

Ni과 Ag 금속을 이용한 N-type Si Schottky Junction 광전소자

서철원¹, 홍승혁¹, 윤주형¹, 김준동^{1,a}

¹ 인천대학교 전기공학과

N-type Si Schottky Junction Photoelectric Device Using Nickel and Silver

Cheolwon Seo¹, Seung-hyouk Hong¹, Ju-Hyung Yun¹, and Joondong Kim¹

¹ Department of Electrical Engineering, Incheon National University, Incheon 406-772, Korea

(Received March 10, 2014; Revised April 8, 2014; Accepted April 17, 2014)

Abstract: A thin metal-embedding Schottky device was fabricated for an efficient photoelectric device. Semitransparent thick of 10 nm metal layers were deposited by sputtering of Ag and Ni on a Si substrate. The (111) N-type Si wafers with one-side polished, 450~500 μm and resistivity 1~20 $\Omega\cdot\text{cm}$ were used. High rectifying ratio about 100 from Ni-Schottky device was achieved. This design would provide an effective scheme for high-performing photoelectric devices.

Keywords: Schottky junction, Photoelectric device, On/off ratio

1. 서 론

현재의 상업용 Si solar cell의 변환효율은 ~20%에 도달하였다. Solar cell 제작은 고온, 고압의 진공과 고순도의 Si 재료를 필요로 했고, 이는 단가 상승의 주된 원인이 되어왔다 [1,2].

Schottky junction을 이용한 광전소자는 기존의 P-N junction solar cell과 달리 도핑 공정이 없어 저온 제작 공정에 적합하다 [3,4]. 또한, 금속-반도체의 간단한 구조로 인해 대면적 생산을 통한 원가절감의 효과를 볼 수 있기 때문에 이에 대한 많은 연구가 시행되어 왔다. 현재 Schottky junction을 이용한 광전

소자 분야는 Si를 대체하기 위한 GaN, InP, CdSe, CdS와 같은 III-V족, II-VI족 화합물 기판과 graphene layer을 이용한 소자들이 개발되고 있다. 그러나 위와 같은 공정은 값비싼 기술력과 추가적인 공정으로 인해 태양전지의 변환효율은 높일 수 있으나, 높은 생산단가로 인해 가격 경쟁력을 저하시킨다.

추가적으로 기존의 P-type solar cell에서는 장시간의 광조사에 의한 붕소-산소 쌍이 서로 결합, 불순물 준위 (impurity level)를 형성하여 carrier lifetime을 감소시킨다. 결과적으로 solar cell의 효율이 초기보다 감소하게 되는 광열화 현상 (light induced degradation, LID)이 발생한다 [5,6]. 이러한 LID를 감소시키기 위해서는 붕소와 산소의 농도를 줄일 필요가 있다. 그러나 붕소의 농도를 저감시키면 기판의 resistivity가 높아짐으로 인해 적렬 접촉저항이 상승하고, Voc가 감소하므로 solar cell 효율을 낮추게 된다. 또한, 산소의 농도를 감소시키기 위해서는 silicon

a. Corresponding author: joonkim@incheon.ac.kr

ingot 제작 시 추가 공정을 필요로 한다 [7]. 이러한 이유 때문에 N-type Si 기판을 이용하여 LID가 근본적으로 발생하지 않는 solar cell을 제작하는 연구도 많이 진행되었다.

본 연구에서는 N-type Si 보다 높은 일함수를 갖는 Ni과 Ag 금속을 사용하여 N-type Si 기판으로 Schottky 광전소자를 제작하고 그에 따른 특징을 비교 및 분석하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서 이용한 기판은 비저항 1~20 Ωcm , 결정면 (111), 두께 $475 \pm 25 \mu\text{m}$, 4인치 N-type Si 웨이퍼로서 인으로 도핑된 기판을 사용하였다. 실험을 진행하기에 앞서 세정 작업을 진행하였다. 세정작업은 acetone, methanol, DI water에 순서대로 5분씩 Ultrasonic cleaner로 세정한 후, N_2 blowing으로 건조 처리를 진행하였다. 실험에 필요한 금속 박막을 증착하기 위해 SNTEK사의 Magnetron sputtering system을 이용하였다.

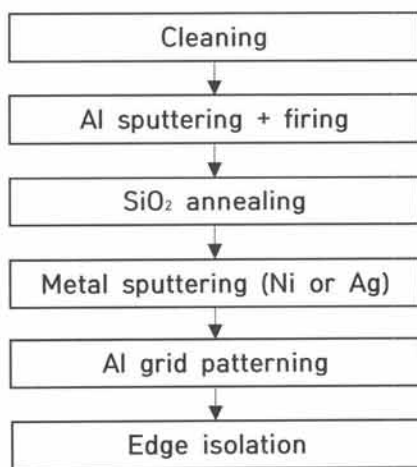


Fig. 1. Process sequence of the sample.

그림 1은 본 연구에서 제작한 Schottky junction을 이용한 광전소자의 제작 과정을 도식적으로 나타낸 것이다. 기판 후면에 Al을 이용하여 ohmic junction을 형성한 후, Ar 분위기, 500°C 에서 15분 간 Annealing 하였다. 이후, 전면에 열산화법으로 30 \AA 의 산화막을 Ar 분위기, 600°C 의 조건으로 성장하였다. 산화막 위

에 진공 증착기를 사용하여 Ni 혹은 Ag을 전면 Schottky 금속으로 이용한 소자에 후면 Al 전극을 형성하였다. 시편의 표면 및 단면을 관찰하기 위해 JEOL사의 scanning electron microscope (SEM, JSM-7001F)과 TEM (transmission electron microscope)을 이용하였다. 또한, 전기적 특성을 관찰하기 위해 AIT사의 sheet resistance measurement system을 이용하여 면저항을 측정하였고, McScience사의 K3100QX를 이용하여 시편의 광 특성 및 특정 파장대별 on-off ratio를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Schottky junction을 이용한 광전소자는 기존의 제작공정보다 간단하다. 기판 전면에 특정 dopant로 도핑을 해야 하는 것과 달리 기판의 전자친화도 ($q\chi$, electron affinity) 보다 큰 일함수 ($q\psi_M$, work function)을 갖는 금속을 전면에 증착시킨다. 그다음으로 기판의 전·후면과 음성 접촉을 만드는 금속전극을 증착시키면 Schottky 소자가 완성된다.

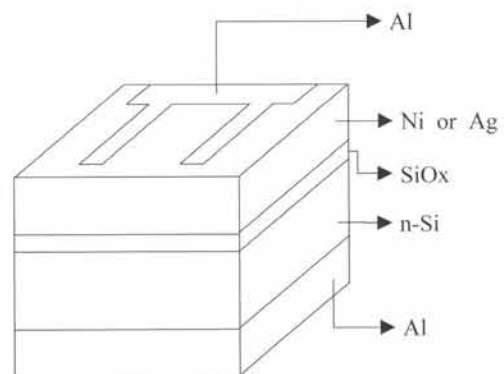


Fig. 2. Structural diagram of the sample.

본 연구에서는 그림 2와 같이 금속과 실리콘 사이에 SiOx층을 삽입한 Schottky 광전소자를 제작하였다. 금속과 실리콘 사이에 annealing에 의한 산화층을 삽입하게 되면 실리콘 벌크내부의 불순물에 의한 재결합 손실이 줄게 되어 passivation 효과를 볼 수 있다. 추가적으로, Ni과 Ag의 일함수는 각각 4.5 eV와

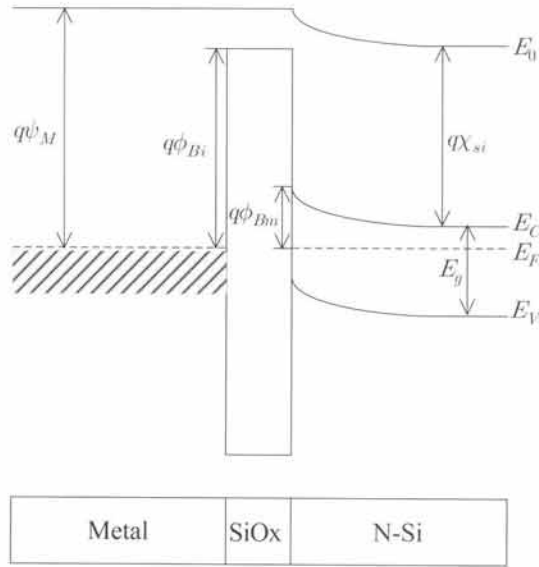


Fig. 3. Energy band diagram of Schottky junction with a SiOx layer.

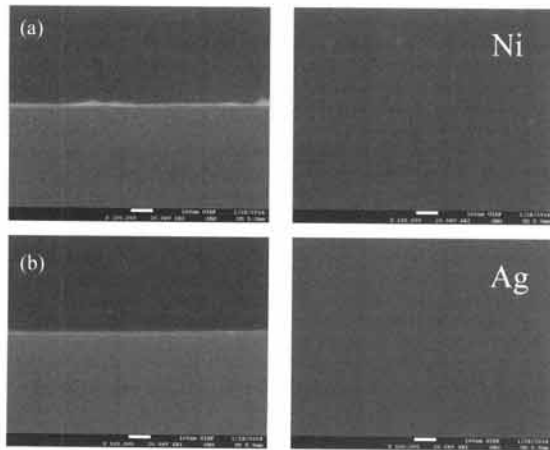


Fig. 4. Cross-sectional-view (left) and top-view (right) images by SEM: (a) the surface of Ni and (b) the surface of Ag.

4.3 eV이므로, 금속의 일함수와 Si의 전자친화도 차이인 SBH (Schottky barrier height)는 각각 0.45 eV (Ni)와 0.25 eV (Ag)가 된다. SiOx층을 형성함으로써 SBH를 높여 큰 내부전위 (built-in potential)을 만들 수 있다 (그림 3).

그림 4는 (a) Ni과 (b) Ag가 증착된 시편의 단면과 표면을 SEM으로 관측한 사진이다.

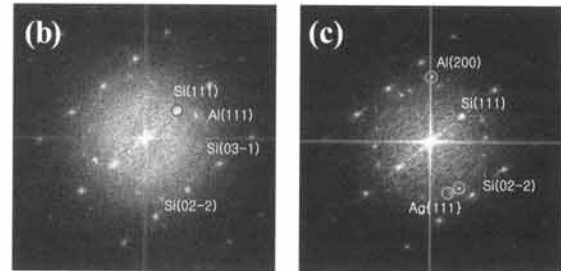
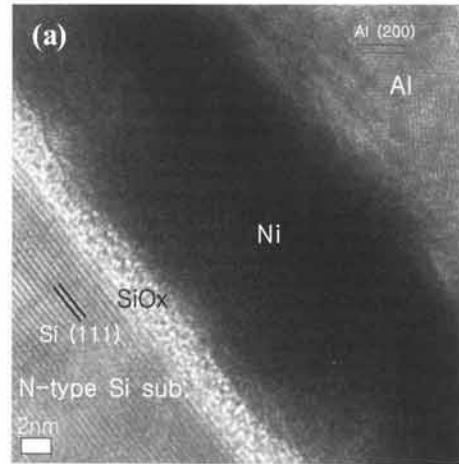


Fig. 5. (a) Cross section TEM images of Ni sample, selected area electron diffraction (SAED) pattern of (b) Ni, (c) Ag.

그림 4에서 전면 Schottky 금속 (Ni 혹은 Ag)의 단면을 비교했을 때 Ag보다 Ni이 증착된 단면이 더 균일하게 형성된 것을 알 수 있다. 반면에 Ni과 Ag중에서 Ag가 증착된 표면의 morphology가 더 균일한 것을 확인하였다.

그림 5는 TEM으로 관측한 시편의 단면과 각 금속별 SAED (selected area electron diffraction) pattern이다. 그림 5에서 N-type Si 기판에서는 (111) 방향의 단결정 (single crystal) 격자구조의 층이 형성되어 있는 반면에 산화층에서는 약 3 nm의 비정질 (amorphous)의 SiOx층이 형성되었다. 또한, Al은 일부 결정이 (200) 방향을 갖는 다결정 (polycrystal)이 형성된 것을 확인하였다. 소자의 다이오드 특성을 알아보기 위해 암상태에서의 I-V 측정을 하여 결과를 그림 6에 정리하였다. 비교 결과는 Ni-Schottky 소자의 누설전류가 2.01 μA 이고 Ag-Schottky 소자의 누설전류는 1.95 nA로, Ni이 증착된 시편의 누설전류가 약 1,000배 정도 낮았다. Ni와 Ag의 면저항은 각각 877.5 Ω/\square 과 6.23 Ω/\square 이 측정되었다.

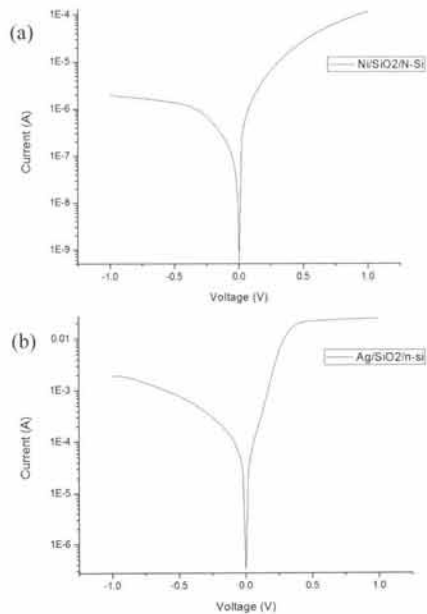


Fig. 6. Dark I-V characteristics of Schottky devices: (a) Ni/SiO₂/n-Si and (b) Ag/SiO₂/n-Si.

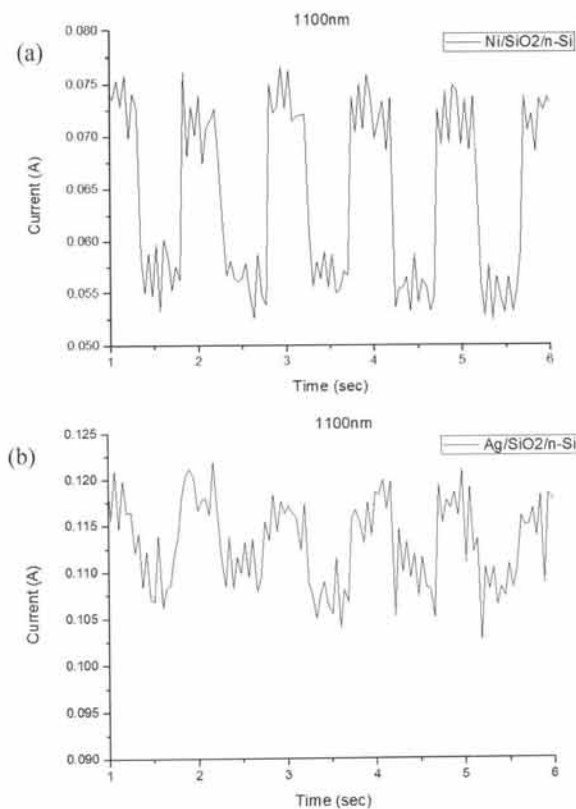


Fig. 7. Current characteristic graph when 1,100 nm light was given on (a) Ni/SiO₂/n-Si and (b) Ag/SiO₂/n-Si.

또한, rectifying ratio를 +1 V와 -1 V일 때의 전류비 (I_{+1V}/I_{-1V})로 정의하였다. Ni-Schottky 소자는 rectifying ratio값이 93.33 정도로, Ag-Schottky 소자는 12.86인 것과 비교하면, 약 7배 더 뛰어난 정류 특성이 높은 것을 확인되었다. 이는 SBH의 값이 클수록 누설전류를 효과적으로 저감시킬 수 있음을 확인한 결과이다.

그림 7은 Ni/SiO₂/n-Si와 Ag/SiO₂/n-Si 샘플에 1,100 nm 파장대의 빛을 조사시켰을 때의 전류 특성 곡선을 나타낸 것이다. 양자효율 측정기를 이용하여, 1,100 nm를 조사하여 소자에 대한 광반응으로서, 빛에 대한 소자의 반응 전류 (I_{light})와 빛이 조사되지 않았을 때의 전류 (I_{dark})의 값으로 표현된다. Ni Schottky 소자는 광반응 전류가 최대 75 mA이며, Ag Schottky 소자의 광반응 전류는 12 mA인 것과 비교하여 상당히 큰 값을 가지는 것을 확인하였다.

이는 해당 금속이 실리콘과 이루는 SBH와의 연관성이 있다. Ni-Si SBH값 (0.45 eV)은 Ag-Si의 SBH (0.25 eV)값보다 크다. 이는 금속과 실리콘과의 접합에서 발생하는 전계에 직접적인 영향을 미치는 것으로, 빛의 조사로 발생한 광캐리어 (photocarriers)의 수집을 용이하게 할 수 있는 직접적인 인자이다. 이에 따라, Ni-Si 소자에서 더 큰 광전류 특성을 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

이번 실험에서 두 가지 다른 금속을 이용한 Schottky junction 광전소자를 제작하였으며, 금속-실리콘 계면의 특징을 확인하였고, 다이오드 및 광학적 특성을 분석하였다. Magnetron sputter 증착 방식을 이용하여, 빛이 투과할 수 있는 얇은 Schottky 금속 박막을 실리콘에 증착하여 빛에 효과적으로 반응하는 광전소자 제작을 확인하였다.

Ni-Schottky 소자는 Ag-Schottky 소자에 비해 누설전류가 1/1,000배 정도로 낮았고, 그에 따라 뛰어난 rectifying ratio값을 가지는 것을 확인하였다. 실리콘과 금속 간의 일함수 차이에 기인하는 SBH값은 Schottky 소자의 특성을 제어하는 요소이며, 인가된 빛에 대한 감응에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이러한 금속-반도체 Schottky 소자를 이용하여, 특정 파장에 감응이 높은 광센서 기술에 응용될 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 논문은 한국에너지기술평가원의 지원(KETEP 20133030011000)과 2013년도 미래창조과학부의 재원으로 신기술융합형성장동력사업의 지원(2013K000194)을 받아 수행되었음.

REFERENCES

- [1] C. Y. Liu, and U. R. Kortshagen, *Nanoscale Research Letters*, 5, 1253 (2010).
- [2] S. H. Hong, J. H. Yun, H. H. Park, and J. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, 103, 153504 (2013).
- [3] D. Zadeh, Y. Suzuki, K. Kakushiiima, A. Nishiyama, N. Sugii, K. Tsutsui, and H. Iwai, *Characterization of Metal Schottky Junction for InGaAs Substrate Characterization of Metal Schottky Junction for InGaAs Substrate* (2013).
- [4] M. Soylyu and F. Yakuphanoglu, *Thin Solid Films*, 519, 1950 (2011).
- [5] S. J. Tark, Y. D. Kim, S. M. Kim, S. E. Park, and D. H. Kim, *New & Renewable Energy*, 8, 12 (2012).
- [6] S. W. Glunz, S. Rein, J. Y. Lee, and W. Warta, *J. Appl. Phys.*, 90, 2397 (2001).
- [7] D. Macdonald, F. Rougieux, A. Cuevas, B. Lim, J. Schmidt, M. Di Sabatino, and L. J. Geerligs, *J. Appl. Phys.*, 105, 093704 (2009).