

집광형 III-V 합합물 반도체 태양전지 동향

한원석 선임연구원, 배성범 선임연구원, 이규석 책임연구원 (한국전자통신연구원 태양광전환기술연구팀) |
오대곤 책임연구원 (한국전자통신연구원 광모듈응용기술팀)

1. 서론

세계는 1차, 2차 오일쇼크 후 화석연료 부족을 대비하여 대체에너지에 대한 관심이 증가되었지만, 오일 수급이 안정화되면서 대체에너지에 대한 관심이 줄어들었다. 그러나 최근 온실효과로 인한 지구온난화 문제가 심각하게 대두되면서 온실가스를 줄이기 위해 1992년 브라질 리우데자네이루에서 유엔환경개발회의에 154개국이 참석하여 기후변화협약을 체결하였고 이를 구체화하기 위해 1997년 일본 교토에서 선진 39개국이 참석하여 교토의정서를 채택하여 2008년부터 2012년 사이에 온실가스를 기준 시점인 1990년도에 비해 이산화탄소 배출량을 평균 5.2% 정도 줄이고 탄소배출권 거래도 허용하기로 체결했다. 이러한 이유로 이산화탄소배출량이 많은 화석연료를 대체할 다양한 신재생에너지에 대한 관심과 투자가 다시 급격하게 증가하게 되었다. 그중에서 공해가 없고, 자원이 무한적인 태양에너지를 이용하는 태양전지가 미래 에너지문제와 지구온난화문제를

동시에 해결할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

태양전지는 고순도 단결정 실리콘 제조방법이 개발되면서 1956년에 Bell 연구소에서 최초로 4% 효율의 단결정 실리콘 태양전지를 만들었고, 1960년대 미국과 소련이 우주개발 경쟁을 하면서 인공위성의 전원장치의 중요 핵심소자로서 많은 연구가 이루어졌다. 1980년대부터 단결정 실리콘 태양전지 제조기술의 급격한 발전으로 변환효율이 20%에 도달하고 그 후 실리콘 태양전지는 변환효율 향상과 대면적화, 대량생산화되면서 생산단가가 계속 낮아져 산업화에 성공하였다. 현재 태양전지산업의 90%를 결정형 실리콘태양전지가 차지하고 있지만, 2000년 이후 결정형 실리콘태양전지의 변환효율이 한계치에 도달하여 효율향상이 둔화되고, 갑작스러운 태양전지 수요증가로 실리콘 원재료 및 실리콘기판 수급문제가 발생하여 태양전지 제조단가가 상승하게 됨으로써, 태양전지는 제조단가 절감과 효율향상 문제 이외에도 원자재수급 등을 해결해야 하는 문제가 생겼다. 그중 가장 큰 문제는 다른 재생에너지에 비해 발전단가가 높은 문제점을 가지고 있다. 발전단가를

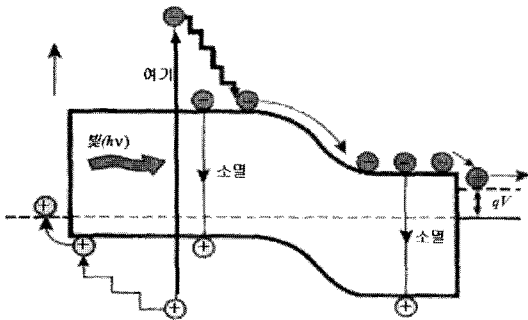
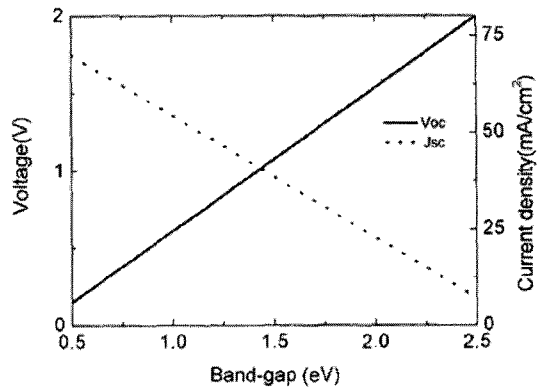


그림 1. PN 접합 반도체 태양전지 동작 원리.

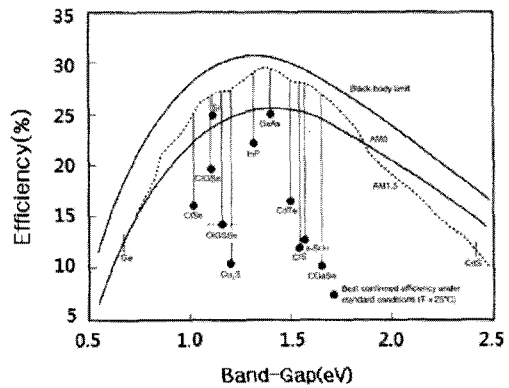
낮추기 위한 기술로 값비싼 반도체 소재 소모량을 줄이고, 비용이 저렴한 소재로 대체하는 박막형 기술과 반도체소재 면적을 최소화하고 발전효율을 높이는 고효율 집광형 기술이 있다. 실리콘 태양광발전시스템에 있어서 실리콘 소재비용은 전체의 25%를 차지하고 있어 [1], 발전단가를 낮추기 위해서는 소재비용 절감뿐만 아니라 태양전지의 효율증가가 발전단가를 낮추는 중요한 변수이다. 현재 박막형 태양전지 기술은 소재비용을 대폭 감소시킬 수 있으나 효율이 결정형 태양전지에 비해 효율이 낮고 수명인 짧아 상용화를 위해서는 아직도 많은 기술개발이 필요하다. 하지만 다중 접합 고효율 III-V 화합물 반도체 태양전지와 집광시스템을 결합한 고효율 고집광형 태양전지는 높은 효율과 낮은 발전단가로 인하여 곧 상용화를 가능 할 것으로 기대된다.

2. 반도체 태양전지의 원리

태양전지는 그림 1과 같이 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 전기장 (Built-in Electric Field)에 의



(a)



(b)

그림 2. 단일 접합 태양전지의 (a) 밴드갭 에너지에 대한 전압과 전류의 특성과 (b) 반도체 물질의 이론적 변환 효율.

해 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.

태양전지 세대를 구분할 때 일반적으로 소재 측면에서 구분을 하여 결정형 태양전지를 1세대, 박막형 태양전지를 2세대로 구분하고 있다. 이러한 구분법은 소재에 있어서 큰 변화는 있지만 변환효율은 1세대보다 2세대가 낮은 문제가 있다. 따라서 태양전지 세대 구분은 소재보다 구조 관점에서 단일 접합

태양전지와 다중 접합 태양전지로 구분하는 것이 적절하다.

3. 단일 접합 태양전지

반도체 물질의 경우 밴드갭 에너지보다 높은 에너지의 빛은 모두 흡수할 수 있다. 그러나 밴드갭 에너지가 낮은 반도체 물질로 태양전지를 제조하여도 변환효율이 높아지는 것은 아니다. 그림 2(a)와 같이 밴드갭 에너지가 높아지면 발생전압을 높아지지만, 반대로 밴드갭보다 낮은 에너지의 빛은 흡수되지 못하고 투과되므로 흡수되는 빛에너지의 양이 감소하여 발생하는 전류는 밴드갭 에너지에 반비례한다. 그림 2(b)는 AM1.5 조건에서 단일 접합 태양전지의 이론적 변환효율 그래프이다. 밴드갭 에너지에 대한 단일 접합 태양전지의 이론적 변환효율로 포물선 형태의 그래프를 가진다 [1]. 실리콘 태양전지와 GaAs 태양전지의 이론적 최대 변환 효율은 각각 27%와 29%이며 단일 접합 태양전지의 변환 효율은 이론적으로 최대 30%를 넘을 수 없다.

실리콘 태양전지는 대표적인 단일 접합 태양전지로 그림 3처럼 밴드갭 에너지가 1.12 eV (1100 nm)로 밴드갭 에너지보다 낮은 에너지의 빛은 흡수되지 않고, 빛을 흡수하여 생성된 전자와 양공은 오제이 결

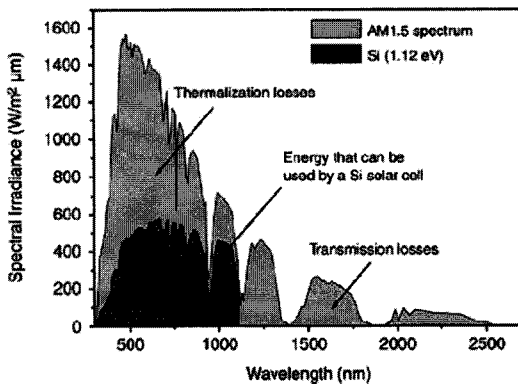


그림 3. AM1.5 태양광 스펙트럼에서 실리콘 태양전지의 이론적인 태양광 흡수 대역폭과 흡수율 [3].

합 (Auger Recombination)하여 열로 소멸되거나 재결합하여 다른 파장의 빛으로 소멸되어 흡수된 빛의 일부만이 빛에서 전기 에너지로 전환 된다. 실리콘 태양전지의 세계 최대효율은 1999년 UNSW (Univ. of New South Wales)대학에서 PERL (Passivated Emitter and Rear Locally Diffused) 구조에서 24.7%로 달성하였다 [2]. 그 후 실리콘 태양전지는 이론적 효율에 도달하여 2000년 이후에는 효율향상이 둔화되어 재료절감과 제조단가 절감 기술개발에 치중하고 있다.

4. 다중 접합 태양전지

다중 접합 태양전지는 투과소실을 최소화하기 위해 흡수대역을 넓히는 구조를 가지고 있다. 다중 접합 태양전지의 구조는 파장분리형과 셀 적층형 구조가 있다. 그림 4(a)와 같은 파장분리형은 빛을 파장대역별로 선택적 반사를 시켜 파장대역에 가장 적합한 태양전지를 수평으로 배치하는 구조를 가지며, 그림 4(b)의 셀 적층형은 서로 다른 광흡수대역을 가지는 태양전지를 높은 흡수대역을 가지는 태양전지부터 상부에 위치시켜 수직으로 배치하여 상부 태양전지에서 흡수하고 투과된 빛을 하부 태양전지에서 재흡수하는 구조를 가진다. 파장분리형은 다양한 물질

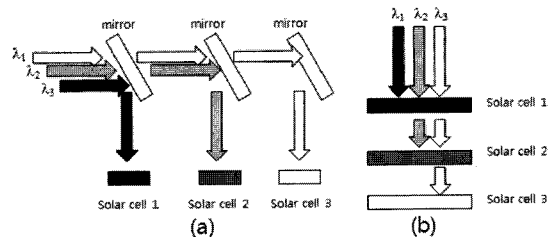


그림 4. 다중 접합 태양전지의 구조 (a) 파장 분리형, (b) 셀 적층형.



의 태양전지를 이용하여 각각의 파장대역에 가장 적합한 태양전지를 사용함으로써 태양광 흡수를 극대화할 수 있는 장점이 있다. 그러나 복잡한 광학계를 사용함으로써 대면적으로 제작하기 어렵고 대량생산에 한계가 있다. 또한 셀 적층형 태양전지는 각각의 파장 대역에 적합한 태양전지를 흡수 에너지 대역이 높은 순서로 수직으로 배치하고 낮은 에너지의 빛의 투과를 원활히 하기 위해 하부 금속전극을 면적을 최소화하거나 투명전극을 사용해야 하는 기술적인 어려움이 있다. a-Si이나 CIGS (Copper Indium Gallium Selenide) 등의 박막형 태양전지분야에서 시도되고 있으나 공정이 까다로워 높은 효율을 얻지 못하고 있다. 그러나 III-V 화합물 반도체 태양전지 분야에서는 단일 접합 태양전지들을 적층할 때 Monolithic하게 단일 공정으로 적층할 수 있는 기술이 개발되어 다중접합 태양전지 제조가 가능하여 단일 접합 태양전지의 이론적 한계인 변환효율 30%를 넘을 수 있게 되었다.

5. III-V 화합물 반도체 태양전지

III-V 화합물 반도체 태양전지는 1980년대 초부터 연구되었으며 GaAs 태양전지가 III-V 화합물 반도체 태양전지 중 가장 먼저 개발되었다. GaAs 태양전지는 그림 2-b에서와 같이 에너지 밴드갭은 1.43 eV로 태양광을 흡수하는데 가장 적합하여 이론적으로 단일 접합 태양전지 중 가장 높은 29%의 변환효율을 가질 수 있다.

III-V 화합물 반도체는 금지대폭이 넓어 온도상승에 대한 효율 감소율이 실리콘 태양전지보다 낮아 고온동작에 유리하다. 또한, 직접 천이형 에너지 밴드 (Direct Band-gap) 구조를 가지고 있어 광흡수율이 매우 높아 태양광의 90%를 흡수하는데 ~5 μm의 두께로 충분하며, 소수 캐리어의 수명이 짧고 방사선에 의한 열화가 실리콘보다 작다. 이러한 이유로 인공위성과 같은 우주용 태양전지는 III-V 화합물 반도체 태양전지가 개발된 후 실리콘에서 III-V 태양전지로 모두 전환되었다. III-V 화합물 반도체는 MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor

Deposition)와 MBE (Molecule Beam Epitaxy)같은 화합물 반도체 박막증착장비의 발달로 인하여 빠르게 발전하고 있다. III-V 화합물 반도체는 원소의 합성 비율을 조절하여 다양한 밴드갭 에너지를 가지는 박막제조가 용이하고 터널 정선 (Tunnel Junction) 구조를 이용하여 p-n 접합 태양전지를 금속전극없이 직렬연결이 가능하여 다중 접합 태양전지분야에서 획기적인 기술적인 전환점이 되고 있다.

터널 정선은 Heavy Doping된 얇은 p형 박막과 Heavy Doping된 얇은 n형 박막을 접합하면 그림 5(a)와 같이 Depletion 영역이 극도로 얇아져 전자의 터널링이 가능하게 된다. 따라서 터널 정선은 외부에서 역방향 전압이 인가되면 그림 5(b)-a와 같이 p층의 Valance Band의 전자가 n층의 Conduction Band로 터널링하여 터널링 전류가 발생하고, 그림 5(b)-c처럼 낮은 순방향 전압이 걸리면 n형의 Conduction Band의 전자가 p형의 Valance Band로 터널링하여 터널링 전류가 발생한다. 터널 정선의 a-c 영역은 저항을 가지는 도선의 I-V 특성과 같다. 그림 5(b)-d와 같이 p층의 E_v 와 n층의 E_c 가 같아지면 터널링 전류는 사라지고 일반적인 pn 다이오드 특성을 가지게 된다. 그림 5(c)의 실선은 일반적인 pn 접합 다이오드의 I-V 곡선이고 점선은 터널링 다이오드의 I-V 특성이다. 터널 정선 다이오드는 역방향 전압과 낮은 순방향 전압 (a-c)까지는 터널링으로 전류가 흐르고, 순방향 전압이 커지면 (d-e) 일반적인 다이오드 특성을 가지게 된다.

다중 접합 태양전지는 터널링 다이오드의 그림 5(b)의 a-c 영역의 특성을 이용하여 여러 개의 태양전지 사이에 터널 정선 구조를 삽입하여 금속전극이나 투명 전극없이 III-V 화합물 반도체만으로 연결하게 된다. 그림 6(a)는 III-V 화합물 반도체를 이용한 InGaP/InGaAs/Ge의 3중 접합 태양전지의 구조이다. InGaP (1.7eV), InGaAs (1.18 eV), Ge (0.7 eV)의 서로 다른 흡수대역을 가지는 태양전지 사이에 터널 정선이 삽입된 구조로 MOCVD를 이용하여 한 번의 공정으로 제조 가능하다. 그림 6(b)는 3중 접합 태양전지의 광흡수 대역폭을 나타내고 있다. 다중 접합 태양전지는 단일 접합 태양전지에 비해 흡수 대역이 넓어 투과손실과 열화에 의한 손실이 매우 적다. 다

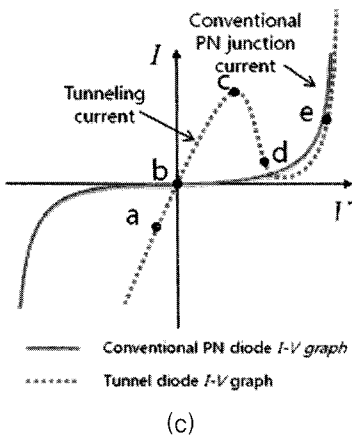
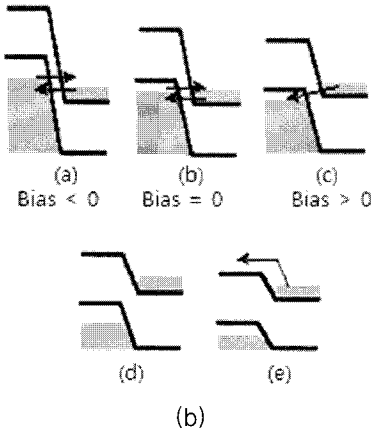
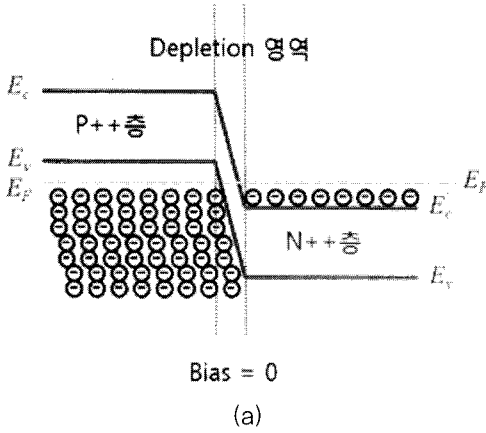


그림 5. 터널 정션의 (a) 밴드 구조와 (b) 외부 Bias에 따른 전자의 터널 과정 (c) 터널 정션과 일반 pn 다이오드의 I-V 그래프.

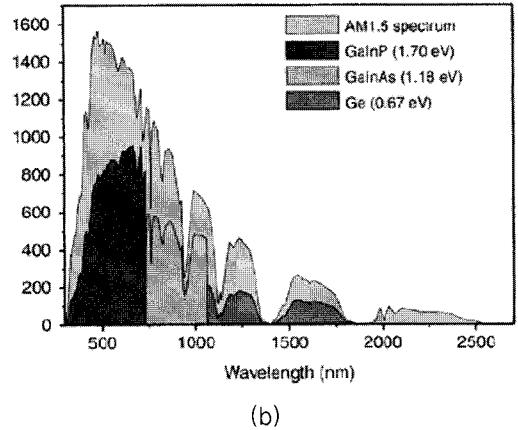
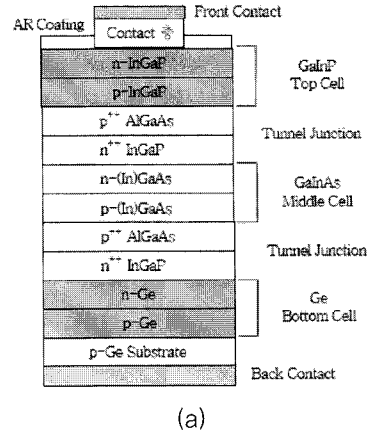


그림 6. InGaP/InGaAs/Ge 3중 접합 태양전지의 (a) 적층 구조와 (b) AM1.5 태양광 스펙트럼에서 태양광 흡수 대역폭과 흡수율[3].

중 접합 태양전지는 흡수대역 폭이 넓어 흡수하는 빛의 양은 증가하지만 3개의 태양전지로 흡수되는 빛의 양이 분산되어 전류는 낮고 전압이 높다. 전류보다 전압이 높은 태양전지는 모듈제작 시 직렬저항이 낮은 장점을 가진다. 다중 접합 태양전지의 세계 최고효율은 InGaP/GaAs/Ge 3중 접합 태양전지 구조로 Spectrolab에서 2001년에 변환 효율 32% (AM1.5, 1 sun)를 달성하였다 [2]. 앞으로 4중 접합 태양전지가 개발될 경우 변환효율이 40%를 넘을 것으로 예상되지만, 4중 접합 태양전지를 개발하기 위해서는 해결해야할 많은 문제가 있다.

6. 집광형 고효율 태양전지

III-V 화합물 반도체 태양전지는 다양한 에너지 흡수대역을 가지는 태양전지 제조가 가능하고 다중 접합 태양전지 제조가 가능하여 변환효율이 매우 높은 장점이 있지만, 고가의 소재를 사용하고 있어 제조단가가 매우 높은 단점을 가지고 있다. 높은 변환 효율과 방사선에 대한 열화특성이 좋아 인공위성과 같은 우주용으로 많이 사용되고 있으나, 지상용 태양전지로는 경제성이 없다. 그러나 최근에 III-V 화합물 반도체 태양전지의 효율이 높아지면서 집광시스템과 결합하여 지상용 에너지원으로 사용하기 위한 연구가 급속도로 진행되고 있다.

집광형 태양전지는 그림 7과 같이 태양광을 얇은 플라스틱 렌즈를 이용하여 작은 면적의 태양전지에 빛을 모으는 방법을 사용한다. 동일한 양의 전력을 생산하는데 태양광의 집광율이 높을수록 제조단가가 비싼 III-V 반도체의 면적을 획기적으로 줄일 수 있어 태양전지 모듈제조단가를 대폭 줄일 수 있다. 집광형 태양전지는 1970년대 초반부터 연구가 시작되었지만 실리콘 태양전지는 20배 이상 집광 시 효율이 급격히 감소하는 문제로 인하여 고배율 집광이 어려워 널리 사용되지 못하였다. 그러나 III-V 화합

물 반도체 태양전지는 그림 8과 같이 집광율이 200배까지 집광율 증가에 따라 효율이 증가하고 500배까지 효율감소가 없고, 1000배 집광까지 효율이 1% 감소하므로 고집광형 태양광 발전시스템에 적합하다 [4].

고효율 III-V 태양전지와 집광시스템을 결합한 집광형 고효율 태양광발전은 실리콘 태양광발전보다 발전단가가 낮아 보다 경제적인 것으로 보고되고 있다 [5]. 그러나 집광형 태양광발전 시스템은 태양광을 모으는 집광모듈, 태양광을 추적하는 추적장치, 높은 고열로 인한 냉각장치 등의 매우 복잡한 구조로 이루어져 있어 유지보수가 어려운 단점을 가지고 있다. 집광형 태양전지는 크게 렌즈형, 반사형과 Heliostat형으로 구분된다. 렌즈형은 일반적으로 Fresnel 렌즈를 사용하며 1 cm² 이하의 아주 작은 태양전지를 사용한다. 최근에는 태양전지의 면적을 2 mm² 이하로 사용하려는 업체도 있다. 이는 태양전지의 크기가 LED 소자의 크기와 같아지면 기존의 광소자 제조 인프라를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 그림 9(b)의 반사형 태양전지는 태양전지의 교체가 용이하여 불량이나 신규 고효율 태양전지가 개발되면 교체가 가능하여 유지보수가 렌즈형에 비해서 간편한 장점을 가지고 있다. Heliostat 태양광발전 시스템은 기존의 태양열발전 시스템에 태양광 발전을 응용한 것으로 각각의 거울

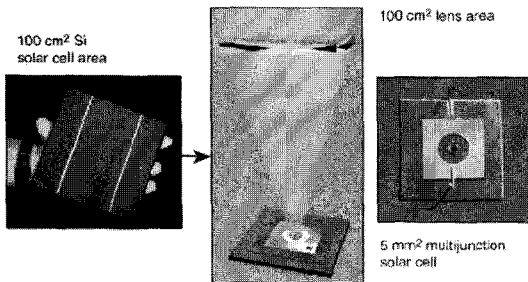


그림 7. 집광 시스템을 사용하여 고가의 III-V 화합물 반도체의 면적을 획기적으로 줄일 수 있어 제조 단가를 절감할 수 있다. 최대 집광율은 30~1000배이다 [3].

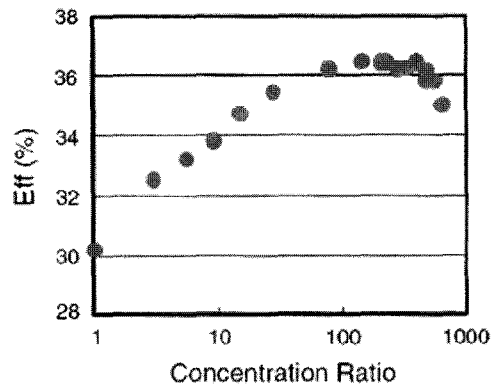


그림 8. III-V 화합물 반도체 태양전지의 태양광 집광에 대한 변환 효율.

에 태양추적장치를 장착하여 중앙타워의 태양전지에 태양광을 집중시키는 구조이다. Heliostat는 집광율이 높일 수 있는 장점은 있지만 고열로 인한 냉각장치가 필요하다. 최근 호주의 Solar Systems社에서 Spectrolab社의 III-V 태양전지를 사용하여 2007년~2013년까지 154 MW 규모의 Power Plant를 설립하고 있다.

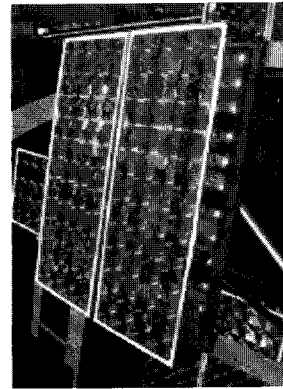
7. 고집광형 태양전지 연구 및 산업 동향

집광시스템은 1970년 집광형 태양열발전 시스템 위주로 발전되었다. 태양전지를 이용한 집광형 태양광발전 시스템에 대한 연구도 있었지만 Si 태양전지는 가격이 매우 낮아 집광에 따른 경제성이 없고, 집광특성이 매우 나빠 고집광 시스템에 사용할 수 없어 많은 발전을 이루지 못하였다. 집광 시스템은 III-V 화합물 반도체 태양전지가 개발되면서 태양광 발전분야에서 빠르게 발전되었다. 집광 시스템에 고효율 III-V 화합물 반도체 태양전지 접목하면서 100배 이상의 고배율 집광이 가능해졌고, 2006년 Spectrolab에서 Metamorphic 성장한 InGaP/ InGaAs/Ge 3중 접합 태양전지로 30% 효율의 장벽을 넘어 40.7% (AM1.5, 240배 집광) 효율을 얻었다 [6].

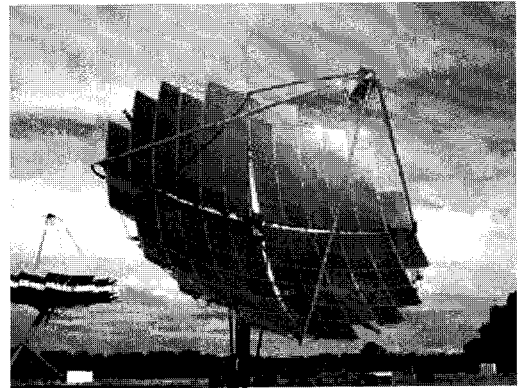
미국에서는 2005년부터 DARPA에서 530억 원을 투자하여 변환효율 50% 이상의 태양전지 개발 중이며, NREL 주도로 9개 대학 및 기업 등이 참여하여 2020년까지 셀 효율 41% 및 시스템 효율 33% 집광형 태양전지 시스템 가격 $\$1/W_p$ 이하를 목표로 하고 있다.

일본은 1990년도부터 초고효율 다중 접합 III-V 화합물 반도체 태양전지 R&D 프로젝트를 시작하였으며, III-V 화합물반도체 태양전지 셀 변환효율 38.9% (AM1.5, 7489배 집광), 모듈효율 28%를 실현 하였다. 일본은 NEDO 주도로 2010년 셀 변환 효율 40%, 모듈효율 28% 모듈단가 100엔/ W_p 로 집광형 III-V 태양광발전 시스템을 상용화를 목표로 하고 있다.

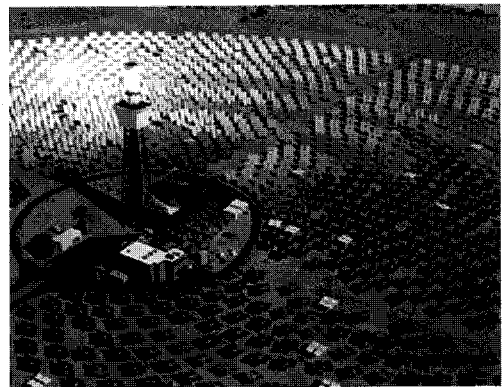
고집광형 태양광발전 시스템을 개발하는 업체는 크게 태양전지 제조업체와 집광 시스템 업체로 구분



(a)



(b)



(c)

그림 9. 집광형 태양광 발전 시스템의 종류 (a) Fresnel 렌즈를 사용하는 렌즈형과 (b) 구면 거울을 사용하는 반사형과(c) 태양열 발전을 변형한 Heliostat형.

된다. III-V 화합물 반도체 태양전지 셀을 제작하고 있는 대표적인 업체는 미국의 Spectrolab, Emcore Corp., 일본의 Sharp, 독일의 Frounhofer ISE 등이 선두 업체이며, 미국의 Amonix 독일의 Concentrix Solar, 일본의 Daido Steel社 등이 III-V 화합물 반도체 태양전지를 이용하여 집광기 모듈 및 시스템을 제작하고 있다.

국내에서는 1997년~1999년까지 에너지기술연구원과 KIST에서 III-V 화합물 반도체 태양전지 연구를 시작하였으나 그 후 재원 부족으로 연구가 중단되었다. 2006년부터 III-V 화합물 반도체 인프라를 보유하고 있는 ETRI에서 광통신소재에서 태양광분야로 연구 영역을 확장하면서 2006년 변환효율 20%의 GaAs 단일 접합 태양전지를 개발하였으며, 2007년 변환효율 23.7%의 InGaP/GaAs 2중 접합 태양전지를 개발하였다. KIST에서도 2007년 III-V 화합물 반도체 태양전지 연구를 다시 시작하여 19.7%의 GaAs 단일 접합 태양전지를 개발하였다.

국내에서 집광시스템은 태양광보다는 태양열 발전 위주로 발전 하였다. 1999년부터 에너지 기술연구원에서 반사를 이용하는 Dish형 집광시스템을 개발하고, 이와 관련된 핵심 기술에 대한 연구가 진행되었다. 최근에는 대한테크켄에서 Si 태양전지를 기반으로 하는 독자적인 모델의 저집광 시스템을 개발하였다.

8. 고집광형 III-V 화합물 반도체 태양전지의 시장과 전망

III-V 화합물 반도체 태양전지를 이용한 고집광 태양광산업은 기존 실리콘 태양전지산업에 비해 기술장벽이 높아 고부가가치 산업으로 육성이 가능하며, 소재 (원료, 기판 등), 반도체 장비, 집광모듈, 추적 장치, 냉각장치, 다중 접합 태양전지 등 다양한 분야의 산업이 필요함으로 관련하여 다양한 산업육성과 고용창출이 가능하다. 향후 4중 접합 태양전지를 개발하여 변환효율 50%를 넘을 것으로 예상됨으로써 지상용 대전력 태양광발전 시스템산업과 인공위성과 같은 우주 산업분야를 주도할 핵심기술이 될

것으로 예상된다. 최근 2년 전부터 지상발전용으로의 가능성을 시도하고 있으며 2008년도에 들어서는 구체적인 시장이 미국을 중심으로 시작되고 있으며 2010년을 기점으로 집광형 태양전지시장이 열릴 것으로 내다보고 있다. 또한, 미국의 NREL에서는 2015년 집광형 태양광발전을 통하여 발전 단가를 7센트/kWh까지 낮출 수 있다고 전망하고 있다 [7].

9. 결론

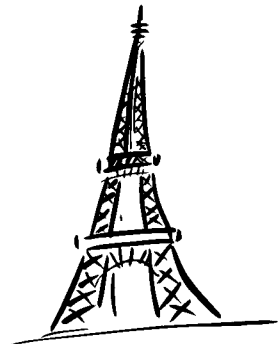
태양전지 수요 급증으로 인한 원재료 부족과 타 재생에너지에 비해 높은 발전단가로 인하여 원재료를 절감하고 발전단가를 낮출 수 있는 차세대 태양전지에 대한 관심이 집중되면서 집광시스템과 고효율 태양전지를 결합한 집광형 고효율 태양광발전 시스템이 주목받게 되었다. 고효율 집광형 태양광발전 기술은 기존의 신뢰성이 확보된 집광시스템과 인공위성용 고효율 다중 접합 III-V 화합물 태양전지를 결합한 기술로 실리콘 태양전지와 비교하여 경제성이 뛰어나 빠르게 상용화가 이루어질 것으로 예상된다. 집광형 고효율 태양광발전산업은 기술장벽이 높아 고부가가치 산업으로 발전가능하며 다양한 분야의 산업육성이 가능하고 많은 고용 창출이 예상된다. 또한 향후 4중 접합 태양전지 개발로 변환효율 50% 시대가 기대되며, 태양전지는 타재생에너지와의 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Lawrence L. Kazmerski, "Solar Photovoltaics R&D at the Tipping Point: A2005 Technology Overview," J. Elec. Spectroscopy and Related Phenomena 2006, Vol.150, pp.105-135
- [2] "Solar cell Efficiency Tables (Version 29)", Prog. Photovolt.: Res. Appl. 2007, 15, pp35-40
- [3] Frank Dimroth and Sarah Kurtz, "High-efficiency multijunction solar cells", MRS BULLETIN, Vol. 32, Match 2007, pp230-235
- [4] Masafumi Yamaguch, Tatsuya Takamoto, and

Kenji Araki, " Super High-efficiency Multijunction and concentrator Soalr cells", Solar Energy materials & Solar cells, Vol. 90, 2006, pp. 3068-3077

- [5] Richard M. Swanson, "Promise of Concentrators," Prog. Photovolt. Res. Appl., Vol.8, 2000, pp.93-111.
- [6] R. R. King,aD. C. Law, K. M. Edmondson, C. M. Fetzer, G. S. Kinsey, H. Yoon, R. A. Sherif, and N. H. Karam, "40% efficiency metamorphic GaInP/GaInAs/GE multijunction solar cells", Appl. Phys. Lett., 90, 183516(2007)
- [7] "National Solar Technology Toadmap: Concentrator PV", Management report NREL/MP-520-41735, 2007



저|자|약|력



성 명 : 한원석

◆ 학 력

- 1993년 충남대 물리학과 이학사
- 1996년 충남대 대학원 물리학과 이학석사
- 2000년 충남대 대학원 물리학과 이학박사

◆ 경 력

- 2000년 - 2001년 한국전자통신연구원 Post Doc.
- 2001년 - 현재 한국전자통신연구원 선임연구원



성 명 : 배성범

◆ 학 력

- 1997년 경북대 전자공학과 공학사
- 1999년 경북대 대학원전자공학과 공학석사

◆ 경 력

- 2001년 - 현재 한국전자통신연구원 선임연구원



성 명 : 이규석

◆ 학 력

- 1990년 Northeastern Univ. 이학박사

◆ 경 력

- 1990년 - 1991년 Northeastern Univ. Research Associate
- 1991년 - 1992년 일본 이화학연구소 박사 후 연구원
- 1992년 - 현재 한국전자통신연구원 책임연구원



성 명 : 오대곤

◆ 학 력

- 1978년 고려대 화학과 이학사
- 1984년 한국과학기술원 화학과 이학석사
- 1987년 한국과학기술원 화학과 이학박사

◆ 경 력

- 1990년 - 1991년 미국 버지니아 주립대학교 전자공학과 초빙연구원
- 1996년 - 현재 한국전자통신연구원 책임연구원
- 2006년 - 2007년 한국전자통신연구원 광소자그룹장