

1. 개요

기존의 태양전지는 주로 태양광이 태양전지 면적만큼 조사된 광량으로 발전을 하였으나 최근 렌즈를 이용하여 태양전지의 면적은 작게 하고 조사되는 광량은 수백 배로 하는 집광형 태양전지가 개발되고 있다. 실리콘 태양전지에 집광하는 경우는 5~30배 정도의 저집광을 하면 열에 취약한 실리콘 소자를 집광열에 의한 열화로부터 보호할 수 있다. III-V 화합물반도체 소자의 경우는 열에 의한 열화가 상대적으로 적으므로 200~1,000배 고집광 태양전지에 유리하다. 또한 III-V 화합물반도체를 다양한 조성으로 적층하여 다중접합 태양전지를 만들면 태양광 스펙트럼의 넓은 영역을 흡수할 수 있어서 효율이 높아진다.

2. 집광형 태양전지의 구조 및 제조 공정

집광 조건에서 태양전지를 동작시킬 경우 태양전지의 광전변환 효율이 상승하고 발전단가가 낮아진다는 장점이 있다[1, 2]. 이러한 장점은 단일접합 태양전지보다 다중접합 태양전지에서 특히 두드러지므로, 집광형 태양전지로는 주로 III-V 화합물반도체에 의한 다중접합 태양전지가 활용되고 있다. 화합물반도체 태양전지는 그림 1과 같이 다양한 흡수 대역을 가지는 다양한 조성의 화합물반도체 층을 적층하고 그 사이를 터널접합으로 연결한 구조로 구성된다[3].

화합물반도체 다중접합 태양전지의 제조 공정 과정은 그림 2와 같다. 먼저 MOCVD나 MBE 등을 이용해 태양전지 구조를 성장한다(그림 2 (a)). 이후 사진식각, 금속 증착, 리프트 오프 등의 공정을 거쳐 웨이퍼의 앞면에 그

특집 ■ 태양광 기술

고집광 태양광 발전 기술

박원규*, 박경호, 전동환, 박상혁

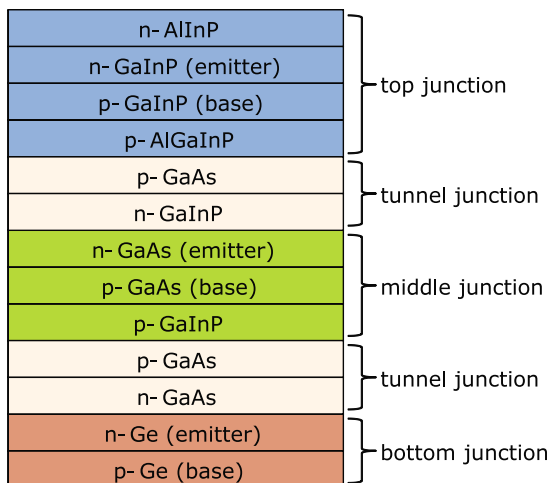


그림 1. 삼중접합 태양전지의 구조

리드 패턴의 금속을 형성한다(그림 2 (b)). 그리고 웨이퍼의 뒷면에도 금속을 증착한다(그림 2 (c)). 그리고 나서 그리드 패턴의 금속을 마스크로 하여 cap을 식각한다(그림 2 (d)). 이후 사진식각과 식각 공정을 거쳐 MESA를 식각한다(그림 2 (e)). 그리고 사진식각, 무반사막 증착, 리프트 오프 등의 공정을 거쳐 무반사막을 형성한다(그림 2 (f)). 마지막으로 다이싱, 패키징, 본딩 등의 후공정을 진행하여 태양전지 제작을 마무리한다(그림 2 (g)).

3. 집광형 태양전지 특성 분석

집광형 태양전지는 지표면에 입사하는 태양광의 스펙트럼의 넓은 영역을 효율적으로 사용하기 위하여 일반적으로 다중접합 태양전지를 사용하게 된다. 또한 입사된

* 나노소자특화팩센터(KANC)

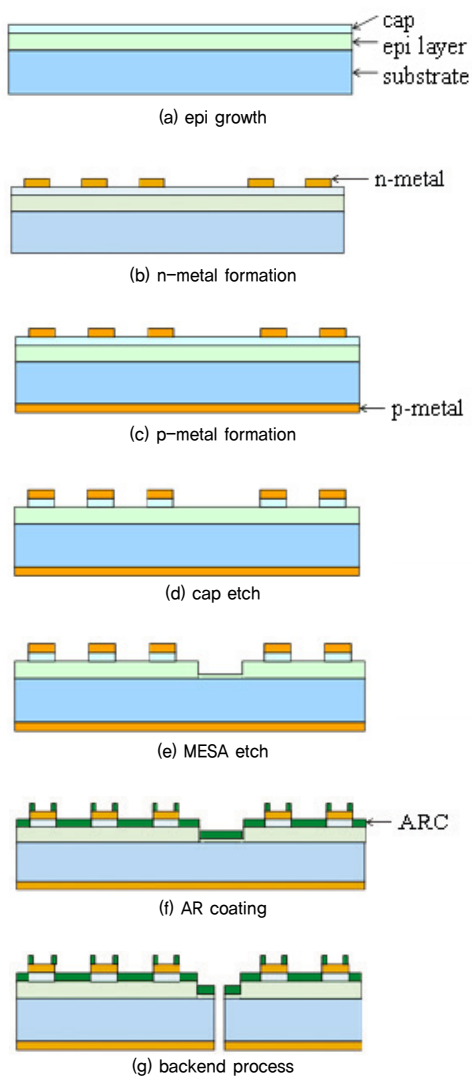
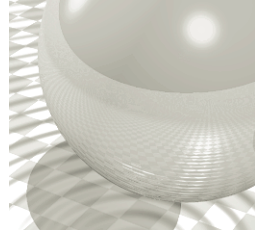


그림 2. 집광형 태양전지 제조 공정

태양광을 집광하기 위한 렌즈를 사용하기 때문에 집광형 태양전지의 광전변환 효율 및 양자효율 측정방법은 일반적인 단일 접합 태양전지와 달라져야 한다. 일반적인 단일 접합 태양전지의 경우 기준 태양광 AM1.5G (G는 global을 의미하며, 지표면에 도달하는 직사광 및 산란광을 포함)을 사용하는데 반하여, 집광형 태양전지의 경우 집광렌즈를 사용하기 때문에 산란광은 광전변환효율에 영향을 미칠 수 없고 기준 태양광 AM1.5D (D는 direct를 의미하며 지표면에 도달하는 직사광만을 포함한다)를 사용하여야 한다. 그림 3에서와 같이 AM1.5D

세기는 AM1.5G에 비하여 약 10%정도 약하고 대기 중에서 산란이 크게 일어나는 파장이 짧은 영역에서 그 차이가 크다.

다중접합 태양전지의 양자효율(파장에 따른 효율) 측정 방법도 단일접합 태양전지의 측정 방법과 다르다. 다중 접합 태양전지의 경우 태양전지를 구성하는 셀들이 직렬 연결되어 있는 구조이기 때문에 각 셀에 흐르는 전류를 정합(그림 4) 하지 않으면 각 셀들의 양자효율을 측정할 수 없다. 따라서 측정하고자 하는 셀에 조사하는 효율 측정용 프로빙빔뿐 아니라 다른 셀에서 충분한 전류가 발생할 수 있도록 보조광을 조사하여야만 한다.

다중접합 태양전지의 경우 여러 개의 셀들을 적층하여 제작하기 때문에 제작 공정이 복잡하다(그림 1 참조). III-V 화합물반도체 태양전지의 경우 MOCVD를 이용하여 각 셀 및 셀 간 터널접합을 제작하기 때문에 그 구조가 복잡하다. III-V 화합물반도체 태양전지를 구성하는 Epi 층의 분석을 위해서는 고 해상도의 (주사)투과전자현미경 (TEM/STEM) 및 이차이온질량분석기 (SIMS) 분석이 필수적이고, 태양전지 효율에 영향을 미치는 소수운

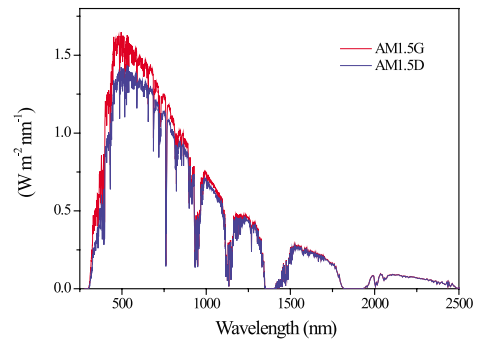


그림 3. AM1.5G, AM1.5D 스펙트럼 비교

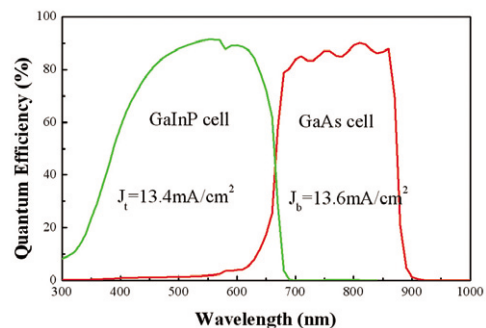


그림 4. 전류 정합된 GaInP/GaAs 이중접합 양자효율측정 결과 (KANC 제작 및 측정)

고집광 태양광 발전 기술

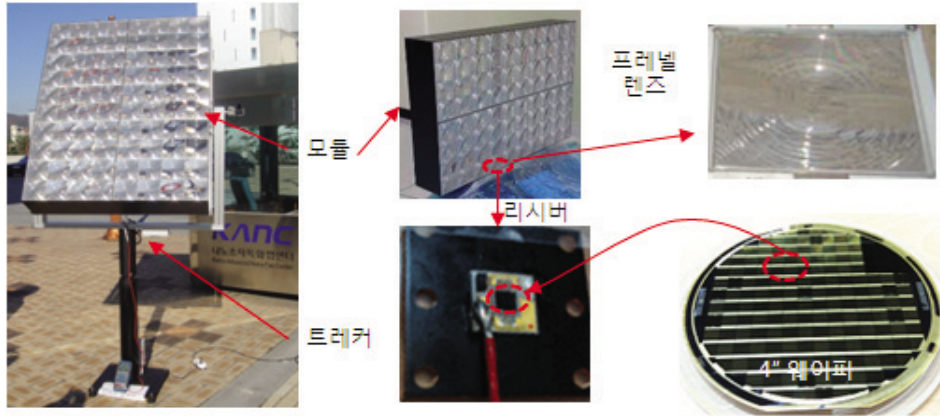


그림 5. 집광형 태양광 발전 시스템 사진: 트래커, 모듈, 리시버, 제작된 셀

반자의 수명을 측정하기 위한 시분해 광발광 (TR-PL) 측정, 단위 태양전지 효율의 공간균일도 및 결합도를 측정하기 위한 LBIC (Light Beam Induced Current) 측정 및 EBIC (Electron Beam Induced Current) 측정들이 필요하다.

4. 고집광 태양광 발전 시스템의 구성

그림 5는 집광형 태양광 발전 시스템의 트래커와 모듈, 리시버, 렌즈, 셀 사진이다. 트래커는 정밀한 양축 트래커가 사용되어 직달 일사 태양광을 효과적으로 셀에 수광시킬 수 있으며 태양 추적 오차는 작을수록 광학 손실이 감소하므로 광학계의 설계 제작 부담이 줄어든다. 그러나 정밀한 추적과 장기간의 내구성을 확보하기 위해서는 제작 단가가 높아지므로 태양 추적 오차와 광학계의 정밀도가 상호 상쇄관계이다. 일반적으로 1, 2차 집광기를 구성함으로써 태양추적 오차 허용 범위를 증가시키는 방법을 많이 사용하고 있다. 집광형 태양광 발전시스

템은 셀에 인가되는 높은 에너지 밀도로 인해서 셀 온도가 국부적으로 상승하여 셀 효율이 낮아질 수 있다. 그러나 III-V 화합물반도체 태양전지 셀은 높은 온도에서도 신뢰성이 뛰어나고 효율을 유지하는 특성이 있다. 따라서, 500배 내외의 집광비를 갖는 모듈의 경우 셀 크기가 25 mm² 보다 작고 셀과 리시버 간 열저항이 작으면 알루미늄과 같은 금속판을 이용한 수동 방열 방식으로 충분하다.

고집광 태양전지 시스템은 수백 배 이상의 집광비를 갖는 반사 또는 굴절 현상을 이용한 집광기가 필수적인 구성요소이다. 그림 6은 고집광 태양전지에 사용되는 집광기의 종류에 따른 태양광의 궤적과 셀을 나타낸 것이다[4]. 반사형 집광기는 색수차가 없는데 반해 굴절형에 비해 직달광과의 정렬불량에 두 배 민감한 단점이 있으므로 정밀도를 높이기 위한 트래커 비용이 추가된다. 최근에 굴절과 내부 전반사 현상을 이용하여 모듈의 두께를 획기적으로 줄인 도파관 형태의 1차 렌즈가 개발되고 있다[4]. 이러한 집광기의 명백한 장점은 모듈의 부피를

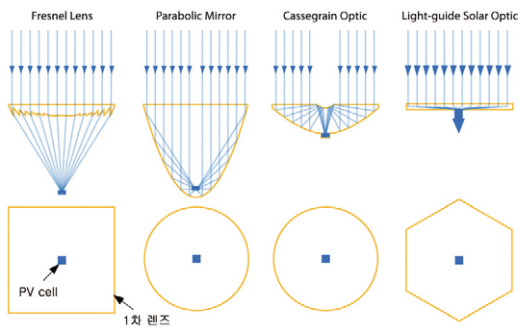


그림 6. 고집광 태양전지에 사용되는 집광기 [4]

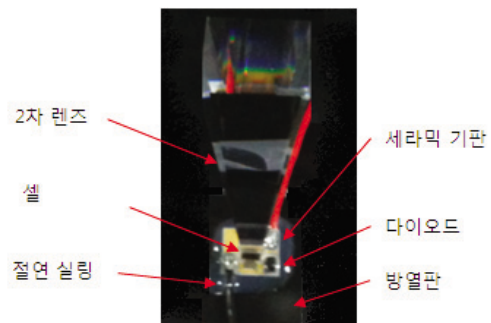
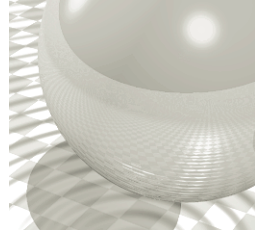


그림 7. 고집광 태양전지 리시버



획기적으로 줄이는 것으로 트래커의 부하를 감소시키는 부가적 장점이 있다.

그림 7은 고집광 태양전지 리시버의 사진이다. 2차 렌즈, 셀, 바이패스 다이오드, 방열판, 그 외 절연용 실링 등으로 구성되어 있다. 만화경형 2차 렌즈는 태양광 추적 오차 허용치를 완화하고 또한 집속된 태양광의 분포를 평준화하여 국부적 광 전력 집중을 완화하여 부분적인 셀 효율 저하를 방지해 준다. 세라믹 기판은 열전도와 절연 특성이 뛰어나 기판으로 적합하며 셀에서 발생하는 열을 골고루 퍼뜨리면서 방열판에 전달하는 역할을 한다. 수동형 방열 방식의 태양전지 셀 리시버는 방열판과 셀 간 열전도 최대화 하기위해서 반드시 접촉되어야 하며 접촉이 불량할 시 셀 온도가 100도를 넘길 수 있다 [5]. 현재 리시버 제작은 많은 부분 수공이 수행되고 있는데 가격 경쟁력을 증가시키기 위해 리시버 제작의 자동화가 요구되고 있다 [6].

5. 결론

우리나라에서의 집광형 태양광 발전 시스템 적용 가능성은 아직 실증 되지 못하였으나 관련 기술인 III-V 화합물반도체 태양전지 제조기술, 집광 렌즈 기술, 태양광 추적 트래커 등에 대한 개발이 활발하다. 연구기관과 기업에서 개발된 각 요소 기술들을 종합하여 직달 일사량이 유리한 지역에 수백 kW급 집광형 태양광 발전 시범 시설을 설치하는 실증 사업을 시작할 시점이 되었다고 판단된다.

참고문헌

- [1] Slade A, Garboushian V. 27.6% efficient silicon concentrator cell for mass production. Technical Digest, 15th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Shanghai, October 2005, 701.
- [2] Wojtczuk S, Chiu P, Zhang X, Derkacs D, Harris C, Pulver D, Timmons M. InGaP/GaAs/InGaAs concentrators using Bi-facial epigrowth. 35th IEEE PVSC, Honolulu, HI, June 2010.
- [3] King RR, Boca A, Hong W, Liu X-Q, Bhusari D, Larrabee D, Edmondson KM, Law DC, Fetzer CM, Mesropian S, Karam NH. Band-gap-engineered architectures for

high-efficiency multijunction concentrator solar cells. Presented at the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 21-25 September 2009.

- [4] <http://www.morgansolar.com/product/how-it-works>
- [5] 박원규, 전동환, 박상혁, 다중집합 태양전지 측정기술, 한국광전자학회지 p. 59, Vol. 1, No. 1, 2011.
- [6] Andy Longford and Domenic Federici, "Smart packages for CPV cell devices", p.9, Vo. 3, No. 5, 2010.

약 력

박원규



2004년 9월 나노소재특화캠퍼센터
- 현재 기술개발본부장
1986년 1월 LG 전자, LG 디스플레이
- 2004년 8월 책임연구원
2006년 2월 고려대학교 대학원 금속공학과, 공학박사
1984년 2월 서울대학교 대학원 금속공학과, 공학석사
1982년 2월 서울대학교 금속공학과, 공학사

박경호



2005년 9월 나노소재특화캠퍼센터 특성평가실장
- 현재
2003년 10월 아주대학교 분자과학기술학과,
- 2005년 8월 연구교수
2002년 10월 University of Cambridge
- 2003년 9월 박사 후 - 연구원
2002년 8월 아주대학교 분자과학기술학과 응용
물리학 전공, 이학 박사
1997년 2월 아주대학교 물리학과, 이학석사
1995년 2월 아주대학교 물리학과, 이학사

전동환

2008년 4월 - 현재 나노소재특화캠퍼센터 선임연구원
2008년 2월 광주과학기술원 정보통신공학과, 공학박사
2000년 2월 청주대학교 전자공학과, 공학석사
1998년 2월 청주대학교 반도체공학과, 공학사

박상혁

2009년 3월 - 현재 나노소재특화캠퍼센터 연구원
2009년 2월 서울대학교 전기공학부, 공학석사
2007년 2월 서울대학교 전기공학부, 공학사