

Local Lifetime Control이 IGBT의 스위칭 및 래치업 특성에 미치는 영향

· 이세규, 정상구
아주대학교 전자공학부

Effects of the Local Lifetime Control on the Switching and Latch-up Characteristics of IGBT

· Se-Kyu Lee and Sang-Koo Chung
School of Electronic Engineering, Ajou University

Abstract - The effects of the local lifetime control on the characteristics of IGBT are investigated using the 2-dimensional device simulator, MEDICI. Many lumped resistive turn-off simulations are carried out to analyze the effects of the minority carrier lifetime, the width, and the position of the region with a reduced local minority carrier lifetime. As a result of these simulations, it is concluded that the on state voltage drop($V_{CE,SAT}$) is only slightly increased while the switching behavior is greatly improved if the low lifetime region is properly set. And these results are compared with IGBTs having uniform lifetime.

본 논문에서는 두 이온조사 방법 중에서 부분적으로 소수캐리어 수명을 조절하는 방법이 IGBT의 스위칭 및 래치업특성에 미치는 영향을 2차원 소자 시뮬레이션 프로그램인 MEDICI[5]를 이용하여 조사하였으며, 그 결과를 균일한 소수캐리어 수명을 갖는 IGBT와 비교하였다.

1. 서 론

2. 본 론

IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)는 MOS 게이트에 의해 구동되기 때문에 베이스 전류에 의해 구동되는 바이폴라 트랜지스터에 비해 구동회로가 간단하고, 전도도 변조(conductivity modulation) 효과로 인해 온상태일때 드리프트 영역에 많은 양의 소수캐리어가 들어가므로 MOSFET에 비해 전류밀도가 크다. 이러한 장점 때문에 IGBT는 바이폴라 트랜지스터와 주로 600V 이상 고전압용의 DMOSFET(Double-diffused MOSFET)를 대체할 소자로 각광을 받고 있다.[1]

2.1 소자구조

그림 1은 시뮬레이션에서 사용된 논펀치드루(NPT: Non-PunchThrough) 구조를 갖는 수직형 IGBT의 단면도이다. 시뮬레이션에 사용한 여러 변수들의 값은 표 1에 나타내었으며, 드리프트 영역의 두께와 농도는 2500V의 항복전압을 갖도록 해석적 식에 의해 계산되었다. 그림 1 (b)에 소수캐리어 수명을 조절한 영역(영역 A)의 두께(w)와 게이트 산화막과의 거리(d)를 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 변수들

변수	값
드리프트 농도, n_n	$4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$
드리프트 두께, t_n	270 μm
게이트 길이, L_G	25 μm
p+ 베이스 접합깊이, x_j	5 μm
게이트 산화막 두께, t_{ox}	500 Å
p+ 애노드 농도, n_p	$3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
p+ 애노드 두께, t_p	30 μm

그러나 온상태(on-state)일때 드리프트 영역으로 주입된 많은 양의 소수캐리어(minority carrier)가 턴오프(turn-off)시에 캐소드로 빠져나가야 하므로 DMOSFET에 비해 스위칭 특성이 나쁜 단점을 갖고 있다. 따라서 IGBT를 설계할 때에는 순방향 전압강하($V_{CE,SAT}$)와 턴오프 시간(t_{off})과의 trade-off 관계를 잘 고려하여, 응용분야에 적합한 특성을 갖도록 설계하는 것이 중요하다. IGBT의 턴오프 시간을 줄이기 위해서는 드리프트 영역의 소수캐리어 수명(lifetime)을 조절해서 캐리어의 재결합(recombination)을 조절해야 한다.

2.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

전체 드리프트 영역의 소수캐리어 수명(τ)을 일정하게 고정시키고 영역 A의 소수캐리어 수명(τ_a)과 두께, 거리를 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다.

IGBT의 소수캐리어 수명 조절방법에는 금(Au)이나 플라티늄(Pt) 등의 불순물을 확산시키는 방법[2], 높은 에너지의 전자를 조사(irradiation)해서 전 영역에 걸쳐서 균일하게 소수캐리어 수명을 조절하는 방법, 양성자(proton), 중성자(neutron) 등의 이온을 조사해서 부분적으로 소수캐리어 수명을 조절하는 방법[3]이 있다. 이 중에서 불순물을 확산시키는 방법은 조절이 어렵고, MOS 경계면의 특성이 나쁘고, 문턱전압을 변화시키며, 800 °C 이상의 고온 공정이 필요하다는 등의 단점이 있기 때문에 최근에는 높은 에너지의 이온을 조사하는 방법이 주로 사용되고 있다.

그림 2는 온상태에서 영역 A의 위치변화에 따른 드리프트 영역내 소수캐리어의 농도분포를 나타낸다. 드리프트 영역과 영역 A의 소수캐리어 수명을 각각 1 μs 와 0.2 μs , 영역 A의 두께를 20 μm 로 고정시키고 게이트 산화막에서 영역 A까지의 거리(d)를 0, 60, 125, 190, 250 μm 로 변화시켰다. d가 0~190 μm 의 경우는 전체영역의 소수캐리어 수명이 1 μs 인 경우와 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다. 그러나 d가 250 μm 인 경우, 즉 영역 A가 p+ 애노드 위에 위치하는 경우에는 소수캐리어의 농도가 급격히 감소함을 알 수 있다.

전자조사는 턴오프 시간이 줄어드는 반면 순방향 전압강하와 누설전류가 큰 단점이 있다. 그러나 부분적으로 소수캐리어 수명을 조절하는 방법은 순방향 전압강하가 전자조사에 비해서 조금 증가하면서 턴오프 시간이 줄어드는 장점 때문에 최근 많은 연구가 진행중이다.[4]

그림 3에 턴오프시 각 경우의 애노드 전류 파형을 나타내었다. 영역 A가 p+ 애노드 위에 위치한 경우 p+ 애노드에서 n- 드리프트 영역으로 넘어온 정공이 영역 A의 작은 소수캐리어 수명으로 인한 재결합으로 빠져나가

야 할 소수캐리어가 줄어들기 때문에 턴오프가 빠르다는 것을 알 수 있다. 즉 영역 A의 최적위치는 p+ 애노드 위라는 것을 알 수 있다. 이후의 모든 시뮬레이션에서 영역 A의 위치는 p+ 애노드 위로 고정시켰다.

그림 4는 영역 A의 두께변화에 따른 드리프트 영역의 소수캐리어 분포를 나타낸다. 영역 A의 두께가 증가하여도 드리프트 영역의 소수캐리어의 농도는 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다.

그림 5에 턴오프시 각 경우의 애노드 전류 파형을 나타냈다. 영역 A의 두께를 증가시켜도 소수캐리어의 농도 변화가 거의 없으므로 턴오프 파형에서도 거의 변화가 없다는 것을 알 수 있다.

그림 6은 영역 A의 소수캐리어 수명변화에 따른 드리프트 영역의 소수캐리어 분포를 나타낸다. 드리프트 영역의 소수캐리어 수명을 5 μ s로, 영역 A의 위치는 p+ 애노드 위로, 두께는 20 μ m로 고정시킨 상태에서 영역 A의 소수캐리어 수명을 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0.1 μ s로 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 영역 A의 소수캐리어 수명이 감소할수록 드리프트 영역내의 소수캐리어의 농도가 급격히 감소함을 알 수 있다.

그림 7에 턴오프시 각 경우의 애노드 전류 파형을 나타냈다. 영역 A의 소수캐리어 수명이 작아질수록 턴오프가 빨라진다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 영역 A의 소수캐리어 수명변화시 각 경우의 전류-전압 특성을 나타낸다. 소수캐리어 수명이 감소할수록 턴오프가 빨라지고 래치업 특성이 좋아지는 반면, 순방향 전압강하($V_{CE,SAT}$)가 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 적절한 영역 A의 소수캐리어 수명을 선택하는 것이 중요하다. 영역 A의 최적 소수캐리어 수명은 응용 분야에 따라 다르겠지만 2~3V의 순방향 전압강하를 갖는 0.6~1 μ s 정도라고 할 수 있다. 이러한 trade-off 관계를 그림 9에 나타내었다.

3. 결 론

본 논문에서는 2차원 시뮬레이션 프로그램인 MEDICI를 사용하여 부분적인 소수캐리어 수명조절이 IGBT의 스위칭 및 래치업특성에 미치는 영향을 조사하였다. 작은 소수캐리어 수명을 갖는 영역의 위치와 소수캐리어 수명은 IGBT의 특성에 큰 영향을 미치는 반면, 두께는 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] B. J. Baliga, Power Semiconductor Devices, PWS, 1996
- [2] B. J. Baliga, "Comparison of Gold, Platinum and Electron Irradiation for Controlling Lifetime in Power Rectifiers", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-24, pp. 685, 1977
- [3] M. Saggio et al., "Innovative Localized Lifetime Control in High-Speed IGBT's", IEEE Electron Device Letter, Vol. 18, No. 7, pp. 333, 1997
- [4] Ettore Napoli et al., "Analysis of Local Lifetime and Emitter Efficiency Control for the Design of Power Pin Diodes", ISPS'98, pp. 71, 1998
- [5] MEDICI user's manual, TMA, 1996

이 연구는 국책연구개발사업 연구비지원에 의하여 수행되었음.(과제번호:97-N5-01-01-A-03)

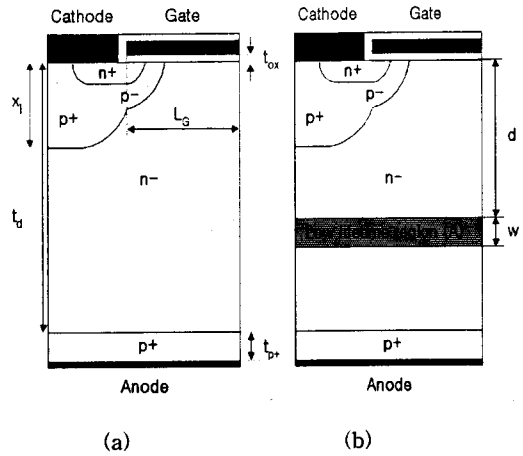


그림 1. NPT IGBT의 단면도
(a) 균일한 소수캐리어 수명을 갖는 구조
(b) 부분적인 소수캐리어 수명을 갖는 구조

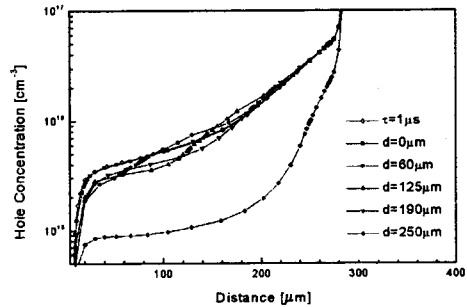


그림 2. 영역 A의 위치변화에 따른 온상태에서의 소수캐리어의 분포

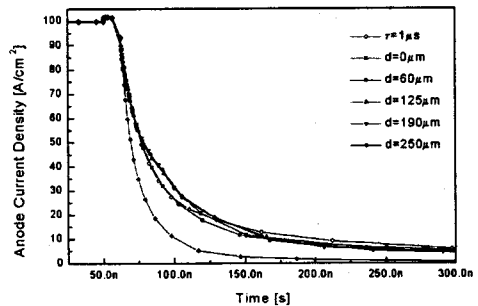


그림 3. 영역 A의 위치변화에 따른 애노드 전류의 턴오프 파형

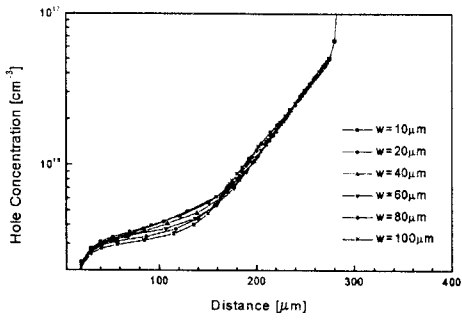


그림 4. 영역 A의 두께변화에 따른 온상태에서의 소수 캐리어의 분포

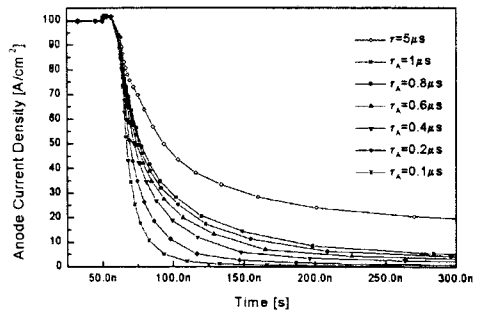


그림 7. 영역 A의 소수캐리어 수명변화에 따른 애노드 전류의 턴오프 파형

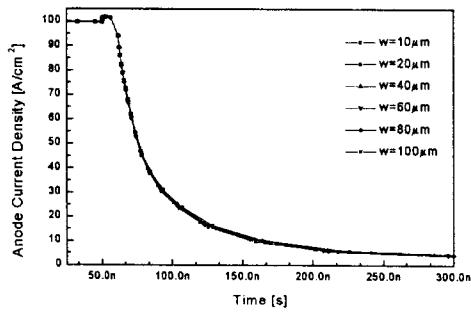


그림 5. 영역 A의 두께에 따른 애노드전류의 턴오프 파형

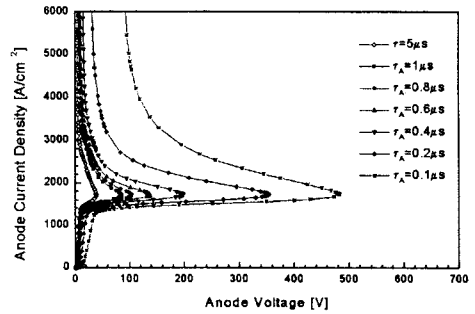


그림 8. 영역 A의 소수캐리어 수명변화에 따른 I-V 특성변화

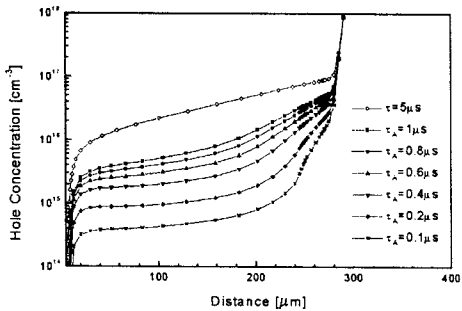


그림 6. 영역 A의 소수캐리어 수명변화에 따른 온상태에서의 소수캐리어의 분포

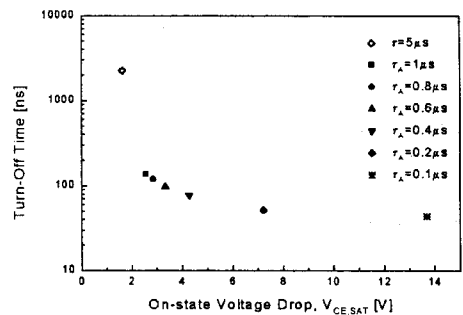


그림 9. 영역 A의 소수캐리어 수명변화에 따른 순방향 전압강하와 턴오프 시간사이의 Trade-off 관계