

非晶質 실리콘 태양電池의 動作溫度 特性

Operating Temperature Characteristics of Amorphous Silicon Solar Cells

韓 民 九\*

Min Koo Han

ABSTRACTS

Experimental results are discussed concerning temperature effects from 25°C to 100°C on amorphous silicon solar cells. N-I-P hydrogenated amorphous silicon solar cells are fabricated on stainless steel and indium tin oxide glass substrates. The open circuit voltage, short circuit current, fill factor and conversion efficiency have been measured under AM1 condition as a function of temperature. The open circuit voltage decreased by 2.6mV/°C while the short circuit current increases with increased temperature. The conversion efficiency is almost independent of temperature which is contrary to widely using single crystalline solar cells of which efficiencies decrease with increasing temperature.

1. 서 론

태양電池 (Solar Cell)는 태양광을 직접 직류 전기로 변환시키는 반도체 소자로서 대체에너지뿐 아니라 인공위성의 動力源등으로도 사용될 수 있기 때문에 많은 관심을 끌고 있다. 1970년대 중반까지 태양전지는 대체에너지 보다는 인공위성의 동력원에 필요한 신뢰성, 내구성 및 효율의 증가에 관한 연구가 대부분이었으나 1970년대 말부터는 가격의 저렴화를 통한 대체에너지로서의 실용화에 많은 노력이 진행중에 있다. 따라서 태양전지의 가격인하와 대량생산에 적합한 반도체 재료 및 소자의 연구개발이 진행중에 있다.

結晶型 (Crystalline) 실리콘 태양전지는 현재로서 가장 널리 쓰이는 태양전지로서 인공위성에 부착되어서 20년 이상의 내구성 및 신뢰성도 실증되었으며 변환효율도 18% 이상이 되어 있으나 경제성에 문제가 있다. 태양전지가 대규모 발전용으로 실용화 되기 위하여서는 1 watt의 전력을 발생하는데 필요한 가격이 2 dollar 미만으로 되어야 경제성을 갖게 되는데 현재의 5~6 \$/watt

의 가격으로 되어 있는 결정형 실리콘의 경우 더 이상의 가격인하가 어려울 전망이다.

박막형 (Thin Film) 태양전지가 경제성을 갖고 있다고 판단되기 때문에 이 분야의 연구가 미국과 일본에서 집중적으로 진행중이다. 특히 非晶質 (Amorphous) 실리콘 태양전지는 초박막형 (0.5 μm 미만)으로 제조가 가능하고 경제성이 있기 때문에 많은 관심을 끌고 있다.

태양전지는 작동중에는 온도가 상승하게 되는데 온도가 상승하려는 결정형 실리콘 태양전지의 경우 효율이 감소하게 되어서 많은 문제가 야기된다.<sup>1)</sup> 본 연구에서는 비정질 태양전지를 제작하고 온도상승에 따른 동작 특성을 실험적으로 검토하고 그 상관관계를 규명하고자 한다.

2. 본 론

2-1 비정질 실리콘 태양전지의 제작

본 연구에 사용된 비정질 실리콘 태양전지는 사이렌 개스를 RF(13.56 MHz) 그로우 방전으로 분해하여 증착하는 방법으로 제작되었다. 개스량은 mass flow meter로 조절하였으며 도우핑은 포스파인과

\*正會員 : 서울大 電氣工學科

다이보레인을 사용하였다. 진공용기는 stainless steel 로써 단일용기 이었으나 N층과 P층의 도우핑후 충분한 시간이 경과한 후 I층을 제조하였기 때문에 잔류개스의 영향을 극소화 하였다. 상세한 증착조건은 Table 1 과 같다.

Table 1 Deposition Condition

r·f power	20-25 W
pressure	0.5 Torr
base pressure	10 <sup>-6</sup> Torr
substrate temperature	250-300 °C
SiH <sub>4</sub> flow	5-10 sccm
H <sub>2</sub> flow	15-20 sccm
PH <sub>3</sub> (1% H <sub>2</sub> diluted)	0.5-10 sccm
B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ( " )	0.5-10 sccm
electrode diameter	15 cm
electrode distance	4 cm

비정질 실리콘의 박막의 특성은 Infrared Spectroscope 로 wave number 2000( $cm^{-1}$ ) 부근에서 SiH stretch bond와 600( $cm^{-1}$ ) 부근에서 SiH rock bond를 관찰하였다. 또한 광흡수계수 및 에너지 밴드갭은 spectro-photometer를 통하여 측정하였는데 intrinsic 비정질 반도체의 경우 1.73eV의 bandgap을 관찰하였다. Fig.1 에 Infrared Spectrum을 표시하였고 Fig.2 에 광흡수계수 및 에너지 밴드갭의 상관관계를 표시하였다. 본 연구에 사용된 비정질 실리콘박막의 두께는 Ellipsometer 및  $\alpha$ -step의 결과를 비교

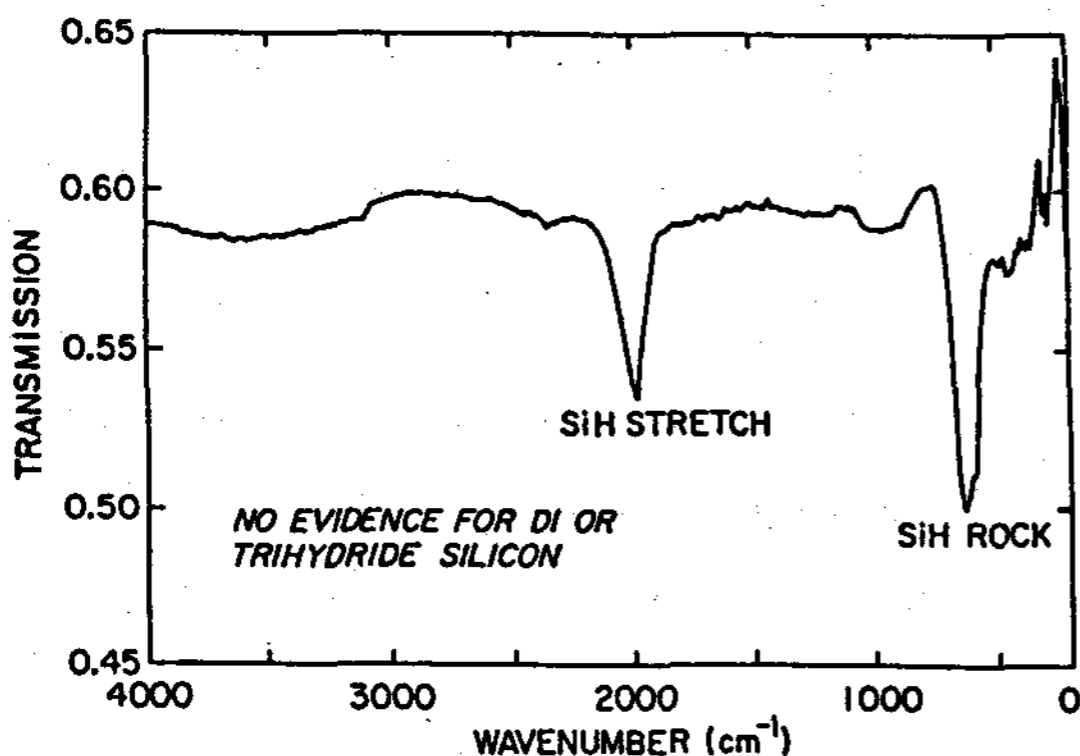


Fig. 1 Infrared Spectrum

하여 측정하였는데 증착율은 약 80 Å/min 이었다.

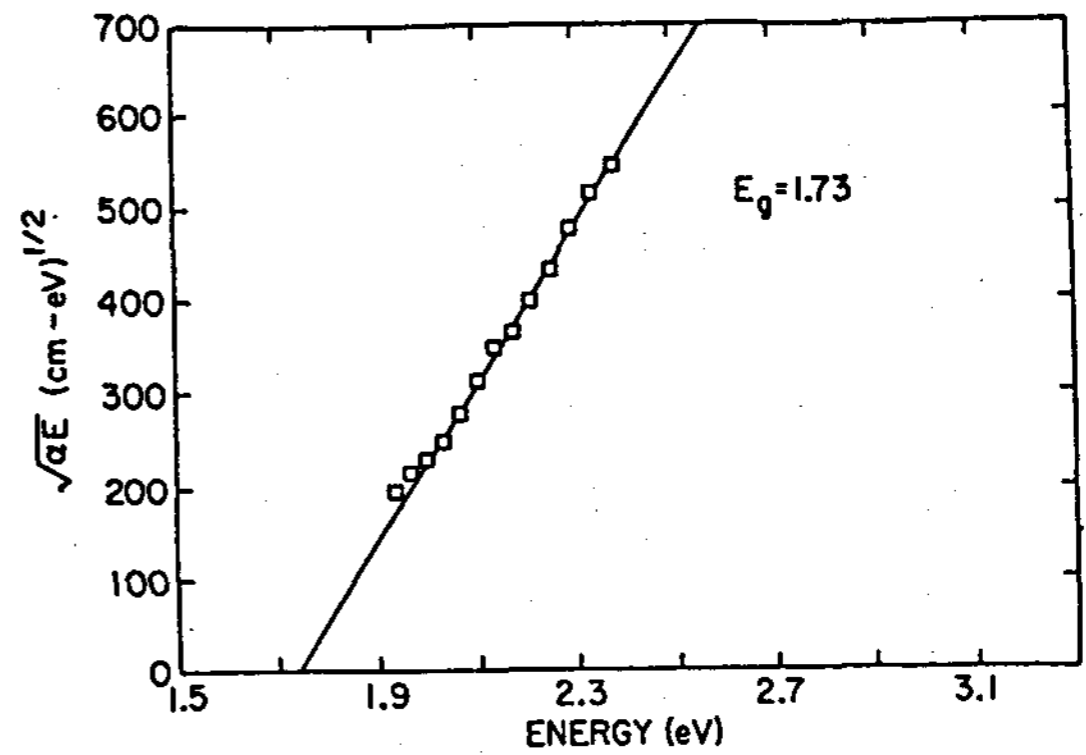


Fig. 2 Optical Bandgap of Intrinsic a-Si:H

비정질 실리콘 태양전지의 제조를 위하여 ITO (indium tin oxide) 및 stainless steel 을 기판으로 사용하였다. 기판의 세척은 DI water, Ultra Sonic Cleaner 및 아세톤을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 태양전지의 개략도는 Fig.3 과 같다. Alumium grid는 mask를 제작하여 thermal evaporation으로 증착하였다.

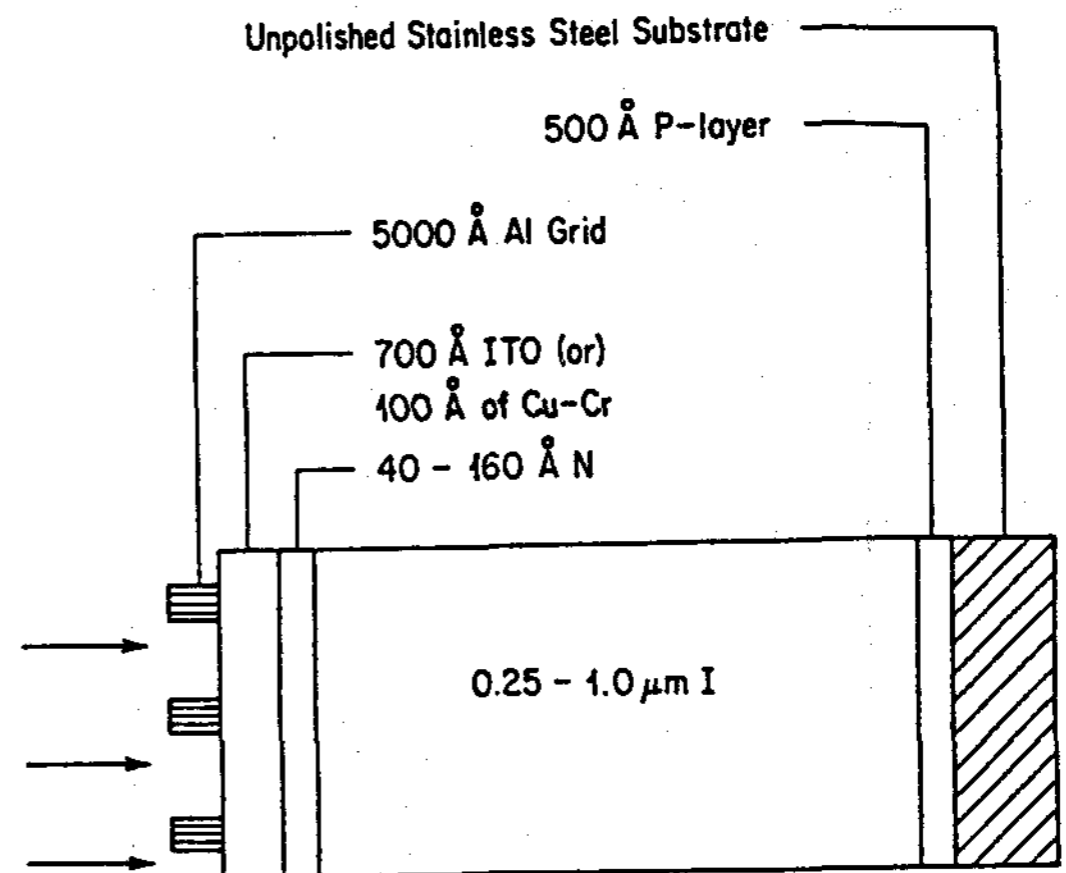


Fig. 3 Schematic Diagram of Solar Cell

2-2 태양전지의 특성

제조된 태양전지를 AM1 ( Air Mass One) 상태에서 효율을 측정하였다. General Electric의 300 Watt ELH Lamp를 표준태양전지( standard solar cell)로 보정하여 사용하였다. AM1의 강도는 100mW/cm로 조절하였다. 태양전

지의 특성은 curve tracer를 사용하여 측정하였다. 매번 측정할 때 마다 개방전압, 단락전류밀도 및 암전류를 측정하였다.

아모포스 태양전지가 온도상승에 따라서 특성이 어떻게 변화하는가를 규명하기 위해서, 제작된 비정질 태양전지(ITO-N-I-P-SS)를 전기저항으로 가열된 구리판 위에 부착하였다. 태양전지의 온도는 CA 열절대로 측정을 하였는데, 열전대의 하나의 단자는 Omega Engineering 제품의 electric 빙점에 연결하여서 0℃를 유지하도록 하여 정확도를 기하였다. 태양전지의 온도를 20℃에서부터 5℃상승시켜 가면서 전류-전압, 효율, 단락전류, 개방전압, Fill Factor, 스펙트럼 응답 Dark I-V 및 입사광을 변화할때 관계되는  $V_{oc}$ - $J_{sc}$ 의 관계등을 측정하였다. 측정을 할때는 태양전지가 thermal equilibrium에 도달하는것을 확인하고 측정을 시작하여서 얻은 여러 data의 정확도를 기했다. 또한 여러번의 측정을 통해서 reproducibility를 확인하였다.

AM1 조명 (100 mW/cm<sup>2</sup>) 상태하에서의 비정질실리콘 태양전지의 25℃, 50℃, 100℃의 전류-전압특성을 curve-tracer로 측정을 하여 기록한 data들을 Fig.4에 표시하였다. 개방전압이 감소하고 단락전류는 증가하는데 Fill factor는 거

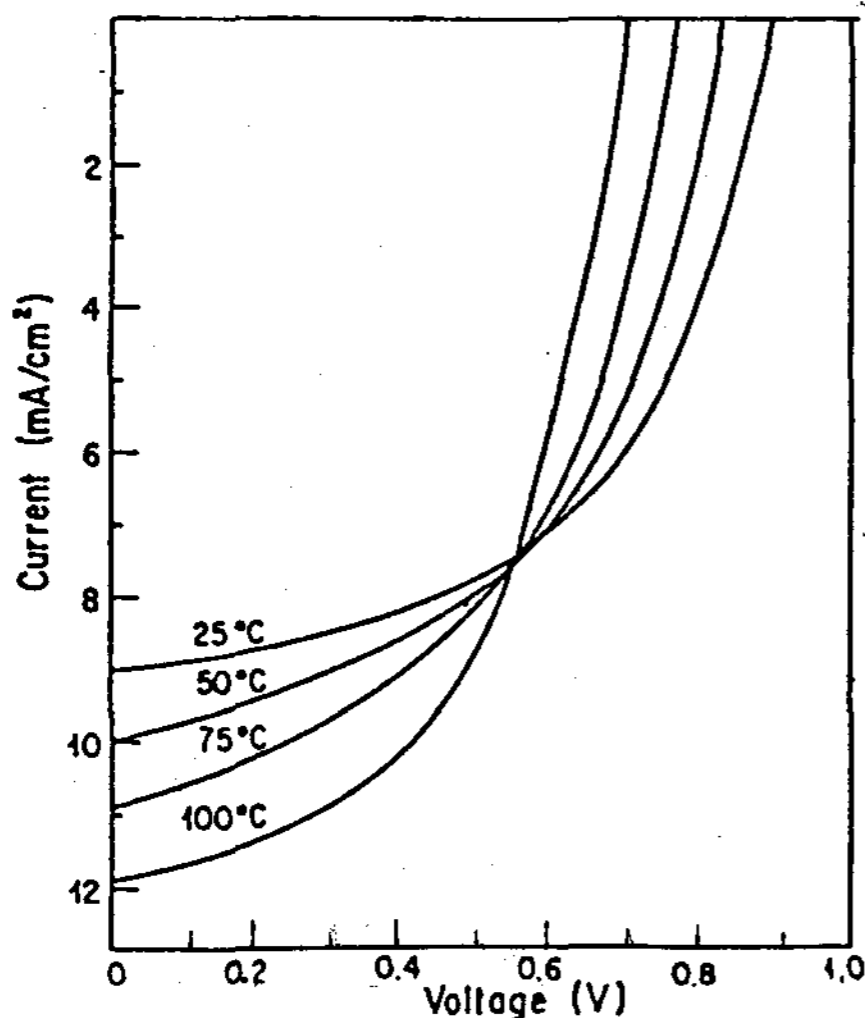


Fig. 4. I-V Characteristics of Solar Cells at Various Temperatures.

의 변화를 안하고 있었다. Fill factor는 0.56 ± 0.01로써 25~100℃까지 거의 일정한 값을 유지하였다. 효율을 측정한 바 또한 6.5% ± 0.02%로써 효율 또한 온도와는 무관함이 밝혀졌다.

개방전압 실리콘 태양전지의 온도특성을 상세히 규명하기 위하여 개방 전압 ( $V_{oc}$ )와 단락전류를 온도의 함수로 Fig.5에 표시하였는데 개방전압은 온도에 따라서 선형적으로 감소

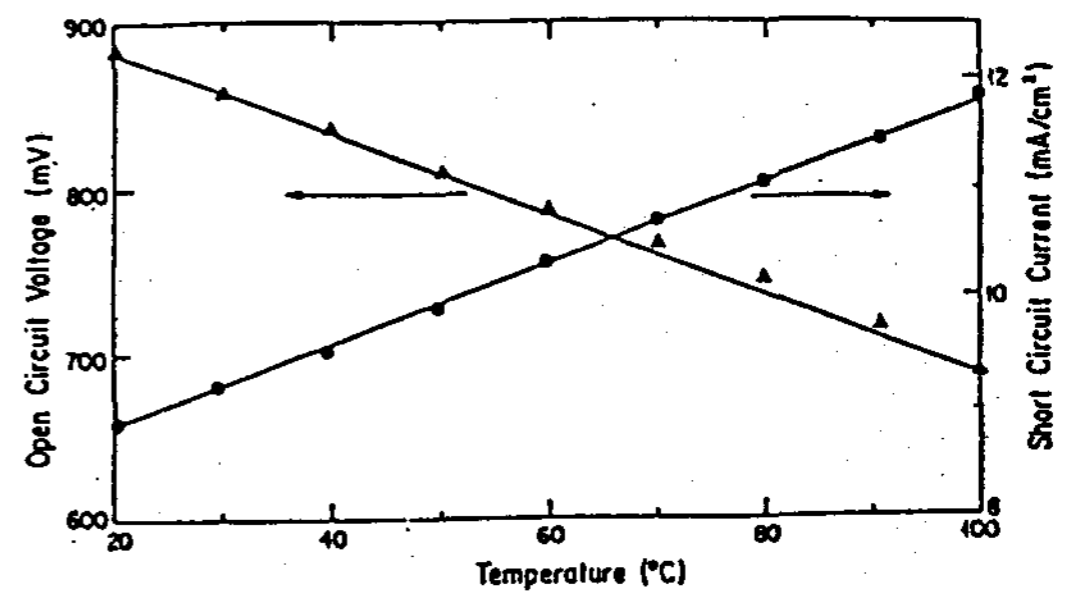


Fig. 5. Voc and Isc at various temperature

하였다. 25℃에서 880mV로 100℃에서는 680mV로 저하되면서  $dV_{oc}/dT$ 의 Slope가 -2.67 mV/℃였다. 식으로 표시하면,

$$V_{oc}(T) = V_{oc}(T_0) - 2.67 \text{ mV} (T - T_0)$$

$$T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V_{oc}(T_0) = 880 \text{ mV}$$

$V_{oc}$ 와  $J_{sc}$ 의 상관관계를 구하기 위하여 조명 강도를 25°, 50°, 75° 및 100℃에서 조절하면서  $V_{oc}$ 와  $J_{sc}$ 를 측정하였다. Fig.6에 표시된 바와 같이  $\log J_{sc}$ 와  $V_{oc}$ 는 선형적으로 변화하는데 식 (2)로 표시가 될 수 있다.

$$V_{oc} = \frac{n_e kT}{q} [ \ln J_{sc} - \ln J_{01} ] \quad (2)$$

$n_e$ : Diode quality factor under illumination

$J_{01}$ : Saturation Current under illumination

$k$ : Boltzman Constant

$T$ : Temperature (K)

$q$ : unit charge

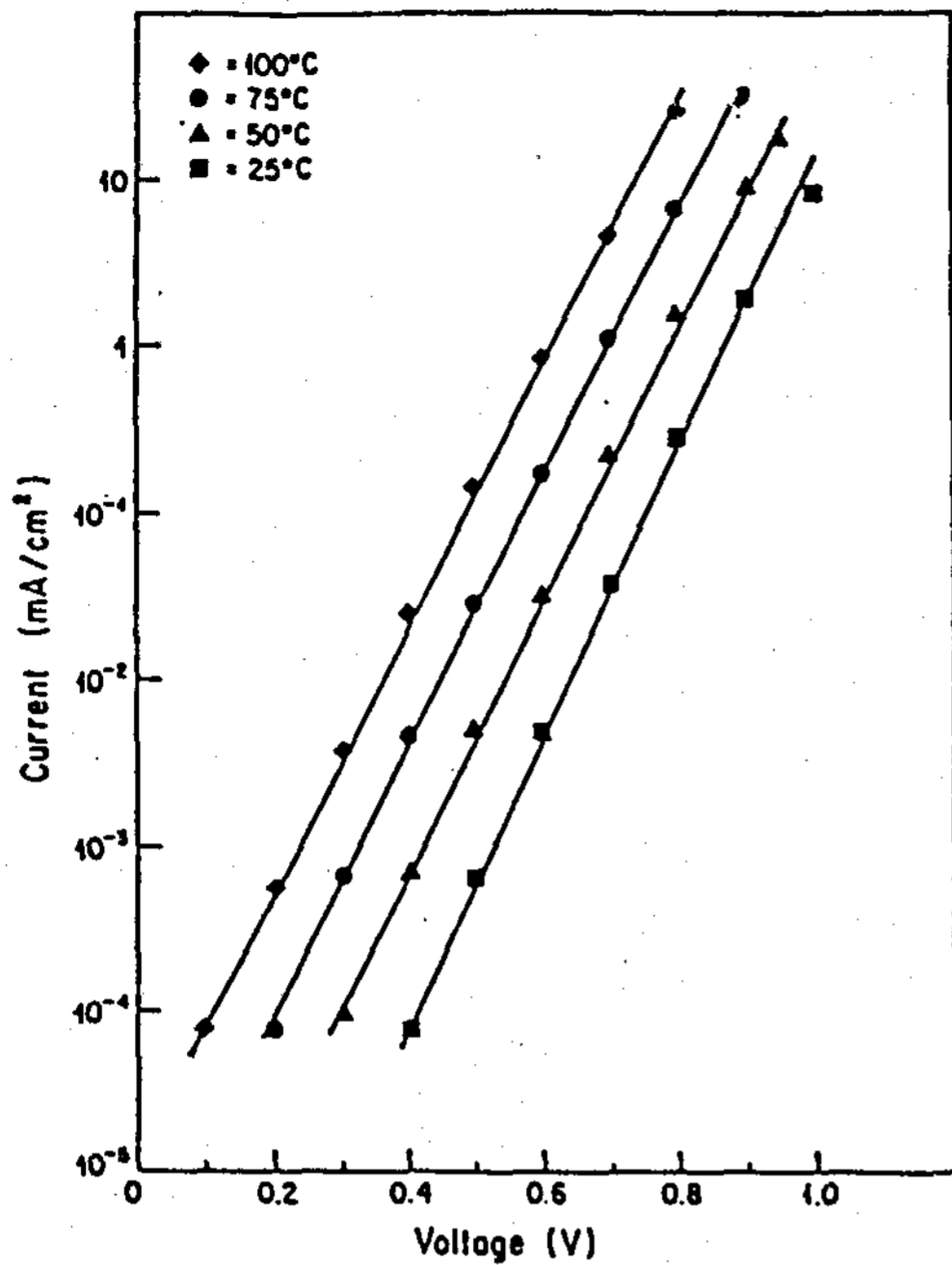


Fig. 6 Dark I-V Characteristics at various temperatures

$n_e$ 의 값은 1.2로써 온도에는 무관하다는 것이 밝혀졌는데, 이것은 반송자 전도 구조 및 재결합 구조가 온도에 영향을 받지 않는다는 증거이고 또한  $n_e$  값인 1.2로써 이상적인 diode의  $n_e$  값인 1보다 큰것은 재결합이 많이 일어나고 있다는 것으로 해석이 될 수 있겠다.  $J_{01}$ 은  $J_{sc}$ 와  $V_{oc}$ 의 관계에서 추출이 되었는데 온도에 따라서 지수적 증가 되어서 다음과 같이 표시할 수 있었다.

$$J_{01} = q \frac{D_n}{L_n} n_{no} \exp \frac{-qV_{bi}}{kT} \quad (3)$$

$D_n$  = Diffusion Constant

$L_n$  = Diffusion Length

$n_{no}$  = Electron Density in I Layer

$V_{bi}$  = Built-in-Potential

Dark I-V 특성의 온도에 대한 변화를 측정하였다. diode quality factor  $n$ 은 온도에 불변이고 값은 그대로 측정되었는데, N-I-P a-Si:H 태양전지의 반송자 구조가 광흡수가 없을 때에는 depletion region이 undoped layer의 대부분을 차지함으로써 재결합이 증대되기 때문에 확

산은 감소되어서, 재결합이 우세한 반송자전도 구조로 판명되었고 온도가 증가하더라도 확산 증가가 안된다는 것이 판명되었다.

a-Si:H solar cell에서 가장 흥미가 있는 현상은 온도에 따라서 단락전류가 증가되는 현상인데, 이것을 자세히 규명하고자 spectral response를 25°~100 °C까지 측정하였다.

Oriel narrow bandwidth filter를 이용하여 측정한 결과를 Fig.7에 표시하였다.

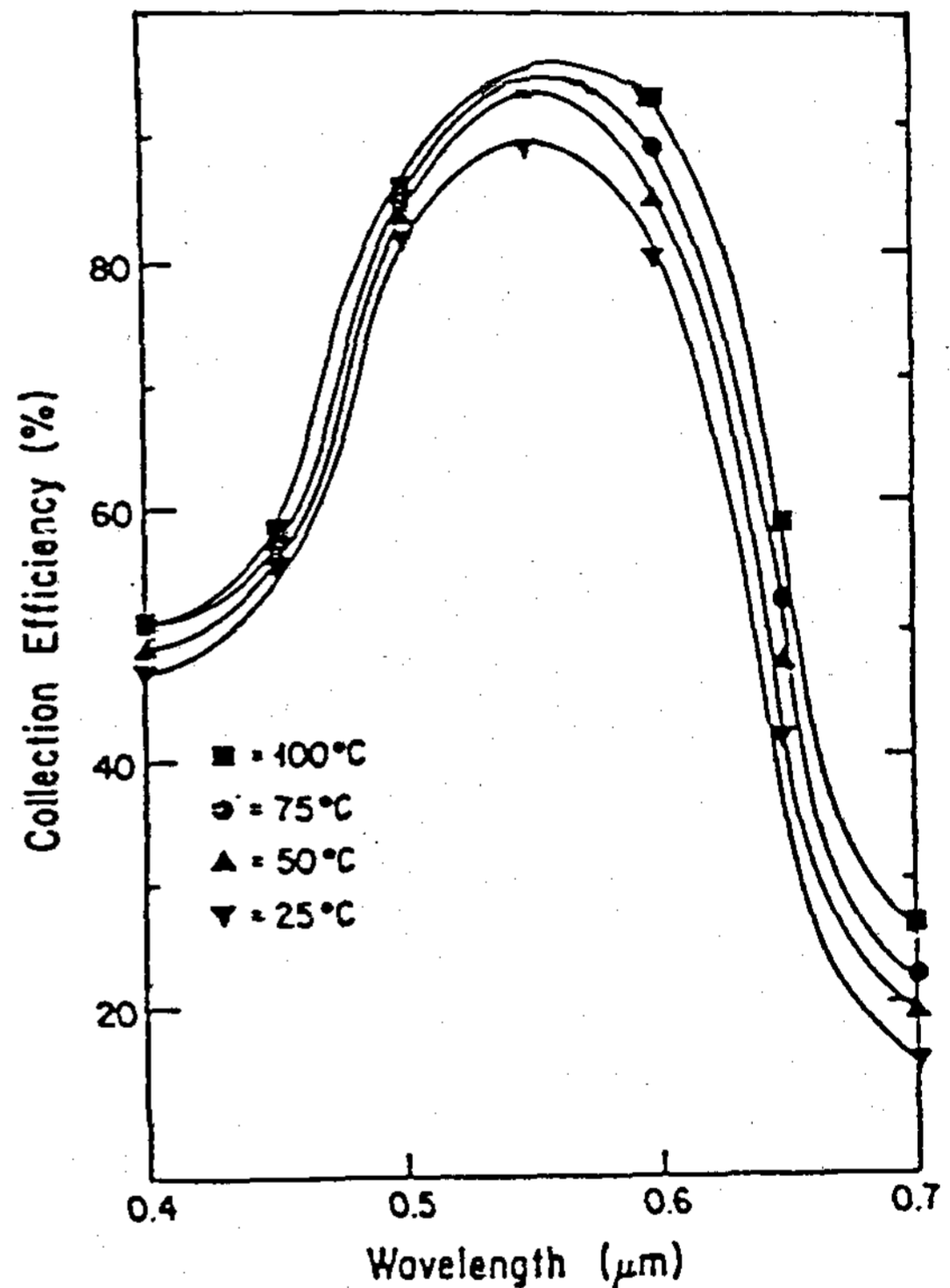


Fig. 7 Spectral response of cell at various temperatures

장파장의 collection efficiency는 온도에 따라서 증가가 많이 되는데 단파장의 collection efficiency는 별로 많이 증가하는 되지 않았다. 장파장의 광흡수계수가 단파장의 광흡수 계수보다 매우 작기 때문에 장파장은 대부분이 intrinsic layer에 흡수되고 단파장은 광흡수계수가 매우 크기 때문에 대부분이 N layer에서 흡수되는 경향이 있는데, 단파장의 collection efficiency가 온도에 따라서 큰 변화가 없는 것은 Dead

Layer가 온도에 변화하지 않는것 같다. 또한 광 흡수계수의 온도에 대한 특성은 아직 규명된 바가 없다. 다만 sputtered a-Si:H에서는 absorption edge가  $-4 \times 10^{-4} eV/K$ 만큼 변화한다는 문헌의 보고만 있는데, 이 정도의 edge shift로는 본 연구에서 관찰된 collection efficiency의 증가는 설명하기 어려운 것으로 계산이 되었다. collection efficiency의 증가는 이동와 반송자 생존 시간으로 결정되는 collection width의 증가로 설명되는 것이 타당하다고 사료된다. 이러한 collection width의 증가가 장파장의 collection width안에서 흡수가 되고 단파장은 태양전지의 표면부조에서 납이 흡수되기 때문에 장파장의 SR이 증가하고 단파장은 표면의 성질과 dead layer가 중요

한 역할을 하기 때문에 온도의 영향은 받지 않는 것으로 사료된다.

### 3. 결 론

온도 상승에 따른 P-I-N 비정질 태양전지의 특성이 실험적으로 규명되었다. 비정질 태양전지의 효율은  $25^{\circ} \sim 100^{\circ}C$ 의 온도 영역에서 온도에 무관하다는 것이 밝혀졌다. 이러한 현상은 결정형 실리콘의 경우와는 다른점으로 비정질 태양전지의 실용화에 큰 도움이 된 것이다.

### 후 기

본 연구는 1986년도 문교부 학술연구 조성비 지원에 의하여 수행되었습니다.

## REFERENCES

1. H.J. Hovel, "Solar Cells" Academic Press, New York, 1975.
2. J. Stone, USDOE Technical Report, 1983.
3. L.L. Kazmerski, USDOE Technical Report, 1982.
4. W.A. Anderson, 16th IEEE PVSC, Florida, USA, 1982.
5. J.J. Fan, 16th IEEE PVSC, Florida, USA, 1982.
6. A. Rothwart, USA NSF-RANN, AER 75-15858.
7. H. Bube, 13th IEEE PVSC Washington D.C., U.S.A., 1978.
8. D.E. Carlson, IEEE IEDM, p.214, 1980.
9. E. Sabisky, 16th IEEE PVSC, Florida, U.S.A., 1982.
10. H. Hamakawa, 16th IEEE PVSC, Florida, U.S.A., 1982.
11. C. Wronski: Proceedings of CILL, Edinburgh, England, 1977.
12. S.M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices," Wiley, U.S.A., 1969.
13. E. Yang, "Fundamentals of Semiconductor Devices," 1975.
14. L.L. Kazmerki, "Polycrystalline and Amorphous Thin Film Devices", Academic Press, 1980.
15. P.G. Lecomber, Adv. Phys, 26, 811 (1977).
16. D.E. Carlson, U.S. Patent No. 4064521 (1977).
17. W. Paul, Proceedings of CILL, Edinburgh England, 1977.
18. J. Pang, 16th IEEE PVSC, Florida, U.S.A., 1982.
19. D.C. Dalal: USDOE Technical Report, 1982.
20. R. Lahri: Rh.D Dissertation, State U of New York, 1982.