

## 사이리스터의 가속열화에 따른 항복전압 특성

이 양재<sup>1</sup>, 서길수<sup>2</sup>, 김형우<sup>2</sup>, 김기현<sup>2</sup>, 김상철<sup>2</sup>, 김남균<sup>2</sup>, 김병철<sup>2</sup>  
한국전기연구원, 진주산업대학교<sup>2</sup>

### Analysis of the breakdown degradation of thyristor due to the aging test

Y.J.Lee<sup>1</sup>, K.S.Seo, H.W.Kim, K.H.Kim, S.C.Kim, N.K.Kim, and B.C.Kim<sup>2</sup>  
KERI, Jinju National University<sup>2</sup>

**Abstract :** 사이리스터의 파괴 원인에는 온도, 전압, 전류, 진동 및 압력 등이 있다. 본 논문에서는 이러한 파괴 원인들 중에서 전압과 온도를 스트레스 인자로 하여 가속열화에 따른 소자의 항복전압 특성의 변화에 대해 실험을 통해 분석하였다. 실험에 사용한 사이리스터는  $V_{DRM} = 1800$ ,  $V_{RRM} = 2300$  V,  $I_{DRM}, I_{RRM} = 20mA$ 인 소자를 사용하였으며, 실험 시 인가전압은 1kV, 온도는 100°C로 고정하였다. 가속열화에 따른 순방향 및 역방향 항복특성의 변화를 가속열화 시간에 따라 나타내었고, 이를 바탕으로 전압과 온도에 따른 항복전압 감소의 원인과 열화의 진행에 대해 기술하였다.

Keyword : Aging, Breakdown voltage, Device failure

#### 1 서론

일반적으로 반도체 소자는 스위치 소자로서 많이 사용되어 지는데, 이것은 소자가 오프-상태와 온-상태 사이에서 반복적으로 전환되는 것을 말한다. 스위치 소자로 주로 쓰이는 소자에는 사이리스터나 MOSFET를 들 수 있으며, 이외에 바이폴라 트랜지스터나 다이오드 등도 일종의 스위치 소자로 사용되어지고 있다. 이러한 스위치 소자들 주에서 사이리스터는 HVDC 송전, 전동기 제어, 고주파 응용 등과 같은 다양한 분야에서 사용되어지고 있다. 고전압 변환 분야에서 사용되고 있는 사이리스터의 경우 높은 전압과 전류 스트레스 하에서 작동하고 있어 높은 신뢰성을 필요로 하며, 소자의 특성 변화를 분석할 필요가 있다. 그러나 실제로 지속적인 스트레스에 따른 소자의 특성변화를 관찰하기 위해서는 많은 시간이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 짧은 시간 내에 스트레스에 따른 소자의 특성변화를 보기 위해 가속열화 시험을 진행하였다. 사이리스터의 특성에 영향을 주는 스트레스 인자에는 온도, 습도 등과 같은 환경적 인자와 전압, 전류와 같은 전기적 인자가 있다. 본 논문에서는 이러한 스트레스 인자들 중에서 전압과 온도를 이용하여 가속열화 시험을 진행하였다. 실제로 이러한 스트레스 인자들은 소자의 전반적인 특성에 영향을 주지만 본 논문에서는 항복전압 특성의 변화에만 초점을 맞추어 전압과 온도가 항복전압에 미치는 영향을 실험을 통해 분석하였다.

#### 2. 본론

##### 2.1 장치 구성도

그림 1은 가속열화 시험에 사용된 장치를 나타낸 것이다. DC 가속열화 시험용 내전압 시험장치 장비는

DC15kV/200mA의 출력 정격을 가지며, 온도 가속장비의 정확도는 ±0.2°C이다. 정확한 가속열화시험을 하기 위해서는 열화장치 내부의 온도를 일정하게 유지해야 할 필요가 있으며, 본 실험에서는 장치 내부의 온도를 100°C로 고정하여 실험을 수행하였다.

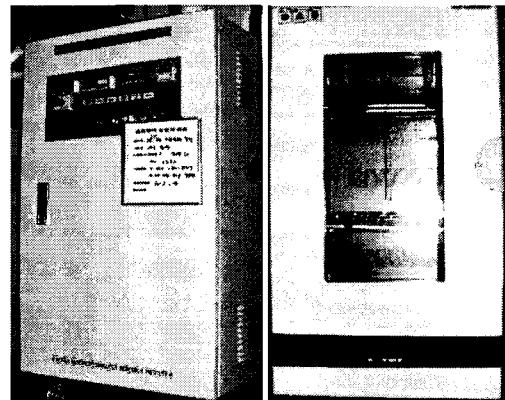


그림 1. 전압 및 온도 가속장치 구성

장치 내부의 온도 측정에는 thermo coupler를 사용하였으며, thermo coupler의 최적범위 정확도는 -150°C~120°C에서 1°C이다. Thermo coupler의 측정 위치는 사이리스터에 mounting force를 주기 위해 설치한 clamp와 접지판 사이이다. 그림 2는 사이리스터가 접지판과 clamp 사이에 장착된 모습이다. 실험에 사용한 사이리스터 소자의 경우 mounting force를 필요로 하며, 일정한 mounting force를 인가해 주기 위해 clamp를 사용하였다.



그림 2. clamp에 장착된 사이리스터

## 2.2 사이리스터 가속열화 시험

실험에 사용한 사이리스터의 순방향 및 역방향 항복전압 특성은  $V_{DRM} = 1800$ ,  $V_{RRM} = 2300$  V이며, 누설 전류 특성은  $I_{DRM}, I_{RRM} = 20mA$ 이다. 실험에 사용된 소자는 edge termination 기법을 사용하였다. 베벨링 기법이란 edge termination 영역을 경사지게 갈아내어 공핍층 영역의 확장을 통해 높은 항복전압을 얻는 기법으로, 이론적인 항복전압의 90%에 가까운 항복전압을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 물리적으로 웨이퍼 표면을 갈아내는 것이기 때문에 표면에 많은 결함들을 생성한다는 단점이 있다.

본 실험에서는 많은 열화인자 가운데 전압과 온도를 열화인자로 하였기에 전압과 온도에 의한 가속계수인 아이링 모형[1]을 선택하였다. 실제 사이리스터의 사용전압은 써지나 낙뢰 등의 우발적인 사고로부터 사이리스터를 보호하기 위해 정격의 30%를 사용하고 있으며, 실 사용온도는 소자를 사용하는 장소나 운용방법에 따라 상당한 차이를 보이므로 25°C를 기준온도로 잡았다.

$$\text{전압 가속률} : K_1 = (V/V_O)^n,$$

$$\text{단, } V: \text{시험전압}, V_O: \text{실사용 전압}, n = 1.7(60Hz), \text{제조자 온도 가속률} : K_2 = \exp[(E_a/k) \times (1/T - 1/T_0)]$$

$$\text{단 } T: \text{시험온도}, T_0: \text{실사용 온도}$$

$$E_a = 0.8eV(60Hz) : \text{Energy gap, 제조자}$$

$$k = 8.616 \times 10^{-5}(eV/K) : \text{Boltzmann constant}$$

가속열화 시험에서 인가전압 및 온도는 1000V, 100°C로 하여 실험을 진행하였으며, 1000V 및 100°C를 인가한 상태에서 실험을 진행한 이유는 적정한 가속계수를 구하기 위해서이다.

### 2.3 실험 결과

그림 3은 실험에 사용된 사이리스터에 대한 전압 및 온도의 특성 변화를 나타낸다. 사이리스터의 정격은  $V_{DRM}$  및  $V_{RRM} = 1500$  V이지만 초기 순방향 및 역방향 항복전압 특성에서 순방향 항복전압  $V_{DRM} = 1800$  V, 역방향 항복전압  $V_{RRM} = 2300$  V로 소자의 정격전압보다 더 크게 나왔음을 알 수 있다. 초기 특성에서 순방향 및 역방향 항복전압의 특성이 다른 이유는, 도핑농도의 차이와 순방향 항복전압의 경우 하나의 접합에서 전압을 지탱하는 반면, 역방향인 경우에는 2개의 접합에서 전압을 지탱하기 때문이다. 그럼 3은 사이리스터 소자의 가속시간에 따른 순방향 및 역방향 전류/전압 특성을 나타내고 있다. 1375시간을 가속하였을 때, 소자의 순방향 차단전압은 감소하지 않으며, 누설전류 또한 700시간이 지나기 전까지는 증가하다가 700시간이 경과한 이후에는 더 이상 증가하지 않고 안정된 특성을 보이고 있다. 이외는 달리 역방향 차단전압은 초기에는 2170V, 264시간을 가속 후에는 1950V, 473시간 가속 후에는 1930V, 709시간 가속 후에는 1930V, 898시간 가속 후에는 1925V, 1071시간 가속 후에는 1800V, 1375시간 가속 후에는 500V의 특성을 보이면서 차단전압이 줄어들고 있다. 누설전류도 초기 값인 0.1mA에서 가속 열화에 따라 0.2~3mA로 증가하는 특성을 나타내고 있다.

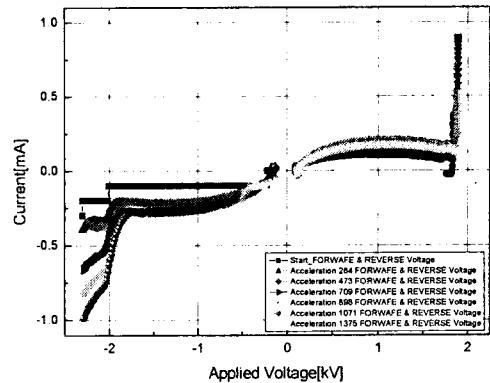


그림 3. 가속 열화에 따른 사이리스터의 특성 변화

### 2.4 실험결과 분석

그림 3에서 볼 수 있듯이 소자가 열화를 하다가 어느 시점에 이르면 갑작스런 전류량의 증가와 함께 차단전압이 감소함을 볼 수 있는데, 이것은 대전류 소자에서의 파괴가 대체적으로 어느 특정한 부분에서의 급격한 온도 상승에 의한 결합전파가 있기 때문으로 생각된다. 결합이 전파되는 원인으로는 전계가 사이리스터 전체에 일정하게 분포되는 것이 아니라 edge termination 부분에 집중하기 때문이다. 특히 베벨링을 이용하여 edge termination 부분을 처리한 경우 표면에 결함이 생겨나며, 이러한 결함부분이나 소자의 취약부위로 더 큰 전계가 집중하게 된다. 일반적으로 높은 전류를 통전하는 대전류 소자에서 이러한 현상을 많이 볼 수 있는데, 이는 전류의 증가에 따른 소자의 내부온도 증가에 의해 열폭주 현상이 일어나기 때문이다[2-3]. 이러한 열폭주 현상은 접합 종단부에서 발생되는 데 그 원인으로는 사이리스터나 GCT와 같은 원형 개별소자에서 높은 차단전압을 얻기 위해 edge termination 부분을 베벨링 처리하는 과정에서 생성되는 표면결함에 의한 것으로 생각된다. 베벨링 처리 과정에서 웨이퍼의 표면에 형성된 결함은 에너지 상태가 불안정하기 때문에 차단상태에서 결합부위로 전계가 집중되게 되며 이 부분에서의 온도 상승에 따라 결합부위가 서서히 전파되게 된다. 이후 온도가 일정 수준에 이르게 되면 결합부위에 과도한 전계집중과 온도 상승에 의해 유발된 열폭주 현상에 의해 급격하게 증가된 전류에 의해 소자의 파괴가 일어나게 된다. 이 때 열폭주에 의해 증가된 전류의 대부분이 결합부위를 통해 흐르게 되며, 이를 접합 종단부에서의 channeling이라 한다.

항복전압의 감소 원인은 차단 접합에서 형성되는 공핍층 영역의 폭이 결합으로 인해 감소하게 되기 때문이다.

### 3. 결론

본 실험에서는 순방향/역방향 차단전압 및 누설전류의 변화를 살펴 사이리스터의 열화 정도를 파악하기 위해 25개의 시료를 가지고 시험을 진행하였다. 실험에 사용된 사이리스터의 시료 중에서 열화에 대해 가장 특성을 잘 나타내는 시료를 선택하였으며, 열화를 보이기 전까지와 거의 동일한 특성을 나타내었다. 시간에 따른 가속열화 정도를 보면, 소자의 순방향 항복전압은 감소를 보이지 않으며, 누설전류 또한 700시간이 지나기 전까지는 증가하다가 700시간이 경과한 이후에는 더 이상 증가하

지 않고 안정된 특성을 보이고 있다. 이와는 달리 역방향 항복전압은 초기에는 2170V, 264시간을 가속 후에는 1950V, 473시간 가속 후에는 1930V, 709시간 가속 후에는 1930V, 898시간 가속 후에는 1925V, 1071시간 가속 후에는 1800V, 1375시간 가속 후에는 500V의 특성을 보이면서 항복전압이 줄어들고 있으며 또한 누설전류도 지속적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 지금까지 전압 및 온도를 이용한 가속열화 시험에 따른 사이리스터의 특성변화를 알아보았다. 실제 사용되는 소자에서는 전압이나 온도 외에 더 많은 종류의 스트레스가 가해지기 때문에 지금까지의 실험 결과만으로 소자의 신뢰성을 예측하기 어려우며, 소자의 정확한 신뢰성 평가를 위해서는 더 많은 실험이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Endicott, H. Hatch, B. Sohmer, R. "Application of the Eyring Model to Capacitor Aging Data" IEEE Trans. Component Part, Vol. 12, pp. 34-41, 1965.
- [2] B. J. Baliga, Power Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, 1987.
- [3] B. J. Baliga, "Analysis of Insulated Gate Transistor Turn-off Characteristics", IEEE Electron Device Letter, EDL-6, pp. 74-77, 1985.