

분리된 단락애노드와 플로팅오믹접합을 사용한 새로운 SOI 이중게이트 수평형 절연게이트바이폴라트랜지스터

하민우, 이승철, 오재근, 전병철, 한민구, 최연익*
 서울대학교 전기공학부, 아주대학교 전자공학부*

A New Dual-Gate SOI LIGBT
 by employing Separated Shorted Anode and Floating Ohmic Contact

Min-Woo Ha, Seung-Chul Lee, Jae-Keun Oh, Byung-Chul Jeon, Min-Koo Han, Yearn-Ik Choi*
 School of Electrical Engineering Seoul National University, Ajou University*

Abstract - 본 논문은 스넵백을 효과적으로 제거하고 순방향 전압 강하를 줄이는 새로운 구조의 분리된 이중 게이트 SOI SA-LIGBT를 제안하였다. 제안된 소자는 분리된 단락 애노드와 플로팅 오믹 접합의 적용을 통해 스넵백이 성공적으로 제거되었고, 순방향전압강하는 전류밀도가 100A/cm²일 때 기존의 SA-LIGBT에 비교해서 2V 감소된다. 또한 턴-오프 특성도 분리된 단락 애노드를 적용하였기 때문에 SA-LIGBT보다 개선되었다.

성을 비교하고 분석했다.

2. 본 론

2.1 제안한 소자의 구조

아래 그림1은 기존의 SOI SA-LIGBT들과 새롭게 제안한 플로팅 오믹 접합과 분리된 단락 애노드를 사용한 SOI 이중게이트 수평형 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터이다.

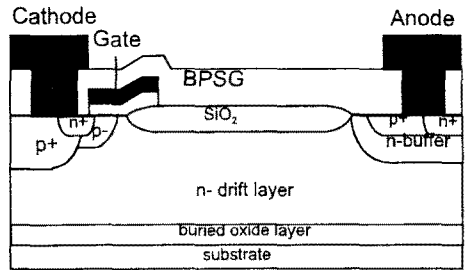
1. 서 론

전력용 반도체소자에서 낮은 순방향 전압 강하와 높은 입력 임피던스의 장점을 갖는 수평형 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(LIGBT)가 널리 이용되고 있다. IGBT는 소수 반송자의 n 드리프트 영역으로의 주입으로 인해 전도도 변화가 발생하기 때문에 낮은 순방향 전압 강하의 특성을 보인다.[1] 하지만 n 드리프트 영역에 저장된 반송자가 턴-오프 과정에서 제거되는 시간이 길기 때문에 스위칭 속도가 느리다는 단점이 있고 따라서 높은 주파수를 이용한 응용분야에 적용하기 위해서 스위칭 속도 개선이 요구되고 있다.

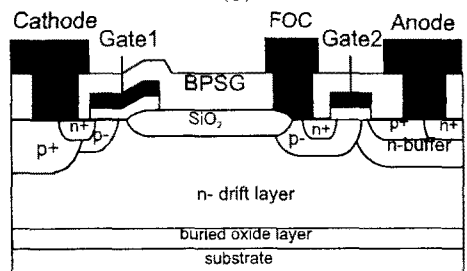
이런 단점을 개선하기 위해 단락 애노드를 적용하여 스위칭 속도를 빠르게 개선한 수평형 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(SA-LIGBT)가 제안되었다.(그림 1.a) 단락 애노드 수평형 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터(SA-LIGBT)는 n⁻ 단락 애노드를 사용함으로써 LIGBT와 비교해서 빠른 스위칭 스피드를 가지고 있다.[2,3] 이는 턴-오프 동안에 단락 애노드로 전자의 전도 경로가 발생하여 n 드리프트 영역의 전자가 더 빨리 추출되기 때문이다. 그러나 SA-LIGBT는 낮은 전류 크기에서 두 개의 다른 동작 모드(LDMOS와 LIGBT)가 존재하고 이 두 모드 사이의 급격한 전이로 인해 스넵백(부성저항영역)을 보여준다.[4,5] 이러한 스넵백 현상으로 인해 SA-LIGBT는 동작 상태에서 불안정한 소자 특성을 나타내고, 또한 동일한 전류영역에서 기존의 SA-LIGBT보다 높은 순방향 전압강하를 보인다.

부성 저항 영역을 억압시키기 위해서는 p 애노드의 길이를 충분히 길게 하여 LDMOS 모드에서 LIGBT 모드로 전환을 빠르게 해야 한다. 그러나 긴 p 애노드는 소자면적을 증가시키고, 편치스루 항복 현상을 피하기 위해서 사용한 n 버퍼층 때문에 부성저항영역이 완전히 제거되지 않는다.

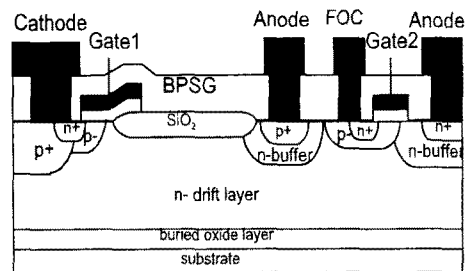
이러한 SA-LIGBT를 개선한 소자로 플로팅 오믹 접합(FOC)을 사용한 이중게이트 SA-LIGBT이 있다(그림1(b)). 이 구조는 GATE2를 통해서 플로팅 오믹 접합에서 n 드리프트 영역으로 홀을 주입함으로써 스넵백 현상을 줄였다. 본 논문은 이중게이트 SA-LIGBT의 단점을 보완한 분리된 단락 애노드와 플로팅 오믹 접합을 사용한 새로운 이중게이트 수평형 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터를 제안한다. 제안된 소자는 2차원 시뮬레이터 MEDICI를 이용하여 기존의 소자와 전기적인 특



(a)



(b)



(c)

그림 1. 소자의 단면도 (a)기존 SOI LIGBT, (b)플로팅 오믹 접합을 사용한 이중게이트 SOI SA-LIGBT, (c)제안한 소자

그림 1.a는 기존의 SOI SA-LIGBT의 단면이다. 그림 1.b는 플로팅 오믹 접합을 사용한 이중게이트 SOI SA-LIGBT이다. 이것은 기존의 SOI SA-LIGBT에 이중 게이트와 플로팅 오믹 접합을 사용해서 스넵백을 현저히 줄인 구조이다. 그림 1.c는 본 논문에서 새롭게 제안한 구조로 분리된 단락 애노드 및 플로팅 오믹 접합을 사용한 SOI 이중 게이트 SA-LIGBT이다. 이는 분리된 단락 애노드 사이에 플로팅 오믹 접합이 위치시켜서 순방향 전압 강하를 줄인 새로운 소자구조이다.

2.1.1 제안한 소자의 동작원리

제안된 소자(그림 1.c)에서 게이트1이 10V로 바이어스 되었을 때 전자는 캐소드에서 플로팅 오믹 접합의 오른쪽에 위치한 애노드로 흐른다. 플로팅 오믹 접합과 게이트2 아래의 p영역이 분리된 애노드 사이에 위치해 있어서 전자 전도상의 저항을 증가시키는 역할을 한다. 그러면 분리된 왼쪽 애노드와 그 아래의 n 드리프트 영역 사이에는 전압차이가 생긴다. 이 전압차이가 자생전위보다 높을 때, 왼쪽 애노드에서 n 드리프트 영역의 정공주입이 시작되고, 전도도 변조가 일어난다. 게이트1과 게이트2가 동시에 바이어스되면, 플로팅 오믹 접합의 전위가 오른쪽 애노드 전압까지 상승한다. 플로팅 오믹 접합과 p 주입기 아래의 고정량의 n 드리프트 영역의 전압 차이가 자생전위보다 크면, 플로팅 오믹 접합에서 n 드리프트영역으로 추가적인 정공주입이 시작된다. n 드리프트영역으로 정공주입이 LIGBT의 모스 전류기여를 감소시켜서 순방향전압강하가 감소된다.

플로팅 오믹 접합을 사용한 이중게이트 SA-LIGBT는 소자가 켜져 있을때, 게이트2에 양의 전압을 가해줌으로써 플로팅 오믹 접합 아래의 p 영역에서의 정공의 주입을 통하여 스넵백을 억제시키는 효과가 있다. [6] 그러나 소자가 켜져 있는 상태에서는 애노드와 캐소드 사이에 위치한 플로팅 오믹 접합 아래의 p 영역으로 인하여 소자의 전류 흐름이 방해되어서 순방향 전압 강하가 증가되는 단점이 있다.

제안된 소자에서는 전도도 변조가 일어난 후 주된 전류의 흐름은 왼쪽 애노드에서 캐소드로 통하므로 플로팅 오믹 접합 하부의 p 영역으로 인한 순방향 전압 증가현상이 나타나지 않는다.

2.2 제안한 소자의 전류-전압 특성

소자의 시뮬레이션 변수들을 아래 표1에 정리했다.

표 1. 제안한 소자 파라미터

n-drift 도핑농도	$1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$
n+ 표면도핑농도	$1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$
p+ well 표면도핑농도	$1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$
p body 표면농도	$1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$
게이트 옥사이드 두께	500Å
p+ well 접합깊이	$3 \mu\text{m}$
p body 접합깊이	$2 \mu\text{m}$
n+ 접합깊이	$0.5 \mu\text{m}$
채널 길이	$1.5 \mu\text{m}$

아래 그림2는 기존의 SA-LIGBT, 플로팅 오믹 접합을 사용한 이중 게이트 SA-LIGBT, 제안한 소자의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 제안한 소자가 플로팅 오믹 접합과 분리된 단락 애노드를 사용함으로써 스넵백이 거의 제거된 것을 볼 수 있다. 순방향전압강하(@전류밀도=100A/cm²)는 기존의 SA-LIGBT에 비교해서 2V만큼이 감소되고, 이중게이트 SA-LIGBT보다는 1V 정도가 더 감소된 것을 알 수 있다.

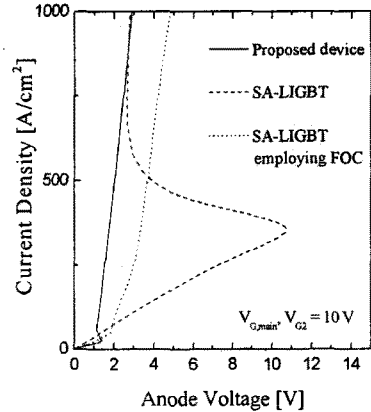


그림 2. 기존 SA-LIGBT, 플로팅 오믹 접합을 사용한 이중게이트 SA-LIGBT, 제안한 소자의 전류-전압 특성

2.3 제안한 소자의 전자 흐름도

아래 그림3은 LIGBT의 순방향 전류-전압 특성을 나타낸 것이며, 그림4는 제안한 소자의 전자 흐름도를 시뮬레이션 결과이다.

그림4에서 애노드 전압이 높아짐에 따라서 소자의 전자 흐름도가 변함을 확인할 수 있다. 그림4.a에서 소자에 흐르는 전류는 게이트에서 생긴 채널로 인한 MOS 성분이며, 그림3의 I-동작영역이다. 그림4.b는 분리된 애노드의 왼쪽부분에서도 정공주입이 시작되어서 대부분의 전류가 BJT 성분으로 그림3의 II-동작영역이다. I-동작영역과 II-동작영역 사이에서 전도도 변조로 인해 부성저항영역이 존재한다. 그림 4.c는 양쪽 애노드 뿐만 아니라 플로팅 오믹 접합에서 추가적인 정공주입이 있는 영역으로 그림3의 III-동작영역이다.

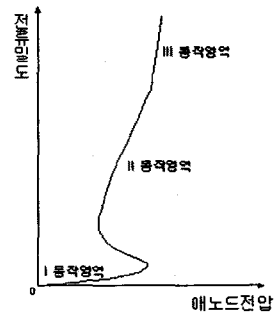
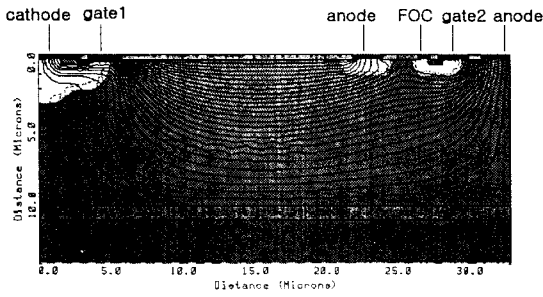
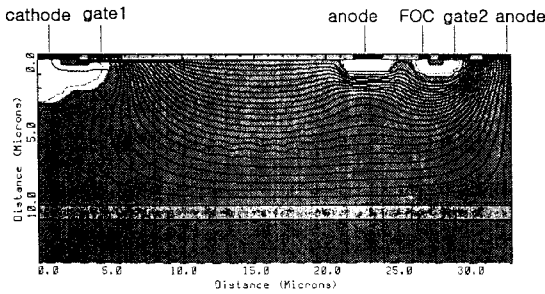


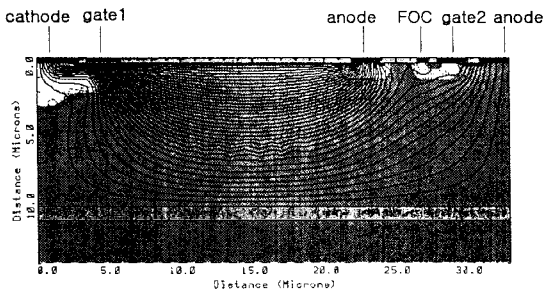
그림 3. 기존의 LIGBT의 순방향 전류-전압 특성



(a)



(b)



(c)

그림4. 제안한 소자의 전자 흐름도 (a)그림 3의 I-동작 영역, (b)II-동작영역 (c)III-동작영역

2.4 제안한 소자의 턴오프 특성

아래 그림5는 기존의 LIGBT, 기존의 SA-LIGBT, 제안한 소자의 턴-오프 특성 시뮬레이션 결과이다. 제안한 소자의 턴-오프 특성은 SA-LIGBT에 비슷하고, 현대 많이 쓰이는 LIGBT보다 훨씬 좋은 것을 알 수 있다. 제안한 소자는 플로팅 오믹 접합을 이용하여 소자의 순방향특성을 향상시키면서도, SA-LIGBT의 빠른 스위칭 특성을 열화 시키지 않는 장점을 가진다.

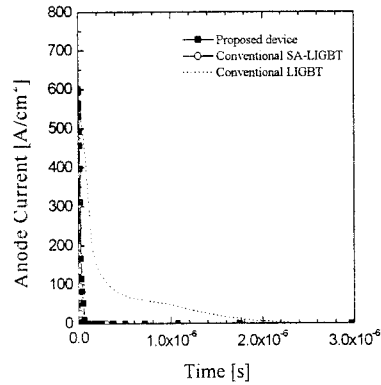


그림 5. 제안한 소자의 턴-오프 특성

3. 결 론

분리된 단락 애노드와 플로팅 오믹 접합을 이용해서 새로운 이중게이트 SA-LIGBT를 시뮬레이션을 해서 전기적인 특성을 확인해보았다.

분리된 단락애노드와 플로팅 오믹 접합을 사용해서 기존의 SA-LIGBT보다 스냅백을 거의 제거하였다. 그리고 애노드를 분리시켜서 플로팅 오믹 접합을 사용한 이중게이트 SA-LIGBT보다 좋은 순방향 전류-전압특성을 얻었다. 전류밀도가 $100A/cm^2$ 일 때, 순방향전압강하가 기존의 LIGBT보다 2V만큼 감소하였으며, 기존의 플로팅 오믹 접합을 사용한 이중게이트 SA-LIGBT보다 1V만큼 감소하였다. 그러면서 플로팅 오믹 접합을 사용한 이중게이트 SA-LIGBT의 빠른 턴-오프 특성을 열화 시키지 않았다.

제안한 소자는 좋은 순방향 전류-전압 및 빠른 턴-오프 특성으로 인해 빠른 스위칭이 요구되는 고전력 반도체가 필요한 분야에 응용될 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Mark R. Simpson, "Analysis of negative differential resistance in the I-V characteristics of shorted-anode LIGBT's", IEEE Transaction on Electron Device, Vol. 38, No. 7, pp.1633-1640, 1991
- [2] M.R. Simpson, P. A. Gough, F. I. Hshieh, and V. Rumenik, "Analysis of the lateral insulated gate transistors", IDEM, pp.740-743, 1985
- [3] P.A. Gough, M.R. Simpson, and V. Rumennik, "Fast switching lateral insulated gate transistor", IEDM, pp.218-221, 1986
- [4] M. Ayman Shibib and Craig B. Ziemer, "Observation and analysis of negative resistance in the forward I-V characteristics of dielectrically isolated high-voltage gated diode switches", IEEE Transactions On Electron Devices, Vol. ED-33, No. 7, pp.1062-1066, 1986
- [5] Ihun Son, Ting-Wei Tang, and David H. Navon, "Modeling of bistable device I-V characteristic resulting from conductivity modulation in semiconductors", Vol. 35, No. 4, pp.450-458, 1988
- [6] J.K. Oh, D.Y. Kim, B.H. Lee, D.S. Byun, M.K. Han, Y.I. Choi, "A dual-gate shorted-anode SOI LIGBT with floating ohmic contact for suppressing snapback and fast switching characteristics", Microelectronics Journal, Vol. 30, No. 6, pp.577-582, 1999