

(P)SiC/(N)Si 이종접합 태양전지에 관한 연구

전 춘 생 · 박 원 규* · 우 호 환**

인하대학교 전기공학과
중앙직업훈련원 전기공학과*
인하공업전문대 전기공학과**

A Study of Semiconductor (P)SiC/(N)Si Heterojunction Solar Cells

Choon-Saing Jhoun · Won-Kyu Park* · Ho-Whan Woo**

Inha Univ.
Central Vocational Training Institute *
Inha Technical Junior Collage **

요 약

본 연구에서는 기판의 증착온도를 $200 \pm 5 [^{\circ}\text{C}]$ 로 유지하여 진공증착법으로 (P)SiC/(N)Si 태양전지를 제작하고 그의 특성을 조사하였다. SiC박막의 최적 두께 $1.2 [\mu\text{m}]$ 는 박막두께와 변환효율과의 관계로부터 정해졌고 태양전지의 특성은 열처리에 의하여 개선되었다. 최적조건의 열처리 온도와 시간은 $420 [^{\circ}\text{C}]$ 에서 12분이고 분광 응답의 피크값은 열처리 온도의 증가와 더불어 장파장 쪽으로 이동함을 알았다. X선 회절분석 및 SEM검사는 열처리 온도와 시간에 따라 SiC박막내에서 결정성장을 보여 주며 $2.5 \times 1 [\text{cm}^2]$ 의 태양전지에서 최고 변환효율은 $11.7 [\%]$ 이다.

ABSTRACT

In this study, the (P)SiC/(N)Si solar cell is fabricated by the vacuum evaporation method with the substrate temperature at about $200 \pm 5 [^{\circ}\text{C}]$ and its characteristics are investigated. The optimal thickness of $1.2 [\mu\text{m}]$ of SiC film is derived from the relation between film thickness and conversion efficiency. The characteristics of solar cells are improved by the annealing. The optimum annealing temperature and duration are $420 [^{\circ}\text{C}]$ and $12 [\text{min}]$, respectively it is shown that the peak values of spectral response are shifted to the long wavelength region with increasing the annealing temperature. The X-ray diffraction patterns and the scanning electron micrographs show the grain growth

in SiC film as the annealing temperature and time is increased. The best conversion efficiency is 11.7[%] for a 2.5×1 [cm²] cell.

1. 서 론

과거 태양전지는 Si(P)-Si(N)의 PN 접합 태양전지가 주류를 이루어 왔으나, Si wafer의 고가로 최근에는 이종접합이나 MIS, SIS 구조의 다결정 박막형 또는 간단한 제조공정과 비용이 싼 amorphous 태양전지가 활발히 연구되고 있다.¹⁾

태양전지는 사용재료와 구조가 다양하여 그 분류방법도 여러가지이지만 사용재료와 접합에 의한 관계가 보편화되어 있다. 본 연구에서 사용한 SiC(Aldrich Chemical Company, Inc. - 400 mesh.) 분말 시료는 α형의 다결정 hexagonal 구조로 격자 구조가 강하게 결합되어 있어 화학적으로 쉽게 반응하지 않으며 Si보다 방사선에 대한 영향이 적고 열적 안정도와 전자적 구조 때문에 고온(>500[°C])에서도 사용할 수 있다.²⁾

문헌에 의하면 SiCl₄과 탄화수소의 열분해, 또는 methyl chlorosilane의 열분해로서 Si에 β-SiC의 단결정 박막을 만들 수 있는 것으로 보고되고 있다.^{6,7)} 그러나, 기본적으로 불변격자 Si와 β-SiC의 커다란 차이와 관련하여 단결정 SiC 박막을 생성하는 것은 매우 어렵기 때문에 SiC 다결정 박막을 사용하려는 시도가 이루어지고 있다.⁷⁾

본 실험에서는 저항가열법을 이용한 vacuum evaporation 방법을 사용하여 (P)SiC/(N)Si 태양전지를 제작하였고 100[mW/cm²]의 실제 태양광 입사 에너지 하에서 약 11.7[%] 정도의 효율을 얻었다. 실험 과정에서 증착 기술의 개선, SiC 박막의 반사 방지막을 형성시키거나 리드선의 ohmic contact 등을 개선 한다면 좀더 높은 효율을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 이 론

2.1 에너지 밴드

(P)SiC/(N)Si 이종접합의 band diagram은 Fig.1 과 같으며 광조사시 반도체는

$$G(x) = \int E_g \Phi(E) [1 - R(E)] \alpha(E) \exp[-\alpha(E)x] dE \quad (1)$$

G(x) : 어떤점 x에서 생성된 전자-정공쌍의 수(x는 빛이 들어가는 점을 원점으로 한다).

E_g : 반도체의 금지대

Φ : 에너지 E에서의 photon flux

R(E) : 에너지 E에서의 reflectance

α(E) : 에너지 E에서의 흡수계수

로 표현되며 전자-정공쌍은 태양에너지를 받아 생성된다. 즉, P형 영역에는 전자가, N형 영역에는 정공이 생겨 각각 에너지준위가 낮은

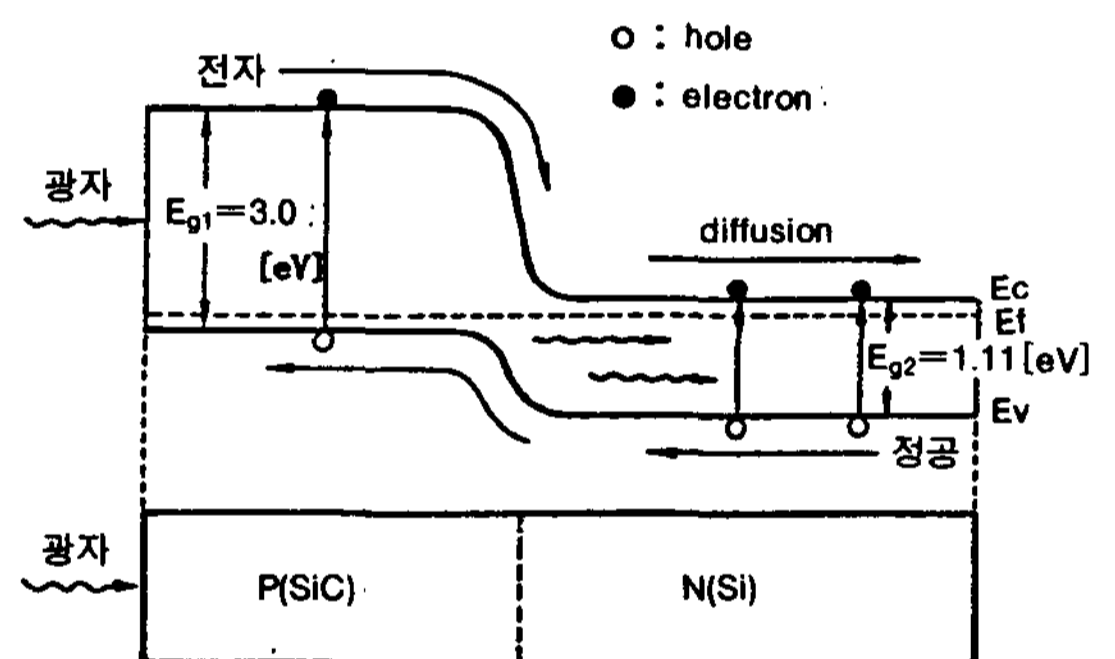


Fig.1 Energy band diagram & energy conversion process of (P)SiC/(N)Si solar cell

N형 영역과 P형 영역으로 이동하여 가지만, 에너지준위가 낮은 N형 영역중의 정공은 거의 이동하지 않는다. 따라서, P와 N의 양단자를 개방하면 P형 영역의 전자가 N형 영역으로, 동시에 N형 영역의 정공이 P형 영역으로 이동되어 N형은 負로, P형은 正으로 대전되어 P형 측의 단자가 正이 되는 전위차가 양단자간에 나타나며 이를 단락시키면 전류밀도 J_D가 흐른다.¹⁰⁾

여기서, 광의 흡수로 인하여 Fig.1에서 가전자대의 전자가 광에너지를 얻어 전도대로 천이하는 과정을 기초흡수라 하며 이 기초흡수파장

λ 는

$$h\nu = hc/\lambda = E_g \quad (2)$$

이며 $\lambda = 12398[\text{\AA}]/E_g[\text{eV}]$ 가 된다. 또, 흡수 계수 α 와 λ 와의 관계는 반도체가 직접 천이형인가 간접 천이형인가에 따라 달라지게 되며 간접천이는 phonon이 관여하게된 직접천이에 비해 천이율이 작아진다. 이 흡수계수와 파장의 관계식으로서 다음식이 주어지는데 흡수계수가 $10^3-10^4/[\text{cm}]$ 인 경우 실험치와 잘 일치한다. 즉, 직접 천이형 흡수계수 α_d 는¹¹⁾

$$\alpha_d = A*(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (3)$$

가 되고 간접 천이형 흡수계수는 개략적으로 다음과 같다.

$$\alpha_{ind} = B*(h\nu - E_g)^2 \quad (4)$$

여기서 A^* , B^* 는 전자와 정공의 유효질량 및 광속 굴절율 등을 포함하는 물질정수이다.

3. 실험 및 방법

3.1 실험장치

본 실험에서 사용된 진공장치는 배기속도 330[1/min]인 유희전 펌프(英, Edward, ED-330)와 10^{-5} [Torr]까지 배기가능한 유확산 펌프(日, Tokyo Vaccum Co.)로 구성되어 있으며, bell-jar 내부구조는 Fig.2와 같다. 시료 증착은 저항 가열법을 사용하였으며 heater source로는 tungsten wire(0.5[mm]×3wire)를 나선형으로 감아사용하였다. substrate 온도는 tungsten halogen lamp에 반사갯을 설치하고 입력 전압으로 온도를 조절하고 열전대를 이용하

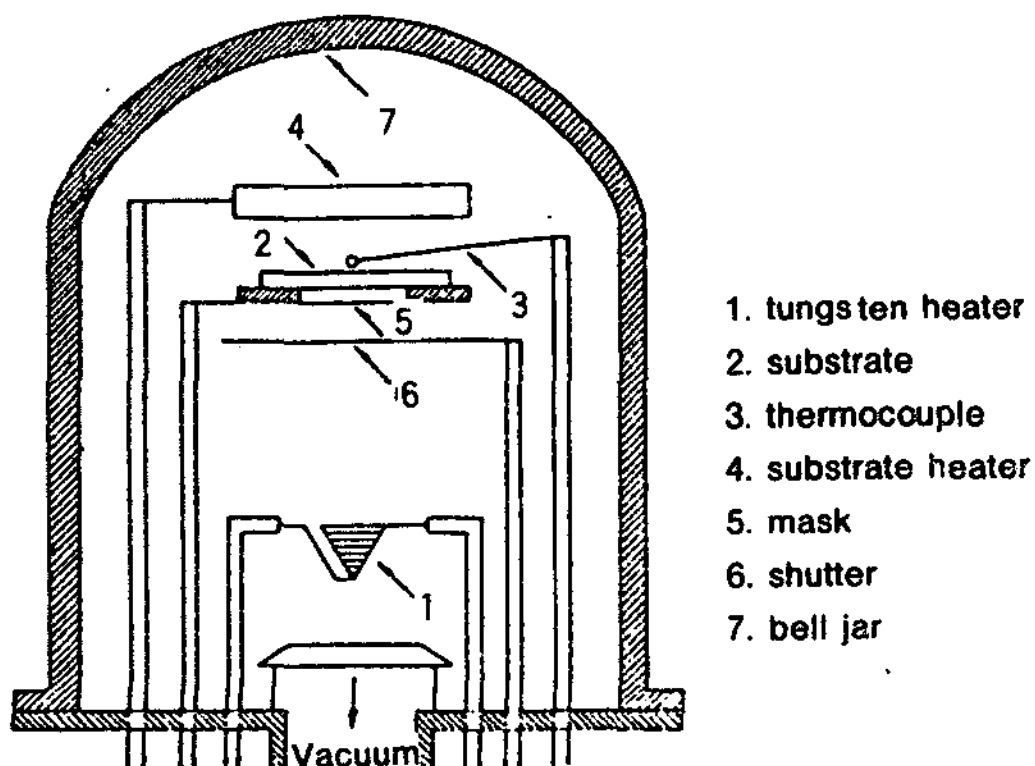


Fig.2 The schematic diagram of vacuum evaporation

여 온도를 측정하였다. 또한 shutter로 증착시간을 조절하였고, Al mask를 사용하여 증착부위를 한정했다.

3.2 (P)SiC/(N)Si 접합 제작

SiC가 증착되는 기판 Si wafer는 N형 <100> 결정면이고 비저항이 1~10[Ωcm]인 것을 사용하였다. 시편의 제작과 특성의 평가를 용이하게 하기 위해서 wafer를 평균 $2.5 \times 1[\text{cm}^2]$ 의 크기로 잘라낸 것을 사용하였다.

시편은 중성 세제인 micro 용액으로 초음파 세척을 100[$^{\circ}\text{C}$]에서 20분 동안하고 증류수로 다시 약 30분간 초음파로 세척한다. 다음은 HNO_2 와 H_2O_2 와 H_2O 를 1:2:7의 비율로 섞은 용액속에 약 5분간 담귀 중성세제로 제거되지 않은 단백질과 같은 잔유물을 없앴다. 최종적으로 증류수로 세척한 후, HF와 H_2O 를 1:100으로 섞은 etching액 중에 담구어 자연적으로 형성된 SiO_2 막을 제거하였고 다음 증류수로 헹구어 건조시킨 후 사용하였다.

SiC 박막의 형성법에는 진공증착법(PVD), Sputtering법, Spray deposition, CVD 등 여러 방법이 있는데 이 중에서 진공 증착법이 일반적으로 특성평가의 용이성 때문에 많이 사용되고 있다. 본 실험에서는 진공 증착법을 사용하였는데, 먼저 Si wafer를 앞서 설명한 방법으로 표면을 깨끗이 세척 한 후, Fig.2의 bell jar 내부의 공기를 유희전 펌프(rotary pump) 및 유확산 펌프(diffusion pump)로 약 10^{-5} [Torr]까지 배기시킨 후, heater source의 온도를 서서히 올려 SiC의 분해 온도 이상으로 가열하였다. 본 실험에서는 SiC의 분해 및 융점온도가 약 2600[$^{\circ}\text{C}$]이기 때문에 대략 2000[$^{\circ}\text{C}$]에서 5분간 예열 함으로써, SiC내의 수분이나 불필요한 불순물등을 제거하였고, 균일한 박막을 얻기 위하여 증발점에서 substrate의 간격을 항상 70[mm]로 유지하였다. 이때 substrate온도는 halogen lamp로 200 ± 5 [$^{\circ}\text{C}$]정도 유지하였다.

증착두께는 시각적으로 증착막의 색깔로 대략 구별하여 정할 수도 있지만 증착시간을 조절하여 결정하였다. 다만, 증착시간으로 조절할 경우 실험실 조건, 또는 source源인 tungsten

wire pot의 상태가 꼭 일정할 수 없다는 점과 실제로 bell jar 내부의 진공도가 매번 일정 할 수 없다는 점의 단점을 갖고 있다. 따라서, 본 실험에서는 주로 증착시간의 조절과 증착된 박막의 색깔을 고려하여 증착두께를 변화시켰으나 정확한 두께는 SEM(Scanning Electron Micrograph)을 이용하였다.

또 전극은 Cu를 사용하였는데 Si wafer 뒷면에 2-3[μm] 정도로 진공 증착하여 ohmic 접촉되게 하였다.

Annealing은 진공상태에서 200-700[$^{\circ}\text{C}$]까지 변화시켰으며 그 시간범위는 최적의 온도를 결정 한 후 5분에서 40분까지의 시간대별로 조정 하였다. Fig. 3은 제작된 (P)SiC/(N)Si 태양전지의 단면 구조를 나타냈다.

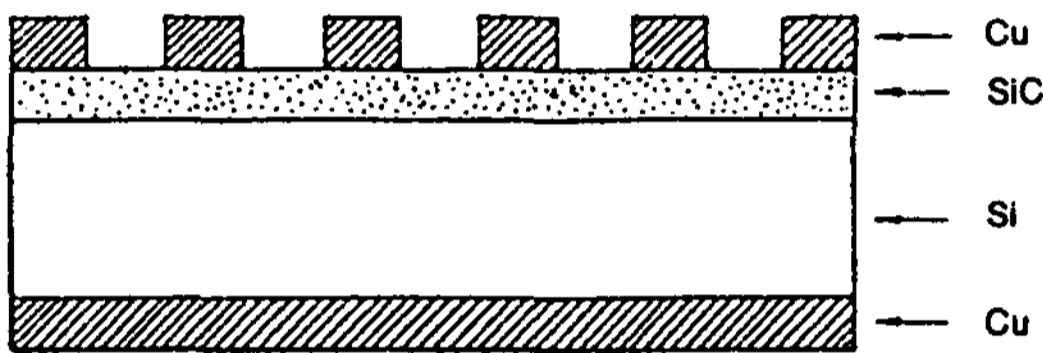


Fig 3. Cross section of (P)SiC/(N)Si solar cell

3.3 측 정

완성된 태양전지는 annealing 온도와 시간에 따른 물질구조를 알아보기 위하여 SEM과 X-Ray 회절 검사를 하였다. V-I 특성은 X-Y recorder(Riken Denshi, 日本)를 이용하였다.

다이오드 특성을 나타내는지의 여부를 확인 코저 Semiconductor-Curve Tracer(KOKUYO Monochromater(Baush & Lomb, 독일)를 이용하여 각 파장에 대한 광응답 변화 즉, 단락전류를 조사하였으며, 이때 응답의 검출은 DC Pico Amperemeter(Magno Electronic Co., LTD.)를 이용하였다. 이때 주위 빛의 영향을 없애고 저온에서의 광응답 특성을 조사하기 위해 test chamber를 사용하였다.

또한 광센서로서의 기능을 알아보기 위해서 태양광 입사에너지에 따른 단락전류의 변화를 조사하였는데 이때 조도측정은 조도계(측정범위 : 10^{-4} - 10^5 [Lx] 동경광학기계. LTD)를,

에너지측정은 Silicon cell Pyranometer(Model. 3120, SN NO.3713, Division of Qualinetics, Inc)를 사용, AM1을 기준으로 하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1 SiC 증착막의 특성

SiC의 박막의 두께는 2.5[$\text{\AA}/\text{sec}$]의 증착시간을 40[min], 60[min], 80[min], 100[min], 120[min]등 매 20분 간격으로 조절하여 0.6[μm], 0.9[μm], 1.2[μm], 1.5[μm], 1.8[μm] 정도의 박막두께를 얻었고 증착후, annealing 온도와 시간은 420[$^{\circ}\text{C}$], 12[min]의 동일 조건하에서 실시하였다. 실험결과, SiC 박막두께에 따른 태양전지의 효율은 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 두께가 증가할 수록 커지다가 1.2[μm] 정도에서 최고 효율을 나타내었고 그 이상의 두께에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 이와같은 이유는 두께가 증가하면, SiC 층에서 광에너지의 흡수가 많아 PN 접합부에 도달하는 에너지가 적은데 그 원인이 있다고 본다. 즉, 접합부에서 발생한 carrier가 carrier의 수명내에 전극에 도달하는 수가 적어진다. Fig. 1의 (P)SiC/(N)Si 태양전지에서 $E_{g1}(3.0[\text{eV}] > h\nu > E_{g2}(1.11[\text{eV}])$ 이므로 가시광선 전 영역을 잘 투과시켜 비교적 우수한 광 투과율을 보이고 또한 저저항의 박막을 제작할 수 있다. 본 실험에서는 최적의 두께를 1.2[μm]로 하였다.

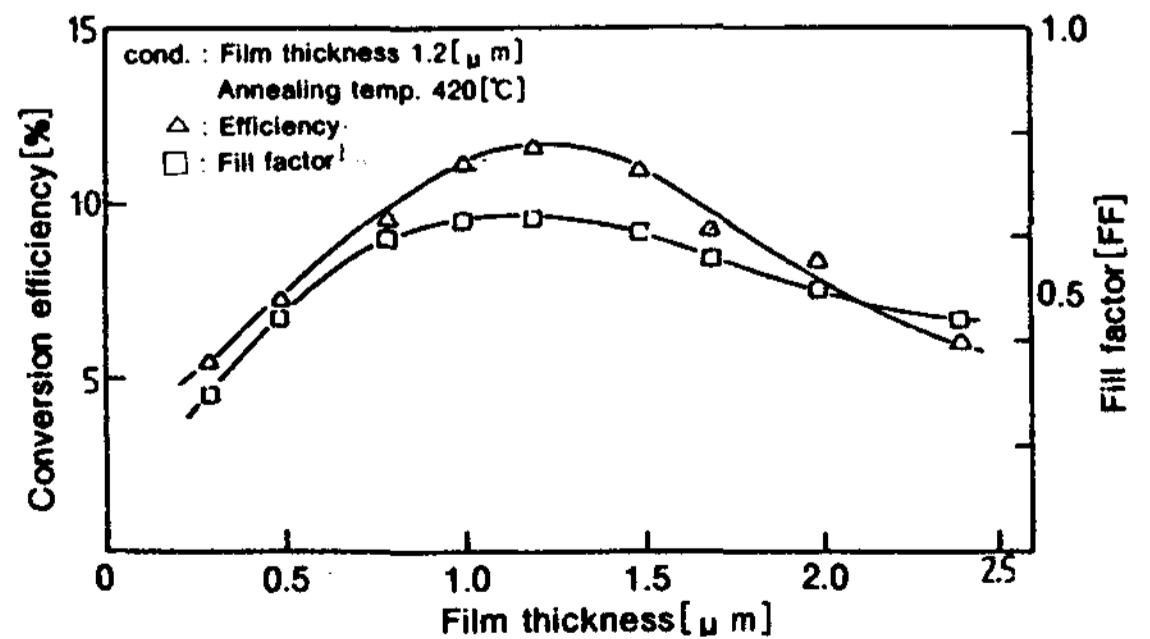


Fig. 4 Efficiency & Fill factor vs. Film thickness

4.2 SiC 박막의 annealing 효과

Fig. 5는 annealing 온도에 따른 단락전류와 개방전압을 각각 나타내었다. 420[°C]~500[°C] 정도까지는 annealing 온도를 증가시킴에 따라 I_{sc} 와 V_{oc} 가 모두 상승되고 있음을 알 수 있다. 이것은 Si 위에 증착된 SiC 박막 내의 dangling bond, 수분 또는 grain내의 defect등의 결함 밀도가 온도를 상승시킴에 따라 grain 크기가 성장하고 boundary 수의 감소, 물질 구조 내의 수분이나 기타 불순물적 요소인 흡착 가스등이 다수 제거되어 접합부의 misfit에 의한 strain이 감소한다. 이때, strain을 완화시키기 위해 생긴 dislocation이 열처리에 의해 모서리 부분으로 이동한다.

따라서, 박막내의 misfit가 감소하고 grain boundary가 성장함으로써 I_{sc} 와 V_{oc} 가 증가한다. 그러나 annealing 온도가 500[°C] 이상에서 다시 I_{sc} 나 V_{oc} 가 감소하고 있음을 볼 수 있다. 이와 같이 과잉 annealing을 하면 SiC 박막이 비산되거나 기판으로부터 박리작용으로 인하여 표면 상태 밀도(Surface State density)가 감소한다. photo.1은 annealing에 따른 SiC 박막표면의 SEM 사진이며 (a)는 annealing하기전, (b)는 420[°C], (c)는 600[°C]에서 각각 annealing한 것이며, 사진에서 알 수 있는 바와 같이 annealing 온도에 따라서 결정이 성장됨을 볼 수 있다. annealing에 따라 결정이 성장하면 저항을 ρ 는

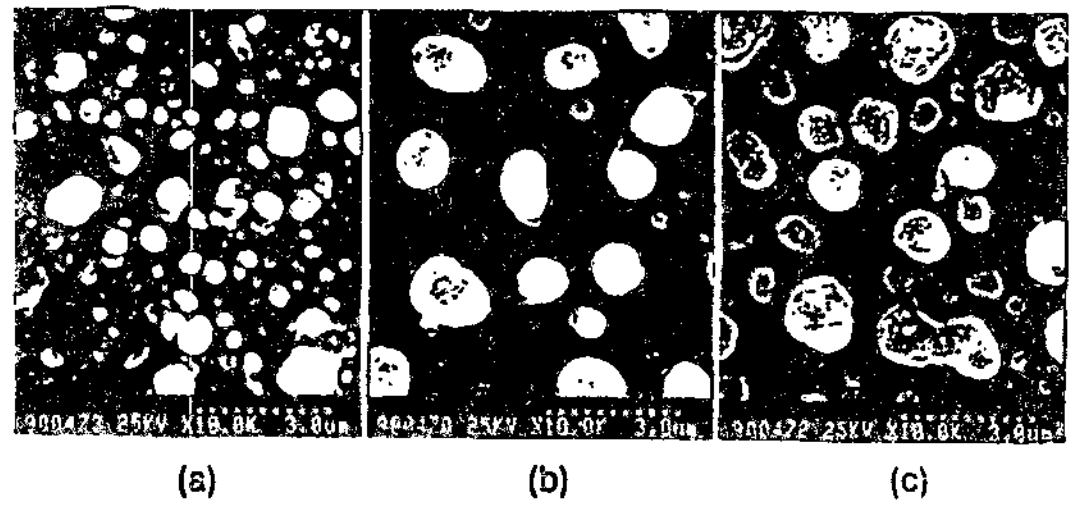


Photo.1 Film surface of SiC(thickness 1.2[μ m]) vs. annealing temperature (a) before annealing, (b) 420[°C], 12[min], (c) 600[°C], 12[min]

$$\rho = \rho_0 [1 + 3/2 |R/(1-R)| \lambda_0/D] \quad (5)$$

R : 전자의 내부 grain boundary의 반사율

λ_0 : 평균 자유 행정

D : grain의 크기

에서 D의 증가를 의미하므로 결국 ρ 가 감소하게 되므로 결정이 성장하면 전도도가 증가한다.¹²⁾ 그러나, (c)에서와 같이 600[°C] 정도인 경우에는 과잉 annealing으로 인하여 결정성이 파괴되고 표면의 박리와 증착물질의 비산으로 인하여 I_{sc} 와 V_{oc} 가 감소함이 증명되고 SEM 사진을 통하여 annealing에 따른 결정형성에 있어서 defect의 감소를 알 수 있다. Fig. 6에서는 annealing 온도에 의한 특성평가를 한 후 최적의 annealing 온도인 420[°C]에서 annealing 시간의 변화를 주었을 때 I_{sc} 와 V_{oc} 의 관계 곡선이다. annealing 시간은 annealing을 하지 않은 상태에서 부터 매 5분마다 50분까지 시간을 늘려 annealing을 하였다. 본 실험에서는 약 12분간의 annealing에서 최대의 I_{sc} 와 V_{oc} 를 얻을 수 있었다. 시간에 의한 특성이 이와같이 임계점

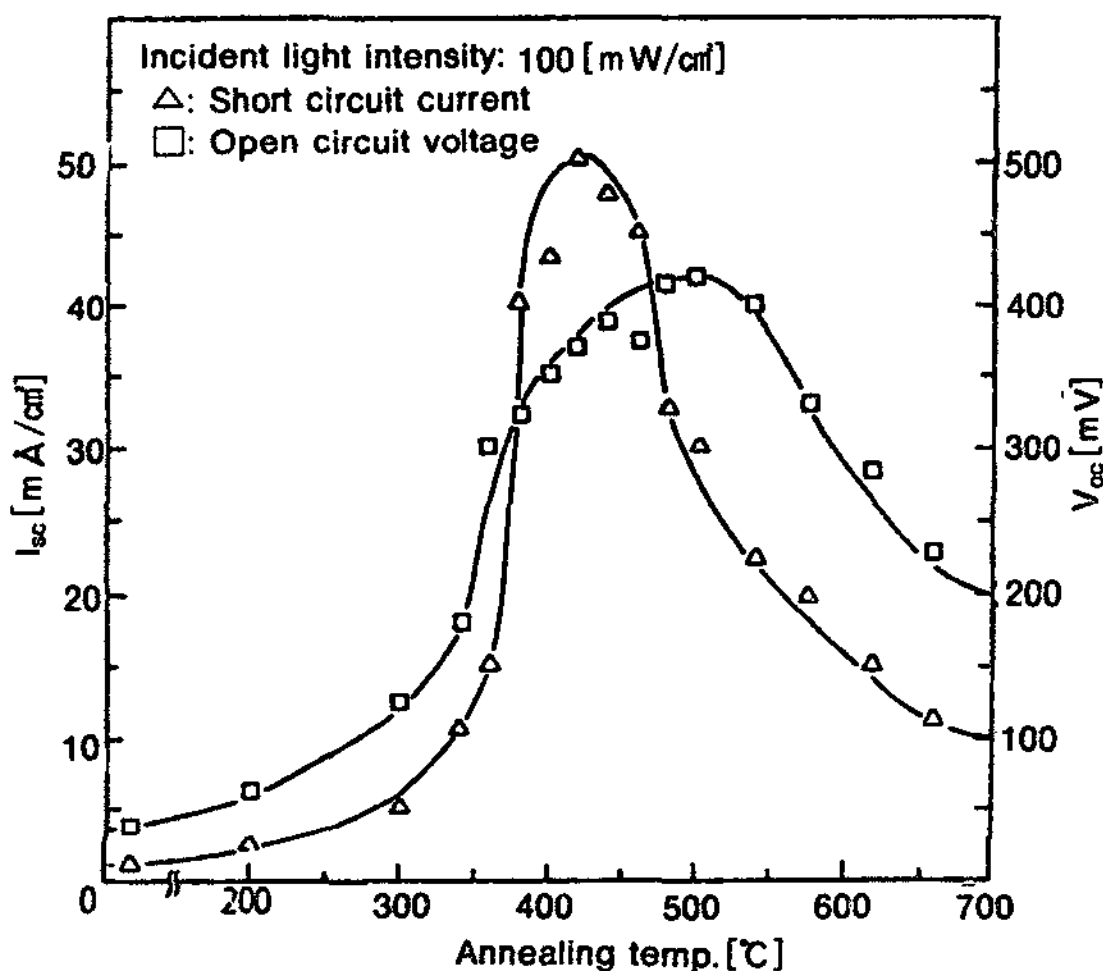


Fig.5 Annealing temperature dependence of I_{sc} & V_{oc}

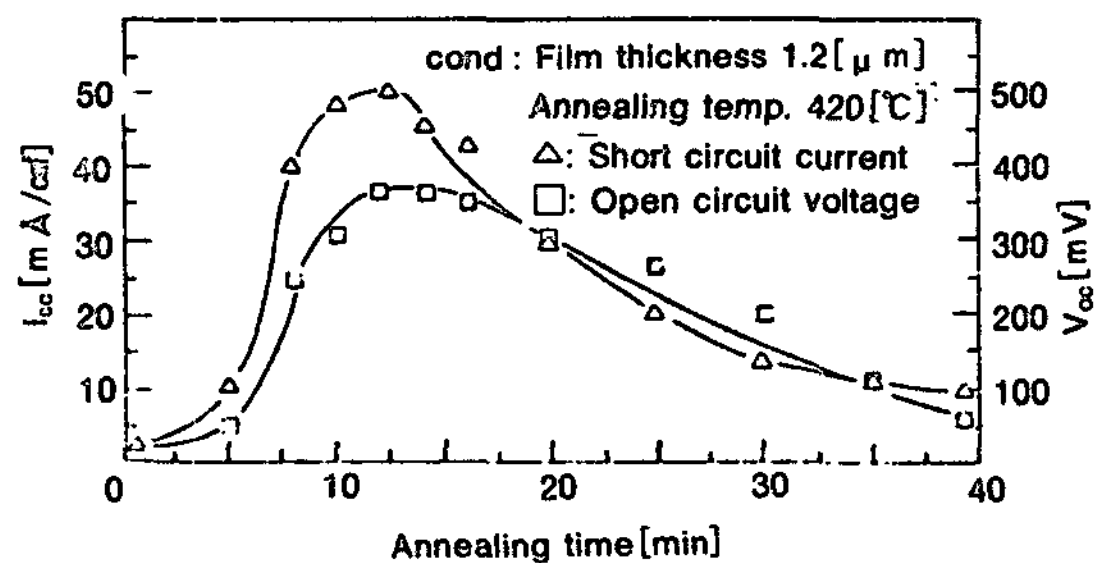


Fig.6 Annealing time dependence of I_{sc} & V_{oc}

을 갖는 이유는 annealing 온도에 의한 특성 변화로 사료된다.

4.3 SiC 증착박막의 X선 회절분석

본 실험에서는 X-Ray Diffraction 검사를 통해 SiC 증착박막의 결정성장 방향을 분석하였다. Fig. 7의 (a), (b), (c), (d) 및 (e)는 SiC 증착박막을 annealing 전, 320[°C], 420[°C], 500[°C], 600[°C]에서 12분간 열처리 한 후 X선 회절분석을 한 것이다.

화합물 반도체인 SiC가 annealing 전에는 다결정이지만 Fig. 7 (a)의 SiC는 어느 특정방향으로 결정이 성장했음을 알 수 있다. 이는 substrate 온도가 200±5[°C]일때, 효과를 얻을 수 있었다고 생각한다. 본 실험에서는 약 200[°C]부터 annealing을 하였고, 그 결과, 다결정 박막이 어떤 특정 방향으로 결정이 성장했음을

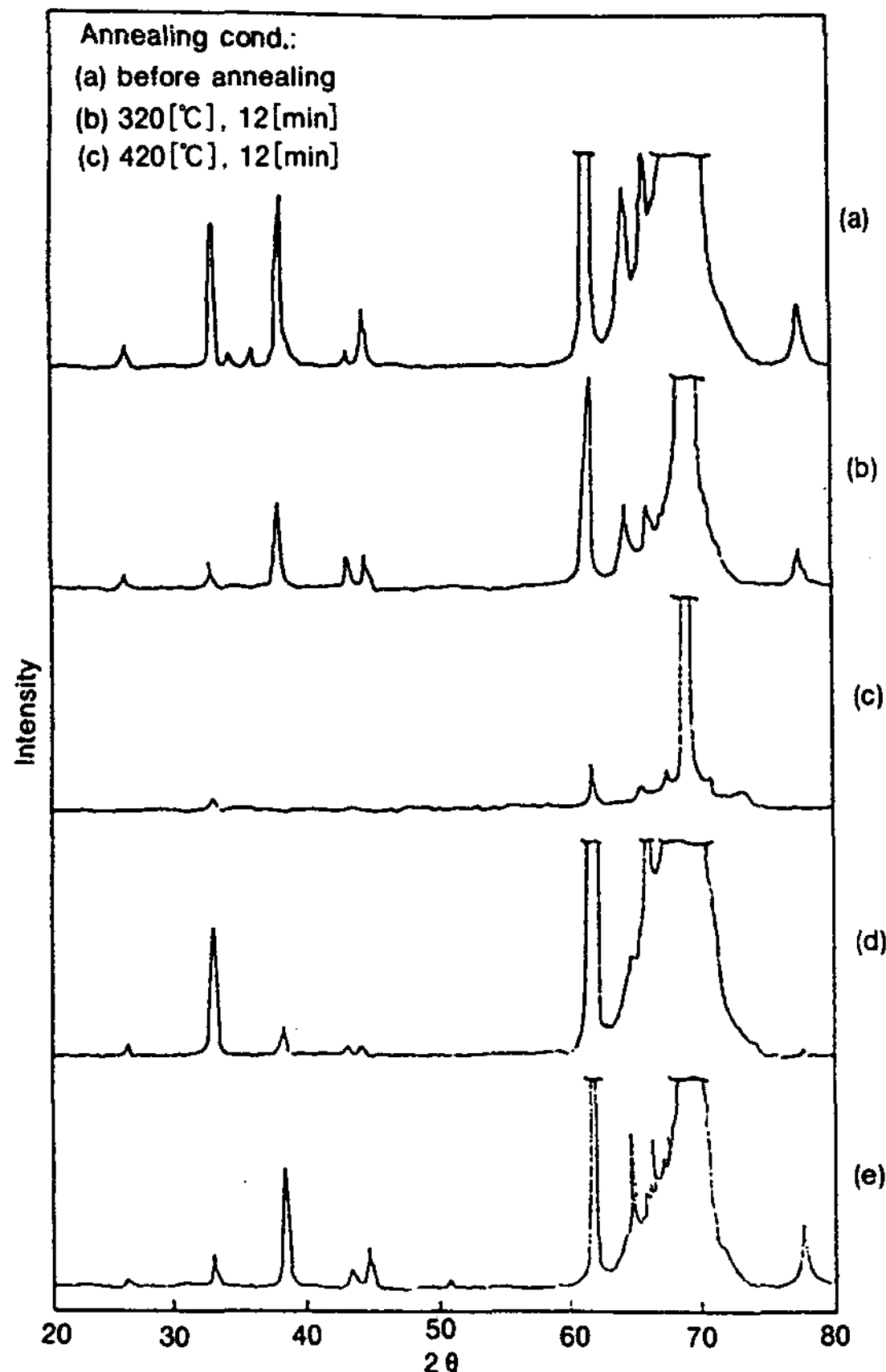


Fig.7 X-Ray diffraction pattern of SiC thin films

intensity의 peak치로 확인할 수 있었다. 그림 (b)는 약 320[°C]에서 annealing한 경우이고, 그림(c)는 최적상태의 온도인 420[°C]에서의 결과이다. annealing전과 비교할 때 substrate Si의 단결정 방향으로 결정이 성장했음을 peak치의 결과로 알 수 있었다. 이와 같이 결정성장에 미치는 annealing 효과는 X선 회절분석으로 확인할 수 있다. 그러나, 최적의 온도를 초과한 그림(d)의 500[°C]와 그림(e)의 600[°C]에서 peak값이 변화하는 것을 알 수 있는데, 이는 역시 grain과 관계가 있는데 grain의 크기는 온도에 따라서 어느 정도 크기 이상은 성장하지 않는다. 또 계속되는 증착에서 새로운 grain이 핵이되어 먼저 형성된 grain에 의하여 점점 크게 형성된다. 여기서, 임계온도 이상의 annealing 온도에서는 새로운 grain 혹은 먼저 생성된 grain 등에서의 증착원자 및 분자가 높은 annealing 온도에서 얻은 높은 activation energy에 의한 열적 확산이나 grain에서의 증착물질의 재증발등으로 인해 특정방향으로의 결정성장은 둔화될 수 밖에 없다. 여기서, 그림(c)와 같이 어느 특정방향으로서의 결정성장은 효율과 직접적인 관련이 있는 것으로 사료된다.

4.4 단락전류의 광응답 특성

Fig. 8은 SiC 박막온도에 따른 광응답 특성을 나타냈다. 220[°C], 320[°C], 420[°C], 520[°C]로 annealing 한 후, 그에 따른 광응답 특성을 조사하였는데 그림의 결과에서 알 수 있듯이 320[°C]인 경우는 660[nm], 420[°C]인 경우는 760[nm], 520[°C]인 경우 790[nm], Si-Si 태양전지는 800[nm]에서 단락전류의 peak값을 나타내었다. 즉, 열처리 온도가 높아짐에 따라 장파장쪽으로 peak값이 이동하는 것을 알 수 있는데 이것은 열에너지로 인하여 앞서 기술한 SiC 박막의 비산 또는 기판에서의 박리로 성장한 grain 크기가 적게 세분되거나 파괴되어 불순물로 작용하는 등 불완전한 물질 구조로 되기 때문이다. 따라서 불순물 준위가 많아지게 되고 적은 에너지에서 광전류를 얻을 확률이 많아지기 때문으로 사료된다.⁹⁾

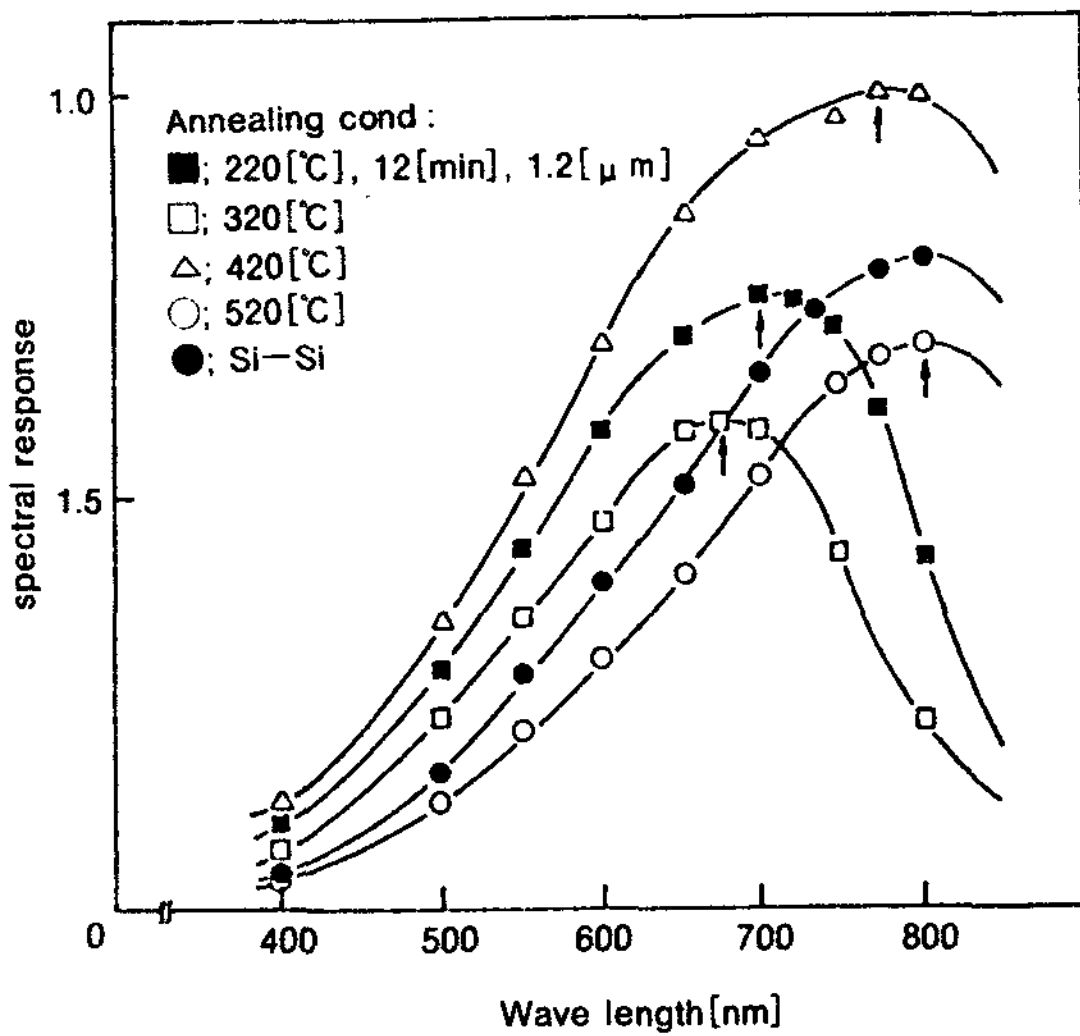


Fig. 8 Spectral response of short circuit current

4.5 입사광 에너지에 따른 (P)SiC/(N)Si 태양전지의 특성

Fig. 9는 직접 태양광의 조사시, 입사광에너지 변화에 따른 단락전류와 개방 전압의 변화를 나타낸 것으로, 광 에너지가 증가함에 따라 단락전류는 직선적으로, 개방 전압은 대수적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 입사광의 광 에너지에 따라 단락전류가 증가하는 것은 광의 에너지가 커서 SiC와 Si의 접합에서 생성되는 소수 캐리어의 수가 크게 증가함으로써 도핑에 의한 다수 캐리어 양과 같은 정도가 되어 소수 고주입 상태가 되면 소수 캐리어의 수명이 크게 영향을 받기 때문이다.¹⁰⁾ 광여기에서는 소수 캐리어 수명이 길다고 생각하고 그렇게 되면 광전류는 증가하게 된다.^{10,12)} 그러므로, 태양전지는 광에너지 증가에 따른 단락전류가 직선적으로 증가한다.¹⁰⁾ 또한 개방전압

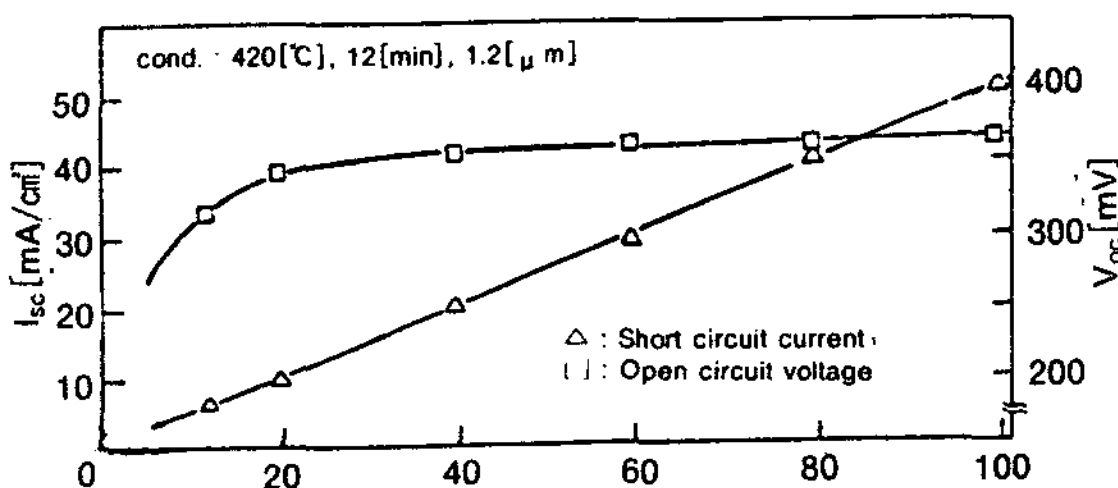


Fig. 9 Solar energy dependence of (P)SiC/(N)Si solar cell characteristics

이 지수적으로 증가하는 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. 진성 캐리어 밀도는

$$pn = n_i^2 = 4(2\pi kT/h^2)^3 (m_n^* m_p^*)^{3/2} \exp(-E_g/kT) \quad (6)$$

단, n_i : 진성 캐리어 농도
 m_n^* : 전자의 유효질량
 m_p^* : 정공의 유효질량
 E_g : 금지대 폭
 T : 절대온도

와 같으며 절대온도 T 및 금지대 폭 E_g 의 함수가 된다. 광에너지에 의해 온도가 상승하면, 이에 따라 n_i 는 증가하므로 E_g 가 감소하여도 n_i 는 증가한다. 또한 P-N 접합의 포화전류는¹⁰⁾

$$J_0 = q n_i^2 (D_p/L_p N_d + D_n/L_n N_a) \quad (7)$$

J_0 : 포화전류밀도
 N_a : P형 영역의 억셉터 밀도
 N_d : N형 영역의 도너 밀도
 L_n : 전자의 확산거리
 L_p : 정공의 확산거리
 D_p : 정공의 확산상수
 D_n : 전자의 확산상수

와 같이 n_i^2 에 비례하는 것으로 광에 의한 태양전지의 온도상승은 포화전류를 증가시킨다.

4.6 전압-전류(V-I) 특성, 충실도 및 효율

Fig. 10은 본 실험에서 제작한 (P)SiC/(N)Si 태양전지의 V-I 특성곡선으로, 증착두께는 1.2 [μm]로 광투과율과 sheet 저항과의 관계를 고려해 통일시켰으며 annealing 시간은 각 12 [min]으로 하였다. 또한 입사광 에너지는 직접 태양광을 Pyranometer로 측정하여 100 [mW/cm²]하에 실시하였다. 그림(a)는 annealing을 하기전, (b)는 500[$^{\circ}\text{C}$]에서, (c)는 380[$^{\circ}\text{C}$], 그리고 (d)는 본 실험에서 최적의 온도로 보는 420[$^{\circ}\text{C}$]에서의 곡선이다. annealing 전에는 전지효율이 매우 낮으나 온도를 높임으로써 효율은 상당히 향상되었다. 이러한 효율 7%의 증가는 SiC 박막 자체의 특성향상에 기인한다. 그러나 420[$^{\circ}\text{C}$]를 임계로 효율이 다시 감소하는데 이는 과도한 annealing 온도에서는 surface state의 감소나, 직렬저항 R_s 가 증가하

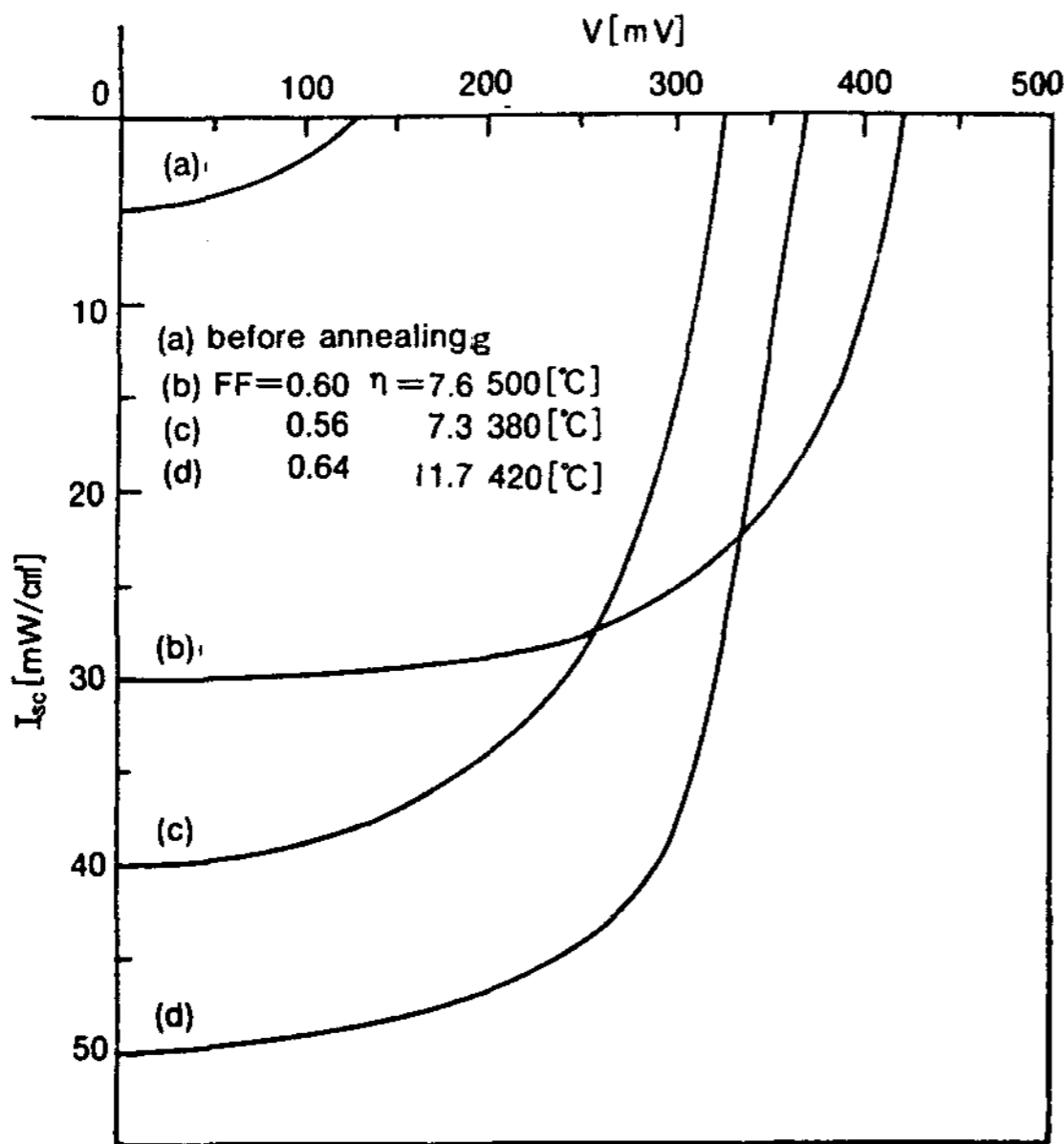
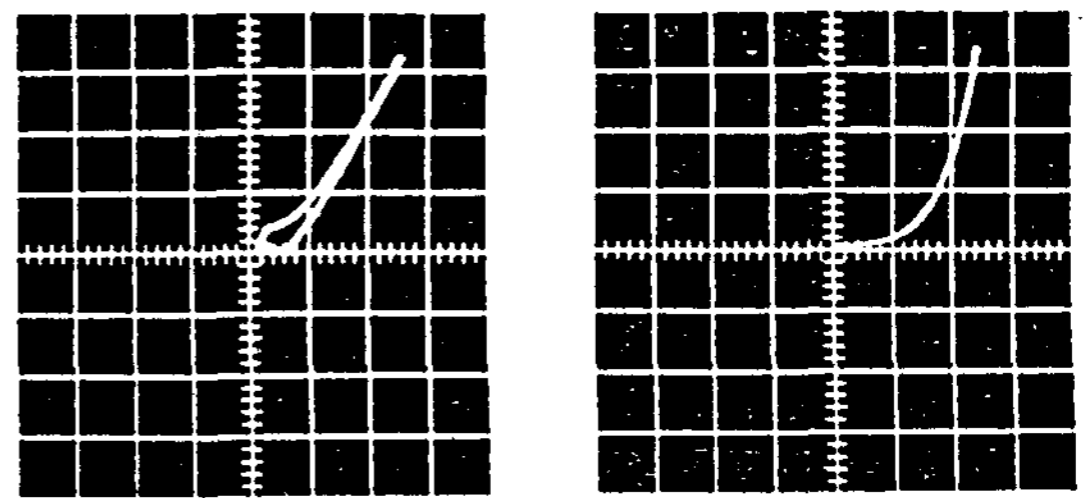


Fig.10 V-I curve of (P)SiC/(N)Si solar cells at different annealing temperature

*Data of curve (d);
 - 증착두께 : 1.2 [μ m]
 - annealing 시간 : 12 [min]
 - 입사광 에너지 : 100 [mW/cm²]
 - 변환효율 : 11.7 [%]

기 때문인 것으로 사료된다.

Photo.2 (a) 및 (b)는 암(dark) 상태에서, 순방향 V-I 특성곡선으로 측정계기는 Semiconductor-Curve Tracer(KOKUYO Electronic Co., LTD)를 사용하였다. P-N 접합이 형성된 태양전지에 순방향 bias를 걸면 전자의 potential 에너지는 변화하고 장벽의 높이는 감소하여 N형 영역에서 P형 영역으로 이동하는 전자의 수가 증가한다. 이와같은 경우를 순방향 bias라 하며 Photo.2의 (b)는 이의 특성을 나타낸 것으로 양호한 정류성 접합을 이루고 있으며 diode의 일반식 $I = I_0 [\exp(qV/kT) - 1]$ 을 잘 만족하고 있음을 알 수 있으나, Photo.2의 (a)는 여러가지 원인에 의하여 P-N 접합의 불완전 형성으로 diode 특성이 잘 나타나지 않음을 알 수 있다. 또한, Fig. 11은 annealing 온도에 따른 충실도 FF와 효율 η 의 관계를 나타낸 것으로 이들은 단락전류 I_{sc} 와 개방전압 V_{oc} 값에 의존한다. 따라서, Fig. 5에서와 같이 I_{sc} 와 V_{oc} 각각의



(a) 320 [°C], 12 [min] (b) 420 [°C], 12 [min]

Photo.2 V-I characteristics of (P)SiC/(N)Si solar cell
 horizontal scale: 0.2 [V/div]
 vertical scale: 2 [mA/div]

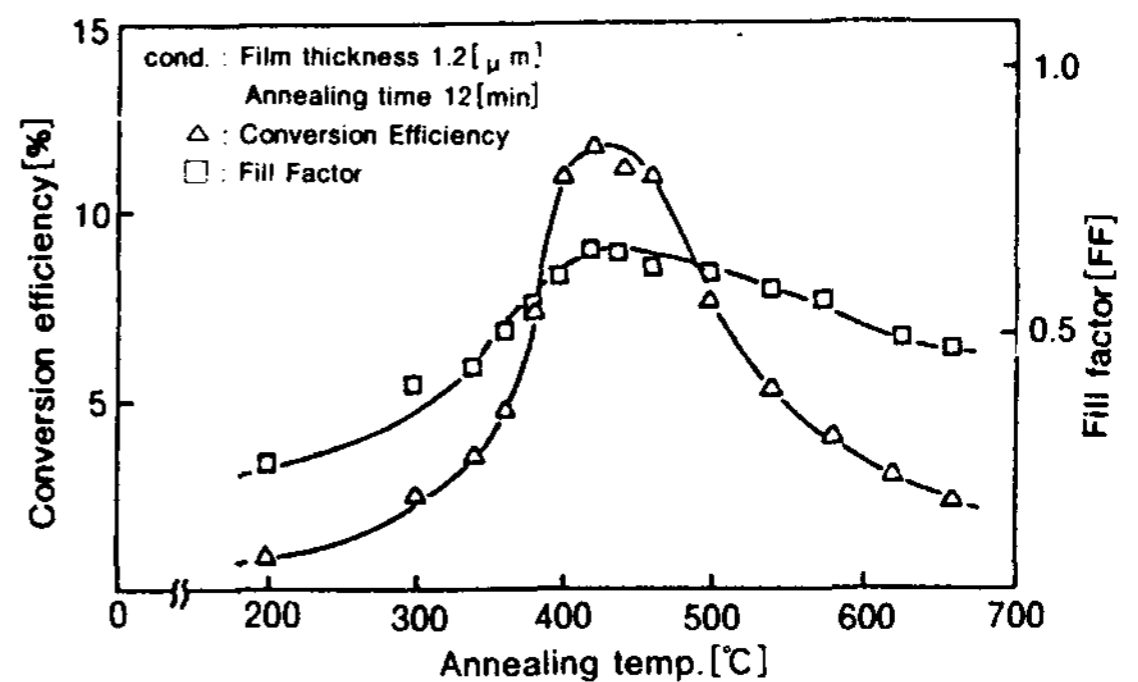


Fig.11 Efficiency & Fill Factor vs. annealing temp.

annealing 효과와 비슷한 현상을 Fig. 11에서도 볼 수 있다.

(P)SiC/(N)Si 태양전지는 FF가 0.64로 크지 못하나, 효율이 11.7 [%]로 효율면에서 매우 우수한 특성을 냈다.

5. 결 론

본 연구에서는 다결정 SiC를 진공 증착법으로 화합물 반도체 (P)SiC/(N)Si 이종접합 태양전지를 제작하여 실제 태양광 입사 에너지 100 [mW/cm²] 하에서 제반특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 최적의 태양전지는 420 [°C]에서 12 [min] 열처리 한 것으로 두께는 1.2 [μ m]이고 실제 태양광 100 [mW/cm²] 하에서 단락전류 I_{sc} 는 50 [mA/cm²], 개방전압 V_{oc} 는 366 [mV], 충실도 FF는 0.64, 효율 η 는 11.7 [%]을 얻었다.

2. X선 회절 분석결과 증착시 다결정성을 나타내던 SiC 증착박막이 annealing 온도와 시간에 따라 SiC 기판의 단결정 방향으로 결정이 성장함을 확인할 수 있었다.

3. 열처리 온도와 시간에 따라 특성이 개선되었지만 420[°C]와 12[min]을 임계로 특성이 저하됨을 알 수 있었다.

4. 이 전지는 가시광 영역에서 광 응답이 우수하며, annealing 온도의 증가에 따라서, 광 응답의 peak 값이 장파장 쪽으로 이동함을 알았다.

5. 입사광 에너지에 따라, 그 크기는 다르지만, 단락전류 I_{sc} 는 직선적으로, 개방전압 V_{oc} 는 지수함수적으로 증가함을 알았다. 이것은 광 센서로서의 이용도 가능성을 시사하는 것이다.

참 고 문 헌

1. T. Feng, A.K. Ghosh & C. Fishman, Appl. Phys. Lett., 34, p.198(1979)
2. Kirk othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology," 3rd Edition Vol.4, Wiley Inter. Science, pp.520-535(1978)
3. M.M. Dobson, Silicon Carbide Alloys p.2, 13, (1986)
4. 関壽弘, 白壽鉉 共譯(Lawrence H.Van Vlack 原著) 自然科學. 5版. 普成文化社. pp.288, 622-625
5. 朴昌燁 編譯. 에너지 變換工學. 金寧 出版社. pp.64-655
6. K.E. beam. P.S. Gleim-7 Electrochem. Soc., 114, 11. 1158, (1967)
7. E. Machevsky. L. Freiberga Invesitigation of polycrystalline-SiC film on Silicon substrates pp.123-126, (1965)
8. Kasturi Lai Chopra, "Thin Film Solar Cells", Plenum Press. 327, 328, (1983)
9. S.M. Sze, "Semiconductor Divices, physics & Technology", John. Willey & S. 70-109, (1985)
10. 高橋清, 浜川圭弘, 後川昭雄, 太陽光 發電, 森比出版, pp.166-170, (1980)
11. M. Burgelman, Thin Solid Films 102, 367, (1983)
12. Ludmila Eckertova, Physics of Thin Films, Plenum, pp.219-228, (1986)

The developed system manufactured with domestic materials were installed in residential buildings in seven cities(Seoul, Pusan, Taegu, Kwangju, Taejeon, Kangneung, Cheju) for demonstration and field test and results show possibility for commercialization.

Multi-Objective Evaluation for Hybrid Use of Natural Energy in Power System

Sang Hyun Bae · Jae Youn Lee *

College of natural Sciences, Chosun University
Graduate school, Chosun University*

ABSTRACT

Research and development works on practical application of natural energy utilization systems involving solar, wind and sea wave energies are under promoting for the purpose of improving the energy consumption structure. These natural energies, made available with the use of relatively simple apparatus, are clean economically efficient and highly effective in the conservation of environment. However, these natural energies also have low energy density, randomness and regional variations. To compensate for these characteristics, hybrid utilization of solar and wind energies is currently under study.

The introduction of a plural number of the natural energy hybrid utilization systems into a specific area will affect the economic efficiency, reliability and environmental conservation. Evaluation method of such effects has been examined in this study.

The present method consisted of the steps described below. First, available energy was calculated from insolation distribution and wind velocity distribution in the specified area, and then the effect on the configuration of the power system load was obtained. This was followed by the determination of the optimal power dispatch over the specified period and by evaluations in light of economic efficiency, reliability and environmental indices.

A Study of Semiconductor (P)SiC/(N)Si Heterojunction Solar Cells

Choon-Saing Jhoun · Won-Kyu Park · Ho-Whan Woo

Inha Univ.
Central Vocational Training Institute *
Inha Technical Junior Collage **

ABSTRACT

In this study, the (P)SiC/(N)Si solar cell is fabricated by the vacuum evaporation method with the substrate temperature at about $200 \pm 5 [^{\circ}\text{C}]$ and its characteristics are investigated. The optimal thickness of $1.2 [\mu\text{m}]$ of SiC film is derived from the relation between film thickness and conversion

efficiency. The characteristics of solar cells are improved by the annealing. The optimum annealing temperature and duration are 420[°C] and 12[min], respectively it is shown that the peak values of spectral response are shifted to the long wavelength region with increasing the annealing temperature. The X-ray diffraction patterns and the scanning electron micrographs show the grain growth in SiC film as the annealing temperature and time is increased. The best conversion efficiency is 11.7[%] for a 2.5×1 [cm²] cell.

The Development of Software for Design of Centrifugal Pumps

Ee-Tong Pak · Ho-Seon Yoo* · Yang-Koo Kwon**

Sung Kyun Kwan University

Kyeong Sang National University*

Graduate School, Sung Kyun Kwan University**

ABSTRACT

A centrifugal pump was selected as a basic study, for it was utilized widely at the industry among various types of pumps. The purpose of this study was to develop the software for design of centrifugal pump. The step of this design was divided into two stages. First, the impeller was designed by the experiences and theory of A.J.Stepanoff, and the head was checked whether the design of impeller was acceptable. Second, the volute chamber was designed by the Archimedes spiral. Then, These procedures of impeller and volute chamber were developed into the software in C-language.

Checked the validity of the developed software, the results were consistent with the actual pump produced domestically.

A Study on the Natural Convection from the Isothermal Square Beam Attached to an Adiabatic Plate

Jae-Lim Park · Sun-Sok Kwon*

Pusan Junior College

Dept. of Mechanical Engineering, College of Engineering, Dong-A University*

ABSTRACT

Steady laminar natural convection heat transfer from the isothermal square beam attached to an adiabatic plate has been studied for various inclination angles of the adiabatic plate and Rayleigh number by using Mach-Zehnder interferometer in air.

As the inclination angles change, the different temperature and fluid flow field were obtained by the ascending heated fluid and the adiabatic plate.

In this study, the inclination angles were 0°(positive & negative), 45°(positive & negative), and 90°. The maximum total mean Nusselt number value was found at a positive inclination angle $\theta = 45^\circ$.