

열처리온도에 따른 SnO₂/Si 이종접합 태양전지의 전기적 특성

논문
7-6-3

Electrical Characteristics of SnO₂/Si Heterojunction Solar Cells Depending on Annealing Temperature

이재형*, 박용관*

(Jae-Hyoung Lee, Yong-Kwan Park)

Abstract

The SnO₂/(n)Si solar cell was fabricated by electron beam evaporation method, and their properties were investigated. In proportion to increase of substrate and annealing temperature, the conductivity of SnO₂ thin film was increased, but its optical transmission decreases because of increasing optical absorption of free electrons in the thin film. SnO₂/Si Solar cell characteristics were improved by annealing, but the solar cells was deteriorated by heat treatment above 500[°C]. The optimal outputs of SnO₂/Si solar cell through above investigations were V_{oc}:350[mV], J_{sc}:16.53[mA/cm²], FF:0.41, η=4.74[%]

Key Words(중요용어) : SnO₂/Si solar cell(SnO₂/Si 태양전지), Heterojunction(이종접합), Oxide semiconductor(산화물 반도체), Electron beam evaporation(전자빔 증착법), Electrical property(전기적 특성), Optical property(광학적 특성).

1. 서 론

환경문제와 자원고갈로 인해 주목을 받기 시작한 태양전지는 1954년 Chapin 등이¹⁾ 확산형 p-n 접합을 이용하여 개발한 이래 전력생산을 위한 소자로서 경제성과 안정성 및 효율을 높이는 방향으로 각국에서 경쟁적으로 개발되고 있다. 그중 자원면에서도 풍부하고, 고효율화와 함께 대량생산에 가장 가능성이 높은 실리콘계 태양전지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.²⁾

지금까지 태양전지는 Si-Si 동종접합 태양전지가 주류를 이루어 왔으나, 제조 공정상의 복잡성 등으로 인한 제조비용의 상승때문에 이것보다 저가로 제조할 수 있는 비정질 실리콘 태양전지 및 다결정 화합물, 산화물 반도체의 이종접합이나 MIS(Metal-Insulator-Semiconductor), SIS(Semiconductor-Insulator-Semiconductor)구조³⁾의 태양전지가 큰 주목을 받고 있다.

특히 N형이나 P형 실리콘위에 도전성이 좋으며 가시광에 대하여 투명한 SnO₂나 ITO(Indium-tin-oxide) 등의 산화물 반도체를 접합시켜서 만든 SnO₂/Si 이나 ITO/Si 태양전지는 그 제작방법이 간단하며 제작비용이 저렴할 뿐 아니라 저온영역에서 제작이 가능하기 때문에 많은 관심을 모으고 있다.⁴⁻⁶⁾ 또한 이러한 산화물 반도체/IV족 반도체 구조의 태양전지는 산화물 반도체가 갖는 특성때문에 반사방지막이 필요하지 않은 잇점을 가지고 있다.^{4,7)}

이 이외에도 산화물 반도체 박막은 그 자체로 투명전도막으로 사용되고 있다.⁸⁾ 특히 산화물이 갖는 큰 energy gap 때문에 가시광 영역의 빛을 90% 이상 투과시키며, 적절한 불순물 주입에 의해서 그 전기저항을 줄일 수 있기 때문에 비정질 실리콘 태양전지등의 투명전극으로 그 응용성이 높아가고 있는 전자재료중의 하나이다.^{8,9)}

이중 SnO₂박막의 물성에 대해서는 1931년 Littleton에 의해 그 전도성이 발견된 이래 투명한 물질이라는 흥미때문에 그 전기적·광학적 성질을 중심으로 많은 연구가 있었으며, 그 제작방법도 진공증착법을 비롯하여 Sputtering, C.V.D.법, Spray

* : 성균관대학교 전기공학과
접수일자 : 1994년 5월 23일
심사완료 : 1994년 8월 4일

법등이^{8,11)} 개발되어 있다. 따라서 SnO₂/Si 태양전지의 제작에 있어서도 SnO₂의 제작방법을 달리하여 그 특성을 조사한 보고가 많이 있으며^{4,6,12)}, 특히 전자선 증착법(Electron-Beam Evaporation Method)에 의한 방법은 종래의 직접저항 가열방식에 의한 진공증착법과 비교하여 볼 때, 고순도의 박막을 제조할 수 있을 뿐 아니라, 산화물과 같은 용융점이 높은 물질을 쉽게 증착시킬 수 있는 잇점이 있다. 그러나 이러한 전자빔 증착법에 의해 제조된 Sn₂박막의 물성에 관해서는 충분히 연구되고 있지 않다.

따라서 본 논문에서는 SnO₂ 박막을 전자빔 증착법으로 제조하여 기판온도 및 열처리온도에 따른 박막의 물성을 고찰하였다. 또한 SnO₂/Si 이종접합 태양전지를 제조하여 열처리온도에 따른 특성변화를 조사하였고, 이러한 결과들을 토대로 SnO₂ 박막의 물성변화가 SnO₂/Si태양전지의 특성에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 실험

2.1. 시편제작

2.1.1. SnO₂ 박막의 제작

SnO₂ 박막을 증착할 기판으로는 slide glass (76×26×1[mm], W. Germany, Superior)를 Trichloroethylene, acetone, ethylalcohol 순으로 10분간 초음파 세척하였고, 탈이온수로 헹군 뒤 건조기에서 물기를 제거한 후 사용하였다.

증착에 사용된 증착기로는 전자빔 진공증착기(Electron Beam Vacuum Evaporator, ANELVA Co.)로서 시편제작을 위해 chamber내를 10⁻⁶[torr] 이하로 배기한 후 전압을 4[KV]정도로 유지시키고, 전류를 조절하여 3×10⁻⁵[torr]의 증기압으로 SnO₂ target(Aldrich, 99.9999%)를 tungsten crucible로부터 증발시켜 박막을 제조하였다. 이때 증착속도는 20[Å/min]를 유지하였고, 기판의 온도는 실온에서 300[°C]까지 50[°C]간격으로 변화시켰다.

SnO₂박막의 두께는 chamber내의 진공도 및 전류를 일정하게 유지시킬 때 증착시간에 비례하게 되므로 증착시간으로 조절하였다. 대략적인 두께는 간섭색깔의 변화로 알 수 있었고, 보다 정확한 두께는 Alpha Step을 이용하여 측정하였다.

이와같이 제조된 SnO₂박막의 열처리에 의한 효과를 관찰하기 위해 진공중에서 약 1시간 동안 열처리한 후 그 특성변화를 조사하였다.

2.1.2. SnO₂/Si 태양전지 제작

SnO₂/Si 태양전지를 제작하기 위한 기판으로는 비저항이 2-3[Ω·cm], 결정방위(100), 두께가 약 450[μm]이고 인이 도핑된 n-type 단결정 실리콘 웨이퍼를 사용하였다.

먼저 1.5×1.5[cm²]의 크기로 절단된 wafer를 증성세제로 초음파 세척을 한 후 HNO₃, H₂O₂, H₂O를 1:2:7의 비율로 섞은 용액에서 약 7분간 담가두어 제거되지 않은 단백질과 같은 잔류불순물을 제거하였고, HF와 H₂O를 1:100으로 섞은 etching액에 담구어 자연적으로 형성되어 있는 SiO₂막을 제거한 다음 탈이온수로 깨끗히 세척하여 사용하였다.

이렇게 준비된 Si wafer위에 SnO₂를 약 1000[Å]의 두께로 증착하였다. 이때 기판온도는 실온을 유지하였으며, 진공중에서 열처리하여 그 특성변화를 고찰하였다.

전극으로 표면은 silver paste를 이용하였고, 이면은 Ag를 진공 증착한 후 진공중에서 380[°C]로 약 10분간 sintering하여 양호한 ohmic 접촉특성을 이루었다.

그림 1은 위와같은 방법으로 제작된 SnO₂/Si 태양전지의 구조이다.

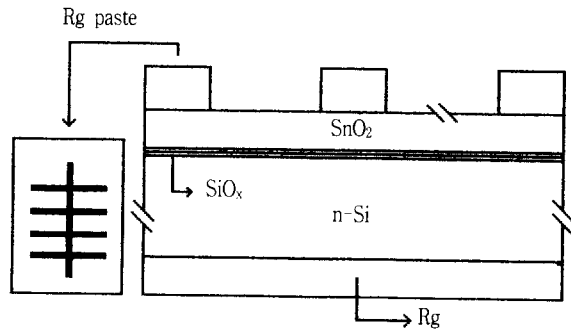


그림 1. SnO₂/Si 태양전지의 구조

Fig. 1. Structure of SnO₂/Si solar cell.

2.2. 측정

증착된 SnO₂박막의 비저항은 van der pauw법을 이용하여 측정하였고, 가시광선 영역에서의 광투과율은 spectrophotometer(HITACHI Co., U-320, Japan)사용하여 측정하였다. 또한 제작된 박막의 구조적 특성을 조사하기 위해 X선 회절검사(RIGAKU Co., Japan)를 하였다.

제작된 태양전지의 순방향 및 역방향 전류-전압 특성을 측정하기 위해 전류는 Electrometer(Takeda Riken Co., TR-8651)로, 전압은 digital

multimeter(Fluke, 8050A)로 모든 빛을 차단한 상태에서 각각 측정하였다. 또한 태양전지의 광전류 전압 특성은 그림 2의 회로를 이용하여 pyrometer(Model 3120, Division of Qualinetics, wethertronic inc. U.S.A.)로 빛의 세기를 50mW/cm²으로 조절하여 측정하였다. 이때 광원으로는 tungsten lamp(300W)를 사용하였고, 측정중 태양전지에 걸리는 바이어스 전압은 가변 저항을 사용하여 조절하였다.

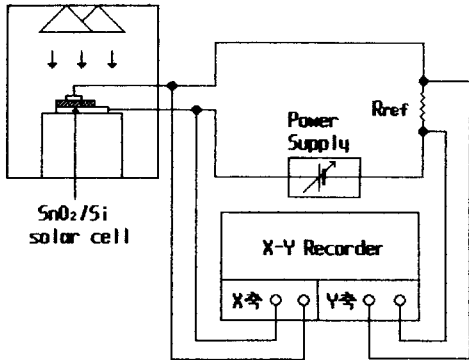


그림 2. 태양전지 광전류-전압측정 회로도
Fig. 2. Circuit diagram for photo I-V measurements of solar cell.

3. 결과 및 고찰

3.1. SnO₂ 박막의 특성

3.1.1. 기판온도 의존성

제작된 SnO₂ 박막의 기판온도에 따른 결정상태를 조사하기 위하여 X선 회절검사를 하였다. 이때 사용된 X-ray는 Cu-K_α(파장:1.542[Å])이며, 관전압은 30[KV], 전류는 80[mA]로 조절하였다. 회절각 2θ는 20°에서 80°, 주사속도는 6[deg/min]로 하여 측정하였고, 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

실온에서 증착된 박막의 경우 결정성이 없는 비

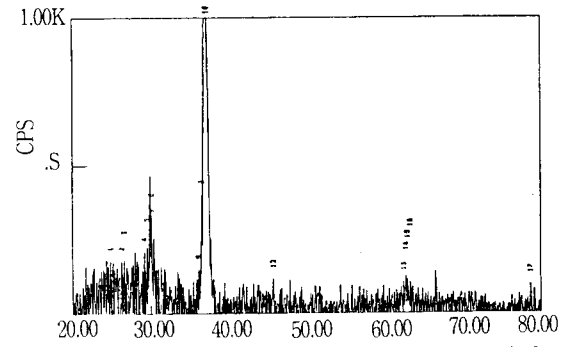
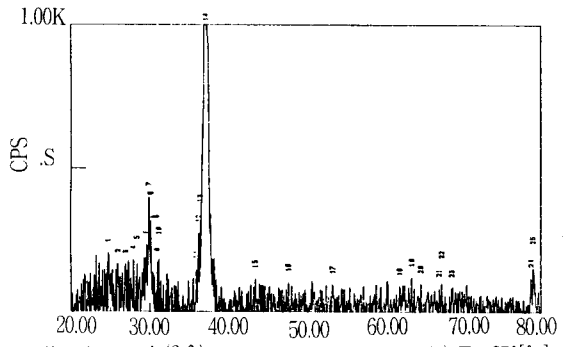
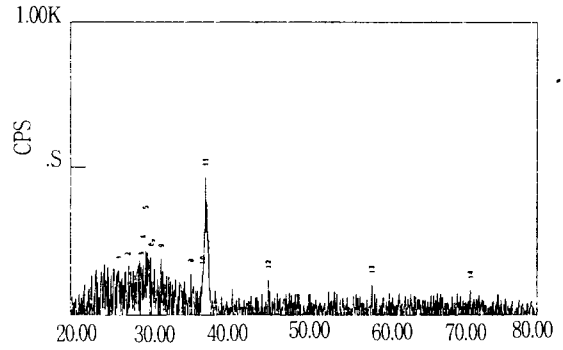
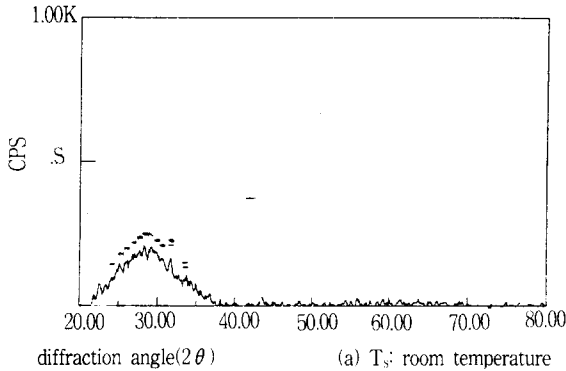


그림 3. 기판온도에 따른 SnO₂ 박막의 X선 회절 무늬

Fig. 3. X-ray diffraction pattern of SnO₂ films deposited with various substrate temperature.

정질 상태를 나타내지만 기판온도가 150[°C]일때부터 2θ가 36.96°에서 SnO₂ phase의 (200)면에 대응하는 회절 peak가 나타나기 시작하며, 기판온도가 증가함에 따라 이 peak의 상대적 세기가 증가함을 알 수 있다. 기판온도가 250[°C]인 경우 SnO phase의 (101)면에 해당하는 제2의 peak가 2θ가 29.95°에서 나타나며 온도증가에 따라 제1 peak

와 함께 성장해 나가는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과로부터 제조된 박막은 SnO₂와 SnO의 혼합물로 이루어져 있으며, 보다 높은 기판온도에서 결정화가 더욱 잘 이루어짐을 알 수 있고, 기판온도가 증가함에 따라 제조된 박막의 구조는 SnO₂에서 SnO구조로 변화한다는 Debajyoti⁸⁾의 보고와 유사한 경향을 갖는다. 일반적으로 SnO₂ 박막의 구조는 제조방법에 따라 차이는 있지만 보통 SnO_x(x=1-2)의 형태를 가지며, 기판온도 및 열처리등에 의해 SnO, SnO₂, Sn₃O₄ 등의 혼합물로 구성된다.^{8,11,13)}

그림 4와 5는 기판 온도에 따른 비저항과 광투과율의 변화를 나타낸 것이다. 기판온도가 실온일 경우 높은 비저항 값(>10⁴[Ω cm])을 나타내지만 기판온도가 증가할수록 비저항은 급격히 감소함을 알 수 있다. 이것은 X선 회절실험 결과에서도 알 수 있듯이 SnO₂ 박막의 구조가 비정질에서 결정상태로 변화되기 때문이다. 이러한 비저항에서의 급격한 감소는 결정구조의 성장과 더불어 SnO의 전도대 아래에 형성되는 donor level과 관련있다고 보고되고 있다.⁸⁾

반면에 광투과율은 기판온도가 증가함에 따라

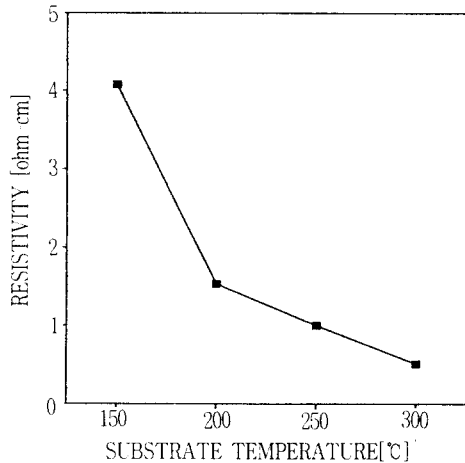


그림 4. 기판온도에 따른 SnO₂ 박막의 비저항
Fig. 4. Dependence of resistivity of SnO₂ thin films on substrate temperature.

감소하는 경향을 보이는데, 이는 전도대 아래 생성된 donor level에서의 광흡수때문으로 생각된다. 이러한 투과율을 제약하는 요인은 여러가지가 있으나 여기서는 주된 원인으로 자유전자에 의한 흡수로 인해 투과율이 감소한다.

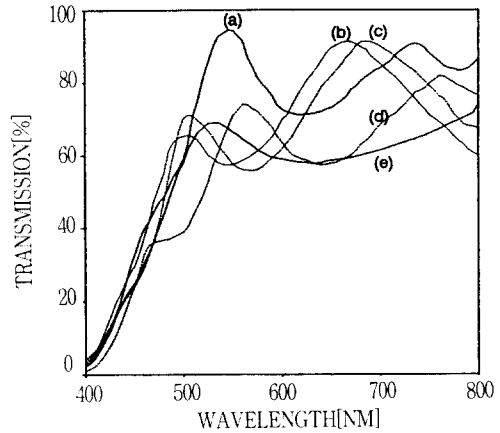


그림 5. 기판온도에 따른 SnO₂ 박막의 광투과율
(a) T_s: 실온 (b) T_s: 150[°C] (c) T_s: 200[°C]
(d) T_s: 250[°C] (e) T_s: 300[°C]

Fig. 5. Dependence of optical transmission of SnO₂ thin films on substrate temperature.

(a) T_s: room temperature (b) T_s: 150 [°C] (c) T_s: 200[°C] (d) T_s: 250[°C] (e) T_s: 300[°C].

3.1.2. 박막의 열처리 효과

SnO₂의 경우 박막의 두께가 너무 얇고 투명하기 때문에 표면 SEM 관찰을 통해 SnO₂ 박막의 열처리에 의한 구조적 변화는 살펴보기 어려웠다. 따라서 X선 회절검사를 통해 열처리온도에 따른 SnO₂ 박막의 구조적 변화를 살펴보고, 그림 6에 그 결과를 나타내었다.

Peak이 나타나는 열처리 온도는 400[°C]부터이며, 온도를 증가시키에 따라 결정성장이 이루어짐을 알 수 있다. 열처리온도가 500[°C]인 경우 SnO₂ phase의 (110)면에 대응하는 peak이 나타나는 2θ의 위치는 26.45°로서 열처리온도 증가에 따라 peak의 세기는 증가하다가 600[°C]가 되면 오히려 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 나타난 X선 회절 pattern은 SnO₂ 구조에 가까운 것을 알 수 있고, 이것은 Choudhury등에 의한 결과¹³⁾와 매우 유사하다.

SnO₂ 박막은 열처리전 상당히 높은 비저항을 가졌지만 열처리를 함으로서 비저항은 점차 감소된다. 그림 7과 8은 실온에서 증착된 SnO₂박막의 열처리 온도에 따른 비저항 및 투과율의 변화를 나타낸 것이다. 비저항의 경우 그림에서 알 수 있듯이 기판온도를 증가시켰을 때와 마찬가지로 열처

논문 : 열처리온도에 따른 SnO₂/Si 이종접합 이재형, 박용관

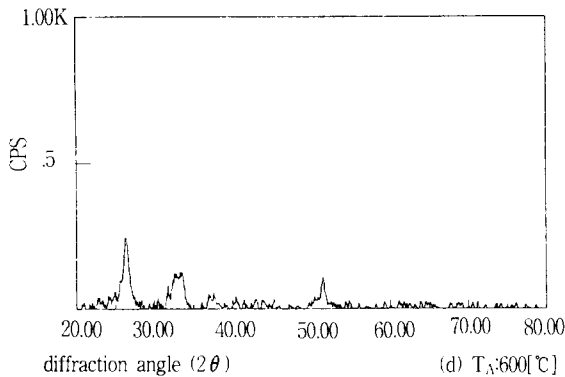
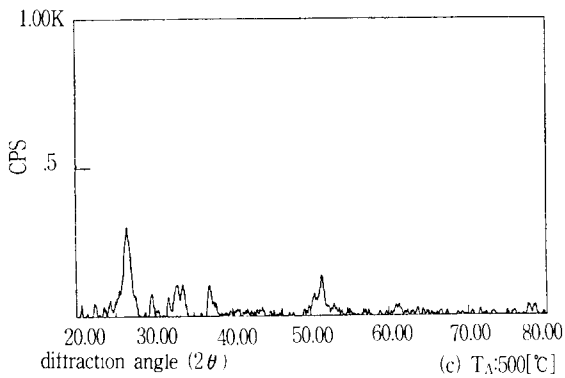
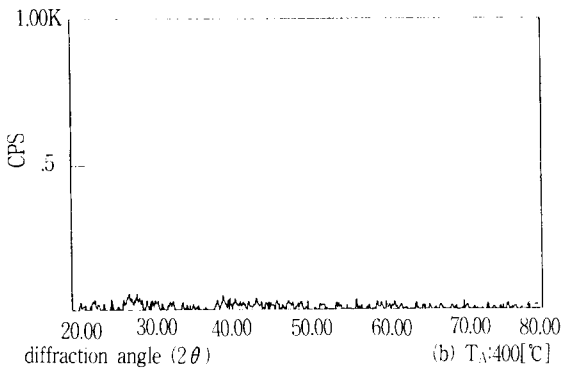
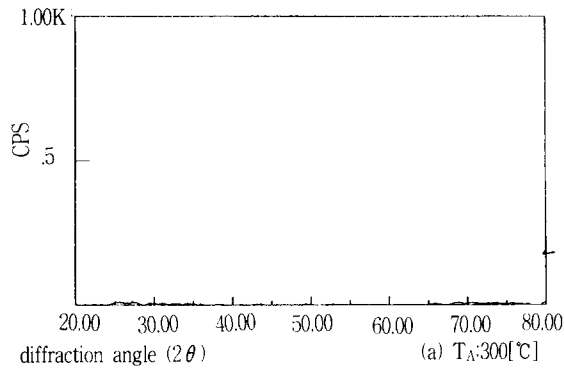


그림 6. 열처리온도에 따른 SnO₂ 박막의 X선 회절무늬

Fig. 6. X-ray diffraction pattern of SnO₂ films for various annealing temperature.

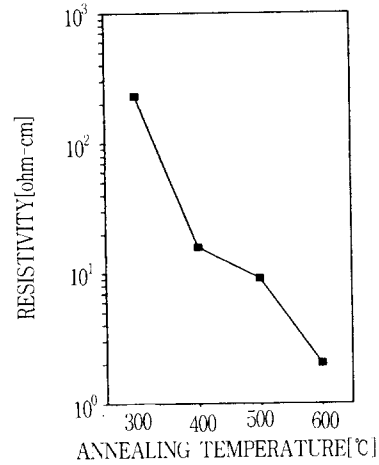


그림 7. 열처리온도에 따른 SnO₂ 박막의 비저항

Fig. 7. Dependence of resistivity of SnO₂ films on annealing temperature.

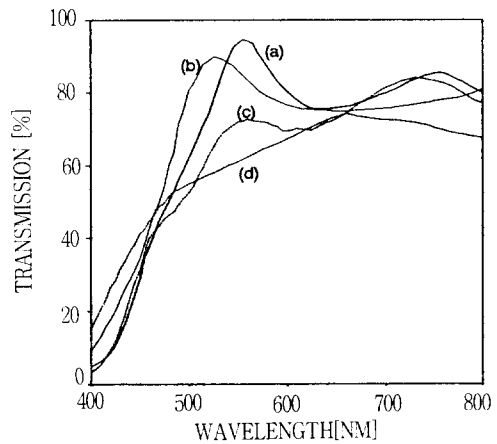


그림 8. 열처리온도에 따른 SnO₂ 박막의 광투과율 (a)T_A:300[°C] (b)T_A:400[°C] (c)T_A:500[°C] (d)T_A:600[°C]

Fig. 8. Dependence of optical transmission of SnO₂ thin films on annealing temperature.

(a)T_A:300[°C] (b)T_A:400[°C] (c)T_A:500[°C] (d)T_A:600[°C]

리온도 증가에 따라 감소한다. 이와같은 열처리에 의한 비저항의 감소는 비정질에서 결정형태로의

전이와 함께 전도대아래 0.015[eV]에서의 Shallow donor level의 형성에 기인한다.⁸⁾

열처리에 따라 결정이 성장하면

$$\rho = \rho_0 [1 + \{(3/2) \times (R/(1-R)) \times (\lambda_0/D)\}] \quad (1)$$

여기서, R : 결정내부의 grain boundary에 있어서의 반사율, λ_0 : 평균 자유 행정, D : grain boundary 크기

에서 grain의 크기 D의 증가를 의미하므로, 결국 ρ 가 감소하게 되어 전도도가 증가한다.¹⁰⁾

그림 9, 10은 열처리 온도를 일정하게 했을때 두께에 따른 비저항 및 광투과율을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 박막의 두께가 증가할수록 비저항은 감소한다. 이는 증착막이 두꺼워짐에 따라 grain size가 커지며 열처리에 의해 결함이 감소하는 정도가 크기 때문인 것으로 생각된다.¹⁴⁾ 반면에 투과율은 두께증가에 따라 큰 변화를 보이지 않으나 단파장 영역에서의 투과율은 큰 폭으로 감

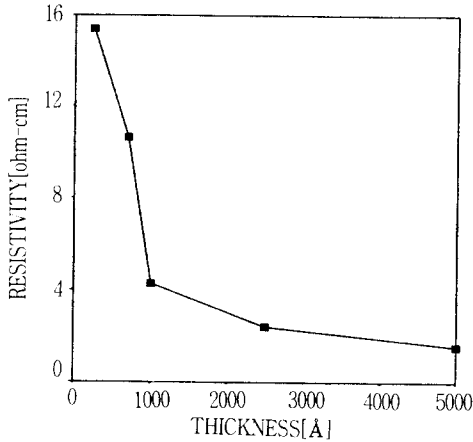


그림 9. 두께에 따른 SnO₂ 박막의 비저항
Fig. 9. Dependence of resistivity of SnO₂ thin films on thickness.

소함을 알 수 있다.

3.2. 태양 전지의 특성

3.2.1. 순방향 및 역방향 전류-전압 특성

그림 11은 열처리 온도별 순방향 및 역방향 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 열처리 온도가 증가함에 따라 양호한 정류 특성을 나타내며, 일정 전압에서 순방향 전류 역시 증가함을 알 수 있다.

또한 온도가 일정한 경우 인가 전압에 따른 전류의 변화로부터 다이오드 Quality Factor n값을

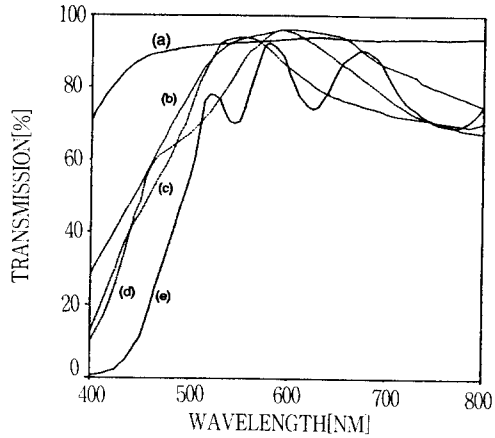


그림 10. 박막두께에 따른 SnO₂ 박막의 광투과율
(a)250[Å] (b)750[Å] (c)1000[Å]
(d)2500[Å] (e)5000[Å]
Fig. 10. Dependence of optical transmission of SnO₂ films on thickness.
(a)250[Å] (b)750[Å] (c)1000[Å]
(d)2500[Å] (e)5000[Å]

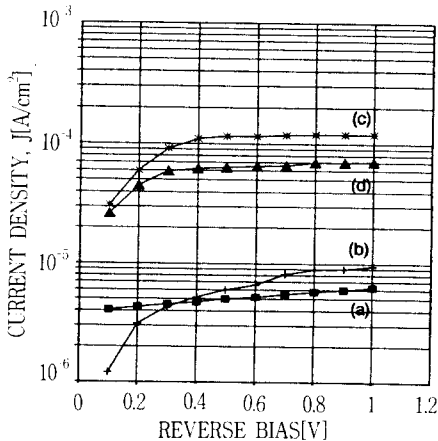
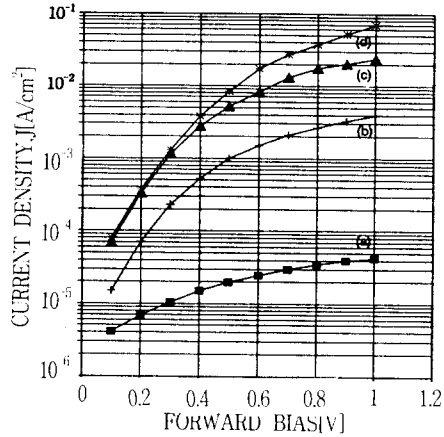


그림 11. 열처리온도에 따른 태양전지의 순방향 및 역방향 전류밀도-전압 특성
(a)T_A:300[°C], (b)T_A:400[°C], (c)T_A:500[°C], (d)T_A:600[°C]

Fig. 11. Dark J-V characteristics of solar cells annealed at various temperature.
(a)T_A:300[°C], (b)T_A:400[°C], (c)T_A:500[°C], (d)T_A:600[°C]

구할 수 있고, n값을 알면 전류-전압방정식에서 포화 전류 J₀를 구할 수 있다. Schottky barrier diode에서의 순방향 전류와 전압 관계는 thermionic emission model¹⁵⁾로 부터

$$J = SA^*T^2 \exp(-q\phi_B/kT)\{\exp(qV/nkT)-1\} \quad (2)$$

여기서, S : 면적, A* : Richardson constant
q_B: barrier height, n : ideal factor
로 주어지며, 직선 부분에 대해서 위의 식으로 계산한 n값을 그림 12에 나타내었다. 이것으로부터 열처리 온도가 증가함에 따라 diode ideal factor n은 1에 가까워지며 J₀는 감소함을 알 수 있다. 또한 직선을 연장하여 전류축으로 얻어지는 J₀값은¹⁵⁾

$$J_0 = SA^*T^2 \exp(-q/kT) \quad (3)$$

로 주어지며, 상온에서 barrier height를 계산한 값은 0.777-0.742 이었다. 이러한 장벽 높이의 감소로 인해 열처리 온도가 증가함에 따라 일정 인가 전압에서의 순방향 및 역방향 전류가 증가하는 것으로 생각된다. 그러나 열처리 온도가 500[°C]를 넘어 600[°C]에 도달하면 장벽높이의 증가로 인해 순방향전류는 감소하는데, 이것은 높은 온도에서의 열처리로 인해 SnO₂ 박막 자체특성 및 SnO₂/Si 접합특성이 저하되기 때문으로 생각된다.

3.2.2. 광전류-전압특성, 충실도 및 효율

SnO₂/Si 태양전지의 특성이 가장 양호하게 나타나는 두께는 약 1000[Å] 정도로서 본 실험에서는 이 두께를 기준으로 시편을 제조, 측정하였다. 두께가 이보다 증가하는 경우 광투과율의 감소로 인해 접합에 도달하는 빛의 양이 적게 되며, 그 결과 생성되는 carrier의 수가 감소한다. 또한 간섭색 변화에 기인한 반사 방지막으로서의 역할 감소로 인해 태양전지로서의 특성이 나빠지게 된다.

그림 13은 열처리 온도에 따른 태양전지의 광전류-전압 특성곡선이다. 이 광전류-전압 특성곡

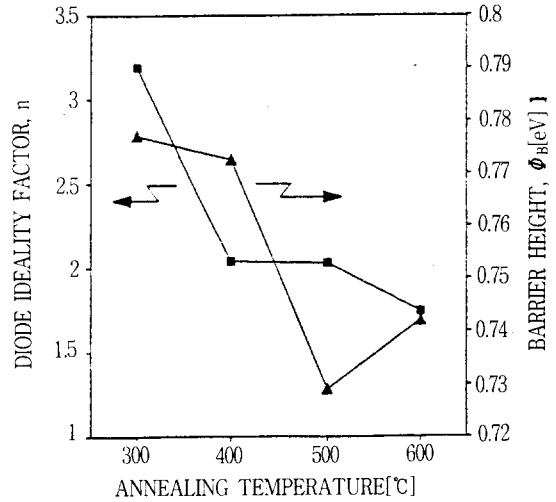


그림 12. 열처리온도에 따른 태양전지의 n 및 ϕ_B
Fig. 12. n and ϕ_B of solar cells annealed at various temperature.

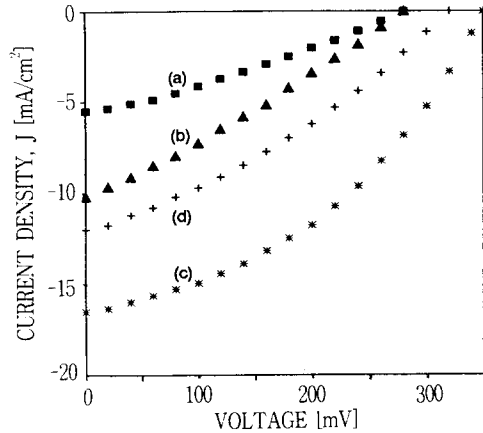


그림 13. 열처리온도에 따른 태양전지의 광전류밀도-전압 특성
(a)T_A:300[°C], (b)T_A:400[°C], (c)T_A:500[°C], (d)T_A:600[°C]

Fig. 13. Illuminated J-V characteristics of solar cells with various annealing temperature.
(a)T_A:300[°C], (b)T_A:400[°C], (c)T_A:500[°C], (d)T_A:600[°C]

선으로 부터 단락전류, 개방전압을 구하고 충실도와 효율을 계산할 수 있는데, 이 결과는 그림 14, 15에 나타나 있다. 이와같은 실험결과가 나타나는 이유는 3.1에서 고찰한 것과 같이 Si wafer위에 증착된 박막내 dangling bond나 수분 또는 기타 불

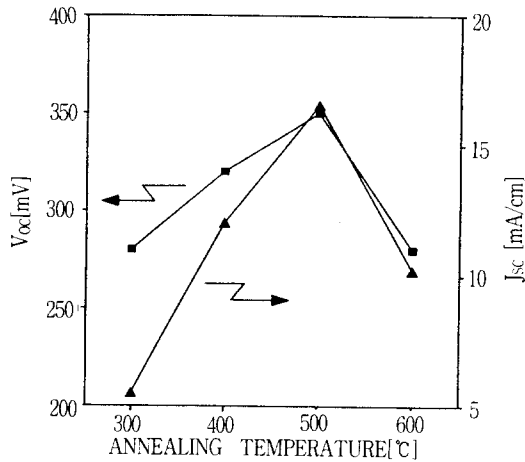


그림 14. 열처리온도에 따른 단락전류밀도 및 개방전압

Fig. 14. Annealing temperature dependence of fill factor and efficiency.

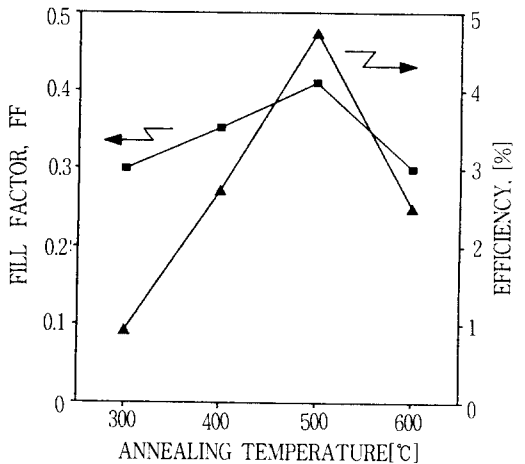


그림 15. 열처리 온도에 따른 FF 및 효율

Fig. 15. Annealing temperature dependence of fill factor and efficiency.

순물이 열처리로 인해 다수 제거되고, 결정 성장이 촉진되는 등의 SnO₂막 자체의 특성 향상을 들 수 있으며, 또한 diode 접합이 열처리에 의해 좋아지기 때문이라 생각된다.

그러나 이들 그림에서 알 수 있듯이 열처리 온도를 점차 증가시켜가면 V_{oc}, I_{sc}의 증가, FF 및 효율 향상등의 전지 특성이 좋아지다가, 어떤 임계온도를 지나면 열처리 효과가 감소한다. 이와같이 열처리 효과가 역으로 나타나는 이유는 wafer 표면 SiO_x층의 Si이 확산되어 들어오는 산소와 재결합

함으로써 SiO_x층의 두께가 증가함과 동시에 표면 상태밀도가 감소하기 때문인 것으로 생각된다.¹⁶⁾

이상의 결과로부터 본 논문에서 제작한 SnO₂/Si 태양전지의 효율은 Kajiyama등¹⁷⁾이 보고한 SnO₂/Si 이중접합 태양전지에 비하여 높은 효율을 나타내고 있으나 Si p-n 접합 태양전지나 Stephen⁷⁾, A. K. Ghosh⁴⁾등에 의한 것보다 효율이 낮은 것은 직렬저항에 의한 제작상의 문제도 있겠으나, SnO₂/Si 접합의 낮은 확산전위로 V_{oc}가 떨어지기 때문인 것으로 생각된다.¹⁶⁾ 따라서 SnO₂와 Si 사이의 계면층인 SiO_x층에 대한 연구에 함께 전극 grid의 보완과 edge처리를 하여 직렬저항을 줄이고 병렬저항을 크게한다면 보다 높은 효율을 기대할 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 PVD법의 일종인 전자빔 증착법으로 SIS구조의 SnO₂/(n)Si 태양전지를 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기판온도, 열처리 온도가 증가함에 따라 결정 구조가 비정질에서 결정질로 변화되어 SnO₂박막의 전도율은 증가하지만, 광투과율은 자유전자에 의한 박막내에서의 광흡수 증가로 인해 감소하는 경향을 보인다.
- (2) V_{oc}, I_{sc}, FF, η 등과 같은 태양전지 특성은 열처리를 함에 점차 향상되다가 500[°C]를 한계로 저하되기 시작한다.
- (3) 본 실험에서 제작된 SnO₂/(n)Si 태양전지의 V-I특성을 조사한 결과 V_{oc}는 350[mV], J_{sc} : 16.53[mA/cm²], FF는 0.41, η = 4.74[%]이었다.

참 고 문 헌

- 1) D.M.Chapin, C.S.Fuller, and G.L.Pearson, "A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power", J. Appl. phys., vol.25, pp.676-677, 1954.
- 2) Martin A. Green and Stuart R. Wenham, "High Efficiency Silicon Solar Cells, Present Status", Optoelectronics-Devices and Technologies, vol. 5, No. 5, pp. 135-142, 1990.
- 3) J. Shewchun, D. Burk, and M. B. Spitzer, "MIS and SIS Solar Cells", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED27, No. 4, 1980.

- 4) A.K.Ghosh, C.Fishman, and T.Feng, "SnO₂/Si solar cells-Heterostructure or Schottky barrier or MIS type device", J. Appl. Phys., Vol. 49, No. 6, pp. 3490-3498, 1978.
- 5) J.Shewchun, J.Dubow, C.W.Wilmsen, R. Singh, D. Burk, and J.F.Wager, "The operation of the semiconductor-insulator-semiconductor solar cell : Experiment", J. Appl. phys. vol. 50, No. 4, pp.2832-2839, 1979.
- 6) G.K.Bhagavat and K.B.Sundaram, "Electrical and photovoltaic properties of tin oxide-silicon heterojunctions", Thin Solid Films, Vol. 63, pp.197-201, 1979.
- 7) Stephen Franz, Gordon Kent and Richard L. Anderson, "Heterojunction solar cells of SnO₂/Si", J. of Electronic Materials, vol. 6, No. 2, 1977.
- 8) Debajyoti D. and Ratnabali Banerjee, "Properties of Electron-Beam-Evaporation Tin Oxide Films", Thin solid Films, pp. 321-331, 1987.
- 9) E. Shanthi, V. Dutta, A. Banerjee, and K. L. Chopra, "Electrical and optical properties of undoped and antimony-doped tin oxide films", J. Appl. Phys. vol. 51, No. 12, pp. 6243-6251, 1981.
- 10) B. Stjerna and C.G.Granqvist, "Optical and electrical properties of SnO_x thin films made by reactive r.f. magnetron sputtering", Thin Solid Films, pp. 704-711, 1990.
- 11) Geeta Sanon, Raj Rup and Abhai Mansingh, "Growth and characterization of tin oxide films prepared by C.V.D.", Thin Solid Films, pp. 287-301, 1990.
- 12) Taneo Nishino and Yoshihiro Hamakawa, "Electrical and optical properties of Si-SnO₂ heterojunctions", Jpn. J. Appl. Phys., vol. 9, 1970.
- 13) N.S.Choudhury, R.P.Goehner, N.Lewis and R. W.Green, "The effect of annealing on the structure and composition of electron beam evaporated tin oxide films", Thin Solid Films, pp.231-241, 1984.
- 14) 전춘생, 허창수, "SnO₂(n)Si 태양전지", 대한전기학회 논문지, 38권, 1호, 1989.
- 15) S.M.Sze, "Physics of Semiconductor Devices", Advision of John Wiley & Sons Inc., 1981.
- 16) W. Badawy and K. Doblhoter, "The role of the interfacial SiO_x layer in SnO₂/n-Si photocells", Appl. Phys., A35, pp. 189-192, 1984.
- 17) K. Kajiyama and Y. Furukawa, "Electrical and Optical Properties of SnO₂-Si Hetero junctions", Jpn. J. Appl. Phys. 6, 905, 1967.

저자소개



이재형

1970년 7월 5일생. 1992년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1994년 2월 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 현재 성균관대학교 대학원 전기공학과 박사과정.



박용관

1935년 9월 16일생. 1958년 3월 인하대학교 전기공학과 졸업. 인하대학교 대학원 졸업(1977년 석사, 1987년 공박). 현재 성균관대학교 전기공학과 교수.