

트렌치 ion implantation을 이용한 1700V급 TG-IGBT(Trench Gate Insulate Gated Bipolar Transistor)의 전기적 특성에 관한 연구

경신수, 김영목, 이한신, 성만영* (*semicad@korea.ac.kr)

The study of 1700V TG-IGBT(Trench Gate Insulated Gate Bipolar Transistor)'s electrical characteristics using trench ion implantation

Sin Su Kyoung, Young Mok Kim, Han Sin Lee, Man Young Sung* (*semicad@korea.ac.kr)

Dept. of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - 본 논문에서는 IGBT 소자 중 온저항을 낮추고 집적성을 향상시키기 위해 고안된 트렌치 게이트 IGBT의 단점인 게이트 코너에서의 전계 집중현상을 완화하기 위해 P+ 베이스 영역에 트렌치 전극을 형성하고, 트렌치 바닥면에 P+ 층을 형성한 새로운 구조를 제안하고 TSUPREM과 MEDICI 시뮬레이션을 사용하여 전기적 특성을 분석하였다. 제안한 구조를 시뮬레이션한 결과 순방향 저지시에 15% 이상의 항복전압 향상을 보였으며, 이 때 온저항 특성과 문턱전압의 변화는 없었다. 전계 분포를 3차원적 시뮬레이션을 통해 트렌치 전극 바닥에 형성된 P+ 층에 의해 전계집중이 분산되는 전계분산 효과에 의해 항복전압을 향상시킴을 확인하였다.

전계분산 효과에 의한 항복전압향상은 트렌치 게이트의 코너와 트렌치 전극의 코너의 깊이가 같을수록 두 코너 사이의 거리가 가까울수록 커짐을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 제안 구조는 공정상 복잡성이 야기되지만 15%이상의 항복전압향상 효과는 소자 특성 개선에서 많은 응용이 기대된다.

1. 서 론

고전압용 반도체 소자로 널리 쓰이는 IGBT 소자에서 온저항을 낮추고 집적성을 향상시키기 위해 고안된 trench gate IGBT(TG-IGBT)는 그 장점에도 불구하고, 고전압에 대한 순방향 저지 특성에 있어서 트렌치 게이트의 코너에 전계가 몰림으로 인해서 항복전압이 낮아지는 현상을 보인다.(1) 이런 항복전압의 감소 현상을 해결하기 위해 항복전압을 분산시키는 구조에 대한 연구가 진행되어 왔다.(2) 그러나 이전의 연구는 트렌치의 일정부분에만 산화막을 형성하는 등의 공정상 형성이 어려운 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 트렌치를 이용하여, 트렌치 게이트의 코너와 같은 깊이를 가지는 트렌치 전극을 형성하고, 그 트렌치 전극 바닥면에 ion implantation을 사용하여, P+ 층을 형성하는 구조를 제안하였다. 이 구조는 트렌치 코너에 몰리는 전계를 P+ 층이 분산시켜주는 효과를 주어 순방향 항복전압을 향상시킬 것으로 예상된다.

제안된 구조에 대해 트렌치 전극의 깊이와 deep P+층 형성시의 ion implantation dose량, 트렌치 게이트와 트렌치 전극과의 거리에 따른 항복전압의 변화를 TSUPREM 및 MEDICI 시뮬레이션을 통해 분석하여, 최적조건을 추출하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 제안한 소자의 구조 설명

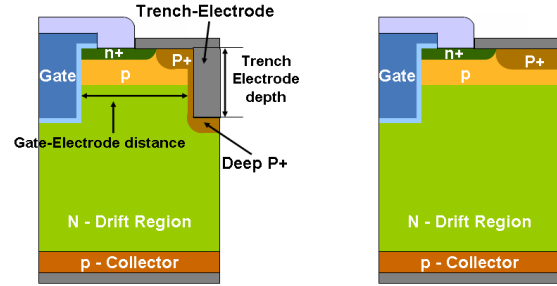
본 논문에서 제안한 trench electrode TG-IGBT(TE-TG-IGBT)의 구조를 <그림 1>에 나타내었다. 그림에서 보듯이 conventional한 TG-IGBT 구조에서 P+ 베이스 영역의 일부에 트렌치를 형성한다. 형성된 트렌치에 ion implantation을 통해 P+ 층을 형성하고, 금속 전극을 형성하여, 구조를 완성한다. 그림과 같은 구조를 형성할 경우 conventional TG-IGBT에서는 순방향 저지시에 전계가 트렌치 게이트의 코너에 집중되어 본래의 항복전압보다 낮은 항복전압에서 항복이 발생하였으나, 새로운 구조에서는 트렌치 전극의 deep P+ 층이 전계를 분산시키는 효과를 주어 항복전압이 높아질 것으로 예상된다.

또한 새로운 구조의 경우에는 N+ 에미터층이나, P- 베이스층 등의 Active 영역에 영향을 주는 것이 아니므로, 온저항 특성이나 문턱전압 등에 영향을 주지 않는다.

제안한 소자의 설계 파라미터를 <표 1>에 표시하였다.

<표 1> 제안한 소자의 설계 파라미터

파라미터	깊이(μm)	농도(1/cm ³)	파라미터	길이(μm)
N ⁺ 에미터	1.2	4.0×10 ¹⁹	게이트 산화막 두께	0.01
P ⁺ 베이스	4.8	1.8×10 ¹⁶	채널 길이	1.8
트렌치 게이트 깊이	6	X	트렌치 게이트 너비	1
트렌치 전극 깊이	6		트렌치 전극 너비	2.5



(a) Proposed TE-TG-IGBT (b) Conventional TG-IGBT

<그림 1> TE-TG-IGBT와 Conventional TG-IGBT의 수직 단면도

2.1.1 Conventional TG-IGBT와 제안 구조와의 비교

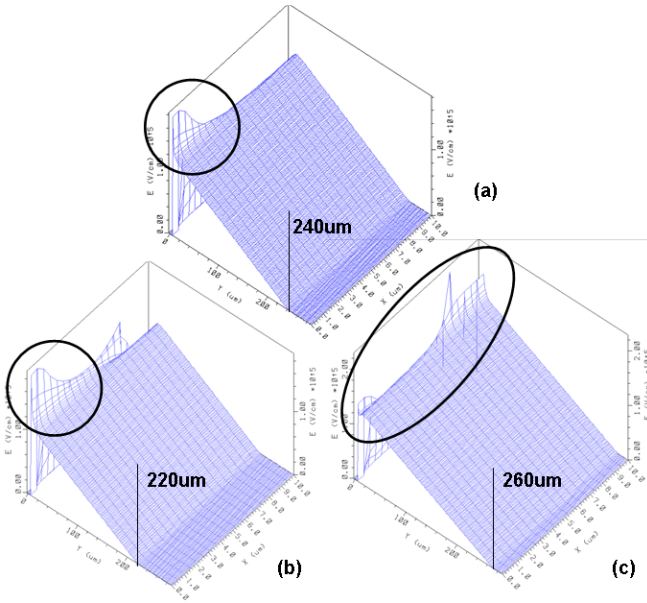
Conventional한 TG-IGBT와 트렌치 전극만을 형성한 TE-TG-IGBT, 트렌치 전극 밑에 deep P+층을 형성한 TE-TG-IGBT의 특성치를 시뮬레이션으로 추출하여 <표 2>에 비교하였다. 세 구조 모두 트렌치 게이트의 깊이는 6 μm로 동일하게 형성하였다. <표 2>에서 확인할 수 있듯이, conventional TG-IGBT에 비해서 제안한 구조의 소자가 항복전압에서 15% 이상 향상되었음을 확인할 수 있다. 또한 P+ 층을 형성하지 않은 경우에는 항복전압이 오히려 감소한 것을 볼 수 있다. 이는 전극과 n- 드리프트층의 직접 접촉으로 인해 이 지점에서 쇼트키 정션이 구성되어 오히려 트렌치 게이트의 코너에 더 많은 전계가 집중되도록 한 것이라 추측된다. 이것으로 전계분산의 효과가 단순히 트렌치 코너의 형성으로 생긴 것이 아닌 트렌치 코너와 비슷한 위치에 생긴 deep P+ 층에 의한 것임을 알 수 있다.

<표 1> 각 구조의 Parameter 비교

	Conventional TG-IGBT	TE-TG-IGBT	
		Deep P+ 층 미형성	Deep P+ 층 형성
항복전압(V)	1560	1350	1800
문턱전압(V)	4.7	4.7	4.7
온저항 특성(V)	2.1	2.0	2.0

2.1.2 항복전압 변화의 원인과 문턱전압, 온저항 특성 분석

IGBT의 항복전압은 전계의 적분으로 나타낼 수 있다. 즉, 3차원 그림의 전계의 분포의 적분으로 나타낼 수 있다.(1) 이 항복전압은 다시 P- 베이스층과 N- 드리프트층 사이의 공핍층 확장량과도 같다.(1) 따라서 <표 1>의 항복전압 변화 원인을 분석하기 위해 전계의 분포를 3차원으로 시뮬레이션하여 <그림 2>에 나타내었다. <그림 2>에서 보듯이 conventional한 TG-IGBT의 경우 트렌치 게이트의 코너에 전계가 집중되어 있음을 볼 수 있다. N- 드리프트층의 공핍층 확장에 의한 전계의 분포 또한 N- 드리프트층 전체를 활용하지 못하고 240 μm 부근에서 멈추어 있음을 볼 수 있다. 반면에 TE-TG-IGBT의 경우에는 트렌치 게이트의 코너와 트렌치 전극의 코너에 분산되어 전계가 가장 높은 지점(트렌치 바닥면 부근)에서 전계가 고르게 분포함을 볼 수 있다. 이로 인해 전계의 분포가 N- 드리프트층 전체를 활용하여 260 μm까지 공핍층이 확장되어 가장 높은 전계의 분산으로 항복전압의 향상이 이루어짐을 알 수 있다. deep P+층을 형성하지 않은 TE-TG-IGBT의 경우 트렌치 게이트의 코너에 오히려 전계의 집중도가 높아짐을 볼 수 있다. N- 드리프트층의 공핍층 확장도 제한되어 220 μm에서 공핍층 확장이 멈추어 있음을 볼 수 있다. 이는 P+ 층을 형성하지 않아서 N- 드리프트층과 전극이 직접 접촉하여 쇼트키 정션을 구성하게 되어 트렌치 게이트의 코너에 더 많은 전계가 집중되게 한 것에서 기인한다고 하겠다. 따라서 <표 2>에서 conventional한 TG-IGBT보다 deep P+층을 형성하지 않은 TE-TG-IGBT의 경우에 항복전압이 감소하는 것을 알 수 있다.



<그림 2> (a) Conventional TG-IGBT, (b) P+ 층을 형성하지 않은 TE-TG-IGBT, (c) P+ 층을 형성한 TE-TG-IGBT, 각 구조에 따른 전계 분포의 3차원 시뮬레이션

문턱전압과 온저항 특성의 경우 시뮬레이션 결과 변하지 않음을 알 수 있는데, 이는 새로운 제안구조에서 문턱전압의 경우 문턱전압에 가장 크게 영향을 미치는 채널의 도핑과 길이(1)에 변화를 주지 않아서 변화가 없다고 하겠다. 온저항 특성의 경우에는 가장 큰 영향을 주는 전계 소자의 길이(1)에 변화를 주지 않았음에 기인한다.

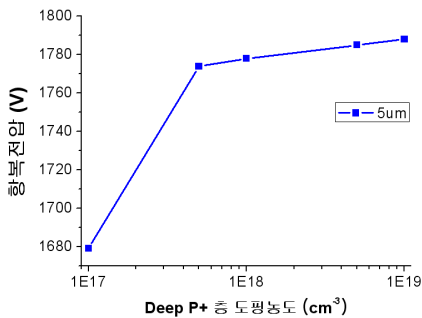
2.2 트렌치 전극의 위치와 P+ 층의 농도에 따른 항복전압변화

2.1.2절에서 새로운 구조의 전계분산효과에 따른 항복전압의 향상을 확인하였다. 예상되는 트렌치 전극의 위치와 deep P+ 층의 농도에 따른 항복전압변화에 대해 시뮬레이션으로 분석하였다.

2.2.1 Deep P+층의 농도에 따른 항복전압 변화

Deep P+ 층의 농도에 따른 항복전압의 변화에 대해 분석하였다. 트렌치 전극의 깊이는 6 μm, 트렌치 게이트와 트렌치 전극과의 거리는 7.5 μm로 고정하고, 트렌치 전극의 형성 후에 ion implantation 공정에서 dose량을 변화시켜 deep P+층의 농도를 변화시키면서 항복전압의 변화를 알아본 결과를 <그림 3>에 나타내었다.

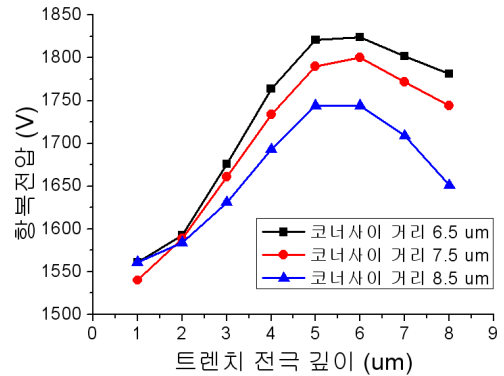
<그림 3>의 그래프에서 보듯이 deep P+ 층의 농도가 낮은 경우에는 낮은 항복전압을 보였으며, 농도의 증가에 따라 항복전압이 증가하다가 어느 정도의 농도를 넘어서면서 항복전압이 일정해 짐을 확인할 수 있다. 이는 deep P+ 층의 농도가 어느 정도 확보된 이후에는 전계 분산의 영향은 미비함을 알 수 있다. 이는 IGBT의 경우 P- 베이스층과 N- 드리프트의 정선에서 확장되는 공핍층의 양으로 항복전압이 결정되는데, 공핍층의 확장량이 도핑농도에 의한 확장이 영향을 주는 범위보다 큰 확장범위를 가짐에 그 원인이 있다.



<그림 3> Deep P+ 층의 농도에 따른 항복전압 변화 그래프

2.2.2 트렌치 전극의 깊이와 트렌치 전극과 트렌치 게이트와의 너비에 따른 항복전압 변화

Deep P+ 층의 농도를 $1.6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 로 일정하게 한 후에 트렌치 전극의 깊이와 트렌치 전극과 게이트와의 거리를 각각 조정하여 항복전압의 변화를 시뮬레이션하여 그 결과를 <그림 3>의 그래프에 나타내었다.



<그림 3> 트렌치 전극의 위치에 따른 항복전압변화 그래프

그래프에서 트렌치 전극의 깊이가 0~2 μm에서는 Conventional TG-IGBT와 항복전압 차이가 거의 없는 것을 확인할 수 있었고, 좀 더 트렌치 깊이가 깊어짐에 따라 항복전압이 증가하였다. 항복전압 증가는 6 μm를 기준으로 더 이상 증가가 없고 다시 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 트렌치 게이트의 깊이 6 μm에서 가장 전계 분산효과가 큰 것을 의미한다. 또한 트렌치 게이트와 트렌치 전극과의 거리가 가까울수록 전계분산의 효과가 커져서 항복전압이 증가함을 알 수 있다.

이 시뮬레이션 결과로 트렌치 전극의 deep P+ 층으로 인한 전계분산 효과는 트렌치 게이트의 코너와 트렌치 전극의 코너가 가까울수록 상승한다라고 할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 conventional TG-IGBT의 P+ 베이스에 트렌치 전극을 형성하고, 이를 이용하여 deep P+ 층을 형성하여, 항복전압을 향상시키는 TE-TG-IGBT를 제안하고, 그 특성을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 이 구조의 가장 큰 특징은 트렌치 전극을 통해 형성된 deep P+ 층에 의해 트렌치 게이트의 코너에 집중된 전계를 분산시켜줌으로써 온저항특성이나 문턱전압의 변화없이 항복전압을 향상시킨다는 점이다.

항복전압의 향상은 트렌치 전극의 위치와 deep P+ 층의 농도에 영향을 받는다. 트렌치 전극의 깊이가 트렌치 게이트와 같을 경우에 가장 큰 항복전압 향상을 보이며, 트렌치 전극이 트렌치에 가까워질수록 항복전압 향상을 보인다. 또한 deep P+ 층의 농도가 일정 이상 확보될 시에만 전계향상의 효과를 보인다.

본 연구에서 제안한 구조는 공정상에 추가적인 트렌치의 형성을 하므로 공정상 복잡성이 야기되지만, 이를 상쇄할 정도의 항복전압 향상을 보이므로 향후 많은 응용이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력 IT 사업에 의하여 지원되었음.

[참 고 문 헌]

[1] B.Jayant Baliga, "Power semiconductor devices", PWS, 1996
 [2] J. S. Lee, E. G. Kang, M. Y. Sung, "Improvement of Electrical Characteristics of Vertical NPT Trench gate IGBT Using Trench Emitter Electrode", J. KIEEME, Vol. 19, No. 10, p. 912, 2006
 [3] E. G. Kang, M. Y. Sung, "A Novel Trench electrode BRT with the intrinsic Region for Superior Electrical Characteristics", J. KIEEME, Vol. 15, No. 3, p. 201, Mar. 2002
 [4] E. G. Kang, D. S. Oh, D. W. Kim, D. J. Kim, M. Y. Sung, "A Novel Lateral Trench electrode IGBT for Superior Electrical Characteristics", J. KIEEME, Vol. 15, No. 9, p. 758, Sep. 2002
 [5] E. G. Kang, S. H. Moon, M. Y. Sung, "A new trench electrode IGBT having superior electrical characteristics for power IC systems", Microelectronics J. Vol. 32, p. 641, 2001
 [6] E. G. Kang, M. Y. Sung, "A small sized lateral trench electrode IGBT for improving latch-up and breakdown characteristics", Solid State Electronics, Vol. 46, p. 295, 2002