



進化し続ける太陽電池

—— 小長井・山田研究室～電力・電子コース ——



(中)山田 明 助教授

(左)岡本 保 助手

(右)小長井 誠 教授

太陽電池は電卓や交通標識用の電源などでお馴染みだと思うが、その太陽電池がいよいよ電力用としても一般家庭に普及し始めようとしている。1992年からは、家庭に太陽電池を設置した場合に、昼間は余った電力を電力会社に売り、夜は電力会社から電気を買うということが法的にも可能になった。これにより、太陽電池が家庭でも利用しやすくなり、環境ブームとも相まって太陽電池への関心は非常に高まっている。小長井・山田研究室では半導体全般に関する研究をしているが、今回はそのうちの一つである太陽電池の話をうかがうことにした。



知ってるようで知らない太陽電池

薄っぺらな太陽電池を見て、どうしてこんなものから電圧を発生させられるのだろう、と疑問に思ったことはないだろうか。そこで、まず太陽電池の発電原理から簡単にみてみよう。太陽電池と言っても様々な種類があるが、発電原理はどれもほぼ同じである。

太陽電池は普通半導体でできている。この半導体にある値以上のエネルギーをもった光が入射すると、今まで結合にあずかっていた電子が束縛を逃れて自由電子となる。そのために荷電子が欠けたところのことを正孔といい、先の自由電子と合わせて電子正孔対という。この電子正孔対はそのままの状態だと、そのうち電子が正孔に引き寄せられて、またもとの状態におさまってしまい、それでは電圧は生じない。

ではどうしているかというと、図1を見ていただきたい。p形とn形の、2種類の半導体を接合させているのだ。この接合面のことを界面と呼ぶが、実はこの界面付近にはpn接合による電界が存在する。このため、界面付近で生まれた電子正孔対は電子はn形半導体に、正孔はp形半導体に

というように分けられる。分けられた電子と正孔は、界面から離れた電界のほとんど存在しないところまで追いやられ、そこにたまる。そこへ何か負荷をつなぐと電子が流れ出す、つまり電流が流れるというわけである。

以上が太陽電池の発電原理だが、太陽電池にはどのような特徴があるだろう。

まず、地球に優しいエネルギー源だということだ。太陽の寿命は我々人類のそれに比べれば無限

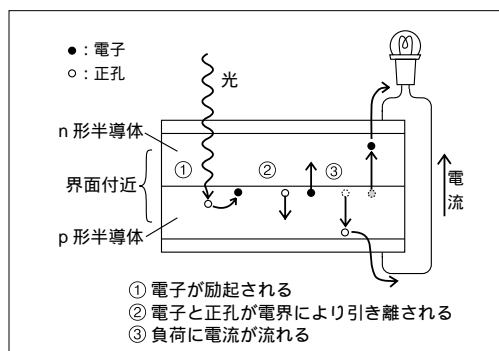


図1 太陽電池の一般的な仕組み

に近く、しかも太陽電池は排ガス等を全く出さないことから、ほぼ無尽蔵であって、かつクリーンなエネルギー源と言える。

また、太陽電池は発電量そのものは少ないものの、我々の生活に大変都合良く発電する。巻町の原発建設問題が話題になったが、今なぜ新たな発電所が必要かという、クーラーの普及による所が大きい。実は冬期や朝方などの電力需要は夏の昼間の半分程しかない。つまり、巨大な電力設備は、冬や朝ではその半分近くが無駄なのだ。一方太陽電池は当然日差しの強い時、つまりクーラーをつける時にたくさん発電するため、太陽電池が普及すれば、かなりの電力設備が不要になる。

良いことづくめのようにだが欠点もある。太陽電池は半導体でできていると述べたが、その材料にはシリコンが多く用いられ、種類によっては希少金属も必要とされる。シリコンは地球上で最も多い元素だと言われているが、実際に太陽電池に使

えるほど質の良いシリコンはどこにでもあるわけではない。また、地球全体に降り注ぐ太陽からのエネルギーは莫大なものだが、面積当たりのエネルギーは非常に小さい。例えば日本の電力を全て太陽電池で賄おうとすると、少なくとも房総半島をすっぽり覆う位の面積が必要になる。

そして最大の欠点はコストだ。現在、家庭に設置しようとなると300万円位かかる。太陽電池の出力は直流であり、一般家庭で使っている交流に変換するためにはインバータ等の機器も必要になる。太陽電池そのものだけでなく、そういった周辺設備もかなり高い。

しかし、太陽電池の製造に必要なエネルギーをその太陽電池自身の発電で回収するのにかかる年数は、生産量などにもよるが3年を切っている。その一方、太陽電池の寿命は何十年もあり、深刻なエネルギー問題を解決するために太陽電池がいかに有効であるかわかるだろう。

理想の太陽電池を追い求めて

太陽電池にもいろいろあるが、ここ小長井・山田研究室では、アモルファスシリコン太陽電池と、 CuInSe_2 すなわち銅・インジウム・セレンの化合物半導体太陽電池の2種類を研究している。それらを紹介する前に、理想的な太陽電池の条件を説明しておこう。

まず変換効率が高いことだ。変換効率とは、入射した太陽光エネルギーのうちの、どの程度を電気エネルギーに変換できるかという指標だ。例えば13%だった変換効率が14%になったとしよう。すると簡単な計算をしてもらえば分かるが、同じ

量の電力を得るために必要な太陽電池の面積は約9割で済むようになる。そうなれば材料と土地がかなり節約できることになり、特に資源が少なく国土の狭い日本では、少しでも変換効率を上げることが重要なのである。

また太陽電池は、その種類によって吸収しやすい光の波長が変わってくる。だから地球上で使うことを考えれば、地球に降り注ぐ太陽光のスペクトルをたくさん吸収するような太陽電池が望ましい。同様に人工衛星等の太陽電池には、地上のものとは少し違った、宇宙での太陽光スペクトルに合ったものが使われている。

さらに、当然のことながら安く、しかも大面積に均一に作れるものがよい。これらの条件をめざして研究が行われているわけだ。それでは研究室の太陽電池をみてみよう。

<アモルファスシリコン太陽電池>

このアモルファスシリコンというのは、シリコンがランダムに配列しているものだ。図2は光が下から入射する図で、a-Siはアモルファスシリコンの意味である。透明導電膜というのは、読んで字のごとく電気を通す透明な膜で、ここでは酸化亜鉛を使っている。

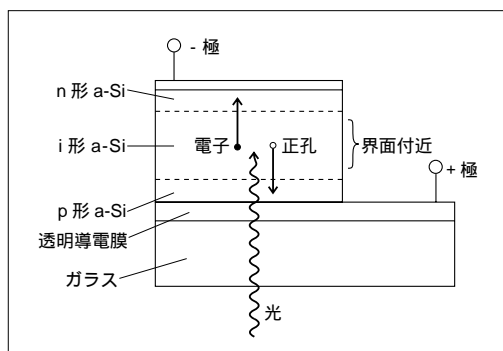


図2 アモルファスシリコン太陽電池

p形とn形の半導体は不純物を添加して作るのだが、アモルファスシリコンに不純物を添加すると欠陥が生成されてしまう。この欠陥があると、そこを通して電流が流れてしまい、太陽電池として機能しなくなる。そこで、そのp形とn形の間に不純物を添加しないi形の半導体をはさんだ構造になっているのだ。しかし、基本的にはp形とn形の太陽電池と同じ原理であると考えて良いだろう。

次に製造法であるが、この研究室では光CVD（化学気相成長法）という方法を使っている。具体的には、モノシラン（ SiH_4 ）のガスを光で分解してシリコンの膜を作っている。プラズマや熱を加えてガスを分解する方法もあるが、光CVDなら低温（約200℃）で分解させることができるため、ここではこの方法をとっている。

この太陽電池の長所は、製造法が簡単なので安くでき、ガスを分解して作るため大面積に均一に作れることだ。一方短所として初期劣化という問題がある。アモルファスシリコンの場合、光をこの太陽電池に照射すると、変換効率が作りだすの時に比べて15%程落ちてしまう。今、製造法や構造を工夫して劣化の少ない太陽電池を開発することに全力を尽くしている。

次に、この太陽電池の変換効率を上げるためになされている工夫を紹介しよう。一つ目として透明導電膜に凹凸をつけるという方法がある。そうすることにより界面付近を通る光の道筋が長くなり（図3）半導体に吸収されるエネルギーも大きくなるために、変換効率が高くなるわけだ。

もう一つの方法は、デルタドーピングと呼ばれるものだ。図2で示したように、光はp形の方から入ってくる。変換効率を上げるには、光のエネ

ルギーをここで熱に変えたりすることなく、なるべく界面付近に行き渡らせたい。つまりp形半導体は光の透過率が高い方が良いわけだ。半導体は不純物を入れて作るが、これを半導体全体に入れるのではなく、薄い一部分だけに集中して入れると透過率が上がる。すると、光のエネルギーはp形で無駄に消費されることなく、界面付近にもよく届くようになる。そうすれば界面付近で電子正孔対がたくさんできて、結果的に変換効率が上がるというわけだ。

< CuInSe_2 化合物半導体太陽電池 >

この研究室で研究しているもう一つの太陽電池が CuInSe_2 太陽電池だ。これは欧米などではさかんに研究されているもので、構造は図4のようになっている。透明導電膜がn形半導体を兼ねており、 CuInSe_2 はp形の役目を果たしている。アモルファスシリコンのときと同様、透明導電膜に凹凸をつけている。

製造法は、単純に言ってしまうと真空蒸着という方法をとっている。真空中に基盤（この場合はガラス）を置き、そこへ作りたい膜の材料となる金属等を入れて加熱し、それが蒸気になったものを基盤に付けるという方法だ。

こちらの長所としては、まず変換効率が高いことだ。アモルファスシリコンでは12%程度であるのに対し、こちらの変換効率は世界最高では17%にも達しており、これはまだ上がると見られている。そしてアモルファスシリコンのように劣化したりはしない。さらに、吸収できる光のスペクトルが地球上での太陽光のものと近い。では短所はというと、作り方が複雑だという問題がある。この太陽電池は、銅、インジウム、セレンの混合比率を1:1:2にして作るが、インジウムの一部を

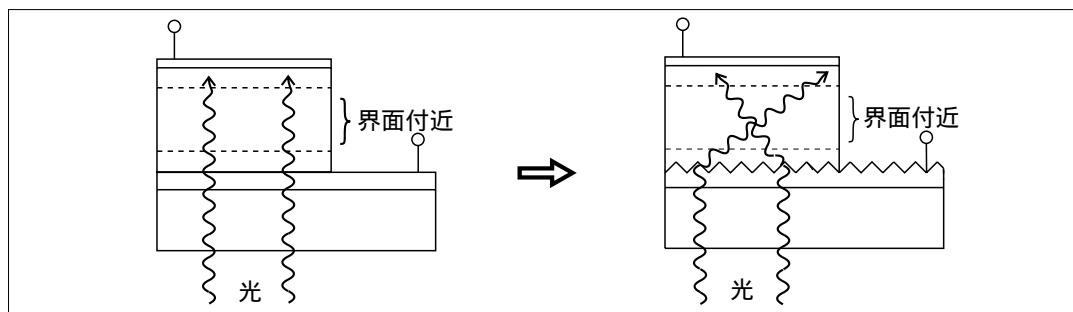


図3 透明導電膜に凹凸をつけると...

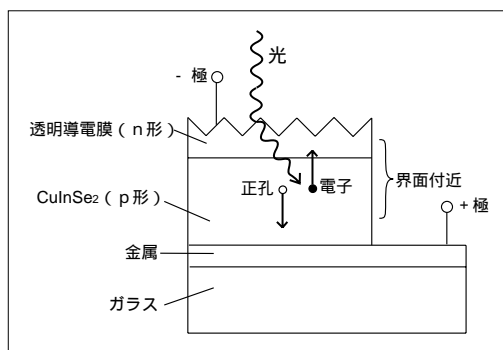


図4 CuInSe₂太陽電池

同じ3族のガリウムで置き換えている。これら4種の混合比率が難しく、また真空蒸着では500くらいの高温が必要になる。インジウム、ガリウムが地球上にあまり無いことも難点の一つとなる。

しかし、作り方が複雑であるからこそ、そこが研究のポイントとなっている。先生の研究室では銅、インジウム、セレン、ガリウム、これら4種の材料の混合比率を微妙に調整することによって変換効率を上げようとしている。理論的に最適な比率というのはあるのだが、実際には理論通りにはいかず、ここに試行錯誤を必要とする。

これからの太陽電池

先にも述べたが、これからますます深刻になっていくであろうエネルギー問題、温暖化の問題等を解決するためには太陽電池は大変有効であり、その普及が望まれる。

そのために一番必要なのはやはり値段を下げることだろう。第一次オイルショック直後の昭和49年頃に1ワット当たり2～3万円していた太陽電池モジュール価格も、現在では1000円/W前後まで下がってきている。これをさらに安くするにはどうしても大量生産が必要になる。とは言うものの、急に普及させようとしても無理なので、最初は学校や駅等、公共の場所に設置し、それから徐々に家庭の屋根にも設置していくのが良いのではないだろうか。もちろん、行政が補助金を増やすなど、積極的に引っ張っていかれば普及しやすいだろう。

だが、行政だけが頼りではない。例えば最近では、太陽電池メーカーと銀行が手を組んで、太陽光発電システムを家庭に設置するための低金利融資制度を作ったりしている。民間も太陽電池の普及に向かって既に動き出しているわけだ。太陽電池があちこちの家の屋根や壁に見られる日もそう遠くはないのかもしれない。

そして、普及がもっと現実的になると、また別の問題も出てくる。例えば家の屋根に設置した場合など、火災が起きても使われている材料が健康に害を及ぼさないかという点も考えなくてはならない。また、普通の家に設置しようとするならば、その屋根や壁に設置することになる。そうなってくると、設置した際の見栄えというものも考えなくてはならない。最近では、シースルー太陽電池と言って、太陽電池を組み込んだ窓ガラスや、太陽電池を組み込んだ瓦等が作られ始めているが、これからの太陽電池の研究は、それらの開発に重点が移っていくのかもしれない。

一方、世界に目を向けてみれば、電気が普及していない地域もたくさんある。それらの地域に太陽電池を持っていけば、簡単に電力を得ることができる。日本では、ゲル（移動テント）を持って移動するモンゴルの遊牧民のために、携帯用太陽光発電システムを作り、これが大変喜ばれている。地域によっては、太陽電池で発電した電力を使って何か産業を興せば、国が豊かになることも可能かもしれない。そんなふうに日本が世界に貢献できたらどんなに素晴らしいことだろうか。

今回は先生が大変お忙しい中取材させていただいたにもかかわらず、難しい話も時間をかけてわかり易く話してくださった。

度重なる質問にも一つ一つ丁寧に答えてくださり、私への説明のために使われた紙は十数枚にも

上った。おかげで未熟な私にも大変良く理解することができた。ここで改めて先生に感謝するとともに、太陽電池の研究のみならず、小長井・山田研究室のご発展を心からお祈りしたい。

（奥田 敦）