

太陽電池의 最近 研究 開發 動向

Current Status of Solar Cell Research and Development

崔炳浩* 尹慶勳* 宋鎮洙*
Byung-Ho Choi Kyung-Hoon Yoon Jin-Soo Song

ABSTRACT

Thick films based on the mature crystalline silicon technology are expected to exhibit ever smaller cost reduction. The thin-film-based technology is, however, expected to exhibit a much sharper drop in cost as it develops.

In this report, technology and recent R & D of thin film solar cell, such as amorphous silicon, cadmium telluride, copper indium diselenide and gallium arsenide, are described.

Perspectives of world photovoltaic market and solar cell price are also described.

1. 序 論

最近의 油價下落으로 太陽電池 및 PV(photo-voltaics) 技術利用이 침체되리란 一般의 豫想은 빛나가고 있다. 특히 非晶質硅素 太陽電池가 1980年 처음 商品化된 이후 계속적으로 PV市場은 성장하고 있으며, 1987年 太陽電池 價格이 피크와트당 약 \$5로 下落하였고, 1995年경에는 原子力發電시스템은 점차 減少하고, PV技術利用이 가장 各광을 받는 에너지로 登場할 것으로 豫見하였다.

世界的으로 技術開發과 應用이 가장 치열한 半導體 및 新素材 産業의 획기적인 開發에 힘입어 太陽電池 및 PV産業 또한 低價, 高效率의 太陽電池 開發에 힘을 기울이고 있다.

本告에서는 最近 低價, 高效率 太陽電池 研究開發이 活潑한 非晶質硅素 太陽電池, CdTe

太陽電池, CuInSe₂ 太陽電池 및 GaAs 太陽電池에 關한 新技術과 製造工程 및 제반 技術的인 內容을 分析하였다.

2. 各種 太陽電池의 研究動向

2.1 非晶質硅素 太陽電池

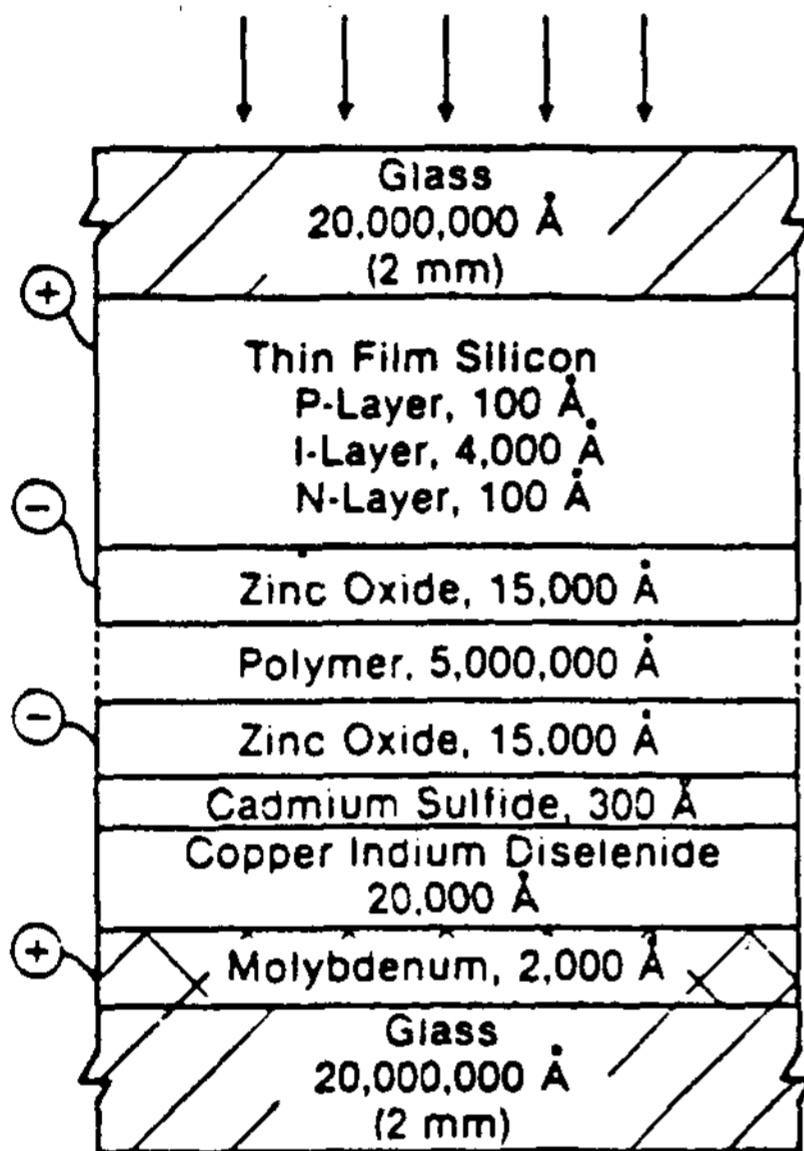
非晶質硅素 太陽電池 (amorphous silicon solar cell : a-Si) 는 1969年 Chittick 등에 의해 처음 수소화된 非晶質硅素 (hydrogenated amorphous silicon : a-Si : H)에 關한 研究가 發表된 이후 1976年 Spear 등에 의해 pn 接合을 形成하였으며 그 후에 a-Si : H에 關한 研究가 활발히 계속되었다. 太陽電池로 應用된 것은 美國의 RCA에서 開發되었으며 接合배열방식은 pn, pin 및 Schottky 형 등으로 구분되나 주로 pin 형이 主流이다.

a-Si 太陽電池의 特性은 接合의 배열방식에 따라 달라진다. 주로 薄膜蒸着法으로 製造되어

* 正會員 : 韓國動力資源研究所

多層構造(tandem structure)가 가능하므로 다양한 구조를 갖는 a-Si 太陽電池가 많이 개발되었다.

最近의 研究 動向으로 太陽電池 最大 生産業體인 美國의 ARCO社는 多層構造의 a-Si 太陽電池를 開發하여 1988 ~ 1990 年 사이에 單結晶硅素 (crystalline silicon: c-Si) 太陽



[그림 1] 非晶質硅素 太陽電池의 多層構造

< 表 1 > a-Si 太陽電池의 研究結果

| Company | V _{oc} mV | J _{sc} mA/cm ² | FF % | Eff. % | Area cm ² | Special Note |
|------------------|--------------------|------------------------------------|------|--------|----------------------|--------------------|
| Mitsui-Toatsu | 872 | 18.3 | 75.2 | 12.0 | 0.090 | Dialane |
| SEL-TDK | 850 | 19.0 | 74.2 | 12.0 | 1.050 | |
| Solarix | 891 | 19.1 | 70.1 | 11.9 | 0.260 | |
| Osaka University | 970 | 17.8 | 68.9 | 11.9 | 0.030 | ECR-CVD P(SiC) |
| ECD | 950 | 17.8 | 70.0 | 11.8 | 1.000 | SS, a-Si:H:F |
| Sanyo | 915 | 18.1 | 70.2 | 11.7 | 1.000 | Photo-CVD P(SiC) |
| Fuji | 886 | 17.6 | 74.0 | 11.5 | 1.000 | |
| TTT | 882 | 18.1 | 70.2 | 11.2 | 0.090 | Photo-CVD |
| Kanegafuchi | 860 | 21.5 | 59.5 | 11.0 | 1.000 | |
| Chronar | 879 | 17.2 | 71.5 | 10.8 | 0.080 | |
| Komatsu | 840 | 18.8 | 68.0 | 10.7 | 0.032 | |
| ARCO Solar | 856 | 16.8 | 73.3 | 10.6 | 3.900 | Back-contact, ZnO |
| Glastech Solar | 825 | 17.9 | 71.7 | 10.6 | 0.080 | |
| Spire | 879 | 16.5 | 72.3 | 10.5 | 0.100 | |
| Taiyo Yuden/ETL | 802 | 22.3 | 57.3 | 10.3 | 0.045 | |
| RCA | 840 | 17.8 | 67.6 | 10.1 | 1.100 | |
| Kyocera | 866 | 18.0 | 65.0 | 10.1 | 0.030 | |
| Siemens | 905 | 17.0 | 66.0 | 10.1 | 0.060 | |
| IEC | 862 | 17.6 | 65.8 | 10.0 | 0.280 | Photo-CVD |
| Hitachi | 852 | 18.2 | 64.8 | 10.0 | 0.030 | Dialane, 15-20 A/s |
| Tosca | 830 | 17.6 | 68.4 | 10.0 | 1.000 | |
| Matsushita | 870 | 17.4 | 66.2 | 10.0 | — | 3.9 A/s |

V_{oc} stands for open-circuit voltage. J_{sc} stands for short-circuit current. ECR-CVD refers to a electron cyclotron resonance chemical vapor deposition. P(SiC) stands for silicon-carbon in the p-layer. SS, a-Si:H:F refers to stainless steel substrate with silicon-hydrogen-fluoride. Photo-CVD is photochemical vapor deposition. ZnO is zinc-oxide. A/s stands for angstroms per second.

電池 生産시설을 a-Si 太陽電池 生産시설로 全面 바꾸는 계획을 이미 세웠다.¹⁾ 開發된 多層構造의 太陽電池의 特性은 上段 接合은 a-Si이며, 下段 接合은 CuInSe₂ 層으로, 入射되는 光을 에너지영역이 서로 다른 두곳에서 吸收하여 太陽光의 全波長을 골고루 吸收하는 利點이 있다.

이러한 多層構造는 [그림 1]과 같다.

< 表 1 >은 最近 發表된 研究結果이다.²⁾

結論적으로 a-Si 太陽電池는 앞으로 多層構造에 대한 研究가 活潑히 전개될 것이며 특히 에너지 갭이 서로 다른 接合을 形成, 배열시켜 太陽光의 吸收領域을 增加시키며, 그 結果 a-Si 太陽電池의 가장 淸약적인 效率增加를 위한 研究가 계속될 것으로 豫想된다.

2.2 CdTe 太陽電池

CdTe 太陽電池는 CdTe 에너지 갭이 1.44 eV로, 光吸收係數가 크고, 直接遷移帶이므로 薄膜型 太陽電池에 適合하다.³⁾ 그러나, 光吸收係數가 큰 CdTe는 同種 接合 (homojunction) 太陽電池인 경우 빛이 入射할 때 生成되는 캐리어 (carrier) 들은 거의 表面에 依存하여 再結合을 촉진하므로 效率의 低下를 유발하므로 에너지 갭이 큰 CdS, ITO(indium tin oxide) 등을 光透過層으로 利用한 異種接合 (heterojunction) 太陽電池가 주로 研究되고 있다.

最近 美國의 Ametek社에서 發表한 CdTe 太陽電池는 지금까지 발표한 效率中 最高인 11%이었다.⁴⁾ 이러한 太陽電池의 構造는 Glass/SnO₂/CdS/CdTe/ZnTe/Metal이며, CdTe는 電解法 (electrodeposition) 으로 製造하였으며, 이러한 工法은 현재 특허출원중이다.

여기서 CdS는 n型, CdTe는 i형, ZnTe는 p型으로 n-i-p構造이며, 이러한 構造는 CdTe 太陽電池에서 發生되는 汚損接觸의 劣化 (degradation) 現象을 줄이는 것이 主目的이다.

Ametek社에 의하면 露光下에서 3,000시간 동안 劣化現象이 없으며, 앞으로 3" x 6" 크기의 모듈(module)化를 계획 중이다.

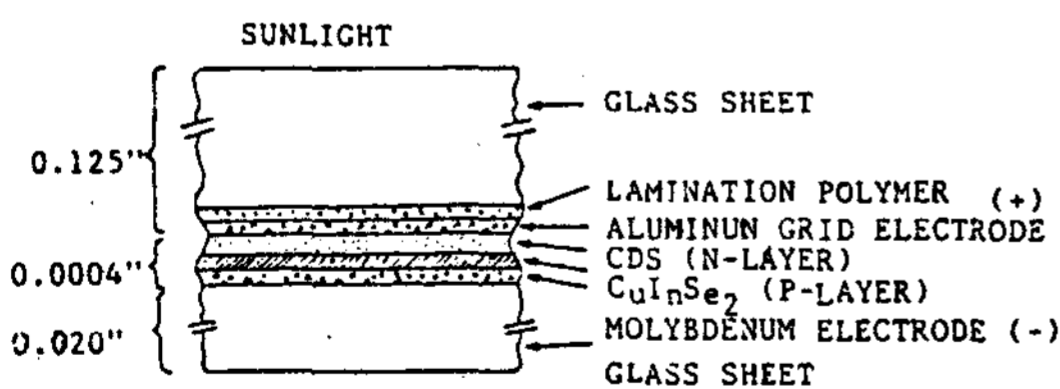
2.3 CuInSe₂ 太陽電池

CuInSe₂ 太陽電池는 CuInSe₂가 에너지 갭이 1.04 eV이며 異種接合이 特히 적합한 것으로 평가되고 있다. 또한 直接遷移帶이며 도우펀트(dopant)를 注入하므로 n형이나 p형을 쉽게 제조할 수 있다.

CuInSe₂와 CdS는 lattice mismatch가 1.2%인 이상적인 異種接合體로 太陽電池 용에 많이 應用되어 왔다.

最近 美國의 Boeing Aerospace社는 CuInSe₂ 薄膜型 太陽電池의 最高 效率이 9.6% (面積 91 cm²)이며 지금까지 發表한 最高 效率 6% (面積 91 cm²)보다 무려 60% 增加를 보였다.⁵⁾ [그림 2]는 CdS/CuInSe₂ 薄膜型 太陽電池의 構造이다.

CuInSe₂ 太陽電池 또한 a-Si 太陽電池와 같이 多層構造에 대한 研究가 活潑히 進行되고 있다. 이미 언급하였듯이 美國의 ARCO社등에 의해 a-Si/CuInSe₂ 構造등에 관한 研究가 계속 進行될 展望이다.



[그림 2] Boeing Aerospace社의 CdS / CuInSe₂ 薄膜型 太陽電池의 構造

2.4 GaAs 太陽電池

GaAs 太陽電池는 GaAs가 에너지 갭이 1.43 eV이며, 直接遷移帶를 갖는다. Bulk GaAs 太陽電池는 pn 同種接合에 관한 研究가 계속되어 왔으며 10¹⁷ cm⁻³로 도우핑된 單結晶 pn 接合이었다. 接合을 形成하기 위해 Zn

나 Cd를 약 1 μm 깊이로 擴散시키거나 얇은 接合 즉 0.25 ~ 0.5 μm 接合을 形成하였으며 效率이 12%이었다.

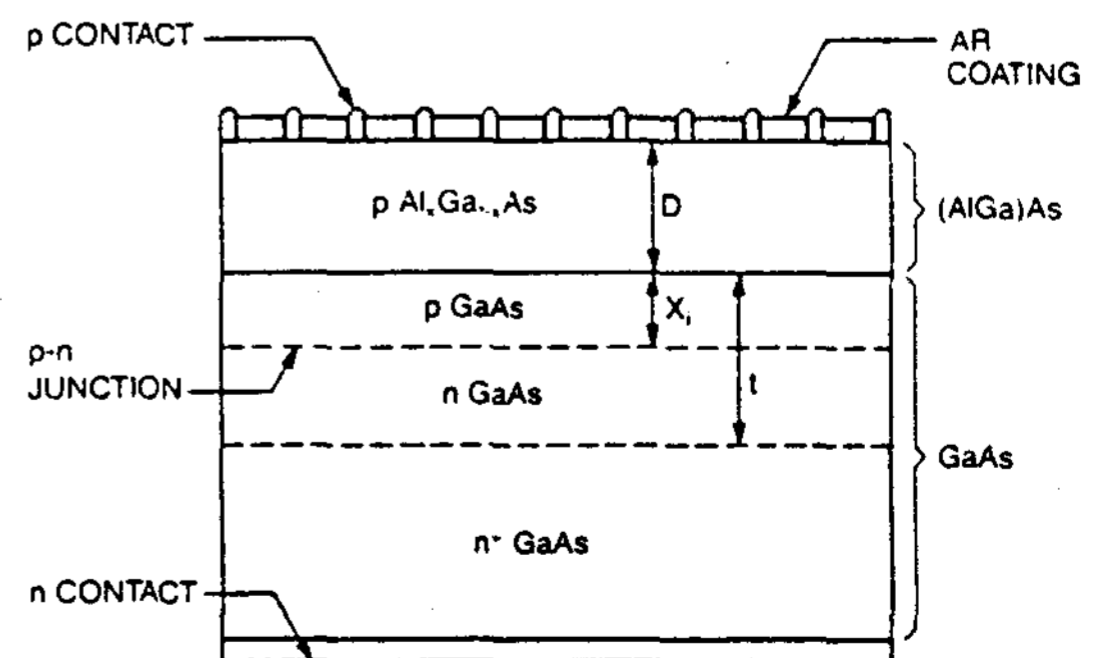
Ga_{1-x}Al_xAs/p-GaAs heteroface, p-Ga_{1-x}Al_xAs/n-GaAs 異種接合이나 Schottky barrier MIS 型的 太陽電池에 관한 研究가 계속되어 왔으나 GaAs가 價格이 너무 비싸기 때문에 薄膜型 太陽電池로 전환되고 있다.

最近 美國의 Spire社에 의해 開發된 GaAs 薄膜型 太陽電池의 效率은 22.2%이며 SERI에 의해 效率이 立證되어 주목을 받고 있다. 이 效率은 GaAs 太陽電池 效率中에 가장 높은 것으로 評價되고 있지만 工程에 관한 技術的인 內容에 관해서는 發表되지 않았다.

Spectrolab社는 liquid epitaxial growth 法으로 GaAs 層을 形成하는 製造工程을 開發하고 20,000 개 (2 cm x 2 cm) GaAs 太陽電池의 生産설비를 完成하였다.⁶⁾

[그림 3]은 Spectrolab社에 의해 開發한 GaAs 太陽電池의 構造이다. 앞으로는 GaAs 薄膜型 太陽電池, (AlGa)As 太陽電池, 多層 GaAs/Si 集光型 太陽電池 등에 集中的으로 研究, 開發하여 效率 30%을 目標로 삼고 있다.

日本의 Tokyo-Mitsubishi Electric社는



[그림 3] Spectrolab社의 GaAs 太陽電池의 構造

GaAs 태양電池의 量産體制를 완성하였으며 수요처로는 日本 National Space Development Agency 에 1988 年에 발사 예정인 人工衛星에 電源用으로 공급할 예정이다. 現在 生産量은 月刊 5,000 ~ 6,000 (面積 2 cm²) 개 정도이다.

3. PV 市場 및 價格 展望

1976 年경에 PV 총 生産量이 0.3 MW 정도 이었으나, 1987 年 28.6 MW로 획기적인 增加를 보였다. 특히 1981 年부터 量産體制화된 非晶質硅素 태양電池의 生産量은 매년 數배 增加추세이다.

태양電池 보급에 가장 큰 영향을 주는 價格은 1978 年 \$ 20 에서, 1987 年 약 \$ 5 까지 下落하였다. 이러한 價格은 주로 單結晶이나 多結晶 태양電池 價格이며 結晶 태양電池는 素材自

體 價格下落의 限界性때문에 약 \$ 3~4 이 最少 價格으로 보고 있다. 이러한 最少 價格을 下落시킬 수 있는 태양電池는 “第二世代” 즉 薄膜型 태양電池가 될 것으로 評價하고 있다.

薄膜型 태양電池의 경우 1990 年頃에 \$ 2, 1990 年 후반에는 약 \$ 1 까지 下落할 것으로 豫想하고 있다.

[그림 4]는 1976 ~ 1990 年 PV 市場 및 태양電池 價格의 추이를 나타낸 것이다.”

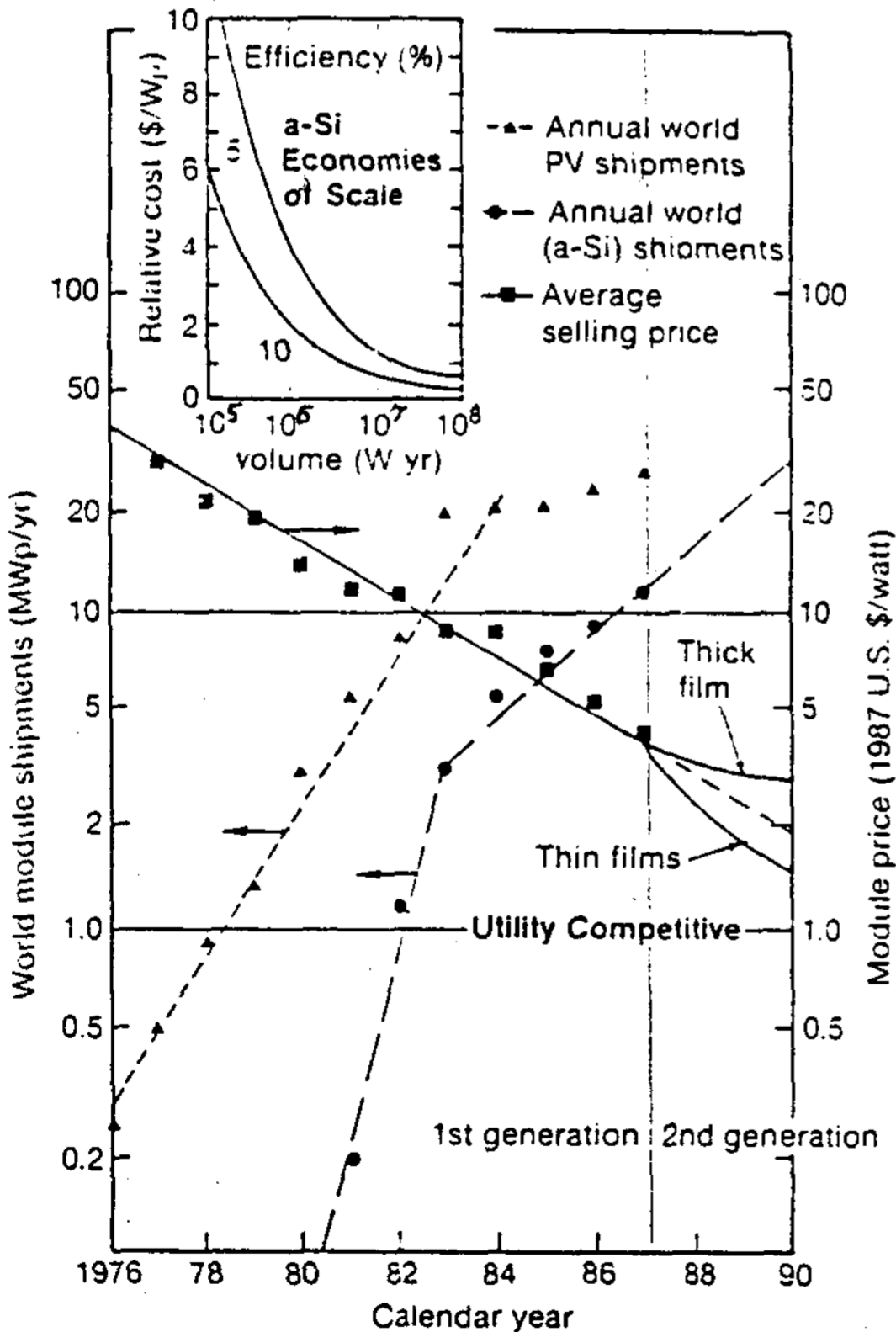
4. 結 論

지금까지 PV 市場은 單結晶이나 多結晶 태양電池가 主流이었으나 結晶質 태양電池는 價格下落의 限界性에 부딪혔다. 이를 극복하기 위한 “第二世代” 태양電池는 薄膜型 태양電池이며 이 중에서도 특히 非晶質硅素, CdTe, CuInSe₂ 및 GaAs 薄膜型 태양電池가 가장 注目을 받고 있다.

薄膜型 태양電池가 實用化되기 위해서 넘어야 할 障壁은 價格의 低廉化 및 高效率化로 集約될 수 있다. 이러한 障壁을 넘기 위해 低價 製造技術 開發, 多層構造 등으로 高效率化 등에 研究가 集中되고 있으며, 1990 年 중반이후에는 기존 係通線 電力單價와 경쟁이 되며 태양電池 및 PV 市場이 代替에너지源으로서 確固한 자리를 차지할 것으로 展望된다.

REFERENCES

- 1) Photovoltaic Insider's Report Nov. 1986
- 2) International Solar Energy Intelligence Report May, 1988
- 3) K.L. Chopra and S.R. Das, Thin Film Solar Cells. Plenum Press. p.407, 1983.
- 4) International Solar Energy Intelligence Report, May p.156, 1988
- 5) Photovoltaic Insider's Report Jan. 1987.
- 6) Photovoltaic Insider's Report Jun. 1985.
- 7) Photovoltaic Insider's Report May, 1988.



[그림 4] 年度別 PV 出荷量과 價格 推移