

アモルファス太陽電池

——ガラスによる創エネルギー——

三洋電機株式会社機能材料研究所 桑野 幸徳

Amorphous silicon solar cells

——Creation of energy by glass——

Yukinori Kuwano

SANYO Electric Co., Ltd.

Functional Materials Research Center

1. はじめに ——地球環境の危機——

酸性雨、温室効果、原発事故など、地球規模の環境問題が深刻化するにつれ、21世紀のクリーンなエネルギー源として太陽電池への期待が高まってきた。中でも、ガラス半導体であるアモルファス・シリコン (a-Si) を用いた太陽電池は、種々のユニークな特長をもち、低コスト太陽電池の本命として大きな注目が集まっている¹⁾。

ここでは、地球環境の危機を救う可能性のある a-Si 太陽電池の現状と展望を述べる。

2. アモルファス太陽電池——ガラスが発電——

2.1 ガラス半導体

原子結合に長距離秩序を持たない固体を非晶質 (アモルファス) と呼び、結晶と区別している。非晶質固体にも絶縁体、半導体、金属があり、非晶質絶縁体の代表例は通常のガラスである。非晶質半導体には、Se 等からなるカルコゲナイド系や a-Si などのテトラヘドラル系があり、ガラス半導体とも呼ばれる。中でも a-Si は、1975 年に価電子制御が成功して以来²⁾、新しい電子材料として注目されている。

2.2 アモルファス太陽電池の特長

a-Si を用いた太陽電池は、1976 年に Carlson らが最初に報告し³⁾、1980 年に筆者らが初めて工業化した¹⁾。a-Si 太陽電池の特長を以下に示す。

- ① 製造工程が簡単 (素材である a-Si を形成す

るのと同時に半導体接合を形成できる)

- ② 製造エネルギーが少ない (形成温度は、結晶 Si の 1000~1500°C に対し、300°C 以下)
- ③ 光吸収係数が大きく、必要な膜厚は 1 μm 以下 (結晶 Si 太陽電池は 100~300 μm)
- ④ ガス反応で形成するため大面積化が容易
- ⑤ ガラス等の安価な基板が使える
- ⑥ 一枚の基板から任意の高電圧が得られる (後述の集積型構造による)

これらの特長により、a-Si 太陽電池の生産量は急速に伸び、光産業技術振興協会の調べによれば、1986 年には国内全太陽電池生産量の 69% を占めるようになった。

3. アモルファス太陽電池の現状

3.1 製法の進歩

a-Si の代表的な製法は、SiH₄ 等の原料ガスをグロー放電で分解するプラズマ CVD である。当初は Fig. 1(a) に示す単室反応装置が用いられていたが、筆者らが、不純物混入が少なく生産性の高い連続分離形成法 (Fig. 1(b)) を開発してからは、この方式が主流となっている⁴⁾。最近では、超高真空の分離形成法としてスーパーチャンバ方式 (Fig. 1(c)) が開発され、一層の低不純物化による高品質化が検討されている⁵⁾。

プラズマ CVD 以外の製法としては、光 CVD や⁶⁾、励起種 CVD⁷⁾ などが研究されている。

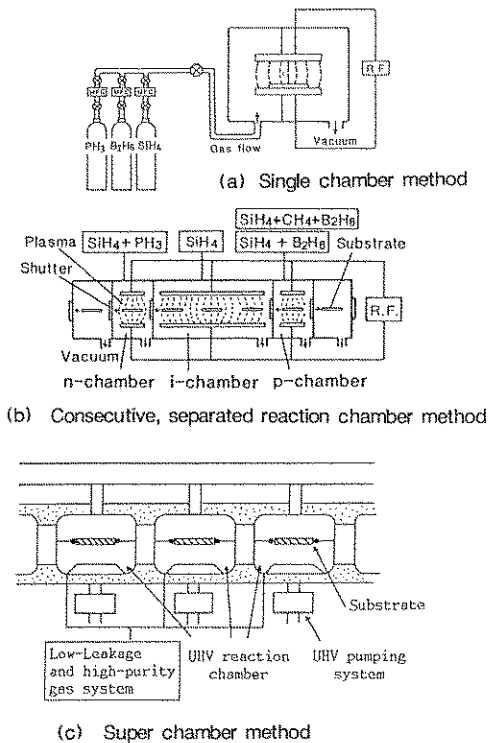


Fig. 1 Fabrication methods of a-Si solar cells

3.2 構造の進歩

a-Si 太陽電池の素子構造の進展を Fig. 2 に示す。(a)が基本構造で、ガラス基板上に透明導電膜(TCO)を形成し、*p, i, n*型 a-Si を順次成膜し、金属電極を設けたものである。特性向上を目的に種々の改善が進められ、同図(b)の *p* 型 a-SiC の採用⁸⁾、(c)のテクスチュア TCO、(d)の超格子構造 *p* 層などが開発された。これらは、単一の *pin* 接合を用いた構造であるのに対し、長波長光を有効に利用するため多層構造の検討も進められており、同図(e)の a-SiGe などのアモルファス・アロイ、(f)の多結晶 Si、(g)の CuInSe₂ 等の材料との組合せも研究されている。

製法、材料の進歩により、1 cm²程度の小面積の太陽電池で 12~13%、100 cm²で 10%の光電変換効率が達成されている。

3.3 信頼性の向上

a-Si は、通常のガラスと同じく熱力学的に非平衡な系であり、安定性が問題となる。a-Si に長時

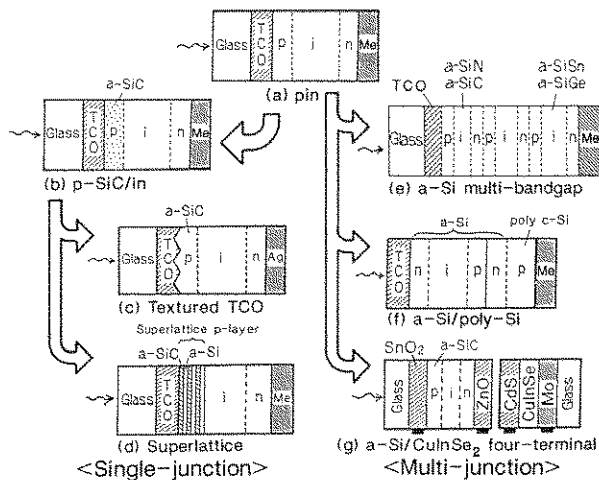


Fig. 2 Progress in structures of a-Si solar cells

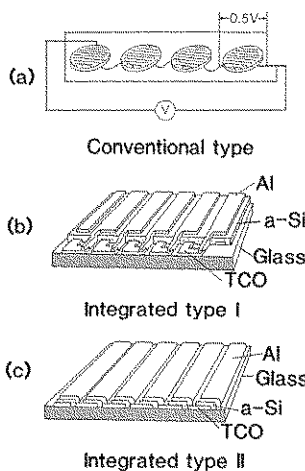


Fig. 3 Structures of integrated type a-Si solar cells

間、強い光を照射すると膜質が変化する⁹⁾。太陽電池特性も、初期 1 ヶ月で 10~20%劣化した後、安定化する。これは欠陥準位の増加によるもので、石英ガラスの *E'* 中心とよく似た挙動を示す。光劣化の原因は、完全には解明されていないが、特性低下は徐々に抑制されつつある。

3.4 集積型構造

太陽電池の出力電圧は通常 1V 以下であり、応用上必要な数 V 以上の電圧を得るには、Fig.

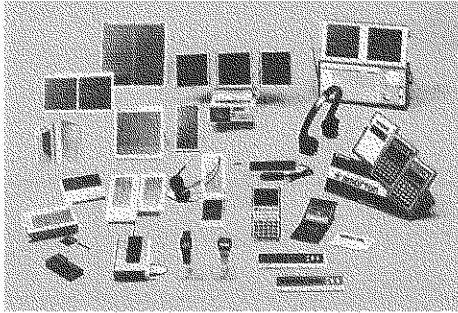


Fig. 4 Consumer applications of a-Si solar cells

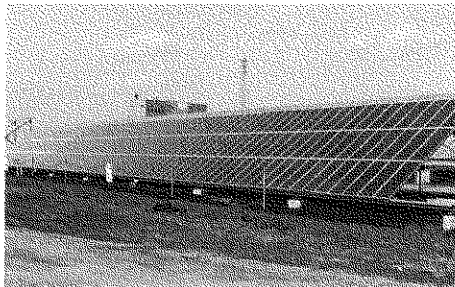


Fig. 5 Photovoltaic power generating systems using a-Si solar cells (Saijo, Shikoku)

3(a)に示すように、リード線等で直列接続していた。これに対し筆者らは、同図(b)(c)に示す集積型構造を開発した⁹⁾。一枚の基板から高い電圧を得るために、(b)では個々の太陽電池から伸びた電極で、(c)では境界線上で直列接続している。集積型は、マスクを用いて形成できるが、最近ではレーザーパターニングが開発され、 $40 \times 120 \text{ cm}^2$ の大面積集積型 a-Si 太陽電池が得られている。

3.5 a-Si 太陽電池の応用

a-Si 太陽電池は、最初、電卓用電源として実用化された後、Fig. 4 に示すように、腕時計、充電器など民生機器用太陽電池の主流となった。屋外の太陽光発電用としては、研究段階であるが、Fig. 5 に示す、四国の西条の 1 MW 電力用システムの一部に使われるなど、着実にフィールド試験が進められている。

このような応用上重要な点は、前述の集積型構造の開発等に加え、ガラスを基板とし、それが表面保護材を兼ねていることが挙げられる。

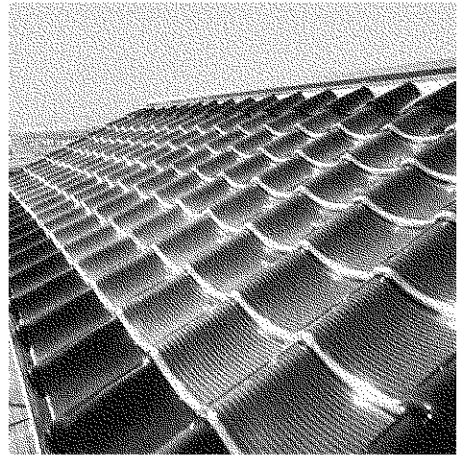


Fig. 6 a-Si solar cell roofing tiles

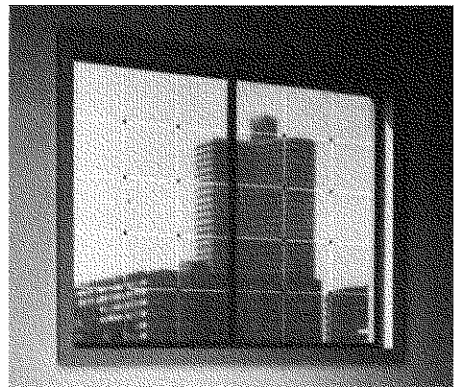


Fig. 7 Application of see-through a-Si solar cells to a window

4. アモルファス太陽電池の展望

4.1 新しいモジュール

a-Si とガラス基板の特長を活かした新しいモジュールが開発されてきた。

Fig. 6 は、ガラス製の瓦に集積型 a-Si 太陽電池を直接形成した太陽電池瓦を示す。従来の太陽電池モジュールに必要な架台等のコストが不要になる等の特長をもつ。

Fig. 7 は、光を通すシースルー太陽電池の窓への応用例である。集積型 a-Si 太陽電池に多数の小孔を設けることにより、穴の部分で光を通し、他の部分で発電する。

4.2 低コスト量産プロセス

a-Si 太陽電池を 21 世紀のエネルギー源として実用化するには、特性改善と共に大幅な低コスト

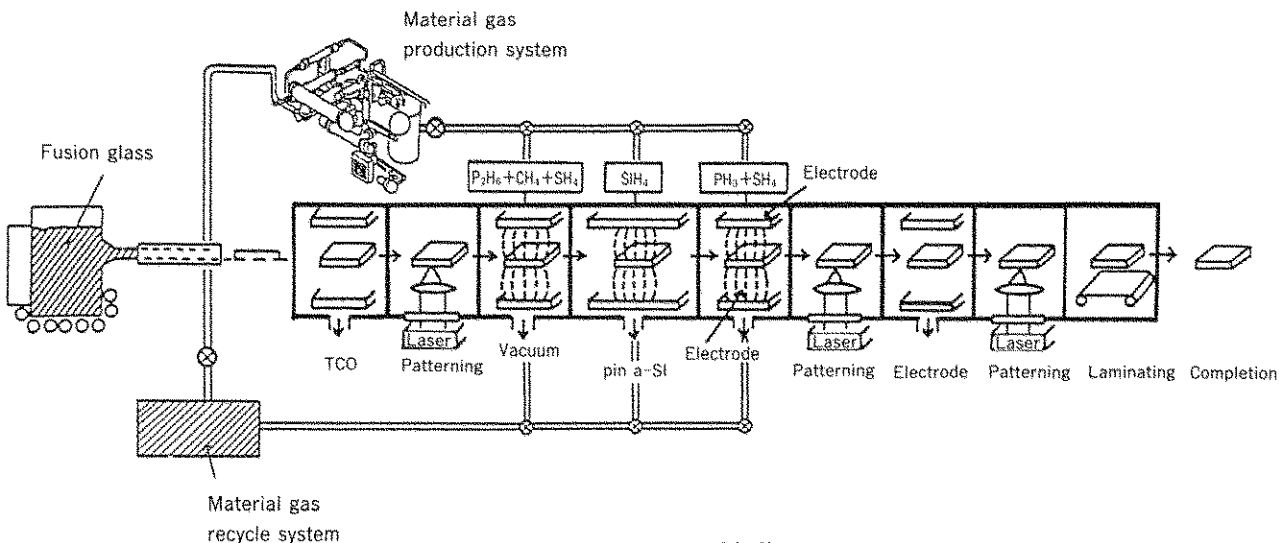


Fig. 8 Consecutive, automated in-line process

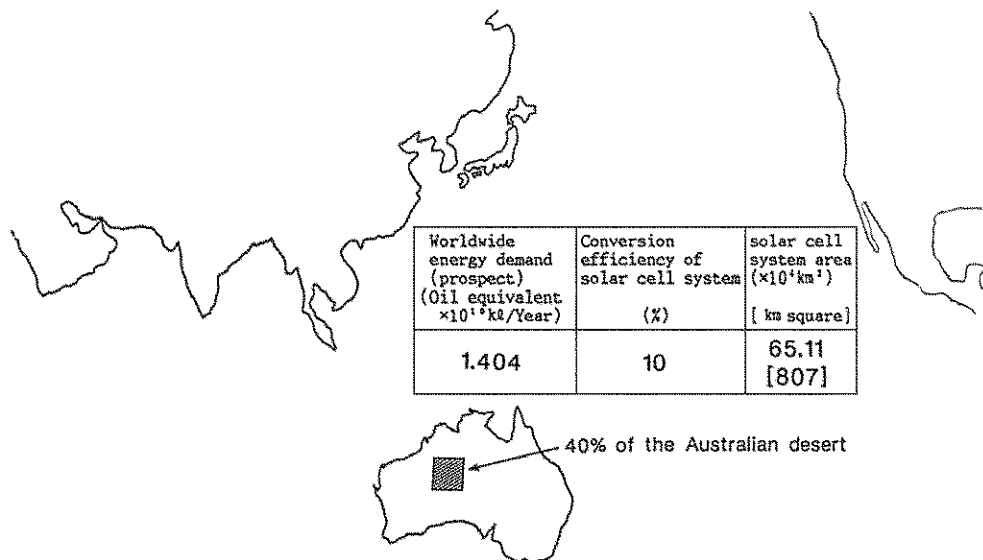


Fig. 9 Solar cell area for supplying worldwide energy demand in 2000

化が必要である。そのため、筆者らは、Fig. 8 に示す連続自動インラインプロセスを提案した。フロートガラスの溶融工程から始まり、原料ガスの製造プラントやガス回収システムも結合した、一貫プロセスであり、大規模量産時には、100 円/W 以下の、商用電源と競合し得るレベルまでの低コスト化が期待できる。

5. おわりに——Genesis (創世記) 計画——

太陽電池により、全世界の消費エネルギーがま

かなえるか、という点について、筆者らの計算結果を以下に示す¹⁰⁾。西暦 2000 年における人類の消費する全一次エネルギー量は、原油換算で 1.4×10^{10} kJ/年と推定される。太陽電池のシステム効率を 10% と仮定して、これを供給するのに必要な太陽電池面積は、約 800 km 平方となる。これは Fig. 9 に示すように、オーストラリアの砂漠面積の 40%、世界の砂漠面積のわずか 4% でまかなえる。

最近、超電導材料の研究に大きな進歩があり、常温で抵抗損失のない電力ケーブルが実現できる

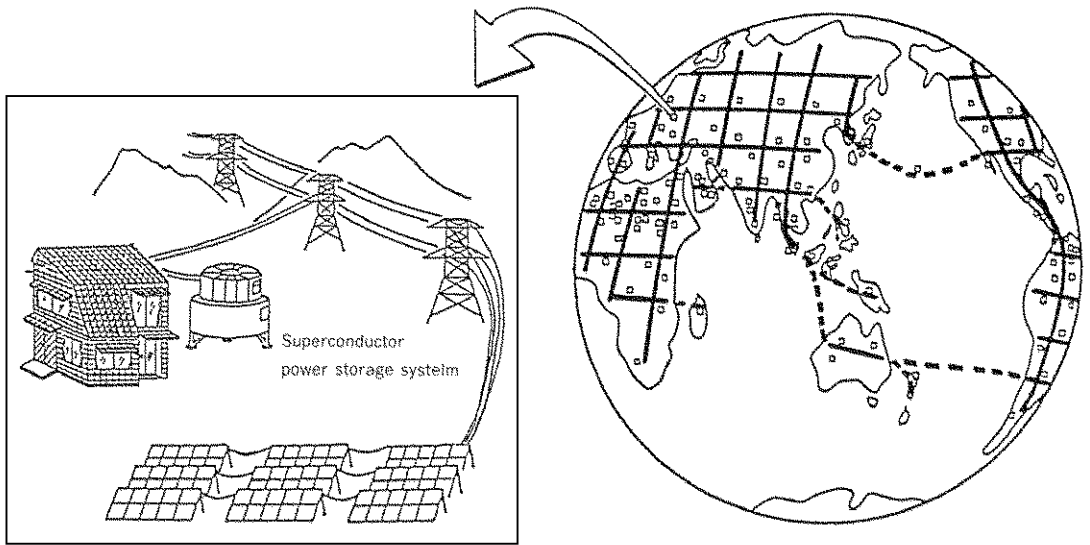


Fig. 10 GENESIS (Global Energy Network Equipped with Solar cells and International Superconductor grids)

可能性が出てきた。この超電導ケーブルにより、地球上の各地に設けた太陽光発電所を結べば、仮に一部の地域が雨や夜であっても、システム全体としては、常に太陽から得た電力を利用できる。これが、筆者が提案した Genesis (Global Energy Network Equipped with Solar cells and International Superconductor grids) 計画であり、その概要を Fig. 10 に示す。Genesis (創世記) 計画は、21 世紀のクリーンなエネルギー源の確立に向けた大きな夢である。地球環境の悪化が進む中、夢で終わらせてはならない計画であり、その中のガラスやガラス半導体である a-Si の役割も大きいと考える。

謝 辞

本研究の一部は、工業技術院サンシャイン計画の一環として NEDO から委託され実施したものであり、関係各位に感謝する。

参考文献

- 1) 桑野幸徳：アモルファス(講談社ブルーバックス、1985)
- 2) W. E. Spear et al.: Solid State Comm. 17 (1975) 1193

- 3) D. E. Carlson et al.: Appl. Phys. Lett. 28 (1976) 671
- 4) Y. Kuwano et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 21 (1982) 413
- 5) S. Tsuda et al.: ibid 26 (1987) 33
- 6) T. Saitoh et al.: Appl. Phys. Lett. 42 (1983) 678
- 7) S. Oda et al.: J. Non-Cryst. Solids 77 & 78 (1985) 877
- 8) Y. Tawada et al.: Proc. 15th IEEE PVSC (1981) 245
- 9) Y. Kuwano et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 20 (1981) Suppl. 20-2, 213
- 10) Y. Kuwano: Proc. 4th Photovol. Sci. & Eng. Conf. (1989) in press

〔筆者紹介〕



桑野 幸徳 (くわの ゆきのり)

(1) 略歴

昭和38年 熊本大学理学部化学
科卒業

同年 三洋電機株式会社中央
研究所入所

昭和56年 大阪大学基礎工学部
工学博士

昭和62年 同社研究開発本部本
部室長兼機能材料研究
所所長, 現在にいたる

(2) 所属学会

応用物理学会, 電気学会, 日本窯
業協会

(3) 授賞

科学技術長官賞, フルラス賞, 日
本化学会化学技術賞

(4) 著書

「太陽電池とその応用」(パワー
社)

「アモルファス」(講談社)

「エレクトロニクス素子」(培風
館)

Abstract

Growing consumption of fossil fuels is destroying the global environment, and photovoltaics are thought to be an effective solution for this problem. Among various solar cells, a-Si (amorphous silicon) solar cells are recognized to be the most hopeful low-cost solar cells in future photovoltaic power generation systems. In this paper, a brief explanation on a-Si as glass semiconductor and a-Si solar cells is made. Then present status of a-Si solar cell technologies and applications are described. As near-future solar cells, a-Si roofing tiles and see-through solar cells, both of them utilize characteristic features of a-Si and glass substrates, are explained. Consecutive, automated in-line production method for future fabrication process of a-Si solar cells is also mentioned. A proposal for a global photovoltaic energy system called "Genesis" is presented.