lee-Doo Kim, Jin-Woong Hong

광운대학교 전기공학과 \* : 삼육전문대학교 자동차과  
Dept. of Electrical Engineering, Kwangwoon University

**Abstract** - In order to a study on the electrical properties of silicone gel due to the curing condition, the volume resistivity test is reserched. For experiment, we have made up several samples of different curing temperature and time such as 1[H], 2[H] at 125[°C], 150[°C], 160[°C], 170[°C], 180[°C]. A measurement of volume resistivity using the VMG-1000 highmegohm meter is recorded after 10 minutes when the each voltage, and DC 500[V] and 1000[V] is applied. A coaxial cylindrical liquid electrode to measure volume resistivity of specimen is used, and its geometric capacitance is 2[pF]. As a result of the experiment, the electrical properties of specimen cured at 170[°C] for 2[H] is superior.

### 1. 서론

현재 전력용 반도체는 스위칭 작용으로 인한 열주기(thermal cycle) 변화로 전극과 에폭시 절연재료 사이에 열팽창의 차가 발생하고, 이로 인해 전극과 절연체 사이에 틈이 발생하여 연면방전으로 인한 절연파괴가 커다란 문제로 대두되고 있다. 이러한 팽창률의 차를 완충하기 위하여 최근 실리콘 젤이 전력용 반도체의 몰딩재료로써 그 사용이 증가하고 있다.

따라서 본 논문은 열에 의해 경화되는 실리콘 젤의 경화온도 변화에 따른 절연성을 연구하여 최적조건의 경화온도와 생산성 향상을 위한 단시간 경화시간을 조사하여 전력용 반도체의 대응량화에 기여하고자 한다.

### 2. 시료의 제작 및 실험방법

#### 2-1 시료제작

실험에 사용된 시료는 전력용 반도체의 몰딩절연재료인 F사의 실리콘 젤을 사용하였으며, 액체상태에서 온도를 증가시켜 실험한 결과 상온에서는 액체상태를 유지하나 온도 약 100[°C]에서 1시간이상 가열할 경우 젤형태로 변형되는 특성을 가지고 있다. 따라서 본 실험은 1시간동안 경화한 시료를 기준으로 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 시료는 2시간 진공탈기 과정을 거치고, 오븐내 온도 100[°C], 125[°C], 150[°C], 160[°C], 170[°C], 180[°C]에서 1, 2시간 그리고 온도 150[°C], 160[°C], 170[°C], 180[°C]에서 30분 동안 열처리를 한 것으로 열처리

온도에 따라 각각의 시료를 구분하였다. 또한 열처리된 시료들은 공기중에서 냉각하여 시료를 제작하였다. 1시

간동안 열처리한 시료의 구분을 표 1에 나타내었다.

표 1. 시료의 구분

Table 1. The classification of specimen

경화온도	No.	경화시간	No.	경화시간
100[°C]	#1	1[H]	#7	2[H]
125[°C]	#2	1[H]	#8	2[H]
150[°C]	#3	1[H]	#9	2[H]
160[°C]	#4	1[H]	#10	2[H]
170[°C]	#5	1[H]	#11	2[H]
180[°C]	#6	1[H]	#12	2[H]

#### 2-2. 체적고유저항 실험방법

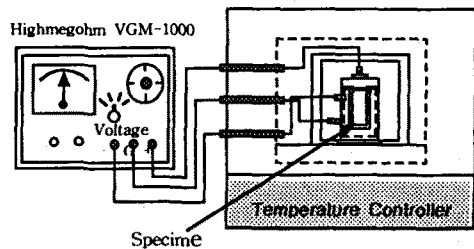


그림 1. 체적고유저항 장치의 개략도

Fig. 1. Schematic drawing of volume resistivity device

실리콘 젤은 전극내에서 실리콘 젤의 온도변화에 따른 체적고유저항 특성을 연구하기 위하여 자동온도 조절장치가 부착된 Ando TO-9B형 오븐을 이용하였고, 실험에 사용된 액체전극의 기하학적 정전용량은 2[pF]이며, 상부전극과 하부전극사이의 간격은 1[mm]이다. 전도전류

측정을 위하여, 미소전류계인 VMG-1000 Highmegohm meter를 사용하였다. 그림 1에 체적고유저항 장치의 개략도를 나타내었다

### 3. 실험결과

#### 3-1. FTIR

열처리에 의해 경화된 실리콘 젤의 물성을 연구하기 위하여 FTIR을 조사하였다.

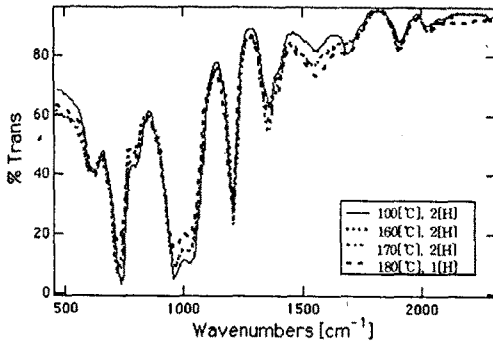


그림 2. 시료의 FTIR 스펙트럼  
Fig. 2. FTIR spectrum of specimen

그림 2은 100[°C], 160[°C], 180[°C]에서 경화한 시료의 FTIR spectrum을 나타낸 것이다. 분석결과 파수 2127[cm⁻¹]는 비닐기와 결합하지 못하고 잔류하는 Si-H기에 의한 피크이며, 파수 1450 [cm⁻¹]는 CH₂기의 피크로 비닐기와 수소가 결합하여 나타나는 것으로 경화 온도가 증가함에 따라 피크가 다소 증가하는 것을, 파수 1340~1200[cm⁻¹]에서의 피크는 Si-CH₃기에 의해 나타나는 피크이다. 또한 파수 1200~920[cm⁻¹]에서의 흡수 피크는 실록산기 인 Si-O-Si에 의한 피크로 경화가 증가함에 따라 결합력이 약해져 160[°C]인 경우 100[°C]와 비교하여 미소하게 감소하였으나 180[°C]인 경우 상당히 감소해 있는 것을 확인할 수 있다.

#### 3-2 체적고유저항

##### (1) 1시간동안 열처리한 경우

그림 3은 인가전압 500[V]에서 경화온도에 따른 실리콘 젤에 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. 경화온도 160[°C]인 시료가 65[°C]이상의 고온영역에서 경화온도 170[°C]인 시료보다 체적고유저항이 작아지는 것을 확인할 수 있는데 이것은 FTIR에서 나타나 것과 같이 경화온도 160[°C]인 시료의 가교되지 않은 비닐기와 수소가 결합으로 남아 지은, 저전계에서는 거의 영향을 미치지 못하다가 고온, 고전계로 됨에 따라 그 결합부분을 통해 나타나는 체적고유저항의 감소라 생각된다.

그림 4는 인가전압 1000[V]에서 경화온도에 따른 실리콘 젤에 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. 인가전압 증가에 따라 경화온도 180[°C]인 시료의 경우 고온 경화로 인한 실리콘 젤의 분자간 분해로 인해 나타나는 결합 때문에 170[°C]인 시료보다 체적고유저항이

상당히 작아져 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 경화온도 160[°C]인 시료의 경우도 그림 3-6에서 나타난 170[°C]인 시료와의 차이보다 그 폭이 다소 커져 있는 것을 확인할 수 있다.

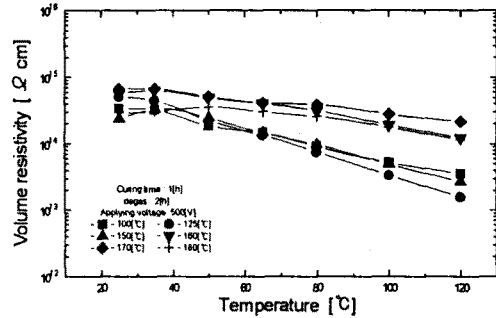


그림 3. 인가전압 500[V]에서 경화 온도에 따른 체적고유저항의 온도 의존성(1시간동안 경화된 시료)  
Fig. 3. The temperature dependence of volume resistivity due to the cured temperature at 500[V](Curing time 1[H])

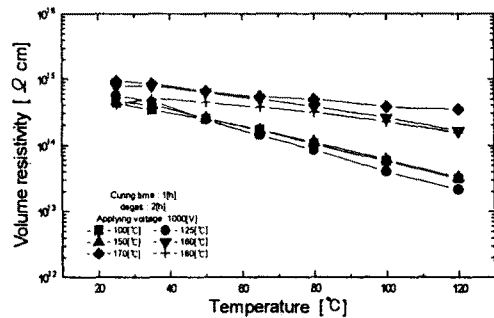


그림 4. 인가전압 1000[V]에서 경화 온도에 따른 체적고유저항의 온도 의존성(1시간동안 경화된 시료)  
Fig. 4. The temperature dependence of volume resistivity due to the cured temperature at 1000[V](Curing time 1[H])

##### (2) 2시간동안 열처리한 경우

그림 5는 인가전압 500[V]에서 실리콘 젤의 경화온도에 따른 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. 100[°C]부터 170[°C]까지는 경화온도의 증가에 따라 각 시료의 체적고유저항이 점차 증가하는 것을 확인할 수 있으나, 경화 온도 180[°C]인 시료의 경우 고온경화로 인해 실록산기(Si-O-Si) 분자간의 분해가 발생하여 나타나는 것이라 생각되는 체적고유저항의 급격한 감소를 확인할 수 있다. 온도 180[°C]에서 경화한 것을 제외한 모든 시료의 체적고유저항값도 1시간동안 경화한 시료에 비해 거의 유사하게 나타남을 확인할 수 있다. 실험 결과로써 경화시간 2시간, 경화온도 170[°C]인 시료의 체적고유저항 값을 가장 높게 나타냈으며, 경화온도 160[°C]인 시료는 170[°C]인 시료와 비교하여 다소 체적고유

저항값이 낮지만 다른 시료와 비교하여 우수한 체적고유저항 특성을 나타내고 있다. 이것은 경화온도 170[°C]인 경우가 160[°C]인 경우보다 가교밀도가 높기 때문이라 생각된다.

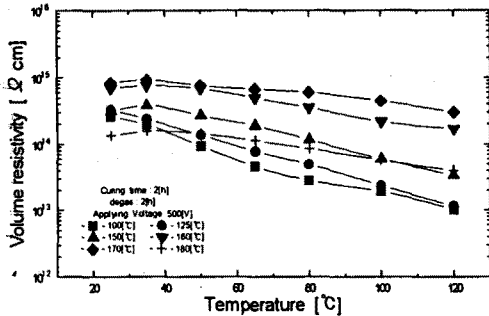


그림 5. 인가전압 500[V]에서 경화온도에 따른 체적고유저항의 온도 의존성(2시간동안 경화된 시료)  
Fig. 5. The temperature dependence of volume resistivity due to the cured temperature at 500[V](Curing time 2[H])

그림 6은 인가전압 1000[V]경우 실리콘 겔의 경화온도에 따른 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. 시료의 온도가 증가함에 따라 활성화 에너지가 증가하여 체적고유저항이 감소하며, 인가전압이 증가하여도 온도 160[°C], 170[°C]로 경화된 시료의 체적고유저항값이 다른 시료에 비해 크게 나타남을 확인할 수 있다. 따라서 인가전압 500[V]인 경우와 거의 유사한 경향을 나타내고 있다.

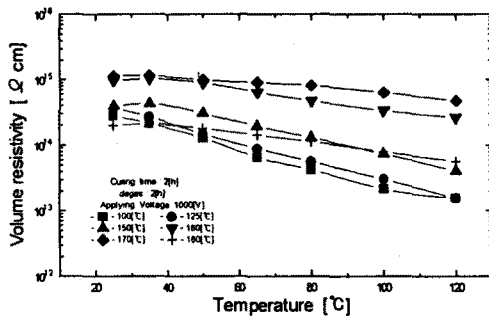


그림 6. 인가전압 1000[V]에서 경화온도에 따른 체적고유저항의 온도 의존성(2시간동안 경화된 시료)  
Fig. 6. The temperature dependence of volume resistivity due to the cured temperature at 1000[V](Curing time 2[H])

#### 4. 결 론

전력용 반도체에서 물딩용 절연재료로 사용되고 있는 실리콘 겔의 전기적 특성을 연구하기 위하여 체적고유저항 특성과 절연파괴 특성을 측정하였으며, 물성분석을

위하여 FTIR을 조사하였다.

#### 1. 물성특성

FTIR에 의한 물성분석결과 파수 2127[cm<sup>-1</sup>]에서 간류 Si-H에 의한 피크가 확인되었으며, 경화온도가 높아짐에 따라 파수 1170~920[cm<sup>-1</sup>]에서 나타난 실록산기(Si-O-Si)의 흡수피크가 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 2. 체적고유저항

경화온도와 경화시간 변화에 따른 실험결과 경화온도 170[°C]에서 2시간동안 경화한 시료가 가장 높은 체적고유저항을 나타내었으며, 경화온도 160[°C]에서 2시간동안 경화한 시료와 경화온도 170[°C]에서 1시간 경화한 시료의 경우도 아주 양호한 특성을 나타내었다.

#### Reference

1. Takahiko Maeda et al., " Creepage Breakdown characteristics of Printed Wireing Board in Silicon Gel", CEIDP'96, pp 734-737(1996)
2. Deborah D. L. Chung, "Materials for Electronic Packaging", Butterworth-Heineman(1995)
3. Ivana Deram et al. : "Power MOSFET Packaged-Induced On-Resistance Reduction", IEEE'97, pp. 113-115(1997)
4. John M. Zeigler & F. W. Gordon Fearon : "Silicon-Based Polymer Science", Published by the American Chemical Society, pp. 505-513, 619-637 (1989)
5. 東芝シリコン : "Silicon and their uses", pp.72-93 (1989)