

반도체용 실리콘 젤의 경화조건에 따른 체적고유저항 특성 (Volume Resistivity Properties due to the Curing Condition of Silicone Gel for Semiconductor)

조 경 순*
(Kyung-Soon Cho)

요 약

실리콘 젤의 경화조건에 따른 전기적 특성을 조사하기 위하여 절연파괴특성에 대한 실험을 실시하였다. 실험을 위해 온도 100[°C], 125[°C], 150[°C], 160[°C], 170[°C], 180[°C]에서 각각 30[Min], 1[H], 2[H]동안 경화된 여러 시료를 제작하였다. 절연파괴실험에서 사용된 전극의 재료는 순도 99.9[%]의 구리이며, 전극간 간격은 1~3[mm]로 하였고, 전극의 두께는 0.2[mm]이다. 실험결과 온도 170[°C]에서 2[H] 경화된 시료의 전기적 특성이 가장 우수하였다.

ABSTRACT

In order to study the electrical properties of silicone gel due to the curing condition, AC breakdown test is researched. For experiment, we have made up several samples cured during each 30[Min], 1[H], 2[H] at 100 [°C], 125[°C], 150[°C], 160[°C], 170[°C], 180[°C]. The equipment for this test can measure the dipole output voltage to 50[kV], with increasing rate of about 3[kV] per second. A material of electrode using to the breakdown test is a copper(purity : 99%), the gap between electrodes is to 1[mm]~3[mm], and it thickness is 0.2[mm]. As a result of the experiment, the electrical properties of specimen cured at 170[°C] for 2[H] is superior.

1. 서론

반도체의 고전압, 대전류화를 위해서 몰딩재료로는 높은 절연성, 접착성이 좋으며, 성형이 용이한 에폭시 수지가 가장 널리 사용되고 있다. 하지만 스위칭 작용으로 인한 열 주기(thermal cycle) 변화가 전극과 에폭시 절연재료 사이에 열팽창률의 차가 발생

시키고, 이로 인해 전극과 절연체 사이에 틈이 발생하여 절연파괴를 야기시키고 있다. 이러한 팽창률의 차를 완충하기 위하여 실리콘 젤이 몰딩재료로써 최근 사용되고 있다. 본 논문에서는 열처리로 경화되는 실리콘 젤의 경화온도 변화에 따른 절연성을 연구하여 반도체의 대용량화에 기여하고자 한다.

* 정회원 : 서일대학 컴퓨터 응용시스템 전공 전임강사

<표 1> 시료의 구분

<Table 1> Classification of Specimen

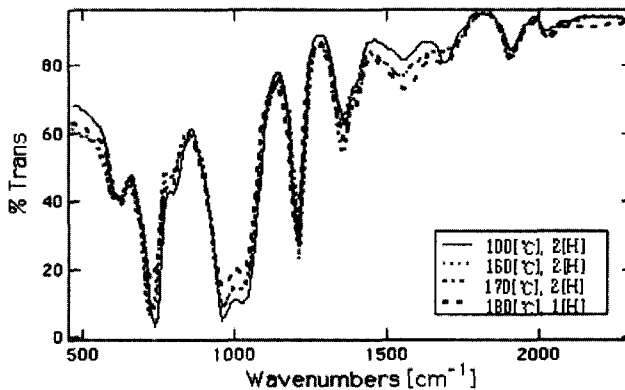
경화온도	경화시간	No.	경화시간	No.	경화시간	No.	경화시간
100[°C]				#5	1[H]	#11	2[H]
125[°C]				#6	1[H]	#12	2[H]
150[°C]		#1	30[Min]	#7	1[H]	#13	2[H]
160[°C]		#2	30[Min]	#8	1[H]	#14	2[H]
170[°C]		#3	30[Min]	#9	1[H]	#15	2[H]
180[°C]		#4	30[Min]	#10	1[H]	#16	2[H]

2. 시료 제작

실험에 사용된 시료는 반도체의 물딩절연재료인 실리콘 젤을 사용하였으며, 실험에 사용된 시료는 2시간 진공탈기 과정을 거치고, 오븐내 온도 100[°C], 125[°C], 150[°C], 160[°C], 170[°C], 180[°C]에서 1시간과 2시간동안 경화하였으며, 열처리 온도에 따라 각각의 시료를 구분하였다. 또한 열처리된 시료들은 공기 중에서 냉각하여 시료를 제작하였다. 1시간동안 열처리한 시료의 구분을 <표 1>에 나타내었다.

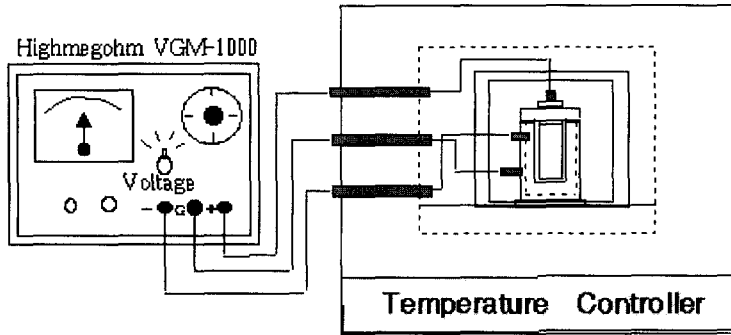
열처리에 의해 경화된 실리콘 젤의 물성을 연구하기 위하여 FTIR을 분석하였다. [그림 1]은 100[°C], 160[°C], 170[°C], 180[°C]에서 경화한 시료의 FTIR spectrum을 나타낸 것이다. 분석결과 파수 2127[cm⁻¹]는 비닐기와 결합하지 못하고 잔

류하는 Si-H기에 의한 피크이며, 파수 1450 [cm⁻¹]는 CH₂기의 피크로 비닐기와 수소기가 결합하여 나타나는 것으로 경화온도가 증가함에 따라 피크가 다소 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 파수 1340~1200[cm⁻¹]에서의 피크는 Si-CH₃기에 의해 나타나는 피크이다. 또한 파수 1200~920[cm⁻¹]에서의 흡수피크는 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. 또한 파수 850~645[cm⁻¹]밴드에서 CH₃에 의한 피크를 확인할 수 있다.



[그림 1] FTIR 스펙트럼

[Fig. 1] FTIR Spectrum

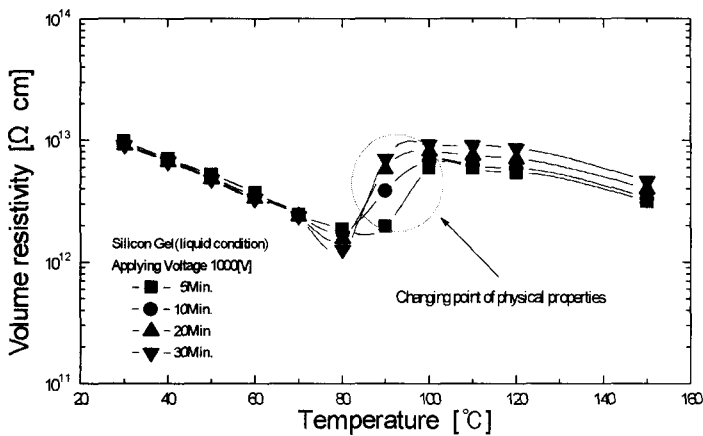


[그림 2] 실험장치의 개략도
 [Fig. 2] Schematic Drawing of Experimental Device

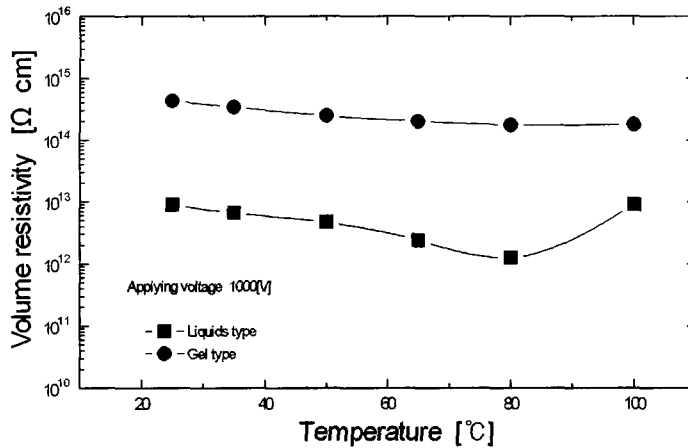
3. 실험 및 결과

실리콘 젤은 전극 내에서 실리콘 젤의 온도변화에 따른 체적고유저항 특성을 연구하기 위하여 자동 온도 조절장치가 부착된 Ando TO-9B형 오븐을 이용하였으며, 실험에 사용된 액체전극의 기하학적 정전용량은 2[pF]이며, 상부전극과 하부전극사이의 간격은 1[mm]이다. 전도전류 측정용을 위하여, 미소전류계인 VMG-1000 Highmegohm meter를 사용하였다. [그림 2]에 체적고유저항 실험장치의 개략도를 나타내었다.

[그림 3]은 액체상태에서 시료의 경화특성을 알아보기 위하여 30[°C]부터 오븐의 온도를 10[°C]씩 160[°C]까지 증가시켰으며, 10[°C]씩 증가 시마다 시료의 체적고유저항 값을 전압인가후 5분, 10분, 20분, 30분이 경과되었을 때 기록한 것이다. 그 결과 시간경과에 따라 경화가 진행되어 체적고유저항값이 증가한 것을 확인할 수 있다. 온도 약 80[°C]~100 [°C]부근에서 체적고유저항이 급격히 변화하는 것을 확인할 수 있는데 이는 고온에서 시료인 실리콘이 경화되면서 젤 형태로 변화하여 나타나는 체적고유저항의 급격한 증가라 생각된다. 하지만 온도 100



[그림 3] 액체상태에서 온도에 따른 체적고유저항의 변화
 [Fig. 3] Change of Volume Resistivity due to Temperature at Liquid Condition



[그림 4] 실리콘 액상과 젤 상태에서 체적고유저항의 온도 의존성
 [Fig. 4] Temperature Dependence of Volume Resistivity at Liquid and Gel Condition

[°C]이상부터는 열에너지 증가에 따라 이온이나 쌍극자가 다시 활성화되면서 체적고유저항 값이 서서히 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이 결과에서 시료의 경화온도는 100[°C]이상임을 확인할 수 있었으며, 따라서 시료의 경화온도를 100[°C]이상으로 하여 시료를 제작하였다.

[그림 4]는 인가전압 1000[V]에서 액상인 실리콘과 경화온도 100[°C]로 1시간동안 경화한 젤형태인 실리콘 젤의 체적고유저항의 온도 의존성을 비교한 것이다. 액상인 경우보다 젤형태인 경우 체적고유저항값이 약 10²승 정도가 높게 나타남을 확인할 수 있는데 이는 액상인 실리콘이 경화온도 100[°C]에서 비닐기와 수소기가 서로 가교 되면서 젤상태로 변화되어 나타나는 현상이라 생각된다.

3.1 1시간동안 열처리한 경우

실험에 사용된 실리콘 젤은 최초 액상인 상태로 오븐에서 온도를 증가시키며 실험한 결과 100[°C]에서 1시간이상 가열할 경우에 일정한 형태를 유지하는 젤형태로 됨을 확인할 수 있었다. 따라서 본 실험에서는 최저 경화조건을 경화온도 100[°C], 경화시간 1[Hr]를 기준으로 하여 실험을 실시하였다.

[그림 5]는 인가전압 100[V]에서 경화온도에 따른

실리콘 젤의 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. 온도증가에 따라 활성화 에너지의 증가로 인해 모든 시료의 체적고유저항 값이 온도 증가에 따라 점차 감소하는 확인할 수 있다. 또한 경화온도 150[°C]이상인 시료의 경우 125[°C]이하의 시료보다 비닐기와 수소기의 결합에 의한 CH₂기가 FTIR에서 증가한 것으로 보아 가교밀도가 높아져 체적고유저항값이 온도변화에 영향을 받지 않는 것이라 생각된다. 경화온도 160[°C], 170[°C], 180[°C]인 경우 높은 체적고유저항값을 나타내면서 거의 유사한 경향으로 나타내고 있다.

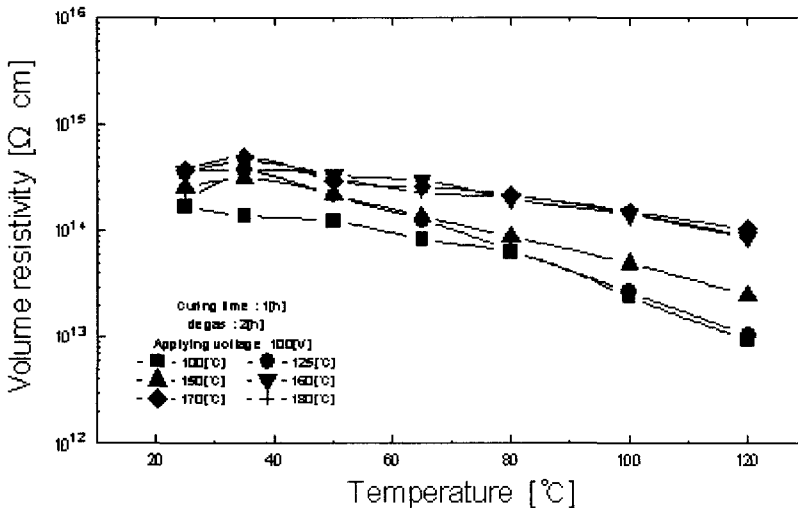
[그림 6]은 인가전압 250[V]에서 경화온도에 따른 실리콘 젤의 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. 인가전압 100[V]인 경우와 유사한 경향을 나타내고 있으나 경화온도에 따른 체적고유저항값의 차이가 다소 감소해 있는 것을 확인할 수 있다. 하지만 큰 변화가 없으므로 전압에 대해 안정된 특성을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 경화온도 160[°C]인 시료의 경우 온도 65[°C]이하에서는 경화온도 170[°C]인 시료와 거의 같은 값을 나타내었지만 65[°C]이상으로 온도가 증가함에 따라 경화온도 160[°C]와 180[°C]인 시료의 경우 체적고유저항값이 170[°C]시료의 저항 값보다 점차 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

또한 경화온도 180[°C]인 경우 인가전압 100[V]에서 경화온도 170[°C]인 시료와 거의 유사한 체적고유저항값을 나타내었으나 인가전압이 250[V]로 증가하면서 체적고유저항값이 다소 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 경화온도 160[°C]인 경우는 경화온도 170[°C]보다 가교밀도가 낮기 때문에 나타나는 현상이라 생각되며, 경화온도180[°C]인 경우는 FTIR에서 확인한 바와 같이 실록산기가 감소하여 경화온도 170[°C]보다 체적고유저항이 낮아진 것이라 생각된다.

[그림 7]은 인가전압 500[V]에서 경화온도에 따른 실리콘 젤에 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. 전압이 500[V]로 높아짐에 따라 경화 온도 180[°C]인 시료의 저항 값이 상당히 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 FTIR 결과에서 나타난 실록산기(Si-O-Si)가 고온으로 인해 서로 분해되면서 이온성 캐리어로 작용하면서 나타나는 절연성의 감소라 생각된다. 또한 160[°C]에서 경화된 시료가 온도 65[°C]이상의 고온영역에서 경화온도 170[°C]인 시료보다 체적고유저항이 작아지는 것을 확인할 수 있는데 이것은 경화온도 160[°C]인 시료의 경우 고온, 고전계로 됨에 따라 비닐기와 수소기의 가교 되지 않은

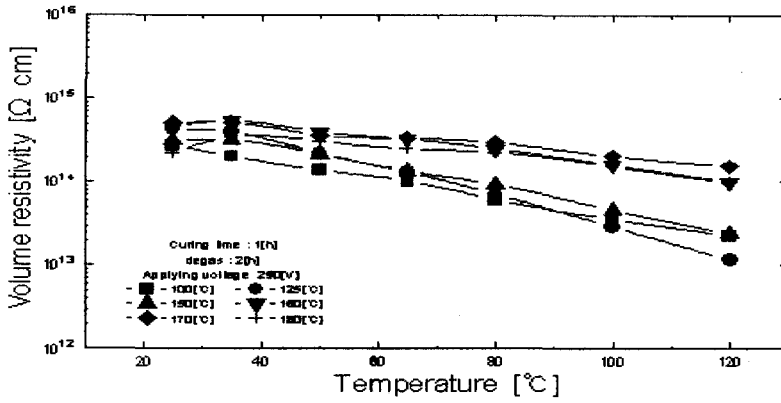
부분을 통해 전극에서의 전자주입이 용이해지면서 나타나는 체적고유저항의 감소라 생각된다.

[그림 8]은 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 결함 때문에 170[°C]인 시료보다 체적고유저항이 상당히 작아져 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 경화온도 160[°C]인 시료의 경우도 [그림 7]에서 나타난 170[°C]인 시료와의 차이보다 그 폭이 다소 커져 있는 것을 확인할 수 있다.



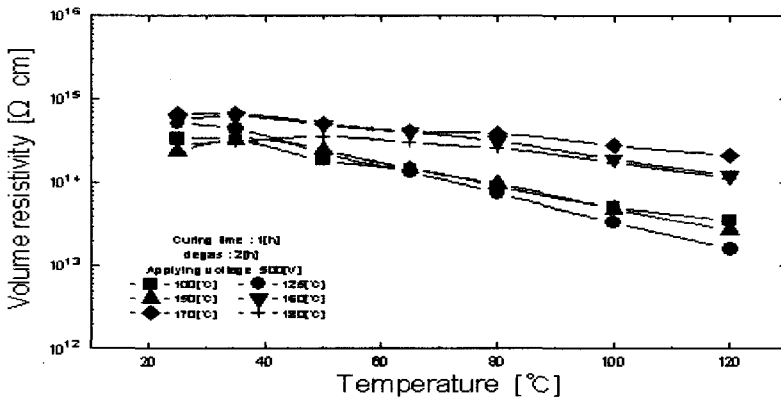
[그림 5] 100[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성(1시간 경화)

[Fig. 5] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 100[V](Curing Time for 1[H])



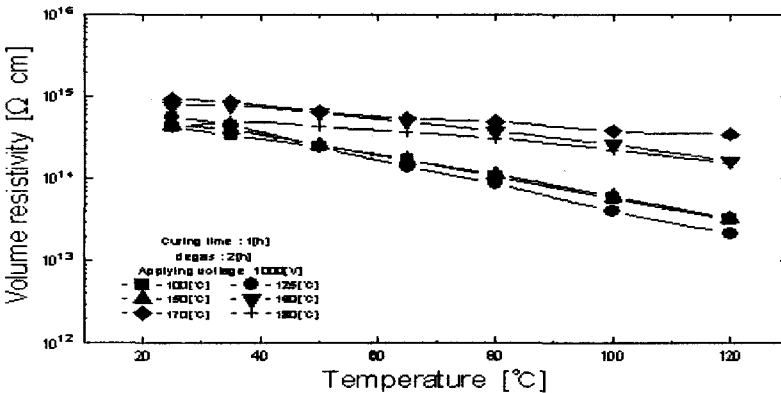
[그림 6] 250[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성(1시간 경화)

[Fig. 6] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 250[V](Curing Time for 1[H])



[그림 7] 500[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성

[Fig. 7] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 500[V](Curing Time for 1[H])



[그림 8] 1000[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성(1시간 경화)

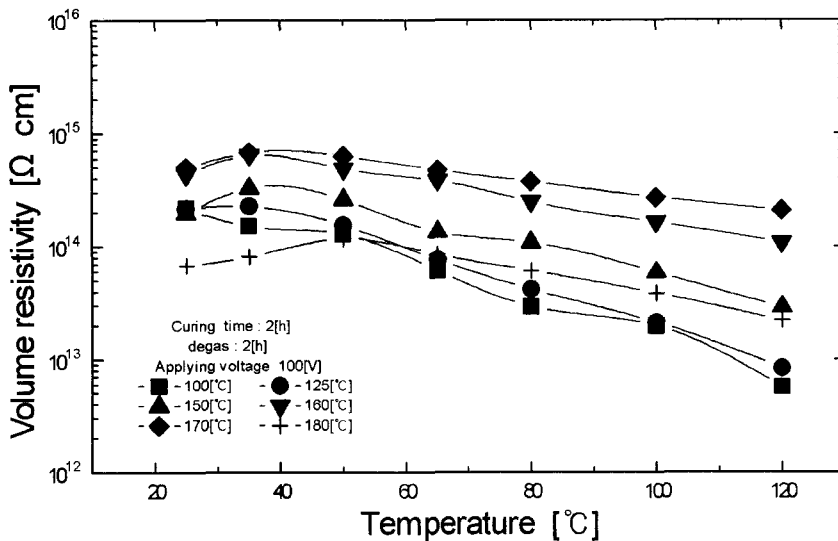
[Fig. 8] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 1000[V](Curing Time for 1[H])

3.2 2시간동안 열처리한 경우

[그림 9]는 인가전압 100[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. 실험결과로써 경화시간 2시간, 경화온도 170[°C]인 시료의 체적고유저항 값을 가장 높게 나타냈으며, 경화온도 160[°C]인 시료는 170[°C]인 시료와 비교하여 다소 체적고유저항값이 낮지만 다른 시료와 비교하여 우수한 체적고유저항 특성을 나타내고 있다. 이것은 경화온도 170[°C]인 경우가 160[°C]인 경우보다 가교밀도가 높기 때문이라 생각된다.

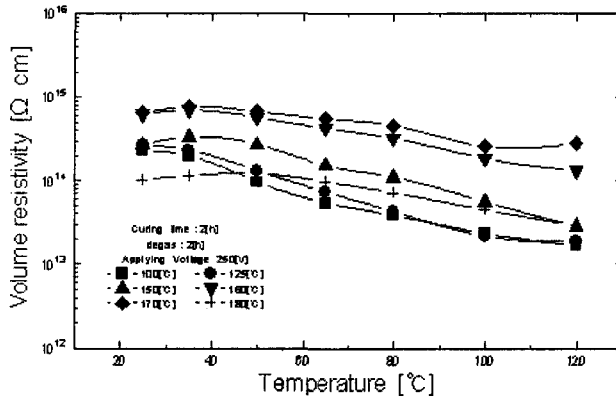
[그림 10], [그림 11], [그림 12]는 각각 인가전압

250[V], 500[V], 1000[V]경우 실리콘 젤의 경화온도에 따른 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. 시료의 온도가 증가함에 따라 이온이나 쌍극자 등이 활성화되면서 체적고유저항의 감소가 나타나며, 인가전압이 증가하여도 경화온도 160[°C],와 170[°C]인 시료의 체적고유저항값이 다른 시료에 비해 크게 나타남을 확인할 수 있다. 따라서 인가전압 100[V]인 경우와 거의 유사한 경향을 나타내고 있다.

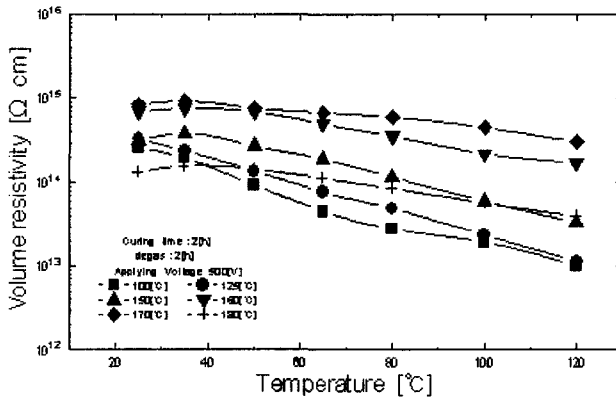


[그림 9] 100[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성(2시간 경화)

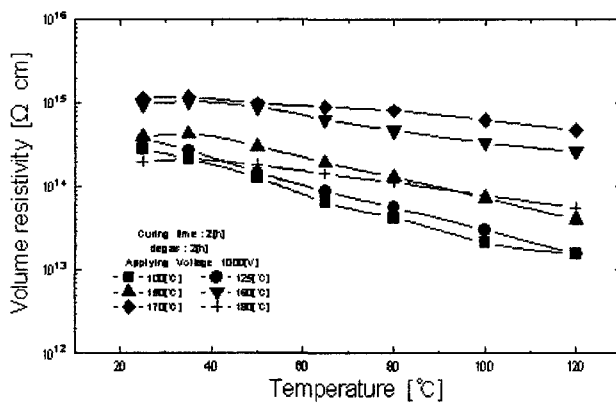
[Fig. 9] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 100[V](Curing Time for 2[H])



[그림 10] 250[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성(2시간 경화)
 [Fig. 10] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 250[V](Curing Time for 2[H])



[그림 11] 500[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성(2시간 경화)
 [Fig. 11] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 500[V](Curing Time for 2[H])



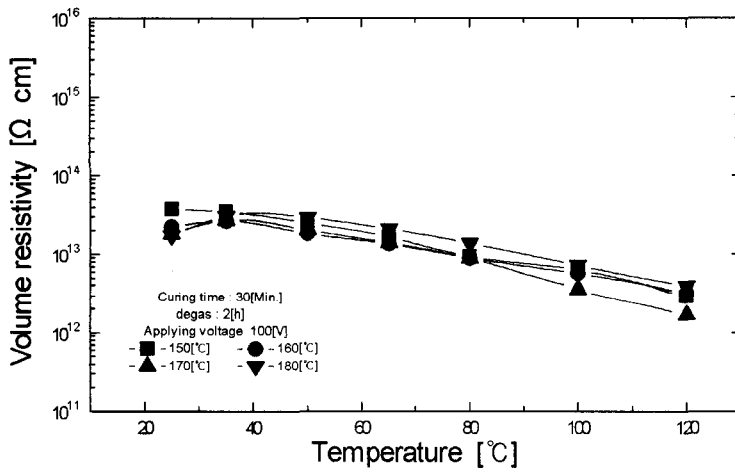
[그림 12] 1000[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성(2시간 경화)
 [Fig. 12] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 1000[V](Curing Time for 2[H])

3.3 30분 동안 열처리한 경우

[그림 13]은 인가전압 100[V]에서 경화온도에 따른 실리콘 젤에 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. 경화온도 150[°C]와 180[°C]인 시료가 다른 시료에 비해 다소 높은 체적고유저항값을 나타내고 있으나 큰 폭의 차이가 없음을 확인할 수 있다. 또한 1시간과 2시간동안 경화한 경우의 시료보다 낮은 체적고유저항 값을 확인할 수 있는데, 이는 경화

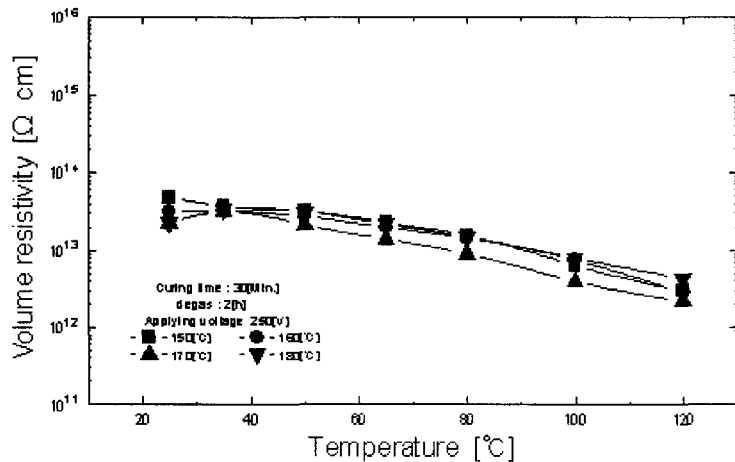
온도와 관계없이 경화시간이 충분하지 않을 경우, 실리콘 젤은 체적고유저항값이 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

또한 [그림 14], [그림 15], [그림 16]은 각각의 인가전압에 따른 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 것이다. [그림 13]과 체적고유저항 값이 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다. 따라서 경화시간 30분은 부적절한 경화조건이라 생각된다.



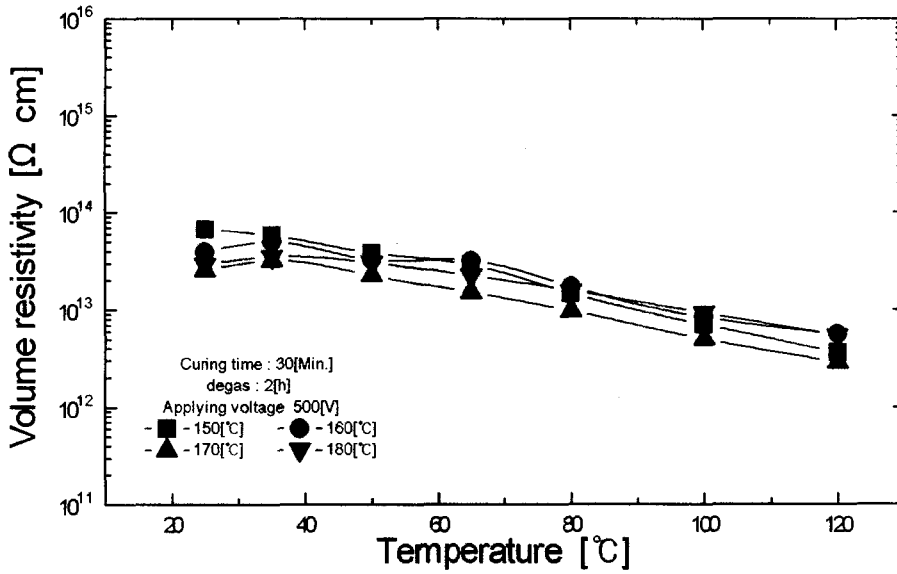
[그림 13] 100[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성(30분 경화)

[Fig. 13] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 100[V](Curing Time for 30[MIN])



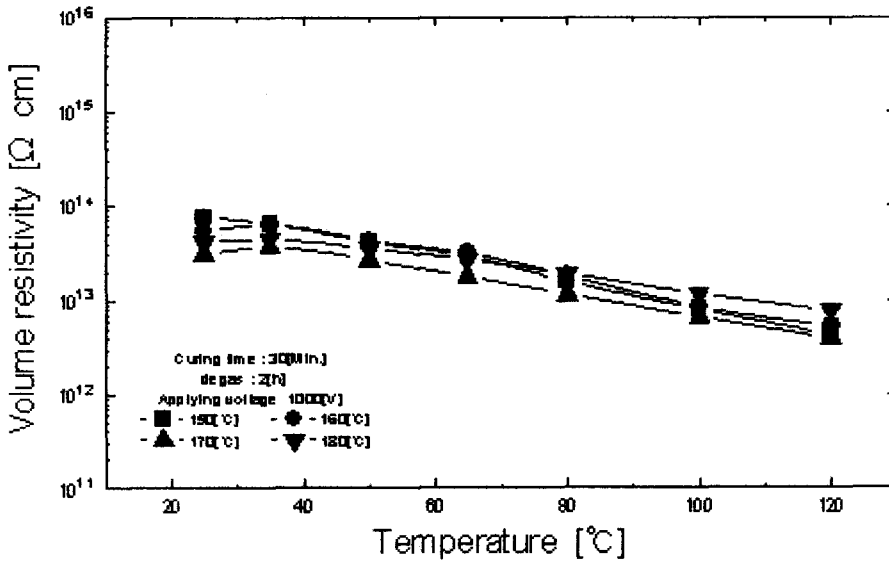
[그림 14] 250[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성(30분 경화)

[Fig. 14] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 250[V](Curing Time for 30[MIN])



[그림 15] 500[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성(30분 경화)

[Fig. 15] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 500[V](Curing Time for 30[MIN])



[그림 16] 1000[V]에서 체적고유저항의 온도 의존성(30분 경화)

[Fig. 16] Temperature Dependence of Volume Resistivity due to Cured Temperature in 1000[V](Curing Time for 30[MIN])

4. 결론

반도체에서 몰딩용 절연재료로 사용되고 있는 실리콘 젤의 전기적 특성을 연구하기 위하여 체적고유저항 특성을 측정하였으며 그 결과 온도 약 90~100[°C]사이에서 실리콘이 액상에서 젤상태로 물성이 변화하는 것을 확인할 수 있었으며, 100[°C]에서 1시간 이상 경화할 일정 형태를 유지하는 젤형태로 됨을 확인할 수 있었다. FTIR에 의한 물성분석결과 파수 2127[cm-1]에서 잔류 Si-H에 의한 피크가 확인되었으며, 경화온도가 높아짐에 따라 파수 1170~920[cm-1]에서 나타난 실록산기(Si-O-Si)의 흡수피크가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 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] Deborah D. L. Chung, "Materials for Electronic Packaging", Butterworth-Heinemann, 1995
- [2] Ivana Deram et al. : "Power MOSFET Packaged-Induced On Resistance Reduction", IEEE'97, p p. 113-115, 1997
- [3] John M. Zeigler and F. W. Gordon Fearon : "Silicon-Based Polymer Science", Published by the American Chemical Society, pp. 505-513, 619-637, 1989
- [4] 東芝シリコン : "Silicon and their uses", pp.72-93, 1989
- [5] J. Mort and G. Pfister : "Electronic Properties of Polymer", John Wiley and Son, New York, pp. 59-96, 1982
- [6] S.Shit et al : Dielectric Relaxation and Electrical Conduction of Polymer as a Function of Press and Temperature, J. Poly. Sci., A-2, 6, pp. 1297-1315, 1968
- [7] S.Shit et al : Dielectric Relaxation and Electrical Conduction of Polymer as a Function of Press and Temperature, J. Poly. Sci., A-2, 6, pp. 1297-1315, 1968
- [8] C.P. Wong, J. Electronic Packaging 111, pp. 97, 1989
- [9] C.P. Wong, in Polymers for Electronic Application, CRC Press, Boca Raton FL, 1989
- [10] "Characteristics of creepage Discharge inunequal electric field "Technical report of IEEJ(Part I I), No 184, pp. 31, 1985
- [11] L.A.Dissado, J.C.Fothetgill : "Electrical Degradation and Breakdown in Polymer", Peter Peregrinus, London, pp. 49~74, 1992

조 경 순



1991 광운대학교 공과대학 전기
공학과 (공학사)

1993 광운대학교 대학원 전기공
학과 (공학석사)

1998 광운대학교 대학원 전기공
학과 (박사과정수료)

1998~현재 :서일대학 컴퓨터응용
시스템전공 전임강사

관심분야 : 컴퓨터인터페이스, 열
화진단 및 수명예측