

설계 및 공정 파라미터에 따른 3.3 kV급 Super Junction FS-IGBT에 관한 연구

강이구^a

극동대학교 태양광공학과

Study on 3.3 kV Super Junction Field Stop IGBT According to Design and Process Parameters

Ey Goo Kang^a

Department of Photovoltaic Engineering, Far East University, Eumseong 27601, Korea

(Received January 23, 2017; Revised February 8, 2017; Accepted February 10, 2017)

Abstract: In this paper, we analyzed the structural design and electrical characteristics of a 3.3 kV super junction FS IGBT as a next generation power device. The device parameters were extracted by design and process simulation. To obtain optimal breakdown voltage, we researched the breakdown characteristics. Initially, we confirmed that the breakdown voltage decreased as trench depth increased. We analyzed the breakdown voltage according to p pillar dose. As a result of the experiment, we confirmed that the breakdown voltage increased as p pillar dose increased. To obtain more than 3.3 kV, the p pillar dose was $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, and the epi layer resistance was $140 \ \Omega$. We extracted design and process parameters considering the on state voltage drop.

Keywords: High voltage, Super junction, FS IGBT, Breakdown voltage, Pillar

1. 서 론

파워소자(power device)는, 전력장치용의 반도체소자이다. 전력의 변환이나 제어용으로 최적화되어 있어서, 전력 전자공학의 핵심 소자이며 고전압화, 고전류화, 고주파수화된 것이 특징이다. 전력 IGBT 소자가 가장 많이 이용되는 분야는 전기자동차, 신재생에너지 인버터산업 분야 등이며, 600~1,700 V 이하의 전력 IGBT 소자가 사용되어지고 있다. 그러나 최근에는 2.5 kV 이상의

전력 IGBT 소자에 대해 활발히 연구가 진행되면서, 송배전분야에서도 점차 전력 IGBT소자로 대체되고 있다. 특히, 에너지 밴드 갭이 넓은 화합물 반도체 소자인 GaN이나 SiC 전력반도체가 출현되면서 그 영역은 더욱 더 넓어지고 있으나, 현재까지는 실리콘소자에 의해 적용되어지는 것이 일반적이라 할 수 있다. 대용량 전압은 2.5 kV 이상에서 적용되기 위해서는 큰 전류에 대한 열적 특성이 우수해야 하며, 또한 대용량이기 때문에 최적의 온 저항을 유지하는 것이 무엇보다 중요하다 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 열적 특성과 온 저항 특성을 확보하기 위하여 고전압 IGBT가 사용되어 온 기존의 Planar IGBT 구조에 초접합(super junction) 구조를 형성하여 동일한 셀(cell)의 크기를 유지하고 구조적인 차이를 통해서 손실전력을 최소화하고자 하였다. 특히

a. Corresponding author; keg@kdu.ac.kr

Copyright ©2017 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

초접합구조는 기존의 구조보다 상당히 작은 온 저항을 구현할 수 있는 구조로 알려져 있다. 설계는 공정시뮬레이터인 T-CAD를 사용하여 이루어졌으며, 동시에 대용량 IGBT 소자의 전기적인 특성을 비교분석 하였다. 초접합 구조를 통하여 기존의 Planar IGBT와 유사한 항복전압(3,300 V), 문턱전압을 유지하면서 온 저항과 직접적인 관계가 있는 온 상태 전압강하(vce-sat)에 대해서 집중적으로 분석하였다.

2. 실험 방법

Super junction IGBT에서는 N-드리프트 영역이 일반적인 planar gate type IGBT의 N-드리프트 영역과 같은 역할을 하며, N-드리프트 영역을 쉽게 공핍화할 수 있어 낮은 온 상태 전압강하를 가지면서 높은 항복전압을 확보할 수 있다. 본 연구를 하기 위해서 기본적인 planar IGBT 구조에서 P-Pillar를 형성하여 실험을 진행하였다. 그림 1은 P-Pillar를 형성한 super junction에 구조이며 각각의 parameter는 표 1에 나타내었다.

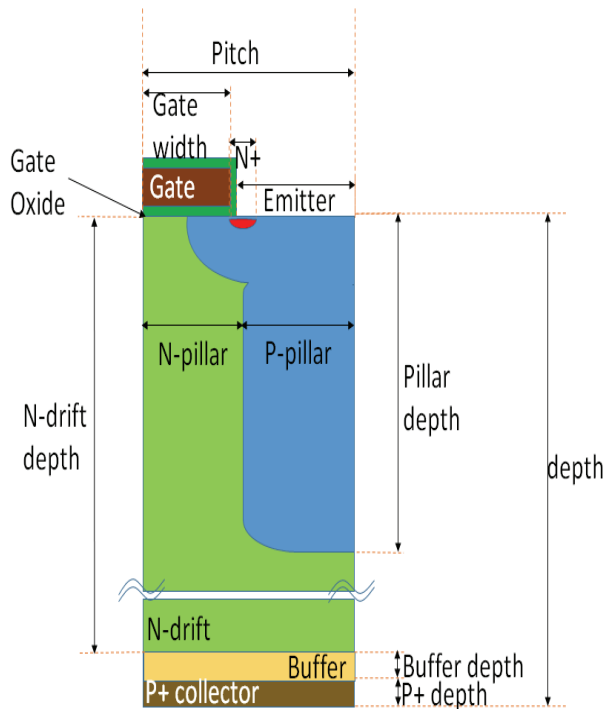


Fig. 1. Super junction FS IGBT parameter.

Table 1. The design parameters of super junction FS IGBT.

Name	Parameter	Unit
Pitch	10	μm
Depth	320	μm
P-Pillar dose	5×10^{15}	cm^2
P-Pillar depth (Trench depth)	30	μm
Resist	140	Ω
Buffer	5	μm
P-Base dose	7×10^{13}	cm^2
JFET dose	1×10^{12}	cm^2
Gate width	4.5	μm
N+ width	1	μm
Epi depth	315.5	μm

3. 결과 및 고찰

3.1 접합 깊이에 따른 항복전압 특성

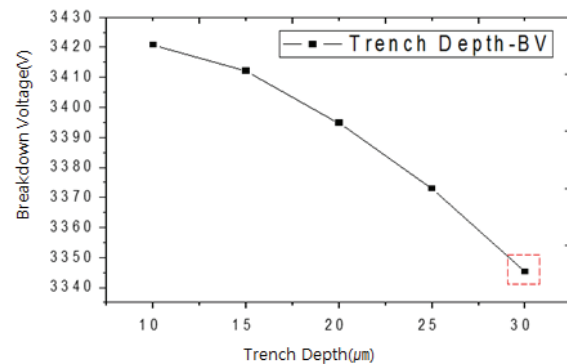


Fig. 2. The breakdown voltage characteristics of super junction FS IGBT according to depth of trench.

항복전압은 전력소자에 오프 상태 유지 능력을 나타내는 중요한 전기적 특성이다. 일반적으로 항복현상은 애벌런치(avalanche) 항복 또는 펀치 스루에 의해서 발생하게 되며, 보편적으로 애벌런치 항복이 일어나기 전에 공핍층이 만나게 되는 펀치스루 항복이 먼저 일어나게 된다.

그림 2는 초접합 구조의 핵심설계지표인 P-Pillar의 깊이에 따른 실험으로써 P-Pillar의 깊이를 10~30 μm 로 변경하여 실험을 진행하였으며, 깊이가 깊으면 깊을

수록 항복전압이 낮아지는 것을 알 수가 있다. 트렌치 깊이가 깊을수록 펀치 스루 항복이 먼저 발생하게 때문에 항복전압이 낮아지게 되는 것이다. 그러나 예상하는 바와 같이 에피의 면적을 차지하게 되므로 온 저항은 낮아질 것으로 판단된다.

3.2 집합 농도에 따른 항복전압 특성

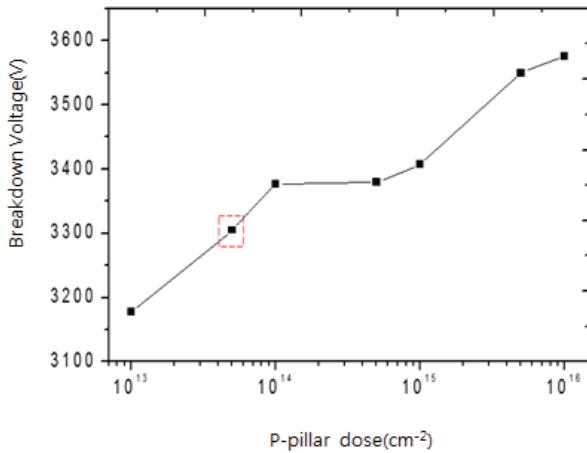


Fig. 3. The breakdown voltage characteristics of super junction FS IGBT according p-pillar dose.

Table 2. The breakdown voltage of super junction FS IGBT according to p-pillar dose.

P-Pillar (cm ⁻²)	BV (V)
1×10 ¹³	3177.92
5×10 ¹³	3305.02
1×10 ¹⁴	3376.98
5×10 ¹⁴	3379.72
1×10 ¹⁵	3407.09
5×10 ¹⁵	3549.83
1×10 ¹⁶	3575.25

그림 3은 P-Pillar의 농도에 따른 실험으로써 P-Pillar의 농도를 $1.0 \times 10^{13} \sim 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 으로 변화시키면서 실험을 진행하였다. 그림에서 나타낸 바와 같이 P-Pillar의 농도가 높아질수록 항복전압이 증가하는 것을 알 수 있다. 농도가 높을수록 공핍층의 길이는 짧아지기 때문에 그만큼 펀치스루 항복이 늦게 일어나기 때문에 항복전압이 증

가하는 것으로 판단된다. 다만 캐리어가 흐르는 에피층이 아니므로 에피층의 농도는 항복전압과 반비례 관계에 있다.

표 2에서는 각 농도변화에 따른 항복전압을 서술하였으며, 본 연구에서 목표로 하고 있는 3.3 kV 이상의 항복전압을 얻고 있는 P Pillar의 농도는 $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 이며, 그 이상에서는 안정적인 항복전압을 가져 올 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

3.3 에피 저항에 따른 항복전압 특성

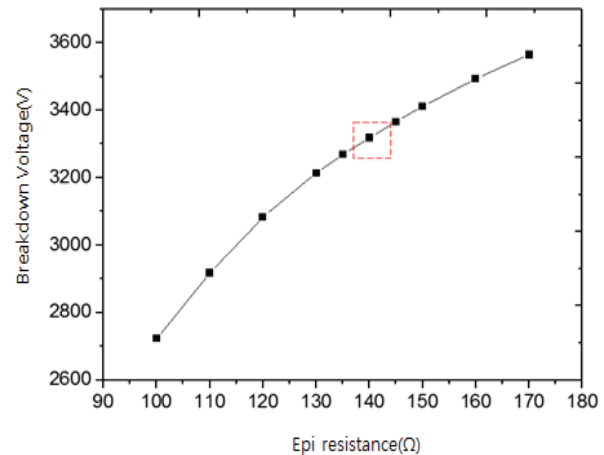


Fig. 4. The breakdown voltage characteristics of super junction FS IGBT according epi resist.

그림 4는 에피저항에 따른 항복전압을 나타내고 있다. 주지하는 바와 같이 에피층의 농도가 낮을수록 에피 저항이 커지게 되며, 따라서 온 저항은 커지게 되고, 항복전압은 높아지게 된다. 일반적으로 온 저항과 항복전압은 트레이드 오프 관계에 있으며, 항복전압을 올리기 위해서는 에피층의 농도를 낮게 설정해 주어야 한다. 그러나 전력손실과 밀접한 관계에 있는 온저항을 낮추어야 하기 때문에 적절한 점을 찾아야 한다. 그림 4에서 나타낸 것처럼, 3.3 kV 이상을 유지하기 위해서는 에피저항을 140 Ω 이상 유지해야 한다.

표 3에서는 에피저항의 변화에 따른 항복전압을 자세히 서술하였으며, 그림에서 설명하였듯이 에피저항이 140 Ω일 때, 항복전압이 3,318 V를 나타내고 있으며, 이후 지속적으로 증가시킬 수가 없는 것은 온 저항도 따라서 증가하기 때문이다.

Table 3. The breakdown voltage of super junction FS IGBT according to epi resist.

Epi-resist (Ω)	Breakdown voltage (V)
100	2722.70
110	2917.79
120	3082.73
130	3213.08
135	3268.06
140	3318.61
145	3365.60
150	3410.83
160	3492.84
170	3563.86

4. 결론

본 논문에서는 차세대 전력반도체 소자로 대표되고 있는 3.3 kV급 초접합 FS IGBT의 구조적인 설계를 통해 그 전기적인 특성을 분석하였다. 또한 다른 전기적인 특성보다는 공정파라미터에 따른 항복전압의 변화를 집중적으로 연구하였다. 그 결과, 공정파라미터중에 하나인 트렌치 깊이에 따라서 항복전압이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, P-Pillar층의 농도가 증가하면서 항복전압도 동시에 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 에피층의 저항도 높아질수록 항복전압도 같이 증가하는 것을 알 수 있었으며, 3.3 kV 이상의 값을 유지하는 시점은 P-Pillar층의 농도는 $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 이며,

에피층의 저항은 140 Ω 으로 나타났다. 향후 전력 손실과 관련되는 온 전압강하상태의 값을 고려하여 최적의 설계 및 공정파라미터를 도출해야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] E. G. Kang, D. S. Oh, D. W. Kim, D. J. Kim, and M. Y. Sung, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **15**, 758 (2002). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2002.15.9.758>]
- [2] J. I. Lee, S. M. Yang, Y. S. Bae, and M. Y. Sung, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **23**, 190 (2010). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2010.23.3.190>]
- [3] T. Laska, M. Munzer, F. Pfirsch, C. Schaeffer, and T. Schmidt, *Proc. The 12th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs* (IEEE, Toulouse, France, 2000) p. 355. [DOI: <https://doi.org/10.1109/ispd.2000.856842>]
- [4] B. S. Ahn, H. S. Chung, E. S. Jung, S. J. Kim, and E. G. Kang, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **25**, 187 (2012). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2012.25.3.187>]
- [5] J. S. Lee, E. G. Kang, and M. Y. Sung, *Microelectron. J.*, **39**, 57 (2008). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2007.10.023>]
- [6] Y. S. Hang, E. S. Jung, and E. Y. Kang, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **25**, 276 (2012). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2012.25.4.276>]