

결정질 실리콘 태양전지의 기술현황

글 _ 김정 || 세종대학교 전자공학과
kimjeong@sejong.ac.kr

1. 서 론

1839년 Becquerel에 의해 photovoltaic 효과가 발견된 이래, 1954년 미국의 벨연구소에서 최초로 변환효율 6%의 실리콘을 이용한 태양전지를 개발하였고, 1958년에는 Vanguard 위성의 메인 전원의 백업용으로 실리콘 태양전지 어레이가 최초로 사용되었다.¹⁾ 1973년 1차 석유파동을 겪으면서 대체에너지에 대한 관심이 높아지고, 태양전지에 대한 연구개발과 함께 산업화에 대해 주목을 갖기 시작하였다. 본격적인 연구는 1980년대에 들어서면서 실리콘 기판을 이용한 고효율 태양전지에 대한 결과가 호주의 UNSW(University of New South Wales)에서 발표되면서 호주, 독일, 일본을 중심으로 활발하게 이루어지게 되었다. UNSW에서는 실리콘 소재를 이용하여 1985년 최초로 20%이상의 고효율 태양전지를 제작하였고,²⁾ 1999년에는 단일접합 실리콘 태양전지로는 세계 최고의 변환효율인 24.7%를 달성하였다는 보고를 발표하였다.³⁾

2004년 기준으로 전 세계적인 태양전지 시장의 규모는 1194 MWp로서 금액으로는 90억 유로에 이른다(Fig. 1). 지난 5년간의 평균 성장률은 매년 30% 이상으로 급성장을 하고 있으며 현재에도 많은 기업들이 대규모 투자를 서두르고 있는 실정으로 이러한 추세라면 2010년에는 총 생산 규모는 5.3 GWp, 금액 기준으로 250억유로의 큰 산업으로 성장할 것으로 전망하고 있다.⁴⁾ 이러한 태양전지 시장의 성장은 1997년 이후 일본의 강력한 태양광에너지 보급사업과 연계되어 공급량이 늘어나면서 많은 영향을 받게 된 것으로 보여지고 있으며 현재 일본이

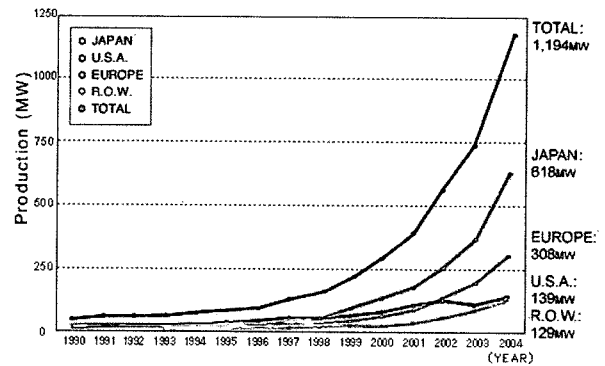


Fig. 1. 1990년부터 2004년까지의 전 세계적인 PV 셀/모듈생산량(PV News, 2005년 3월).

전 세계적인 태양전지 산업의 공급과 수요 측면에서 가장 앞서가는 국가로 인정되고 있다. 일본의 Sharp는 2004년 324 MWp의 매출로 27.1%의 시장 점유율을 보임으로써 태양전지 시장에서 선두를 유지하고 있다.

태양전지에 쓰이는 원료물질로 태양전지를 구분하면 실리콘 태양전지와 화합물 태양전지로 나눌 수 있는데, 실리콘 태양전지는 단결정 실리콘, 다결정 실리콘, 아몰퍼스 실리콘 박막 및 다결정 실리콘 박막 등의 태양전지가 있고 CIS(CuInSe₂) 태양전지와 CdTe 태양전지, GaAs 태양전지 등의 화합물 태양전지가 있다. 특히, 결정질 실리콘을 이용한 태양전지는 현재 전체 태양전지 시장의 85% 이상을 차지할 정도로 큰 부분을 차지하고 있고 향후에도 최소한 10년 이상은 이러한 시장점유율이 크게 바뀌지 않으리라는 의견이 지배적이다. Fig. 1에서 보면 이러한 태양전지 종류별 시장점유율을 나타내고 있는데 아몰퍼스 실리콘 태양전지의 점유율은 2000년 이후 낮아진 반면 단결정과 다결정 실리콘 태양전지의 점유율은

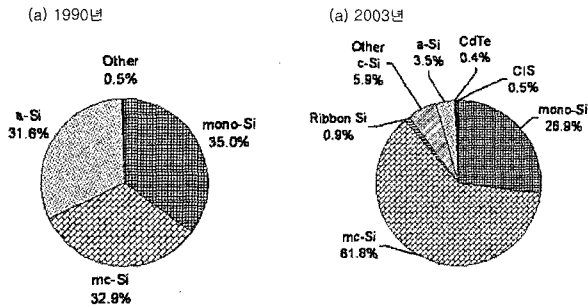


Fig. 2. 1990년과 2003년의 태양전지 종류별 시장점유율 비교

오히려 증가하는 것을 알 수 있다.

결정질 실리콘 태양전지의 점유율이 높은 원인은 실리콘 원료 물질이 다른 물질에 비해 지구상에 풍부하게 존재하기 때문에 비교적 저렴한 비용으로 태양전지를 공급할 수 있는 측면과 현재까지 반도체 산업에서 가장 많이 사용된 재료로서 그간의 연구를 통해 실리콘의 물성에 대한 이해가 상대적으로 깊고 공정이 잘 확립되어 있어 결정질 실리콘 태양전지의 안정성, 고 효율화 및 대량생산에 있어 장점을 가지고 있기 때문으로 해석할 수 있다. 물론 최근에 태양전지 학회 및 산업계에서 가장 큰 이슈 중의 하나로 대두되고 있는 문제가 실리콘 원료물질의 부족에서 오는 태양전지의 공급차질 현상인데, 이러한 점도 바로 실리콘 태양전지를 대체할 만한 경제적이고 풍부하면서 안정성을 가진 물질을 확보하지 못함에서 비롯된 것으로 볼 수 있겠다.

1980년 이전에는 지상용 태양전지 시장의 대부분은 CZ(Czochralski) 방법으로 성장시킨 단결정 실리콘 기판을 이용한 태양전지가 주종을 이루었다. 그러나 1980년대에 들어서면서 더욱 저렴한 비용의 다결정 실리콘 기판을 이용한 태양전지가 나오면서 다결정 실리콘 기판을 사용한 태양전지의 점유율이 차츰 높아지다가 현재에는 Fig. 1에서 알 수 있듯이 단결정 태양전지보다 2배 이상 높은 점유율을 보여주고 있다. 다만 다결정 실리콘의 경우 재료의 가격적인 측면에서 단결정보다 우수하지만 물질의 특성이 단결정에 비해 떨어지기 때문에 태양전지 모듈로 비교해 볼 경우 단위 생산전력 당 가격(\$/W)은 오랜 기간 동안 거의 비슷한 수준을 보여주고 있다.⁵⁾

본 논문에서는 결정질 실리콘 태양전지와 관련된 최근

의 기술 현황을 소개한다. 태양전지의 구조적인 측면에서 변환효율을 높이기 위한 여러 가지의 다양한 시도를 소개하고 이를 공정에 적용시키기 위한 기술적인 요인에 대해 검토를 해본다. 또한 태양전지를 상용화하기 위하여 대부분의 공정에서 사용되고 있는 스크린프린팅 방법에 의한 태양전지 제조공정을 소개하고 이를 통한 자가 격화 및 고효율화를 이루기 위한 공정 기술적인 성과에 대해서도 언급하기로 한다.

2. 태양전지 구조에 따른 기술동향

태양전지의 이론적인 최고 효율은 단일접합 구조를 가진 실리콘 태양전지의 경우, 1 sun, AM1.5 Global, 25°C 조건에서 대략 29%로 알려져 있다.⁶⁾ 이러한 최고 효율을 얻기 위해서는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

- 이상적인 light-trapping에 의해 반사손실이 없고 최대의 빛 흡수.
- 재결합에 의한 손실 최소화: 실리콘 내부의 defect 및 표면에서의 재결합은 없고 Auger 재결합만이 존재.
- 이상적인 전극: 전극에 의한 shading 손실이 없고 전극 직렬저항 손실을 배제.
- 기판 내부에서 캐리어의 수송 손실 배제: 주어진 전압에서 재결합이 최소화되기 위해 캐리어의 분포가 기판 내부에서 평행하게 함.

실제로 위에서 제시한 이상적인 태양전지의 조건을 만

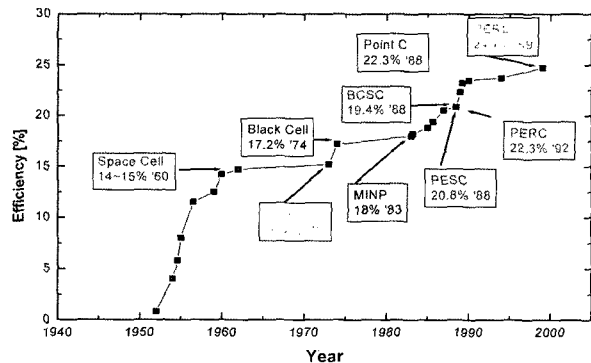


Fig. 3. 고효율 단결정 실리콘 태양전지의 변환효율 추이.

족시키는 것은 불가능하다. 예를 들면, 네 번째 조건을 만족시키기 위해서는 기판의 전면에 전극이 위치해야만 하지만 이 경우 전극에 의한 shading 손실을 배제하기는 어렵게 된다. 그러나 태양전지의 변환효율을 높이기 위해서는 가능한 위에서 제시한 조건이 만족되어야 하기 때문에 이를 위하여 외국의 선진 연구소에서는 다양한 구조의 태양전지를 개발해오고 있다. Fig. 3에서는 다양한 구조의 태양전지를 통한 변환효율의 추이를 나타내고 있다.

2.1 MINP(Metal-Insulator-NP junction) 태양전지

MINP 태양전지는 최초로 18% 이상의 변환효율을 보인 실리콘 태양전지로 얇은 SiO₂ 막을 이용하여 전면전극과 실리콘 기판 사이의 접촉면을 passivation 시키고 나머지 기판의 전면을 비교적 두꺼운(60 Å) SiO₂ 막으로 passivation 시킨 구조의 태양전지이다.⁷⁾ 전극의 접촉면과 접촉하지 않은 부분의 산화막의 두께의 차이는 복잡한 공정을 필요로 하지만 최대한의 효율을 얻기 위해서는 불가피한 공정이다. 전면전극으로는 Ti/Pd/Ag를 도금하여 형성하였다. 후면전극으로는 Al을 사용하였고 후면전극의 접촉면 부근으로 heavy하게 도핑하여 후면전계를 형성함으로써 효율을 증가시켰다. 태양전지의 반사손실을 최소화하기 위하여 ZnS와 MgF₂를 이용한 이중반사방지막 구조를 만들었다.

2.2 PESC(Passivated Emitter Solar Cell) 태양전지

Fig. 4(a)는 MINP 태양전지보다 변환효율이 좀 더 향상된 PESC 태양전지를 보여주고 있다. PESC 태양전지는 MINP 태양전지와 비슷한 구조를 가지고 있는데, 다만 전면전극 하부의 얇은 산화막에 홈을 내어 전면전극과 실리콘 기판이 직접 접촉이 되도록 하는 구조를 가지고 있다. 그림에서는 기판 표면의 반사율을 줄이기 위해 microgroove를 이용하여 텍스처링을 한 PESC 태양전지를 보여주고 있는데, 이러한 구조에서 20% 이상의 변환효율을 얻을 수 있었다.⁸⁾ MINP 태양전지와 마찬가지로 PESC 태양전지의 중요한 점은 산화막을 이용한 기판 표면의 passivation과 이러한 산화막을 통한 전면전극의 접

촉, 기판의 높은 sheet resistivity, Al을 이용한 기판 후면의 passivation, 텍스처링과 이중반사방지막을 이용한 반사손실의 저감 등을 들 수 있다.

2.3 BCSC(Buried Contact Solar Cell) 태양전지

상업용 제품으로 가장 많이 생산되고 있는 태양전지는 스크린프린팅 방법으로 만든 태양전지인데, 공정비용은 저렴하지만 변환효율이 낮다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 개발된 태양전지가 Fig. 4(b)에서와 같은 BCSC 태양전지이다. 가장 큰 특징은 기판의 전면에 홈을 만들어서 이곳에 전면전극용 재료를 주로 도금 방법을 이용하여 채우게 된다는 점이다. 전면전극의 폭이 일반 스크린프린팅 방법에 의한 태양전지보다 작기 때문에 전극에 의한 shading 손실을 최소화할 수 있고 홈의 깊이를 적당히 깊게 가지고 감으로써 전면전극의 직류저항 손실도 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 일반적인 태양전지의 접촉저항을 낮게 하기 위해 기판의 sheet resistance를 35~40 Ω/□가 되도록 에미터를 형성하는데 이렇게 낮은 저항인 경우, 태양전지의 단파장에서 spectral response가 떨어지고 효율이 낮아지는 단점도 전면전극이 있는 표면만 sheet resistance를 낮게 유

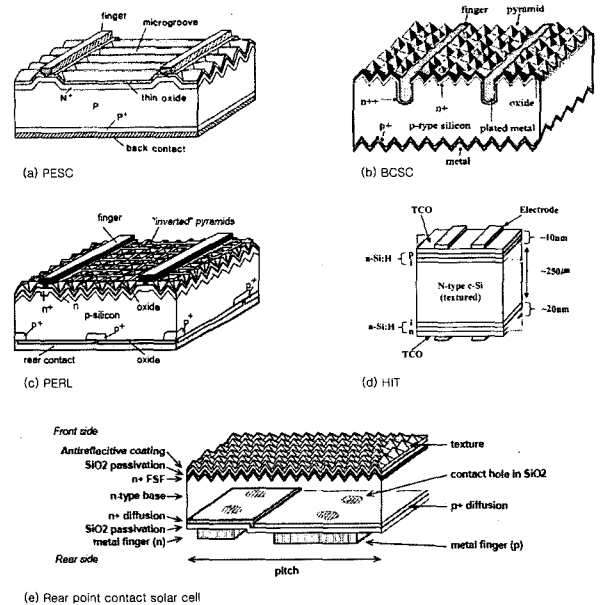
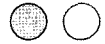


Fig. 4. 현재까지 개발되었거나 개발 중인 다양한 결정질 실리콘 태양전지 구조



지함으로써 해결할 수 있다.

2.4 PERL(Passivated Emitter, Rear Locally-diffused cell) 태양전지

앞에서 언급한 PESC 태양전지의 기판 passivation 효과를 전면뿐만 아니라 후면에까지 적용시킨 태양전지가 Fig. 4(c)에 보인 PERL 태양전지로서 단일접합 실리콘 태양전지로는 세계 최고의 효율인 24.7%를 달성하였다. PERL 태양전지는 기판 전후면의 passivation과 함께 태양전지로 입사하는 외부 빛의 손실을 최소화하는 구조를 가짐으로써 최고의 효율을 얻을 수 있었다. 태양전지 표면에 이중반사방지막과 정교하게 설계된 역피라미드 형태의 텍스처링된 구조를 형성하여 외부에서 태양전지로 들어오는 빛의 반사 손실을 최소화시키고 기판 내부에서도 후면에 도달하는 빛도 후면 산화막과 Al 전극을 이용하여 효율적으로 내부 반사가 되도록 하여 전체적인 빛의 손실을 5% 이하가 되도록 하였다. 다만 이러한 복잡한 구조의 태양전지를 만들기 위해서는 여러 번의 사진식각 공정을 사용해야 하기 때문에 저가격의 지상용 태양전지를 제조하기 위해서는 적합하지 않다는 단점을 가지고 있다.

2.5 HIT(Hetero-junction with Intrinsic Thin layer) 태양전지

최근에 Fig. 4(d)에서 보이는 바와 같은 아몰퍼스 실리콘과 단결정 실리콘의 장점을 동시에 이용한 HIT 구조의 태양전지가 일본에서 개발되었다. 기존의 태양전지가 고온에서 확산공정에 의해 에미터를 형성시킨 것과는 달리 HIT 태양전지는 p-type과 intrinsic 아몰퍼스를 결정질 실리콘에 증착시켜 에미터 구조를 형성시킨 것이 특징이다. 아몰퍼스 층은 접합만 형성시켜 주고 실제 빛을 흡수하는 영역은 아래의 결정질 실리콘에서 이루어진다. 접합 계면에 절연층을 형성함으로써 전지의 역포화 밀도를 줄여 개방전압을 높이고 온도 증가에 의한 개방전압의 감소도 줄여주어 일반 태양전지에 비해 온도 특성이 우수한 장점을 가지고 있다. 아몰퍼스 박막의 형성은 보통 400°C 이하에서 가능하기 때문에 전 공정이 저온에서

이루어진다는 것도 큰 장점이다. 하지만 전면의 아몰퍼스는 전도도가 낮아서 보조전극으로 투명전도막을 사용해야 하는데 투명전도막에서의 반사나 흡수가 태양전지의 변환효율을 줄이는 단점을 가지고 있다. Intrinsic 층을 사용한 경우 변환효율이 21%이고 사용하지 않는 경우 13.5%를 보이는 결과가 보고되었다.

2.6 Rear Point Contact 태양전지

기존의 일반적인 태양전지가 기판의 전면과 후면에 각각의 전극이 존재하는 것과는 달리 Fig. 4(e)에서 보이는 rear point contact 태양전지는 기판의 후면에만 전극이 존재하여 전면전극에 의한 shading 손실을 없앨 수 있는 장점을 가진 태양전지이다. 개발 초기에는 주로 집광형 태양전지로서 개발되었지만 phosphorus 확산을 빛이 입사되는 표면에 형성시키는 구조로 개조함으로써 1-sun에서 사용될 수 있는 태양전지로 제작되었다. 이러한 구조로 1-sun에서의 변환효율이 22% 이상 달성되었다는 보고가 있다.⁹⁾

3. 상업용 태양전지의 제조를 위한 저가격의 산업용 기술동향

3.1 스크린프린팅 태양전지

Fig. 5는 현재 상업용으로 가장 많이 생산되어지고 있는 스크린프린팅 태양전지의 전형적인 구조를 보여주고 있다. 스크린프린팅은 매우 간단하면서도 안정적이고 연속적이면서 쉽게 공정에 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 많은 회사들이 완전 자동화된 스크린프린팅 태양전지 제조라인을 공급하고 있다. 2절에서 언급한 다양한 고효율 태양전지를 위한 공정이나 구조 중에서 태양전지 전면의 텍스처링 공정이나 Al을 이용한 후면전계 형성공정 정도만이 도입되어 사용되어지기 때문에 변환효율은 대개 14~16% 수준을 나타낸다. 일본과 독일의 회사나 연구기관을 중심으로 스크린프린팅 공정의 개선을 위한 노력을 기울이고 있는데, 주로 페이스트의 제조, 새로운 타입의 가는 line 프린터의 제작과 현대적인 스크린프린터의 개발에 힘을 기울이고 있다.

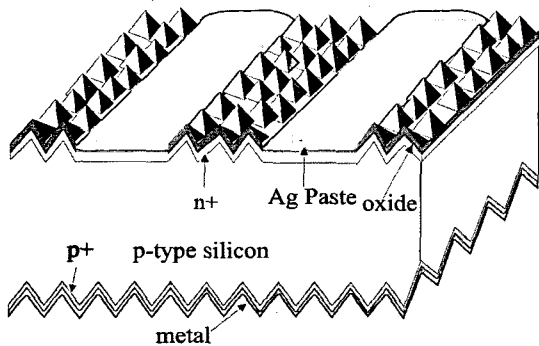


Fig. 5. 스크린프린팅 태양전지 구조

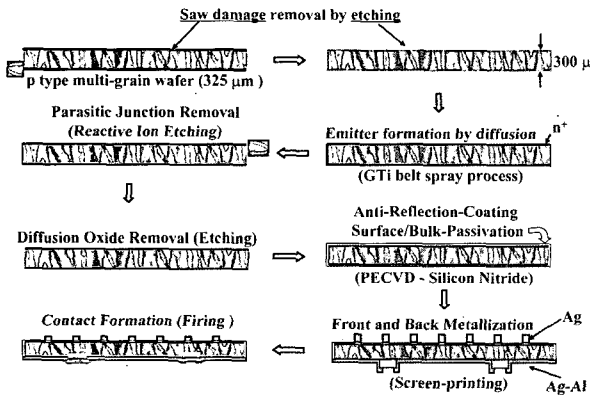


Fig. 6. 스크린프린팅 태양전지 기본 제조 공정.

3.2 스크린프린팅 태양전지 제조공정

스크린프린팅 공정은 대략 30년 전에 개발되어 현재는 대부분의 태양전지 제조회사에서 도입하여 사용되어지고 있다. 기본적인 공정은 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)를 이용한 실리콘 질화물 제조공정은 특히 다결정 실리콘을 기판으로 사용하는 경우 필요한 공정으로 이에 대해서는 3.3에서 다시 언급하기로 한다.

- **기판 재료:** 일반적으로 solar grade CZ 실리콘 기판을 사용하거나 사각형의 다결정 기판을 사용한다. 기판은 12.5cm×12.5cm나 15cm×15cm 크기를 주로 사용하고 두께는 200~350 μm이다. 붕소를 도핑한 p-type의 기판 resistivity는 대략 1Ω·cm이다.
- **Saw damage 제거:** 실리콘 잉곳으로부터 실리콘 기판을 얻기 위해서는 sawing 공정이 필요한데 이러한 공정

후에는 기판 표면에 불순물이나 결함이 존재하여 태양전지의 효율을 저하시키거나 태양전지 제조공정 도중에 기판이 부서질 가능성이 있다. 따라서 산성용액이나 염기성 용액을 이용하여 기판의 표면을 10μm 전후로 에칭한다.

- **인의 확산공정을 통한 에미터 형성:** 태양전지의 기본 구조인 pn 접합구조를 만들기 위해 표면에 n-type의 에미터를 인(phosphorus)의 확산공정을 통해 형성한다. 확산을 위한 퍼니스는 퀴츠재료의 튜브 퍼니스나 벨트형의 퍼니스를 사용한다. 최근에는 두가지 타입의 퍼니스의 장점을 이용한 새로운 설비에 대한 연구도 진행 중이다.¹⁰⁾

- **Parastic junction 제거:** 인의 확산공정 후에 기판의 모서리에도 저항이 낮은 에미터가 잔존하게 되고 이러한 에미터는 전면전극과 후면전극 사이에서 shunt를 일으키게 되어 태양전지의 효율을 떨어뜨리게 되는 요인이 된다. 이를 제거하기 위해 주로 반응성 이온 에칭 방법으로 제거하게 되는데, 경우에 따라서는 레이저를 이용하여 모서리를 잘라주는 공정을 통해 제거하기도 한다.

- **PSG(Phospho-Silicate Glass) 제거:** 확산 공정 후에 다음 공정인 반사방지막 공정과 금속전극 공정을 위하여 기판 표면에 생성된 PSG를 주로 불산용액을 이용하여 에칭한다.

- **반사방지막 증착:** 기판 표면의 반사율을 낮추기 위하여 반사방지막을 증착한다. 반사방지막으로는 APCVD(Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition)를 이용한 TiO₂가 주로 사용된다. TiO₂ 박막은 spin-on 방법이나 스크린프린팅 방법으로 형성하기도 하며, 특히 다결정 실리콘 기판을 사용할 경우 PECVD SiN_x 박막을 증착한다.

- **전면전극 스크린프린팅:** 태양전지의 전면전극은 전기저항계수와 실리콘 기판과의 접촉저항이 낮고 shading 손실을 줄이기 위해 작은 선폭이 가능하여야 하며, 기판과의 접촉성이 좋아 잘 떨어지지 않으며 향후 모듈 제조 시 전극 표면의 soldering이 잘 이루어져야 한다. 이러한 조건을 만족시키면서 비교적 저가격의 재료인 물질이 은(silver)으로서 거의 모든 제조라인에서

사용되고 있다. 진공증착 설비에 비해 가격이 저렴한 스크린프린팅 설비를 이용하여 금속전극을 형성시키는데 대부분의 기업들이 자동화된 설비로 금속전극을 형성시킨다.

- **후면전극 스크린프린팅:** 후면전극도 선풍이 작아야 하는 조건을 제외하고는 대개 전면전극에서 요구한 조건들을 만족시켜야 한다. 다만 은이 p-type의 실리콘과는 ohmic 접촉을 형성하지 못하기 때문에 알루미늄을 사용하여야 하는데, 알루미늄 자체는 향후 모듈공정에서 soldering시 접촉이 잘 이루어지지 않은 문제가 있어 현재는 은과 알루미늄이 혼합된 페이스트로 스크린프린팅 한다. 또한 알루미늄과 실리콘과의 열팽창계수의 차이로 인해 기판이 휘는 상황이 발생하여 격자 모양의 패턴으로 후면전극을 형성한다.
- **전극접촉 형성(firing):** 스크린프린팅 후에는 페이스트 내에 있는 유기물을 증발시키기 위한 드라이 공정 후에 고온에서 주로 벨트 퍼니스를 이용하여 열처리한다. 전면의 은 페이스트는 고온에서 에미터 위에 증착한 절연성의 반사방지막을 뚫고 에미터와 직접 접촉이 되는데 이때 에미터 아래의 베이스까지 도달하게 되면 shunt가 발생하여 효율이 떨어지게 된다. 또한 후면의 은/알루미늄 페이스트도 parasitic 에미터를 뚫고 p-type의 베이스와 직접 접촉이 된다. 이러한 공정이 유지되기 위해서는 페이스트의 성분과 열처리 조건이 정확히 이루어져야 한다.

3.3 다결정 실리콘 기판을 이용한 태양전지 제조

다결정 실리콘은 CZ 방법으로 성장시킨 단결정 실리콘 (Fig. 7(a))과는 달리 Fig. 7(b)에서 보이는 바와 같이 캐스팅 방법으로 성장시킨 잉곳을 사용하기 때문에 결정성의 결함이나 금속 불순물을 내부에 다량 포함하고 있다. 또한 단결정 기판의 방향성이 기판 전체에 대해 정의되는데 비하여 다결정 실리콘 기판은 grain마다 결정 방향이 다르므로 인해 태양전지 공정의 일부 공정에 대해서는 단결정 기판에 대해 최적화된 공정을 사용할 수 없게 된다. 다결정 실리콘 기판으로 태양전지를 제조함으로써 인해 필요한 공정에 대해 알아본다.

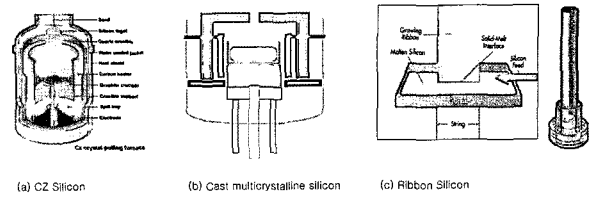


Fig. 7. 결정질 실리콘 기판 제조 공정.

- **다결정 실리콘 기판의 gettering 공정:** 다결정 실리콘 기판의 품질을 높이기 위하여 매우 중요한 공정인 gettering은 주로 인이나 알루미늄을 주로 사용하는데, 고온에서 인이나 알루미늄이 기판 내부의 금속 불순물을 끌어당겨 표면에 화합물의 형태로 존재하게 되고 이러한 화합물을 에칭을 통해 제거해줌으로써 기판의 소수캐리어 lifetime을 증가시키는 역할을 하게 된다. 이에 대한 연구는 여러 연구기관에서 수행하고 있는데 기판의 성장 조건이나 동일한 잉곳 내에서도 위치에 따라 gettering 조건이 달라져야 한다는 결과들이 보고되고 있다.^{11,12)}
- **수소를 이용한 passivation 공정:** 다결정 실리콘 태양전지의 반사방지막으로는 최근 들어서는 대부분 PECVD를 이용한 SiNx 박막을 사용한다. 이는 SiNx 박막이 반사방지막으로서의 역할뿐만 아니라 박막증착 시 실리콘 가스와 암모니아 가스를 사용함으로써 다량의 수소가 기판 내부에 포함되어 되고 이러한 수소가 기판 내부의 결함이나 금속 불순물과 결합하기 때문이다. 결함이나 불순물은 태양전지 내부에서 만들어진 캐리어의 재결합을 유도하여 lifetime을 떨어뜨리는 요인이 되는데, 수소와 결합하여 passivation 됨으로써 기판의 lifetime과 효율이 상승하게 된다. 또한 SiNx 박막은 기판 표면의 passivation에 대해서도 우수한 결과를 보여주고 있다.¹³⁾
- **표면 텍스처링 공정:** 텍스처링 공정은 기판 표면에 요철 구조를 형성하여 표면 반사율을 낮추는 공정인데, 기판의 결정성이 일정한 단결정 실리콘인 경우 염기성 용액을 이용하여 선택적 에칭을 통해 비교적 쉽게 텍스처링 공정을 할 수 있다. 반면에 다결정 실리콘 기판은 결정의 방향이 grain마다 다르기 때문에 염기성 용

액을 이용한 비등방성 에칭이 불가능하여 등방성 에칭으로 텍스처링을 해야 한다. 이러한 등방성 에칭으로 산성 용액을 이용한 에칭과 반응성 이온 에칭, 메카니컬 텍스처링 방법 등이 사용되고 있는데, 최근에는 산성 용액을 이용해 에칭을 하기 위한 자동화된 wet station 설비가 개발되어 보급되고 있다.

3.4 리본형 실리콘 태양전지

단결정 실리콘 기판이나 다결정 실리콘 기판은 잉곳으로부터 원하는 크기의 기판을 얻기 위하여 slicing 공정을 통해 기판을 자르게 된다. 그런데 slicing시 kerf 손실이 기판 하나당 200~250 μm 정도가 되어 많은 양의 실리콘 원료를 낭비하게 되는데 이를 해결하기 위해 Fig. 7(c)에서와 같이 사출 방법으로 제조한 기판을 리본형 실리콘 기판이라 한다. 이러한 리본형 실리콘 태양전지는 1970년대 중반 미국에서 처음 개발된 이래 현재 전체 태양전지 시장에서 5% 정도의 점유율을 보이고 있다. 리본형 실리콘 기판의 제조기술은 가장 활발히 연구되고 있는 EFG(Edge-defined-Film-fed Growth) 방법 외에도 STR(STring Ribbon)과 WEB(dentric WEB) 등이 있다. 실리콘 원료 물질을 줄인다는 측면에서 가격적인 장점을 가지고 있지만 기판의 품질이 다결정 실리콘보다도 떨어지고 기판 표면의 굴곡이 심해 일반적인 스크린프린팅 공정이 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 미국의 조지아 연구소에서 STR 기판으로 14.7%의 변환효율을 보이는 태양전지의 개발에 성공했고¹⁴⁾ 가장 최근에는 17% 이상의 태양전지도 개발하였다.

4. 국내 실리콘 태양전지 기술 수준

결정질 실리콘 태양전지 분야는 연구를 수행하기 위한 기본적인 인프라의 구성을 위해 많은 비용이 필요하지만 현재까지의 국내 기술개발 투자 실적은 태양광에너지 전 분야에서 1988년부터 2002년까지 329억원(정부 194억원, 민간 135억원)으로 매우 낮은 수준의 투자가 이루어지고 있는 실정으로 삼성SDI를 비롯한 포톤반도체에너지 등의 기업에서 실리콘 태양전지에 대한 기술개발 및

생산을 수행해왔다. 다만 최근 들어 LG화학을 비롯한 대기업 및 중소기업을 중심으로 태양광산업에 대한 관심을 보이고 있고 일부는 이미 태양전지 생산 공정의 연구를 위한 pilot 라인의 투자가 이루어졌거나 생산 규모의 확대를 위한 투자를 진행하고 있어 기술개발의 성과가 기대되고 있다.

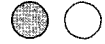
결정질 실리콘 태양전지의 개발에 있어 두드러진 결과는 삼성SDI에서 2000년 개발된 고효율 태양전지로서 45.8cm²의 면적에서 20.5%의 PERL 태양전지를 개발하여 국제적인 인증기관으로부터 공인을 받은 점이다. 물론 세계 최고 효율의 태양전지는 호주의 UNSW에서 개발한 24.7%의 PERL 태양전지이지만 면적이 4cm²이라는 점을 감안하면 고효율 실리콘 태양전지 분야에서는 기본적인 기술을 확보하였다고 볼 수 있다. 향후의 과제는 고효율 태양전지의 지속적인 기술개발과 함께 상용화를 위한 저가격의 상용화 태양전지의 개발에 있어서도 경쟁력 있는 기술 수준을 확보해야 할 것이다.

5. 결 론

태양전지를 통한 에너지의 생산은 화석연료 등의 기존의 에너지와 비교해서 환경친화적이라는 점이 가장 큰 경쟁력이다. 그러나 경제적인 부분만을 비교해보면 아직 많은 차이를 보이고 있는 것도 사실이다. 세계적인 기술 개발의 흐름은 보다 저렴한 재료를 사용하여 보다 저렴한 공정을 통해 경쟁력이 있는 태양전지를 생산하는 것이다. 박막 형태의 실리콘 태양전지의 개발이나 박막 화합물 반도체 태양전지, 유기재료를 이용한 태양전지의 개발도 모두 태양전지의 가격을 줄이기 위한 노력의 일환이다. 하지만 향후 10년 이상은 여전히 결정질 실리콘 태양전지가 주종을 이룰 것으로 보이고 따라서 공정 측면에서 결정질 실리콘 태양전지의 가격을 낮추고 효율을 향상시켜 단위 생산전력 당 가격(\$/W)을 낮추는 것이 당분간은 지속적으로 추구해야 할 목표이다.

참고문헌

1. A. Luque and S. Hegedus, "Handbook of Photovoltaic



- Science and Engineering”, John Wiley & Son, 2003.
2. M. A. Green, et al., Proc. 18th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, pp.39-42, 1985.
3. J. Zhao, A. Wang, and M. A. Green, Prog. Photovolt. : Res. Appl. vol. 7, pp.471-474, 1999.
4. M. Rogol, S. Doi, and A. Wilkinson, CLSA Asia Pacific Markets, Solar Power Sector Outlook, July 2004.
5. 모듈가격기준으로 단결정 태양전지인 경우 3.40 유로/Wp이고 다결정 태양전지인 경우 3.38 유로/Wp 임 (1990년 가격 기준).
6. M. A. Green, “Silicon Solar Cells. Advanced Principles and Practice”, Center for Photovoltaic Devices and Systems, University of New South Wales, Sydney, pp.117-144, 1995.
7. M. A. Green, A. W. Blakers, J. Shi, E. M. Keller, and S. R. Wenham, “High-Efficiency Silicon Solar Cells”, IEEE Trans. on Electron Devices, vol. ED-31, pp.671-678, 1984.
8. A. W. Blakers and M. A. Green, “20% Efficiency Silicon Solar Cell”, Appl. Phys. Lett., vol.48, pp.215-217, 1986.
9. R. R. King, R. A. Sinton, and R. M. Swanson, “Front and Back Surface Fields for Point-Contact Solar Cells”, Proc. 20th IEEE Photovoltaic Specialist Conf., Las Vegas, pp.538-544, 1988.
10. J. Horzel et al., Proc. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, pp.1367-1370, 2001.
11. S. Narasimha and A. Rohatgi, IEEE Trans. Electron Devices, vol.45, pp.1776-1782, 1998.
12. D. Macdonald, A. Cuevas, and F. Ferraza, Solid-State Electron., vol.43, pp.575-581, 1999.
13. W. Soppe, et al., “On Combining Surface and Bulk Passivation of SiNx:H Layers for mc-Si Solar Cells”, Proc. 29th IEEE Photovoltaic Specialist Conf., 2002.
14. V. Yelundur, A. Rohatgi, J. Jeong, and J. Hanika, IEEE Trans. Electron Devices, vol.49, pp.1405-1410, 2002.

●● 김정



- 1998 서울대학교 물리학과 이학박사
- 1998-2000 삼성종합기술원 반도체 소자랩 연구원
- 2000-2004 삼성 SDI 중앙연구소 책임연구원
- 2004-현재 세종대학교 전자공학과 조교수