

**太陽光発電とは** シリコンなどの半導体に光が当たると電気が発生するという光電効果を応用した太陽電池を使用して、太陽光から直接電気を発生させるのが太陽光発電である。

**太陽電池とは** 半導体素子（p型半導体とn型半導体を接合して構成されている）の原理を以下で説明する。

物質のなかには電気をよく通すもの（導体：自由に動ける電子（伝導電子）が多い物質）とほとんど通さないもの

（絶縁体：自由に動ける電子（伝導電子）が少ない物質）があるが、その中間に位置するものもある。それらを「半導体」といい、シリコン（Si）やゲルマニウム（Ge）などの物質はその代表例である。

このシリコンやゲルマニウムといった半導体には面白い性質があり、その温度を上げていくと、物質中を自由に動ける電子（伝導電子）がほとんどなくなってしまい、電氣的に絶縁体になる。逆に、その温度を上げていくと、熱エネルギーが刺激になって、数多くの電子が自由な状態に移り、その結果電気が流れ易くなる（つまり導体となる）ようになる。

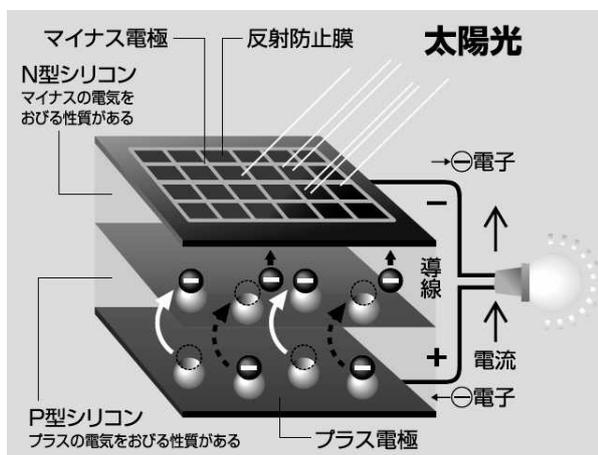
この熱（エネルギー）の代わりに光（エネルギー）を当てても、同じように半導体中の電子を刺激（励起）することができる。ここで、シリコンにごく少量のリン（P）を混ぜて結晶を作ると、この電子の励起がさらに起こりやすくなる。その理由を簡単に説明する。

14番元素のシリコン（Si）の原子核の周りには14個の電子があるが、そのうちの10個は原子核にしっかりと引き付けられており、残りの4個は比較的離れたところにいる（これを価電子という）。

結晶のなかでは、各シリコン原子は規則正しい位置にあって互いに結合しているが、その結合の仕組みは、シリコン原子のもつ価電子がすぐ隣のシリコンに引っ張られるからである。つまり、それぞれのシリコン原子には4本の腕があって、それぞれが隣の原子の腕と握手していると想像すると理解しやすい。

このシリコンに微量のリン（P）を加えて結晶を作ると、本来シリコン原子があるはずの位置にリン原子が入ることになる。ところが15番元素のリンは5個の価電子をもっているため、1個の価電子が遊んでしまうことになる。この遊んでいる電子は光や

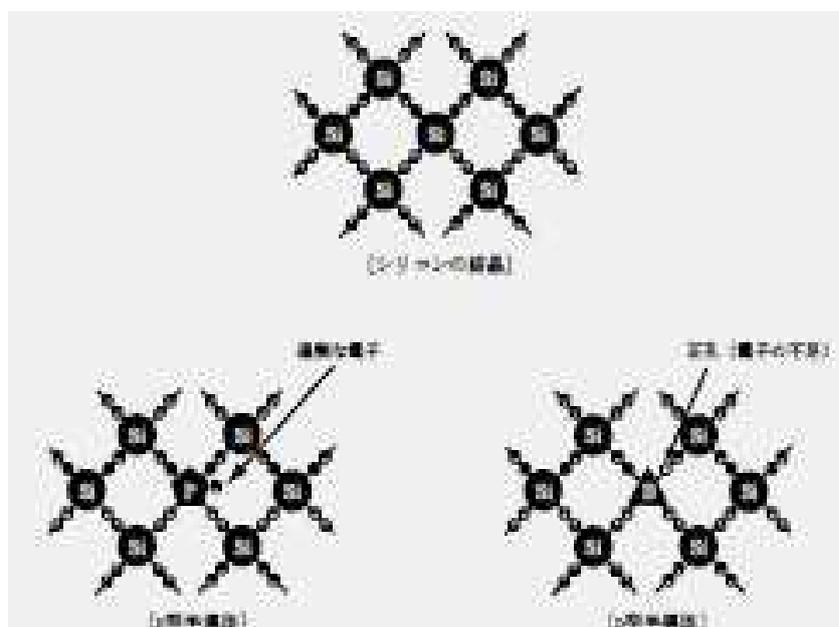
太陽光発電のしくみ（新エネルギー財団パンフレット）



熱の刺激で特に励起されやすく伝導電子になる。もしそこに電位差があれば、伝導電子は移動、つまり電気が流れることになる。

電気の流れとは、電子の移動、つまりマイナス（ネガティブ：negative）の電荷をもつものであることから、この型の半導体は頭文字からn型半導体と呼ばれている。

一方、リンの代わりに微量のホウ素（B）を混ぜると、Bは価電子を3個しかもたないので、4本の腕のすべてに電子を割り振ることができず、上記の場合とは逆に電子の空席ができることになる。この空席に、ちょっとした刺激で隣にいた電子が移動してくると、元いた場所が空席になる。この空席を正孔（ホール）と呼んでいる。例えば、左側にいた電子がホールを埋め、その結果できたホールをさらに左側の電子が埋めたとすると、それはまるでホールの方が左に移動して行ったように見える。ホールはまるでプラス（ポジティブ：positive）の電荷をもった実在の粒子のような振る舞いにみえるので、この型の半導体は頭文字からp型半導体と呼ばれている。シリコンの結晶とn型半導体とp型半導体のイメージを図に示す。

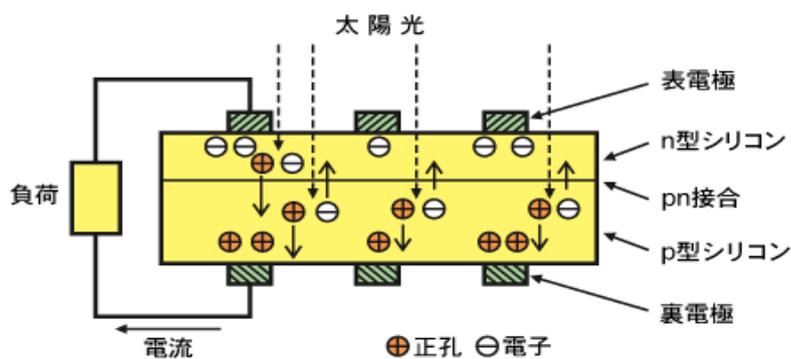


シリコンの結晶とn型半導体とp型半導体のイメージ

(財)エネルギー総合工学研究所、新エネルギーの展望 太陽光発電改訂版（1991年3月）

太陽電池は、このp型半導体とn型半導体を接合させたものを使うが、この接合をpn接合という。通常の温度のもとでは、そのどちらの層の中にも、熱の影響である程度の数の伝導電子が存在するが、その数に差があるために、pn接合の境界面近くには電位の勾配ができる。このpn接合の半導体に光（エネルギー）が当たると、伝導性の電子とホールが生じるが、電位勾配によってそれぞれ逆方向に移動する結果、電子はn側に、ホールはp側に集まり、pn接合の両端に電位差ができ、つまり電池（太陽電池）として働き、電気（エネルギー）が生じるのである。

この作用は、**単結晶**でなくても、小さな結晶が集まった**多結晶**の場合にも存在し、**アモルファス**(**非晶質**)：原子は整然とは並んでおらず、ある程度雑然としている)の場合にも似た作用があることがわかっており、現在では単結晶だけでなく、多結晶やアモルファス(非晶質)な半導体を用いた太陽電池も用いられている。(下図は太陽光発電協会ウェブサイトより)



## 太陽電池の種類は

太陽電池に用いる半導体材料としては、前に述べたシリコンのほかに、化合物半導体などいろいろな物質がある。太陽電池の受光面に当たった太陽光のエネルギーのうち、何%が電気のエネルギーに変わるかの割合を変換効率（光電変換効率）というが、変換効率は、量産レベルの太陽電池セルで、現在おおよそ10数%程度のものが主流といわれている。

変換効率があまり大きくない理由は、太陽光にはいろいろな波長（ほとんどが0.3～数ミクロン）の光（電磁波）が含まれているが、半導体の方はその種類に応じて変換に適した波長が存在し、それより長すぎても短すぎても役に立たないからである。変換効率を上げる目的で、最近の種類異なる太陽電池セルを重ねることも試みられている（積層型ないしタンデム型）。少なくとも現在では、普通の利用目的に対してシリコン電池が主流になっている。

太陽電池には、使われる素材や構造によっていろいろな種類がある。開発中のものを含めると多岐にわたるが、ここでは現在普及が進んでいるものを紹介しよう。

シリコン系		
結晶系	単結晶シリコン太陽電池 多結晶シリコン太陽電池	単結晶または多結晶のシリコン基板を使用したタイプで、発電効率が優れています。現在、最もたくさん生産されているタイプの太陽電池です。
非結晶質系	アモルファスシリコン太陽電池	ガラス、または金属等の基板の上に、薄膜状のアモルファスシリコンを形成させて作ります（薄膜シリコンといい、シリコン量が1/100以下）。将来の低価格化が期待されている太陽電池です。
化合物半導体系		
結晶系	単結晶や多結晶の化合物半導体太陽電池 （GaAs 太陽電池（ガリウム砒素）や CdTe 太陽電池（カドミウム-テルル）など）	化合物半導体太陽電池とは複数の元素を主原料としたもので、単結晶と多結晶のものがあります。単結晶の太陽電池には、人工衛星などの特殊用途に使われているものなどがあります。多結晶のものには、用途や使用方法に合わせて多様な材料や構造のものがあります。

上記以外にも、異なる性質の材料を組み合わせたハイブリッド型や非シリコンで色素増感型など、いろいろな太陽電池があります。

### シリコン系の結晶の形による分類

シリコン電池は、使用されるシリコンの結晶の形によって三つに大別される。つまり単結晶、多結晶、およびアモルファス（非晶質）である。

### 1) 単結晶シリコン型

単結晶シリコン型とは結晶構造が単結晶のシリコンを用いた太陽電池を意味する。その製造方法の概略を述べると、太陽電池は半導体（シリコン）の薄い板（ウェハー）を用いて作られるが、一般的に用いられている方法は、まず直径が10センチ程度の円柱状の塊（インゴット）を作り、それを輪切り（スライス）にすることで作成される。このインゴットは、熱を加えて溶かした金属シリコンの中から、ゆっくりと結晶を引き上げることによって得られる（その考案者にちなんでチョクラルスキー（CZ）法と呼ばれる）。単結晶型の利点は、信頼性が高いことに加え、変換効率が高いこと（セルの理論限界効率は26～28%程度）であることにある。現在（2005年2月時点）、同形式のセルの変換効率は24～25%程度のもので可能になっている。欠点は、製造時に多量の電力を消費することと、手間がかかることにある。したがって、限られたスペースに太陽電池を取り付けて、できるだけ多量の電気が欲しい場合には単結晶型を利用するのがよいが、価格の点では高くなる。

### 2) 多結晶シリコン型

多結晶シリコン型とは結晶構造が多結晶のシリコンを用いた太陽電池を意味する。その製造方法の概略を述べると、一般的に用いられている方法は、溶けた金属シリコンを型に流し込んで固める方法（鋳造法）で作られた塊（インゴット）を輪切り（スライス）にすることで作成される。

また、この輪切りの工程をはぶく方法として、溶けた金属シリコンの中から、薄いリボン状のものを引き出す方法もあり、これはリボン法と呼ばれている。

多結晶シリコン型は、単結晶シリコン型に比べ変換効率の点ではやや劣る。現在（2005年2月時点）、同形式のセルの変換効率は20～21%程度のもので可能になっている。この様に単結晶型より変換効率は劣るものの、信頼性が高く、製造コストでは単結晶シリコン型よりも安く、大量生産に適しており、現在の太陽電池の主流となっているのがこのタイプである。

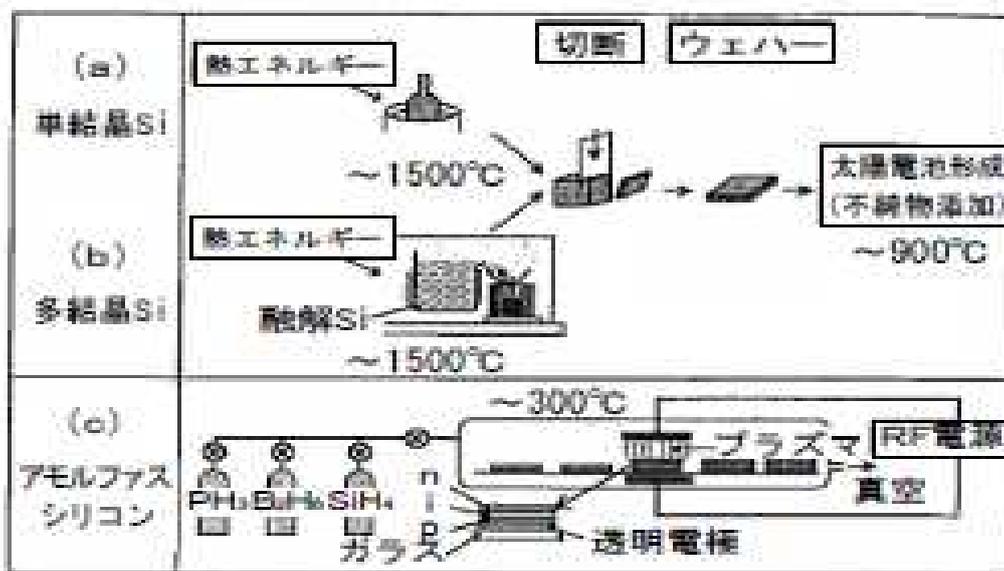
### 3) アモルファスシリコン（a-Si）型

アモルファスシリコン（a-Si）型とは結晶構造がアモルファス（非晶質）のシリコンを用いた太陽電池を意味する。その製造方法の概略を述べると、今日最もよく利用される方法は、基盤上にアモルファスシリコンの薄膜を蒸着させるやり方（化学蒸着法：CVD）である。

アモルファスシリコン型の利点は、まず製造工程が原理的に簡単であることであり、連続自動化や大面積化、さらにはセルの集積化なども容易であるばかりでなく、製造時に必要な温度も低いために消費エネルギーも少なく、製造コストが低いことである。また結晶型の場合は塊をスライスするのであまり薄いものできないが、アモルファスでは1ミクロン（0.001mm）程度の厚さにできるので原料の節約にもなる。逆に、アモルファス型の最大の欠点は初期劣化のあることと、変換効率が低いことである。

現在（2005年2月時点）、同形式のセルの変換効率は9～10%程度のものまで可能になっている。しかし、同形式は上記の理由から量産化に適しているため、今後一層の技術進展が期待される。

上記のシリコン太陽電池の製造方法を下図に示す。



#### 化合物半導体系の材質による分類

現在では、普通の利用目的に対してはシリコン半導体を用いたシリコン型太陽電池が主流であるが、太陽電池の普及拡大に伴い原料であるシリコンの需給逼迫も予想されるため、シリコン以外の原料を用いた化合物半導体（ガリウム - ひ素（GaAs）、カドミウム - テルル（CdTe）、インジウム - リン（InP））などの太陽電池も開発されている。

その1例として、銅、インジウム、セレンなどを原料とする「CIS太陽電池」と呼ばれるものがあり、モジュール変換効率が10%を越え、従来の多結晶シリコン型太陽電池に迫る性能のものも開発されている。また、宇宙用（人工衛星用）では特にガリウム - ひ素（GaAs）電池がよく利用される。それは変換効率がシリコン型太陽電池に比べて遥かに高いほかに、放射線や高温に対する耐性が優れているからであるが、コストもシリコン電池に比べて遥かに高価なため、地上で広く利用するには適さないといえる。しかし、この性質を生かし多接合構造太陽電池や集光型太陽電池などの第三世代の太陽電池として注目されている。

#### その他の半導体

さらに、有機半導体である色素増感太陽電池も将来有望な技術の一つとして期待されている。

これは、pn接合を利用せず、酸化チタンの粒子を色素で着色し、電解液中にセットする。色素が太陽光により電子とホールを誕生させ、電子は酸化チタンに吸収されて、

電極から外部へ出て行く。

これは弱い光源でも効率よく発電できるので、携帯電話やノートパソコンなどへの導入が有望である。

また、カラフルなので、室内外の装飾に有望で、ステンドグラス風の窓とか考案されている。