

太陽電池†

林 一 雄*

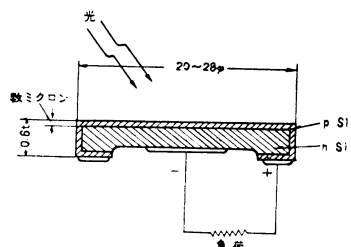
1. 緒 言

堰層光電効果により半導体と金属の接合部に光を照射すると起電力を生ずることは1876年セレン光電池、1920年亜酸化銅整流器ができた当時より知られていた。これらの実際の応用としてセレン光電池が露出計やリレー動作に用いられたがその光エネルギーより電気エネルギーに変換する効率は低く電力源としては用いられなかった。

1954年 Bell Lab. によって発表^{1)~3)}されたシリコンのPN 接合を用いた太陽電池は、その変換効率が従来のセレン光電池の10倍以上もあり電力源として世上の注目を浴びた。さらに最近の宇宙時代の電力源として化学、原子力および太陽電池を比較³⁾するとき、その半永久性、エネルギー/重量の比の値の高い点でシリコン太陽電池が重要視されている。人工衛星では電源用として米国の Vanguard I, Explorer VI, ソ連の Sputonik III に搭載せられ、最初の Vanguard I では12,000時間以上も電源が動作していると聞いている。

またシリコン太陽電池は単に電力への変換器のみならず、光の検出器として光学的に興味ある問題を有している。

2. 構造、原理



第1図 太陽電池の構造

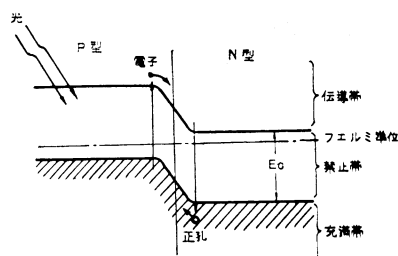
電極をとり出した簡単な構造である。

PN 接合においては第2図のエネルギー帯図に示すように接合境界面に生じた電界によってP層がN層に比して電位が高くなっている。シリコンにおいては充満帯の上端より伝導帯の下端迄の幅、すなわち禁止帯の幅 E_g は 1.1eV である。

いま素子の表面に光が照射されると、光はその波長に

†Solar Battery by K. Hayashi

*日本電気株式会社研究所

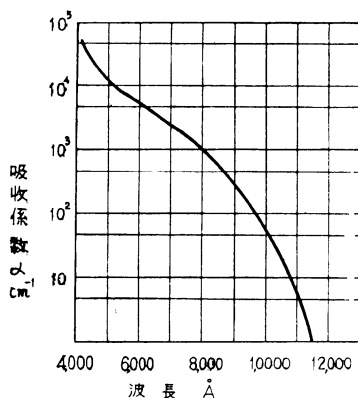


第2図 PN 接合のエネルギー帯

て電子と正孔の対をつくり、これが接合部附近では電界によってP側の電子はn側へ、n側の正孔はP側に移ってP側に+、n側に-を生じ、外部回路に適当な負荷をいれるとこれに電力をえられる。

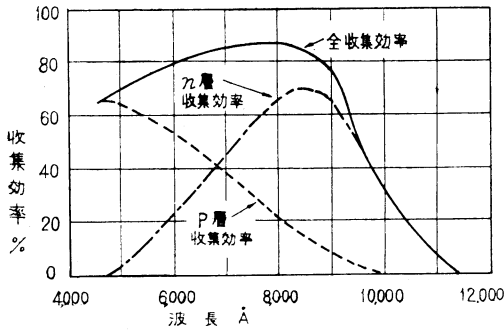
3. 分光感度特性

シリコンにおいてはその禁止帯の幅 E_g に相当する 1.1eV の光すなわち 1.2μ の光より吸収が始り、短い波

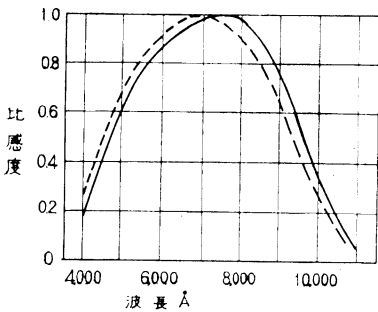
第3図 シリコンの吸収係数 α と波長との関係

長に行くに従い吸収は強くなる。しかしシリコン内部を光が通過する際の波長と吸収係数 α との関係は^{4), 5)} 第3図に示すように短波長になるに従い α は増加し、赤外部と可視部では5桁近くも異なる。そのため短波長側では光が深部まで達せずごく表面で電子と正孔の対を生じ、PN 接合部に達するまでに再結合によって消滅するものも増えてくる。シリコンの吸収係数より計算した太陽電池収集効率⁶⁾ は第4図のように表面のP型層は短波長側に、n型層は長波長側に大である。

この値に光の光子量子数を乗ずれば太陽電池の分光感度特性が分る。波長感度特性は当然表面における光の反射の具合、P型層の厚さによって左右される。P型層の厚さをうすくすることにより短波長側の収集効率が上り波長感度の極大の位置は短波長側にずれてくる。その一例



第4図 太陽電池における収集効率と波長との関係



第5図 シリコン太陽電池のP型層の厚さと分光感度特性
(日本光学藤野研究室測定)

を第5図に示す。

4. 出力特性

太陽電池としては照射された光のエネルギーが高エネルギーに変換されること

が望ましい。光が照射されたとき流れる光電流は

Q : 担体の収集効率 (バルクに発生したものと回路に流れる電流との比)

ρ : 表面における反射係数

α : 光の吸収係数 $\epsilon - \alpha l$: 輻射の伝達係数

l : 厚さ

q : 電荷

$n_{ph}(E_G)$: シリコン太陽電池に照射される光のなかで、電子と正孔を発生するに十分なエネルギーを有する有効光子数

とすれば次式で表わされる⁷⁾。

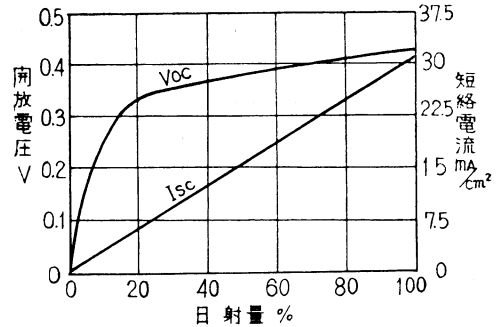
$$I = Q(1 - \rho)(1 - \epsilon - \alpha l) \cdot q \cdot n_{ph}(E_G)$$

表面における光の反射による損失が無く、担体の収集効率が1で、太陽光の光子数の全数、光子数の平均エネルギー等を考慮するとシリコン太陽電池の最大変換効率は理論的に23%近くになる。実際には

- 1) 表面における光の反射
- 2) 生成した担体の接合部に達する以前の再結合による消滅
- 3) 発生した光電流が流れる場合直列内部抵抗による損失

等のため、現在の太陽電池の最大変換効率は15%、平均8~10%である。

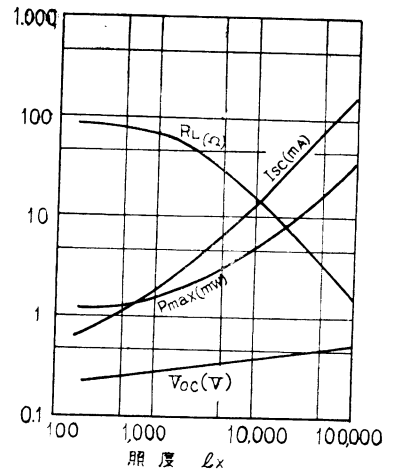
大気圏外では太陽の放射エネルギーは130mW/cm²であるがこれが地表に達するまでに大気中の水蒸気、炭酸ガス、塵埃等により一部吸収されて地表では100mW/cm²と



第6図 日射量と開放電圧および短絡電流

なる。すなわち1m²のシリコン太陽電池よりは80~100Wの電力が得られる。日射量および負荷抵抗を変化したときの出力特性の一例を第6図および第7図に示す。

また素材としてシリコン以外のものとしてこれより E_G の大なる金属間化合物 InP, GaAs, CdTe 等が理論的にはやや変換効率が高いと考えられるが、現在単結晶の製造、PN接合の形成、オーミック接続の点などがシリコンで解決せられておらず実際のものはシリコンより劣っている。



第7図 照度と最適負荷 R_L , 最大出力 P , 開放電圧 V_{oc} および短絡電流 I_{sc} の関係

試料 28φ 太陽電池 光源 500W スポット写真電球
照度測定 セレン照度計

5. シリコン太陽電池の応用経過

5.1 海外での応用

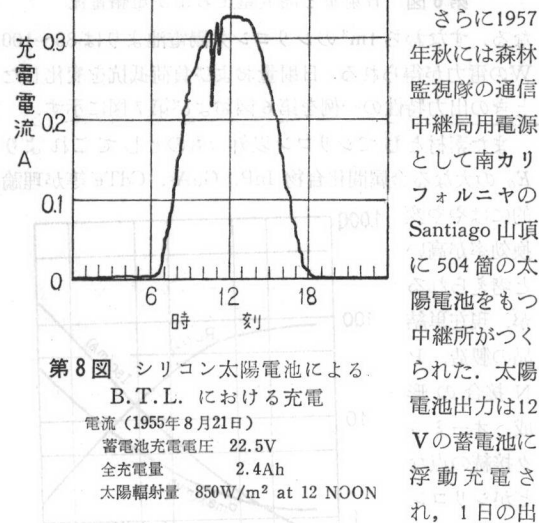
シリコン太陽電池は最初 Bell Lab.^{1)~2)} によって1954年はじめて発表され、当時の変換効率は6%近くであった。その後特性の改善が加えられ効率は11%に向上⁸⁾した。実際的应用は1955年10月4日⁹⁾同じく Bell Lab. の手によって Georgia 州, Americus において P型 rural carrier (農村簡易電話) の電源として用いられた。これは9箇の太陽電池をブロックとしてプラスチックのケース内に収容し、48ブロックすなわち432箇の太陽電池が電柱の頂上にとりつけられた。その出力は9Wで22VのNi-Cdアルカリ蓄電池に浮動充電させられた。これ

により今後の通信用電源に用いた場合の種々の実験データがとられたわけであるが当時の結論としては経済的には価格が高価であった。

同年 8 月 21 日上記太陽電池により Bell Lab の屋上で行われた 22V 蓄電池への充電の様態を第 8 図に示した。

その後米国では Hoffman Electronic Corporation と International Rectifier Corporation の二社によって生産が行われている。

現在電源として用いられているものにトランジスタラジオ、柱時計用等がある。



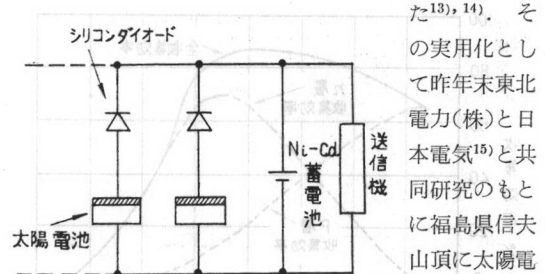
は 125 Watt-hour である。

また光源の電源用として米国沿岸警備隊がロスアンゼルス港外の灯台に用いた。これは 320 箇の素子が約 0.75 m² の板の上に配列され、出力は 12V, 100AH の蓄電池に充電され、灯台 16W の電球が一夜に 2,500 回点滅を行なっている。

人工衛星用電源としては米国では Vanguard I^{(10), (11)}, Explorer VI⁽¹²⁾ に搭載されている。Vanguard I については直径 6.4 吋の衛星の周囲に太陽電池 18 片 1 ブロックとなったものが 6 ブロックとりつけられている。1 ブロックの素子の出力は 4.8V, 6.5mA および 1.6V, 6.5mA で電力は 42mW である。太陽光線の当たっている太陽電池または蓄電池より、光の当たらない陰の部分の太陽電池へ電流の流れるのを防ぐために第 9 図のように、6 ブロックの太陽電池はそれぞれ逆流防止用ダイオードを経て並列に接続されている。Vanguard I は上層で隕石の衝突、X 線、γ 線等多くの太陽電池を損傷する因子が懸念されていたが未だに健全に電源が動作しているときいている。

5.2 わが国での応用

我国においても研究は米国より 1 年遅れて始められ



第 9 図 人工衛星の電源系統図

た超短波無人中継局が設置された。中継器の所要電力はすべて太陽電池(第 10 図)より供給され、その出力は夜間や悪天候にそなえて Ni-Cd 蓄電池に充電されている。素子は直径約 28φ の 4,320 の筒が 9 箇所ずつ 1 ブロックにアクリル樹脂内にモールドされて、これが適当に直並列に接続されて総計の最大出力は約 70W である。太陽電池は局舎の上に真南に面して 40°±7°の角度をもって設置されている。設置以来約 1 年中継局は無事故で動作している。

さらに光源の電源としては、海上保安庁により瀬戸内



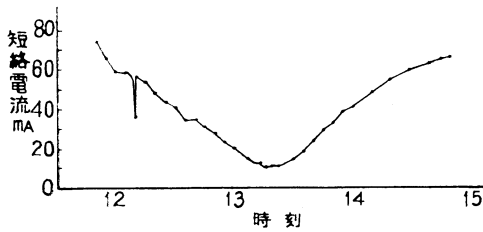
第 10 図 太陽電池を電源とした信 夫山無人中継局

た。屋外の明暗の度に応じて標示灯を点滅する日光弁装置にも太陽電池が用いられている。その他現在種々の光検出器としての用途が開発されつつある。

太陽電池の出力短絡電流は照射光量に比例するので、光電流より日射量を測定することができるが、第 11 図に昨年 4 月 19 日の日蝕の際の太陽によるその観測データを示した。短絡電流と太陽の欠けた割合とは見事に一致しており、このようにシリコン太陽電池は日射計への応用も考えられている。

6. 今後の問題点

太陽電池が今後電源用、光検出用として用いられる際



第11図 太陽電池による日蝕観測記録 (33.4.19)

太陽電池直径 28φ

場所 神奈川県川崎市玉川向, 日本電気研究所

に次の諸点が問題になる。

6.1 変換効率の向上

従来セレン光電池はその変換効率が0.5%程度であったが、シリコン太陽電池においてはその30倍近いものも得られるようになった。達しうる最大変換効率は23%近くであると考えられるので、今後さらに表面反射による損失の減少、内部抵抗の減少等により実際には20%位になるとと思われる。

6.2 経済性

特に電源として用うる場合はその価格が重要な問題になる。シリコン太陽電池の原料は資源的には豊富であるが、その高純度のものを得る際、精製が困難で原料が相当高価となっている。しかし事情はトランジスタに似て次第に価格の低下が期待され、電源として太陽電池と乾電池を用いた場合を比較すると使用の場合の立地条件を考えると太陽電池が有利の場合もあらわれてきている。

6.3 新技術による太陽電池

現在のシリコン太陽電池はシリコン単結晶より薄板を切り出して素子を製作しているが、今後シリコンに限らず他の半導体でも蒸着、鍍金、熱分解、シンター等い

れかの方法により薄膜を用いてPN接合をつくり、効率の高い光電素子を形成せしめることに成功するとすれば、大面積の安価な太陽電池が可能となる。これは今後研究者にとって興味あり、かつ重要なテーマである。

文 献

- (1) D.M. Chapin, C.S. Fuller and G.L. Pearson : B. L. R. (1954) 232
- (2) D.M. Chapin, C.S. Fuller and G.L. Pearson : J. Appl. Phys. **25** (1954) 676
- (3) D. Linden and A.F. Daniel : Electronics **32**⁻¹² (1959) 43
- (4) H.Y. Fan, M.L. Shepherd and W. Spitzer : R.G. Breckenridge, B.R. Russel and E.E. Hahn (Wiley, N. Y., 1956)
- (5) R. Braunstein, A.R. Moore and F. Herman : phy. Rev. **109** (1958) 695
- (6) M.B. Prince and M. Wolf ; B. I. R. E. **18**—10 (1958) 583
- (7) J. J. Loferski : J. Appl. Phys. **27** (1959) 777
- (8) B. L. R. (1955) 166
- (9) B. L. R. (1955) 434
- (10) L.V. Berkner : "Rockets and Satellites", Pergamon Press, London 1958
- (11) J. D. Moleam : Signal **8** (1958) 12
- (12) C & E news; **17** (1959) 24
- (13) 石川, 林 : 電気四学会連合大会, 昭和32年
- (14) 林 : 電気通信学会誌 (昭33) 780
- (15) 林 : NEC **41** (昭34) 32

照明界のトピックス

鉄道技研が国立に移転

鉄道技術研究所は、いままで浜松町に本部をおいて、このほかに国立、大井町、津田沼の各地に分散して研究を続けてきた。このためいろいろの不便をかこっており、これを解消しようというので、33年10月からかつて国鉄の所有地だった中央線国立駅付近に総合研究所を建設中であったが一期工事の前半として管理棟と研究棟の二棟ができていった。10月16日に移転披露式が行われて、直に移転が始められた。研究棟は鉄筋コンクリート地下1階、地上五階、延面積11,330 m²で引続き化学部門の研究棟実験棟が完成の予定である。当学会と関係のある電気試験研究室は国立に全部移転した。

台風と携帯電灯

昭和20年から23年ごろには必需品とされ、爆発的人気をえていた携帯電灯は、電力事情の好転とともにその人気は下火となってきた。ところが9、10月の台風シーズ

ンを迎える期節になると、年間を通じて一番活発な売行きをがす時となる。

今回の伊勢湾台風では気象台の予報によって、来襲前日あたりから需要者が殺到し、関西地区ではわずか1日で、3カ月分を売切った店も出たと伝えられている。

水銀灯黄金時代へ

商店街の百貨店への対抗策の一つとして、街を明るくする上に水銀灯は一役買って非常な進出みたが、この他公園、広場、スポーツ施設、操車場あるいはハイウエーと多種多様に各方面の採用で、黄金時代現出へのまっしぐらといった有様である。

この普及の足を生産高からみると次の通りである。

昭和32年1月～6月	19,000個
昭和33年1月～6月	44,000個
今年 1月～6月	63,000個

(日刊工業10月19日より)