

RF 마그네트론 스퍼터링을 이용한 박막 증착에 관한 연구

이 우 식*

A Study of Thin Film deposition using of RF Magnetron Sputtering

Woo Sik Lee*

요 약 본 논문은 RF 마그네트론 스퍼터링 장비를 이용하여 ITO 유리에 N-type 및 P-type을 증착하였다. N-Type의 옴접촉은 모든 조건에서 잘 되었다. 면저항은 RF Power가 증가할수록 면 저항이 증가되는 현상을 나타내었다. 증착한 박막의 표면을 분석해 본 결과, RF Power가 250W이고, 기판온도가 250°C의 조건에서 입자가 균일하고 크기가 일정한 박막이 증착 된 것으로 측정되었다. P-Type은 모든 조건에서 옴접촉이 잘 이루어졌으며 면저항은 RF Power가 증가할수록 증가되는 것으로 나타내었다. RF Power가 증가할수록 두께가 증가하고 안정화 된 것을 알 수가 있었다. PN junction 박막과 NP junction 박막은 스퍼터링 시간이 증가할수록 박막의 두께가 증가하고 안정화 된 것을 알 수가 있었다. PN junction 박막을 제작한 결과, 변환효율은 스퍼터링 시간이 10분일 때 0.2로 가장 우수하였다.

Abstract This paper used RF Magnetron Sputtering to deposition n-type and p-type to ITO glass. The N-type ohmic contact worked well under all conditions. Sheet resistance has been shown to increase sheet resistance as RF Power increases. After analyzing the surface of the deposited thin film, in the condition that RF Power was 250W and substrate temperature was 250°C, particles were measured to have a uniform and consistent thin film. P-type has good ohmic contact under all conditions and sheet resistance has been shown to increase as RF Power increases. As the RF Power grew, thickness increased and stabilized. PN junction thin film and NP junction thin film showed increased thickness and stabilized as sputtering time increased. As a result of thin film, conversion efficiency was at 0.2 when sputtering time was 10 minutes.

Key Words : N-type, Ohmic contact, P-type, RF Magnetron Sputtering, Sheet resistance, Substrate temperature

1. 서론

현재까지 태양전지 재료 중 단결정 웨이퍼를 사용하는 벌크형 태양전지는 높은 전력변환 효율과 자원이 풍부하므로 태양전지 시장에서 많은 부분을 차지하고 있다. 그러나 태양전지의 단결정 기판은 다결정 기판에 비하여 가격이 비싸며 공정개발에 의한 단가 절감에 한계성을 가지고 있으므로 수요가 적어 가격 하락을 기대하기 어렵다[1,2]. 태양전지 모듈 가격의 50% 이상이 패널 가격이므로 단결정 태양전지 연구개발의 방향은 구조의 개발, 패널 내부의 불순물 평가와 아몰

리 저렴한 재료를 사용하고 공정과정을 줄여서 태양전지 패널 가격을 낮추면서, 우수한 전기적 특성을 획득할 수 있는 연구 방향으로 진행되고 있다[3,4].

단결정 태양전지는 화합물 태양전지에 비해 효율이 다소 떨어지지만, 양산기술이 많이 발전되고 있으므로 태양전지 산업의 우위를 점할 것으로 예상된다. 일반적인 태양전지 제조공정 방법으로는 스퍼터링, CVD, 스크린 프린터법, R2R 등이 있다[5,6,7]. 본 에서는 단결정 태양전지 공정과정을 줄일 수 있는 방법으로 RF 마그네트론 스퍼터링을 이용하였다. 또한 실리콘 웨이퍼를 대치할 수 있는 ITO 유리 기판으로 사

* Corresponding Author : Department of Chemical & Biological Engineering, Gachon University (leews@gachon.ac.kr)
 Received October 31, 2018 Revised November 05, 2018 Accepted December 10, 2018

용하였다. ITO 유리 위에 N-type, P-type를 각각 RF Power, 증착시간, 기판온도 변화를 주어 전기적 특성을 관찰하였다.

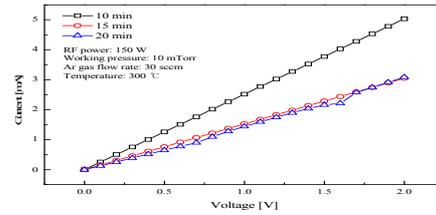
2. 실험방법

박막을 제작하기 전에 ITO 유리 기판을 세척 한 후, 지지대에 ITO 유리 기판을 삽입하고, Roughing Valve를 열어 1×10^{-2} Torr까지 유지한 후, 터보 스위치를 켜서 27,000 rpm로 유지되면 메인 밸브를 열어 고진공 상태로 유지하였다. 고진공 상태로 유지되면 열처리를 시작하여 기판온도를 상승시킨다. 고진공이 되면 공정압력을 0으로 조정하고, MFC로 아르곤 가스를 30 sccm으로 주입시킨 후, 공정압력을 10 mTorr로 유지하였다. RF Power를 고정시켜 스퍼터링을 시작하여 박막을 증착하게 된다. 박막증착이 끝나면 증착된 기판을 꺼내어 확인한다. 박막제작시 RF power를 150, 200, 250 W로 변화 주었고 열처리온도를 300°C, 스퍼터링 시간은 10, 15, 20분으로 변화를 주었고 기판온도는 30°C로 하여 증착하였다. 제작된 박막은 전류-전압 특성을 관찰하였고, 4-포인트 프루브 장비를 이용하여 면저항을 측정하였다. 또한 Solar simulator를 이용하여 변환효율을 측정하였다.

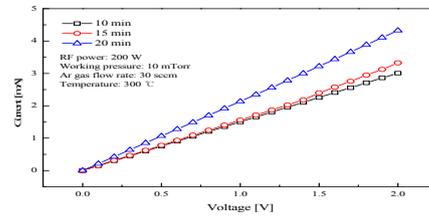
3. 결과 및 고찰

논문에 사용된 N-type은 Ba이며 순도는 99.5%이고 4 inch를 사용하였다. 박막을 제작하기 위해 RF power를 150 W, 200 W, 250 W로 변화시켰으며 스퍼터링 시간은 10, 15, 20분으로 변화를 주었고, 열처리 온도는 300°C, 기판온도는 30°C로 하여 증착하였다. ITO 유리에 N-type 박막을 증착하였을 때, 오믹 접촉이 잘 이루어지는지 알아보기 위하여 전류, 전압을 측정하였다. 측정된 결과를 그림 1에 나타냈다. 그림 1에서 RF Power 변화 및 스퍼터링 시간 변화에 의한 박막은 전반적으로 오믹 접촉이 잘 이루어지는 것을 알 수 있었다. 결론적으로 ITO glass 위에 N-type이 잘 증착된 것으로 판단할 수가 있었다. 그림 2는 열처리 온도가 300°C 조건에서 RF power를 변화시켰고 스퍼터링 시간을 변화시켰을 때의 면저항을 측정한

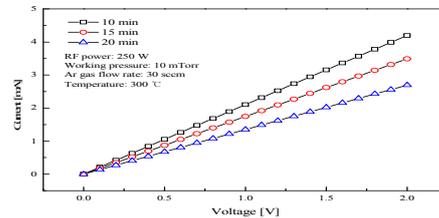
결과를 나타낸 것이다. 스퍼터링 시간이 15분일 때 RF power를 변화시키고 면저항 측정값은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 이것은 스퍼터링 시간이 15분일 때 박막형성이 가장 안정적이라고 예측할 수 있다.



(a) 150 W



(b) 200 W



(c) 250 W

그림 1. 전류-전압 특성

Fig. 1 Characteristics of I-V

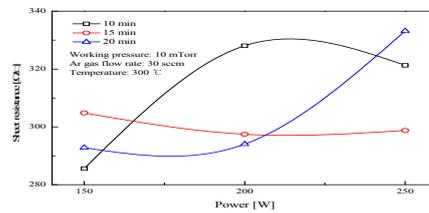


그림 2. 면저항 특성

Fig. 2. Characteristics of sheet resistance

RF Power가 증가할수록 박막에 증착된 입자가 균일하고 입자 크기가 크게 증착된 것으로 관찰되었고, 두께는 100 nm에서 150 nm로 커진 것을 알 수 있었다. P-type을 증착하기 위해 사용된 타겟은 P(인)이고 순도는 99.99%이며 4inch를 사용하였다. 박막제작 조건은 RF power를 150 W, 200 W 스퍼터링 시간은 10, 15, 20분으로 변화를 주었고, 열처리온도는 300°C, 기판온도는 30°C로 하여 박막을 제작하였다.

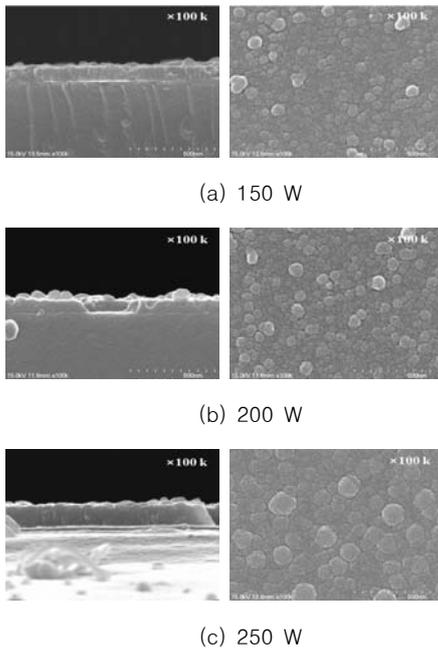
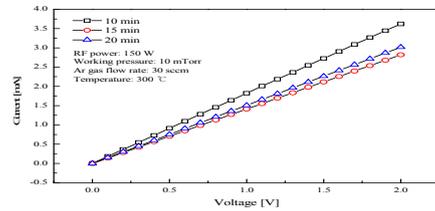


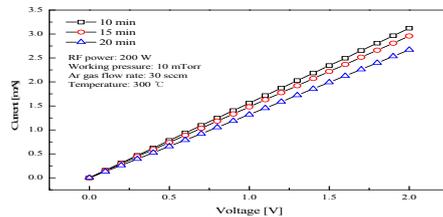
그림 3. N-type 박막의 SEM 사진
Fig. 3. SEM photographs of N-type thin film

ITO 유리에 P-type 박막을 증착하였을 때, 오믹 접촉이 잘 이뤄지는지 알아보기 위하여 전류-전압을 측정하였다. 그림 4에서 측정 결과를 나타냈다. RF Power 변화 및 스퍼터링 시간 변화에 의한 박막은 전반적으로 오믹 접촉이 잘 이루어지는 것을 알 수 있었다. 결론적으로 N-type과 같이 ITO 유리 위에 P-type이 잘 증착된 것으로 판단할 수가 있었다. 그림 5는 면저항을 측정한 것을 나타냈다. 스퍼터링 시간이 15분, 20분이고 RF power를 150,200 W로 변화를 시켜 제작한 박막은 면저항이 큰 변화가 없었다. 이

것은 스퍼터링 시간이 안정적으로 박막을 제작할 수 있는 조건인 것으로 예측 할 수 있었다.



(a) 150 W



(b) 200 W

그림 4 전류-전압 특성

Fig. 4. Characteristics of I-V

스퍼터링 시간이 10분일 경우, RF power 변화에 따른 면저항이 큰 차이가 발생한 것은 박막 두께가 커지면 면저항이 크다는 것을 알 수가 있었다. 그림 6은 RF Power 변화에 따라 박막 표면의 사진으로써, N-type 보다 균일하지 않게 박막 증착이 되었고, RF Power가 증가함으로써 두께가 증가되었고, RF Power가 200 W에서 입자가 크고, 표면이 균일하게 증착된 것을 확인할 수 있었다. N-type과 P-type 증착 결과가 우수한 조건을 기준으로 PN junction 태양전지의 특성을 분석하였다. ITO 유리에 P-type을 먼저 증착한 후에 N-type을 증착하였다.

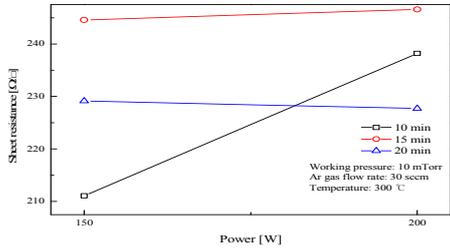


그림 5. 면저항 특성
Fig. 5. Characteristics of sheet resistance

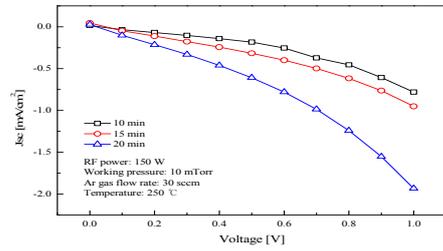
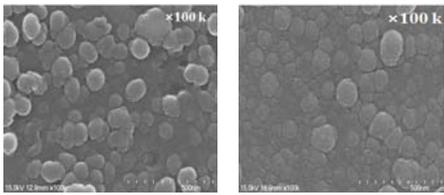
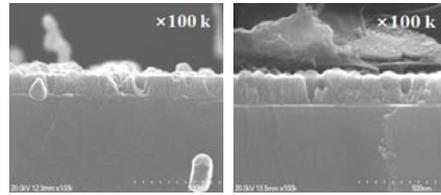


그림 7. PN 접합의 전류-전압
Fig. 7. I-V of PN junction

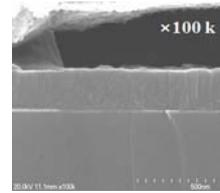


(a) 150 W (b) 200 W

그림 6. P-Type 박막의 SEM 사진
Fig. 6. SEM photographs of P-type thin film



(a) 10 min (b) 15 min



(c) 20 min

그림 8. PN 접합의 SEM 사진
Fig. 8. SEM photograph of PN junction

그림 7은 Solar simulator 이용한 전류-전압곡선을 측정하는 것이다. 식(1)을 이용하여 변환효율을 계산하였다[8].

$$Fill\ Factor = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{SC} \times V_{OC}} \quad (1)$$

이상적인 태양전지의 변환효율은 1이다, 실리콘의 경우 0.7 ~ 0.8로 측정된다. 본 실험에서 변환효율을 측정하는 결과, 스퍼터링 시간이 10분은 0.2, 15분은 0.19, 20분은 0.15로 측정되었다. 스퍼터링 시간이 증가할수록 변환효율이 감소하는 현상을 보였다. 그림 8은 스퍼터링 시간 변화에 의한 박막 측면을 SEM으로 측정하는 것을 나타낸 것이다. 스퍼터링 시간이 증가할수록 박막의 두께가 두꺼워지는 현상을 알 수 있었다.

그림 9는 NP접합의 전류-전압을 측정하는 것으로 스퍼터링 시간이 10분, 15분, 20분일 때 각각 0.09, 0.03, 0.04로 PN junction일 때보다 적게 측정되었다. 그림 10에서는 NP 접합시킬 때 스퍼터링 시간을 변화시켜 증착된 박막을 SEM으로 측정하는 것을 나타낸 것이다. 스퍼터링 시간이 증가할수록 박막 두께가 두꺼워지고 안정적으로 증착 되는 것을 확인 할 수 있었다.

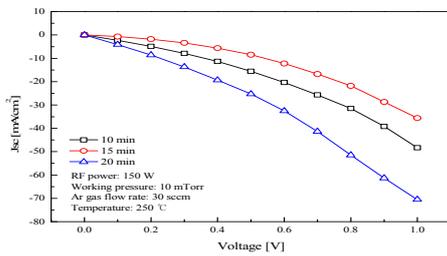


그림 9. NP 접합의 전류-전압

Fig. 9. I-V of NP junction

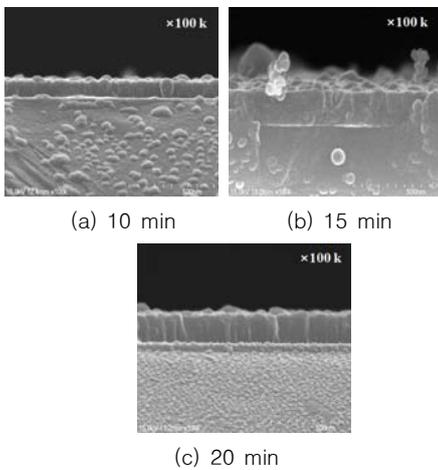


그림 10. NP junction SEM 사진

Fig. 10. SEM photograph of NP junction

4. 결론

본 논문은 RF 마크네트론 스퍼터링 장비를 이용하여 ITO glass에 실리콘박막 태양전지를 제작하기 위한 기초 연구로 N-type 및 P-type을 증착하여 SEM, I-V특성, 면저항에 대해 분석하였다.

1. N-type의 오픈 접촉은 RF power 변화 및 스퍼터링 시간변화와 관계없이 모든 조건에서 잘 접촉이 된 것을 알 수 있었고, 면저항은 RF Power가 증가할수록 면저항이 증가되는 것으로 나타났다. 증착된 박막의 표면과 단면을 분석해 본 결과, 전류-전압 특성이 가장 우수한 RF power 250 W 일 때와, 기판온도가 250℃인 조건일 때 입자가 균일하고 입자크기가 큰 것을 알 수 있었다.

2. P-type은 모든 조건에서 오픈접촉이 잘 이루어졌으며 면저항은 RF Power가 증가할수록 증가되는 것으로 나타났다. RF Power가 증가할수록 두께가 증가하고 안정화 된 것을 알 수가 있었다.

3. PN junction 박막을 제작한 결과, 변환효율은 스퍼터링 시간이 10분일 때 0.2, 15분일 때 0.19, 20분일 때 0.15로 측정되었다. 또한 스퍼터링 시간이 증가할수록 박막의 두께가 증가하고 안정화 된 것을 알 수가 있었다.

4. NP junction의 특성을 분석한 결과 변환효율은 스퍼터링 시간이 10분, 15분, 20분 일 때 각각 0.09, 0.03, 0.04로 측정되어 스퍼터링 시간이 증가할수록 박막 두께가 두꺼워지고 안정적으로 증착 되는 것을 확인 할 수 있었다.

결론적으로 ITO 유리에는 P-type을 증착하고 N-type을 증착하는 것이 더 좋은 결과를 얻을 수 있다. 본 실험을 기초로 하여 ITO 유리 위에 실리콘 태양전지를 제작할 때 전기적 특성 향상에 많은 도움이 될 것으로 예상된다.

REFERENCES

- [1] Chang Bong Kim, "The Study on the Reflection Coating Design Scheme in the Thin-Film Silicon Solar Cell", Journal of the Korea Academia- Industrial Cooperation Society, Vol.12, No.11 pp.5172~5177, 2011
- [2] Tae-Wook Kim, Hyung-Yun Kong, "Spectrum Sensing Method of Cognitive Network applying Energy Harvesting", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol.15. N0.3, pp73~76, June 2015
- [3] M.S.Jeon, S.Yoshiba and Koichi Kamisako, "Intrinsic amorphous silicon (a-Si:H) thin film prepared by using remote plasma chemical vapor deposition method and used as a passivation layer for a heterojunction solar cell", J.Korean Physc. Soc, 54, pp.194-199, 2009
- [4] C. Li, G. Fang, Y.Ren, Q.fu and X. Zhah,

- “Silver nanoisland induced synthesis of ZnO nanostructures by vapor phase transport”, J.Nanoscience and Nanotechnology, Vol. 6, pp. 1467- 1473, 2006
- [5] A.Bolonkin, “New concept of high speed AB solar cell”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol.44, pp.1538-1542, 2008
- [6] W. Shockley, H. J. Queisser, “Detailed Balance Limit of Efficiency of p-n Junction solar celled”, American Institute of Physics. 32, pp.510-519, 1961
- [7] M. Lu, “Silicon Heterojunction Solar Cell and Crystallization of Amorphous Silicon” ProQuest Dissertations And Theses: Thesis (Ph.D.)--University of Delaware, ISBN: 9780549924623, Volume: 69-12, Section: B, page: 7555.; 295 p.
- [8] A. McEvoy, L. Castaner, T. Markvart, “Solar cells(Materials, Manufacture and Operation)”, Academic Press, pp. 5-18, 2012,
- [9] Byung-Jin Lee, Sang-Lim Ju, Nam-il Kim, Kyung-Seok Kim, ‘Performance Analysis of High-Speed 5G MIMO System in mmWave Band’, The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication VOL. 18 No. 5, 2018

저자약력

이 우 식(Woo Sik Lee)

[정회원]



- 1998년 2월 ; 대구대학교
화학과(이학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 ; 가천대
학교 화공생명공학과 교수

<<관심분야>> 신재생에너지