

이중 에피층을 가지는 SOI LIGBT의 에피층 두께에 따른 항복전압 특성 분석

김형우, 김상철, 서길수, 방욱, 김남균, 김은동
한국전기연구원 전력반도체연구그룹

Breakdown characteristics of the SOI LIGBT with dual-epi layer

Hyoung-Woo Kim, Sang-Cheol Kim, Kil-Soo Seo, Wook Bahng, Nam-Kyun Kim and Eun-Dong Kim
Power Semiconductor Group, Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 이중 에피층 구조를 가지는 SOI(Silicon-On-Insulator) LIGBT(Lateral Insulated Gate Bipolar Transistor)의 에피층 두께 변화에 따른 항복전압 특성을 분석하였다. 제안된 소자는 전하보상효과를 얻기 위해 n/p-epi의 이중 에피층 구조를 사용하였으며, 에피층 전체에 걸쳐서 전류가 흐를 수 있도록 하기 위해 *trenched anode* 구조를 채택하였다. 본 논문에서는 n/p-epi층의 농도를 고정시킨 후 각각의 epi층의 두께를 변화시켜가며 simulation을 수행하였을 때 항복전압의 변화 및 표면과 epi층에서의 전계분포변화를 분석하였다

각 $N_1 = 7 \times 10^{15}/cm^3$, $N_2 = 3 \times 10^{15}/cm^3$ 으로 고정하였으며, 각각의 에피층의 두께를 $2\mu m$ 에서 $4\mu m$ 까지 변화시켜가며 simulation을 수행하였다. Trench anode 깊이는 에피층의 농도에 따라 함께 변화시켰으며, 게이트 산화막은 1000\AA , 매몰 산화막은 $2\mu m$ 의 두께로 사용하였다.

1. 서 론

SOI(Silicon-On-Insulator) LIGBT(Lateral Insulated Gate Bipolar Transistor)는 절연격리가 쉽고, 누설전류가 낮기 때문에 고전압 IC에 많이 사용되어 왔으며, VLSI 공정에 적합하고 다른 소자들과의 집적이 용이하다는 장점 또한 가지고 있다.[1-3]

LIGBT와 같은 고전압 소자의 설계에 있어서 중요한 설계변수로 항복전압(BV)과 순방향 전압강하(V_F)가 있다. 일반적인 고전압 소자의 경우 낮은 V_F 를 얻기 위해서는 높은 에피층 농도를 사용해야 하지만 높은 에피층 농도를 사용할 경우 항복전압의 감소가 일어나게 된다. 따라서 기존의 소자들의 경우 설계시 소자의 BV 및 V_F 사이의 관계를 고려하여 적절한 에피층의 농도를 갖도록 설계하여야 한다. 하지만 이중 에피층을 가지는 소자의 경우 전하보상효과에 의해 높은 에피층 농도에서도 높은 BV를 얻을 수 있으며, 낮은 V_F 특성을 나타낼 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 이중 에피층을 가지는 SOI LIGBT 소자의 에피층 두께에 따른 항복전압 특성 및 온-특성에 관해 연구하였다. 제안된 소자는 전하보상효과를 얻기 위해 n/p 이중 에피층 구조로 되어 있으며, *trenched anode* 구조를 채용하여 균일한 전류 분포를 얻고자 하였다. 소자의 특성은 2차원 공정 simulator인 ATHENA와 소자 simulator인 ATLAS를 사용하여 검증하였다.[4]

2. 본 론

2.1 소자 구조

그림 1에 simulation에 사용된 소자의 구조도를 나타내었다. Simulation에 사용된 소자는 에피층을 n/p-에피층의 이중구조로 하여 사용하였다. N-버퍼층을 사용하여 소자의 빠른 latch-up을 막음과 동시에 p-에피층을 floating 시켜 전하보상효과를 얻을 수 있도록 하였으며, 균일한 전류 분포를 얻기 위해 *trench anode*를 채용하였다. 이중 에피층 구조는 n/p-에피층간의 전하보상효과를 이용하여 높은 에피층 농도에서도 에피층 전체를 공핍시켜 높은 BV를 얻을 수 있고 동시에 낮은 V_F 를 얻을 수 있는 구조이다.

본 논문에서 사용된 소자에서는 n/p-에피층의 농도는 각

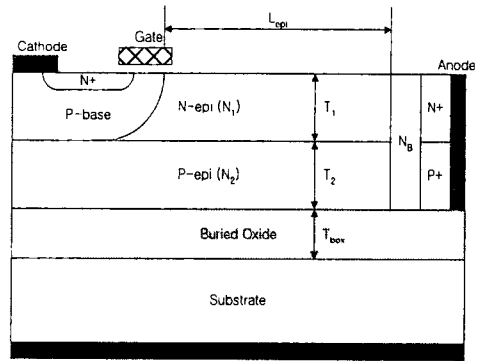


그림 1. Simulation에 사용된 소자 구조도

2.2 Simulation

그림 2에 이중 에피층을 갖는 LIGBT(DE-LIGBT)의 n/p-에피층 두께를 $2.5\mu m$ 로 고정하였을 때의 I-V 특성을 동일한 BV를 가지는 기존의 LIGBT (C-LIGBT)의 I-V 특성과 함께 나타내었다.

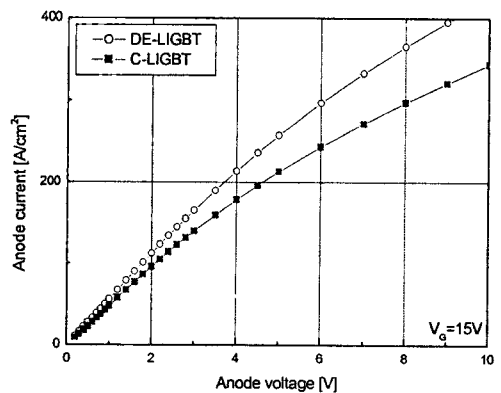


그림 2. 이중 에피층 구조를 갖는 LIGBT와 기존 LIGBT의 I-V 특성 (그림 변경요망)

그림에서 볼 수 있듯이 동일한 BV 를 갖는 경우 DE-LIGBT가 C-LIGBT에 비해 낮은 V_F 를 나타냄을 알 수 있다. 일반적으로 에피층의 두께가 얇아지면 V_F 가 증가하지만 DE-LIGBT의 경우 전하보상효과로 인해 높은 n-에피층 농도를 가질 수 있으므로 동일한 BV 를 갖는 C-LIGBT에 비해 낮은 V_F 를 얻을 수 있다.

그림 3에 동일한 항복전압을 가지는 경우에 C-LIGBT와 DE-LIGBT 소자 내에서의 전류 흐름도를 나타내었다. 두가지 소자 모두 균일한 전류 분포를 얻기 위해 *trenched anode* 구조를 사용하였으며, $V_G = 15V$, $V_A = 10V$ 를 인가하였을 때를 기준으로 하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 C-LIGBT의 경우 에피층 내에 전류가 흐르지 않는 *dead zone*이 존재하며 에피층 내에서 전류의 흐름이 넓게 퍼지듯이 흐르고 있어 전류의 이동 경로가 길어지지만 DE-LIGBT의 경우 에피층내에 전류가 흐르지 않는 *dead zone*이 거의 존재하지 않고 전류의 흐름 또한 직선방향으로 흐르기 때문에 전류의 경로가 짧게 나타난다. 따라서 동일한 항복전압을 가지는 C-LIGBT에 비해 높은 에피층 농도와 짧은 전류 경로를 가질 수 있어 낮은 V_F 특성을 가지게 된다.

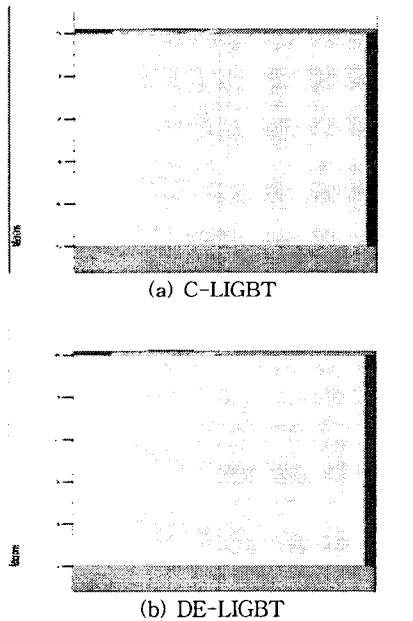


그림 3. 소자 내에서의 전류 흐름도

그림 4는 DE-LIGBT 소자의 에피층 두께에 따른 항복전압의 변화를 나타낸 것이다. 에피층의 두께를 각각 $2\mu\text{m}$ 에서 $5\mu\text{m}$ 까지 변화시켰으며, 이때 에피층의 농도는 $N_1 = 7 \times 10^{15}/\text{cm}^3$, $N_2 = 3 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 로 고정하여 사용하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 에피층의 두께가 $2.5\mu\text{m}$ 일 때 가장 높은 BV 를 가지며, 이후 에피층의 두께가 증가함에 따라 BV 가 감소하고 있음을 알 수 있다. 이중 에피층 구조를 갖는 수평형 전력 반도체 소자의 항복현상은 전하보상효과에 의해 n/p-에피층이 공핍되는 정도에 따라 결정되게 되며, 각각의 에피층이 공핍되는 정도는 에피층의 농도와 두께에 따라 변화하므로 적절한 에피층 농도와 두께를 갖도록 하는 것이 중요하다[5-6].

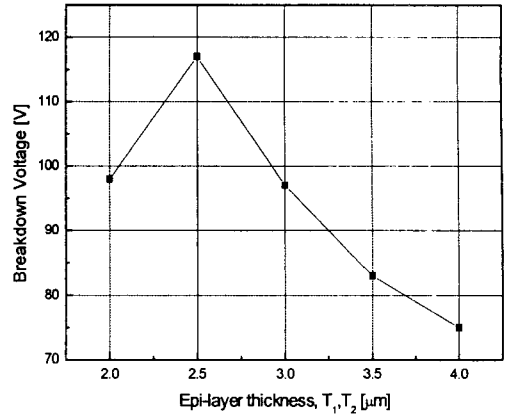
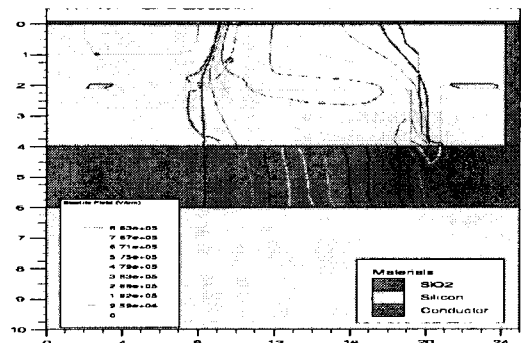
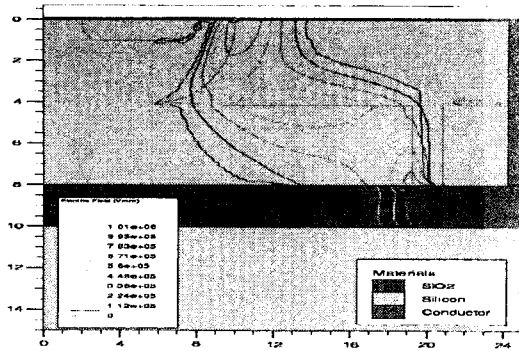


그림 4. 에피층 두께에 따른 항복전압 변화

그림 5에 n/p-에피층의 두께가 각각 $2.0\mu\text{m}$ 인 경우와 $4\mu\text{m}$ 인 경우에 소자 내부에서의 공핍 영역과 전계 분포를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 에피층의 두께가 $4\mu\text{m}$ 인 경우의 공핍층 폭이 $2\mu\text{m}$ 인 경우에 비해 얇게 나타남을 알 수 있으며, 이로 인해 에피층의 두께가 두꺼운 경우 gate 끝단에서의 전계집중 현상이 더 많음을 알 수 있다. 일반적으로 소자 내부에서의 전계는 수직방향 전계와 수평방향 전계의 합으로 나타나게 되며, 본 논문에서와 같은 수평형 소자의 경우 항복현상은 표면에서의 수평방향 전계에 의해 결정되게 된다. 따라서 에피층의 두께가 두꺼운 경우 소자가 가질 수 있는 최대 항복전압의 크기는 커지지만 수평방향 전계를 지탱할 수 있는 공핍층의 폭이 줄어들기 때문에 gate 끝단에서의 전계집중이 더 빨리 일어나게 된다. 또한 에피층의 두께가 지나치게 얇을 경우 공핍층 폭은 늘어나게 되지만 빠른 공핍층 영역의 확산으로 인한 전계집중으로 인해 낮은 항복전압이 나타나게 된다. 특히 본 논문에서 사용한 것과 같은 이중 에피층 구조의 경우 각각의 에피층에서의 전하량에 따른 전하보상효과에 의해 항복전압이 결정되게 되므로 소자 설계시 n/p-에피층의 농도와 두께를 적절히 고려하여 설계해 주어야 한다. 본 논문에서 사용된 농도와 두께의 경우 에피층 전체를 완전히 공핍시키는 RESURF (REduced SURface Field) 구조가 아니지만 RESURF 구조로 사용하는 경우에는 에피층의 농도와 두께에 따른 항복전압의 편차가 크기 때문에 반드시 적절한 농도와 두께를 선택해 사용하여야 한다.



(a) 에피층의 두께가 $2\mu\text{m}$ 인 경우



(b) 에피층의 두께가 4 μm 인 경우

그림 5. 에피층의 두께에 따른 공핍영역 및 전계 분포도

그림 6은 에피층 두께의 변화에 따른 소자 표면에서의 전위분포를 나타낸 것이다. 에피층의 두께가 두꺼워질수록 등전위선의 기울기가 더 급하게 나타남을 볼 수 있다.

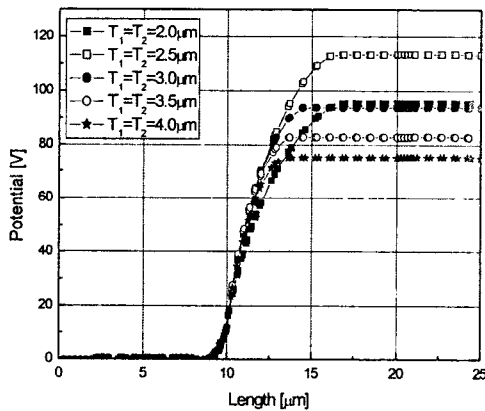


그림 6. 에피층 두께에 따른 표면전위 분포도

본 논문에서 사용한 것과 같은 이중 에피층 구조의 수평형 소자의 경우 에피층의 두께가 두꺼울수록 수평방향으로의 공핍층 폭이 줄어들게 되고 따라서 수평방향 전계를 지탱할 수 있는 폭이 줄어들어 전계집중현상이 일어나기 때문에 에피층의 두께가 두꺼울수록 등전위선의 기울기가 더 급하게 나타나게 된다.

그림 7에 n/p-에피층 각각의 두께를 2.5 μm 로 고정할 경우 매물 산화막층의 두께 변화에 따른 항복전압의 변화를 나타내었다. 매물 산화막층의 두께는 1 μm 에서 2 μm 까지 0.5 μm 씩 변화시켜가며 simulation을 수행하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 매물 산화막층의 두께가 얇을수록 BV가 낮아짐을 알 수 있다. SOI 구조 소자의 경우 수직방향으로의 전계는 에피층과 매물 산화막층 양쪽 모두에 인가되게 되는데 매물 산화막층의 두께가 얇을 경우 에피층으로 더 많은 전계가 인가되게 되므로 항복현상이 더 빨리 일어나게 된다.

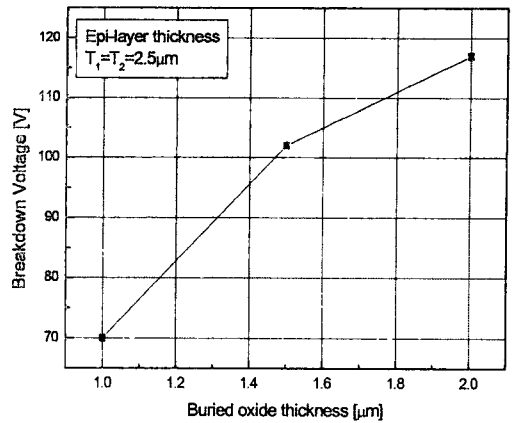


그림 7. 매물 산화막층의 두께에 따른 항복전압 변화

3. 결 론

이중 에피층을 갖는 SOI LIGBT에 대해 에피층 두께에 따른 항복전압의 변화를 알아보았다. 에피층의 두께를 2 μm 에서 4 μm 까지 0.5 μm 씩 변화시켜가며 simulation을 수행한 결과 n/p-에피층 각각의 두께를 2.5 μm 로 사용한 경우에 120V 정도로 가장 높은 항복전압을 얻을 수 있었으며, 각각의 에피층의 두께가 두꺼워질수록 얇은 공핍층 폭과 이에 따른 gate 끝단에서의 빠른 전계집중 현상으로 인해 항복전압이 낮아짐을 알 수 있었다. 또한 동일한 항복전압을 가지는 기존의 LIGBT와 비교하였을 때 전하보상효과에 의한 높은 에피층 농도로 인해 낮은 순방향 전압 강하를 얻음을 알 수 있었다. 매물 산화막층의 두께에 따른 항복전압의 변화 또한 매물 산화막층의 두께가 얇아질수록 에피층에 인가되는 전계의 크기가 커짐으로써 전계집중 현상이 더 빨리 일어나 항복전압이 낮아지게 된다.

[참 고 문 헌]

- [1] B. Murari, F. Bertotti, and G. A. Vignola, Smart Power ICs, New York, Springer, 1995.
- [2] Yusuke Kawahuchi et al., "Predicted Electrical Characteristics of 4500V Super Multi-Resurf MOSFET", Proc. 11th ISPSD, pp. 95-98, 1999.
- [3] A. Nezar et al., IEEE Trans. Electron Devices, vol.38, pp. 1676-1680, July, 1991.
- [4] Silvaco TCAD Manuals, Atlas, Silvaco International, Co. USA.
- [5] Tihanyi, US-patent 5,438,215, 1995.
- [6] Yusuke Kawahuchi et al., "Predicted Electrical Characteristics of 4500V Super Multi-Resurf MOSFET", Proc. 11th ISPSD, pp. 95-98, 1999.