

TVS 다이오드의 전기적 특성 및 과도 열방출 특성 해석

김상철, 김형우, 김은동
한국전기연구원, 전력반도체그룹

The Electrical and Transient Thermal characteristics of TVS diode for Surge Absorber

Sang-Cheol Kim, Hyung-Woo Kim, and Eun-Dong Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

Silicon transient voltage suppressors (TVSs) are clamping devices that limit voltage spikes by low impedance avalanche breakdown of a rugged silicon PN junction. They are used to protect sensitive components from electrical overstress such as that caused by induces lightning, inductive load switching and electrostatic discharge. In this paper, we present static and dynamic characteristics of TVS diode using thermal analysis simulation software. And also, it is presented that the thermal dissipation characteristics of TVS diode in the transient state

Key Words : TVS Diode, Transient Thermal Analysis, Surge Absorber

1. 서론

고전압 서지 보호 다이오드는 TVS 다이오드 (Transient Voltage Suppressor Diode)라고도 불리우며, 낙뢰, 정전기유도(ESD), 유도성 과전압, 역기전압 등과 같은 과전압(Over-Voltage)으로부터 그림 1과 같이 핵심 회로소자를 보호하기 위해 사용되는 소자이다. 휴대폰, 노트북 PC 등을 비롯한 전자기기의 소형경량화가 가속되면서, TVS 다이오드의 중요성 및 채용이 크게 증가하고 있다.

TVS 다이오드는 과전압이 유기되어 애벌런치 동작을 하기 전까지는 회로 상에서 전혀 동작하지 않아야 하며, 회로의 전기적 특성에 영향을 주어서도 안된다. 이를 위해 TVS 다이오드의 사태항복전압, 클램핑 전압, 누설전류, 그리고 캐패시터의 전기적 특성이 정교하게 설계되어야 한다. TVS 다이오드의 클램핑 전압은 회로내의 소자의 동작전압과 항복전압 사이가 되도록 설계되어야 하며 데이터 송수신 속도에 영향을 주지 않도록 캐패시터 값이 작아야 한다. 최근에는 이동통신기기의 bat터리 수명을 늘리기 위해서 동작전압이 5V 이하로 까지 내려가고 있으므로 사태항복전압을 정교하게 제어하는 것도 설계시 중요한 요소라고 할 수 있다.

본 연구에서는 회로내의 다른 소자의 동작에 영향을 주지 않으며 과전압 인가시 다른 소자를 보호하는 TVS 다이오드의 제작 및 동작특성을 알아보고 신뢰성 검증을 위해서 패키지 상태에서의 연속적인 과전압 인가시의 온도 변화 및 열 방출 능력을 분석하고 이를 바탕으로 소자의 신뢰성을 검증하고자 한다.

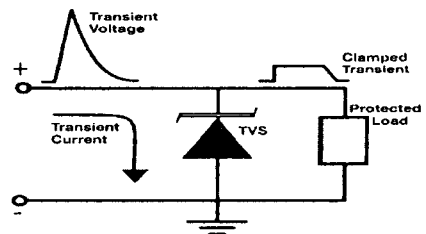


그림 1: TVS 다이오드의 동작원리.

2. 소자제작

TVS 다이오드를 제작하기 위한 공정 순서도를

그림 2에 나타내었다. 소자 제작에 사용된 웨이퍼는 CZ법으로 성장된 <111> 방향의 p-형 실리콘 웨이퍼로 두께는 240 μm , 저항은 0.004 Ωcm 이다.

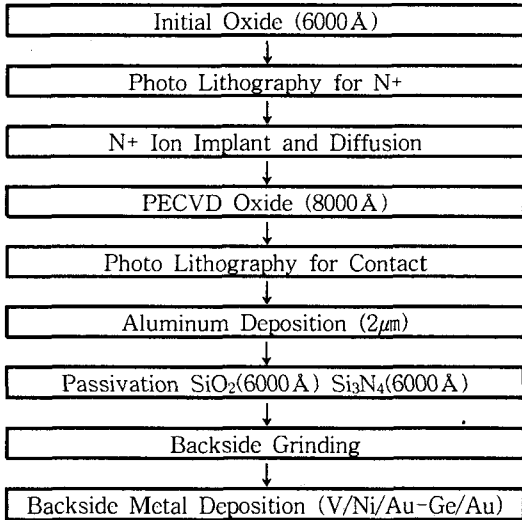


그림 2. TVS 다이오드 공정 순서도.

N+ 이온 주입 마스크로 사용될 산화막을 형성하기 위하여 1050 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 열산화막을 형성하고 이온주입 창을 형성하였다. 이온주입 조건은 100keV의 에너지로 ^{31}P 를 2×10^{16} 이온/ cm^2 으로 수행하였으며 1100 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 6시간 후 확산 공정을 수행하여 2.2 μm 의 확산깊이를 얻었다.

N+ 확산 표면에 전극을 형성하기 위해서 PECVD법으로 8,000Å의 산화막을 증착한 후 8kV 이상의 높은 전압을 순간적으로 받기 때문에 2 μm 두께의 알루미늄을 증착하였다.

소자의 표면 및 가장자리 부분을 보호하기 위해서 산화막과 질화막을 CVD법으로 각각 6,000Å 씩 두껍게 증착하였으며 최종적으로 뒷면에 전극을 증착하여 소자를 완성하였으며 완성된 소자의 단면도를 그림 3에 나타내었다.

제작된 소자의 칩면적은 625 \times 595 μm^2 이고 접합면적은 245 \times 260 μm^2 이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전기적 특성 평가

회로내에서 외부의 정전기, 서지 등의 과전압으로부터 핵심소자를 보호하기 위해서 사용되는 TVS 다이오드의 전기적 특성을 평가하였다.

제작된 TVS 다이오드의 항복전압특성은 최대 7.2V에서 최소 6.60V이고 평균값이 6.86V이다. 통상적으로 정격에서 규정하고 있는 목표값 6V보다는 10% 이상 높은 값을 나타내고 있다. 또한 제작된 소자들의 항복전압 표준편차가 0.17V 정도로 항복전압의 분포가 매우 안정적임을 알 수 있다. 제작된 소자의 항복전압은 누설전류가 1mA 조건에서 측정된 값이다. 그림 4에 제작된 소자의 항복전압 분포를 나타내었다. TVS 다이오드의 사태항복전압은 회로내에 동작하는 소자의 동작전압보다 약간 높게 선택된다. 만약 TVS 다이오드의 항복전압이 낮게 된다면 소자는 avalanche mode로 가거나 혹은 대량의 누설전류를 끌어들이므로써 회로의 동작에 영향을 줄 것이다.

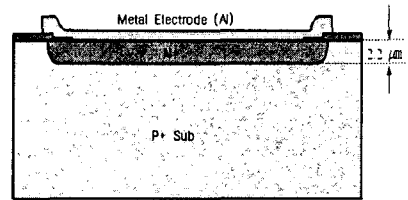


그림 3. 제작된 TVS 다이오드의 단면도.

표 1에 본 연구에서 제작한 TVS 다이오드의 전기적 특성을 목표값과 함께 나타내었으며 전기적 특성 측정결과는 모두 목표치 이상의 좋은 결과를 얻었다.

표 1. 제작된 TVS 다이오드의 전기적 특성.

항목	$V_{BR}(V)$	$I_R(\mu A)$	$C_j(pF)$
측정기준	$I=1mA$	$V_R=5V$	$V_R=0V, f=1MHz$
목표값	min 6	max 10	max 175 thy 150
제작된 TVS	max.	7.20	0.56
	min.	6.60	0.37
	avg.	6.86	0.45
	std.	0.17	0.04

3.2 TVS 다이오드 패키지의 방열 특성

TVS 다이오드는 그림 1에 나타난 바와 같이 비정상적인 전기적인 충격으로부터 회로내의 핵심부품을 보호하기 위해서 사용된다. 따라서 이러한 비정상적인 전기적 충격은 TVS 다이오드의 온도를 증가시키게 되며 연속적인 충격으로 TVS 다이오

드가 파괴될 경우 본래의 목적을 달성하기 어렵다. 본 연구에서는 제작된 소자의 방열특성을 해석하기 위해서 열해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 구조에 따른 과도방열해석을 수행하였다.

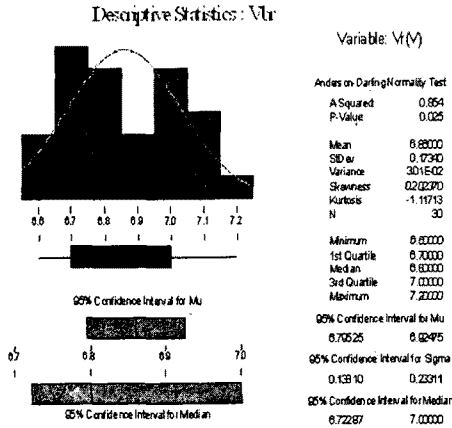


그림 4. 제작된 소자의 항복전압 분포.
표 2. TVS 다이오드 패키지 재료의 물질상수.

	밀도 (kg/m ³)	열전도도 (W/mK)	비열 (J/kg °C)
Silicon	2320	148-156	700-753
Copper	8950	393-401	276-385
Solder	7400	40-50	160-220
Epoxy	1200	15-25	1200
Air		0.0261	

표 2 및 그림 5에 방열특성 해석을 위한 패키지 재료의 물질상수 및 기본 구조 그리고 과도부하조건을 나타내었다. TVS 다이오드 소자는 Pb/Sn을 사용하여 구리 열 보상판과 접착되어 있으며 외부는 에폭시를 이용하여 소자를 보호하였다. 과도상태 해석을 위해서는 물질의 열전도도 및 비열이 필요하고 고분자재료의 경우 첨가물에 따라 열전도도가 변하게 되어 본 해석에서는 중간값을 사용하였다.

패키지구조가 x축 및 Y축을 따라서 대칭구조이고 열흐름이 재료에 따라 동방성이라 가정하여 그림 5와 같이 Z축을 경계조건으로 하여 2차원적으로 방열해석을 수행하였다. 이때 에폭시 외부는 공기와 접해있으며 주변온도를 25°C로 고정하였다.

수치해석을 간단히 하기위해서 부하조건은 크렘 평전압이 7.44V이고 피크전류가 12A인 즉 입력전력이 89.28W의 사각형 펄스가 150µs의 폭으로 소자에 인가되며 다음 펄스가 인가되기까지의 시간

간격은 1.85ms이고 이러한 펄스가 5번 연속으로 소자에 인가되는 조건을 한 주기로 하였다. 100ms의 간격으로 이러한 주기가 4번 반복되며 그림 6에 과도 부하조건을 나타내었다. 펄스와 펄스 사이에는 어떠한 부하도 인가되지 않으며 주변의 온도에 의해서 자연냉각된다고 가정하였다.

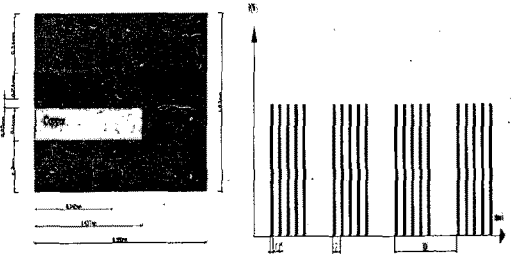


그림 5. 방열해석을 위한 TVS 다이오드 패키지의 2차원 구조 및 과도부하조건.

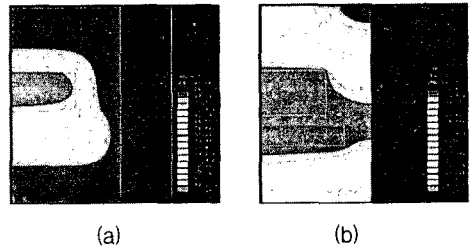


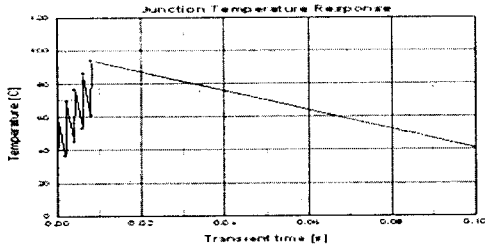
그림 6. TVS 다이오드 패키지의 한주기 펄스 인가 후의 온도 분포 a) 피크 온도 b) 100ms 냉각후.

그림 6 (a) 및 (b)에 5개의 연속적인 펄스가 인가된 한주기 후의 피크 온도 분포를 나타내었다. 첫 번째 펄스가 인가된 후에 온도는 60°C 정도로 증가되고 1.85ms의 냉각후에는 약 35°C 까지 감소되었다. 그러나 2ms의 간격으로 5개의 펄스가 연속되었을 때의 피크 온도가 94°C 정도가 되며 최종적으로 100ms 후에는 41°C까지 냉각되었다.

그림 7에 5개의 연속적인 펄스가 인가되었을 때의 최고 온도 및 최저 온도를 나타내었다.

그림 7. TVS 다이오드 패키지의 첫 번째 한 주기 동안의 온도 분포

첫 번째 연속되는 5개의 펄스가 TVS 다이오드 패키지에 인가되더라도 피크 온도는 소자의 동작에 영향을 미치는 150°C에 비해서 낮으므로 소자에는



거의 영향을 미치지 않는다.

그림 8의 a)와 b)에 최종 4번의 펄스군이 인가된 후의 피크 온도 및 400ms 후의 냉각된 패키지구조의 온도를 나타내었다. 피크온도는 150°C 정도 까지 올라가고 최종적으로 냉각된 패키지의 온도가 82.5°C 정도 이다.

TVS 다이오드는 -55°C에서 155°C의 온도범위에서 동작하도록 되어있다. 즉 위에서 언급한 바와 같이 일련의 펄스가 연속적으로 인가되어 소자의 온도가 150°C 이상으로 올라갈 경우 소자의 역전류가 크게 증가되고 따라서 열폭주로 인한 소자 파괴의 원인이 될 수 있다. 결과적으로 TVS 다이오드의 파괴는 회로내의 핵심부품의 보호 기능 손실로 이어지게 된다.

그림 9에 최종 네 번째의 펄스군이 인가된 후의 각각의 펄스군에서의 피크온도 및 냉각 후의 온도를 나타내었다. 각각의 펄스군이 인가될 때마다 패키지 내부의 온도는 점차 상승하고 있으나 온도의 상승폭은 작아지고 있다. 통상적으로 휴대전화, 노트북 PC 및 PDA 등의 휴대용 기기에 걸리는 정전기 등의 비반복적인 과도상태, 혹은 반복적이더라도 각각의 펄스가 2ms 이상의 간격을 가진 펄스가 인가될 경우 소자의 온도는 150°C 이하가 될 것이며 따라서 회로내의 핵심부품을 보호하기 위한 소자 본래의 목적을 달성할 수 있다.

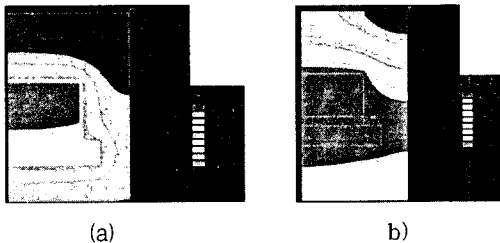


그림 8. TVS 다이오드 패키지의 최종온도 분포 a) 피크온도 b) 400ms 냉각후.

TVS의 서지전력과 서지전류의 출력한계는 그

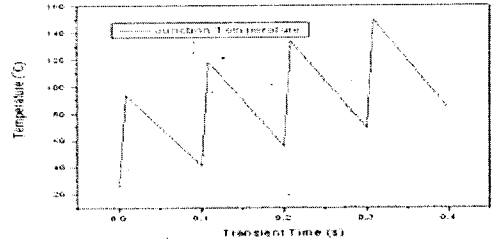


그림 9. TVS 다이오드 패키지의 최종온도 분포

접합면적에 비례하고, 방열특성은 패키지에서 열전도도가 가장 나쁜 재료인 Pb/Sn 접착제와 에폭시에 의해서 결정된다. 그러나 휴대기기의 크기가 점점 작아지는 추세에서 TVS 다이오드의 크기 또한 작아져야 하고 접합면적을 키우는데는 많은 문제가 있다. 따라서 소자의 내-서지 특성을 개선하기 위한 연구가 계속적으로 수행되어야 하며 패키지 공정에서 Pb/Sn 접착제의 두께를 줄여 방열 특성 개선이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

TVS 다이오드는 낙뢰, 전전기, 유도성 과전압 및 역 기전압 등과 같은 과전압으로부터 회로를 보호하기 위한 목적으로 사용되는 소자로 큰 전력을 빠른 시간 내에 흡수할 수 있으며 파괴율이 낮으므로 주로 통신기기의 신호선이나 전원선 등과 같은 신뢰성이 요구되는 곳에서 사용된다. 특히 대부분의 통신기기들이 휴대용으로 발전되면서 인체로부터 유기되는 정전기가 시스템을 파괴시킬 수 있는 주요 요인으로 부각되고 있다. 이러한 정전기로 소자의 온도가 높아지게 되면 시스템의 동작이 불안해지고 결국에는 시스템의 파괴로 이어질 수 있다.

본 연구에서 제작된 TVS 다이오드의 전기적 특성은 설계시 적용되었던 목표값 이상의 특성을 얻을 수 있었으며 특히 패키지 구조의 과도 열해석을 통하여 패키지 구조의 신뢰성을 확인하였다.

TVS 다이오드 패키지에서 소자의 방열특성이 무엇보다도 중요하며 본 연구에서는 연속적인 펄스를 인가하여 패키지 내부의 방열특성을 연구하였다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 중점국가연구개발사업의 전력용반도체기술개발사업의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- [1]. Kent Walters, Mel Clark, MicroNotes Series 103.
- [2]. ANSYS User's Manual, "Heat Transfer Analysis", TacSung S&E Ins., 2001.
- [3]. Carl David Todd, P.E. , Zener and avalanche diodes, John Wiley & Sons, 1970.