

Ni/Au 쇼트키 접합의 산화를 통해, AlGaIn/GaN heterostructure 웨이퍼 위에 제작한 쇼트키 장벽 다이오드의 누설전류 억제

임지용, 이승철, 하민우, 한민구
서울대학교 공과대학 전기 컴퓨터 공학부

Suppression of the leakage current of a Ni/Au Schottky barrier diode fabricated on AlGaIn/GaN hetero-structure by oxidation

Ji yong Lim, Seung chul Lee, Min woo Ha, Min-koo Han
School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract - Ni/Au 쇼트키 접합의 산화를 통해 항복전압이 증가하고 누설 전류가 감소한 수평방향 GaN 쇼트키 장벽 다이오드를 제작하였다. 산화 과정 후, 턴-온 전압이 미세하게 증가하였으며 높은 애노드 전압하에서 애노드 전류가 증가하였다. 5분과 10분의 산화 과정 후, 누설 전류는 1nA 이하 수준으로 현저히 감소하였다. Edge Termination 방법으로 Floating Metal Ring을 사용하고, 산화 과정을 적용하여 제안된 GaN 쇼트키 장벽 다이오드의 항복전압은 750볼트의 큰 값을 얻을 수 있었다. 상온과 125°C에서 제작한 GaN 쇼트키 장벽 다이오드의 역방향 회복 파형도 측정하였으며, 제작한 소자는 매우 빠른 역방향 회복 특성을 보였다.

Termination 방법 역시 고려되어야 한다. Floating Metal Ring (FMR)은 추가적인 공정을 필요로 하지 않으므로 그러한 방법들 중 비교적 쉽고 신뢰성을 지니고 있는 방법이라고 보고 되었다.[5],[7],[10]

본 연구의 목적은 Ni/Au 쇼트키 접합의 산화를 통해 역방향 특성을 개선한 AlGaIn/GaN hetero-structure에 수평 GaN 쇼트키 장벽 다이오드를 제작하는 것이다. Ni/Au 쇼트키 접합을 산화한 후 누설 전류는 현저히 감소하였으며 항복 전압은 증가하였다. 우리는 역방향 특성을 개선하기 위해 Multiple Floating Metal Rings를 Edge Termination을 위해 적용하였다. FMR은 FMR을 따라 공핍 영역을 확장시켜 주므로 효과적으로 주 쇼트키 접합의 전계 집중을 막아준다고 알려져 있다.[5],[7],[10] 3개의 FMR을 적용하였을 때 750V의 큰 항복 전압을 얻을 수 있었다.

1. 서 론

GaN나 SiC, 다이아몬드와 같은 Wide band-gap 물질들은 고온의 가혹한 조건 하에서 동작해야 하는 고전압 전력 전자 응용 분야에 적합하다. GaN는 Si이나 GaAs, SiC 등의 다른 물질들보다 우수한 이상적 물질 특성을 지니고 있으므로 GaN 전력 소자들은 미래의 고전압 전자 시스템을 위한 물질로 큰 가능성을 지니고 있다.[1] GaN의 Wide band-gap 특성과 3MV/cm 이상의 큰 항복 전계는 GaN 전력 소자가 높은 항복 전압과 낮은 누설 전류 특성을 가질 수 있게 한다.[2]

최근, GaN 쇼트키 장벽 다이오드(SBDs)는 훌륭한 동작 특성과 가능성으로 인해 전력 시스템 소자로 주목받고 있다. 다양한 수평, 수직 GaN 쇼트키 장벽 다이오드들이 보고 되어왔으며 GaN 쇼트키 장벽 다이오드들은 높은 항복 전압과 낮은 누설 전류, 그리고 빠른 스위칭 속도의 특성을 보였다.[3]-[6] GaN 쇼트키 장벽 다이오드의 높은 항복 전압과 낮은 온-저항이 주된 관심사가 되고 있으며 대부분의 연구가 이러한 특성에 초점을 맞추고 있다. AlGaIn/GaN hetero-structure에 제작된 쇼트키 장벽 다이오드가 높은 전자 운동도와 높은 캐리어 농도를 갖는 2차원 전자 가스층(2DEG)으로 인해 낮은 순방향 전압 강하와 높은 항복 전압을 가지는 것이 보고 되어 왔다.[6],[7] GaN 쇼트키 접합 다이오드의 순방향과 역방향 특성을 개선하기 위해 쇼트키 접합을 위한 금속으로 Pt, Ir, Pd와 같은 금속들이 사용된다. 이는 쇼트키 장벽 다이오드의 특성은 주로 쇼트키 금속과 표면 상태의 영향을 받기 때문이다.[8] 하지만, 쇼트키 접합으로 좋은 특성을 보이는 금속들은 매우 비싸므로 Ni과 같은 일반적인 금속에 처리를 하여 쇼트키 접합의 동작 특성을 개선하기 위한 방법을 찾는 것이 필요하다. N₂ 분위기 하에서의 어닐링을 통해 쇼트키 접합의 특성을 개선할 수 있다는 것이 보고 되었다.[9] 항복 전압을 증가시키기 위해 P+ 이온 주입을 통한 Planar Floating Guard Ring, Field Plate, Floating Metal Ring과 같은 Edge

2. 본 론

2.1 실험

MOCVD 방법으로 사파이어 위에 증착된 AlGaIn/GaN hetero-structure epi-웨이퍼를 사용하였다. 40nm 두께의 AlN가 C-평면 사파이어 기판 위에 결정핵 생성층으로 성장되었고, 그 후 3μm 두께의 반-절연 GaN층이 성장되었다. 33nm 두께의 도핑 되지 않은 AlGaIn층이 증착되었으며 5nm 두께의 도핑 되지 않은 GaN capping-층이 높은 항복 전압과 낮은 누설 전류를 위해 마지막으로 증착되었다. 홀 측정을 통해 면 전하 농도는 $7.8 \times 10^{12}/cm^2$ 이며 전자 운동도는 $1530cm^2/Vs$ 인 것을 확인하였다. 자연 산화물 제거를 위해, 오믹(ohmic) 금속 증착에 앞서 시편을 HCl:DI (1:1) 용액에 넣은 후 오믹 금속을 e-gun evaporator로 순차적으로 증착하였다. 오믹 접합을 위한 다층 금속 (Ti/Al/Ni/Au=20nm/80nm/20nm/100nm)을 사용하였으며, 오믹 접합은 N₂ 분위기 850°C에서 RTA를 사용하여 30초간 어닐링하였다. 쇼트키 접합 금속 (Ni/Au=50nm/150nm)은 e-gun evaporator로 증착되었으며 리프트-오프 기술을 사용하여 패턴을 형성하였다. 그 후 증착된 Ni/Au 시편을 퍼니스(furnace)에서 500°C, O₂ 분위기에서 다양한 시간을 통해 산화하였다. 제작된 쇼트키 장벽 다이오드의 단면도가 그림 1-a에 나타나 있으며, 그림 1-b는 산화 후 쇼트키 접합의 가장자리에 생긴 NiO를 도식적으로 나타내고 있다. 원형의 쇼트키 접합의 지름은 300μm이며 쇼트키 접합과 오믹 접합 사이의 거리는 100μm이다. FMR의 폭은 20μm이며 주 접합으로부터의 거리는 5μm이다.

역방향 회복 파형을 상온과 125°C에서 측정하였고 그 결과는 그림6에 나타나 있다. 패키징 하지 않고 프로브 스테이션에서 측정을 하였기 때문에 측정된 결과는 흔들리는 파형을 보여주고 있다. 공급 전압 (V_{DD})는 10V였으며 다이오드는 $100A/cm^2$ 의 순방향 전류에서 스위칭 되었다. 제작된 GaN 쇼트키 접합 다이오드는 125°C의 높은 온도에서도 매우 빠른 역방향 회복 특성을 보였다. 제작된 GaN 쇼트키 장벽 다이오드가 빠른 역방향 회복 특성과 더불어 높은 항복 전압과 낮은 온-상태 전압을 가지는 것은 주목할 만하다. 이 결과는 GaN 쇼트키 장벽 다이오드가 초고속 스위칭 능력과 높은 항복 전압을 요구하는 응용 분야에 적합한 소자라는 것을 의미한다.

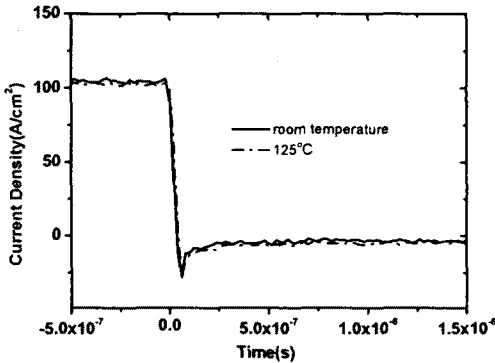


그림6. 역방향 회복 특성

3. 결 론

Ni/Au 쇼트키 접합의 산화를 통해 항복 전압이 증가하고 누설 전류가 감소한 수평방향 GaN 쇼트키 장벽 다이오드를 제안하였다. 10분의 산화 과정 후, 턴-온 전압은 1.1V에서 1.3볼트로 약간 증가하였으며 높은 애노드 바이어스에서 애노드 전류는 증가하였다. 누설 전류는 5분과 10분 산화 과정 후 $1nA$ 이하의 수준으로 현저히 감소하였다. 3개의 FMR을 edge-termination 방법으로 적용하였을 때 750V의 높은 항복 전압을 얻을 수 있었다. 상온과 125°C에서의 역방향 회복 파형 측정도 진행하였다. 제작된 GaN 쇼트키 장벽 다이오드는 높은 항복 전압과 낮은 온-상태 전압과 더불어 매우 빠른 역방향 회복 특성도 보였다. 이 결과는 GaN 쇼트키 장벽 다이오드가 초고속 스위칭 능력과 높은 항복 전압을 요구하는 응용 분야에 적합한 소자라는 것을 의미한다.

[참 고 문 헌]

[1] J. L. Hudgins, G. S. Simin, E. Santi, and M. A. Khan: IEEE Transaction on power electronics 18 (2003)
 [2] S. J. Pearton, J. C. Zolper, R. J. Shul, and F. Ren: Journal of Applied Physics 86 (1999) 1
 [3] G. T. Dang, A. P. Zhang, F. Ren, X. A. Cao, S. J. Pearton, H. Cho, J. Han, J. I. Chyi, C.-M. Lee, C.-C. Chuo, S. N. George Chu, and R. G. Wilson: IEEE Transaction on Electron Devices 47 (2000) 692
 [4] A. P. Zhang, J. W. Johnson, and F. Ren: Applied Physics Letter 78 (2001) 823
 [5] S.-C. Lee, J.-C. Her, S.-S. Kim, M.-W. Ha, K.-S. Seo, Y.-I. Choi and M.-K. Han: Proceeding of ISPSD (2004) 319
 [6] S. Yoshida, N. Ikeda, J. Li, T. Wada, and H. Takehara:

Proceeding of ISPSD (2004) 323
 [7] S.-C. Lee, M.-W. Ha, J.-C. Her, S.-S. Kim, J.-Y. Lim, K.-S. Seo, and M.-K. Han: Proceeding of ISPSD (2005) 247
 [8] G. H. Jessen, R. C. Fitch, J. K. Gillespie, G. D. Via, N. A. Moser, M. J. Yannuzzi, A. Crespo, R. W. Dettmer, and T. J. Jenkins: IEEE GaAs Digest (2003) 277
 [9] N. Miura, T. Nanjo, M. Suita, T. Oishi, Y. Abe, T. Ozeki, H. Ishikawa, T. Egawa, T. Jimbo: Solid-State electronics 48 (2004) 689
 [10] M. Bhatnagar, H. Nakanishi, S. Bothra, P. K. McLarty, and B. J. Baliga: Proceeding of ISPSD (1993) 89
 [11] J. K. Ho, C. S. Jong, C. C. Chiu, C. N. Huang, K. K. Shih, L. C. Chen, F. R. Chen, and J. J. Kai: Journal of Applied Physics 86 (1999) 4491
 [12] L. C. Chen, F. R. Chen, J. J. Kai, L. Chang, J. K. Ho, C. S. Jong, C. C. Chiu, C. N. Huang, C. Y. Chen, and K. K. Shih: Journal of Applied Physics 86 (1999) 3826

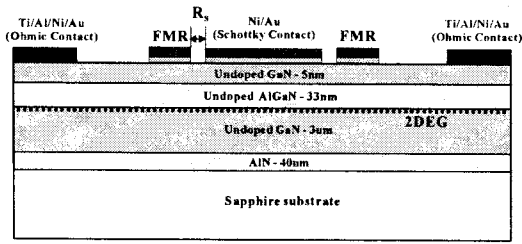


그림1.(a) GaN 쇼트키 장벽 다이오드의 단면도

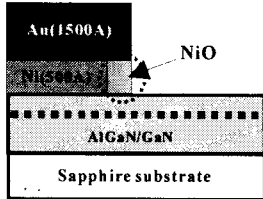


그림1.(b) 쇼트키 접합 NiO 형성 단면도

2.1.1 실험 결과 및 토의

다이오드는 AlGaIn/GaN hetero-structure 웨이퍼 위에 제작되었다. 순방향 전압이 쇼트키 접합에 인가되면, 캐리어는 쇼트키 접합으로부터 오믹 접합까지 AlGaIn층과 GaN층 사이에 존재하며 많은 양의 캐리어를 저장할 수 있는 2차원 전자 가스층 (2DEG)을 통해 흐른다. 따라서 AlGaIn/GaN hetero-structure를 사용하여 매우 낮은 온-상태 전압과 높은 전류 능력을 갖는 쇼트키 접합 다이오드를 만들 수 있다.

FMR을 사용하지 않고 제작한 GaN 쇼트키 장벽 다이오드의 산화 전/후 전류-전압 특성이 그림2에 나타나 있다. 1분 산화 과정 후 순방향 특성 변화는 작았다. 하지만, 5분과 10분 산화 과정 후 턴-온 전압은 1.1V에서 1.3V로 약간 증가하였으며 높은 애노드 바이어스에서 전류 능력은 현저히 증가하였다. Ideality 계수는 10분 산화 과정 후 1.9에서 1.5로 개선되었다. Ni/Au 접합의 산화는 p-타입 GaN의 오믹 접합 저항을 개선하기 위해 쓰인다.[11],[12] 순방향 특성의 변화는 NiO 형성과 Ni과 GaN 사이의 반응에 의한 표면 상태의 개선으로 보인다.

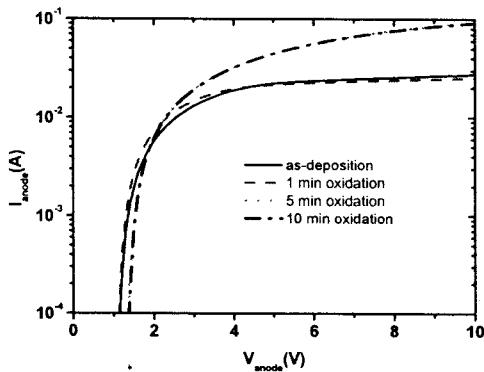


그림2. 산화 전/후의 전류-전압 특성

산화 후 순방향 전류의 증가는 NiO의 형성과 표면 상태 개선의 두가지 요인에 의해 야기될 수 있다. 산화 전후의 표면상태의 변화를 규명하기 위해 두개의 오믹 패드 사이의 전류와 오믹 접합 저항의 변화를 측정하였다. 그림3에 나타나 있듯, 5분과 10분 산화 후 오믹 접합 저항의 변화는 거의 없던 반면 두 오믹 금속 패드 사이의 전류

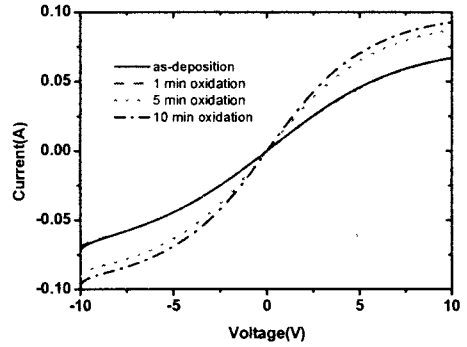


그림3. 산화 전/후 두개의 오믹 금속 패드 사이 특성

는 증가하였다. 이러한 결과는 AlGaIn/GaN hetero-structure의 표면이 산화 과정 후 개선되었으며 2DEG의 캐리어도 증가하였다는 것을 의미한다. 200V의 높은 역 바이어스 하에서 산화 과정 전과 후의 누설 전류를 측정하였다. 산화 과정 후, 누설 전류는 그림 4에 나타난 것과 같이 감소하였다. 특히, 5분과 10분의 산화 과정 후 누설 전류는 1nA이하의 수준으로 현저히 감소하였다.

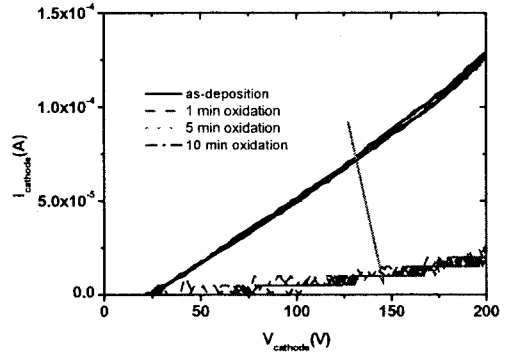


그림4. 산화 전/후 누설 전류 특성 변화

항복 전압을 증가시키고 누설 전류를 감소시키기 위해 FMR을 적용하였으며 산화 과정을 수행하였다. FMR의 폭은 20μm이며 주 접합(Rs)으로부터 FMR까지의 거리는 5μm이다. FMR의 개수가 증가할수록 주 쇼트키 접합 아래 낮은 전계 집중이 되므로 누설 전류가 감소하는 것이 그림 5에 나타나 있다. 3개의 FMR을 적용했을 때에 750V의 높은 항복 전압을 가지는 것을 확인하였다.

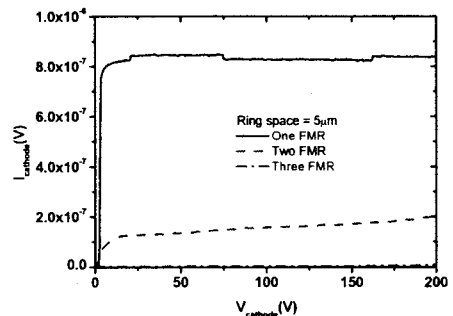


그림 5. FMR 개수에 따른 역방향 특성 변화