

Thyristor 소자의 스트레스에 따른 소자파괴 메커니즘 연구

김형우, 서길수, 김상철, 강인호, 김남균, 김은동
한국전기연구원

Investigation of the thyristor failure mechanism induced by stress

Hyoung-Woo Kim, Kil-Soo Seo, Sang-Cheol Kim, In-Ho Kang, Nam-Kyun Kim and Ein-Dong Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract : The electrical stress has a major effect on the long-term reliability of the thyristor. Therefore, it is needed to analyze the relationship between reliability and stress. In this paper, we investigate the device failure mechanism which induced by the stress. And also investigate the effect of the thermal stress on the device failure and relationship between electrical and thermal stress. Two-dimensional process simulator ATHENA and device simulator ATLAS are used to analyze the failure mechanism of the device.

Key Words : Long-term reliability, Device failure, Stress, Aging

1. 서론

Thyristor 소자는 주로 높은 전압, 전류가 인가되는 HVDC, SVC 및 FACTS와 같은 대용량 시스템 내에서 사용되어지고 있다. 일반적으로 이와 같은 시스템은 안정된 환경에서 운용되어지고 있기 때문에 시스템 내부에 장착된 소자의 경우 쉽게 열화 되지 않는 것으로 알려져 왔다 [1]. 또한 고전압 밸브내에 장착되어져 사용되는 thyristor 들에서 일어나는 고장들은 돌발적으로 일어나는 고장이며, 밸브의 설계시에 thyristor의 용량에 어느정도 여분이 있도록 설계하기 때문에 밸브내 장착된 시스템에도 큰 영향을 주지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 실제로 밸브내의 thyristor들 중 하나에서 특성의 저하가 일어나거나 또는 파괴가 일어날 경우 밸브내의 모든 thyristor들에게도 영향을 미치게 되며, 이로 인해 다른 밸브나 소자들의 고장을 유발할 수 있다. 이러한 소자의 특성 저하나 파괴는 대부분이 높은 전압 및 전류와 같은 강한 전기적 stress에 의한 것으로 소자의 신뢰성을 확보하고 시스템의 안정적인 운용을 위해서는 stress에 의한 thyristor 소자의 특성 저하 및 파괴 원인에 대한 분석이 필요하다.

본 논문에서는 thyristor 소자를 강한 전기적 stress 하에서 장시간 사용할 경우 발생하게 되는 소자의 열화 및 파괴 메커니즘에 대해 공정 시뮬레이터인 ATHENA와 소자 시뮬레이터인 ATLAS[2]를 사용하여 분석하였다.

2. Thyristor의 파괴 메커니즘

Thyristor에서 볼 수 있는 파괴의 유형에는 개방회로, 단락, 누설 및 고온 등이 있다[3]. 각각의 유형에서 파괴가 일어나도록 하는 결함과 원인에 대해 표 1에 나타내었다. 표 1에 나타낸 것과 같은 다양한 원인들 중에서 공정상의

결함이나 기계적인 결함들은 소자의 열화 및 그로인한 파괴 메커니즘과는 큰 연관성이 없기 때문에 본 논문에서는 고려하지 않았다. 소자의 열화에 의한 파괴가 주로 높은 전기적, 열적 stress에 의한 것임을 감안할 때 각종 결함들 중에서 이와 관련된 것에는 die cracking, 표면오염, metal spike, 단락 및 누설전류 등과 고온에 의한 결함이 있다.

표 1. Thyristor 소자의 파괴 유형 및 원인

| 파괴유형 | 결함 | 원인 |
|------------------|----------------------------|--|
| 개방회로 | Open metallization | - 전자의 이동 - 공정결함 - 부식 - 잘못된 보호막 형성 및 접착 |
| | Metallization micro-cracks | - 증착된 금속에서의 Stress, migration |
| | Die cracking | - 열적/기계적 stress |
| 단락 | 표면 오염 | - 금속 결선간의 오염 - 금속 migration |
| | Hillocks | - 전자의 이동에 의한 단락 - 이중 금속층 내에서의 단결정 성장 |
| | Metal spikes | - Poor contact alloying - 과도 stress - 전기적, 열적 stress |
| | 금속 단락 | - Poor bond placement - 전자의 이동 - Stress에 의한 단결정 성장 |
| 누설 | 표면 오염 | 표면 누설 - Oxide-silicon 계면에서의 이온화 오염 |
| | 산화막 파괴 | 전압 overstress 산화막 결함 |
| | Hot spots | 금속성 결함에서의 전력 발산 결정학적인 결함에 전류 집중 |
| | Metal spikes | 결정 결함에 따른 금속 확산 |
| High Temperature | Defective die attach | 열적 overstress |

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

장시간의 stress 누적에 따른 소자의 파괴는 주로 전기적

인 stress 누적에 의한 경우가 많다. 이러한 stress에 의한 소자의 파괴는 주로 소자의 특정 영역에서의 급격한 전류 증가에 따른 온도 상승으로 인해 유발되게 된다. Thyristor와 같은 소자들의 경우 높은 항복전압을 얻기 위해 beveling termination 기법을 주로 사용하는데 기계적인 연마 기법인 beveling인 경우 wafer의 표면에 많은 결함을 남기게 되어 높은 누설전류를 유발하게 된다. 장시간 stress가 누적될 경우 beveling된 면과 보호막 사이에서 전하의 축적에 따른 전계 집중 현상이 일어나 급격한 전류의 증가를 유발하게 되며, 이로 인해 특정 부위에서 온도가 상승하게 되어 소자의 파괴가 일어나게 된다.

그림 1에 beveling termination을 한 thyristor 소자 내에서의 전계 분포도를 나타내었다.

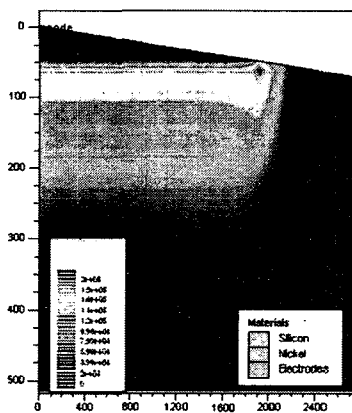


그림 1. Beveling termination을 한 thyristor 소자 내부에서의 전계 분포도

그림에서 볼 수 있듯이 termination된 부분에 많은 전계가 걸리는 것을 볼 수 있는데, 이때 beveling된 부분에 결함이 분포할 경우에는 많은 전계가 집중되어 전류의 증가를 유발하게 되고, 이로 인해 소자의 파괴가 일어나게 된다. 그림 2는 bevel termination된 thyristor 소자의 역방향 바이어스 상태에서 온도에 따른 누설전류의 변화량을 나타낸 것이다.

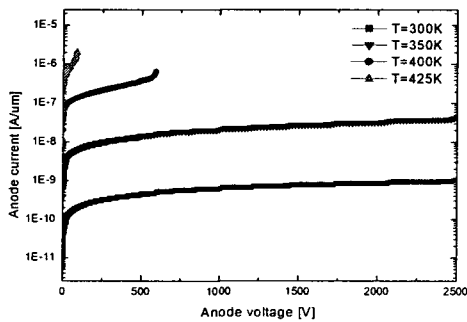


그림 2. 온도에 따른 thyristor 소자의 누설전류 변화

그림에서 볼 수 있듯이 소자의 온도가 300K에서 425K

까지 증가하면서 누설전류의 양이 급격하게 증가됨을 알 수 있다. 이것은 소자에 역방향 전압이 걸린 상태에서 온도가 증가하게 되면, 소자의 공핍층 영역에서 열에 의해 발생하는 운송자들에 의한 확산전류가 증가하기 때문이다.

그림 3에 beveling된 면의 높은 전계가 걸린 표면 부근에서의 온도 분포를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 전계가 강하게 인가된 부분에서 온도가 급격하게 상승되고 있음을 알 수 있다.

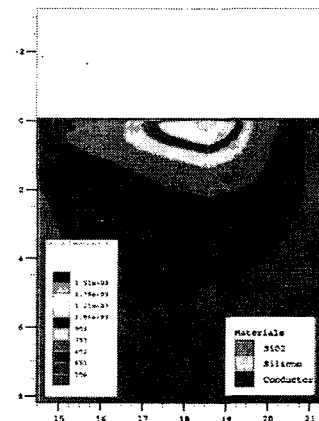


그림 3. Beveling된 표면에서의 온도 분포

4. 결론

지금까지 thyristor 소자에 인가되는 stress와 소자의 파괴 메커니즘과의 관계를 분석하였다. 시뮬레이션을 통해 분석한 결과 beveling termination을 주로 사용하게 되는 thyristor의 경우 소자의 표면에 많은 결함들이 분포하고 있어, 높은 전압이 인가될 경우 이 결함 부근에서 높은 전계가 형성되어 전류의 급격한 증가가 일어나게 된다. 이렇게 전류가 급격하게 상승할 경우 결함 부근에서 온도가 증가하게 되고, 이로 인한 전류의 피드백 현상이 일어나게 되어 소자의 파괴가 일어나게 된다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 전력기반조성사업 “전력계통용 전력반도체 신뢰성 평가 및 수명예측 기술개발”과제에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] Milan Cepek and Chandra P. Krishnaya, "Thyristor Aging", Power System Technology, pp. 18-21, Aug., 1998.
- [2] Silvaco TCAD Manuals, ATLAS, Silvaco International Co. USA.
- [3] Milton Ohring, "Reliability and Failure of Electronic Materials and Devices", ACADEMIC PRESS, 1998.