

집광에 의한 GaAs/AlGaAs태양전지의 출력 증대 연구

이동호*, 김영환, 송진동, 김성일**

A Study on the Output Power Enhancement of GaAs/AlGaAs Solar Cell using Concentration Method

Dong Ho Lee*, Young Hwan Kim, Jin Dong Song and Seong-Il Kim**

Abstract

Using MBE growth method, GaAs/AlGaAs solar cell structure was grown. Deposited electrodes are Au/Ni/Ge for n-type and Au/Pt/Ti for p-type electrodes were deposited by E-beam evaporator. Indoor light concentrators were devised and fabricated in order to concentrate artificial solar rays. Also mirror and prism and Fresnel lens concentration system with solar simulator were devised and fabricated. Results of solar cell characteristics were measured with shutting system which can control the amount of light. Maximum power density was 2.13 W/cm² and maximum concentration was 124 sun, when mirror with Fresnel lens was used at 7854 mm² of shutter hole.

Key words

Solar cell(태양전지), Concentration system(집광장치), Fresnel lens(프레넬 렌즈)

(접수일 2009. 8. 18, 수정일 2009. 9. 11, 게재확정일 2009. 9. 11)

* 고려대학교 전자공학, 한국과학기술연구원

■ E-mail : dhlee7902@kist.re.kr ■ Tel : (02)958-5706 ■ Fax : (02)958-5739

** 한국과학기술연구원

■ E-mail : s-ikim@kist.re.kr ■ Tel : (02)958-5737 ■ Fax : (02)958-5739

Nomenclature

sun : energy density of Sun, kW/m²

1. 서론

최근 한정된 화석에너지를 대체할 수 있는 신 재생 에너지

에 대한 관심이 점차 커져 가고 있다. 신 재생 에너지에는 주변의 환경을 이용하는 것이 대부분으로 그 대표적인 것들이 태양전지, 태양열발전, 풍력발전, 조류발전, 지열발전 등이 있다. 주위의 환경을 이용하기에 얻어지는 에너지의 양이 많지는 않다. 그래서 발전의 양을 늘리기 위해서는 시스템의 크기를 크게 하는 것이 대부분이다. 대부분의 발전시스템은 기후의 변화가 적은 곳에서 사용이 되어 한 장소에서 설치가 되면 수명을 다할 때까지 사용 된다. 하지만 태양전지의 경우 크기를 임의로 정할 수 있기 때문에 공간적 제약이 작은 편이

고 제작이 쉽고 적용범위가 넓은 것이 장점이다. 이런 무공해의 천연에너지를 이용한다면 현재 화석연료로 대부분 충당하는 에너지를 어느 정도 대체할 수 있다.⁽¹⁾ 또한 태양표면으로부터 3.8×10^{23} kW 태양광이 방출이 되고 그 중 1.25×10^{14} kW의 태양광이 지구 표면에 도달한다. 이것을 연간 전세계에서 사용하는 에너지 소비량 100억 kW의 약 1만 배가 되는 수치이다. 지표면에 도달하는 태양광은 단위면적당 1kW/m^2 의 에너지 밀도가 되는데 이를 1 sun이라고 정의 하며 태양전지 측정에 있어서 매우 중요한 수치이다. 물질에 따라 실리콘 태양전지와 화합물 반도체 태양전지가 있고 동작원리에 따라 유기태양전지와 무기태양전지가 있다. 이 태양전지들 중에 가장 효율이 높은 것이 화합물 반도체 태양전지이다.⁽²⁾ 본 논문에서는 GaAs/AlGaAs 화합물 반도체 태양전지를 제작하여 집광에 의한 출력의 증대에 관한 연구결과를 논의한다.

MoCVD(Metal organic chemical vapor deposition)나 MBE(Molecular beam epitaxy)등으로 고효율의 화합물 반도체 태양전지의 제작이 가능하다. 화합물 반도체는 고온의 환경에도 특성이 쉽게 바뀌지 않아 온도의 안정성과 신뢰도가 높은 것이 특징으로 우주산업에서 인공위성의 태양전지로도 많이 사용되고 있다. 또한 이종접합 다층구조(hetero junction multi layer structure)⁽³⁾의 태양전지의 제작이 가능해 서로 다른 에너지 밴드갭과 파장의 흡수영역을 가지는 물질을 접합하여 에너지 효율을 높일 수 있다.

화합물 반도체는 제작단가가 비교적 높기 때문에 그 동안은 그다지 각광을 받지 못한 것이 사실이다. 그래서 제작 단가 대비 발전량의 증대를 위하여 많은 연구가 되고 있다⁽⁴⁾. 그 중 화합물 반도체는 고온에서도 안정성이 높기 때문에 태양전지의 크기는 줄이고 입사되는 빛을 집광하여 에너지 효율을 높임은 물론 제작단가를 획기적으로 줄일 수 있어 최근 이에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다⁽⁵⁾. 본 연구에서는 프레넬렌즈, 프리즘, 거울을 이용하여 집광에 의한 태양전지의 출력증대를 다루었다.

2. 태양전지 제작

태양전지를 제작하는 순서는 크게 태양전지 셀 제작, 전극 제작, 반사방지막 제작 순으로 진행되며 구체적인 순서는 Fig. 1에 나타나있다. MBE를 이용하여 2×10^{18} 으로 도핑된 2

인치 GaAs기판 위에 한 층씩 n형과 p형의 GaAs 및 AlGaAs를 증착시킨다. 구조는 Fig. 2에 나타나있다.

제작된 GaAs/AlGaAs태양전지의 셀과 전극의 사이의 전기적 특성을 향상시키기 위하여 후면전극이 증착될 기판 뒷면을 표면처리를 하였다. 표면처리된 셀을 세척하여 제작하는 동안 오염된 물질들을 제거하였다. 세척과정은 워터소닉을 이용하여 TCE(Trichloroethylene)에 15분, 아세톤에 15분, 메탄올에 15분간 담가놓는다. 마지막으로 흐르는 D.I.(Deionize) water에 담가 메탄올 잔유물을 제거하고 고순도 질소로 D.I. water를 제거한다. 세척이 끝나면 상부 전극을 제작하기 위한 마스크를 이용하여 lithography를 하였다. 제작된 n형 반

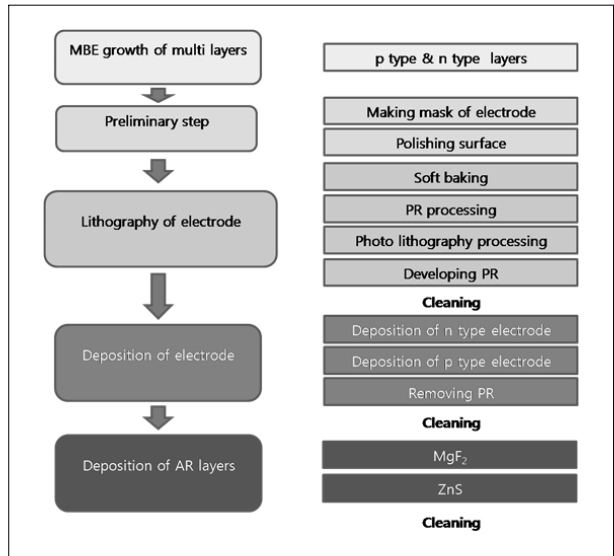


Fig. 1 A flow chart of fabrication of solar cell

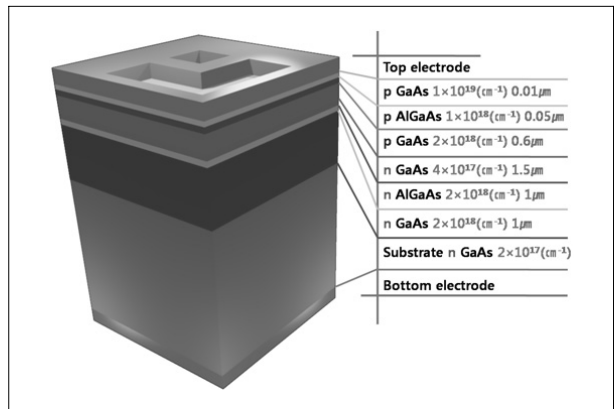


Fig. 2 A structure of GaAs/AlGaAs heterojunction single structure solar cell

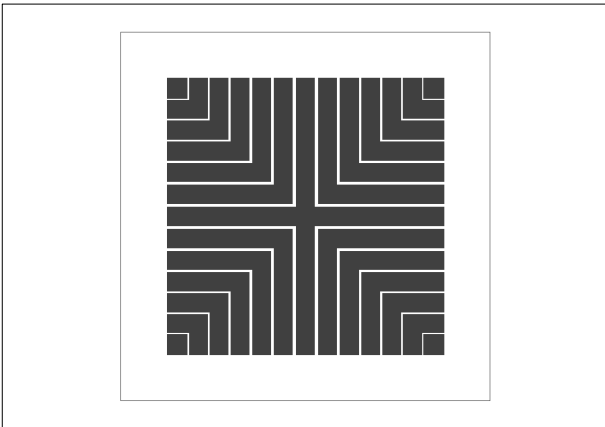


Fig. 3 A design of solar cell electrode grid

도체에 적용된 전극은 Au/Ni/Ge였고, p형 반도체에 적용된 전극은 Au/Pt/Ti였다. 제작된 태양전지의 유효면적은 1mm^2 이고 전극의 폭은 $5\mu\text{m}$, 전극과 전극의 간격은 $95\mu\text{m}$ 이다. 전극의 모양은 전자의 이동경로가 가장 짧은 거리가 되게 고안하였다^(6,7). 자세한 모양은 Fig. 3에 나타나있다. 그림에서 밝은 부분은 전극이고 어두운 부분이 태양전지가 된다.

태양전지 표면에서 반사되어 흡수되지 못하는 태양광을 흡수하기 위해 반사방지막으로 두께 $0.1\mu\text{m}$ 인 MgF_2 를 태양전지 위에 올리고 그 위에 두께 $0.07\mu\text{m}$ 인 ZnS 를 스퍼터를 이용하여 증착하였다.

3. 집광장치 제작

태양전지의 효율을 증가시키고 보다 많은 전력을 얻기 위해 집광이 필요하기 때문에 본 연구에서 태양광원 AM1.5에 해당하는 태양광 시뮬레이터(SAN EI Electronic XES-301S)용 집광장치를 제작하여 태양전지의 전력을 측정하였다. 태양광 시뮬레이터에서 빛이 방출되는 위치에 프레넬렌즈⁽⁸⁾를 장착하여 집광을 시도하였으나 초점이 한곳에 모이지 않고 중심점 주변으로 다초점이 맺히게 되었다. 이러한 현상은 태양광 시뮬레이터 설계 시 제논램프에서 발생하는 등방성의 빛을 모으기 위해 제논램프 뒤쪽에 설치한 다중 반사장치에 의한 것이다. 시뮬레이터를 이용해 집광을 하기 위해서 다초점의 태양광을 태양전지의 면적 안으로 모아주어야 한다. 여러 방향으로 진행되는 광원을 정의된 면으로 보내기 위해서 입사

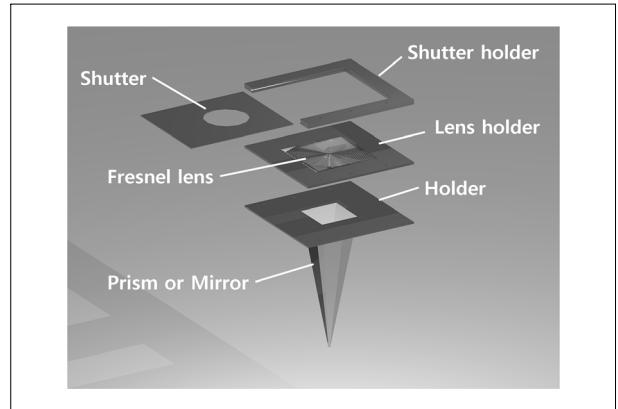


Fig. 4 Concentration system and shutter

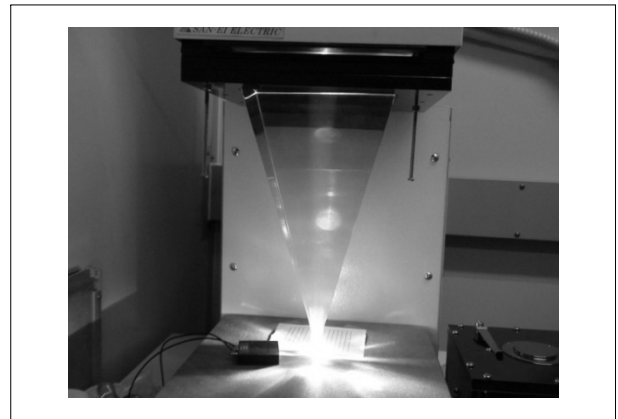


Fig. 5 Fresnel lens and prism in the solar simulator

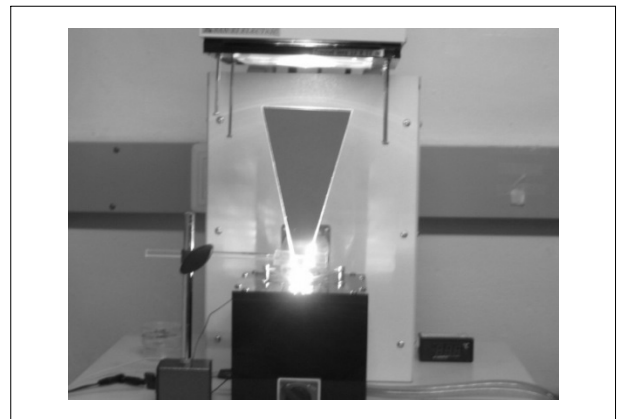


Fig. 6 A concentration system with Fresnel lens and mirror

된 광원을 한쪽방향으로 모을 수 있는 프리즘과 집광거울을 설계 제작하였다. 또한 태양광 입사구의 광량을 조절할 수 있는 셔터장치를 설계하여 태양광 시뮬레이터용 집광장치를 제작



Fig. 7 A inner view of mirror system

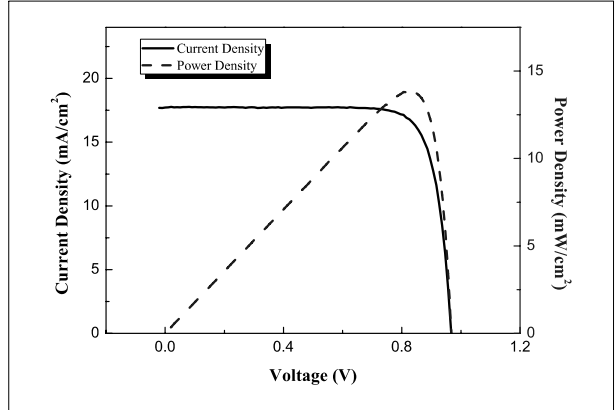
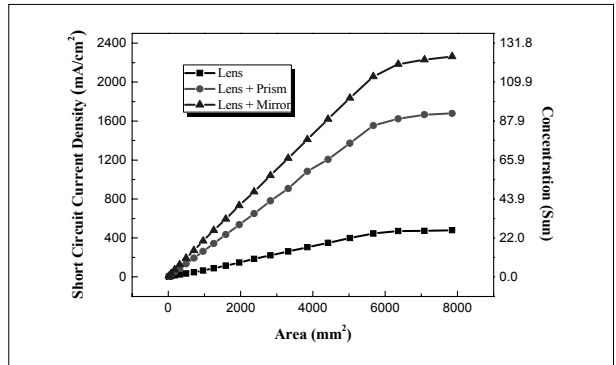


Fig. 8 Current-voltage, power-voltage characteristics of 1 Sun solar simulation

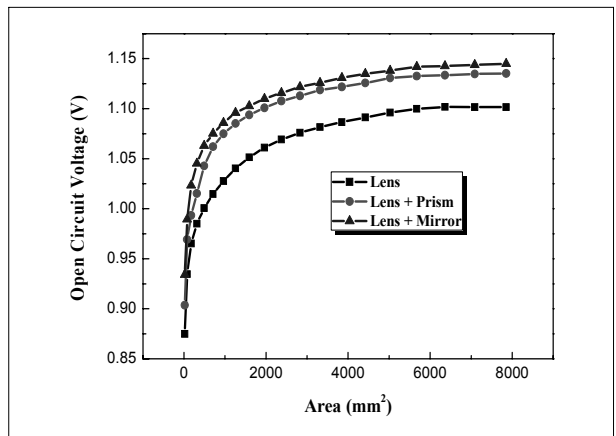
하였다. 집광장치의 자세한 모습은 Fig. 4~7에 나타나 있다.

4. 태양광 시뮬레이터를 이용한 측정

1 sun 측정용 센서를 시편대에 놓고 태양광 시뮬레이터를 작동시켜 AM1.5에 해당하는 광원을 만들어 내고 셔터를 닫아 광원을 차단시킨다. 제작된 태양전지를 시편대 위에 위치시키고 클립전류의 극성을 맞추어 고정을 시킨다. 시편대 측면의 바나나 플러그와 keythley사의 2440 Source meter를 연결하고 측정범위를 설정한 후 셔터를 열어 태양전지의 전원특성을 분석하였다. 태양광 시뮬레이터를 1 sun으로 설정하여 단락전류밀도가 18.21mA/cm², 개방회로전압이 0.96V, 최대전력밀도가 14.02mW/cm²으로 충실도가 0.8, 변환효율이 14%로 Fig. 8의 결과를 얻었다. 집광을 위한 프레넬렌즈와 프리즘 그리고 반사경을 시뮬레이터에 장착을 한 후 셔터를 사용하여 광량을 조절하며 집광에 의한 태양전지의 발전 특성을 분석하였다. 초점거리가 175mm 유효면적 직경이 100mm인 프레넬렌즈를 사용하였고, 집광면적이 5 × 5mm²인 프리즘과 반사경을 이용하였다. 구멍의 직경이 5mm에서 10cm까지 총 20장의 셔터를 이용하여 광량의 증가에 따른 전력 특성 결과를 얻었다. 집광의 배율은 반사경 + 프레넬렌즈, 프리즘 + 프레넬렌즈, 프레넬렌즈순으로 식 (1)에 의하여 전류를 집광배율로 환산할 경우 최대 집광배율은 반사경과 프레넬렌즈를 사용시 126배, 프리즘과 프레넬렌즈를 사용시 93배, 프레넬렌즈만 사용시 26배가 되었다. Fig. 9는 집광 시 셔터를 이



(a) short circuit current density vs. shutter area graphs



(b) open circuit voltage vs. shutter area graphs

Fig. 9 A result of concentration

용하여 광량의 증가에 따른 단락 전류 및 개방회로 전압곡선을 나타내었다. 직경이 8cm인 셔터를 사용할 때까지 전류의 증가 폭이 선형으로 증가를 하다 이후부터는 증가 폭이 감소

한다. 이는 시뮬레이터의 광원부가 중심부터 직경 8cm인 지점까지는 광의 밀도가 일정하지만 그 이후부터 감소하기 때문이다.

$$Concentration = \frac{I_{sc}}{I_{sc(1sun)}} \quad [sun] \quad (1)$$

5. 결론

이종접합 단일 구조의 GaAs/AlGaAs의 태양전지를 MBE로 제작하였다. 또한 태양광 시뮬레이터를 사용하여 집광할 수 있는 프리즘과 반사경을 제작하여 프레넬렌즈와 조합하여 집광장치를 구축하였다.

태양광 시뮬레이터를 사용하여 제작된 태양전지를 1sun에서 측정한 결과 최대전력밀도가 14.02mW/cm²으로 충실도가 0.8, 변환효율이 14%가 발생하였다. 프레넬렌즈와 반사경을 이용하여 측정한 전류전압특성의 결과값이 가장 크게 나왔고 프레넬렌즈만 사용한 경우가 가장 작게 나왔다. 이는 광원이 균일하지 않아서 초점이 한곳에 맺히지 않기 때문이다. 이로 인해 렌즈만 사용할 경우 잃어버리는 광원이 많기 때문에 반사경과 프리즘에서 빛을 효율적으로 집광할 때 보다 적은 집광율을 얻었다. 광원의 투과면적이 7853mm²인 서터를 사용할 경우 전류대비 집광배율과 발생된 전력은 프레넬렌즈와 반사경을 이용한 경우 126sun, 2127mW/cm², 프레넬렌즈와 프리즘을 이용한 경우 93sun, 1583mW/cm², 프레넬렌즈만 이용한 경우 26sun, 281mW/cm²이었다. 이는 GaAs/AlGaAs 태양전지가 1sun에서 발전할 때보다 프레넬 렌즈와 반사경을 이용하여 집광할 경우 발전된 전력이 151배임을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국기초기술 이사회(KRCF), 교육과학기술부 및 KIST E과제의 연구비지원으로 이루어졌습니다.

References

- [1] P. Würfel, "Physic of Solae Cells", WILEY-VCH Verlag GmbH, pp. 1-6, 2005.
- [2] S. M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", Wiley, 2nd edition, pp. 816-830,1981
- [3] M. Yamaguchi, T. Takamotob, K. Araki, "Super high-efficiency multi-junction and concentrator solar cells", SolarEnergyMaterials&SolarCells,Vol. 90, pp. 3068-3077, 2006.
- [4] K. Arakia, M. Kondoa, H. Uozumia, N. J. Ekins-Daukesb, T. Egamic, M. Hiramatsuc, Y. Miyazakic, M. Yamaguchi, "Packaging III-V tandem solar cells for practical terrestrial applications achievable to 27% of module efficiency by conventional machine assemble technology", phys.stat.sol., Vol. 511-512, pp. 645-653, 2006.
- [5] E. Ortiz, C. Algora, "A high-efficiency LPE GaAs solar cell at concentrations ranging from 2000 to 4000 suns", Prog. Photovolt:Res.Appl., Vol. 11, pp. 155-163, 2003.
- [6] K. Nishioka, T. Takamoto, T. Agui, M. Kaneiwa, Y. Uraoka, T. Fuyuki, "Evaluation of InGaP InGaAs Ge triple-junction solar cell and optimization of solar cell's structure focusing on series resistance for high-efficiency concentrator photovoltaic systems", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 90, pp. 1308-1321, 2006.
- [7] B. Galiana, C. Algora, I. Rey-Stolle, "Comparison of 1D and 3D analysis of the front contact influence on GaAs concentrator solar cell performance", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 90, pp. 2589-2604, 2006.
- [8] Y. M. Han, R. Z.Wang, Y. J. Dai, A. H. Xiong, "Studies on the light permeance characteristic of a Fresnel lens group applied in high concentration solar energy", Journal of Optics A, Vol. 9, pp. 988-997, 2007.

이 동 호



2006년 국민대학교 물리학과 이학사
2009년 국민대학교 물리학과 이학석사

현재 고려대학교 전자공학과 박사과정, 한국과학기술연구원 나노소자연구센터
학생연구원
(E-mail : dhlee7902@kist.re.kr)

김 영 환



1984년 서울대학교 무기재료공학과 공학사
1986년 서울대학교 무기재료공학과 공학석사
1997년 서울대학교 무기재료공학과 공학박사

현재 한국과학기술연구원 나노소자연구센터 선임연구원
(E-mail : youngkim@kist.re.kr)

송 진 동



1995년 서울대학교 이학사
1997년 광주과학기술원 공학석사
2002년 광주과학기술원 공학박사

현재 한국과학기술연구원 스피트로닉스연구단 선임연구원
(E-mail : jdsong@kist.re.kr)

김 성 일



1986년 KAIST 물리학과 이학석사
1994년 KAIST 물리학과 이학박사

현재 한국과학기술연구원 나노소자센터 책임연구원
(E-mail : s-ikim@kist.re.kr)