

“固体による太陽エネルギー変換”

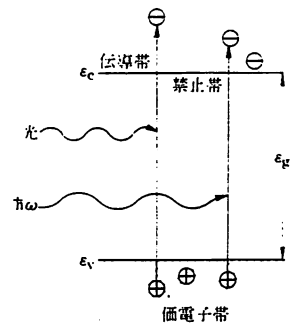
浜 川 圭 弘*

1. はしがき

光と物質との相互作用には、“吸収”“反射”“屈折”“偏光”“散乱”など、さまざまな現象がみられるが、これらを引き起す素過程は物質内に存在する荷電担体と電磁波とのエネルギー相互作用と考えることができる。ところで、太陽輻射エネルギーのスペクトルは、主として可視部を中心に3000 Å付近の近紫外とせいぜい数ミクロンまでの赤外部である。即ち、光子のエネルギー $\hbar\omega$ にして0.3eV程度から4.0eV程度であるため、この程度のエネルギーで最もエネルギー相互作用の多い荷電担体は、いわゆるシリコンやガリウム砒素などの半導体の自由電子や正孔ということになる。

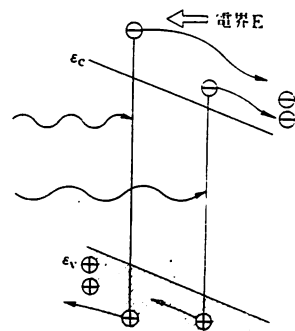
さて、半導体に光を照射して不純物にトラップされている電子を励起したり、帯間励起によって価電子帯の電子が伝導帯に励起されると、自由キャリアができるため電気伝導度が増す現象を光伝導効果と呼んでいる。図-1(a)は、帯間励起による光伝導効果をエネルギー帯図を用いて説明したものである。ところで、同図(b)に示すように、半導体中に内部電界Eが存在する場所に光が照射されて、電子-正孔対の生成が起ると、光で生じた電子は伝導帯中の電界によって右側に、また価電子帯中に正孔は左側に吹寄せられ、荷電キャリアの分極が起って、半導体の両端には電位差が生ずる。この現象を光起電力効果(Photo-voltaic Effect)と呼んでいる。

太陽光発電の主役をつとめる太陽電池は、こうした半導体の光起電力効果を利用して、光を直接電気エネルギーに変換する機構を原理としている。図-1(b)で述べた、何等かの原因で内部電界のある場所と表現した内部電界の発生原因とその実用例を分類してみると表1のようなものがある。¹⁾



(a)光伝導効果の説明

半導体にその禁止帯幅 ϵ_g より大きなエネルギーを持った光($\hbar\omega \geq \epsilon_g$)が照射されると帯間遷移によって価電子帯中の電子を伝導帯に励起して、電子-正孔対が生成され、電気伝導度が増える。



(b)光起電力効果の説明

半導体中に何等かの原因で内部電界Eが存在する場所に光を照射して光伝導効果を引き起こすと、光生成された電子は伝導帯の坂をころがり落ちて、右へ、正孔はあたかも水中の泡のように左側に浮かび上って、光生成キャリアの電荷が分極されて、起電力を発生する。

図-1 半導体の光起電力効果の説明

*大阪大学基礎工学部 教授

表1 半導体中の内部電界の実例と応用例

内部電界の発生原因	実 用 例
a) p-n接合の遷移領域	p-n接合太陽電池, ホトダイオード
b) ヘテロ接合の界面堤層	ヘテロ接合太陽電池
c) 半導体-金属の界面電場	ショットキーバリア太陽電池
d) 結晶粒界面の堤層	多結晶形光検出器 (CdSセンサなど)
e) 半導体-液体の界面電位	光電池, 光電解反応 (本多-藤嶋効果)
f) 半導体-気体の界面電位	誘起接合型太陽電池
g) 不純物濃度の不均一分布	BSF型太陽電池
h) 光生成担体の不均一分布	デンバー効果型素子
i) 磁場による電子-正孔の分離	PEM (Photo-Electro-Magnetic) 素子

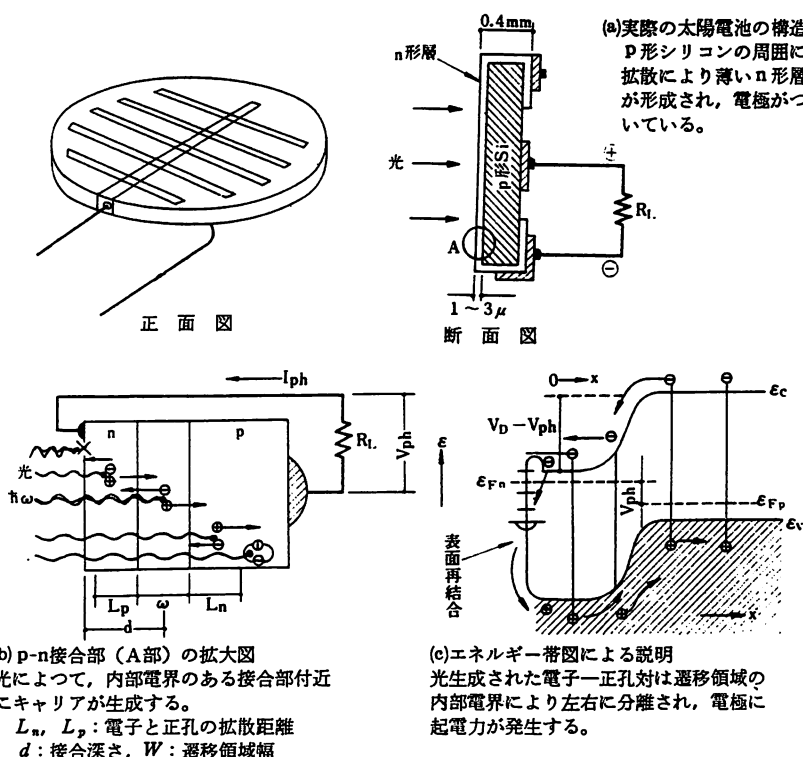


図-2 シリコンp-n接合太陽電池の原理説明図

表1の分類は自然または人工的に半導体に内部電界を発生させ得る実例を示したもので、エネルギー変換素子としての太陽電池を考える場合、実用上の採算性が問題で、なるべく効率が高く、また低コストでできることが当然必要となってくる。こうした観点から、現在の技術では a) ~ c) までが実際の太陽電池の基本原理として利用されていて、f) g) などは太陽電池の効率を上昇させる手段として付加的に使われている。図-2は太陽電池として最も広く利用されている

シリコン太陽電池の構造と、起電力の発生原理を説明したものである。

2. エネルギー変換効率はこの程度までいくか？

太陽電池によって太陽の輻射エネルギーをどの程度まで回収できるかは、太陽電池の光感度スペクトルと太陽光のスペクトルとがどの範囲までよく重なるか、つまり整合の度合が大事である。先ず太陽電池のスペクトル感度は、太陽電池として使用する半導体の禁止

帯幅以上のエネルギーで立上り、そして、その感度の大きさは帯間遷移の遷移確立と、価電子帯と伝導帯の電子状態密度によって定まるため、半導体材料の光吸収係数のスペクトル分布が直接反映されると考えてよい。図-3は主な太陽電池用半導体の吸収係数 $\alpha(\hbar\omega)$ のスペクトル分布を示したものである。即ち、このスペクトル分布が太陽光スペクトルとなるべく広い範囲で重畳し、然も太陽輻射光の波長当りのエネルギー密度が高い5500Å近くで吸収係数が大きい材料ほど理論的なエネルギー変換効率が高くなるというわけである。²⁾

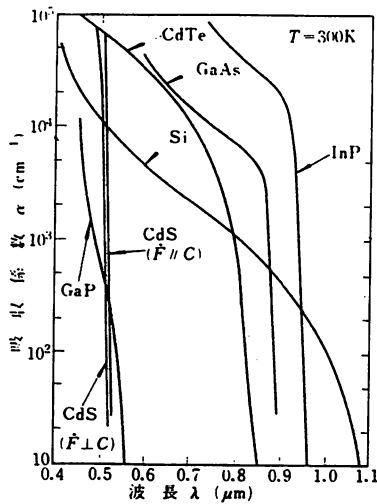


図-3 太陽電池用半導体の吸収係数の波長依存性

図-4は、こうした吸収係数のスペクトル分布と、太陽光輻射エネルギーのスペクトル分布との整合を考慮して、光生成キャリアの収集効率を計算して求めた理論変換効率 η_{max} とその温度依存性を計算したものである。この図より明らかなように、エネルギー変換効率の理論限界という立場からはCdTeやGaAsが最も太陽電池用材料として適した材料といえることができる。

実際に太陽電池としては、こうした材料物性的観点のほかに、その材料が資源的に豊富なものであるか？材料の価格はどうか？製造技術上、表面再結合が少い上質のp-n接合やヘテロ接合、さらにショットキーバリアなど接合形成が容易かどうか？電極形成や加工技術は完成されているか？など、色々の要素がからんで、いわば変換効率とコストの両面を考慮したいわゆるコストパフォーマンス (Cost performance) の良し悪しが問題となって、どの材料が良いかが判断される。従って、従来はシリコン太陽電池が最も一般的であっ

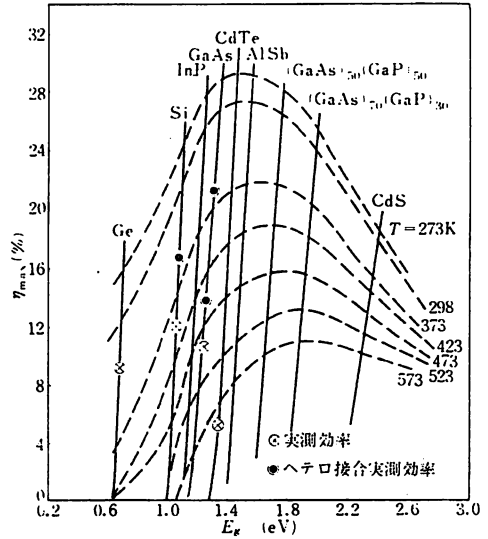


図-4 種々の半導体p-n接合の太陽エネルギー変換効率

たが、将来、後述する色々の材料に対するリボン結晶や薄膜化技術が進歩するにつれて、GaAs薄膜太陽電池やアモルファスシリコン太陽電池などがこれにとって代る時代がくるかもしれないし、またその他の材料についても周辺技術の進歩と共に、新しい材料の新しい型の太陽電池が出現することは十分考えられるのである。

太陽電池に光が照射されて負荷抵抗 R_L に出力を取出す場合、光電流 I_{ph} と出力電圧 V との間には

$$I_{ph} = I_{sc} - I_s \left\{ \exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right\} \dots\dots\dots(1)$$

の関係がある。ここで I_s は逆飽和電流、 I_{sc} は短絡光電流である。図-5は代表的な太陽電池用材料について

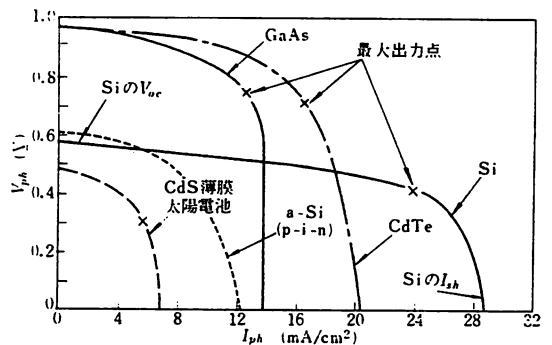


図-5 代表的な太陽電池材料のV-I_{ph}特性とV_{oc}、I_{sc}

て $I_{ph}-V$ 特性の実測結果を示したものである。この図で、 $I_{ph}=0$ 、つまり光照射時に端子を開放したときの電圧を開放起電力 (Open circuit voltage) と呼び、 V_{oc} で表す。太陽電池から取り出し得る最大電力は $I_{ph}-V$ 特性の中で $V \times I_{ph}$ の面積が最大となる点 (V_{max}, I_{max}) で与えられ、それは $R_L = V_{max} / I_{max}$ の負荷抵抗をかけたときの出力に相当する。ここで最大出力 $V_{max} \times I_{max}$ と $V_{oc} \times I_{sc}$ との比を曲線率 FF (Curvefield factor) と呼び、エネルギー変換効率 η 、 V_{oc} 、 I_{sc} と共に、太陽電池の性能を表す重要な指数の一つである。

3. セルコストとその推移予測

太陽光発電は、新エネルギー資源としてさまざまなユニークな特質を持合せながら、残念なことには、太陽電池の価格が高いことに起因して、これまでは極く限られた特殊電源でのみ実用に供されてきた。即ち、数年前までは太陽電池の価格が1W当り100ドル程度もしたことから、人工衛星用電源、山間僻地の無線中継所や気象観測所用電源、無人灯台など、いわば送配電費の高くつく場所の無人化電源としてののみ採算がとれる電源とされてきた。写真1は、こうしたいわば太陽電池発電の第1世代期の実用例を示したものである³⁾。

太陽電池のコストが高いということは、何といたってもこのプロジェクト推進の最大の問題点であり、事実それを理由につい最近までは“未来の発電システム”

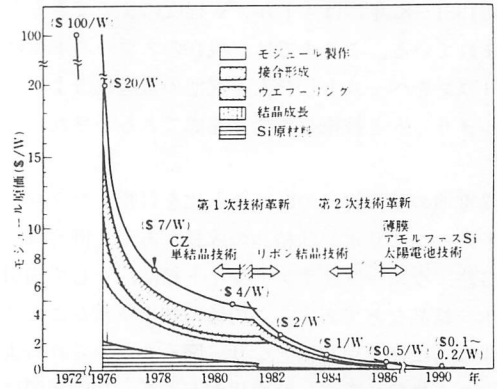
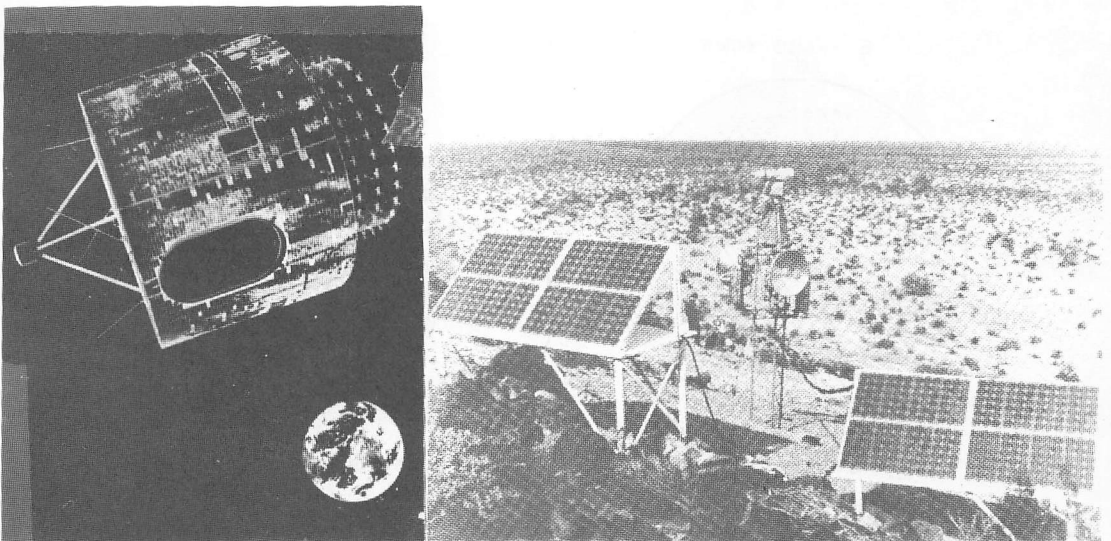


図-6 太陽電池モジュール・コストの変遷及び近い将来の推移予測

という扱いを受けてきた。ところが、太陽エネルギー利用技術開発の一環として、アメリカのエネルギー省のLSSA (Large Scale Silicon Solar Array) プロジェクトや、わが国のサンシャイン・プロジェクト、その他ヨーロッパ各国でも太陽電池発電の技術開発が国家的プロジェクトとして取上げられて以来、この分野の技術は急速に進歩をみた。そして、その成果として太陽電池の価格はここ数年間に約1桁もの低コスト化が達成された。図-6は、太陽電池モジュール・コスト^{*}の過去の実績と将来の予測を図にしたものである。図-6から明らかなように、オイルショック直前の1972年で100ドル/Wしたモジュール・コストが、わずか5年の1977年には10ドル/Wとなっている。そして、



(a)人工衛星電源 (b)無線中継所用電源

写真1 第1世代期の太陽電池とその応用例：遠隔地用電源(モジュール・コスト：\$100~20/W)

これが1981～82年には4ドル/W程度にまでできると見込まれている。ここまでは、現在のスライス単結晶シリコンをベースとした太陽電池の量産化によるスケールメリットと技術改善でも達成できるとされている。⁴⁾

太陽電池の基板材料の低コスト化を目指したプロジェクトの一つにリボン状結晶の成長がある。例えば、EFG法、ウェーブ・デンドライト結晶、そして横引きリボン結晶などである。この種の技術革新がここ2～3年の内には実用技術となり、図-6にみられるようなコスト推移に際立った変化が起って、1982年頃には2ドル/W、それが膨大な需要の伸びによって1ドルを割ると予測されている。現在、既に薄膜太陽電池、アモルファスSi太陽電池など、更に高度な低コスト化を目指した新材料、新構成の太陽電池の開発が進んでいる。この種のいわば第二段階の革新技術が実用化されるにはまだここ数年必要とみられており、1985年頃と考えられている。そして、この技術には所謂BOS (Balance of System) コストの低下を狙って、建材など他の機能材料とハイブリッド化をすることにより、最終的には0.2ドル/W程度の太陽電池の開発も夢ではないとさえいわれている。

4. 研究開発とその動向

4.1 Si原料とその加工技術

太陽光発電システム実現への成功の鍵は、何といつても太陽電池の低コスト化にある。そこで、太陽電池

の低コスト化を目指して、具体的にどうした研究開発プロジェクトが組まれているのか、その概要を紹介してみたい。図7は、1975年の物価ベースを基準として試算されたSi材料を基板とする現在法、及び第一次、第二次技術革新期の代表的な3種類の太陽電池モジュールの原価構成を示したものである。まず、図7(a)に示すCZ結晶(チョコラルスキー法による引上げ単結晶)を基板とした太陽電池モジュールの原価構成より明らかかなように、モジュール価格の約60%がSi原材料とその加工費で占められている。つまり原料Si及び基板への加工工程における低コスト技術がネックとなっていることがよくわかる。次いで、接合形成に要する約16%のコスト要因である。残りの約25%は、太陽電池の製造行程の連続自動化など、量産化によっていくらかでもしぼり込める要素である。太陽電池の低コスト化を目指したR&Dプロジェクトは、こうしたコスト分析に基づいて、まず表2に示すように、原材料シリコンの低コスト化を目的とした非平衡プラズマ・ジェットとか、プラズマ・アーク熱分解法など、現在の熱分解法と比べてより分解率がよく、熱エネルギー消費の少ない製造法の研究など、金属シリコン、多結晶シリコン段階までの低コスト化が研究されている。

写真2は現在のいわば第2世代期の太陽電池モジュールの実用例を示したものである。

4.2 リボン結晶太陽電池

次に、広い研究分野で多くの研究人口を擁したプロジェクトは、太陽電池の基板材料の準備技術を含めた

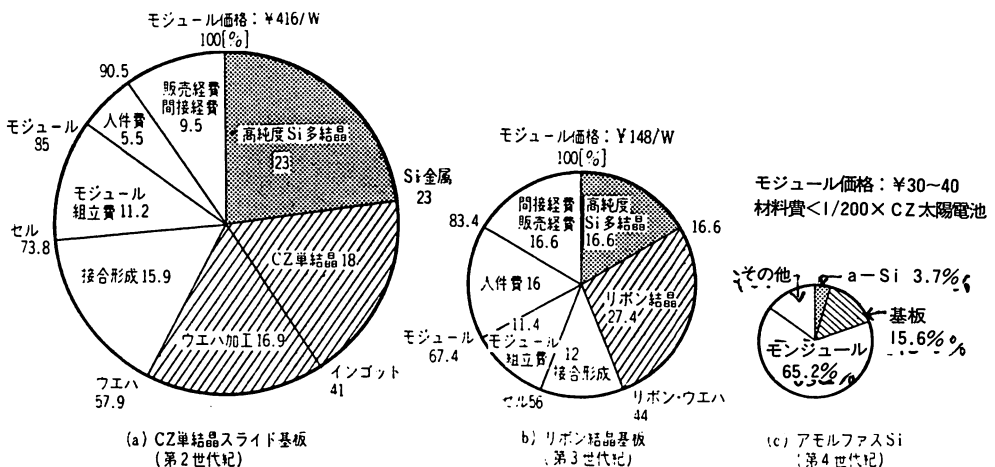


図-7 シリコン材料基板太陽電池モジュール価格の原価構成の計算例(計算の基礎:量産スケール,太陽電池年産10万kW/年,原料多結晶8000トン/年,直接・間接経費は1975年また(c)のアモルファスシリコンは1979年経費水準ベースにした)

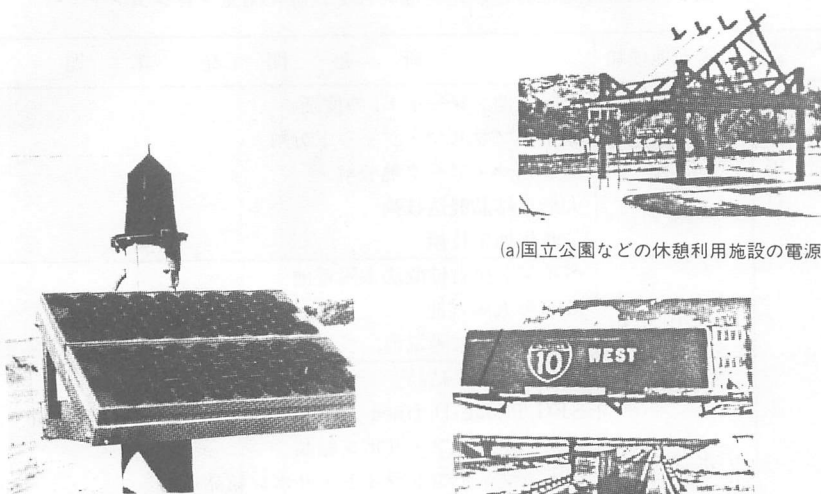
表2 低太陽電池および光発電システム研究開発プロジェクト

プロジェクト分野	太陽電池種類	研究開発課題
太陽電池用原材料		太陽電池グレード Si の検証 非平衡プラズマ・ジェット分解 プラズマ・アーク熱分解 大形単結晶製造技術 量産化加工技術
太陽電池セルおよびアレイ	単結晶基板	ペイント塗布拡散法太陽電池 MIS形太陽電池 気相エピ形太陽電池, 多層膜太陽電池, イオン注入太陽電池
	リボン結晶基	横引きリボン結晶 EFG (Edge-Defined Film-Fed Growth) リボン結晶 逆ステファノフ・リボン結晶 ウェット・デンドライト・リボン結晶 ピールド・フィルム結晶薄板 SOC (Silicon On Ceramics) 薄板 RTR (Ribon to Ribon) 薄板
	多結晶基板	SILSO (多結晶インゴット) HEM (Heat Exchanger Method)
	薄膜, アモルファス材料基板	金属 Si 基板気相成長法太陽電池 異種基板上CVD多結晶太陽電池 アモルファス Si 太陽電池 スクリーン・プリント多結晶太陽電池 (CdS/Cu ₂ S, CdS/CdTe etc.)
	高効率化技術	AMOS (Antireflective Coat)(無反射コーティング太陽電池) HLE (High-Low Emitter Cell) ヘテロフェイス太陽電池 BSF (Back Surface Field Cell) 太陽電池 CNR (Comsat Non Reflective) 太陽電池
	製造工程	連続自動化製造プロセス モジュール組立工程の自動化
	新形新構成	集光形太陽電池 パイプ状太陽電池 垂直マルチ接合太陽電池 六角形太陽電池
太陽光発電システム	耐久試験, 集中暴露試験 商用電源との連系システムの研究 各種定格, 寸法の標準化	

新材料, 新構造, 新接合構成による新形太陽電池の研究開発である。具体的なプロジェクトは, 表1の中段に分類して示したように, 単結晶基板を主材とする場合でも, ペイント・オン拡散, イオン注入, MIS構造などによる接合形成の簡略化や量産効果を狙ったものや, それにヘテロ接合, ヘテロフェイス接合や織目模様表面処理による無反射効果を用いた高効率化を目的とした太陽電池が研究されている。

EFGリボンとその太陽電池については, 現在は幅1

及び2 inのリボンが市販の域にあり, 厚さが300~400 μm程度のもので, 定常的に製造されている。また, 3 in幅のリボン結晶も引上げられ, これを用いた太陽電池も試作されている。また, この結晶を用いた太陽電池モジュールは, わが国でもマルチ成長法を始め各種の基礎研究が進んでおり, モジュール効率が平均7%という, 単結晶Si太陽電池モジュールと比べて遜色のない製品の市販を始めている。WH社(ウエスチングハウス社)が主体となって進めているウェット・デンド



(a)国立公園などの休憩利用施設の電源

(b)ハイウェイ管制システム用電源

(c)僻地村落での揚水ポンプ用電源の応用例

写真2 第2世代期の応用例(モジュール・コスト：S20~2/W)アメリカ・エネルギー省提供

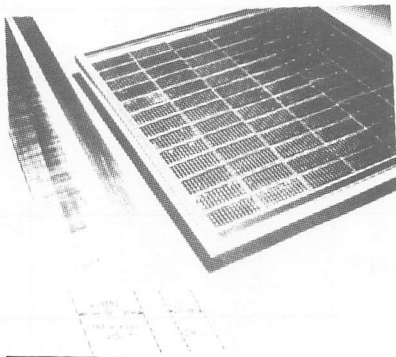


写真3 EFGリボン結晶及びそれを使った太陽電池モジュール
JSEG(ジャパン・ソーラー・エナージ)

ライト・リボン結晶は、引上げ炉の熱放散の分布を考慮した新形炉の完成によつて、4cm幅のリボンが引上がっている。また、引出し速度、結晶性が優れていることから、世界から注目されている横引きリボン結晶は、幅3cmのリボンが80~100mm/分の速度で数mのものが既に報告されており、この結晶の太陽電池はARコー

トなしで効率が約11%と、単結晶と同等のものが試作されている。写真3は、リボン結晶とその太陽電池モジュールの一例を示したものである。⁵⁾

4.3 新構造・新構成の太陽電池

薄膜太陽電池は、低コスト化への最も有望なプロジェクトとされ、MIS形、AMOS形 (Anti reflective Coating Metal-Oxide-Semiconductor)などが研究されてきているが、これらは何れも基板に単結晶が必要とする点で、格段と低コスト化ができない欠点をもっている。そこで、単結晶Siに比べてほぼ2桁は安い金属Siをチョコレートスキ法で結晶化したものを基板として、その上にCVD法でp-n接合を形成しようとする試みが、わが国でもサンシャイン計画の一環として行っている。成果は、この分野で最も優れた結果を得ており、MG (金属グレード) Si/p-n 構造で、接合面積13cm²のセルが6.6%(AM-1)、Refined MG-Si/p-n 構造で、接合面積5.5cm²のセルが8.4% (AM-1) と出さ

れている。

いま一つの注目すべき技術は、ヘテロフェイス構造の太陽電池である。これはp-n接合の表面に、表面電極と無反射コーティングの両機能をもたせた単純な表面処理を施すことによって、直列抵抗損失、表面再結合損失、反射損失の三つの損失を極力おさえた、最適化太陽電池をつくらうとするものである。この種の思想は別に新しい提案とはいえないが、どの種の太陽電池にも適用が可能であること、最近ITO(Indium Thin Oxide)、 In_2O_3 、ドーパド SnO_2 とその両者の複合膜など、透明で電導度の高い膜の製造技術が進歩したこと、ペイント・オン拡散やイオン注入法、CVDなど、浅いp-n接合の形成技術の進歩とが組合されて、高効率で低コスト化太陽電池の製造技術の分野で、一つの定着した汎用技術となってきている。この成果の一例として、p形Si単結晶基板を、ある種の磷酸溶液に浸して、簡単な熱処理後、直接ITO/n⁺-p構造のSi太陽電池で変換効率が平均12.9%、最高で14.5%のものでできている。これは実現可能な見込効率が15.3%で、処理コストが現在法の約半分にできると試算されており現在技術に即時に利用でき、然も将来ともどの形の太陽電池にも適用し得る有用性からも注目すべき技術である。

この種の太陽電池を含めた各種の新構造、新材料太陽電池の性能から、その代表的と思われる性能指数をまとめて一覧表にしてみたのが表3である。この表からわかるように、太陽電池セルの分野については、わが国の技術水準が国際的視野に立っても高いレベルを保っているということがいえる。

4.4 将来が期待されるアモルファスSi太陽電池

モノシラン SiH_4 をプラズマ分解して得られるアモルファス・シリコンa-Si:Hは、置換形不純物のドーパによる価電子制御ができるという点で、アモルファス半導体の電子材料としての認識を新たにし、その地位を飛躍的に高めた材料である。この材料の太陽電池用材料として優れている点を列挙してみると、次のようである。

(1)太陽放射エネルギースペクトルのピーク付近(5000 Å)の吸収係数が単結晶Siのそれに比べて約1桁も大きく、従って、太陽電池として最低必要な厚さが、図-8に示すように単結晶の場合の70 μm に比べて極端に小さく比重比出力 W/gr が大きい。

(2)光伝導度 α_{ph} が大きく、またそのスペクトルが太陽放射スペクトルとよい整合をしているため、キャリ

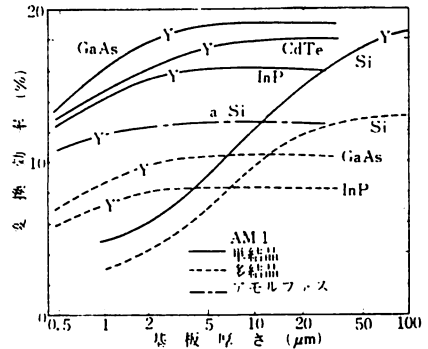


図-8 太陽電池の基本厚さと変換効率との関係

ア収集効率も高くし得る可能性がある。

(3)上述の二つの理由により、単位面積当りのSi材料費は、1/200以下と見積られ、これは他のあらゆる方法と比較しても少い。

(4)接合形成に対しても SiH_4 に B_2H_6 や PH_3 などの水素化合物ガスの導入制御により、同一反応炉中で行えるため、連続自動化やこの行程のプロセス・コストが安く、量産性に富んでいる。

(5)アモルファス組織であるために、基板として金属やガラスなど、単結晶や多結晶では格子整合(Lattice matching)上使えない低コスト基板が利用できて、また低温反応であるために、熱膨張係数の整合条件についても比較的選択度が高い。

以上の特質から、低コスト太陽電池としては一つのチャンピオン材料としての資質を備えている。⁶⁾

太陽電池の製法については目下世界の各国で、相当数にのぼる研究があるようである。然しながら、太陽電池特性についての報告は少く、従来のRCAのショットキバリア形太陽電池で得られた変換効率5.5%、1978年の5月に発表された大阪大学の大面積化と製造行程の技術化が容易な点を特長とするITO/p⁺-i-n/SS(ステンレス基板)形太陽電池の4.5%の2種類が現在代表的な性能といえる。図-10は、この材料の太陽電池の代表例として、この2種類の太陽電池の出力特性を示したものである。このほか国内においても、三洋電機中研の蛍光灯下で単結晶Si p-n接合と比べて相対効率の高い光電池とか、富士電機中研ショットキバリア形太陽電池で、70cm角の大面積太陽電池が試作されている。何れも効率は2%程度であるが、コストパフォーマンスは単結晶より高くなる可能性は十分であると見込まれている。⁷⁾

以上述べてきたような技術開発の推進によって、太

表3 研究開発中の各種太陽電池の性能例（1980年1月までのデータを基礎とした）

基板と材料	名 称	接 合 構 成	V_{oc} [mV]	I_{sc} [mA/cm ²]	曲 線 率 [%]	効 率 [%]	P_{jn} [mW/cm ²]	備 考 (発表年)		
単	CZ スライ ド基板Si	BSF 太陽電池	Ta ₂ O ₅ /n ⁺ -p-p ⁺	590	28.0	89	14.5	90	従来法の最高	
		マルチ接合	pnpn…8層	640	37.8	83	14.8	AM0	最初の提案 (1977)	
		ペイント・オン拡散形	n ⁺ -p	578	30.8	76	9.6	AM0	低コスト化 (1979)	
		CNR	n ⁺ -p	580	47.0	76	15.5	AM0	最初の提案 (1976)	
		ヘテロフェイス形	SnO ₂ /n ⁺ -pSi	610	24.0	75	14.5	85	低コスト高効率 (1976)	
		ヘテロ接合	SnO ₂ /n-Si	466	17.9	73	12.1	50	低コスト化 (1978)	
		ヘテロ接合	In ₂ O ₃ /p-Si	510	20.0	63	7.6	86	低コスト化 (1978)	
	リボン状Si	EFG リボン	SiO ₂ /n-pSi	570	28.0	71	12.3	AM0	最初の高効率 (1978)	
		垂直リボン結晶	n ⁺ -pSi	540	24.0	61	11.1	71.4	最初の高効率 (1978)	
		水平横引きリボン結晶	n ⁺ -pSi	510	19.0	73	10.9	65	高度速長成 (1979)	
		ウェーブ・デンドライト	n ⁻ -p ⁻ -p ⁺ (BSF)	550	35.0	75	10.7	AM1	高速成長 (1978)	
	結	III-V 族	CaAs ヘテロフェイス	AlGaAs/GaAs	950	19.2	76	19.5	70	高効率化 (1978)
			CaAs ヘテロフェイス	AlGaAs/GaAs	1,006	21.9	84	21.6	85	高効率化 (1980)
			Infinite Melt LPE	p-GaAlAs/p ⁻ n ⁺ -GaAs	980	29.7	86	17.2	AM0	大面積化 (1976)
Organometallic VPE			p-AlGaAs/p ⁻ nGaAs	990	24.5	76	12.8	AM0	薄膜大面積化 (1978)	
II-VI/III-V ヘテロ接合			n-CdS/p-InP	620	15.0	71	12.5	53	低コスト化 (1976)	
晶	MIS 形	Si-MIS	Ti/TiO ₂ /p-Si	615	28.3	75	10.2	AM0	低コスト化 (1978)	
		GaAs-MIS	Au/SiO ₂ /n-GaAs	830	27.0	82	17.0	AM1	低コスト薄膜 (1978)	
	II-VI 族	CdTe ヘテロ接合	ITO/p-CdTe	820	14.5	55	8.0	87	低コスト化 (1977)	
		CdTe ヘテロ接合	ZnO/p-CdTe	370	18.0	53	4.2	87	低コスト化 (1977)	
		CdTe ヘテロ接合	ZnCdS/p-CdTe	730	14.2	62	7.8	87	特性安定化 (1978)	
	Si	CVD Si エピ成長	Si/Graphite	510	18.0	65	5.8	AM1	低コスト化 (1977)	
		CVD Si エピ成長	Si/refined MG Si	607	20.0	70	8.6	AM1	低コスト化 (1978)	
イオンプレーティング		n-p Si	516	23.6	65	10.6	75	大面積低コスト化 (1979)		
キャスト Si		Si 拡散 n-p	530	19.5	60	8.2	75	大面積低コスト化 (1979)		
多 結 晶	III-V 族	多結晶GaAs	Ni/SiO ₂ /n-GaAs/Ge	720	25.0	78	14.0	AM1	薄膜低コスト (1978)	
		多結晶InP	n-CdS/p-InP/C	400	17.3	31	2.8	76	薄膜低コスト (1978)	
		evap. CdS, CVD InP	CdS/InP poly/Mo	370	18.0	-	2.0	AM1	薄膜低コスト (1977)	
	II-VI 族	スクリーン印刷	CdS/CdTe	750	14.0	58	8.9	70	低コスト量産性 (1978)	
アモルファス	a-Si:H	Pt/i-n ⁺ /steel	803	12.0	58	6.0	AM1	世界最初a-SiSC (1977)		
	a-Si:H	ITO/p-i-n /S.S	590	12.0	51	4.5	80	低コスト大面積最初 (1978)		
	a-Si:H	ITO/p-i-n/硝子	550	8.0	55	3.1	蛍光灯	蛍光灯下高効率 (1979)		
	a-Si:H	Pt /i-n/S. Steel	740	6.82	60	4.0	AM2	大面積 (1979)		

(注) AM: Air Mass (空気質量)の略で大気透過の目安である。AM0は大気圏外、AM1は赤道直下の正午に相当する。

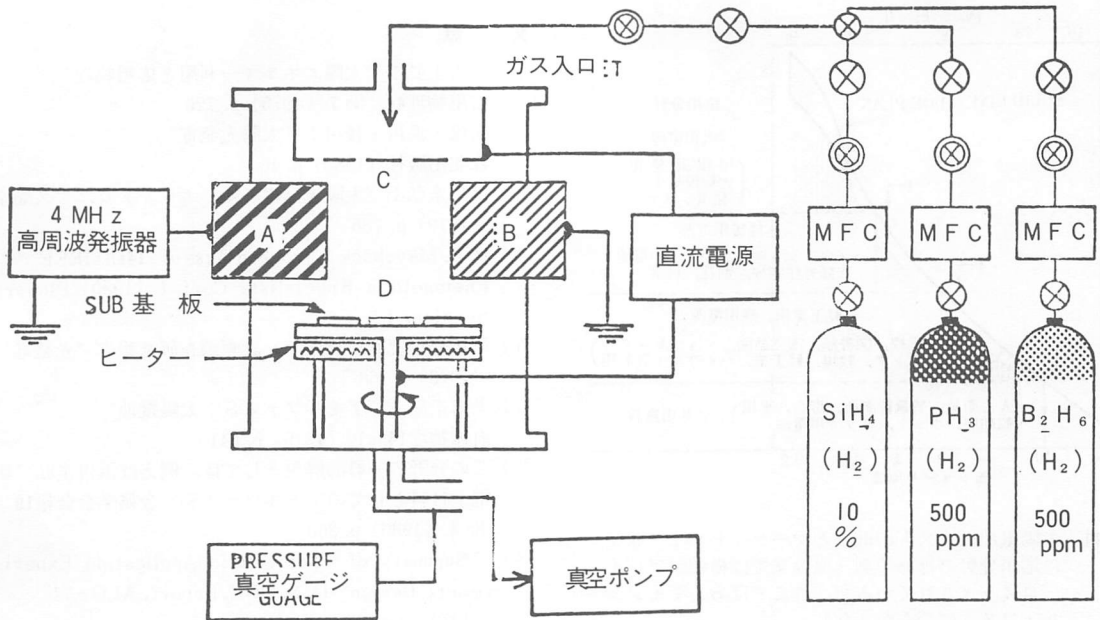
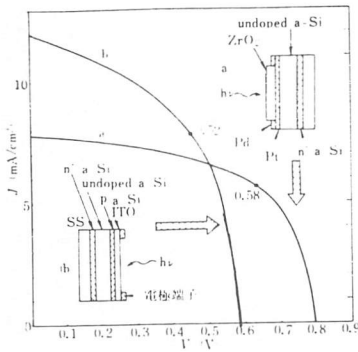


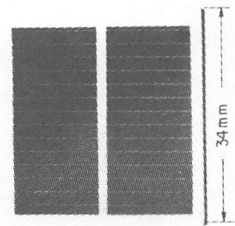
図-9 グロー放電分解a-Si:H膜作製装置。

容量結合による高周波プラズマに直流電界を重畳させたクロス電場法による反応



(a)の曲線はショットキーバリア形(変換効率5.5%, RCA研究所)
 (b)の曲線はITO/p-i-nヘテロフェイス形(変換効率4.5%, 阪大)

図-10 アモルファスSi太陽電池の出力特性(第4世代期の太陽電池試作)



(c)ステンレス基板上に形成したITO/p-i-nヘテロフェイス形太陽電池の試作例(阪大)

陽電池のセルコストが低下すれば、どのような応用分野が開けるか?そして、そのマーケットサイズはどの程度か?について米国エネルギー省の調査結果を図にしたのが図-11である。図の実線はエネルギー省の予測で、ドットを打った蔭の部分、筆者がわが国と米国との電力コストの差などを考慮して、追加的に幅をもたせたものである。図に示した応用分野の段階的拡大区分と、図-6で示したモジュール・コストの推移曲線を見比べて、ここでは石油ショック以前の100ド

ル/Wから、現在までの20~10ドル/Wまでの期間を第1世代期、次いでリボン結晶技術による第一次技術革新までの間の10~4ドル/Wを第2世代期、更にそれから第二次技術革新までの数ドル/W~0.5ドル/Wを第3世代期、そしてその後、アモルファスSi太陽電池などによる数10セント台の期間を第4世代期と名付けた。現在は丁度第2世代期で、事実米国では、学校、図書館、空港管制施設などについて、数10KW~500KW程度のモデルプラントが実用試験中である。⁸⁾

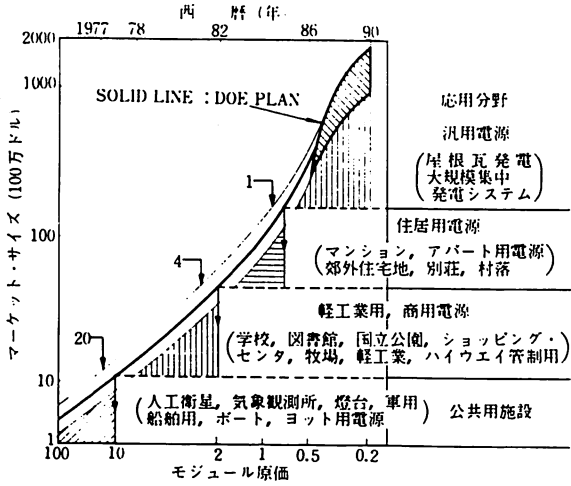


図-11 太陽電池のコストの低下とマーケットサイズ並びに応用分野の推移予測（原論文では横軸がアレイ・コストとされているが、ここではあえてモジュール・コストに読みかえた）

文 献

- 1) 浜川圭弘：“太陽エネルギー利用と応用物理” 応用物理44, No.7 (1975) p. 726
- 2) 高橋・浜川・後川：“太陽光発電” 森北出版社(1980) p. 46
- 3) 浜川圭弘：“太陽光発電-4” エレクトロニクスNo.7 (1979) p. 765
- 4) P. D. Maycock: Proceedings of 14th IEEE Photovoltaic Specialists Conf. I (1980) Plenary Session. 1.
- 5) 昭和53年度サンシャイン計画調査研究報告“光発電” (1973) p. 68
- 6) 浜川圭弘：“アモルファスS：太陽電池” 固体物理14No.10 (1979) p. 641
- 7) 二の分野の一般的解説としては、例えば浜川圭弘“新電子材料としてのアモルファスSi” 金属学会会報19 No.4 (1980) p. 260
- 8) “Summary of Photovoltaic Application Experiments Design” U. S. DOE. Report. ALO-71 (1979) oct.

