

Special  
Thema

# | 결정질 실리콘 태양전지 연구개발 동향

김경해 교수  
(성균관대 정보통신공학부)

이준신 교수  
(성균관대 정보통신공학부)

## 1. 서론

환경문제의 증가와 제한된 에너지는 대체에너지의 필요성을 더욱 부각시켰다. 고려되고 있는 대체에너지의 종류로는 풍력, 수력, 파력, 지열, 태양광 등이 거론되고 있지만 그 중에 가장 크게 관심을 두고 있는 대체에너지는 태양광을 사용하여 에너지를 생산하는 태양전지 분야이다.

태양전지 소자는 태양으로부터 에너지를 직접적으로 전기 에너지로 전환하는 소자이다. 이러한 태양전지는 Becquerel[1]이 처음으로 관찰하였다. 태양전지의 사용은 전해질(Electrolyte)속에 담긴 전극에 빛 조사 시 발생하는 광전효과(Photovoltaic Effect)를 처음으로 발견한 이후 관심을 가지기 시작하였다. 실제적으로 모든 광소자는 반도체 안의 pn 접합과 관련되어 있다. 이러한 반도체의 재료는 태양의 분광 중 많은 영역을 흡수할 수 있다. 재료의 흡수 특성에 따라서 빛이 표면에서 흡수되는 정도가 다르다. 빛이 흡수될 때 전자(Electron)와 정공(Hole)이 생성된다. 생성된 전자와 정공은 접합 근처까지 이동하며 전기장에 의해 분리된다. 이때 전자와 정공의 재결합으로 pn 접합 부근까지 도달 못 하는 경우도 있다. 실리콘과 같이 빛의 흡수가 약한 경우 대부분의 반송자(Carrier)들이 표면 근처에서 생성된다. 그러한 이유로 pn 접합은 표면과 거리가 가까워서 높은 전자 수집을 가져온다.

현재의 태양전지의 기본 형태를 이루는 최초의 실리콘 태양전지는 1954년에 개발되어 4.5%의 변환 효율을 얻었고, 몇 달 후에 6%를 발표하였다. 1999년도의 24.7%가 발표되기까지 45년의 세월이 걸렸다. 그림 1에서 알 수 있듯이 중요한 하나의 기술이 개발되면 획기적으로 효율이 증가하고 또 다른 새로운 기술이 나오기까지 오랜 시간이 걸렸다. 즉 변환 효율이 계단형으로 발전되어 왔다. 단결정 실리콘 태양전지는 이제 거의 기술적인 한계에 온 것처럼 보이지만 이론적인 변환효율을 33%까지 볼 때 아직도 발전 가능성은 있다고 볼 수 있다.

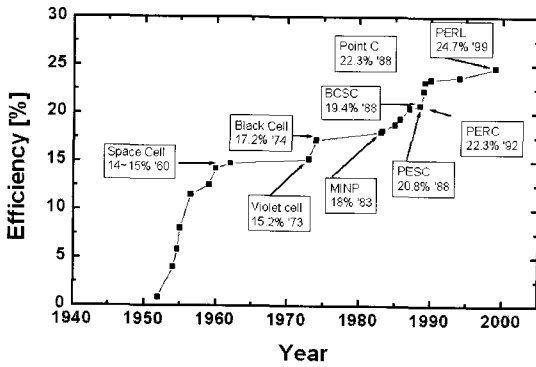


그림 1 년도에 따른 태양전지 효율의 변화.

전 세계적으로 2000년까지 277 MW의 태양광 생산이 이루어 졌다. 그 동안의 놀라운 성장에도 불구하고 세계 에너지의 소비에 비하면 그 기여도가 아직도 상당히 미약함을 보이고 있다. 태양광 에너지의 성장은 지구상의 에너지 문제를 해결하기 위해 발전되어 왔다. 몇몇 국가에서는 태양광 발전 연구 프로젝트를 수행하여 태양광 발전에 가속화를 이루고 있다. 지상전력을 위한 태양전지 생산뿐 아니라 우주전력을 위해서도 지속적으로 연구와 개발이 이루어지고 있다. 또한 Shell社에 의한 보고에 의하면 2060년까지 미래의 에너지는 대체에너지에 의해 수기가 와트(Giga Watt)의 전력이 생산될 것으로 예견하였다[2].

## 2. 태양전지의 발전규모

일본은 1999년에 63%의 놀랄만한 태양광 생산 성장을 보였다. 이러한 성장 요구에 발맞추어 많은 회사들이 새로운 태양전지와 모듈 생산에 박차를 가하고 있다. 결정질 실리콘 태양전지는 복잡한 제조공정과 높은 가격에도 불구하고 여전히 태양광 시장을 주도하고 있으며, 당분간도 계속 주도할 것이다. 이러한 이유는 자연에서 풍부하게 실리콘을 얻을 수 있으며, 높은 효율을 가지며 반영구적이기 때문이다. 그림 2는 재료에 따른 태양광 생산을 보

여 주고 있다. 결정질 실리콘의 태양전지는 전체의 87.6%를 차지하고 있다. 단결정 실리콘과 다결정 실리콘은 오랜 기간 동안 비슷한 생산량을 가져 왔으나 최근 다결정 실리콘은 단결정 실리콘 보다 더 많이 생산되고 있다. 결정질 실리콘 외에는 비결정 실리콘이 주도를 이루고 있으며, 실리콘 이외의 재료는 전체 시장의 1% 미만을 보이고 있다. 즉 실리콘을 이용한 태양광 생산은 전체의 99% 이상을 차지한다.

그러나 실리콘은 태양광 발전의 이상적인 물질이 아니다. 태양광은 자외선에서 적외선까지 아주 넓은 범위를 가지고 있다. 그러나 반도체는 밴드갭(Band Gap) 이상의 에너지를 가진 광자만이 에너지 변환에 기여한다. 실리콘은 간접 에너지 밴드(Indirect Bandgap)구조를 갖는 반도체 재료로 광 흡수율이 낮다. 직접 에너지 밴드 구조(Direct Bandgap)를 가지는 GaAs와 비교 할 때 90%의 광 흡수를 위해서 실리콘은 100 μm의 두께가 필요하지만 GaAs는 단지 1 μm의 두께만을 필요로 한다. 광 생성된 반송자는 반드시 실리콘 전면의 표면과 가까운 pn 접합 부근까지 도달하여야 한다. 소수 반송자의 확산 길이는 200 μm가 되거나 적어도 실리콘 두께의 두 배가 되어야 한다. 이와 같이 실리콘 재료는 매우 순도가 높고 높은 결정질이어야 한다. 이러한 물리적 관점에서 볼 때 실리콘이 태양광 시장을 독차지 하고 있는 것은 놀라운 사실이다. 그러한 이유

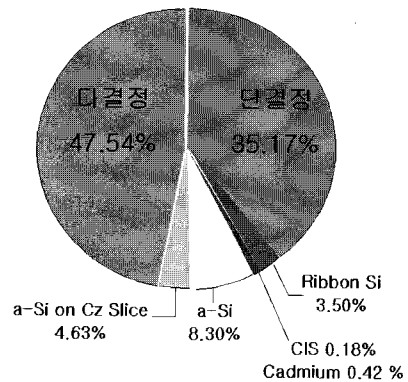


그림 2. 태양전지 재료별 세계 시장 점유율.

중의 주된 원인은 실리콘 기술은 태양광 기술 발전 이전에 놀랍게 성장하였고 많은 고품질의 실리콘 초소형 전자 소자들이 생산되고 있기 때문이다.

### 3. 결정질 실리콘 태양전지의 발전

다결정 태양전지의 효율은 그림 3에서와 같이 지난 20년 동안 꾸준히 발전되어 왔음을 알 수 있다. 이러한 발전은 고품질 재료의 개발과 태양전지 제작 공정의 개발에 의해 이루어진 것이다. 그림 3에서와 같이 다결정 태양전지의 효율에 대한 발전은 3개의 범주로 나뉜다. 첫째는 소면적(1-4 cm<sup>2</sup>) 연구용 태양전지로서 고가의 기술의 발전 그룹이다. 둘째는 양산용 및 연구용 대면적(≥100 cm<sup>2</sup>) 태양전지 기술이다. 셋째는 양산용 대면적 태양전지 기술이다. 현재는 양산용의 일반적인 다결정 태양전지의 효율은 12.5 - 15.0 % 이다. 다결정 태양전지의 양산은 21년 전부터 시작하였다[3]. 현재는 전 세계의 태양광 모듈의 41 %를 차지하고 있다. 1995년 이후로 다결정 실리콘 기판의 사용은 매년 증가하여 미래에는 더욱 더 가속화 될 것을 볼 수 있다[4]. 2000년에 세계 7개의 태양전지 Top 회사들은 생산량의 60 %를 다결정 실리콘 기판에 두고 있다. 1980년에 8 %의 산업용 태양전지의 효율로부터 시작하여 2000년에는 14.5 %의 양산용 태양전지의 효율을 보이고 있다. 또한 산업용 태양전지의 크기는 90에서 230 cm<sup>2</sup>로 변화되었다. 다결정 실리콘 태양전지의 성장의 필요는 무엇 보다는 CZ 단결정 실리콘 태양전지와 비교하여 저가의 기판이기 때문이다.

90년대에 들어서면서 정부는 태양광 개발 사업을 위한 단계적인 계획을 갖고 태양광 회사들을 지원하기 시작하였다.

Casting 공정 개발에 대한 몇 개의 우수한 논문들이 출판되었다[5-7]. 1980년에 Solarex(현재 BP Solar)는 산업용 다결정 실리콘 태양전지의 개발의 선두주자이었다[4]. 지난 20년 동안 산업용 DOE 지원의 NREL 프로그램과 EU 지원 Joule 프로그램과 NEDO 지원의 Sunshine 프로그램을 통해 산업용 Casting 기술은 놀라운 발전을 이루었다[7-9]. 1996

년의 DOE 지원의 PVMat 프로그램을 통해 Casting 공정과 장비는 Solarex에서 4개의 설비공장에서 9개로 증설되었다[10]. 1980년의 양산용 태양전지는 8 %이었지만 1990년에는 12 %의 양산용 태양전지를 개발하였다. 이것은 BSF와 SiN의 패시베이션이 없는 태양전지로서 효율의 향상의 주원인은 기판의 고품질이었다. 현재는 14.5 %의 양산용 태양전지를 만들고 있다.

단결정 웨이퍼는 많은 독립적인 웨이퍼 공급업체들이 있지만 다결정 웨이퍼는 주로 독립적이지는 않다. 1995년까지 단 한 개의 웨이퍼 공급업체가 있었다. Crystalox와 GT Solar의 다결정 실리콘의 개발은 Deutche Solar(Bayer Solar)나 Scanwafer社와 같은 독립적인 웨이퍼 공급업체를 태양광 산업으로 발전시켰다.

80년대에는 대면적을 자를 수 없었으나 1995년부터 15 × 15 cm<sup>2</sup> 크기의 산업용 태양전지를 위하여 웨이퍼 절단 기술이 발전되었다. 특별히 Shaping Wywtems, Meyer+Berger, M. Setek와 같은 회사에 의해 웨이퍼 절단 기술이 발달되었다.

1990년까지 다결정 실리콘 태양전지의 성장에 대한 보고가 여러 기관에 의해 되었다. 연구용 태양전지개발에 있어서는 게더링과 결합 패시베이션을 통한 효율의 향상이 있었다. 1989년에는 UNSW에서 17.8 %의 다결정 실리콘 태양전지를 처음으로 개발하였다. 이러한 작은 면적의 태양전지의 공정 기술은 양산에 적용하기에는 많은 문제점이 있다. 이러한 소면적의 태양전지의 연구는 결국 양산을 위한 태양전지의 개발의 기초가 되는 중요한 밑거름이 된다. 즉, 소면적의 게더링과 패시베이션 기술은 산업용 태양전지에 적용되어서 훌륭한 성과를 거두었다.

Kyocera는 Bifacial SiN를 이용하여 100 cm<sup>2</sup>의 크기의 15.72 %를 가지는 다결정 태양전지를 개발하였다. 1989년에는 ENE에서 400 cm<sup>2</sup>의 크기의 9.6 %의 효율을 보이는 태양전지를 개발하였다.

많은 대학에서 태양전지의 효율의 개선을 위하여 노력하고 있는 중에 태양광 회사들은 저가화와 대량생산 기술에 주력하였다. 80년대 말까지 대부분의 태양광 회사들은 리소그래피 대신에 스크린 인

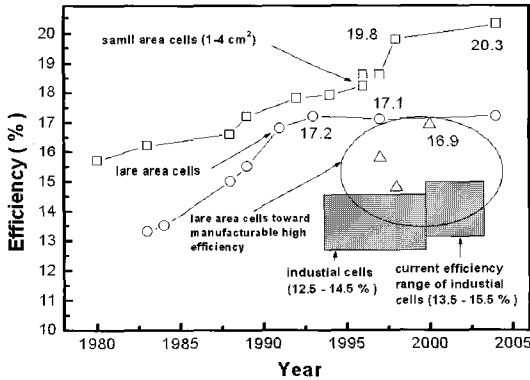


그림 3. 지난 20년 동안 다결정 실리콘 태양전지 효율의 발전.

쇄를 이용하였다. 또한 Solarex는 튜브형의 확산 공정을 벨트 퍼니스 확산 공정으로 개발시키면서 특허를 내었다.

GIT는 포토리소그래피와 이베퍼레이터와 Forming Gas 열처리를 이용하여 18.6%의 다결정 태양전지를 제작하였다. UNSW는 포토리소그래피와 이베퍼레이터 또한 벌집모양의 텍스처를 이용한 PERL 구조를 가진 19.8%의 다결정 태양전지를 개발하였다.

연구용의 태양전지 기술은 대면적 태양전지의 개발에 쉽게 접목 되지는 않는다. 많은 공정 장비의 개발과 공정이 필요하다. IMEC는 이러한 어려움을 극복하며 개발해 나갔다. 1992년 산업용 태양전지를 위한 Pilot Line을 구성하고 대량생산을 이루어 나갔다. 이러한 노력으로 저가화와 대량 생산의 가속화를 이루었다. 여러 크기의 면적을 가진 태양전지가 개발되었다. 이러한 효율의 개선은 태양전지의 모델과 특성 분석 기계적인 텍스처, 급속열처리 기술의 개발로 이루어졌다. 또한 연구기관에서도 Pilot Line을 구성하여 연구기술을 양산기술로의 접목에 노력하고 있다. 이러한 노력은 또한 태양광 산업을 위하여 많은 과학자들과 기술자들을 배출하였다.

1965년에 PECVD를 이용하여 SiN가 증착되었다. 수소를 포함하고 있는 SiN 반사방지막은 금속 접촉

을 위한 열처리시 웨이퍼 속으로 확산되어 벌크 패시베이션을 이룬다. 수소의 포함과 결정 결함의 패시베이션에 대한 메카니즘은 참고문헌에서 보고하고 있다. 첫번째 SiN 반사방지막을 이용한 산업용 다결정 태양전지는 1984년에 개발되었다. 그러나 90년대 말까지 이러한 패시베이션 공정이 널리 쓰이지는 않았다. IMEC은 한 번의 열처리로 금속 접촉을 이루는 동시 열처리 공정과 SiN를 뚫고 열처리하는 공정을 개발하였다. 이러한 공정은 16.3%의 효율의 다결정 태양전지를 가능하게 하였으며 열처리 공정의 단계를 축소시켰다.

#### 4. 저가 고효율을 위한 태양전지 발전

태양전지에 있어서 고효율화는 중요한 목표이지만 양산을 위해서는 무엇보다도 태양전지의 가격을 낮추는 것이 또한 큰 과제이다. 상대적으로 고효율을 유지하면서도 가격을 낮추기 위하여 제조과정, 제조기술, 재료의 개발이 이루어져 왔다. 그동안 양산용 태양전지는 대면적(적어도 156 cm² 이상) CZ 단결정 웨이퍼나 다결정 웨이퍼 기판을 바탕으로 생산되고 있다.

산업용 태양광 모듈의 시장가격은 3.5-4.5 \$/Wp이다. 태양광 모듈 가격의 40-50%는 단결정이나 다결정의 기판 재료가 차지하고 있다. 이러한 이유로 값싸고 고품질의 태양전지용 다결정 실리콘 재료를 개발하는 것은 가격 저하의 핵심이 된다. 또한 기판의 면적을 늘리고 두께를 200 μm 이하로 줄이는 것이 필요하다. 태양전지 제작비용과 모듈제작 비용은 전체 비용의 25-30% 정도를 차지하고 있다.

일반적으로 산업용 결정질 실리콘의 태양전지의 효율은 13-16%를 차지한다. 태양전지의 효율은 제품의 가격에 있어서 직접적으로 영향 미치기 때문에 효율 개선을 위한 노력은 아주 중요하다. 미래의 산업용 태양전지의 변환 효율의 목표는 단결정의 경우 18-20%이고 다결정의 경우 16-18%이다.

스크린 인쇄법은 태양전지의 공정에 이미 잘 확립되었을 뿐만 아니라 간단하고 연속공정이 가능하며 쉽게 조작할 수 있는 공정이다. 완전 자동 스크린

인쇄를 이용한 태양전지의 연속 공정 생산이 현재 쓰이고 있다. 그러나 양산을 위한 단결정 실리콘의 일반적인 효율은 아직도 15% 정도이다. 스크린 인쇄법을 향상시키기 위하여 특히 일본과 유럽에서 많은 노력을 기울이고 있다. 스크린 인쇄의 발전은 주로 금속 페이스트(Paste)의 발달과 미세 선폭과 밀접한 관련이 있다. 새로운 페이스트의 개발로 실리콘 산화막과  $TiO_x$ 나  $SiN_x$ 를 선택적으로 녹여 페이스트가 실리콘 벌크 안으로 깊게 침투하는 것을 방지한다. 이러한 페이스트의 개발을 통해 산화막이나 반사방지막을 "Firing Through" 하여 패시베이션하는 공정을 쉽게 할 수 있다. 또한 금속 스크린을 사용하여 50-60  $\mu m$ 의 선폭을 인쇄 할 수 있다. 선택적 에미터를 이용하여 고효율 태양전지를 만들 때 강하게 도핑된  $n^{++}$  지역은 디지털 카메라가 부착된 스크린 인쇄를 통해 자동적으로 인쇄된다. 스크린 인쇄의 스퀴지(Squeegee)와 테이블(Table)의 이동은 중앙 컴퓨터에 의해 제어된다. 선택적 에미터를 가진 CZ-Si 태양전지는 17.3%의 효율을 나타낸다. 그리고 대면적 다결정 실리콘은 15.9%를 나타낸다. 일반적인 CZ 대면적 태양전지는 양산용으로 16.6%의 효율을 갖고 있다. 또한 100  $cm^2$  다결정 태양전에서 흠이 파어진 태양전지는 17%를 나타내고 있다. 스크린 인쇄를 이용하여 15 × 15  $cm^2$  다결정 태양전지는 15.6%를 나타내고 있다.

BCSC(Buried Contact Solar Cells)는 New South Wales 대학에서 개발하였다. 작은 면적의 FZ 태양전지에서는 21.3%의 높은 효율을 보이고 있다. 중요한 공정은 매우 두꺼운 열산화막의 성장이다. 이러한 산화막은 확산 마스크와 도금 마스크의 역할을 하는 동시에 표면 패시베이션을 이룬다. 열산화막 대신에 실리콘 질화막을 사용하여 표면의 반사를 줄이기도 한다.

양산의 응용에 있어서 고려해야 할 점도 있다. 즉, 높은 온도에서의 여러 공정들(950  $^{\circ}C$  이상에서 전체 16시간 정도)과 고가의 장비는 양산의 응용에서 해결해야 할 문제점들이다. 많은 BCSC가 있지만 오직 공정 단계를 줄인 샘플만이 양산에 적용되었다. 17% 정도의 효율을 얻었다.

BCSC 공정의 단순화의 목적은 기존의 스크린 인

쇄를 이용한 태양전지의 생산 공정을 그대로 이용할 수 있기 때문이다. 고온에서의 열처리 공정은 한 단계로 줄여야 한다.

EFG 실리콘은 단결정이나 다결정에 비하여 가격을 낮출 수 있는 중요한 장점이 있다. 저가의 요인은 CZ 실리콘이나 다결정 웨이퍼와 비교할 때 자르는 공정이 없기 때문이다. 그러나 EFG 재료는 많은 결정 결함 즉 결정입계나 Twins, 그리고 Dislocations를 가지고 있다.

높은 기계적 스트레스와 평탄하지 않은 EFG 실리콘은 스크린 인쇄 시 깨지기 쉽다. EFG 벌크 재료의 많은 결함을 패시베이션하고 평탄하지 않은 표면에 금속 접촉을 개선하는 연구가 이루어져 왔다. EFG 주요 공정은 액체 인을 이용한 스프레이와 IR 벨트 퍼니스를 통한 확산공정과 수소 주입을 위한 암모니아 플라즈마 처리에 의한 PECVD 실리콘 질화막 반사방지막 형성과 Pad 프린트를 이용하여 알루미늄을 증착하고 건조하는 것이다. 전 후면은 동시에 IR 퍼니스를 통해 열처리 된다. 열처리 공정 시 전면 접촉 금속은 PECVD 실리콘 질화막 층을 뚫고 좋은 접촉을 이룬다. 또한 알루미늄은 깊은  $p^+$  BSF 층을 형성하고 동시에 실리콘 질화막 층으로부터 수소의 확산이 일어나고 좋은 벌크 패시베이션을 이룬다. 대면적 EFG 태양전지의 평균 효율은 14.3%를 보이고 있다.

값싼 기판 위에 박막 실리콘(20-50  $\mu m$ )이 올라가 있는 구조인 박막 실리콘 태양전지가 점점 성장하고 있다. 이와 같은 박막 구조는 기존의 태양전지와 비교하여 순도가 낮은 실리콘을 이용하는데 도움을 준다. 효과적인 빛 수집을 통해 기존의 벌크 실리콘보다 더 높은 효율을 기대할 수 있다.

가능성 있는 기판으로는 스텐레스 스틸, 흑연판, 세라믹, 심지어는 유리도 사용된다. 많은 증착 방법 중에서 주로 화학 기상법이나 LPE(Liquid Phase Epitaxial) 성장법이 쓰인다. 아직까지는 초기 단계의 개발 상태이나 전도성이 있는 세라믹 기판 위에 다결정 실리콘을 증착하여 만든 태양전지는 양산단계의 시험 중에 있다. 이러한 박막은 적당한 두께를 가진다. 또한 웨이퍼의 절단 공정이 필요 없기 때문에 공정 단축으로 인한 가격을 줄일 수 있다.

박막 결정질 실리콘 태양전지의 일반적인 공정은 세라믹 기판의 형성, 금속 장벽층 형성, 다결정층 증착, 에미터 확산과 전극 접촉이다. 전도성의 세라믹 기판은 낮은 가격의 재료를 이용한다. 금속장벽층은 기판의 불순물이 실리콘 안으로 침투하는 것을 방지한다. 11.6%를 가진 675 cm<sup>2</sup> 크기의 태양전지가 전시되었다. 현재 박막 결정질 실리콘 태양전지의 모듈은 시험 생산 중에 있다.

## 5. 국외 개발현황

세계적으로 3개의 회사만이 제 1세대 초고효율 태양전지 양산을 실행하고 있다. 그 중에서 Sanyo는 단결정 실리콘 기판에 비정질 실리콘 기판에 비정질 실리콘 박막을 성장하는 이종접합 구조인 Heterojunction with Intrinsic Thin-layer (HIT) 태양전지로 양산기준 에너지 변환효율 19.5%를 달성하여 200 W 모듈을 시장에 선보이고 있다. 실험실 수준에서는 21.4% 내외의 에너지 변환효율을 달성하여 초고효율 태양전지 제조 기술을 확보하였다. Sanyo HIT 태양전지는 0.2 mm 두께, n-형 단결정 실리콘 기판에 진성의 수소화 비정질 실리콘 층과 투명전도막을 이용한다. 두 번째 상용으로 초고효율 태양전지를 양산하고 있는 회사는 BP-solar社로 125 mm × 125 mm 크기에서 레이저 스크라이빙과 무전해 도금을 이용한 함몰형 금속 태양전지 (Buried Contact Solar Cell, BCSC)이다. 기존의 스크린 인쇄 전극형성 보다 3% 높은 18.3%의 에너지 변환효율을 달성 판매하고 있다. 레이저 스크라이빙을 이용한 홈형성이 절연박막을 형성한 후에 형성되기 때문에 레이저 스크라이빙된 홈을 따라서 무전해 도금으로 Ni, Cu 그리고 Ag를 차례로 도포한다. 호주의 New South Wales (UNSW) 대학에서 개발되어 2003년 BP Solar社에서 연간 30 MW 규모로 BCSC 형 초고효율 태양전지를 생산하였다.

미국의 Sunpower社는 후면에 모든 전극이 집적화된 태양전지인 BIC (Back Integrated Cell)로 제 3의 초고효율 태양전지 양산 대열에 뛰어 들었다. Sun Power社는 Sunpower社는 2004년에 비교적

기판 재료가 고품질로 고가인 FZ 실리콘 기판을 이용하여 양산을 계획하고 있다. 국내에서는 삼성 SDI 연구실에서 70 mm × 70 mm 면적에서 BCSC 태양전지로 21% 내외의 초고효율 태양전지 개발에 성공하였다.

단결정 실리콘 태양전지의 원가구조에서 60% 이상이 태양전지 기판재료비에 소모된다. 이런 고비용 원부자재에 대한 현실적인 대안으로 다결정 실리콘 태양전지를 집중적으로 개발하여 태양전지 제조공정을 개선함으로써 기존의 단결정 실리콘 태양전지에 근접한 변환효율을 달성하였고 시장점유율 구조에서 이미 단결정 실리콘 태양전지를 앞지르고 있다. 단결정 실리콘 태양전지의 시장 1999년 40.1%에서 2001년 34.6%로 감소하고 있는 반면에 다결정 실리콘 태양전지는 1999년 42%의 시장점유율에서 2001년 56.2%로 증가하고 있어 다결정 실리콘을 이용한 태양전지가 저가화와 고효율 공정개선에서 강점을 가지고 있음을 알 수 있다. 다결정 실리콘의 기판원부자재는 단결정 실리콘에 비해 30%정도 저렴하다. 그러나 기판의 품질은 단결정 실리콘보다 낮다. 특히 소수 반송자 수명이 결정결함으로 인해 현저히 낮으며 이는 에너지 변환 효율에 치명적인 저하를 가져오는 광생성된 전하의 재결합 손실로 이어진다. 이를 극복하기 위한 공정 기술로 표면 부동태(Surface Passivation), 최적 도핑, 게터링, 선택적 에미터 접합, 반사방지막, 체크쳐링, 스크린인쇄, 급속열처리, 후면전계 구조 등을 적절하게 이용하여 다결정 실리콘의 태생적인 결함을 보완하여 단결정 실리콘에 근접한 고효율을 달성하고, 원부자재의 가격경쟁력을 바탕으로 가격과 효율을 조화시킴으로써 시장을 확대하고 있다. 2003년 다결정 실리콘 태양전지를 이용하여 실리콘 질화막으로 반사방지막과 표면 부동태화를 달성하고 스크린 인쇄기술로 금속을 형성하여 기존의 14%에서 16% 변환효율 달성을 보고하고 있다. 또한 다결정 실리콘 태양전지를 이용하여 실험실 규모에서 가장 높은 에너지 변환효율인 19.8로 초효율 기술의 잠재력을 제시하였다.

실리콘 재료는 태양광에 대해 최고의 광전 변환 효율에 근접하는 26% 이상의 효율을 얻을 수 있으

나 최대의 약점은 실리콘이 Indirect Bandgap 반도체 재료이므로 광흡수율이 매우 낮다는 것이다. 90% 이상의 광흡수율을 얻기 위해서는 실리콘 기판의 두께가 100  $\mu\text{m}$  이상 되어야 한다.

## 6. 결론

태양광 발전시스템은 우주항공, 인공위성의 전력에서 섬이나 오지 등에 전력원으로 사용되어 왔고 근래에는 이미 일반주택, 아파트, 빌딩, 공장, 공공건물, 학교 등이 주요 응용시장으로 확대되고 있다. 일본, 중국, 스페인, 미국, 이탈리아, 독일, 오스트리아, 유럽공동체 등은 이미 태양전지를 이용한 발전용의 태양광주택 보급을 개시하였다. 일본은 이미 10년 앞선 1994년부터 보급을 시작하여 왔으며 현재는 이러한 프로그램을 2006년까지 완성하는 단계이다. 이러한 보급 프로그램을 주요인자로 하여 일본의 태양광 산업계는 세계적으로 기술과 생산 분야에서 모두 선두 위치를 점유하고 있다. 1994년에 보급설치를 시작하여 1995년 577세대의 개인 주택에 3 kilowatts 급을 보급하였으며, 1996년에는 1,866 기의 태양광 시스템을 보급하였다. 이때 초기 단계의 정부보조율은 시스템가의 50% 이상을 보조하였다. 2005년 말 기준 일본에 보급된 태양광 주택 수는 306,600 가구를 넘고 있다. 독일은 태양광 주택 보급을 시작하여 "100,000 roof" 프로그램을 2003년 중반까지 완성하고 2004년 차기 보급안과 입법화 프로그램을 재추진하고 있는 상황이다. 다양한 정부의 프로그램과 특정 전시지역의 데모를 통한 지역의 장벽을 제거하는 요인이 되고 있다. 이러한 프로그램은 2010년까지 지속적으로 있을 것으로 예상되며 2010년 이후는 상용전력단가와 경쟁 가능한 와트당 60센트에 전력을 생산할 것으로 예측되고 있다.

과거와 현재까지의 태양전지분야를 살펴보면, 우리는 태양광분야의 세계 추세를 예측할 수 있다. 현재 태양전지는 1세대에서 2세대 태양전지로 변화를 겪고 있는 과정으로서, 주요 재료는 현재 실리콘을 기반으로 한 태양전지가 시장을 주도하고 있으

며 2세대에서도 물질변동 없이 두께를 얇게 하고 면적을 증가하는 방향으로 이동하여 향후 5년 이후까지도 상당기간 지속할 것이다. 현재 비교적 소면적인 (125 mm x 125mm) 태양전지는 대면적 (200 mm x 200 mm 이상)으로 대체될 것이다. 시장 확대의 주요 원동력인 정부보조와 고급촉진 정책을 통해서 보다 높은 에너지 변환효율이 달성될 것이다. 향후 5년 이내에 25% 사용 태양전지 양산이 될 것으로 예상되며, 모듈 수명은 30년 이상이 될 것으로 예상된다. 이러한 기술 분야의 해결을 위해서는 산업계의 노력과 연구소와 학계가 공동으로 한계 극복을 위하여 꾸준히 노력하는 것이 중요하다. 지속적인 산, 학, 연 공동의 노력은 향후 새천년에 청정하고 지속가능한 발전을 하면서도 오염이 없는 환경을 구축하는데 기여할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] A. E. Becquerel, Comt. Rend. Acad. Sci. 6, pp. 561, 1839.
- [2] Shell Renewable Energy Information Brochure, 1997.
- [3] J. F. Hoelscher, IEEE PVSC, p. 745, 1981.
- [4] PV industry information service Report PC-11, Strategies Unlimited and Private communications, Bob Johnson Strategies Unlimited, July 2000.
- [5] A. Goetzberger, A. Ruber, 4-PVSEC., Sydney, p. 135, 1999.
- [6] H. Watanabe, 4-PVSEC., Sydney, p. 103, 1999.
- [7] F. Ferrazza, et al., Second World Conference and Exhibition on PV Solar Energy Conversion, Vienna, p. 1220, 1998.
- [8] R. L. Mitchel, et al., IEEE PVSC, p. 1073, 1997.
- [9] K. Kyojiro, et al., PVSEC-11, Sapporo, p. 119, 1999.
- [10] J. H. Wohlgemuth, et al., IEEE PVSC, p. 1055, 1997.

저자약력



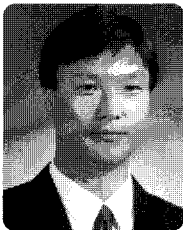
성명 : 김경해

◆ 학력

- 1997년  
성균관대 전기전자 컴퓨터 공학사
- 1999년  
성균관대 대학원 전기전자 컴퓨터  
공학석사
- 2005년  
성균관대 대학원 전기전자 컴퓨터  
공학박사

◆ 경력

- 2006년 - 현재  
성균관대학교 정보통신공학부 BK21 연구교수



성명 : 이준신

◆ 학력

- 1989년  
성균관대 전기공학 공학사
- 1991년  
The State Univ. of New  
York at Buffalo 전기전자  
공학석사
- 1994년  
The State Univ. of New  
York at Buffalo 전기전자  
공학박사

◆ 경력

- 2000년 - 현재  
(주)KPE 연구소장
- 2003년 - 현재  
성균관대 정보통신공학부 정교수

