

## 미래 에너지 문제 해결의 햇별이 보인다

### 차세대 고효율 태양전지

최근 심각한 환경오염 문제와 화석 에너지 고갈로 차세대 청정에너지 개발에 대한 중요성이 증대되고 있다. 그 중에서 태양전지는 공해가 적고, 자원이 무한적이며 반영구적인 수명을 가지고 있어 미래 에너지 문제를 해결할 수 있는 에너지원으로 기대되고 있다. ETRI의 전자통신분석 자료내용을 요약해 본다.

#### 태양전지의 종류와 작동 원리

최근 주목 받고 있는 태양전지를 물질별로 크게 구분하면 무기물 태양전지(inorganic solar cell), 염료감응 태양전지(dye-sensitized solar cell)와 유기물 태양전지(organic solar cell)가 있다.

##### □ 무기물 태양전지

실리콘 계열 태양전지와 CdTe, GaAs, CIGS와 같은 반도체 태양전지가 이에 속한다. n형 반도체 물질과 p형 반도체 물질을 접합하여 태양전지를 제조하며, n형 반도체는 전자(electron)가, p형 반도체는 양공(hole)이 전달체 역할을 한다.

반도체 밴드갭 에너지보다 큰 에너지를 가지는 빛(photon)이 입사되면 p-n 접합 계면 근처에서 빛을 흡수하여 전자-양공쌍을 생성하고, 내부 전지장(built-in electric field)에 의해 양공은 p형 반도체쪽으로, 전자는 n형 반도체 전극으로 이동하여 합선회로 전류(short-circuit current,  $I_{sc}$ )를 발생하고, 개방회로전압(open-circuit voltage,  $V_{oc}$ )은 두 반도체의 밴드갭 에너지 차이에 의해 결정된다.

##### □ 염료감응 태양전지

표면에 염료 분자가 화학적으로 흡착된 n형 나노입자 반도체 산화물 전극이 빛을 흡수하면 염료분자는 전자-양공쌍을 생성하고, 전자는 반도체 산화물의 전도띠로 주입되며,

반도체산화물 전극으로 주입된 전자는 나노 입자간 계면을 통하여 투명 전도성 막으로 전달되어 전류를 발생시키게 된다. 염료 분자에 생성된 양공은 산화-환원 전해질에 의해 전자를 받아 다시 환원된다.

##### □ 차세대 고효율 태양전지

21세기에 접어들면서 재생에너지에 대한 요구가 증가하면서 태양전지에 관심이 집중되었다. 그리고 양광 발전 시스템 증설이 급증하면서 실리콘 원자재 및 실리콘 기판의 공급 부족으로 인하여 태양전지 제조 단가가 증가하는 문제가 발생하였다. 이러한 이유로 단결정 실리콘 태양전지보다 제조 단가가 고, 원자재 소모가 적고, 재료 공급이 원활한 박막실리콘 태양전지, 염료감응 태양전지, 플라스틱 태양전지 등이 각광 받게 되었다. 그러나 낮은 제조 단가에도 불구하고 낮은 변환 효율과 짧은 수명이 산업화에 걸림돌이 되고 있다. 태양전지 제조 단가는 저렴하지만 태양광 발전 시스템을 구축할 때 드는 interconnection, encapsulation, 모듈 설치, 설치에 필요한 땅값 등 태양전지 이외의 비용이 전지의 총면적에 비례하기 때문에 태양전지 제조 단가 보다는 태양전지의 효율 증가가 태양광 발전 시스템의 발전 단가를 낮추는 중요한 변수로 작용한다. 이러한 문제로 인하여 최근에는 실리콘 태양전지를 비롯한 저가의 1세대 태양전지보다는 효율이 높은 2세대 태양전지의 발전 단가를 낮추어 지상용 전력으로 사용하기 위한 연구가 증가하고 있다.

태양전지가 30%의 변환 효율을 극복하기 위해서는 2세대 태양전지와 같이 변환 효율을 극대화하기 위해 광 흡수 대역을 넓히기 위한 방법으로 입사되는 빛을 여러 개의 파장 대역으로 분리하고 각각의 파장 대역에 알맞은 태양전지를 수평 배치하는 방법과 빛의 입사 방향으로 흡수대역이 에너지가 큰 태양전지부터 차례로 적층하는 방법이 있다. 파장분리형은 다양한 물질의 태양전지를 이용하여 각각의 파장 대역에 가장 적합한 태양전지를 배치함으로써 광 흡수를 극대화할 수 있는 장점이 있다. 그러나 광학계를 사용함으로써 제작이 복잡하여 대면적으로 제작이 어렵고 대량 생산에 한계가 있다. 그러나, 미국에서는 DARPA 프로젝트를 통해

## 기술표준

2005년 11월부터 530억 원을 투자하여 효율 50% 이상인 초고효율 태양전지 개발 프로그램을 진행중이며, 파장 분리형을 사용할 예정이다. 파장 분리형에 집광장치를 결합한 초박형 집광 태양전지는 차세대 모바일 기기의 보조 전원으로 사용 가능할 것이다.

적층형 태양전지는 각각의 파장 대역에 적합한 태양전지를 흡수 에너지 대역이 높은 순서로 수직으로 배치하고 각각에 전극을 연결하는 방법이 있으나 각 태양전지 증착시 사용한 기판을 제거하거나 최대한 얇게 제작해야 하며, 하부 전극을 최소화하거나 투명 전극을 사용하여 빛 투과를 최대화해야 하는 많은 기술적인 어려움이 있다. 박막형 실리콘 태양전지 등에서 시도되고 있지만은 전극 제작 공정이 까다로워 높은 효율을 얻지 못하고 있으며 대면적으로 제작이 어려워 제작 단가가 비싼 문제가 있다.

그러나, MOCVD와 MBE 같은 박막 증착 장비의 발달로 III-V 화합물 반도체 태양전지분야에서는 터널정선 기술 개발로 단일 접합 태양전지 사이에 금속 전극 없이 반도체 박막만으로 직렬 연결이 기술이 개발되면서 가능하게 되었다. 서로 다른 흡수대역을 가지는 태양전지들 사이에 터널정선 구조를 삽입하여 한 번의 박막 증착 공정만으로 monolithic하게 다중접합 태양전지 제작이 가능하다. 단일 접합 태양전지 간의 직렬 연결시 별도의 전극 공정이 필요하지 않으므로 단일 접합 태양전지 제작 공정과 동일하다. 따라서 적층 수가 증가하여도 제조 공정에 별도의 비용 증가가 없고 공정이 단순해 대량 생산이 용이하여 차세대 태양전지로 주목 받고 있다.

III-V 화합물 반도체 태양전지의 적층에 따른 이론적 효율이다. 구조는 현재 Spectralab에서 monolithic하게 성장하여 AM1.5, 1sun 측정 조건에서 32%의 효율을 얻었고, 구조 구현은 Ga-InAsN cell의 효율이 향상되지 않아 개발이 지연되고 있다.

6중 접합 태양전지 구조로 태양광 흡수 대역을 세분하였으나 4중 접합 태양전지보다 효율이 낮을 것으로 예상된다. III-V 화합물 반도체 태양전지는 다중접합 구조를 이용하여



매우 높은 효율을 얻고 있지만 고가의 원재료를 사용하고 있어 제조 단가가 비싼 단점을 가지고 있다. 그러나 효율이 높아 지상용 에너지원으로 사용하기 위해 집광장치(concentrator)와 III-V 화합물 반도체 태양전지를 결합하여 제조 단가 문제를 해결하고자 연구 개발하고 있다. 집광형 태양전지는 태양광을 렌즈나 거울등을 이용하여 넓은 면적의 태양광을 작은 면적의 태양전지에 빛을 모으는 방법을 사용한다. 집광형 태양전지는 가격이 저렴한 플라스틱 렌즈나 알루미늄 코팅 거울을 사용함으로써 태양광의 집광도가 높을수록 제조 단가가 비싼 태양전지의 면적을 줄일 수 있어 태양전지 모듈 제조 단가를 대폭 줄일 수 있다.

집광형 태양전지는 1970년대 초반부터 연구가 시작되었지만 실리콘 태양전지는 20배 이상 집광시 효율이 급격히 감소하는 문제로 인하여 고배율 집광이 어려워 널리 사용되지 못하였다. 그러나 III-V 화합물 반도체 태양전지는 집광률이 200배까지 집광률 증가에 따라 효율이 증가하고 500배 이후에는 고집광으로 인해 많은 전류가 발생하여 전극에 저항이 발생하여 효율이 감소한다.

그러나 III-V 화합물 반도체 태양전지는 1000배 집광시 효율이 1% 감소하므로 고집광형 태양광 발전시스템에 적합하다. 고효율 III-V 태양전지와 집광장치를 결합한 태양광 발전 시스템이 실리콘 태양광발전 시스템보다 발전 단가가 낮아 보다 경제적인 것으로 보고되고 있다. 또한 집광형 III-V 화합물 반도체 태양광 발전시스템은 많은 장점을 가지고 있어 기존의 평판형 실리콘 태양광 발전 시스템보다 경제적이고 친환경적이다.