太陽電池

NHK 総合技術研究所 吉 川 重 夫

太陽電池を商用電力源として実用化するうえで、現在の最大の課題は発電コストの低減である。そのために、新しい製作方法が開発されつつある。ここでは、1) Si セルの変換効率、2) コスト低減への試み、3) 化合物半導体の利用などを中心に現状を述べる。この分野は、太陽熱発電とともに、再び多くの検討結果が次々と発表されつつあり、今後の発展が期待される。

1. ま え が き

太陽電池の研究開発はしばらく地道な歩みを続けてきたが、ここ 1, 2 年著しい変化をみせた。とくに研究人口の増加はいきおい研究内容の多様性と豊富さをもたらしている。なかでも、米国はエネルギー研究開発局 (ERDA) 機構のもとに、エネルギー自立計画の幅広い研究開発が進んでおり、日本のサンシャイン計画に先行している。太陽電池はこれらの計画のなかで重要な柱であり、期待も大きい。

しかしながら、太陽電池はきわめて基本的な半導体素子であるだけに革新的なバリエーションを早急に期待し得ないが、新しい技術の視点から、すでに試みられたものの再検討やまったく新しい手法 (製作法、構造、装置) を用いての成果が期待されている。

従来、太陽電池の研究開発の課題はその用途の特殊性 (山海隔離地や人工衛星への利用) ゆえに、主に変換効率の向上、信頼性、耐環境性 (熱、放射線などに対して)、軽量化などに重点をおいてきた。これらの点からシリコン単結晶太陽電池 (Si セル) の実用化が最も推進され、ついで CdS, CdTe, GaAs セルなどの開発検討が進められてきた。しかし、今後、一般的な電力源としての利用を考えた場合に、コストの低減と大電力発生システムの検討が最も大きな課題となり、多角的な研究が世界的になされている。サンシャイン計画では太陽電池発電のコストをさげるため、太陽電池モジュールの価格を現在の価格の 1/100 以下にすることを目標として、つぎのようなテーマを中心に検討が進められており、これらはまた世界的な傾向でもある。

- ① リボン状 Si 単結晶引上げによるウェーハコストの低下
 - 縦引き法
 - 横引き法

- ② 薄膜状 Si 膜の利用によるコスト低下
 - 粒子加速成長法
 - 粒子非加速成長法
- ③ 化合物半導体の利用によるコスト低下
 - CdS, GaAs など
- ④ 新形式セルの開発
 - Multijunction セルなど

いまのところ、いずれの材料で、どのような方法を探るべきかの判断ができるまでに至っていないが、現在のような Si 単結晶ウェーハを用いた製作法を単に自動化することのみで目標を達成することは困難である。したがって、まずリボン状 Si 単結晶を開発利用し、ついで Si あるいは化合物半導体多結晶薄膜の利用へと発展していくのが流れであるとみられている。しかし、この予測のリスクは大きく、当面は低純度の大口径単結晶を利用することによってコストを下げるのが、現実的な過程として経るであろうとする見方も多い。

ここでは、これらを背景とした太陽電池の動向と応用面について述べることにし、できるだけ文献 1) ~ 3) との重複をさけた。

2. 太陽電池の原理

周知のように、太陽電池は半導体接合を用いて光エネルギーを直接電気エネルギーに変換する素子である。太陽電池の原理である光起電力効果はとくに半導体材料において顕著に現れ、なかでも p - n 接合での光起電力は太陽エネルギーを電気に変換する効率も実用的な値である。

光起電力効果は本質的に 3 つの過程から成る⁴⁾。第 1 は励起光によって、半導体中に熱平衡時よりも過剰な正孔-電子対を“生成”すること、第 2 はそれらの正負電荷が p - n 接合や金属-半導体接触によって生じている電位差のために“分離”されること、第 3 はその分離した電荷が移動し、“局在”すること、その局在状態は電荷の移動時間よりも十分永く保たれることなどが必要であ

“Recent Status of Solar Cells” by Shigeo Yoshikawa (NHK Technical Research Laboratories, Tokyo)

図1 吸収係数の波長依存性

る。これらの各過程について考えてみよう。

(1) 光の吸収

ある波長の光が入射したとき、物質中を x だけ通過した後の光子数 $N_{ph}(x)$ は、

$$N_{ph}(x) = N_{ph}(0) \exp(-\alpha x)$$

である。 $N_{ph}(0)$: $x=0$ での光子数, α : 吸収係数

図1は太陽電池として興味ある材料について、 α の波長依存性を示している。図に示されているように、基本的に2つに分類できる。すなわち、CdS, CdTe, GaAsのように急峻な立上りをもつ直接遷移型と、Si, Ge, GaPのように徐々な立上りをする間接遷移型である。一般に直接遷移型半導体を用いると、太陽光を吸収するのに必要な厚みが小さくてすみ、薄膜セルを作るのに適している。

(2) 光生成電荷の分離

光の吸収によって生じた電荷対が分離されるためには電位差が必要である。このような電位差は半導体の接合によって作りうる。その代表的なものは、いわゆるホモ $p-n$ 接合（一種の半導体に不純物の分布を作り、 n 型と p 型が形成されているもの）であり、IV族、III-V族化合物およびII-VI族化合物のうちCdTeなどが素材として用いられてきた。またヘテロ $p-n$ 接合（異種の半導体を結合させ、電子現象として整流作用をもたらすもの）はエネルギー変換効率の改良をねらって数多くの組合せについて考えられたが、 $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$, $\text{CdS}-\text{InP}$, $\text{GaAlAs}-\text{GaAs}$ などが良い特性を示している。また、金属-半導体接触は従来あまり検討されずにきたが、低温で製作しうること、短波長感度の向上、安価などの特徴が考えられ、最近、活発に研究されている。

(3) キャリアの移動と局在化

分離されたキャリア（電荷）は拡散または電界によっ

て移動し、セルの両端には極性が生ずる。この極性を保つには、キャリアの局在状態に存在する時間がその移動に要する時間に比して充分長い必要がある。光起電力効果においては、実効的なキャリア寿命が重要である。一般に、少数キャリアの寿命は直接遷移型材料では短く、間接遷移型の方が長い。しかし、直接遷移型材料を用いてセルを作ったとしても、必要な厚さが小さくてすむので、必ずしも効率の低下にはつながらない。キャリア寿命は母体および表面での再結合によって左右され、Si単結晶セルの効率を約20%にするためには、母体結晶の抵抗率を $0.01 \Omega \cdot \text{cm}$ 、拡散長を $100 \mu\text{m}$ としたとき表面再結合速度は 100 cm/sec 位とせねばならない。

図2は光起電力素子の電圧-電流特性であり、短絡電流 I_{sc} 、開放電圧 V_{oc} 、最大出力をもたらす電流 I_{mp} および電圧 V_{mp} などの素子動作を表現する物理量が示されている。明時の電圧-電流特性は、直列抵抗が小さく並列抵抗が大きい場合のダイオード式から、負荷に流れる電流を I_L とすれば、次式で与えられる。

$$I_L = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) - 1 \right] - I_{sc}$$

ここで、 I_0 はダイオードの飽和電流であり、

$$I_0 \propto \exp\left(-\frac{E_g}{BkT}\right), \quad (E_g \text{ 禁制帯幅})$$

一般に定数 $A=B$ であり、理想的な $p-n$ 接合では $A=B=1$ であるが、現実のSi単結晶セルでは $A \cong B \cong 2$ となっている。 I_{sc} は負荷を短絡したときの、いわゆる短絡電流であり、光励起した電子と正孔はすべて収集されるとした場合、次式で表わされる。

$$I_{sc} = Sq(L_e + L_h)G$$

ここで、 q : 電荷量, S : $p-n$ 接合面積, L_e, L_h : 電子と正孔の拡散長, G : 光による電子-正孔対生成率。

AM 0 (air mass zero) 太陽光の照射のもとで、理想的な I_{sc} の最大値はSi単結晶セルならば約 55 mA/cm^2 , GaAsセルならば約 40 mA/cm^2 である。

これらのことから、負荷のないときの、いわゆる開放

図2 太陽電池の電流-電圧特性 (I_{mp} と V_{mp} は最大出力における電流、電圧)

電圧 V_{oc} は $I_L=0$ として、次式で表わされる。

$$V_{oc} = \frac{AkT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right)$$

したがって、入射光量が増すにつれて短絡電流は比例して増大するが、開放電圧は対数的に増加するのみである。光起電圧は接合の障壁高まで発生するが、高々半導体の禁制帯幅で制限される。

なお、“曲線因子”とは(短絡電流×開放電圧)に対する最大出力の比、すなわち $(V_{mp} \cdot I_{mp}) / (V_{oc} \cdot I_{sc})$ であり、“電圧因子”とは qV_{oc}/E_g を呼称している。ここで、 E_g は用いた半導体の禁制帯幅である。

また、太陽電池のエネルギー変換効率 は入射光エネルギーと電気的出力との比であるから、入射光スペクトルの違いによってその表示値が異なることに注意する必要がある。すなわち、同じ太陽電池に対して、宇宙光 (AM0) あるいは地上光 (AM1~3) での効率の値は異なり、その変化の様子は太陽電池の材料と入射光スペクトルによって定まる。ここで AM (air mass) の概念は太陽光の大気中を通過する距離を示すものである。

3. Si 太陽電池のエネルギー変換効率

——理論的限界と現実と得られる差について——

現在、最も実用化の進んでいる太陽電池は、前述のように Si 単結晶を素材とし、その広面積 $p-n$ 接合に垂直に光を入射させる型の、いわゆるプレーナ型シリコン太陽電池である。そのエネルギー変換効率の実用的な平均値は約 11~12% (AM0) であり、高々 13% (AM0) ~ 16% (AM1) である。これまでに、Si セルの変換効率の限界に関する理論的検討は数多くなされているが、その結論と現実との間にはかなりのひらきがある。この点について、M. Wolf の検討結果は参考になるので述べよう⁵⁾。

図 3 は太陽電池のエネルギー変換過程を分析し、出力損失につながる項目をリストアップしたものである。現在の代表的 Si セル (宇宙用) について、そのエネルギー損失量を見積ると図 4 (a) に示すようなバーチャート

図13 太陽電池のエネルギー変換過程と損失項目

図 4 [Si 太陽電池のエネルギー変換損失の現状(a)と将来目標(b)]

になる。同時に、今後期待しうる変換効率は、低抵抗の結晶を用い、種々のエネルギー損失量を改善すれば約 22% (AM0) となること、図 4 (b) に示されている。主な改善要素は電圧因子、収集効率および曲線因子である

と考えられる。

4. 最近の動向

先にも触れたように太陽電池は人工衛星や灯台、無線中継所などでの小規模なコードレス電源として定着をみているが、今後一般電力源として大規模な利用、広範な応用を考えると、コストの低減が最重要な課題となっている。したがって、研究内容は地上用途、コストの低減を目的としたものが大きな比重を占めてきている。しかし宇宙環境での利用構想も拡がりつつあり今後も耐環境性能（放射線劣化、温度変化、信頼性、軽量化など）の向上が継続して検討されよう。ここでは（1）変換効率の向上、（2）コストの低減、（3）化合物半導体の利用その他、として、最近の様子をまとめてみた。

（1）変換効率の向上

太陽電池から得られる電気出力は最適負荷のとき図2の斜線の面積（ $I_{mp} \times V_{mp}$ ）である。効率改善のために、曲線因子を損わずに、 I_{sc} と V_{oc} を大きくする努力がなされている。表1は主に宇宙用として開発されたセルの変換効率の最近の例を示しているが、 I_{sc} の向上のために Ta_2O_5 反射防止膜、浅い接合層と微細格子電極（Violet cells）、表面層の低反射エッチング加工（COMSAT-NRC）や裏面への電界形成（ p^+ 拡散層）などがほどこされている。COMSAT-NRC セルの光入射側の表面は、図5のように約 $10 \sim 20 \mu m$ のピラミッド状にエッチング加工され、反射率を著しく低減して効率の改善を図っている⁶⁾。しかし、このセルは実用上、入射光角度の問題がある。

さて、表1で用いられている Si 結晶の抵抗率は比較的高く、（宇宙用として）総合的に良好なセルが生産されている。しかし、将来的には M. Wolf などの指摘⁵⁾しているように、低い抵抗率の結晶を用いて出力電圧を高めていくのが理論的に有望である。だが現実には低抵抗

表1 高効率 Si セルの概況

Si n on p セル	変換効率	状況
Helios Cells 基板抵抗率 $20 \Omega \cdot cm$ 裏面 p^+ 浅い接合 細い格子電極 反射防止膜 Ta_2O_5	12~13% (AM0)	商品化 Spectrolab 社
Violet Cells 基板抵抗率 $2 \Omega \cdot cm$ 裏面 p^+ 非常に浅い接合 非常に細い格子電極 反射防止膜 Ta_2O_5	13.5~14% (AM0)	近く商品化 OCLI 社
CNR Cells (COMSAT non-reflective cells) 表面を低反射エッチング加工、他は Violet Cells と同じ	15% (AM0)	実験中

率（ $0.1 \Omega \cdot cm$ 以下）の結晶を用いても、予想に反して V_{oc} は向上しない。この原因は充分理解されていないが、拡散層のキャリア寿命の低下と考えられ、この解決は変換効率 20% 台を得るための大きな課題である。また、 V_{oc} を具体的に大きくし得た例にはエピタキシャル技術により、低抵抗率 p 基板に薄い n 型高濃度ドーピング層をつけた素子があり、 $V_{oc} \cong 0.636V$ を得ている⁷⁾。

（2）コストの低減

従来、Si 太陽電池は円柱状の単結晶からスライス、成形、研磨などによって、厚さ約 $0.3 mm$ の基板を作り、電極対工程などを経て製作されている。Si 基板を形成するまでの原材料の損失や作業が多く、コストが下がりにくい。そこで、Si 単結晶基板の作り方を根本的に変革しようとする試みが多くなされている。その代表的な例はリボン状 Si 単結晶を連続的に成長させ、そ

(a) CNR セルの表面エッチング状態

(b) 量子効率の比較

図5 表面低反射エッチング加工の効果

のまま基板として用いるもので、材料の利用率が著しく向上するばかりでなく、セルの自動連続製作が可能となることから、コストの大幅な低減が期待できる。このようなリボン状結晶の成長法には“縦引き”の EFG 法 (Edge-defined Film-fed Growth, 毛細管現象によって狭いギャップから液相膜から結晶を引き上げる) やデンドライト WEB 法 (過冷却状態の融体から“張幕”的に成長させる)、“横引き”の東洋シリコン法などがある。現在いずれの方法にも多くの問題を含んでいるが、当面の重点的な研究テーマは縦引き法の場合、同時に多数体のリボンを同一炉で引き上げるマルチ成長の仕方、横引き法の場合、高速度成長の仕方であろう。EFG 法については、Mobil Tyco Solar Energy 社が 1 インチ幅×10 ミル厚の結晶を 65 フィート以上にわたって引き上げ (写真 1)、効率 10% (AM0) のセルを試作している⁸⁾。

しかし、まだ結晶特性の均一性に乏しく、SiO の析出や純度、双晶、転位などの問題が多い。東芝からは接合形成時の SiC の悪影響が多くみられるにもかかわらず、10×2.5 cm の大きさのセルで効率 9% を得たと報告されている⁹⁾。WEB 法は約 10 年前に開発されたものであるが、Westinghouse 社を中心に再び検討され始め¹⁰⁾、結晶の“すなおさ”は他の方法より優れている点が多くなっているといわれ、再検討の意義は大きい。

一方、横引きの東洋シリコン法でもセルの効率はかなり高いものを得ており、高速成長化への足がかりもあるとみられる¹¹⁾。

次に、Si を多結晶ないしは非結晶質薄膜として用い、使用原料の節減とセル製作工程の自動化を容易にしてコストの低減を図ろうとする Si 薄膜太陽電池について触れる。この研究目標は、いかに安価な基板上に薄膜結晶層を作るか、これを用いてどのように性能のよいセルを

形成するかである。薄膜シリコンセルの最も不利な点のひとつは結晶粒界の表面積が大きいので、実効的なキャリアの寿命が小さく、セルとしては直列抵抗が大きくなり、効率の向上が妨げられていることである。

基板としては T. L. Chu ら¹²⁾は steel, borosilicate graphite などの検討を経て、冶金学的なシリコンを基板としたもので良い結果を得ている。たとえば SiHCl₃ ガスを用い 1150°C、1~1.5 μm/min の成長速度の Si 膜では変換効率 4% (AM0) を得ている。日立からは基板として焼結アルミナ上に Ti 窒化物をつけものを用いて、約 2.6% (AM1) の変換効率を得られたことが報告されている¹³⁾。詳細は不明ながら、最近 AEG-Telefunken 社から、多結晶シリコンを用いて大きさ 10×10 cm で、効率 10% 台のセルが試作されたと伝えられ、コストの低減に向って大きく歩みは始めている¹⁴⁾。

また、非結晶質シリコン膜を用いる試みがいくつかなされている。RCA ではショットキー接合”で、効率 5.5% (AM1) を得ており、最大効率 15% を目標としている。基板はガラス板上に (In-Sn) の酸化膜 (ITO) をつけたものであり、非晶質シリコン膜はシランガスのグロー放電で成長させ、同時に不純物添加を行っている¹⁵⁾。

一方、現在の半導体技術の延長で、比較的短期に実用化し得る方法として、接合形成にはスピコート法による不純物添加ガラス膜を用いた拡散、電極形成にはスクリーン印刷法を用いる量産プロセス (vacuum free process) が検討されている¹⁶⁾。これは通常の Si ウェーハを用いる前提で考えられ、自動洗浄、不純物添加したガラス膜塗布、ベルト式熱拡散、導電ペーストのスクリーン印刷の連続自動化によって 3 インチウェーハを毎時数千枚製作しうると考えられる。

(3) 化合物半導体の利用、その他

最も古くから研究開発されているものが CdS 多結晶蒸着膜を母体として、表面に Cu₂S 層を形成させたセルであり、1961 年 Clevite 社から市販もされた。変換効率 4~6% が得られているが、やや安定性に欠けるところがあり、今日まで種々な検討がなされてきた。松下では CdS セラミック薄板を用いたものから発展させ、スクリーン印刷法による焼結膜を作り、Cu₂S 層との障壁を電気化学法によって形成したセルで効率 4% を得ている¹⁶⁾。最近、同様な方法を CdTe に適用し、効率 8% 台のものが発表された¹⁷⁾。CdTe についてはすでに気相反応法や蒸着法によって試みられ、約 4~6% の効率を得られているが、今回の光の入れ方と素子構成に特徴がある。また、安定度の向上をねらって CdS-CdTe 接合セルの検討も多くなり、良い特性を得つつある。

しかし、従来この II-IV 族系統のセルには特性の長期

写真 1 約 3 フィート径のリールを備えたりボン状結晶引上げ装置

安定性に難点がみられるたが、劣化現象の解明と光起電力メカニズムの理解が進んでいる。

Ⅲ-V族化合物半導体は比較的良好に調べられており、その処理技術も発達していること、また太陽電池として適した禁制帯幅をもつ材料 (GaAs, AlSb, InP やこれらの混晶) があること、さらにその禁制帯幅 (E_g) も Si より大きいことから高温での特性が良いと考えられ、集光式発電素子として注目されている。しかし、GaAs の p - n 接合セルは理論的な値 (24%位) よりもかなり低い 10%前後にとどまってきた。その原因は GaAs の光吸収係数が大きいので接合の深さを浅くしなければならないことから直列抵抗の増大と光励起キャリアの表面再結合速度が大きいことのためであった。このような難点を解決させたのは GaAlAs-GaAs ヘテロ接合セルであり、効率 18% (AM 1) が得られ注目された。

この形式の素子を用いて、Varian 社では集光方式で出力 24 W/cm^2 を得たと発表している。

このような高価な材料を用いて、低コスト化をねらうには薄膜化する必要がある。この試みのひとつとして Peeled-film technology による $15\sim 20\text{ }\mu\text{m}$ 厚の GaAs 単結晶層が用いられ変換効率 13.5% を得ている¹⁸⁾。

p 型 InP または CuInSe_2 単結晶と n 型 CdS 多結晶膜とのヘテロ接合セルが BTL から報告されている。変換効率は徐々に向上して、InP/CdS をフォーミングガス中でアニールすることにより約 14% (AM) が得られている¹⁹⁾。さらに、最近では多結晶の InP/CdS セルを作り 20% 台のものが報告されている。

その他の形式の太陽電池としては金属-酸化物-半導体接触を Au-oxide-GaAs (n 形) で形成したセルがあり変換効率 15% という顕著なデータがみられる²⁰⁾。Au 蒸着膜は $60\text{ }\text{\AA}$ 、酸化膜は不詳であるが $30\sim 50\text{ }\text{\AA}$ と推定され、反射防止膜として Ta_2O_5 が用いられている。

また、太陽光の集光発電方式に適した太陽電池には R. K. Smeltzer らの VMJ セル¹⁾、B. S. Sater らの MJ セル¹⁾、T. Matsushita らの多層接合セル²¹⁾ があり、入射光強度が通常の 50 倍以上になっても変換効率の低下が少ないという特徴をもっている。

5. 太陽電池の応用と経済性

太陽電池電源は完全なコードレス電源であり、エネルギー源が無限であり、経常維持費が少ないという大きな特徴とともに、他の独立電源に比して長期の安全かつ安定性が高く、電氣的ノイズ、リップルが少ない、風雪・温度変化に強く、設置が簡単であり、さらに商用電力配線と比して落雷対策が有利であることなどの利点がある。しかし、太陽光はエネルギー源としてみると、密度が低く、天候、季節、時刻による変動があることなどによって利用上の困難さがあるにもかかわらず、前述の利点は現実には多くの応用を開きつつあり、人工衛星や灯台、テレメータ用電源としてすでに実用されてきた。ここでは、きわめて実際的な応用例をあげよう。

現在、日本における地上施設用の太陽電池電源は約 2,500 カ所に使用され、その総発電量は約 40 kW に達しているとみられる。約 15 年前から灯台、テレメータ関係電源がその大半を占め、次いで無線中継所などに使われている。その個々の電力規模は時計・電卓用の小電源から 600 W 級の灯台用電源まで多種にわたっている。たとえば写真 2 はその単位モジュールの例を示している。写真 2 (a) は太陽光直射 (100 mW/cm^2 として) のもとで出力 0.36 W (4.2 V , 86 mA)、写真 2 (b) は 0.9 W (2.1 V , 430 mA) のものである。神崎灯台 (長崎県対馬) の 590 W 級太陽電池電源は写真 2 (a) モジュールを 1640 個用いた 24 V 出力電源であり、設置費は概算 3000 万円である。また、電圧 100 V 出力 35 W 級の遊水池放

写真 3 臥蛇島灯台の 660 W 太陽電池パネル (日本電気)

写真 2 太陽電池モジュール例 (シャープ)

水警報装置用の電源なども一例である。

写真3は臥蛇島灯台であり、24V、660W 出力の太陽電池電源を備えている。1枚のパネルは66W (16×12モジュール)であり、10枚を屋根に配置している。バッテリーには低放電型鉛蓄電池 (500AH、5並列)を60個用いている。太陽光の季節変動にともなう、太陽電池パネルの向きは年3回調整される。光源はハロゲン電球の連続点灯、光度は10万cdで31カイリに到達する。

ところで、平均負荷消費電力がわかっている場合に、太陽電池電源を設計する簡単な指針は次式で与えられる²¹⁾。6~24Vの電圧をもつ電源では、平均負荷消費電力 $p(W)$ に対する太陽電池の所要出力 $P(W)$ として、

$$P(W) = \frac{141}{0.00416H + 3.3} p(W)$$

ここで、 H は設置場所の年間日照時間であり、日本では平均1800~2000時間とみられる。この式によって、太陽電池の必要概算値が求められたとき、蓄電池の容量は概算的に次式で求められる (きわめて大略的である)。

$$C(AH) = (\text{使用モジュールの並列数}) \times 10 \sim 20$$

米国での実用例を写真4に示している。Spectrolab社の太陽電池電源出力50Wを備えた中継局 (サテライト局)である。また、IRD社はパイプラインにバイアス電圧を印加して電極反応を防止する装置として太陽電池を実用している。最近ではM7社から写真5のような小

写真4 中継局 (米国, カリフォルニア州)

写真5 小型太陽電池電源 (6V, 50~60mA) (M7社)

電源が発表されている²³⁾。"Sun Tap 1"と呼び、出力6V 50~60mA (太陽直射光にて)であり、大きさ3¼インチ四方のSiセルパネル、4個の充電式Ni-Cd電池、付属ジャックを含んで\$39.95である。充電式として従来乾電池3~4個を用いた装置の分野へ進出しようとしているらしい。

今後は地上用電源として、大規模なものが指向されており、米国では5年後に1MW級のCentral Stationが計画されている。さらに太陽熱利用との連携システムなど、多くの構想が検討されている。

ところで、地上用の太陽電池電源の設置コストはセル/モジュールが約2.5~3万円/Wで、これに実際の架台配線、支持具などを装すると約4~5万円余と高価になり、現状の太陽電池が普及し得ない最大の原因となっている。そこで、現在の太陽電池研究の大きな目標のひとつはコストダウンであり、現在の価格の1/100以下にする方法が模索されている。その見通しは将来的に決して不可能ではない。そのためには、前述のように、Siリボン結晶、Si薄膜、CdS塗布膜、集光発電方式などが考えられ、変換効率10%台のセルを用いて、年間10,000kW以上の発電量をまかなうものと仮定すれば現状の1/100になしうるといわれる。これを実現するために重要なことはいかに多くの実用的な利用システムを開発しうるかということである。

一方、宇宙用としての太陽電池利用は信頼性の評価も高く、今後の応用拡大は明白である。軽量化は185W/kg、出力は9.5kW級のものが試みられている。宇宙用太陽電池電源のコストはその特殊な環境性から、信頼性テスト、装着方法などに多くの経費がかさみ、現在のところ地上用の約7~10倍である。このため、宇宙用としてのコストダウンは1/20を目標として進行しているようである。

6. む す び

最近の太陽電池に関する状況を大略述べてきた。太陽エネルギーの利用は熱としても現実性のある利用面をひらきつつあるが、光利用としての太陽電池はコストの低減にあたって素子およびシステム両面にわたって課題が多い。しかし期待が大きいだけに研究開発としてはリスクも多いと考えねばならない。なぜなら、太陽電池コストは生産量に著しく依存するため、大電力発電方式の構成、電力蓄蔵などシステム面での徹底的な検討が望まれ、また同時に応用分野の飛躍的な拡大がなければ、太陽電池電源は実用化しえないからである。それには、太陽電池の本質的な利点を長期的な視点からながめ、従来電力とのコスト比較のみで採否を決めることのないよう

な発想の変化をも期待せねばならない。

最後に、海上保安庁灯台部 坂本氏、シャープ(株) 柿本、石井、鈴木(皓)、川辺の各氏、日本電気(株)早乙女氏の諸氏には資料の一部を提供いただいたことを記して謝意を表す。

(昭和51年11月26日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 吉川：太陽電池の進展，Butsuri, **30**, 9 (1975) 660
- 2) 吉川：太陽電池に関する研究の動き，NHK 技研月報, **17**, 7 (1974) 242
- 3) 徳山ら：エネルギー源としての太陽電池，応物, **43**, 5 (1974) 498
- 4) 例えば，J. J. Loferski: Proc. 10th IEEE Photovoltaic Specialists Conf. (IEEE, 1973) p. 1
- 5) M. Wolf: A new look at silicon solar cell performance, Proc. 8th IEEE Photovoltaic Specialists Conf. (1970) 360 または Energy Conversion, **11**, 2 (1971) 63
- 6) H. W. Brandhorst: Current Status of Silicon Solar Cell Technology, NASA TMX-71828 (1976)
- 7) R. V. D'Aiello: IEDM '75 Tech. Digest (IEEE, 1975) Paper 15-2, p. 335
- 8) K. V. Ravi: Proc. 11th IEEE Photovoltaic Specialists Conf. (IEEE, 1975) p. 280
- 9) 中川ら：Si リボン状単結晶(縦引き法)，第37回応物学会講演会予稿集 2, p. 123
- 10) R. G. Seidensticker et al.: Dendritic WEB: A variable material for Si solar cells, 文献8) の p. 299
- 11) 工藤：Si リボン単結晶(横引き法)，文献9) の p. 125
- 12) T. L. Chu: Polycrystalline silicon solar cells for terrestrial applications 文献8) の p. 303
- 13) 齊藤ら：多結晶 Si 薄膜太陽電池(VI)，第37回応物学会講演会，講演番号 2a-W-6 (1976)
- 14) D. E. Carson, et al.: Amorphous silicon solar cell, Appl. Phys. Letters, **28**, 11 (1976) 671
- 15) たとえば E. Relph: 文献8) の p. 315
- 16) 池上：II-VI 族化合物半導体を用いた薄膜太陽電池，学振 131 委第79回研究会資料 (1976) p. 13
- 17) 中山ら：焼結薄膜型 CdTe 太陽電池，第37回応物学会講演番号 2p-W-3 (1976) p. 462
- 18) 小長井ら：剝離薄膜 Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs 太陽電池，第23回応用物理関係連合講演番号 29 aN12 (1976)
- 19) S. Wagner: 文献7) の Paper 5.5, p. 102
- 20) R. J. Strin, et al.: A 15% efficient antireflection-coated metal-oxide-semiconductor solar cell, Appl. Phys. Letters, **27**, 2 (1975) 95
- 21) T. Matsushita: 文献7) の Paper 15.7, p. 353
- 22) シャープ(株)：太陽電池電源装置技術資料(昭51.3)
- 23) Electronics, Oct. 14 (1976) p. 31

テレビジョン4月特集号「ディスプレイ」予定目次

- 【ふぉーかす】 もぐらのつぶやき NHK 二宮 輝雄
1. 視覚心理とディスプレイ NHK 坂田 晴夫・畑田 豊彦
 2. ハードコピーとソフトコピー NHK 前原 昭義
 3. ディスプレイの応用
3-1 放送とディスプレイ 東京放送 守田 仁也
3-2 通信とディスプレイ 電電公社 釜江 尚彦
3-3 コンピューターとディスプレイ 日電 彌津 孔二・渡辺 順正・首藤 正道
3-4 画像処理とディスプレイ 東大 高木 幹雄
3-5 CADとディスプレイ 富士通 橋本 栄一
3-6 教育とディスプレイ 松下技研 宮崎 栄一・松下通工 後藤 秀治
3-7 医療とディスプレイ 東芝 渡辺 貞一・米山 恒雄
3-8 娯楽とディスプレイ 松下電器 松下 真一
 4. ディスプレイデバイスの最近の動向 NHK 大石 巖
 5. 特許から見たディスプレイ技術の動向 特許庁 谷川 洋・左村 義弘・河端 紘爾・木南 仁