

위성체의 동력원으로서의 GaAs 태양전지

이 승기, °한 민구
서울대학교 전기 공학과

GaAs Solar Cells for a Satellite Application

Seung-ki Lee & Min-koo Han

Dept. of Electrical Eng. Seoul National University

ABSTRACT

GaAs solar cells may be the most attractive and efficient power source of a satellite. GaAs is more radiation tolerant and less temperature sensitive than widely used silicon.

$Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ solar cells have been designed and fabricated by Liquid Phase Epitaxial method. GaAs solar cells, of which structure is about $0.2 \mu m$ p^+ -window layer, $0.6-1.0 \mu m$ Ge-doped p-layer, $3 \mu m$ n-GaAs layer and n^+ -buffer layer, have been characterized as a function of operating temperature from $25^\circ C$ to $130^\circ C$. Open circuit voltage decreases linearly with increasing temperature by $1.4-1.51 mV/^\circ C$ while degradation of silicon solar cells is about $2.2-2.5 mV/^\circ C$, short circuit current does not increase much with increasing temperature. Relative efficiency decreases with increasing of temperature by about $0.21-0.29\%/^\circ C$. Efficiency degradation of silicon solar cells with temperature is known to be about $0.5\%/^\circ C$ and our results show GaAs solar cells may be an excellent candidate for concentrated solar cells.

1. 서론

위성체의 동력원의 중요성은 위성체의 기능이 다양해짐에 따라 날로 부각되어지고 있다. 위성체의 동력원으로는 태양전지, 원자력 그리고 수소에너지를 사용한 연료전지등이 있으나, 원자력은 안정성의 문제가 있고 수소에너지는 가스탱크등 무게 및 주변장치 때문에, 현재 위성체의 동력원으로는 태양전지를 사용하는 경우가 대부분이다. 위성체의 동력원으로서의 태양전지는, 대체에너지의 경우 가격이 중요한 문제가 되는데 비해 가격보다도 효율 및 신뢰성이 중요하게 된다. 현재 널리 쓰이는 실리콘 태양전지의 경우 온도상승 및 방사능 효과에 민감하기 때문에 최근에는 GaAs

태양전지가 위성체의 동력원으로 각광을 받고 있다. 본 연구에서는 위성체의 차세대 동력원으로 쓰일 GaAs 태양전지에 관하여 논하고자 한다.

III-V족 화합물 반도체인 GaAs는 direct bandgap 물질로서 광흡수 계수와 전자의 이동도가 널리 쓰이는 실리콘보다 크며 [1], $20^\circ K$ 이상의 온도에서 실리콘보다 훨씬 작은 열전도도를 갖는 특성을 지니고 있다[2].

태양전지는 bandgap이 증가함에 따라 open circuit voltage가 증가하고 short circuit current는 감소하는데, 이에 따른 효율은 bandgap이 $1.4-2.6eV$ 의 값을 가질때 최적화되어진다[3]. GaAs는 bandgap이 $1.43eV$ 로서 현재 널리 쓰이고 있는 bandgap이 $1.1eV$ 인 실리콘의 경우보다 이러한 범위에 잘 맞는 물질이며 따라서 실리콘보다 향상된 효율을 가질수 있다. 또한 GaAs는 낮은 열전도도에 기인하는 온도상승에 따른 open circuit voltage의 감소율이 실리콘보다 작기때문에 집광형 태양전지(concentrator cell)의 개발이 가능하므로 태양전지의 전체 면적을 감소시켜 출력전력에 대한 비용을 감소시킬 수 있다. 따라서 박막형 태양전지의 개발이 가능하며 방사선(radiation)이나 고에너지 입자들에 의한 diffusion length의 감소에 의한 영향을 실리콘에서 보다 감소시킬 수 있고, 그에 따라 우주공간에서 사용되어지는 인공위성에 동력원으로서 사용되어지기에 적합한 조건을 갖는다[4].

대체적으로 반도체 소자들은 온도가 상승함에 따라 각 특성들이 열화되어지는 경향을 갖고 있는데 특히 태양전지는 광소자이기 때문에 이것에 대한 온도특성의 해석은 중요한 물리적 의미를 갖는다. 또한 집광형 태양전지를 개발하는데 있어서 온도에 따른 특성의 변화는 반드시 고려되어야 할 중요한 요소이다.

GaAs를 사용한 태양전지는 1973년 Hovel과 Woodall[5]이 $Al_xGa_{1-x}As$ 를 사용한 heterostructure design을 제시한 이후로 효율면에서 실리콘보다 우수한 결과를 얻어왔다. 일반적인 온도특성에 대한 연구는 실리콘 태양전지의 경우, 정량적인 해석이 많이 이루어졌으나[3], GaAs 태양전지는 이론적인 해석과[6], 실험에 의한 정량적인 해석이 많이 되어있지 않으며

실험에 의한 해석의 경우 top 영역의 두께는 고려하였으나[5], window 영역의 두께는 고려하지 못하고 있다. 실제로 GaAs를 사용한 태양전지가 집광형으로 사용되어지기 위해서는 태양전지 자체의 무게를 줄여야 하며, 따라서 매우 얇은 두께를 가질 경우의 온도특성을 분석하는 것이 중요하다고 볼 수 있다. 본 논문은 현재까지 발표되어진 설계조건으로부터 $Al_xGa_{1-x}As$ 층의 두께를 고려하여, dark 상태와 일정한 광세기하에서의 온도에 따른 각 특성을 I-V 특성으로부터 측정하고 분석해 봄으로써 GaAs 자체의 물성과 실제로 태양전지가 동작할 때 나타나는 온도의 영향에 대해서 검토하였다.

2. GaAs 태양전지의 설계

$Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ 태양전지는 그림1.과 같이 구성되어진다. 이러한 태양전지의 구조는 기본적으로 base region의 conductivity type에 따라 PPN 구조와 NNP 구조로 나눌 수 있다. 이 두가지 경우에 어느쪽이 더 우수한 효율을 나타낼 수 있을 것인가 하는 문제는 top region의 두께에 의해 결정되어진다. 즉 top region이 매우 얇다면 ($< 0.1 \mu m$) base region에서의 diffusion length가 감소하여 발생하는 장파장 광의 손실이 단파장 광의 이득보다 커지게 된다. 따라서 이러한 경우는 base region의 diffusion length가 증가되어질 수 있도록 NNP 구조를 사용하는 것이 유리하다.

그러나 top region이 매우 얇지 않다면 ($> 0.1 \mu m$) top region에서 발생하는 단파장 광의 손실이 그 어느 경우보다도 큰 영향을 미치게 된다. 따라서, top region에서의 diffusion length가 증가되어질 수 있도록 PPN 구조를 사용하는 것이 유리하다. 결국 top region의 두께가 단파장 광흡수에 아무런 영향을 주지 않을 정도로 충분히 얇다면 NNP 구조가 유리하겠지만 그렇지 않다면 PPN 구조가 선택되어 지는 것이 유리하다. 실제로 GaAs태양전지는 표면쪽에서 발생하는 단파장 광의 흡수가 대부분이고 top region이 지나치게 얇아질 경우 series resistance에 의한 영향이 나타나기 때문에 PPN 구조를 사용하는 것이 유리하다. 이때 top region의 두께는 computer에 의한 계산으로 최적범위를 결정할 수 있으며 본 논문에서 이 값은 AM 1 태양광 스펙트럼하에서 $0.6 - 1.0 \mu m$ 인 것으로 계산되어졌다. 또한 top region과 base region의 doping 농도는 open circuit voltage와 short circuit current간의 증가감소에 의해서 최적범위를 갖는 것으로 알려져 있다[7]. base region의 두께는 지나치게 얇아질 경우, 투과에 의한 손실이 커지거나 back region의 영향이 증가하는 현상을 방지할 수 있도록 diffusion length 이상으로 유지되도록 한다. window region은 표면에 존재하는 많은 defect를 감소시켜 주고, 대부분의 빛을 P-N junction면으로 투과시켜 주는 window의 역할을 할 수 있도록 가능한 한 얇은 두께와 높은 doping을 유지하여야 한다. 그리고 back side에 ohmic contact을 만들기 위하여 BSF(Back Surface Field) region을 첨가 하여 이

부분을 높게 doping시켜 줌으로써 interface recombination을 감소시키고 potential barrier에 의해 carrier들을 P-N junction면에 묶어두도록한다. 또한 AlAs의 mole fraction은 더 많은 빛의 투과를 위해 bandgap이 커질수 있도록 가능한 증가시키는 것이 유리하다. 그림2.에는 PPN 구조와 NNP 구조의 spectral response를 비교한 계산결과가 나타나 있다. 여기에서 보면 단파장 영역에서는 spectral response의 차가 매우 심하며 장파장 영역에서도 PPN 구조가 우수하다는 것을 알 수 있다. 그림 3.에는 top region의 두께에 의해 달라지는 spectral response의 계산결과를 비교해서 나타내었다. 이것으로부터 알 수 있는 것은 top region이 너무 얇아질 경우 (a) 장파장광의 손실이 발생하고 너무 두꺼워질 경우 (b) 단파장광의 손실이 발생한다는 것이다. 그리고 장파장광의 손실보다 단파장광의 손실이 더 크다는 것도 알 수 있다.

이와같은 요인들을 고려하면 다음과 같이 GaAs 태양전지의 최적조건을 설계할 수 있다.

o BSF region :

$$n^+ - GaAs, 10^{17} - 10^{18} cm^{-3}$$

o base region :

$$n - GaAs, 10^{16} - 10^{17} cm^{-3}, 4 - 5 \mu m$$

o top region :

$$p^+ - GaAs, 10^{17} - 10^{18} cm^{-3}, 0.6 - 1.0 \mu m$$

o window region :

$$p^+ - Al_xGa_{1-x}As, 10^{18} - 10^{19} cm^{-3}, 0.1 - 0.2 \mu m, x > 0.8$$

3. 태양전지의 제작

3-1 $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ 태양전지의 제작

III-V족 화합물 반도체를 제작하는데에는 VPE, LPE, MOCVD, MBE등 여러가지 방법이 있으나, 본 논문에서는 지금 현재 가장 널리 쓰이고 있고 경제적인 방법인 LPE를 사용하여 태양전지를 제작하였다.

substrate는 $Si-doped n^+ - GaAs(100)$ 를 사용하였으며 $1 - 4 \times 10^{18} cm^{-3}$ 의 doping 농도와 $350 \mu m$ 의 두께를 갖는다. 이 기판위에 LPE 방법으로 buffer layer, base layer, top layer, window layer를 각각 성장시켰다. 4층의 layer가 모두 성장되었음은 staining etching을 통하여 확인하였으며 이와 같이 실제로 제작되어진 태양전지의 구조와 표면의 모습을 그림4.와 그림5.에 각각 나타내었다. 각 layer의 두께와 doping 농도는 제2장에서 설계한 값이 되도록 하였으며 ohmic contact을 만들기 위해 $700^\circ C$ 에서 3분간 Zn-diffusion을 하였다. GaAs에서의 ohmic contact의 형성 방법은 이미 잘 알려져 있으며[8-10] 본 논문에서도 그와같은 방법에 의해 ohmic contact을 제작하였다. p-contact은 1×10^{-6} torr의 진공에서 Au-Zn 200 mg을 무게비 95:5의 비율로 100A에서 10초 동안 열충격시켜 $1500A^\circ$ 정도의 두께가 되도록 하였다. 그외에

PMMA/Ni/PR coating 을 한 뒤 Cr/Au sputtering/evaporation의 방법도 사용하였는데 Au-Zn 보다 더 좋은 pattern이 형성되어졌다. n-contact은 back side를 lapping한뒤, 1×10^{-6} torr의 진공에서 Ni 50mg과 Au-Ge 150mg 을 무게비 88:12로 100A에서 10초동안 열증착시켰다. 그후 contact이 ohmic이 되도록 하기 위하여 질소 분위기 $430^{\circ}C$ 에서 2분 30초간 alloying하였다.

제작되어진 태양전지는 900 μm 의 직경을 갖는 원의 형태를 갖고 있으며, #100, #200두가지의 태양전지를 측정에 사용하였다. #100 태양전지는 base region 이 5-6 μm 정도의 두께를 갖도록 하였으며 #200태양전지는 2-3 μm 정도로서 약간 얇은 base region의 두께를 갖도록 하였다. 그러나 이러한 차이도 그다지 큰것은 아니며 두가지 태양전지가 모두 비슷한 조건이 되도록 하였다. 단지 LPE자재의 재현성 때문에 완전히 같은 구조의 태양전지 제작은 불가능하였다.

3-2. 태양전지의 측정

온도변화에 따른 특성의 변화를 측정하기 위하여 동판을 사용하여 열판을 제작 하였고 그위에 제작되어진 태양전지를 부착시켰다. 열판내에는 절연되어진 열선이 감겨져 있고 이 열선에 전압을 인가하여 온도를 상승시켰다. 이때의 온도는 열판에 부착되어진 chromel-alumel thermocouple을 이용하여 한쪽단자를 ice box에 연결하고 $0^{\circ}C$ 를 유지하여 정확도를 기하여 측정하였다. 또한 오차를 최소한으로 줄이기 위하여 고온에서 저온으로 낮추어가는 방법을 사용하였으며 온도가 충분히 안정화되어진 후에 측정하였다. 온도범위는 상온에서 $130^{\circ}C$ 부근까지 $20-30^{\circ}C$ 의 간격으로 4-5개의 온도에 대하여 측정하였다. 사용되어진 광원은 ELH Lamp 로써 20V, 15cm 거리에서 AMI 태양광스펙트럼과 거의 유사한 것으로 알려져있다. 본 실험에서는 광원의 위치를 15cm 정도로 고정시키고 전압을 15V로 일정하게 유지시킨 상태에서 온도변화에 따른 특성을 조사하였으며 dark 상태에서의 특성은 외부로부터 빛을 완전히 차단한 뒤 측정하였다. 각각의 특성은 I-V curve tracer와 Hewlett Packard사의 parameter analyzer 4145 B를 이용하여 측정하였다. 그림6.에 이러한 측정장치의 개략도를 나타내었다.

4. 결과 및 검토

4-1. Ideality Factor

태양전지의 dark current는 injection current, recombination current, tunneling current등 세가지로 구분할 수 있다[3]. GaAs태양전지는 dark 상태에서 P-N diode로 동작하기 때문에 이러한 세가지 성분중에서 tunneling current 는 그양이 무시할 수 있을 정도로 작다[3]. 따라서 GaAs 태양전지의 dark

current는 injection current와 recombination current의 합으로 나타낼 수 있다. 이것을 식으로 표현하면,

$$J_{dark} = J_{inj.} + J_{rg.}$$

$$J_{inj.} = \left[\frac{qn_i^2}{N_a} \cdot \frac{D_n}{L_n} \cdot \tanh\left(\frac{X_j}{L_n}\right) + \frac{qn_i^2}{N_d} \cdot \frac{D_p}{L_p} \right] \cdot \left[\exp\left(\frac{qV_j}{kT}\right) - 1 \right]$$

$$J_{rg.} = qn_i \frac{W}{\tau_o} \cdot \left[\exp\left(\frac{qV_j}{2kT}\right) - 1 \right]$$

와 같이 쓸수 있다.

이식으로부터 알수 있는 바와 같이 diode의 특성에서 가장 기본적인 parameter인 ideality factor는 1에서 2까지의 값을 가지며 이값이 1에 가까울수록 dark current중에서 injection current가 dominant한 것을 의미하고 2에 가까울수록 dark current 중에서 recombination current 가 dominant하다는 것을 의미한다. 그러나 diode의 특성이 좋지 않을 경우에는 이값이 3-4까지도 나타날 수 있다[3].

그림7. 에는 #100, #200 태양전지의 온도에 따른 n값의 변화가 나타나 있다. #100의 경우 low voltage (0.16-0.38V)일때와 high voltage (0.42-0.72V) 일 때 2개의 기울기가 나타났지만 #200의 경우에는 1개만이 나타났다. 기울기가 2개로 나타나는 것은, 낮은 전압에서는 recombination current 가 dominant 하고, 높은 전압에서는 injection current가 dominant 하다는 것을 의미한다. 그런데 #200의 경우는 #100 태양전지보다 base region 이 얇기때문에 상대적으로 depletion region 에 의한 영향이 증가하여 높은 전류에서도 recombination이 dominant해졌기 때문에 기울기가 1개만 나타난 것으로 보인다. #100의 경우 온도가 증가함에 따라 high voltage영역의 기울기는 1.698에서 1.555로 큰 변화를 보이지 않고 있으나 low voltage영역의 기울기는 3.050에서 1.875까지 급격히 감소하여 결국 두영역의 기울기가 점차 같아져 감을 알 수 있다. 이것은 온도가 증가함에 따라 low forward voltage에 대해서도 점차로 injection current가 dominant해지는 과정을 나타내고 있으며 이러한 현상은 #200의 경우에서도 2.05에서 1.63까지 변화하여 마찬가지로 나타났다.

4-2. Short Circuit Current

GaAs에서와 같이 ionized impurity scattering이 dominant한 물질에서는[11], 온도가 올라감에 따라 lifetime이 증가하게 되고 이에 따라 base region에서의 diffusion length는 증가하게 된다. 또한 온도가 증가함에 따라 absorption edge가 낮은 에너지쪽으로 이동하게 된다. 이러한 이유로 인하여 결국 온도의 증가는 장파장 광의 spectral response를 향상시키게 되고 short circuit current 는 온도에 따라 증가하는 경향을 갖게된다[3].

본 논문에서 측정되어진 short circuit current의 온도에 따른 622 변화는 그림8.에 나타난 바와같이 #100 태양전지의 경우

43.96 μA 에서 49.39 μA 까지 #200 태양전지의 경우 51.26 μA 에서 56.23 μA 까지 각각 증가하는 것으로 측정되어졌다. 이 값은 9.7%에서 12.4%정도 증가되어진 것으로서 같은 온도범위에서 실리콘의 증가율이 대략 10%정도인 것과[3] 비교하면, 다소 향상된 값을 나타내고 있다. 이것은 GaAs가 실리콘보다 향상된 온도특성을 가짐을 보여주는 것이다. 또한 window층이 두께(2-20 μm) 제작되어진 GaAs태양전지의 경우, 이값이 14-15%인 것보다는 [5] 다소 낮은 것으로 측정되어졌다.

4-3. Open Circuit Voltage

태양전지에서의 open circuit voltage는 다음과 같은 식으로 표현되어진다.

$$V_{oc} = (nkT/q) \times \ln(I_{sc}/I_0 + 1)$$

그런데 온도가 증가하면 intrinsic carrier density n_i 의 증가에 따라 dark current 가 증가하고 결국 open circuit voltage는 감소하게 된다. 실제로, dark 상태에서의 saturation current 의 값은 #100 태양전지의 경우 5.91nA 에서 39.8nA로 #200 태양전지의 경우 61.1pA에서 15.2nA로 각각 증가되어졌다.

그림 9에 나타난 open circuit voltage의 온도에 따른 변화는 거의 선형적으로 감소하고 있으며 이때의 온도에 따른 감소비율 $\Delta V_{oc}/\Delta T$ 값은 #100 태양전지에서 1.51mV/ $^{\circ}\text{C}$, #200 태양전지에서 1.4mV/ $^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 이 값은 실리콘의 경우 2.2-2.5mV/ $^{\circ}\text{C}$ [3]인 것과 비교해 보면 GaAs가 실리콘보다 훨씬 우수한 온도특성을 갖고 있음을 알 수 있다. 또한 이값은 Hovel과 Woodall[5]이 두꺼운 window층 (2-20 μm)에 대해 측정된 값 2mV/ $^{\circ}\text{C}$ 보다 훨씬 낮은 값을 알 수 있다. 즉 실리콘보다 우수한 온도특성을 갖는 GaAs 태양전지를 제작할때에 window층의 두께가 온도특성에 크게 영향을 미치고 있으며 window층을 가능한한 얇게 제작하는 것이 우수한 온도특성을 얻을 수 있다는 사실을 측정을 통해서 알 수 있었다.

4-4. Fill Factor

태양전지에 있어서 fill factor는

$$P_{\max} = I_{sc} \times V_{oc} \times FF$$

$$Eff = P_{\max}/P_{input} \times 100[\%]$$

의 관계를 갖는 물리량으로서 이상적인 태양전지의 경우 100%의 값을 갖게 된다. 이론적으로 온도의 증가때문에

나타나는 open circuit voltage의 감소는 fill factor의 값을 감소시킨다. 또한 I-V 특성곡선의 $\exp(qV/nkT)$ 로부터 온도의 증가는 curve의 무릎(knee)부분의 완만도(softness)를 증가시켜 fill factor 의 감소를 가져오게 된다.

본 실험에서 측정되어진 fill factor의 온도에 따른 감소는 그림10.에 나타난 바와 같이 온도에 따라 급격한 변화를 보이지 않고 있으며 #200 태양전지의 경우 온도에 따라 거의 변화하지 않고 있음을 알 수 있다. 이와같이 온도에 대한 변화폭이 매우작은 이유는 온도에 따른 short circuit current의 증가율이 실리콘보다 크고 온도에 따른 open circuit voltage 의 변화폭이 실리콘보다 크지 않은데에 기인하며 이것은 온도에 따른 효율의 변화에 영향을 미쳐 실리콘 보다 우수한 온도특성을 갖는 원인이 되게 한다.

4-5. Efficiency

온도가 올라감에 따라 short circuit current는 증가하지만 open circuit voltage 나 fill factor가 감소하기 때문에 전체 효율은 감소하게 된다.

대개 이러한 효율의 상대적인 감소율은 실리콘에서 0.4-0.56%/ $^{\circ}\text{C}$, GaAs 에서 0.22-0.26%/ $^{\circ}\text{C}$ [3,5]인 것으로 알려져 있는데 본 실험에서는 그림11. 에 나타난 것처럼 0.21-0.29%/ $^{\circ}\text{C}$ 로서 문헌에 보고되어진 것과 거의 비슷하게 나타났다. 이값은 실리콘의 온도에 따른 상대적인 효율 감소율보다 훨씬 낮은 값이므로 GaAs가 실리콘에 비해 우수한 온도특성을 갖는다는 것을 보여주는 것이다. 또한 지금까지 보고되어진 GaAs태양전지의 경우와 비교해 보면 본 실험에서 제작한 태양전지의 경우 short circuit current의 온도에 따른 증가율이 별로 크지 않았음에도 효율의 온도에 따른 변화율이 거의 비슷하게 나타난 것은 open circuit voltage의 온도에 따른 변화율이 매우 작게 나타난 때문인 것으로 추측되어진다. 결국, window층의 두께를 줄이는 것은, 효율상의 손실없이 태양전지의 온도에 대한 각 특성변화의 폭을 줄일수 있게 한다는 사실을 알 수 있었다.

5. 결론

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 태양전지를 LPE를 이용하여 제작하였다. 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서 130 $^{\circ}\text{C}$ 부근까지의 온도변화를 통해서 I-V특성의 변화를 측정함으로써 ideality factor, short circuit current, open circuit voltage, fill factor, 효율등의 변화를 측정하였다.

ideality factor는 온도가 증가함에 따라 dark current 의 성분중에서 injection current 가 점차로 증가하여 ideality factor의 값이 작아지는 것으로 측정되어 졌고 특히 이러한 현상은 low voltage영역에서 현저하게 나타났다. 또한 온도의 증가는 short circuit current를 증가시키고 open circuit voltage와

fill factor 를 감소시켰으나 short circuit current와 fill factor의 변화율은 그다지 크지 않았다. open circuit voltage의 온도에 따른 감소율은 window층의 두께에 의해 크게 달라지게 되며 2-20 μm 의 두께에서 $2\text{mV}/^\circ\text{C}$ 인 것에 비해 0.1-0.2 μm 의 두께에서 $1.4-1.51\text{mV}/^\circ\text{C}$ 로 감소되어지는 것으로 측정되어졌다. 또한 온도에 따른 효율의 변화는 0.21-0.29%/ $^\circ\text{C}$ 로서 실리콘의 0.4-0.56%/ $^\circ\text{C}$ 인 경우보다 훨씬 우수한 것으로 나타났으며 지금까지 보고되어진 0.22-0.25%/ $^\circ\text{C}$ 와 비슷한 감소율을 갖는 것으로 측정되어졌다. 결국, window층을 얇게 제작하는 것은, 각 특성의 온도에 대한 민감도(sensitivity)를 감소시켜 (J_{sc} 의 증가율 감소, V_{oc} 의 감소를 감소) 비교적 넓은 온도범위에 대해서도 거의 일정한 특성을 나타내게 함으로써 온도변화폭이 큰 용도에 사용되어지는 태양전지에 있어서의 power to weight 비를 향상시킬 수 있다고 볼 수 있다.

참 고 문 헌

[1] C. Hilsum, "Some Key Features of III-V Compounds", in Semiconductors and Semimetals, Vol.1, pp.3-18, 1966.

[2] S.M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1981, pp.41-43.

[3] H.J. Hovel, " Solar Cells", in Semiconductors and Semimetals, Vol.11, 1975.

[4] R.C. Knechtli, R.Y. Loo and G.S. Kamath, "High-Efficiency GaAs Solar Cells", IEEE T-ED., Vol.31, pp.577-588, 1984.

[5] H.J. Hovel and J.M. Woodall, " $Ga_{1-x}Al_xAs-GaAs$ P-P-N Heterojunction Solar Cells", J. Electrochem. Soc., Vol.120, pp.1246-1252, 1973.

[6] J.C.C. Fan, "Theoretical Temperature Dependence of Solar Cell Parameters". Solar Cells, Vol.17, pp.309-315, 1986.

[7] A.M. Sekla, D.L. Feucht and A.G. Milnes, "Efficiency Calculations for $Al_xGa_{1-x}As-GaAs$ Heteroface Solar Cells", IEEE T-ED., Vol.24, pp.373-380, 1977.

[8] K. Heime, U. Konig, E. Kohn and A. Wortmann, "Very Low Resistance Ni-AuGe-Ni Contacts To n-GaAs" , Solid-State Electronics, Vol.17, pp.835-837, 1974.

[9] N. Braslau, "Alloyed Ohmic Contacts to GaAs" , J. Vac. Sci. Technol., Vol.19, pp.803-807, 1981.

[10] R.E. Williams, Gallium Arsenide Processing Technology, Artech House, 1984, pp.225-257.

[11] B.R. Nag., Electron Transport in Compound Semiconductors, in Springer Series in Solid-State Sciences, Vol.11, pp.94-99, 1980.

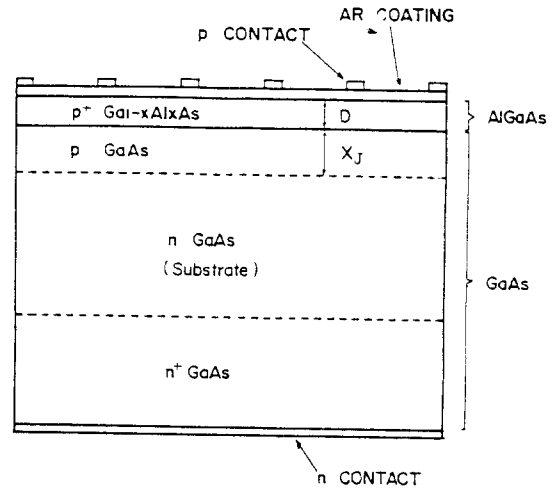


그림 1. 계산에 사용되어진 $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ 태양전지의 구조
Fig. 1. Structure used in $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ Solar Cell.

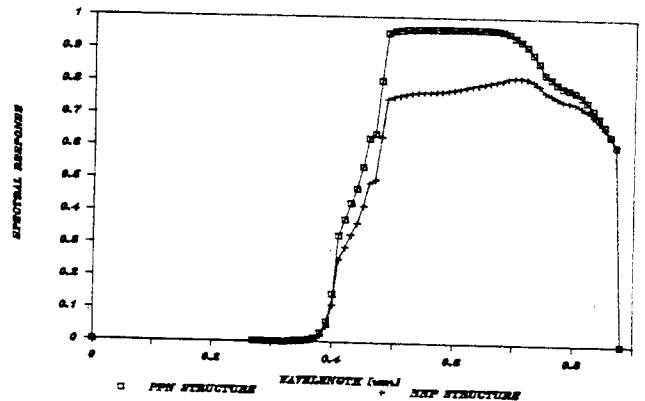


그림 2. PPN 구조와 NNP 구조의 spectral response 의 비교
Fig. 2. Comparison of the spectral response of PPN type with NNP type.

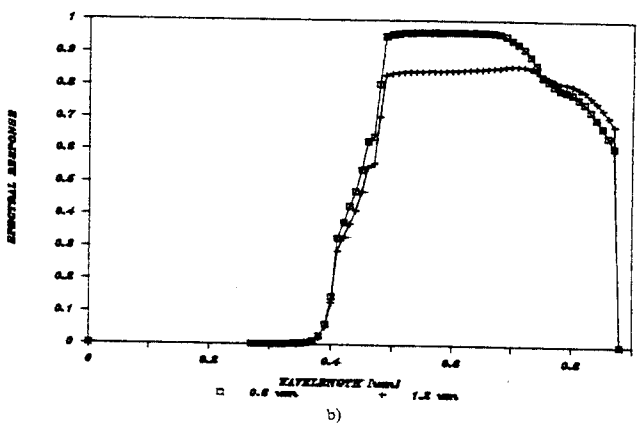
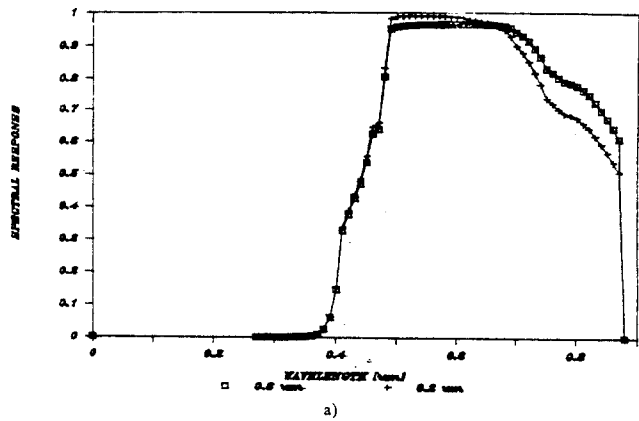


그림 3. top region 의 두께에 따른 spectral response 의 비교
 a) 0.2 μm 와의 비교 b) 1.2 μm 와의 비교

Fig. 3. Comparison of the spectral response by the top region thickness with:
 a) 0.2 μm b) 1.2 μm

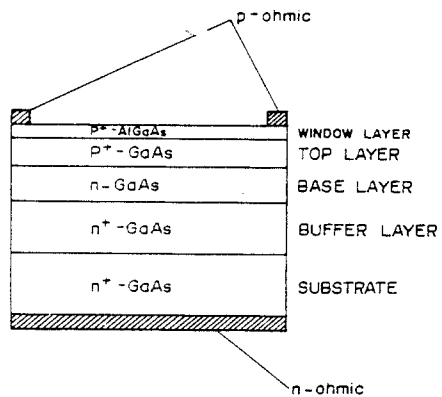


그림 4. 제작되어진 GaAs 태양전지의 구조
 Fig. 4. Structure of the fabricated GaAs Solar cell.

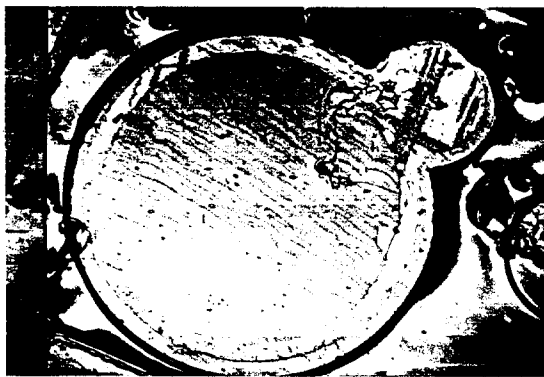


그림 5. 제작되어진 태양전지의 표면
 Fig. 5. Surface of the fabricated solar cell.

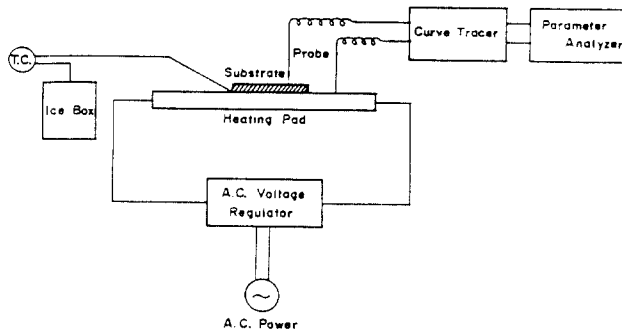
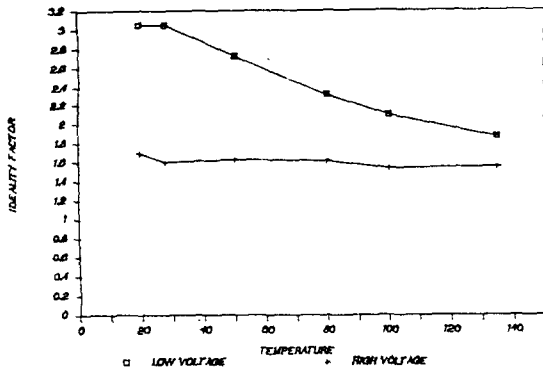


그림 6. 측정장치
 Fig. 6. Apparatus for measurement.



a)

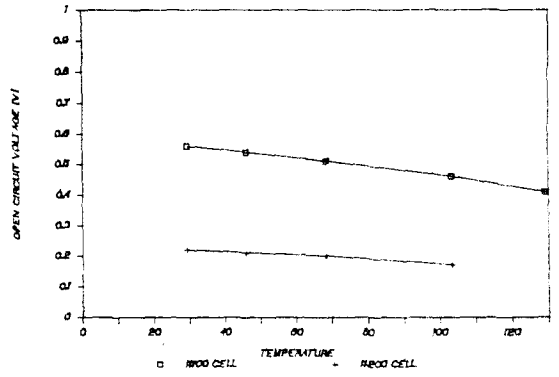
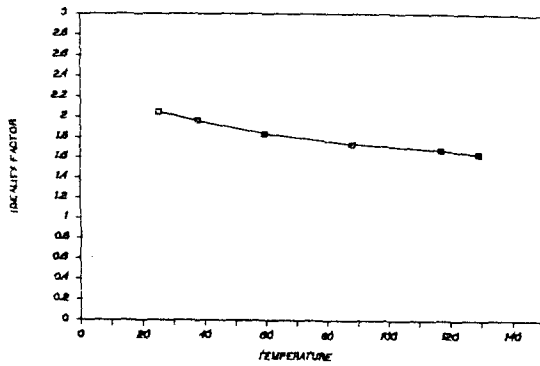


그림 9. 온도에 따른 open circuit voltage 의 변화

Fig. 9. Open circuit voltages with increasing of temperature



b)

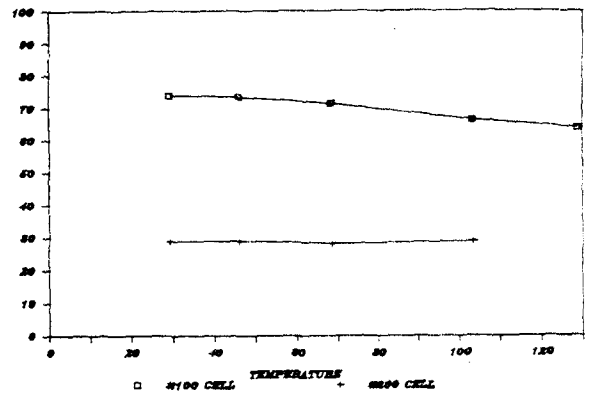


그림 10. 온도에 따른 fill factor 의 변화

Fig. 10. Fill factors with increasing of temperature

그림 7. 온도에 따른 ideality factor 의 변화

a) #100 태양전지 b) #200 태양전지

Fig. 7. Ideality factors with increasing of temperature

a) #100 cell b) #200 cell

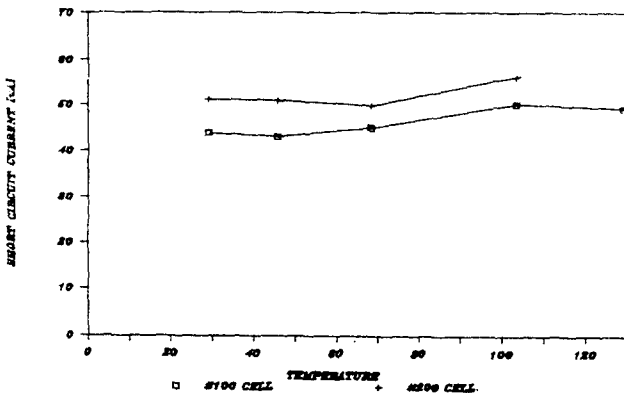


그림 8. 온도에 따른 short circuit current 의 변화

Fig. 8. Short circuit currents with increasing of temperature

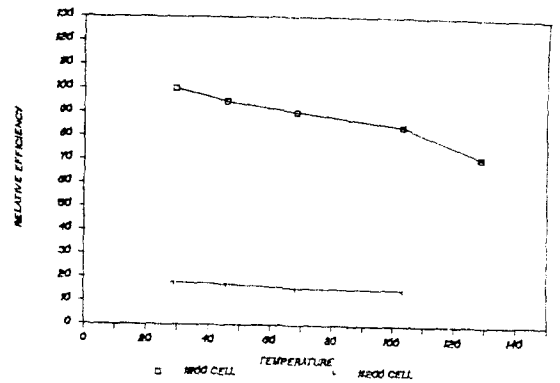


그림 11. 온도에 따른 상대적 효율의 변화

Fig. 11. Relative efficiencies with increasing of temperature