

## 탄화규소(4H-SiC) 기반 패키징된 2kV PiN 파워 다이오드 제작과 전기적 특성 분석

송재열\*, 강인호, 방 옥, 주성재, 김상철, 김남균, 이용재\*  
\*동의대학교 전자공학과, 한국전기연구원

### The Fabrication of Packaged 4H-SiC 2kV power PiN diode and Its Electrical Characterization

Jae-Yeol Song\*, In-Ho Kang, Wook Bahng, Sung-Jae Joo, Sang-Cheol Kim, Nam-Kyun Kim  
and Yong-Jae Lee\*

\*Donggwi University, Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

**Abstract :** In this study we have developed a packaged silicon carbide power diode with blocking voltage of 2kV. PiN diodes with 7 field limiting rings (FLRs) as an edge termination were fabricated on a 4H-SiC wafer with 30 $\mu$ m-thick n-epilayer with donor concentration of 1.6x10<sup>15</sup>cm<sup>-3</sup>. From packaged PiN diode testing, we obtained reverse blocking voltage of 2kV, forward voltage drop of 4.35V at 100A/cm<sup>2</sup>, on-resistance of 6.6m $\Omega$ cm<sup>2</sup>, and about 8 nanosec reverse recovery time. These properties give a potential for the power system application.

**Key Words :** SiC, PiN diode, FLRs, package

### 1. 서 론

기존의 실리콘 기반 전력반도체소자는 물성의 한계로 인해 고전압, 고전류, 고온 등과 같은 극한 동작환경에서 사용하기 어렵다. 반면 4H-탄화규소 기반의 전력반도체 소자는 넓은 에너지밴드갭 (3.3eV), 높은 절연전계 (3MV/cm), 및 높은 열전도도(3.5W/cmK) 등과 같은 우수한 물성으로 전력변환장치 응용 시 실리콘 기반 전력 소자 대비 높은 전력밀도 및 효율을 제공한다.[1-3] 탄화규소를 이용한 고전압 정류소자로서 전력 회로에의 응용을 위해 반도체 소자로서 가장 먼저 개발된 PiN 다이오드는 p-n 접합의 특성을 이용한 다이오드이며 큰 온-전압과 다소 느린 스위칭 특성을 갖지만 높은 항복전압과 낮은 누설전류 등과 같은 장점을 가지고 있다.[4] 이와 같은 높은 항복전압을 얻기 위해서 전계를 적절히 분산시키는 최적의 종단구조가 반드시 필요하다. 본 논문에서는 보편적으로 사용되는 종단구조인 전계제한테(FLRs: Field Limiting Rings)를 사용하여 2kV의 항복전압능력을 갖는 PiN 다이오드를 제작하였다. 소자의 패키징을 수행하여 특성을 분석함으로써 탄화규소 기반 전력반도체 소자의 전력 시스템에의 응용 가능성을 알아보고자 하였다.

### 2. 실험

소자의 제작은 먼저 n+SiC 기판에 길러진 두께 30 $\mu$ m, 도핑농도 1.6x10<sup>15</sup>cm<sup>-3</sup>의 에피층에 이온주입을 통해 농도 1x10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>의 p형 웰과 폭3 $\mu$ m의 전계제한테(FLRs)를 동일한 농도로 활성 영역 주위에 3 $\mu$ m의 간격으로 7개 형성하고 이 후 추가적인 이온주입을 통해 5x10<sup>20</sup>cm<sup>-3</sup> 농도의 고농도 p영역을 형성하였다. p형 웰, FLR 영역은 보론이온을, 고농도p층은 알루미늄이온을 각

각 주입하였다. 사각형 모양의 접합을 형성하기 위해 다단계의 이온주입을 수행하였고 이온 주입 후 활성화를 위해 고온열처리(1650 $^{\circ}$ C에서 30분간)를 실시하였다. 이후 1차 패시베이션 층으로써 얇은 산화막을 건식산화로 형성하고 애노드, 캐소드 전극으로 각각 Ni(500 $\text{\AA}$ )을 증착하고 950 $^{\circ}$ C에서 1분30초 동안 열처리하여 오믹 접촉을 형성시켰다. 이 후 금속패드를 위해 Ni(1000 $\text{\AA}$ )/Ti(300 $\text{\AA}$ )/Au(8000 $\text{\AA}$ ) 증착하고 외부 환경과의 거리를 위해 BCB(B-staged bisbenzocyclobutene) 물질을 도포 후 포토레지스터를 이용한 사진공정을 통해 패터닝하여 2차 패시베이션 층을 형성하였다. 이후 일련의 후처리 공정을 거쳐 패키지(TO-220) 함으로써 소자를 완성하였다.

### 3. 결과 및 검토

소자의 단면 구조를 그림1에 보였다. 그림2 (a)는 패키징된 소자에 대해 3A까지 측정된 전류-전압 특성 곡선이다. 턴-온 전압은 약 2.6V였으며 약 4.35V에서 100A/cm<sup>2</sup>의 전류가 흘렀다. 소자의 턴-온 저항은 약 6.6m $\Omega$ cm<sup>2</sup>이었다. 그림2 (b)는 이 소자에 대해 측정된 역방향 전류-전압 특성 곡선이다. 역방향 전압이 2kV일 때 90 $\mu$ A의 전류가 흘렀다. 그림 3의 본 논문에서 사용한 TO-220 패키지 자체의 누설전류 40 $\mu$ A를 감안한다면 실제 소자에 의한 누설전류성분은 50 $\mu$ A인 것으로 판단된다. 그림 4는 역방향 회복 특성을 보여주고 있다. 측정은 순방향전류(I<sub>F</sub>)가 1.5A, 전류변화량(di/dt)이 60A/usec일 때 수행하였으며 역방향 회복시간은 약 8 nanosec였다.

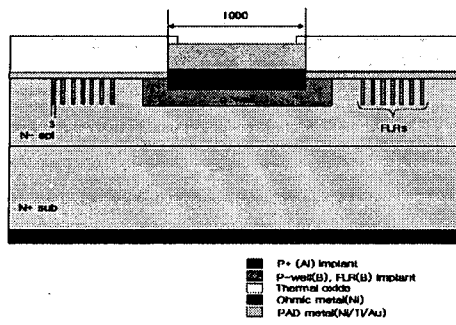


그림 1. PiN 다이오드의 단면도

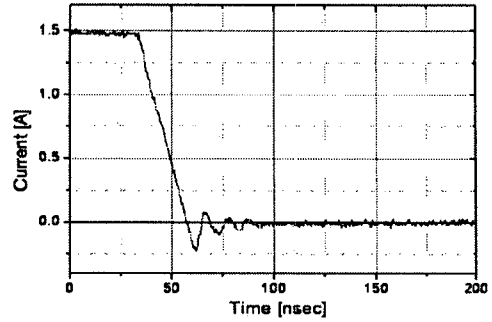
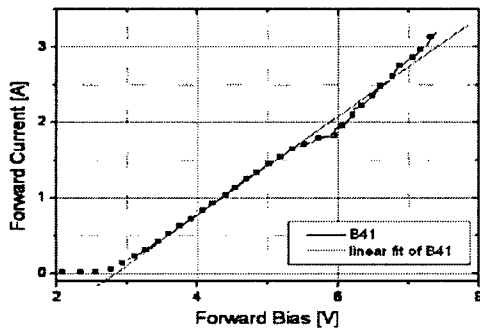
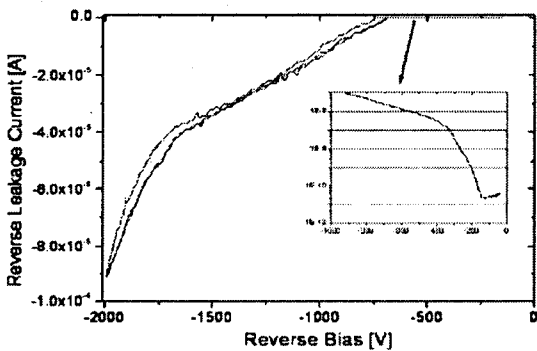


그림 4. PiN 다이오드 역방향 회복 특성



(a)



(b)

그림 2. (a) PiN 다이오드 순방향 전류-전압 특성  
(b) PiN 다이오드 역방향 전류-전압 특성

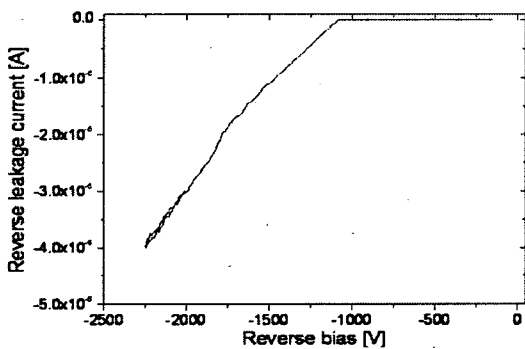


그림 3. TO-220 패키지에 의한 누설전류

#### 4. 결론

본 논문에서는 2kV의 항복 전압 능력을 갖는 4H-SiC PiN 다이오드를 설계 및 제작하고 패키지 하여 소자의 전기적 특성을 살펴보았다. 그 결과, 이로부터 100A/cm<sup>2</sup>의 전류밀도에서 4.35 V의 순방향 전압강하와 2kV 이상의 역방향 항복전압, 약 8 nanosec의 역방향 회복시간 특성을 얻었다. 이러한 특성들은 전력 전자 시스템에의 응용에 있어 가능성을 보여준 것이라 생각된다.

#### 감사의 글

본 논문은 산업자원부가 지원하는 국가 반도체연구사업인 "시스템집적반도체기반기술개발사업(시스템IC2010)"을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

#### 참고 문헌

1. C. E. Weitzel, J. W. Palmour, C. H. Carter, Jr., K. Moore, K. J. Nordquist, S. Allen, C. Thero, and M. Bhatnagar, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 43, No. 10, pp1732-1741, 1996.
2. T. K. Itoh, and H. Matsunami, IEEE Electron Device Letters, Vol. 17, No. 3, pp139-141, March 1996.
3. D. T. Morissette, J. A. Cooper, Jr., M. R. Melloch, G. M. Dolny, P. M. Shenoy, M. Zafrani, and J. Gladish, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 48, pp349, 2001.
4. B. J. Baliga, *Power Semiconductor Devices*, PWS, Boston, pp153, 1996