실리콘 太陽電池의 現況과 展望

강인구* · 김우열**
(*금성사 중앙연구소장, **동 선임연구원)

1. 概 要

無公害, 無盡藏 에너지源으로서 太陽光 發電이 注目을 받게된 것은 第一次 오일 쇼크, 直後인 1974年경 부터이다. 그 以後, 先進國을 中心으로 太陽光發電은 國家프로젝트로서 技術開發이 進行되어 오고 있다. 太陽光發電 技術開發은 太陽에너지를 電氣에너지로 변환시키는 太陽電池의 開發과 太陽電池로부터 電氣에너지를 利用하기 위한 System技術開發로 分類된다. 그 중 太陽電池開發의 目標는 變換效率이 높으며, 特性上 安定하고, 低價로 製造 可能한 技術을 開發하는 것이다. 太陽電池 製造 價格을 細分하여 보면 價格의 半以上은 材料費로 되어 있고, 太陽電池를 低價로 大量으로 製造하기 위하여는 1)풍부한 材料와 2)값싼 材料의 觀點에서 同時에 滿足할 수 있는 材料이여야 한다.

Si系 太陽電池는 이러한 資源的인 側面에서 低價化, 大量生產化 할 수 있으므로 太陽光 發電의 實用化를 위하여는 Si系 太陽電池가 가장 可能性있고, 또한 硏究開發도 현재 가장 활발히 進行되고 있다. Si系 太陽전지는 結晶系 Si과 非晶質 Si으로 大別할 수 있으며 또한 結晶系 Si은 單結晶 Bulk, 多結晶 Bulk및 薄膜結晶 Si으로 區分할 수 있다.

본 稿에서는 各各의 Si系 太陽電池의 開發 現況및 展望에 대해서 서술하였다.

2. 結晶系 Si 太陽電池의 現況

2.1. 單結晶 Bulk-Si 太陽電池

最近 變換效率이 20%를 넘는 高效率 Si 太陽電池의 發表가 잇따르고 있다. 高效率化를 위한 主要 發表內容은 微細溝構造 및 Textured構造에 의한 光의 效率的 利用, 良質의 熱酸化膜에 의한 表面再結合 速度의 減少에 의한 效果 등을 利用한 것이다. 表1은 最近의 非集光形 高變換效率 太陽電池의 動作性能을 나타내고 있다. M. Green을 中心으로 하는 UNSW의 그룹은 그림 1과 같이 --方向에 微細한 溝構造(μ-groove)를 가진 素子를 提案하고 있다. [1] 表面電極을 斜面으로 하여 反射光의 損失을 줄임으로써 40.2mA/㎠의 短絡電流를 얻고 있다. 또한 高溫(800~900℃)에서 形成한 良質의 極薄(10~20㎚) 熱酸化膜으로 n^+表面을 덮으므로써 表面 再結合

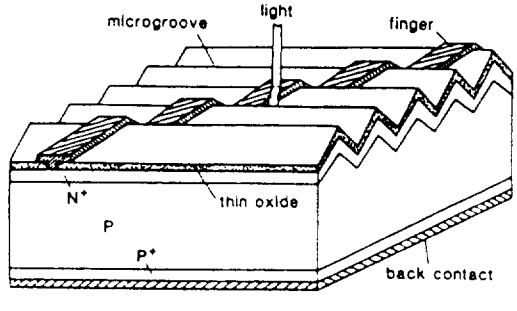

그림 1. 微細溝構造(Micro-groove)를 가진 素子의 概略

速度를 상당히 減少시켜 653mV의 開放電壓을 얻고 있다. R.Wood의 ORNL의 그룹은 不純物 添加를 glow放電으로 하는 새로운 方法을 提案하고 있다.〔2〕 原料가스를 氣象 中에서 分解하여 이온化한 dopant를 低電壓에서 基板에 이온 注入한다. M. Green등은 비교적 간단한 工程에서 高効率을 얻을 수 있는 素子의 製作 工場을 發表하였다.〔3〕 素子構造를 그림 2에 나타낸다. 基本的으로는 表面에 Textured構造를 가진 n^+/p形 構造이다. 레이저光으로는 50μm程度의 溝을 만든 後, n^+擴散을 거쳐 金屬電極을 無電解도금法으로 심어넣는다. 깊은 n^{++}擴散으로 인하여, 電極金屬n^{++}Si界面의 큰 再結合 速度가 逆方向 飽和 電流密度에 미치는 영향이 적다는 特徵이 있다. 表1에 나타낸 素子들은 36~40mA/㎠의 短絡電流를 達成하여 理論植의 80% 以上를 얻고 있다. 今後, 表面 保護막의 改善, Bulk 內 再結合의 低減등에 의해 逆方向 飽和 電流密度가 減少하여, 開放電壓이 增加한다면, 20%를 크게 넘는 効率이 期待되고 있다. 以上, 現在의 單結晶 Si 太陽電池의 最近 進展에 대해 槪略的으로 說明하였다. 製作 工程 및 素子 構造의 改善에 의해 非集光形에서 25%를 넘는 變換効率이 實現 可能하리라 생각된다.

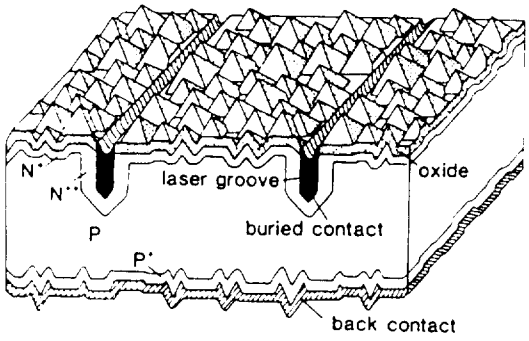

그림 2. Laser 光을 使用하여 形成한 grooved, buried 電極을 가진 素子의 斷面

2.2 多結晶 Bulk-Si 太陽電池

多結晶 Si 太陽電池의 高効率化는, 結晶 ingot의 캐스트技術 改良과 Cell 形成 工程 技術改良의 兩面으로 進行되고 있다.

2.2.1 캐스트技術 改良

多結晶 ingot形成用 도가니로 耐久性 및 價格面에서 有利한 黑鉛製 도가니가 주로 使用되고 있다. 또한 주물時 도가니로 부터 混入되는 不純物을 減少시

표 1. 非集光形 高効率 太陽電池 素子의 動作性能

	Group	素子의 特徵	性能(AM 1.5, 100mW/㎠)			
			Voc (mV)	Isc (mA/㎠)	F F	η (%)
1	UNSW	μ-groove PESC構造 P 形基板 9.2 Ω.cm(7.1圖)	653	40.2	0.829	21.8 (24.2)
2	UNSW	buried contact p 形基板 10Ω.cm(7.2圖)※	634	39.3	0.794	19.8
3	Hitachi	μ-groove PESC P 形基板 0.4Ω~2Ω.cm	647	39.3	0.808	20.5
4	ORNL	GD ion implantation n 形基板 0.3Ω.cm	663	36.2	0.817	19.6
5	JPL	Textured 構造 P 形基板 0.2Ω.cm	660	36.8	9.827	20.1

※0.25~100Ω.cm 基板의 實驗 η=18.7~19.8%

UNSW : University of New South Wales, ORNL : Oak Ridge National Laboratory,
JPL : Jet Propulsion Laboratory

키기 위하여 高純度 세라믹製 도가니를 使用하여 小數 캐리어 擴散長을 增大시킨 例도 있다.[4]

結晶粒經, 結晶粒界 方向, 結晶格子缺陷, 不純物 析出등, 太陽電池의 變換效率에 영향을 미치는 웨이퍼 構造는 結晶의 凝固, 冷却條件에 의하여 크게 변화한다. 아래에서 上部方向으로 S_i 融液을 一方向凝固시키는 方法[5] 이 使用되고 있고, 條件設定에는 컴퓨터 제어 自動 鑄型降下등 다양한 硏究가 행해지고 있다. 또한 주물時 통상적으로 Ar 가스 雰圍氣에서 하고 있지만 가스 壓力을 加壓狀態로 조절하므로써 안정한 操業이 可能하다는 報告도 있다.[4]

2.2.2 Cell 形成 工程 技術改良

非晶質 Si에서 dangling bond의 補償으로 큰 役割을 하고 있는 水素의 效果에 着眼하여 多結晶 Si에서도 水素 passivation의 시도가 연구되어 有用한 成果가 얻어지고 있다. 水素 Plasma나 處理水素이온의 implantation, 水素 가스 中에서의 annealing, Plasma CVD에 의한 SiN膜 形成등이 報告되고 있다. 水素 passivation에 의해 結晶粒內의 電氣特性이 현저하게 改善되어, 初期 特性이 좋지 않은 것 일수록 상당한 效果가 있다.[6] 變換效率은 兩面 SiN膜 Passivation과 微細 그리드 電極의 採用에 의해 10 cm×10cm에서 15.1%,[7] 隣(P)前處理와 全面 SiO_2 코팅 處理함에 따라 2cm×2cm에서 16.0%[8] 등의 報告가 되고 있다. 表2에 最近의 캐스트 Si太陽電池의 變換效率을 나타내었다.

2.3 薄膜및 Sheet狀 結晶 Si 太陽電池

結晶 Si薄膜을 얻는 方法으로서, Fan등은 SiO_2나, Si_3N_4의 絶緣層上에 高品質의 單結晶 薄膜을 얻기 위해 Zone-Melting 法을 使用하고 있다.[9] 또한 溶蝕Si을 세라믹 基板에 接觸시켜, 세라믹이나 스틸 基板上에 20~30μm의 結晶 Si薄膜을 코팅하는 方法[10], 微結晶 CVD 薄膜을 얻는 方法이 있다.[11,12]

現實的으로 太陽電池의 低價化를 위하여는 理想的인 單結晶 薄膜을 얻는 것은 곤란하며, 低品質이지만 多結晶 薄膜은 實現性이 높다. 히야시 등은, 結晶薄膜 太陽電池의 最適設計를 하였다. 現實的으로는 光 裏面反射만을 使用하여 膜의 品質에 의한 擴散距離 L을 고려하여 계산한 결과, Si結晶膜 두께는 5μm 에서 12.5%~15%, 10μm에서 17~18%의 變換效率에 얻어지는 것이 豫測되었다. Barnett등은 低價格 多結晶 薄膜 Si太陽電池의 現實化를 進行시키고 있다.[13,14] Call의 製作方法은 아직 明確하게 밝혀지고 있지는 않으나, 스틸 基板 위에 20~30 μm의 두께의 多結晶 Si 薄膜을 製作 (Si 溶液으로부터 成長등)하고 있다. P形 Si층에 擴散, 혹은 形層의 成長으로 接合을 形成하고 있다. 그러한 結晶薄膜을 使用하여 0.1㎠의 小面積에서 12.4의 變換效率을 얻고 있다(Si의 두께는 100~200μm). 이러한 方法을 利用하면 17%도 期待되어 高安定性 低價格의 薄膜 太陽電池가 實現될 可能性이 높다. Non-Slice로 sheet狀 Si基板을 얻는 方法으로서 代表的으로 리본인상法과 스핀法이 있다. 리본으로 現在 硏究開發 中인 것은 WEB과 EFG가 있다.

最近의 報告에 의하면, 前者에서 80~100μm의 리본이 얻어지는 特徵을 利用하여 바이페이셜 太陽電池가 製作되고 있다. 50Ω.cm의 高抵抗率 基板에서 14~15%의 變換效率을 얻고 있으나, 面積은 4㎠이다. 또한 140μm의 두께로 SiO_2 passivation막을 處理한 것은 16% 以上의 變換效率이 얻어지고 있다.

표 2. 最近의 캐스트 Si 太陽電池의 性能

	GROUP名	素 子 의 特 徵	性 能 (AM 1.5, 100mW/㎠)
1	UNSW		16.6% (4㎠)
2	Sharp	SiO_2 passivation, BSF, 微細電極	15.3% (100㎠)
3	KYOCERA	兩面 SiN Passivation, BSF, 微細電極	15.1% (100㎠)
4	日 立	水素 implantation passivation BSF, 微細電極	15.1% (100㎠)
5	Solarex	(一方向 凝固法 캐스트)	14 % (100㎠)

〔15〕 EFG방식으로는 最近 10cm폭의 8面體 리본을 2 m의 길이로 인상하는데 成功하고 있다. 파이롯트프랜트에서 인상한 리본은 平均 13%의 變換効率이 얻어지고 있으나, 가끔 15%에 달하는 것도 있다.〔16〕 스핀 法 Si Sheet에서는 現在 1분当 1 Sheet의 製造速度가 얻어지고 있다. 1몰드에서 1 Sheet를 製作할 수 있는 몰드모듈을 使用하여, 이것이 連速的으로 흘러가는 工程에 의해 이러한 製造速度가 얻어졌다. 이러한 個別 몰드 方式은 取扱이 간단하고 裝置도 콤팩트化 되는 利點을 갖고 있다. 結晶成長을 제어함으로써 덴드라이트狀의 決定粒을 가진 Sheet를 形成할 수 있어 變換効率 11% 以上을 얻고 있다.〔17〕

3. 非晶質 실리콘 太陽電池의 現況

3.1 非晶質 실리콘 太陽電池의 特徵

太陽電池가 商用電源으로서 기존의 에너지源과 競合할 수 있기 위해서는 모듈 價格이 500~1000원/Wp精度가 되어야만 한다. 또한 100萬kW程度의 發電規模를 假定하면 1m×10,000km程度의 受光面積의 모듈을 製造해야 한다. 따라서 低價太陽電池 工程이고 量産性이 좋으며 또한 풍부한 材料를 利用할수 있어야 하는 것이 要求된다. 이러한 관점에서 非晶質 실리콘(a-Si)太陽電池는 以下의 特徵을 가지고 있다.

(1) 薄膜形 太陽電池

a-Si:H는 物理的 特性에 있어서 單決定 Si과는 性質이 전혀 다르다. a-Si:H의 吸收계수는 可視光域에서 結晶 Si보다 約 10倍높으며, 光電變換에 必要한 두께가 불과 1μm程度이다. 따라서 Si의 使用량은 結晶系 太陽電池에 比해 상당히 작은 量으로도 충분하다. 一例로 Si_2H_4 가스로 變換効率 10%의 太陽電池를 100萬kW 製造하기 위해 必要한 Si의 使用量은 불과 100톤 前後이다.

(2) 低價化가 容易한 工程

非晶質 太陽電池는 通常 250℃ 程度의 溫度에서 膜을 形成하므로 製造에 必要한 電力消耗가 작다. CZ法이나 캐스트 法등과 같은 Si을 녹이는 工程이 없으므로 本質的으로 低價化가 可能하다. 또한 1枚의 大面積 유리板 위에 直接, 集積形 太陽電池를 形成할 수 있으므로 모듈化에 必要한 工程를 간단化할 수 있다. 또한 a-Si:H太陽電池는 膜形成으로 부터 集積化 모듈化 까지의 1貫連速 製造가 可能하다.

(3) 基板 材料의 選擇性

a-Si:H 太陽電池는 유리이든 金屬이든 膜形成 溫度(250℃)에 견딜 수 있는 材料라면 어떤 基板上에서도 形成 可能하다. 따라서 스텐레스 薄板이나 高分子膜등의 유연한 基板을 使用할 수 있다. 프렉시블 基板을 使用한 太陽電池는 輕量으로, 가지고 다닐 수 있는 電源에의 應用이 期待되고 있다.

(4) 풍부한 資源

現在 太陽電池에 使用되는 材料에 있어서 실리콘 以外의 材料系에서는 資源的 制約의 問題가 크며, 실리콘系 太陽電池는 풍부한 資源을 바탕으로 低價化, 大量生産이 可能하다. 以上과 같이 a-Si:H 太陽電池는 低價化, 高量産性 太陽電池로써 많은 特徵을 가지고 있고, 이미 民生用 機器 電源으로서 實用化되고 있으나, 電力用 太陽電池의 관점에서는 아직 實用化하기 위하여는 많은 課題를 안고 있다. 이러한 問題는 變換効率의 向上, 安定性의 向上, 低價化 工程의 確立 등이 있다.

3.2 非晶質 실리콘 太陽電池의 高効率化

3.2.1 pin 形 Single Cell 構造

非晶質 실리콘 太陽電池에 使用되는 接合構造로서 初期에는 pn接合이나 白金을 利用한 쇼트키 接合이 檢討되었으나, 太陽電池 性能이나 安定性, 將來의 價格등을 고려하여 現在는 pin接合 構造를 가지는 太陽電池가 實用化되어, 硏究도 이러한 構造를 中心

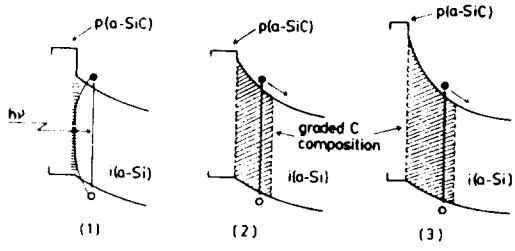

그림 3. pin 形 太陽電池의 p層과 i層을 中心으로한 밴드다이어그램
(1), p(a-SiC)/i(a-Si)構造
(2), (3), p(a-SiC)/graded C buffer/i(a-Si)

으로 進行되고 있다. 太陽電池의 高効率化는 太陽電池를 構成하는 各 要素, 즉 基板이나 透明電極, pin 半導體層, 背面電極의 各 層의 最適化와 이러한 各 層間의 接合狀態의 最適化에 의해 達成되고 있다. 그림 3에 太陽電池 特性의 中心的 役割을 하고 있는 pin形에 있어서 p 層과 i層을 中心으로한 밴드다이어그램을 나타내고 있다. 이러한 各 層의 가운데 窓層인 P層과 電子正孔對發生의 中心이 되는 i層 또한 p/i의 接合界面은 특히 重要하다. P層은 光透過量을 增加 시키기 위해 Wide bandgap化가 檢討되어 a-Sic의 採用에 의해 상당한 効率 改善이 있었다. 또한 a-SiC의 膜質및 導電率을 改善하기 위해 B$(CH_3)_3$등의 dopant의 檢討,〔19〕 H_2 稀釋,〔20〕 ECR-CVD法에 의한 P形 微結晶 a-SiC層의 採用〔21〕 등에 의해 効率이 改善 되어오고 있다. P層의 새로운 硏究는 超格子 構造의 採用〔22〕및 Delta-doped p 層〔23〕을 들수 있다.

光 CVD法에 의해 製作된 超格子 構造 P 層 및 原子層 程度로 形成한 B層과 a-SiC層으로 形成된 Delta-doped P 層의 採用 C로 인해, 各各 11.2%및 11.5%의 太陽電池 特性이 얻어지고 있다.

i層에 관한 高効率化의 시도로는 우선 膜의 高品質化로서 三室分離 形成法에 의한 Cross-Contamination의 減少, 超高眞空 裝置의 採用에 의한 N,O등의 不純物 濃度減少가 나타났고, 또한 Tandem構造에 使用하기 위한 Narrow및 Wide Bandgap材料를 使

표 3. pin形 非晶質 Si Single cell의 特性

小面積(1㎠ 程度)

硏究 機關	Voc(V)	Jsc(mA/㎠)	F F	η(%)	A(㎠)	비 고
大 阪 大	0.967	17.7	0.703	12.0	0.033	ECR p 層
三井東壓	0.872	18.3	0.752	12.0	0.09	p 超格子構造, i/n界面
SEL/TDK	0.850	19.0	0.742	12.0	1.05	
Solarex	0.891	19.13	0.701	11.95	0.255	p/i界面
E C D	0.95	17.8	0.72	11.8	1.0	SUS, a-Si:H:F
三 洋	0.915	18.1	0.702	11.7	1.0	Super Chamber
富 士	0.886	17.6	0.74	11.5	1.0	
東 工 大	0.882	18.1	0.702	11.2	0.09	光 CVD
日 立	0.82	18.8	0.73	11.2	0.0314	
鐘 化	0.86	21.5	0.595	11.0	1.0	

大面積(1,000㎠ 以上)

硏究 機關	Voc (V)	Jsc (mA/㎠)	F F	η(%)	Pmax (W)	A (㎠)	비 고
Solarex	5.85	0.448	0.69	7.9 (10.2)	8.0	1,006	12"X13"
富 士	8.95	0.351	0.711	8.1 (9.7)	9.71	1,200	30×40 ㎠
帝 人	-	-	-	5.5	6.6	1,200	PET 20×60 ㎠
ARCO Solar	3.88	0.953	0.60	8.5	13.6	1,600	40×40㎠
Chronar	3.4	0.18	0.61	6.4	16.8	2,633	
ARCO Solar	4	0.21	0.68	7.8	36.75	4,702	

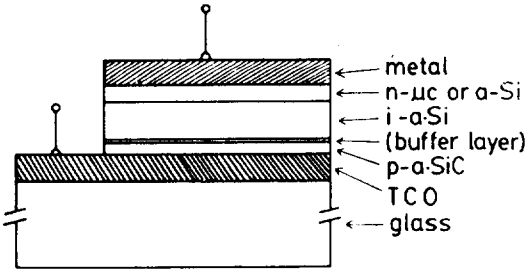

그림 4. pin形 太陽電池의 構造

用한 i層도 檢討되고 있다.

P/i界面을 改善함으로서 效率을 向上시키는 硏究도 檢討되고 있다. Buffer層의 導入[24], a-SiC Graded Bandgap層의 導入에 의한 界面準位의 減少, 光 CVD法에 의한 ion damage의 減少, 低파워, 低成長速度에 의한 界面의 改善[25]도 硏究되고 있다.

a-Si層 以外의 構成要素도 效率改善에 重要하다. 透明電極으로서는 ITO膜보다 SnO_2 膜에서 높은 效率이 얻어지고 있고, 表面粒徑이 큰 透明電極을 使用하여 光의 效率的 利用이 效率改善에 有效하다는 것이 밝혀지고있다. 또한 背面電極도 高反射率化, 및 背面電極層과 s-Si層과의 擴散防止, 信賴性 向上 등을 目的으로 하여 Al, Ag, Ti, TiO_2, ITO등의 많은 材料와 또한 그러한 材料들의 組合이 檢討되고 있다. 그림 4에 非晶質 Si single cell의 構造를 나타내었고, 또한 表 3에 지금까지 說明한 各種 高效率化의 方法을 組合해서 얻어진 主要한 硏究機關에 의한 pin形 single構造에 의한 太陽電池의 性能을 나타내고 있다.

3.2.2 Tandem 構造 Cell

Tandem 構造 Cell은 複數의 Unit Cell을 적층하여 直列로 接續한 것으로 그 目標는 넓은 波長 領域에 걸쳐 太陽光 스펙트럼을 各各의 Cell에서 順次로 有效하게 吸收하므로써 高效率化를 도모하는 方法이다. 그림 5에 2層및 3層 tandem cell의 構造를 나타내고 있다. Tandem cell의 理論變換 效率은 single cell의 ~15%에 비해 三層 Tamdem Cell이 19~24%의 높은 값이 計算되어지고 있다. 또한 Tandem Cell은 光劣化의 面에서도 single cell보다 유리하다는 것이 밝혀지고 있다.

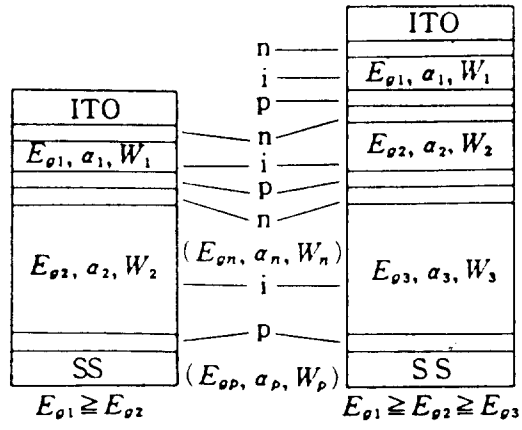

그림 5. 2層 및 3層 tandem cell의 構造
(a) 2層 tandem cell
(b) 3層 tandem cell

Tandem Cell에서의 高效率化를 도모하기 위한 주된 점은 다음과 같다.

(1) 短波長 光에너지의 有效利用

(2) 長波長 光을 有效하게 利用하기 위한 低 Bandgap 材料의 高品質化

(3) p^+/n^+ 接合部에서의 電壓損失및 光吸收 損失의 減少

現在 高效率 非晶質 실리콘 太陽電池로서 가장 可能性있는 三層構造 Cell에 있어서 低 Bandgap 材料의 高品質化가 cell의 高效率化의 最大의 課題이다. 長波長光을 더욱 有效하게 利用하기 위해서는 보다 좁은 Bandgap材料의 高品質化를 進行할 必要가 있다.

最近 a-SiGe 膜의 膜質向上으로서 水素稀釋法, 트라이오드法 및 ECR法등 다양한 膜製作技術이 改良되어지고 있고 1.5 eV보다 좁은 Bandgap에 있어서도 뛰어난 光電特性을 나타내고 있다. Bandgap이 1.48 eV의 a-SiGe을 使用한 Cell의 p/i, n/i界面에 Buffer層을 넣어, 長波長光에 대한 收集效率을 높인 結果 스텐레스 基板 上에 10㎝ 角三層 Cell에서 10.8%(實効效率 9.45%)의 變換効率이 얻어지고 있다.[26] Tandem Cell 中의 p^+/n^+接合部의 特性에 관해서는 아직 충분한 檢討가 되어있지는 않으나, p^+혹은 n^+層의 어느 한 層에 微結晶 Si膜을 使用하므로써 ohmic 接合特性이 얻어지는 報告가 있었다.

水素系 a-SiGe膜을 使用한 Tandem Cell의 效率은 現在 10~11% 程度이고, a-SiGe膜의 低 Bandgap

化 및 膜質向上, Wide Bandgap材料의 膜質向上등에 의해 더욱더 効率改善이 期待되어진다. 또한 非晶質 실리콘과 多結晶 실리콘에 의한 Tandem Cell, 非晶質 실리콘과 $CuInSe_2$에 의한 Tandem cell의 硏究가 행해지고 있고, 各各 13%〔27〕, 13.7%〔28〕의 變換効率이 얻어지고 있다.

3.3 低價化 量産技術

非晶質 실리콘 太陽電池는 原料로 가스를 使用하므로 使用材料가 적은 薄膜이며 對面積化가 比較的 容易하다는 등의 特徵을 가지기 때문에 低價化 太陽電池에 適合한 太陽電池이다. 太陽電池의 低價化에는 變換効率의 向上이 必須條件이므로 非晶質 실리콘 太陽電池일지라도 高効率化가 硏究되어지고 있다. 그러나 現狀은 다른 太陽電池와 比較해서 効率이 좋은 狀況은 아니고 光劣化의 問題와 더불어 많은 노력이 要求된다. 또한 低價化의 다른 硏究方向으로서는 高速製膜, 大面積化, 連速 自動化 工程등의 製造技術의 開發을 들 수 있다.

3.3.1 高速製膜

Si_2H_6를 使用하여 a-Si膜을 高速에서 製作할 수 있다. 이러한 高速製膜法을 太陽電池의 i層에 適用하여 13Å/s에서 9.52%의 變換効率이 얻어지고 있다. 또한 SiH_4를 使用하여도 plasma를 磁界나 電界로 콘트롤하거나 Hot-wall에서 Plasma를 가둬서 發生시키는 方法등에 의해 15Å/s의 製膜速度에서 各各 7.55%(10cm×10cm, total area), 10.3%(2㎜ ϕ)의 變換効率이 얻어지고 있다.

3.3.2 大面積化

非晶質 실리콘 太陽電池의 生産性 向上을 위하여 基板의 크기가 점점 커지고 있다. 大面積化가 이루어지고 있고 現在는 40cm×120cm의 모듈이 製作되고 있다. 大面積化함에 따라 小面積에 비해 効率이 低下되고 있으나 이러한 低下의 原因은 價格을 고려한 裏面電極의 採用(1㎠ Cell에서는 ITO/Ag인데 비해 1200㎠ Cell에서는 Aℓ), 價格과 Yield를 고려한 SnO_2 基板의 採用, 集積化에 필요한 面積損失등이 있다. 今後 이러한 低下要因은 改選될 것이라고 생각된다.

3.3.3 Cell 製造 工程 技術

電力用 太陽電池의 價格에 對한 要求水準은 民生用 太陽電池에 比해 엄격하고, 보다 高度의 量産技術이 必要하게 된다. 非晶質 실리콘의 製造裝置에도 高度의 生産性을 追求하기 위해 各種의 製造方式이 提案되고 있다. 유리 基板등의 單板狀 基板의 製造에 주로 使用되는 In-line方式과 高分子 필름이나 얇은 스텐레스를 등의 Flexible基板의 製造法으로 쓰이는 Roll to roll方式으로 나뉘어져 In-line方式은 또한 基板 水平配置方式과 垂直配置方式으로 分類된다. In-line方式의 生産性을 改善하는 目的으로 基板垂直

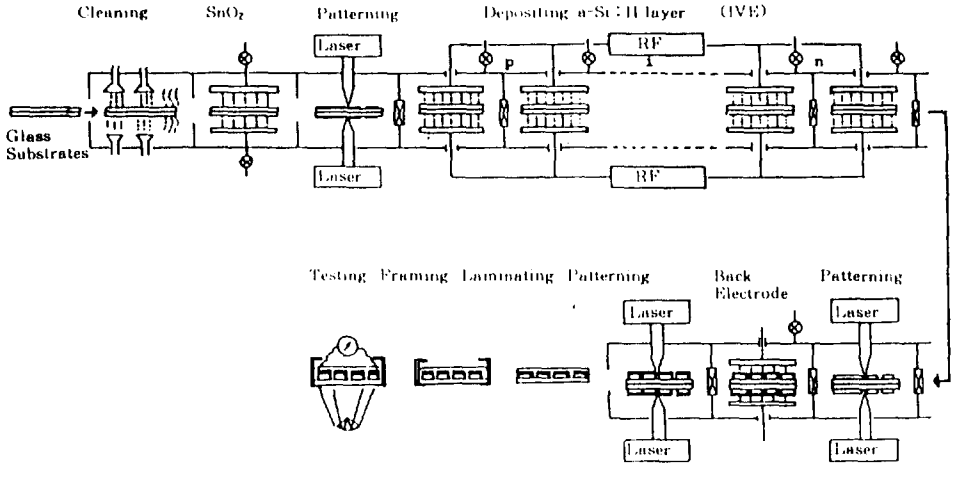

그림 6. Laser patterning法을 使用한 多面積 非晶質 Si 太陽電池의 製造工程

표 4. 실리콘系 太陽電池의 變換効率의 現狀과 將來 豫測

	構造	現狀	將來豫測	技術課題
非晶質	· a-Si single cell			· a-Si의 高品質化
	小面積(~1㎠)	* 12	14~15	· 光劣化의 防止
	大面積(30cm×40cm)	8~9	10~12	· 低 Cost 量産技術 確立
	· a-Si/a-Si 二層 Tandem			· 効率 向上
	小面積(~1㎠)	*10.6	13~14	· 信賴性 向上
	· a-Si/a-Si/a-SiGe 三層 Tandem			a-Sige, a-SiC의 高品質化
	小面積(~1㎠)	*13.3	16~18	· 高速 膜堆積技術
	大面積(10cm×10cm)	9.5	13~15	· 信賴性向上
結晶質	· 單結晶 Si			· 超高効率化
	小面積, 研究 Level (0.1~4㎠)	21~22	~25	
	4"ϕ, 生産 Level	15~18	~20	
	40cm×120cm Module, 生産 Level	13~15	~18	
	· 多結晶 Si(Cast), 10cm角	15.3	18~20	

*: 眞性 効率

配置방식이 提案되었다. 連續一貫生産에 必要한 patterning法으로서는 레이저를 使用한 方法이 開發되고 있다. 그림 6에는 Laser patterning法을 使用한 非晶質 Si太陽電池의 製造工程을 槪略的으로 나타내었다.

이러한 레이저 方式에서는 基本的으로 基板 크기의 제약이 없어짐으로 大面積 基板의 處理가 可能하여 大面積 모듈의 경우에 유리한 面이 있다. 또한 精度가 좋은 高密度의 patterning이 可能하여 모듈의 有効面積이 增加하여 出力이 向上된다. 다른 長點으로서는 集積形 非晶質 실리콘 太陽電池의 形成 工程에 있어서 工程이 大幅 간략화 할 수 있어 低價化가 可能하다. 특히 레이저 patterning에 의해 完全 드라이 工程가 實現되어 Wet處理에 의한 핀홀의 發生을 防止할 수 있고, 透明電極의 形成으로부터 裏面電極의 patterning까지 集積形 非晶質 실리콘 太陽電池의 連速 一貫生이 可能하여 非晶質 실리콘 太陽電池의 工業化의 관점에서 주목받고 있다.

4. 실리콘 系 太陽電池의 展望

表4에 Si系 太陽電池의 現在의 特性과 將來 達成可能한 豫測値를 나타내고 있다. 이러한 目標値가 達成되기 위하여 아직도 많은 技術課題가 산적해 있다. 例를 들어 非晶質 Si系에서는 a-Si, a-SiGe, a-SiC등의 高品質化, 高信賴化, 또한 低價化 工程의 開發등이 重要課題이다. 現 段階에서는 將來 어떤 材料系가 主流가 될지는 豫測곤란하나, 太陽光發電을 위하여는 大面積(100萬 kW에서 約 $10^7 m^2$)이 必要하므로 될 수 있는 데로 單純한 構造로 材料使用量이 적은 太陽電池가 有望하다고 본다.

太陽電池 價格이 2500원/w정도에서는 高効率, 高信賴性의 觀點에서 單結晶 및 多結晶 Si太陽電池가 多用될 것이라고 생각된다. 非晶質 Si太陽電池는 本格的으로 電力用으로 使用될 時期는 生産量이 증가하고 價格面에서도 結晶系 보다도 충분히 낮아진 以後라 생각된다. 今世紀 末에는 効率, 信賴性, 量産技術등의 課題가 解決되어 非晶質 Si太陽電池가 本格的인 需要期를 맞을 것이라 期待되어진다.

참 고 문 헌

[1] M.A.Green, et al.: IEEE Elect. Device Lett., EDL-7, No. 10, 583 (1986)

[2] R.F.Wood, et al.: The Conference Record of the 19th IEEE Photovoltaic Specialists Conference New Orleans USA, 519 (1987)

[3] M.A.Green: Technical Digest of the International PVSEC-3, 153, Tokyo (1987)

[4] J.H.Wohlgemuth, et al. : Technical Digest of Int'l, PVSEC-3, 93 (1987)
[5] E.Sirtl : Proc. 4th Ec Photovol, Solar Energy Conf., 858, D.Reidel Publ. Co. (1982)
[6] K.Noguchi, et al. : Jpn. J.Appl. Phys., 21, 39 (1982)
[7] K.Shirasawa, et al. : Technical Digest of Int'l, PVXEC-3, 97 (1987)
[8] S.Narayanan, et al. : Appl. Phys. Lett., 48, 873 (1986)
[9] J.C.C.Fan, et al. : Appl. Phys. Lett., 38, 365 (1981)
[10] J.D.Zook, et al. : J.Crystal Growth, 50, 260 (1980)
[11] T.L.Chu, et al. : Solid-State Electronics, 21, 781 (1978)
[12] A.Emmanuel, et al. : J.Electrochem. Soc., 120, 1586 (1973)
[13] A.M.,Barnett, et al. : Proc. 18th IEEE PVSC, 1094 (1985)
[14] A.M.Barnett, et al. : proc. 7th EC PVSEC, 836 (1986)
[15] D.L.Meier, et al. : Proc. 19th IEEE PVSC, 506 (1987)
[16] F.U.Wald : Proc. 19th IEEE PVSC, 514 (1987)
[17] T.Matsuyama, et al. : Proc. 19th IEEE PVSC, 738 (1987)
[18] Y.Tawada, et al. : Appl. Phys. Lett., 39, No. 3, 1(Aug. 1981)
[19] S.Tsuda, et al. : Jpn. J.Appl. Phys., 26 (1987) 33
[20] A.Matsuda, et al. : J.Appl. Phys., 54, No. 6, 3106 (1983)
[21] Y.Hattroi, et al. : Proc. of the 19th IEEE Photoyoltaic Specialist conf., 689 (1897)
[22] S.Nakano, et al. : proc. of the 19th IEEE Photovoltaic Specialist Conf., 687 (1987)
[23] M.Konagai, et al. : 4th PVSEC (1989)
[24] K.S.Lim, et al. : J.Appl. Phys. 56, No. 2, 538(July 1984)
[25] W.S.Kim, et al. : J. Appl. Phys. 61(8), 3071 (1987)
[26] T.Ishihara, et al. : Proc. Int. PVSEC-3, 713 (Tokyo, 1987)
[27] Y.Hamakawa, et al. : MRS Proc., 70, 481
[28] K.Mitchell, et al. : Pro. Int. PVSEC-3, 443 (Tokyo, 1987)