

실리콘 태양전지의 개발현황

기술해설 1

Development status of silicon solar cell

조은철*, 조영현*, 김동섭*, 이수홍*, 지일환*

(Eun Chel Cho, Young Hyun Cho, Dong Seop Kim, Soo Hong Lee, Il Hwan Ji)

Key Words(중요용어) : Silicon solar cell(실리콘 태양전지), Technical status(기술현황), Shipment status(출하현황), Single poly amorphous(단결정, 다결정 비정질)

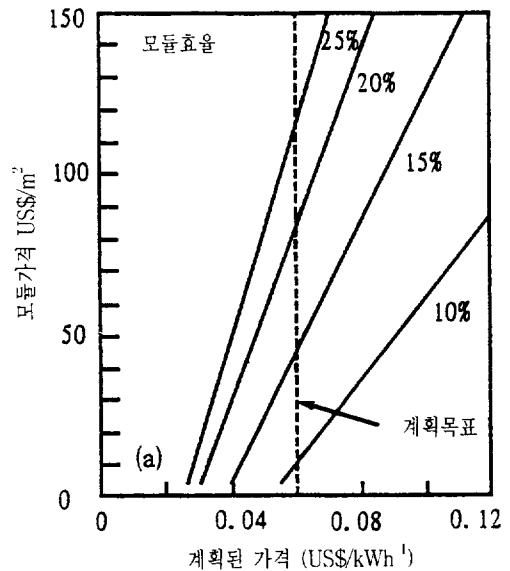
1. 태양전지의 실용화

21세기 인류가 당면한 가장 큰 문제의 하나는 지구온난화로 인한 기후 변화와 그 결과로 나타나는 사막화 현상이다. 즉, 대기중의 이산화탄소등의 농도가 급격히 증가하게 되어 지구표면 및 대기의 평균기온이 상승하게 되는 것으로 석유나 석탄과 같은 화석연료를 대량으로 사용하는데에서 기인한다.

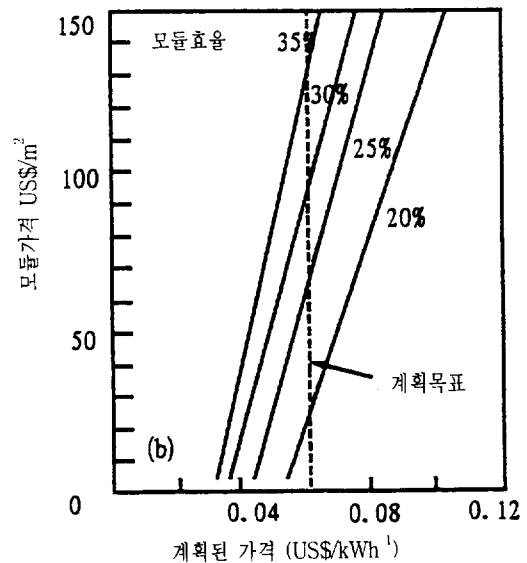
따라서 이산화탄소나 기타 오염물질의 배출이 없는 청정에너지원으로서 태양에너지는 지구온난화 방지와 대기오염 방지에 모두 적합한 에너지자원으로 그 관심과 중요도가 점차 증가하고 있다. 태양에너지의 이용형태는 태양에너지를 열적에너지로 변화시켜 사용하는 태양열 온수기와 태양열 난방등이 있으며, 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환시켜 사용하는 태양전지가 있다. 태양전지는 일반 가정용의 전원, 낙도 및 원거리용의 전원등에 이용되고 있으며, 태양광 에어컨과 같이 전력의 peak time시 일반가정의 에너지원으로 사용되는 전원 및 화력, 원자력 발전소와 같은 대규모 발전소 건설에 이용될 수 있다. 따라서 태양전지의 실용화의 가장 큰 문제점인 경제성이 해결되면 21세기 청정에너지원으로 이용될 수 있을 것이다.

태양전지의 실용화를 위한 일반적인 고려 사항은 단위면적당의 발전효율을 증가시키는 문제와 단위면적당의 제조단가를 감소시키는 두가지 문제가 있다. 그림 1은 (a) 일반 판형전지 (b) 집광형전지의 가격 및 목표를 나타낸다. 이 목표는 연료 및 저장능력의 함으로 2000년에 1986년도 가격으로 \$0.06/(kWh)이다.^{1,2,3)} 또한 모듈효율은 15~20%이며, 집광형은 25~30%가 요구된다.³⁾ 판형 및 집광형 태양전지의 모듈면적에 대한 가격목표는 각각 \$45~80/m²과 \$60~100/m²이다.

일반적으로 대체에너지원 특히 태양전지의 시장 침투는 기대했던 것보다 다소 느린편으로, 기존의



(a) 일반 판형 모듈



(b) 집광형 모듈

그림 1. 가격(30년 수명)과 효율의 함수로서 모듈 가격

Fig. 1. Module costs as a function of levelised electricity costs(30 year lifetime) and various module efficiencies.

에너지원인 핵연료나 화석연료와 비교하여 가격측면에서 불리하다. 그러나 환경, 기후적인 측면에서 태양전지와 같은 청정에너지가 주요 선진국 및 인도등지에서 중요한 에너지 정책이 되고 있다.⁴⁾ 태양전지 시스템의 계층도를 고려하면, 현재 태양전지 기술의 장벽은 가격, 성능, 신뢰성(태양전지 수명)으로 요약된다. 태양전지에 대한 연구는 기술적으로 경쟁력 있는 새로운 구조 및 물질, 효율 향상을 위한 집광형 또는 비집광형을 이용한 고효율·긴 수명의 전지를 개발하는 것이다.

2. 태양전지의 출하현황

표 1은 전 세계적인 태양전지의 최근 7년간 출하현황이다.⁵⁾ 1992년 57.9MW에서 '93년 60.09MW로 3.8% 증가하였다. 각 국별로 출하실적을 비교하면 미국이 '92년 18.1MW에서 '93년 22.44MW로 24% 증가하였으며, 일본은 '92년 18.8MW에서 '93년 16.7MW로 11% 감소하였다. 유럽은 약간 증가하였으며, 그외 국가들은 4.3% 감소하였다.

표 2는 1993년 출하된 태양전지의 기술별로 분류한 것이다. 본 표에서 알 수 있듯이 단결정 실리콘

표 1. 전세계 태양전지의 출하량(단위 : MW)
Table 1. World solar cell shipment(unit : MW)

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
미국	8.7	11.1	14.1	14.8	17.1	18.1	22.4
일본	13.2	12.8	14.2	16.8	19.9	18.8	16.7
유럽	4.5	6.7	7.9	10.2	13.4	16.4	16.55
그외 국가	2.8	3.0	4.0	4.7	5.0	4.6	4.40
총계	29.2	33.6	40.2	46.5	55.4	57.9	60.09

콘 태양전지 시장이 가장 크며, 그 동안 박막형 태양전지는 많은 연구노력이 있었음에도 획기적인 가격인하 요인이 없는 시장형성이 어려울 것으로 예측된다.^{5,6)}

본 논문에서는 표 2에서와 같이 상대적으로 세계 태양전지 시장의 98% 이상을 차지하는 단결정, 다결정, 비정질 실리콘 계열의 태양전지를 중심으로 최근의 개발현황과 성과를 비교 분석하였으며, 앞으로의 개발전망을 진단해 보고자 한다.

3. 실리콘 태양전지

실리콘은 지구상의 20% 정도를 차지하는 풍부한 물질로, 다른 물질보다 전기적, 광학적, 화학적, 물리적 성질이 많이 알려져 있다. 실리콘 태양전지는 우주용 및 지상용에 사용하였을 때 충분한 수명을 가지고 있다.⁷⁾ 또한 실리콘 태양전지는 높은

표 2. 1993년 각국의 종류별 태양전지의 출하 실적

Table 2. 1993 year shipment status of country, kind of solar cell.

	미국	일본	유럽	그외국가	총계	비율
단결정 Si	14.7	1.4	8.95	3.6	28.65	47.68
다결정 Si	6.0	5.4	6.0	0.2	17.6	29.30
비정질 Si	1.5	8.9	1.6	0.6	12.6	20.97
집광형 (Si)	0.002	-	-	-	0.02	0.03
리본형 (Si)	0.2	-	-	-	0.2	0.33
필름형 (Si)	0.002	-	-	-	0.02	0.03
CdTe	-	1.0	1.0	-	1.0	1.66
합계	22.44	16.7	16.55	4.4	60.09	100

전류밀도, 표면적을 가지며 상용화의 문제점은 제조가격 및 이론적인 효율치에 가까운 성능향상이며, 태양전지의 고효율화를 위해 많은 연구노력이 있었다.^{8,9)} 최근의 광변환효율이 20%가 넘는 고효율 결정질 실리콘 태양전지에 적용되는 기술들에는 texturing 기술, passivation 기술, 확산 불순물 농도조절 기술, 전극제조 기술, point contact 기술, 금속접합 밑에 고농도의 불순물 농도 조절 기술, 캐리어의 효율적인 수집을 위한 후면전계(Back Surface Electric Field) 기술 등이 필요하다.

3.1. 단결정 실리콘 태양전지

단결정 실리콘 태양전지에서 변환효율 20%를 넘게한 기술적인 혁신은 그림 2(a) 구조로 달성되었으며, 이 기술은 1985년 호주 UNSW(Univ. of New South Wales)에서 개발한 PESC(Passivated Emitter Solar Cell) 구조이다. 그림 2(a)에서 후면 전극은 BSF층을 형성하기 위해 Al합금을 이용하였으며, 전면전극은 전하의 재결합을 감소시키기 위해 산화막을 형성하였으며, 높은 개전압(Voc)을 유지하기 위해 표면 밑에 pn접합을 형성하였다. 또한 Ti/Pd/Ag의 금속전극을 산화막위에 증착하여 접촉면적이 전체면적의 0.3%이며, 산화막의 두께는 약 100Å으로 전체적인 반사율을 낮추기 위해 MgF₂/ZnS의 이중반사방지막을 사용하기도 한다. PESC는 태양전지 전문 연구기관인 미국의 NREL(National Renewable Energy Lab.)에서 1985년 20.1%의 변환효율을 기록하였다.¹⁰⁾

또한 Stanford 대학의 핵심멤버들이 참여한 SunPower사는 그림 2(b)의 Point contact형 태양전지로 선택적인 표면의 Texturing을 통하여 22.7%의 변환효율을 기록하였다. Point contact형 태양전지는 집광형으로 사용되었을때 실험실 수준에서 28%의 변환효율을 가진다.

단결정 태양전지중 그림 2(c)와 같은 UNSW의

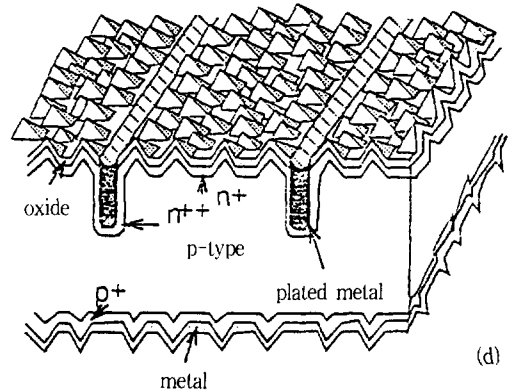
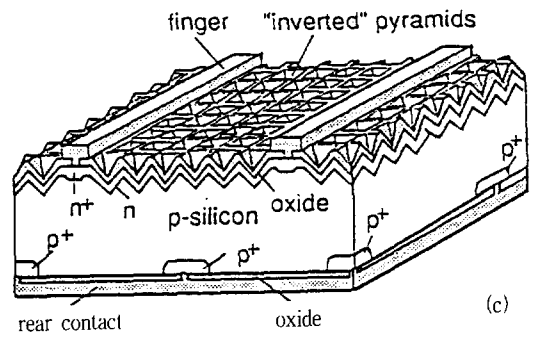
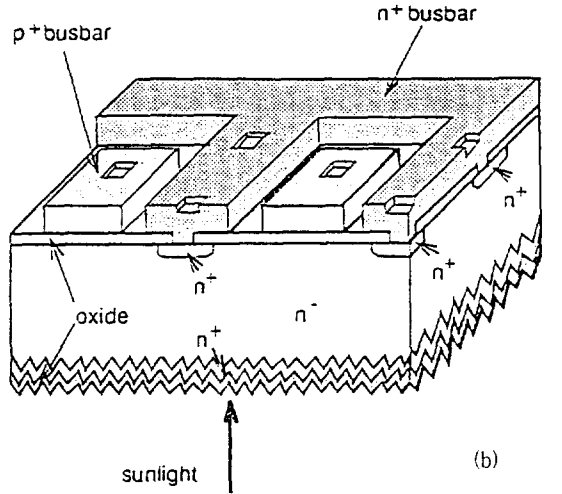
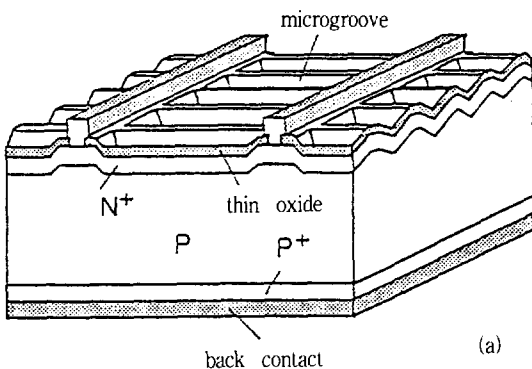


그림 2. 고효율 실리콘 태양전지의 구조
 (a) PESC(Passivated Emitter Solar Cell) 태양전지
 (b) PC(Point Contact)태양전지
 (c) PERL(Passivated Emitter Rear Locally Diffused)태양전지
 (d) BCSC(Buried Contact)태양전지

Fig. 2. High efficiency solar cells.

PERL(Passivated Emitter Rear Locally diffused) 태양전지는 23.5% 변환효율로 현재 세계최고 효율을 보유하고 있으며, 단결정 실리콘 태양전지가 갖는 이상적인 효율인 29%에 근접하는 26%정도의 효율을 낼 것으로 예상된다.¹²⁾ PERL형 태양전지는 웨이퍼 표면에서 빛에 의해 발생한 전자-정공들의 재결합을 최소화하고 양방향 전류(lateral current)의 감소를 막기 위하여 웨이퍼 표면에 양질의 산화막을 형성시켰다. 또한 산화막의 질과 캐리어의 수명을 증가시키기 위해 염소(Cl)을 기본으로 하여 tube cleaning, 산화막 형성을 하였으며 전지후면의 Al gettering을 통해 캐리어의 수명을 증가시켰다. 후면전극의 형성은 Point contact 형 태양전지와 유사하게 산화막의 일부분을 통하여 boron을 확산시킨 후 산화막위에 Ti/Pd/Ag를 증착하였다.¹²⁾

PERL, PESC, Point contact형의 태양전지는 여러번의 불순물 확산과 최고 8번 까지의 고온 산화과정 및 여러장의 photomask가 필요하므로 제조단가가 비싸다는 단점이 있다.^{13,14)}

그림 (2,d)는 Buried contact형 태양전지로 UNSW의 M.A.Green교수가 개발하였다. 이 구조에서는 laser 및 mechanical blade로 웨이퍼 표면에 홈을 파서 빛에 의한 효율감소를 감소시켰으며 Al의 후면확산을 이용하여 BSF층을 형성하므로써

빛의 이용효율을 최대화하기 위한 접합구조이다. BCSC 태양전지는 비교적 고효율이면서 제조공정이 간단하여 BP Solar사에 의하여 1995년부터 상업판매에 돌입하였다.^{15,16)}

그 밖의 독일의 Fraunhofer Institute에서는 1992년 UNSW의 PERL형의 제조공정 및 구조가 유사한 LBSF(Local Back Surface Electric Field) 태양전지로 21.1%의 변환효율을 발표하였으며¹⁷⁾, 일본의 Sharp사는 PERL형과 유사하나 random texturing을 이용한 200 μ m의 CZ기판을 사용하여 개방전압 628mV, fill factor 81.5%, 전류밀도 43mA/cm²를 발표하였다.¹⁸⁾

3.2. 다결정 실리콘 태양전지

다결정 실리콘 태양전지의 가장 큰 개선점은 고순도의 실리콘 웨이퍼의 사용으로 제조단가가 낮다는 것이다. 일반적으로 다결정 실리콘은 grain boundary, twin, dislocation, void와 같은 결함이나 불순물은 태양전지의 단락같은 문제점을 가지고 있다.¹⁹⁾ Czochralski(CZ) 단결정 웨이퍼와 cast ingot poly-Si의 가장 큰 차이는 캐리어의 확산길이 차이로 태양전지 효율의 약 2%정도 나게 된다. 그러므로 다소 효율이 낮을지라도 대략 2.00\$/W을 목표로 낮은 가격의 poly-Si 태양전지가 개발되어 왔다. IMEC, Kyocera는 SiN막으로 반사방지막을

표 3. 단결정 및 다결정 실리콘 기술현황(표준 : AM1.5, 1000W/cm², 25°C)

Table 3. Technology status of single and polycrystalline silicon solar cell (Standard L_D AM 1.5, 1000W/m², 25°C).

발표기관	효율 (%)	면적 (cm ²)	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)	측정 월/년	비 고
UNSW	23.5	4.03	0.696	40.9	81.0	4/93	PERL
	20.1	49	0.664	36.90	80.4	7/94	BCSC
Georgia Tech	17.7	1.00	0.626	35.6	79.2	1/92	Multicrystalline Silicon
Stanford	22.3	8.525	0.702	40.7	77.7	9/88	Point Contact
Sharp	17.2	100	0.610	36.4	77.7	3/93	Large Multicrystalline
	22.0	4.0	0.628	43.0	81.5	7/93	CZ 단결정
AstroPower	14.9	1.02	0.600	31.4	79.2	12/88	Si-film
Mitsubishi	14.2	100	0.608	30.0	78.1	3/93	60 μ m on SiO ₂

형성하는 생산공정을 개선하여 16.5%~17%의 효율을 기록하였으며, UNSW는 개선된 Buried Contact 구조로 17.8%의 효율을 기록하였으며, 이는 Georgia Tech에 의하여 17.7%로 재확인되었다.¹¹⁾

다결정 실리콘은 casting²⁰⁾, directional solidification²¹⁾, heat exchanger method(HEM)²²⁾, edge fed film grown(EFG)²³⁾, edge supported pulling(ESP)²⁴⁾, ribbon to ribbon(KTR)²⁵⁾, ribbon against drop(RAD)²⁶⁾, spinning²⁷⁾, dendritic web²⁸⁾, low angle silicon sheet(LASS)²⁹⁾과 같은 방법으로 결정(bulk) 또는 리본(ribbon)형의 실리콘 물질을 만들 수 있다. Dendritic web와 EFG방법은 미국의 태양전지 개발계획으로 발전해 왔다. Dendritic web 물질은 ribbon형의 고순도 Si으로 높은 효율(17%)을 가지고 있다.³⁰⁾

현재 다결정 실리콘 태양전지 개발 point는 대면적과 Hydrogen, lithium, aluminium, arsenic, phosphorus등을 이용하여 결합이나 grain boundary 표면의 영향을 최소로 하는 것이다.^{31,32)}

태양전지의 상용화를 위한 노력의 일환으로 저가의 기판위에 빛을 이용하는 박막 실리콘을 성장시키는 기술을 연구하고 있다. 즉, 캐리어를 발생시키는 영역의 두께가 50 μ m이하의 매우 얇은 박막형 poly-Si을 이용하여 고효율의 태양전지를 개발하는 것이다.³³⁾ 박막형의 Si 태양전지는 초기에 효율이 5%이하로 비효율적이었다. 즉 고진공과 산화 및 박막의 오염을 감소하기 위하여 빠른 증착이 필요하였으며 효율은 낮았다. Si 기판위에 에피택셜 Si을 생성하는 CVD법은 graphite, tungsten, molybdenum 기판위에 혼합형(heterotype) 태양전지의 제조가 가능하게 되었다. 그러나, 기판과 성장시키는 Si과의 화학적인 상호작용이 문제점으로 현재 도전성 세라믹 기판위에 Si의 액상성장법을 광범위하게 연구되어 왔다.^{34,35)}

그림 3의 구조를 갖는 Astropower사의 박막형 태양전지는 저가의 기판위에 박막형 다결정 Si 태양전지로 효율 15.7%(AM 1.5), 전지면적 1.0cm²을 개발한 후 (Product I형), 1989년 100cm²의 실험실 수준의 태양전지를 개발(Product II형)과 1993년 10%의 효율을 갖는 225cm²의 생산(Product III형)을 시작하였다.³³⁾

3.3. 비정질 실리콘

비정질 태양전지의 가장 큰 문제점은 시간에 따라 효율이 감소하는 열화현상을 극복하지 못하고 있는 것이며, 출하량이 계속 감소하고 있다. 표 4는 각사의 비정질 실리콘 태양전지의 개발현황을

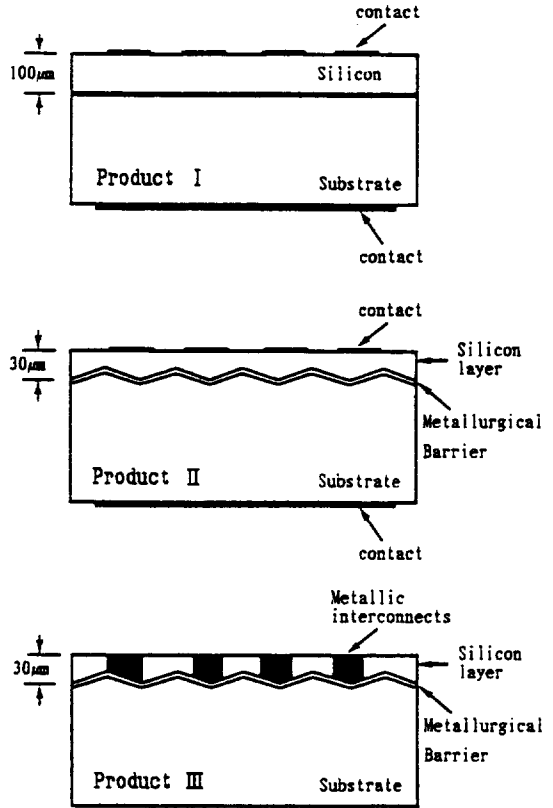


Fig. 3. Poly-crystalline thin film solar cell (Astropower Inc.).

그림 3. 다결정 실리콘 박막 태양전지(Astropower Inc.)

나타낸다.³⁶⁾

비정질 Si-H 구조를 가지는 태양전지의 성능향상과 신뢰성 향상을 위해 양질의 비정질 실리콘 구조를 만들기 위한 많은 노력이 진행되고 있다. 대부분의 박막형 비정질 실리콘은 Plasma 증착을 이용하여 박막제조에 사용된다. 그러나 Plasma 증착의 낮은 증착률 때문에 reactive sputtering, CVD, sputtered assisted plasma CVD, photo-assisted CVD, plasma confined CVD, electron cyclotron resonance(ECR) CVD에 대한 연구가 시작되었다.

현재 비정질 실리콘 태양전지의 시장점유율은 계속 감소하고 있는 실정으로 1989년 점유율이 전체 태양전지 시장의 1/3정도이며, 출하량은 16MW 정도에서 1993년 점유율이 1/5정도이며, 출하량이 12.6MW로 감소하고 있다.

비정질 실리콘 태양전지에서 빛에 의한 성능 감소효과는 1977년 Staebler와 Wronski에 의하여 알

표 4. 비정질 실리콘의 기술현황(표준 AM 1.5, 1000W/m², 25°C)

Table 4. Technology status of amorphous silicon solar cell (Standard AM 1.5, 1000W/m², 25°C).

발표기관	효율 (%)	면적 (cm ²)	Voc (mV)	Jsc (mA)	FF (%)	날 짜	비 고
Brookhaven	8.1	0.023	832	14.6	66.3	4/86	p-i-n
ECD	9.9	0.268	940	15.2	69.4	2/88	ITO/a-Si/Stainless Steel
	11.6	0.268	1640	10.1	69.6	2/88	ITO/a-Si/a-Si-Ge/SST
	8.7	0.268	739	19.8	59.6	2/88	ITO/a-Si-Ge/Stainless Steel
	12.4	0.268	2541	6.96	70.0	2/88	ITO/a-Si/a-Si/a-Si/SST
Chronar	9.8	1.045	880	17.2	64.9	10/85	p-i-n
	7.4	0.980	2510	7.2	64.8	1/88	a-Si/a-Si/a-Si-Ge
	8.3	0.284	878	14.4	65.9	3/86	Photo CVD
IEC	10.0	0.284	862	17.6	65.8	11/87	Photo CVD, eletroplating
Glass Tech	9.3	1.011	849	15.26	71.6	4/89	a-Si (2mm/s 증착속도)
	9.9	0.260	828	16.81	70.4	3/89	a-Si
3M	7.8	0.140	874	13.8	64.7	1/87	a-Si on Kapton
Solarex	11.5	1.077	879	18.8	70.1	4/87	a-Si
	10.3	0.758	1685	9.03	68.1	10/87	a-Si/a-Si-Ge
Spire	10.5	0.099	878	16.6	72.2	12/86	a-Si
	6.3	0.102	1586	6.90	57.4	6/85	a-Si/a-Si-Ge
UPG	8.4	1.010	876	13.8	69.6	1/88	a-Si
Vactronics	8.4	0.256	822	11.4	60.5	11/86	a-Si
NREL	9.5	0.049	841	16.9	66.8	10/89	a-Si
Sanyo	12.7	1.0	887	19.4	74.1	4/92	a-Si cell
	12.0	100	12500	1.3	73.5	12/92	a-Si submodule
USSC/ Cannon	12.5	0.26	1621	11.7	65.8	12/92	a-Si/a-SiGe
Sharp	12.4	1.0	2289	7.9	68.5	12/92	a-Si/a-SiGe/a-SiGe

*SST : Stainless Steel Tandem

ECD : Energy Conversion Devices

UPG : Utility Power Group

USSC : United Solar System Corp.

려졌으며, Staebler-Wronski효과라 한다.³⁷⁾ 성능저하 효과에 대하여 많은 연구가 있으나 현재까지 충분한 설명이 되지 않고 있다. 대부분의 경우 a-Si 태양전지는 동작후 48 시간내에 효율의 15~25%정도 감소된다. 현재까지 이런 성능감소 현상은 a-Si : H 반도체가 빛에 의하여 노출되었을 때 중성 실리콘의 dangling bond 밀도가 증가하는 것이다. 빛에 의한 광학적 노출은 겹내에서 불안정한 상태를 증가시키며 Fermi level을 겹의 중앙으로 이동시킨다. 이런 도핑되지 않은 a-Si : H의 불안정한 상태는 빛 또는 캐리어 주입에 의하여 생성

된 과잉전하의 재결합을 일으킨다. 재질의 조절이나 불순물의 조절은 성능감소를 최소화 하는데 도움을 준다. 다중접합(multijunction) 전지에 대한 안정성은 도핑되지 않은 intrinsic층이 얇을수록, 전류가 낮을수록, 전계가 전지전체에 걸쳐 생성될 때 단일접합(single junction)보다 안정하다고 보고되고 있다. 또한 boron이나 phosphorus와 같은 불순물의 조절에 의하여 안정성은 향상되나 제조원가가 상승한다.

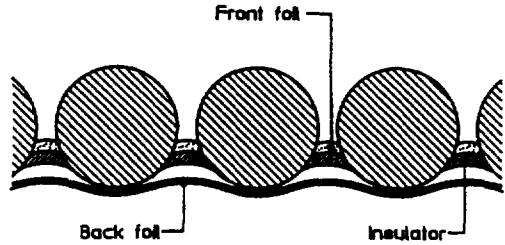
3.4. 그 밖의 실리콘 태양전지

저가의 실리콘 태양전지를 만들기 위하여 최근

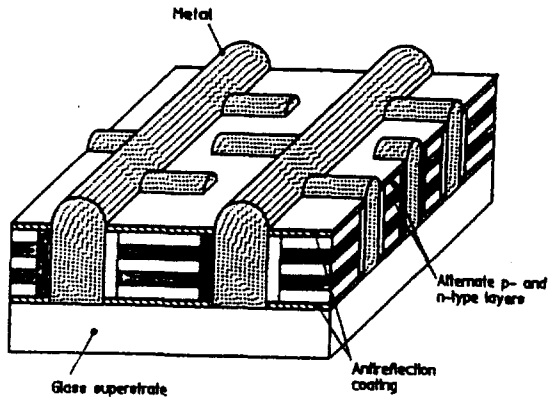
에 발표된 대표적인 구조는 그림 4와 같이 spheral 태양전지와 Buried contact multijunction 태양전지가 있다.

그림 4 (a)는 1991년 Texas Instruments사에서 실리콘의 양이 99%정도 함유한 저가의 실리콘 결정을 이용하여, 100cm²안에 18,000개 이상의 구형 실리콘 태양전지들을 연결한 Spheral SolarTM cell를 발표하였다. 현재의 효율은 8~9%정도로 40개의 전지를 연결한 모듈의 효율은 9.1%이다. Acrylic로 코팅된 100cm²의 Spheral cell은 Jsc 23.75mA/cm², Voc 0.5718V, fill factor 72.58%, 효율 9.9로 NREL에서 측정되었다.³⁹⁾

그림 4 (b)의 구조는 1994년 호주의 UNSW에서 생산단가를 감소시키고 고효율인 "Buried Contact Multijunction Thin Film Solar Cell"라는 새로운 구조의 태양전지로 현재의 실리콘 태양전지 모듈보다 재료비용이 20배 이하이라고 발표하였다. 저가로 생산가능한 이유는 (1) 현재 사업용으로 사용되는 300~400 μ m의 태양전지보다 얇은 20~30 μ m의 실리콘을 사용하며, (2) 박막의 실리콘질이 새로운 구조로 인하여 현재의 태양전지보다 100~1000배 질이 낮은 물질을 사용가능하며, (3) 태양전지를 대면적인 1m²로 만들 수 있다는 것이다.³⁸⁾ 이는 다층구조내에서 태양광에 의해 발생된 모든 캐리어들이 수집되어 모듈전류의 출력으로 작용하도록



(a) TI사 Spheral 태양전지



(b) UNSW의 Buried contact multijunction 태양전지

그림 4. 새로운 구조의 실리콘 태양전지
Fig. 4. New Structure of silicon solar cell.

표 5. UNSW의 다중접합 태양전지의 구조와 재질에 따른 효율

Table 5. Efficiency due to the structure and material quality of the UNSW's buried contact multijunction solar cell.

변수 재료	cell Junction	Optimum Thickness	Maximum Efficiency
GOOD 10ms defect lifetime	Single	30 μ m	21.7%
	Multiple	85 μ m	22.4%
POOR 50ns defect lifetime	Single	2.5 μ m	15.1%
	Multiple	25 μ m	20.5%

한 것으로 표 5는 일반적인 단일접합 태양전지와 다중접합 태양전지에서 두가지의 물질, 즉 단결정과 같이 캐리어의 수명이 긴 물질과 짧은 물질에서 예상되는 효율을 나타낸 것이다. 표 5에서 물질의 질이 200배 정도 떨어진 재질을 사용하여도 Buried contact multijunction 태양전지에서는 효율의 차이가 거의 없다.

5. 결 론

현재 각국은 미래의 청정에너지원으로 지구의 환경보호 및 온난화에 대처하며, 또한 전극적인 새로운 에너지의 개발이라는 측면에서 많은 연구노력이 진행되고 있다. 즉, 지구상에 불과 2분간 내리쬐는 태양에너지 전체를 회수하면 1년간 전세계

에 에너지 수요를 공급할 수 있다. 이와 관련되어 미국의 NATIONAL PHOTOVOLTAIC PROJECT(NPP), 일본의 Sunshine Project, EC 각국의 태양광 발전 프로젝트를 실시하여 경험 및 기술을 축적하고 있다.

50여년의 역사를 가지는 실리콘 태양전지는 오늘날 여러 혁신적인 기술개발을 통해 성숙단계에 와 있으며, 1970년대 에너지 위기 이후 거대한 규모의 지상발전 전력용으로 실리콘 태양전지 개발을 위한 노력이 있었다. 전 세계적으로 태양전지의 생산규모는 '93년 약 60MW정도로 10년전에 비교하여 15배 이상 증가하였다. 같은 기간동안 와트당 발전단가가 매우 감소하였으며, 앞으로 생산량과 효율이 증가하고 사용하는 재료의 양이 감소하면 발전단가는 더욱 감소할 것이다. 미래의 기술은 광변환 효율의 향상과 저가격화가 시장형성의 관건으로 BCSC, PESC, PERL, Point contact, Buried contact multijunction thin film 태양전지와 같이 고효율의 태양전지 구조기술 개발 및 저가의 재료 기술이 태양전지 개발의 중요한 핵심이다.

참 고 문 헌

1. T. Flaim, "Energy Policy", Vol.13, p.267, 1985
2. US Department of Energy Five Year Research Plan 1984-1988, "Photovoltaics:Electricity from sunlight", DOE/CE-0072, US DOE (Department of Energy), Washington DC, 1984
3. US Department of Energy Five Year Research Plan 1987-1991, "Photovoltaics:USA's energy opportunity", DOE/Ch 10093-7, US DOE(Department of Energy), Washington DC, 1987
4. O. Hohmeyer, "Social costs of energy consumption", Springer-Verlag, Berlin, 1988
5. Photovoltaic News, Vol. 13, No. 2, 1994
6. Photovoltaic Insider's Report, Vol. 13, No.2, 1994
7. B.S. Smith and D.E. Joslin, "20th IEEE Photovoltaic Specialists Conf.", pp. 813-818, IEEE, 19
8. Y. Hayashi, T. Saitch, K. Hane, R. Shimokawa, and T. Takeshita, "10th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference", pp. 254-257, Kluwer Academic Pub., 1990
9. R. Swanson, P. Verlinden, R. Crame, R. Sinton, and C. Tilford, "11th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference", pp. 35-40, Kluwer Academic Publishers, 1992
10. J. Gee and S. Wenham, "23rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference Tutorial Notebook, Advanced Processing of Silicon Solar Cell", IEEE, 1993
11. Photovoltaic News, Vol. 13, No. 5, pp.2-3, 1994
12. M.A. Green, J. Zhao, and S.R. Wenham, "IEEE Electron Device Letters", Vol. 13, No. 6, pp. 317-318, IEEE, 1992
13. S. Hogan, G. Darkazali, and R. Wolfson, "10th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference", pp. 276-279, Kluwer Academic Publishers, 1991
14. D.S. Ruby, P.A. Basore, M.E. Buck, J.M. Gee, W.K. Schubert, and H.L. Tardy, "23rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference", pp. 172-177, IEEE, 1993
15. M.A. Green, S.R. Wenham, C.M. Chong, S. Narayanan, Z. Fuzu, J.C. Zolper, A.B. Sproul, and A.W. Blakers, "Laser Grooved and Polycrystalline Silicon Solar Cell Research", Sandia contact Report : SAN 89-7035, 1989
16. S.Narayanan, J.H. Wohlgemuth, J.B. Creager, S.P. Roncin, and J.M. Perry, "23rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference", pp.277-280, IEEE, 1993
17. J. Knobloch, A. Noel, E. Schaffer, U.Schubert, F.J. Kamerewerd, S. Klußmann, and W. Wettling, "23rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference",pp.271-176, IEEE, 1993
18. "신기술", Vol.7, No.2. 산업기술정보원, pp.78-79, 1993
19. H.J. Leamy et al, "Grain Boundaries in semiconductors", vol. 5, New York, North Holland, 1982
20. K.K. Brennenman and T.A. Tomlinson, "20th IEEE Photovoltaic Specialists conf.", pp.31-38, IEEE, 1988
21. T.F. Ciszek, J. Crys. Growth, Vol. 66, p.655, 1984
22. J. Schmid and D. Viechnicki, J. Am. Ceramic

- Soc., Vol.53, p.528, 1970
23. K.V. Ravi, R.C. Gonsiorawski, and A.R. Chaudhuri, "18th IEEE Photovoltaic Specialists conference", pp. 1222-1227, IEEE, 1985
 24. T.F. Ciszek and J.L. Hurd, "Proc. Symp Electronic and Optical properties of polycrystalline or impure semiconductors and novel silicon growth methods", pp. 213-218, The Electrochemical Society, 1980
 25. K.R. Sarma, R.W. Gurtler, R.N. Legge, R.J. Ellis, and A. I. Lesk, "15th IEEE Photovoltaic Specialists conference", pp.941-944, IEEE, 1981
 26. C. Belouet, J. Schneider, C. Texier, and R. Martres, "14th IEEE Photovoltaic Specialists conference", pp.49-53, IEEE, 1980
 27. Y. Maeda and T. Yokoyama, "14th IEEE Photovoltaic specialists conference", pp. 133-138, IEEE, 1980
 28. S.N. Dermatis and J.W. Faust, "IEEE trans. Commun. Electron" , Vol.82, p.94, 1963
 29. H.E. Bates and D.M. Jewett, "15th IEEE Photovoltaic specialists conference", pp.255-259, IEEE, 1981
 30. D.L. Meier, J.M. Hwang, J. Gregg, and R.B. Campbell, "19th IEEE Photovoltaic specialists conference", pp. 506-513, IEEE, 1987
 31. C.H. Seager, D.J. Sharp, J.K.G. Panitz, and R.D.D'Aiello, "J. Vac. Sci. Technol" ,Vol.20, p.430, 1982
 32. L.L. Kazmerski, "J. Vac. Sci. Technol". A, Vol. 4, p.1638, 1986
 33. A.M. Barnett, S.R. Collins, J.E. Cotter, D.H. Ford, R.B. Hall, J.A. Rand, "Progress in Photovoltaics", Vol. 2, pp. 163-170, 1994
 34. A.M. Barnett, "8th European Photovoltaics Solar Energy Conference", pp.149-155, Kluwer Academic Publishers, 1988
 35. A.M. Barnett, J.A. Rand, F.A. Domian, M.L. Rock, and R.B. Hall, "20th IEEE Photovoltaic Specialists Conf.", pp. 1569-1574, IEEE, 1988
 36. L.L. Kazmerski, "International Material Reviews", Vol. 34, No.4, pp. 185-210, 1989
 37. D. Staebler and C. Wronski, "Applied Physics Letters", Vol.31, p. 292, 1977
 38. Photovoltaic News, vol.13, No. 7, 1994
 39. R.R. Schmit, B. Bethanne, and G. Hotchkiss, "23th IEEE Photovoltaic Specialists Conf.", pp.1078-1081, IEEE, 1993