

A novel TIGBT structure with improved electrical characteristics.

향상된 전기적 특성을 갖는 트렌치 게이트형 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터에 관한 연구.

Yong-Seo Koo*, Jung-Man Son*

구 용 서*, 손 정 만*

Abstract

In this study, three types of a novel Trench IGBTs(Insulated Gate Bipolar Transistor) are proposed. The first structure has P-collector which is isolated by SiO₂ layer to enhance anode-injection-efficiency and enable the device to have a low on-state voltage drop(V_{on}). And the second structure has convex P-base region between both gates. This structure may be effective to distributes electric-field crowded to gate edge. So this structure can have higher breakdown voltage(BV) than conventional trench-type IGBT(TIGBT). The process and device simulation results show improved on-state, breakdown and switching characteristics in each structure. The first one was presented lower on state voltage drop(2.1V) than that of conventional one(2.4V). Also, second structure has higher breakdown voltage(1220V) and faster turn off time(9ns) than that of conventional structure.

Finally, the last one of the proposed structure has combined the two structure (the first one and second one). This structure has superior electric characteristics than conventional structure about forward voltage drop and blocking capability, turnoff characteristics.

요 약

본 논문에서는 전력용 스위칭 소자로 널리 활용되고 있는 IGBT 소자 중 수평 게이트 구조보다 우수한 특성을 지닌 트렌치 게이트 IGBT(TIGBT) 구조를 채택하여, 기존의 TIGBT가 갖는 구조적 한계를 극복하고 좀 더 우수한 전기적 특성을 갖는 새로운 구조의 수직형 TIGBT를 제안하였다. 첫 번째로 제안한 IGBT 소자는 P+컬렉터를 산화막으로 고립시킴으로써 N-드리프트 층으로의 정공 주입효율을 극대화하여 기존 구조보다 더 낮은 순방향 전압강하를 얻도록 설계된 구조이다. 두 번째 제안한 구조는 양 게이트 사이의 P-베이스 구조를 불록하게 형성함으로써 게이트 쪽으로 집중되는 전계의 일부를 접합부 쪽으로 유도하여 기존 구조보다 더 높은 항복전압을 얻을 수 있다. 또한 P-베이스의 불록한 구조가 턴-오프 시 정공의 흐름을 개선시켜 기존 구조보다 더 빠른 턴-오프 시간을 갖게 된다. 시뮬레이션 결과 첫 번째 구조의 특징은 2.4V의 순방향 전압강하 특성을 갖는 기존의 IGBT 구조보다 상당히 낮은 2.1V의 순방향 전압강하 특성을 나타냈으며, 두 번째 구조는 기존의 IGBT 보다 10V 정도 높아진 항복전압 특성을 보였다. 또한 두 번째 구조에서 기존 구조와 비교해볼 때 9ns 정도 빠른 턴-오프 시간을 보였다. 최종적으로 제안된 새로운 구조의 TIGBT는 위 두 구조가 갖는 우수한 전기적 특성을 모두 갖도록 결합한 것이며, 시뮬레이션 결과 기존의 TIGBT 소자보다 순방향 전압강하, 항복특성, 그리고 턴 오프 특성이 모두 우수한 결과를 나타냈다.

Key words : IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistor, Power Device, Power Electronics

1. 서론

21세기 IT산업의 급격한 발전과 함께 에너지 효율성

* 서경대학교 전자공학과

(Department of Electronics Engineering, Seokyeong University)

接受日: 2007年 9月 10日, 修正完了日: 2007年 11月 13日

문제가 대두되면서 전력산업은 그 중요성이 더욱 커지고 있으며, 이러한 전력 산업을 지탱하는 것이 실리콘을 중심으로 한 반도체 기술임은 자명하다. 특히 전력반도체 소자는 이들 산업의 견인차로서 큰 몫을 차지하고 있다. 전력반도체 소자는 1957년에 발표된 사이리스터부터, BJT (Bipolar Junction Transistor)와 파워 MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field

Effect Transister)을 거쳐IGBT(Insulated Gate Binolar Transister)에 이르기까지 전력 전자 산업 중 전력 변환과 시스템 제어에서의 고속, 고효율화 및 고내압화 실현을 목표로 지금까지 현저한 발전을 이루어 왔다. [1, 2]

전력용 반도체 소자 중 특히 IGBT는 MOSFET과 BJT의 장점을 취합한 전력용 스위칭 소자로서, 1980년 B.J Baliga에 의하여 소개된 이후로 BJT의 복잡한 전류 제어회로와 느린 스위칭 스피드의 문제, 그리고 MOSFET의 낮은 항복특성과 빈약한 전류제어능력을 극복할 수 있는 대체 소자로서 주목 받아왔다. IGBT는 기본적으로 BJT처럼 동작하여 낮은 순방향 전압강하 특성을 보이며, 저 농도의 n형 드리프트 층을 가지고 있어 높은 항복 전압을 견딜 수 있다. 이러한 IGBT는 낮은 순방향 전압강하 특성과 Gate 구동에 의한 고속 스위칭 동작의 장점 때문에 사용전압 및 전류의 신뢰성이 커지고, 응용 범위 또한 다양해지면서 전력용 BJT와 전력용 MOSFET이 사용되던 전력 전자산업 영역을 잠식하고 있다. [1, 3]

하지만 이러한 IGBT의 장점에도 불구하고 수평(Planar) 게이트 IGBT의 경우, JFET 영역에 의한 순방향 전압강하 문제와 턴-오프 시 정공전류에 의한 턴-오프 시간 지연 등의 개선되어야 할 많은 문제들이 남아있다. 한편 트렌치 게이트 IGBT는 수평게이트 IGBT와 달리 JFET영역이 존재하지 않아 더 낮은 순방향 전압강하를 얻을 수 있으며, 특히 단위 셀의 크기를 수평게이트 IGBT보다 반 이하로 줄일 수 있어 모듈의 소형화에 유리하다. 하지만 게이트 Edge에서의 전계집중에 의해 항복특성 다소 감소 할 수 있다.[4, 7]

IGBT의 턴-오프 시간을 줄이기 위한 방법으로 방사선 조사에 의한 정공의 수명시간을 줄이는 기술과 N-Buffer층이 사용된 PT-IGBT(Punch Through IGBT)등이 사용되었고, 최근에는 구조적 개선을 통해 턴-오프 시간을 줄이기 위해 컬렉터 구조를 변경하여 N+/P+가 단락 된 컬렉터 구조 등이 제안되고 있다. 그러나 턴-오프 시간의 감소를 위한 IGBT 소자의 구조적 변경은 트레이드-오프 관계에 있는 순방향 전압강하를 증가시킬 수 있으며, 최근에는 내압특성의 향상뿐만 아니라 순방향 전압강하와 턴-오프 시간의 트레이드-오프 관계를 개선하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. [2-6]

따라서 본 논문에서는 일반적인 수직형 TIGBT의 시뮬레이션을 수행하여 전기적 특성에 대한 분석 및 고찰 한 후, 기존의 TIGBT가 갖는 구조적 한계를 극

복하고 좀 더 우수한 전기적 특성을 갖는 새로운 구조의 수직형 TIGBT를 제안 하였으며, 공정시뮬레이터 TSUPREM-4와 디바이스 분석 시뮬레이터 MEDICI를 이용하여 제안된 소자의 전기적 특성을 분석함으로써 고안된 소자의 개선된 특성을 검증하였다.

II. 소자의 구조 및 동작 특성

그림 1은 기존 플레너(Planar)게이트 구조의 IGBT와 트렌치(Trench) 게이트 구조를 갖는 TIGBT, 그리고 전기적 특성 개선을 위해 제안한 3가지 형태의 IGBT의 구조를 보여주고 있다. 우선 기존 IGBT와 TIGBT의 주요 차이는 보이는 바와 같이 게이트 전극의 구조이다. 플레너 게이트 구조의 IGBT는 이미터와 컬렉터 전극 사이에 수평형태의 게이트를 가지고 있으며, TIGBT는 트렌치 형태로 게이트가 형성되어 있다. 일반적으로 IGBT는 여러 셀들의 반복배열로 이루어지는데, 이 때 TIGBT에는 수평게이트 구조의 IGBT에서 생성되는 셀과 셀 사이의 JFET 영향이 없으므로 수평게이트 구조의 IGBT보다 더 낮은 순방향 전압강하 특성을 갖는다. 또한 단위 셀 피치가 줄어들게 되어 채널 밀도를 수평게이트 IGBT보다 약 5배 정도 증가시킬 수 있다. 또한 N+ 이미터 하단부를 지나는 정공전류의 경로가 개선되어 래칭 전류 밀도가 크다. 항복전압 또한 플레너게이트 IGBT의 경우 P-베이스의 구조상 접합부의 모서리 부분(Junction Edge Termination)에서 항복되는 특성을 갖고 있지만, TIGBT는 P-베이스 영역 구조가 평탄하므로 더 높은 항복 특성이 기대 된다. 하지만 TIGBT는 트렌치 게이트의 모서리 부근에서의 전계집중에 의해 항복전압이 낮아지는 문제점과 공정과정이 플레너 게이트 구조보다 어려운 점이 단점으로 지적되고 있다

2.1 소자의 구조 제안 및 동작특성 분석

본 연구에서는 기존 TIGBT의 전기적 특성개선을 위한 새로운 구조의 TIGBT 소자를 제안하였다. 첫 번째로 제안한 구조(그림 1.(a))는 기존 TIGBT보다 낮은 순방향 전압강하 특성을 얻기 위해 소자 하단의 P+ 컬렉터 부분을 산화막으로 고립시켰으며, 순방향 전압강하에 따라 트레이드 오프 관계에 있는 턴 오프 손실의 영향을 줄이기 위해 P+컬렉터 양쪽에 산화막을 경계로 하여 N+확산 영역을 형성하였다. 다음으로 제안한 구조(그림 1.(b))는 게이트 사이의 P-베이스 영역을 불록하게 설계함으로써 게이트 모서리(Edge)쪽에 집중되는 전계의 일부를 완화시켜 게이트 모서

리측에서 먼저 항복이 일어나는 기존의 TIGBT보다 더 우수한 항복특성을 얻을수 있는 구조이다. 또한 이 구조는 턴-오프 시 불룩한 P-베이스영역의 영향으로 기존 TIGBT보다 이미터로 빠져나가는 정공전류의 흐름이 분산되어 더 빠른 턴 오프 특성을 갖는다.

마지막으로, 첫 번째 제안한 구조에서의 낮은 순방향 전압강하의 장점과 두 번째 제안한 소자의 높은 항복특성과 빠른 턴-오프 특성의 장점을 모두 갖도록 두 구조를 결합(그림 1.(c))하였으며, 기존 TIGBT보다 우수한 순방향 전압강하와 더 빠른 턴-오프특성, 그리고 더 낮은 순방향 전압 특성을 갖고 있음을 확인하였다. 제안한 소자의 성능 검증을 위하여 T-SUPREM4 공정 시뮬레이션과 MEDICI 디바이스 분석 시뮬레이션 툴을 이용하였으며, 그 결과 순방향 전압강하, 항복전압, 턴-오프 시간, 모두 기존 TIGBT보다 우수한 특성을 확인 할 수 있었다.

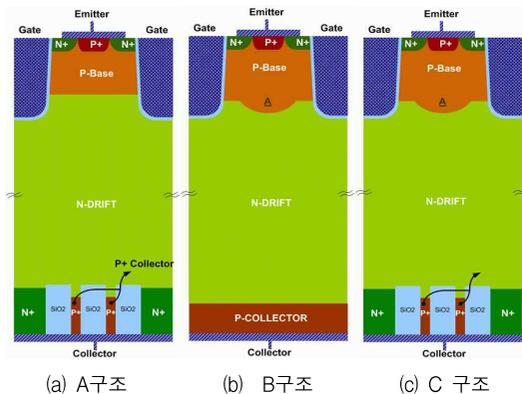


Fig 1. Cross-Section of proposed IGBT
그림 1. 제안된 IGBT 소자의 단면도

2.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

항복특성

그림 2는 제안된 IGBT소자들의 항복 특성을 보여주고 있다. 앞서 설명한 것처럼 제안된 IGBT B구조가 대략 1220V 정도로 가장 우수한 항복특성을 보이고 있다. 제안된 IGBT A구조와 IGBT B구조를 결합한 IGBT C 구조도 기존 TIGBT보다 좀 더 우수한 항복 특성을 갖는 것이 확인되었다.

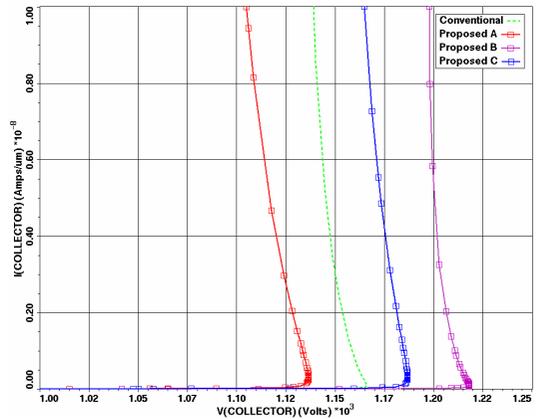


Fig 2. The Breakdown Characteristics of proposed IGBTs
그림 2. 제안된 IGBT 소자의 항복 특성

제안된 A 구조의 항복전압이 다소 낮아지는 것은 다음 두 가지 기도로서 설명할 수 있다. 산화막이 실리콘보다 열전도율이 상대적으로 작기 때문에 (Si: 1.32W/cm·K, SiO₂: 0.0032W/cm·K) 제안된 A구조 내의 N+영역과 컬렉터 전극 사이에 형성되어 있는 산화막의 영향으로 소자로부터 발생하는 열의 방출이 기존의 TIGBT보다 상대적으로 적어지게 된다. 소자 내부 열의 증가는 식(1)에서와 같이, 실리콘 내부의 EHP(Electron-Hole Pair) 생성율을 증가시키게 된다.

$$n_i(T) = 2 \left(\frac{2\pi k T}{h^2} \right)^{3/2} (m_n^* m_p^*) e^{-E_g/2kT} \quad (1)$$

EHP의 증가로 역방향 상태의 N-드리프트층 내 형성된 공핍층 경계부근에서 공핍층으로 포획되는 소수 캐리어의 수가 증가하여 충돌 이온화 현상을 가속시킨다. 제안된 A구조가 기존의 IGBT보다 다소 낮은 항복전압 특성을 보이는 다른 이유는 제안된 소자의 고립된 P+ 컬렉터 구조에 있다. 소자가 순방향 블로킹 상태에 있을 때 N-드리프트 층 내에 형성된 공핍층의 경계부로 유입되는 정공의 양이 기존 구조보다 제안된 IGBT A에서 좀 더 많아 소자의 항복이 다소 촉진 된다. 그림 3는 제안된 A구조와 기존 IGBT의 항복 직전 전압에서의 컬렉터 단에서 N-드리프트 층으로 유입되는 정공전류의 분포를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 N-드리프트 층으로 유입되어 흐르는 정공전류의 양이 기존 구조에 비하여 다소 큰 것을 알 수 있다.

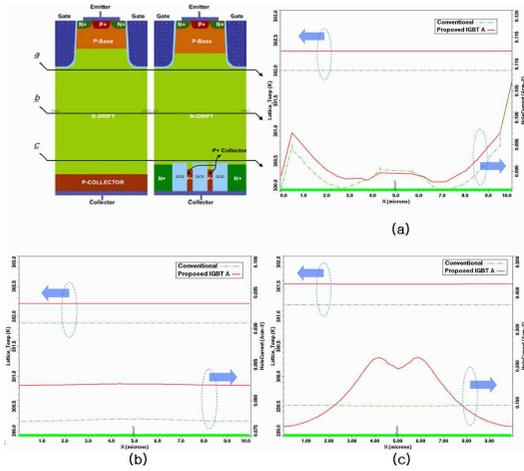


Fig 3. Hole current distribution in each region of proposed TIGBT A
 그림 3. 기존 TIGBT와 제안된A구조의 각 구간에서의 정공전류 분포 특성 (a) @ y=5um (b) @y=60um (c) @y=140um

제안된 IGBT B구조는 P-베이스 중양을 블록하게 하여 기존 IGBT의 게이트 모서리 쪽에 집중되는 전계의 일부를 베이스 중양의 접합부(불복한 부분 : 그림 1(c)내에 A 표기) 쪽으로 유도하여 전계를 효율적으로 분배시키기 위한 구조로서 기본 구조의 IGBT 보다 더 높은 항복특성을 갖을 수 있다. 그림 4는 시뮬레이션을 통해 얻은 항복전압부근에서의 전계 벡터를 보여 준다. 그림에서 보이듯이 B구조(그림 4 (b))의 전계는 기존 구조(그림 4 (a)) 보다 게이트 모서리에서의 전계 벡터가 완화되고 불복한 정선 쪽으로 유도된 모습을 보여준다.

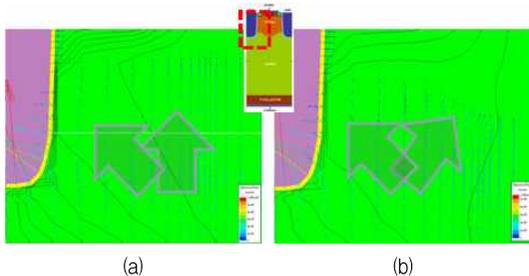


Fig 4. Flow Line(Solid-line) and electric-field(arrow)
 그림 4. 기존 TIGBT와 제안된 IGBT B구조의 Flow Line(실선)과 전계벡터(화살표)
 (a) 기존 TIGBT의 Flow Line과 전계벡터
 (b) 제안된 IGBT B 구조의 Flow Line과 전계벡터

순방향 전도특성

그림 5 는 제안된 소자들의 순방향 전도 특성을 보여주고 있다. 순방향 전도 특성은 게이트에 15V의 입

력전압을 인가하여 채널을 형성한 다음, 컬렉터 전극에 전압을 점차 증가시켜 측정하였다. 그림에서 보이는 것처럼 기존의 IGBT는 100A/cm²의 동작전류에서 2.4V의 포화전압(V_{ce,sat})을 갖는다. 제안된 소자들의 경우, 예상처럼 A구조가 2.1V의 가장 작은 순방향 전압강하 특성을 보였고, B구조가 2.8V의 다소 큰 순방향 전압강하 특성을 보였다. 한편 A와 B구조가 결합된 C구조의 제안된 소자는 낮은 순방향 전압강하 특성을 갖는 A구조의 적용으로 기존 IGBT 보다 우수한 2.25V의 낮은 순방향 전압강하 특성을 나타냈다.

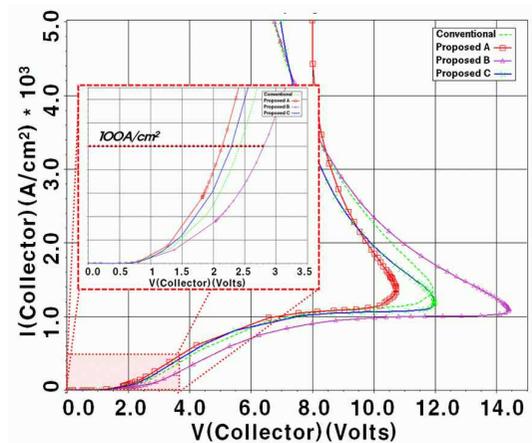


Fig 5. On-State Characteristics of Proposed TIGBTs
 그림 5. 제안된 소자들의 순방향 전도 특성

제안된 A구조(그림 1 (a))가 기존 IGBT보다 낮은 순방향 전압강하를 갖는 이유는 P+ 영역이 산화막에 의해 고립되어 있어 P+ 컬렉터 영역으로 유입되는 전자들의 병목현상이 유도되며, 결과적으로 P+쪽으로 유입되는 전자전류의 양의 증가효과를 가져왔기 때문이다. 그림 6 은 IGBT의 순방향 동작 시 동작전류 (100A/cm²)에서 컬렉터 부근에 형성되는 전자전류밀도의 분포를 보여준다. 그림 6(a)에서 보는 바와 같이 산화막으로 고립된 P+ 컬렉터 쪽으로 상대적으로 많은 양의 전자전류가 집중 분포함을 알 수 있으며, 이러한 전자전류의 증가는 P+ 컬렉터로부터 N-드립트 층으로의 정공 주입 효율을 증가 시킨다.

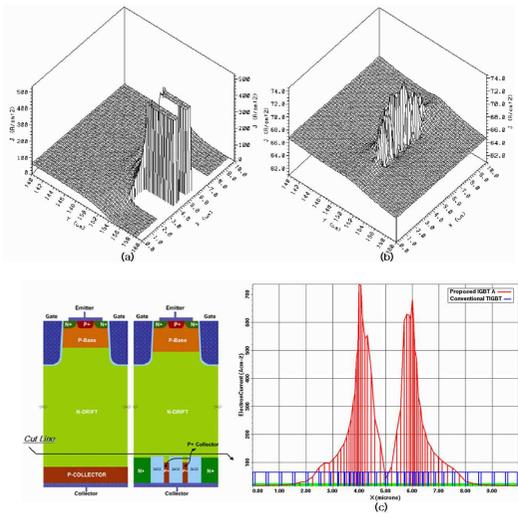


Fig 6. Current density
 그림 6. 기존 TIGBT와 제안된 IGBT A의 컬렉터 전자전류 밀도
 (a)제안된 구조의 컬렉터 전자전류 밀도
 (b)기존 IGBT의 컬렉터 전자전류 밀도
 (c)제안된 IGBT A와 기존IGBT의 전자전류 밀도 비교

이것은 P+ 컬렉터 쪽으로 유입되는 전자전류가 좁아진 P+ 컬렉터로 유입될 때 P+ 컬렉터 영역이 전기적으로 중성성(neutrality)을 유지되기 위해 상대적으로 큰 정공전류를 N-드리프트 층으로 공급하기 때문이다. 기존 IGBT에 비해 좁아진 P+ 컬렉터를 통해 공급되는 정공전류의 증가는 상대적인 정공전류 밀도의 증가를 가지기 때문에 IGBT 구조의 PNP 바이폴라의 이미터 주입 효율 또는 정공주입효율이 증가하게 된다. 또한 P+ 컬렉터 영역의 감소는 N-드리프트 층으로 유입되는 정공의 총 양을 감소시키므로 N+ 이미터 하단을 통과하는 정공전류의 양이 감소하게 되며, 이는 래칭 전류 밀도의 증가를 의미한다.

제안된 IGBT들 중 순방향 전압강하가 가장 낮게 나타난 A구조의 특성을 좀 더 세밀히 분석하기 위해 P+ 컬렉터 영역의 너비와 N+ 영역의 너비, 그리고 농도 마지막으로 N+ 영역을 격리시킨 산화막의 두께의 변화에 따른 순방향 전압강하 특성을 분석하였다. 그림 7,8,9 는 각각의 변화에 따른 순방향 전도 특성 그래프를 보여주고 있다.

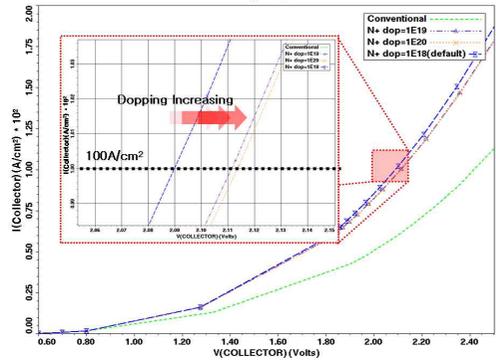


Fig 7. On-State Characteristics of IGBT-A with N+ region concentration
 그림 7. 제안된 IGBT A구조의 컬렉터 부근 N+ 농도 변화에 따른 순방향 전도 특성

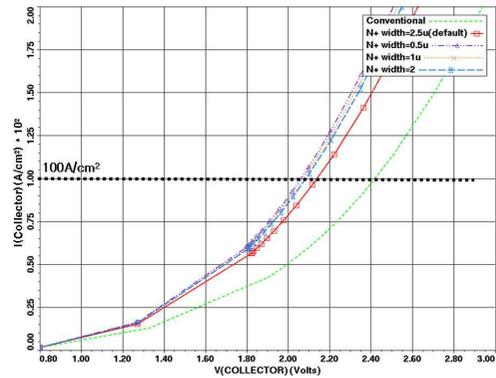


Fig 8. On-state conduction Characteristics of IGBT-A with N+ region width
 그림 8. 제안된 IGBT A구조의 컬렉터 부근 N+ 너비 변화에 따른 순방향 전도 특성.

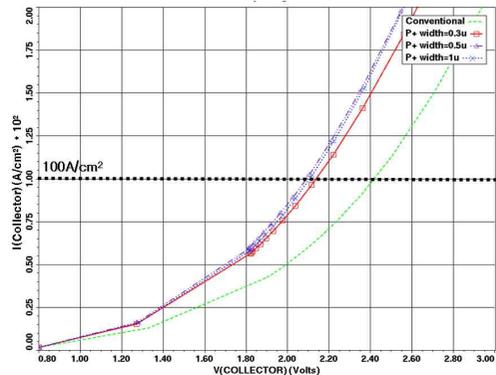


Fig 9. On-State Characteristics of Proposed IGBT-A with P+ region width
 그림 9. 제안된 IGBT A구조의 P+너비변화에 따른 순방향 전도특성

턴-오프 특성

그림 10은 기존 TIGBT와 제안된 IGBT소자들의 턴-오프 특성을 보여주고 있다. 턴-오프 특성 분석을 위해 MEDICI 디바이스 시뮬레이션에서 전자와 정공의 수명시간을 1μs로 고정시키고 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 IGBT A 구조를 제외한 IGBT B와 IGBT C는 기존 TIGBT 보다 우수한 턴 오프 특성을 보였다.

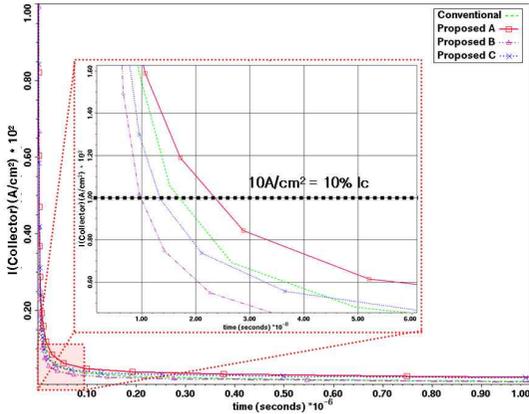


Fig 10. Turn-off characteristics of proposed TIGBTs.

그림 10. 제안된 소자들의 턴-오프 특성

제안된 IGBT B구조의 턴-오프 특성이 기존 IGBT에 비하여 좋아진 이유는 B구조의 불록한 P-베이스 영역의 구조와 관련이 있다. 턴-온 상태에서 P-베이스와 N-드리프트 층 사이의 얇은 공핍층이 턴-오프 과정에서 다시 컬렉터 단에 인가된 바이어스만큼 확장 될 때, 게이트 쪽에 전계가 집중되어 드리프트 층에 있던 정공들이 게이트 채널쪽으로만 통과하는데 비하여 제안된 IGBT B구조는 불록한 P-베이스구조 때문에 전계의 집중이 게이트와 P-베이스의 불록한 부분(그림 12)내 A 표기)쪽으로 분산되어 정공이 이 미터로 좀더 효과적으로 빠질 수 있도록 한다. 그림 11,12 은 기존의 TIGBT와 제안된 IGBT B의 구조상단부의 시간 1E-8초에서의 정공전류벡터(그림 11)와 정공전류 밀도(그림 12)를 보여주고 있다.

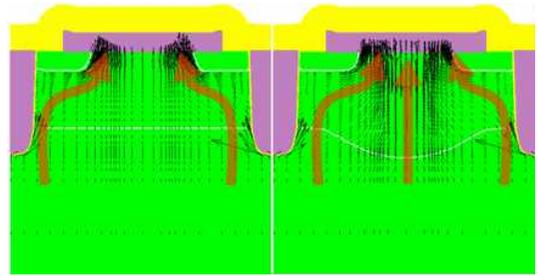


Fig 11. Hole Current Vector

그림 11 기존 TIGBT와 제안된 B구조의 턴오프 과도시간에서의 정공전류 벡터

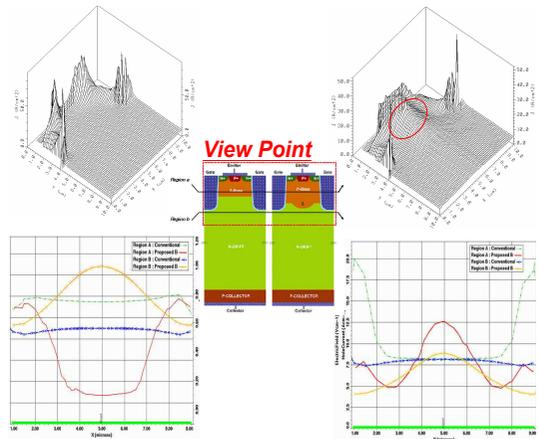


Fig 12. Hole current density

그림 12 기존의 TIGBT와 제안된 B구조의 턴오프 과도시간에서의 정공전류 밀도

제안된 A 구조에서 순방향 전압강하의 감소에 따른 턴-오프 특성의 영향을 줄이기 위해 설계한 컬렉터 쪽의 N+ 영역의 영향을 분석 하기 위해 N+ 도핑 농도를 1E18(atoms/cm³), 1E19 (atoms/cm³), 1E20(atoms/cm³)로 점차 증가 시키며 턴-오프 시간의 변화를 살펴 보았다. 그림 13은 시뮬레이션 결과를 보여주고 있으며, N+ 영역 농도가 증가함에 따라 턴-오프 특성이 다소 개선됨을 알 수 있다.

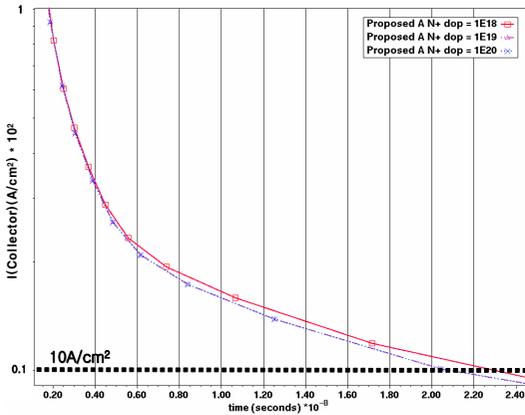


Fig 13. Turn-off Characteristics of Proposed A IGBT with doping concentration of Collector N+ region

그림 13 컬렉터 N+영역의 농도변화에 따른 턴-오프 특성

3. 결 론

본 논문에서는 전력용 스위칭 소자로 널리 활용되고 있는 IGBT 소자 중에서 수평 게이트 구조보다 우수한 특성을 지닌 트렌치 게이트 IGBT(TIGBT) 구조를 채택하여, 기존의 TIGBT가 갖는 구조적 한계를 극복하고 좀 더 우수한 전기적 특성을 갖는 새로운 구조의 수직형 TIGBT를 제안하였다.

첫 번째로 제안한 IGBT 소자는 P+ 컬렉터를 산화막으로 고립시킴으로서 N-드리프트 층으로의 정공 주입효율을 극대화하여 기존 구조보다 더 낮은 순방향 전압강하를 얻도록 설계된 구조이다. 두 번째 제안한 구조는 양 게이트 사이의 P-베이스 구조를 볼록하게 형성함으로써 게이트 쪽으로 집중되는 전계의 일부를 접합부 쪽으로 유도하여 기존 구조보다 더 높은 항복 전압을 얻을 수 있다. 또한 P-베이스의 볼록한 구조가 턴-오프 시 정공의 흐름을 개선시켜 기존 구조보다 더 빠른 턴-오프 시간을 갖게 된다. 시뮬레이션 결과 첫 번째 구조의 특징은 2.4V의 순방향 전압강하 특성을 갖는 기존의 IGBT 구조보다 상당히 낮은 2.1V의 순방향 전압강하 특성을 나타냈으며, 두 번째 구조는 기존의 IGBT 보다 70V정도 높아진 항복전압 특성을 보였다. 또한 두 번째 구조에서 기존 구조와 비교해볼 때 9ns 정도 빠른 턴-오프 시간을 보였다.

최종적으로 제안된 새로운 구조의 TIGBT는 위 두 구조가 갖는 우수한 전기적 특성을 모두 갖도록 결합한 것이며, 시뮬레이션 결과 기존의 TIGBT 소자보다 순방향 전압강하, 항복특성, 그리고 턴 오프 특성이 모두 우수한 결과를 나타냈다.

참고문헌

- [1] B. J Baliga “ Power Semiconductor Device” PWS Publishing Company, pp. 446-455, Dec. 1996.
- [2] V. K Khanna. “The Insulated Gate Bipolar Transistor Theory and Design” IEEE press. Wiley & Sons, INC, 2003..
- [3] T. Trajkovic, “Silicon MOS Controlled Bipolar Power Switching Devices Using Trench Technology,” Int. J. lectronics, Vol. 86, No. 10, pp. 1153-1168, 1999.
- [4] B. J Baliga, "An Experimental Evaluation of the On-State Performance of Trench IGBT Designs", Solid-StateElectronics, Vol. 42, No. 5, pp. 771-776, 1998.
- [5] A. R Hefner, "A Performance Trade-off for the Insulated Gate Bipolar Transistor : Buffer Layer versus Base Lifetime Reduction," IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 2, No. 3, pp. 194.207, 1987
- [6] S. Huang, "The Injection Efficiency Controlled IGBT" IEEE Electron Device letter, vol.23, No.2, pp. 88-90, February 2002.
- [7] G. Bonnet, "New Distributed model of NPT IGBT dedicated to power circuits design" Microelectronics Reliability 44(2004) , p79-88

저 자 소 개

구 용 서 (정회원)

전기 전자 학회 논문지
(Journal of IKEEE) Vol8, No1참조

손 정 만 (학생회원)



2007년 : 서경대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
2007년~현재: 서경대학교 석사 과정
<주관심분야> Power Device, ESD Protection,