

이 승기*, 한 민구*, 정 기용**, 권 영세**
 * 서울대학교 전기공학부, ** 한국과학기술원 전기 및 전자공학부

The Operating Temperature Effects on GaAs Solar Cells

°Seung Ki Lee*, Min Koo Han*, Gi Oong Chung**, Young Se Kwon**
 * Dept. of Electrical Eng. Seoul Natl. Univ. ** Dept. of Electrical Eng. KAIST

ABSTRACT

Ga_{1-x}Al_xAs solar cells have been fabricated by LPE and characterized as a function of operating temperature from 25°C to 130°C. Open circuit voltage decreases linearly with increasing temperature by 1.4mv/°C, while degradation of silicon solar cells is about 2.2-2.5 mv/°C. Experimental results regarding to GaAs solar cells, such as saturation current, ideality factors and fill factors are characterized as a function of operating temperature.

ture design을 제시한 이후로 효율면에서 실리콘보다 우수한 결과를 얻어왔다. 그러나, 온도특성에 대한 연구는 실리콘 태양전지의 경우, 정량적인 해석이 많이 이루어졌으나⁴⁾ GaAs 태양전지는 이론적인 해석과 실험에 의한 정량적인 해석이 많이 되어 있지 않으며, 실험에 의한 해석의 경우, top영역의 두께는 고려하였으나 window영역의 두께는 고려하지 못하고 있다.^{3,5)}

본 논문은 기본설계에서 window 영역의 두께를 고려하여 dark 상태에서의 온도특성과 일정한 광세기하에서의 온도특성을 분석해 봄으로써 GaAs 자체의 물성과 실제로 태양전지가 동작할 때 나타나는 온도의 영향에 대해서 검토하였다.

1. 서 론

III-V족 화합물 반도체인 GaAs는 direct band-gap 물질로서, 흡수계수와 전자의 이동도가 실리콘보다 크며, 20°K 이상의 온도에서 실리콘보다 훨씬 작은 열전도도를 갖는 특성을 지니고 있다.¹⁾ 따라서, GaAs는 광전자 소자로서의 이용에 있어서 실리콘보다 우수한 특성을 나타내게 된다.

태양전지는 bandgap에 따라 short circuit current와 open circuit voltage간의 trade-off가 발생하며 이것은 bandgap이 1.4-1.6eV의 값을 가질 때 최적화 되어진다.²⁾ 따라서 GaAs(1.43eV)는, 기존의 실리콘(1.1eV)보다 향상된 효율을 가질 수 있으며 실리콘보다 우수한 온도특성 때문에 concentrator cell의 개발이 가능하다. 대체적으로 반도체 소자들은 온도가 상승함에 따라 각 특성들이 degrade 되어지는 경향을 갖고 있는데 특히 태양전지는 광소자이기 때문에 이것에 대한 온도특성의 해석은 중요한 물리적 의미를 갖는다. 또한 concentrator cell을 개발하는데 있어서 온도특성은 광세기에 따른 특성과 더불어 반드시 고려해야할 중요한 요소이다.

GaAs를 사용한 태양전지는 1973년 Hovel과 Woodall³⁾이 Al_xGa_{1-x}As를 사용한 heterostru-

2. 태양전지의 제작 및 측정

2.1 기본설계

기본적으로 본 논문에 사용되어진 구조는 p⁺-p-N-n⁺ 4층의 layer로 구성되어지는 구조이다.

Al_xGa_{1-x}As층은 GaAs 표면에 존재하는 defect를 lattice matching에 의해 감소시켜주고 대부분의 빛을 P-N junction 면으로 투과시켜 주는 window의 역할을 하게 되며, P-GaAs층보다 높게 doping 함으로써, P-GaAs 층에서의 lifetime을 증가시킬 수 있다. 따라서 window 층은, 가능한한 얇은 두께와 높은 doping을 유지하도록 하여야 한다. 태양전지의 기본구조를 N-p가 아닌 P-N으로 하게 되는 이유는, top 영역이, base 영역보다 전체 효율에 미치는 영향이 크기 때문에⁴⁾ top 영역에서의 carrier가 diffusion length가 긴 전자가 되도록 하기 위해서이다. 이때 base 영역은 두께를 carrier의 diffusion length 이상으로 만들어 주면 전체 효율에 큰 영향을 미치지 못한다. 그러나 top 영역의 두께는 너무 두꺼울 경우 bulk recombination에 의한 문제점과 너무 얇을 경우 장파장 빛의 손실에 의한 문제점등에 의해 영향을 받기 때문에 최적 조건에 의한 설계가 필요하다.

지금까지 보고되어진 GaAs 태양전지의 실제 제작에

있어서 이 값은 1 μ m 이하인 것으로 알려져 있으며^{3,6,7)} 본 논문에서는 Air Mass 1의 태양광 스펙트럼과 GaAs의 광흡수 계수로 부터 0.6-1 μ m의 두께를 가질때 최적화 되어지는 것으로 계산되어졌다.

top 영역과 base 영역의 doping은 open circuit voltage와 short circuit current에 의해서 최적 값을 가지며, base 영역이 10¹⁶-10¹⁷ 정도, top 영역이 10¹⁸정도의 값을 가질때 이루어질 수 있다.^{6,7)} base 영역에 이어서 N⁺-GaAs 층을 만들어 줌으로써, BSF cell이 되도록 하였다. BSF cell을 만들게 되면, 이 부분을 높게 doping 함으로써, base 영역을 최적값을 갖도록 doping 해 줄수 있고, potential barrier에 의해서 carrier들을 P-N junction 면에 묶어 들수 있게 된다.³⁾

이와 같이 설계되어진 기본구조를 Fig.1에 나타내었다.

2.2 GaAs 태양전지의 제작

실험에 사용되어진 substrate는 Si-doped(100) N⁺-GaAs로서, 1-4x10¹⁸의 doping과 350 μ m의 두께를 갖는다.

각 층은 LPE(Liquid Phase Epitaxy)를 이용하여 성장시켰고 dopant는 Sn과 Ge을 사용하였다. 또한 Al의 mole fraction은 약 0.3이 되도록 하였다.

실험에 사용되어진 LPE는 장치가 간단하고 epi의 성장율이 큰 장점이 있지만 0.1 μ m 이하의 매우 얇은 층의 성장은 곤란한 단점이 있다.⁸⁾ 그러나 본 논문에서 제작되어진 태양전지는 가장 얇은 층이 0.1-0.2 μ m로 설계되어졌기 때문에 이러한 LPE system을 이용하여 충분히 제작되어질 수 있었다.

ohmic contact은 Au-Zn과 Au-Ge/Ni을 evaporation 한뒤 질소분위기 430 $^{\circ}$ C에서 2분 30초간 alloying하여 제작하였다.

제작되어진 태양전지는 900 μ m의 직경을 갖는 원의 형태를 갖고 있다. Fig.2는 태양전지 표면의 전자현미경 사진이다.

2.3 특성의 측정

온도특성의 측정은 동판으로 열판을 제작하여 그위에 만들어진 태양전지를 부착하고, 전압조정기로 전압을 바꾸어가며 온도를 조절하였다. 이때의 온도는 열판에 부착되어진 thermocouple을 이용하여 온도가 충분히 안정되어진 후에 측정을 하였다.

dark 상태의 특성은, 외부로 부터의 광을 완전히 차단한 뒤 측정하였고, 일정한 광세기의 빛은 현미경 lamp를 이용하여 고정시켰다.

온도는 상온으로부터 대략 20 $^{\circ}$ C 정도씩 상승시키면서 130 $^{\circ}$ C까지 측정하였고, 이때의 각 특성은 curve tracer와 parameter analyzer를 이용하여 측정하

였다.

3. 결과 및 검토

3.1 dark 상태의 온도특성

상온에서의 diode ideality factor는 2.05의 값을 나타내는데 이것은 GaAs의 dark current의 대부분이 depletion 영역에서의 recombination current 라는 것을 보여주는 것이다. 온도가 증가함에 따라 n_i값이 증가하게 되어 dark current는 점차로 injection current가 늘어나게 되는데, 그에 따라 ideality factor는 2보다 작은 값으로 감소하게 된다.

본 실험에서는 상온에서 2.05의 값을 갖던 ideality factor가 온도가 증가함에 따라 injection current의 증가로 인하여 130 $^{\circ}$ C 부근에서 1.63으로 감소하였다. ideality factor의 온도에 따른 감소를 Fig.3에 나타내었다.

saturation current는 상온에서 7.91 nA이며 온도증가에 따라 점차 그 값이 증가하게 된다. 그러나, 온도증가에 따른 lifetime의 증가가 실리콘보다 GaAs의 경우에서 더 크게 나타나기 때문에⁴⁾ 이러한 saturation current의 온도에 따른 증가는 실리콘보다 작게 나타나게 된다. 따라서, 이러한 요인이 GaAs가 실리콘보다 우수한 특성을 나타내게 되는 원인이 되는 것이다.

3.2 일정한 광세기하에서의 온도특성

Fig.4에 나타난 I₀ 값의 온도에 따른 변화는 semilog plot에서 linear한 증가 현상을 나타낸다. 그런데 open circuit voltage는

$$V_{oc} = n \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right)$$

과 같이 표시되어지므로 이에 따라 open circuit voltage는 온도가 증가하면서 linear 하게 변화하리 라는 것을 예측할 수 있다. 본 실험에서 측정되어진 open circuit voltage의 감소는 예상대로 Fig.5 처럼 linear하게 감소하는 것으로 나타났다.

온도에 따른 V_{oc}의 감소율을 백분율로 표시하는 (1/V_{oc})($\partial V_{oc}/\partial T$)의 값은 이론적인 계산에 의한 결과로 상온에서 100 $^{\circ}$ C까지 -0.202~-0.258%/ $^{\circ}$ C로 보고 되어진 예가 있으나⁵⁾ 본 실험에서는 상온에서 130 $^{\circ}$ C까지 -0.500~-1.077%/ $^{\circ}$ C의 값을 갖는 것으로 측정 되어졌다. 또한 open circuit voltage의 온도에따른 비 상대적 변화량은 1.4mV/ $^{\circ}$ C로써, 실리콘의 2.2-2.5mV/ $^{\circ}$ C나⁴⁾ GaAs에서 window 층을 매우 두껍게 (2-16 μ m)만든 경우의 2mV/ $^{\circ}$ C보다³⁾ 훨씬 낮은 값으로 측정되어졌다.

입력전압에 대한 최대 출력전압의 비율을 나타내는 fill factor는 온도가 증가함에 따라 open circuit voltage의 감소와 I-V 특성곡선의 무릎(knee) 부분

의 곡선도(roundness)의 증가에 따라^{3,4)} 감소하는 경향을 나타낸다.

본 실험에서 측정되어진 fill factor 감소의 백분율 값 $(1/FF)(\partial FF/\partial T)$ 는 상온에서 130°C까지 -0.292~-0.417%/°C의 변폭을 나타내었으며, 이 값은 이론적 계산결과에 의한 -0.052~-0.074%/°C보다⁵⁾ 다소 큰 값이다. 이러한 차이는 fill factor가 series resistance의 증가시 심하게 영향을 받게 되는데에 기인한다.

결국 태양전지의 온도특성 해석에 있어서 실제 측정값은 series resistance나 shunt resistance를 무시한 이론적 계산치와 온도가 올라갈 수록 그 값의 차가 커진다는 것을 실험적으로 입증할 수 있었고, GaAs 태양전지의 설계에서 window 층의 두께가 온도특성에 미치는 영향을 정량적으로 나타낼 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 heterostructure를 사용한 GaAs 태양전지를 LPE를 이용하여 제작하였고, 이것의 온도특성에 관하여 검토하였다.

dark 상태의 온도특성으로 부터는 ideality factor와 saturation current의 변화를 측정하였고 일정한 광세기하에서의 온도특성으로 부터는 open circuit voltage와 fill factor의 변화를 정량적으로 나타낼 수 있었다.

그 결과 온도가 증가하면, dark current 중에서 injection current의 영향이 증가함을 실험적으로 확인하였고, series resistance와 shunt resistance를 고려하지 않은 계산값과 다른 측정값을 제시하여 온도가 증가함에 따라 series resistance의 영향이 증가되어짐을 나타내었다. 또한, GaAs 태양전지에서 window 층의 두께가 얇아졌을 경우를 고려하였으며, 이에 따라 2-16 μ m의 두꺼운 window 층을 갖는 경우에 Hovel과 Woodall이 제시한 open circuit voltage의 변화를 2mV/°C에 비해 본 실험에서는 0.1-0.2 μ m의 얇은 window 층에 대해 1.4mV/°C의 향상된 변화율을 측정할 수 있었다. 따라서 고온에서 동작되어지는 GaAs 태양전지는 window 층을 0.2 μ m 이하로 얇게 제작하여야 효율면에서 유리하다는 점을 실험을 통해서 정량적으로 규명 할 수 있었다.

5. 참 고 문 헌

- 1) S.M.Sze, "Physics of Semiconductor Devices", 2nd ed., Wiley, New York, 1981.
- 2) R.C.Knechtli et al., "High-Efficiency GaAs Solar Cells", IEEE T-ED, Vol.31, pp.577-588, 1984.
- 3) 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.

- 4) H.J.Hovel, "Solar Cells", in Semiconductors and Semimetals, Vol.11, 1975.
- 5) J.C.C.Fan, "Theoretical Temperature Dependence of Solar Cell Parameters", Solar Cells, Vol.17, pp.309-315, 1986.
- 6) G.S.Kamath et al., "Large-Area High Efficiency (AlGa)As-GaAs Solar Cells", IEEE T-ED, Vol.24, pp.473-475, 1977.
- 7) A.M.Sekela et al., "Efficiency Calculations for $Al_xGa_{1-x}As$ -GaAs Heteroface Solar Cells", IEEE T-ED, Vol.24, pp.373-380, 1977.
- 8) W.S.Lee, "Liquid Phase Epitaxy System and Fabrication of GaAs/AlGaAs Double Heterostructure Light Emitting Diode", KAIST, 1983.

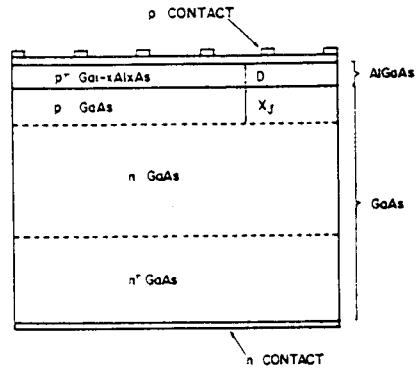


Fig.1 GaAs 태양전지의 구조



Fig.2 GaAs 태양전지의 표면

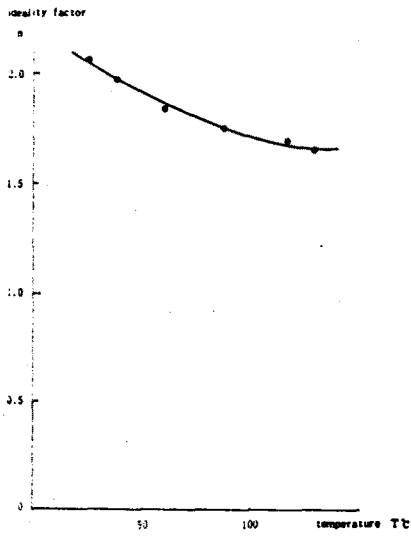


Fig.3 ideality factor 의 온도특성



Fig.5 open circuit voltage의 온도특성

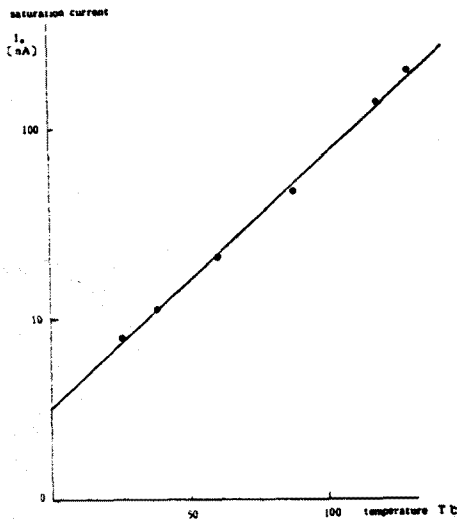


Fig.4 saturation current 의 온도특성

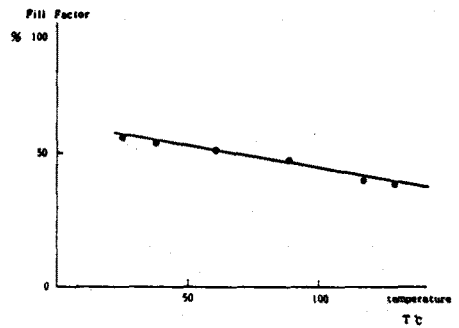


Fig.6 fill factor 의 온도특성