

太陽電池 (Solar Cell)

石田卓也

太陽電池とは光から直接電気エネルギーを取り出すことのできる素子である。太陽電池にはよく用いられるシリコン太陽電池や化合物半導体太陽電池などの無機太陽電池や、メロシアニンなどの有機太陽電池、電解質溶液を用いる湿式太陽電池など、様々な種類がある。

太陽電池の種類によって様々な特徴があるが、おおまかな長所として、

- (1) 発電時に廃棄ガス・有害物質がないため、環境に対してクリーンであること
- (2) エネルギー源が無尽蔵であること
- (3) 使用場所のそばで発電できること
- (4) 駆動部がないため長寿命化が期待できること

が挙げられる。一方、短所として、

- (1) 気象条件によって発電量が変化すること
- (2) 蓄電機能がないこと
- (3) 大きい電力を取り出すには大きい面積が必要であること

が挙げられる。

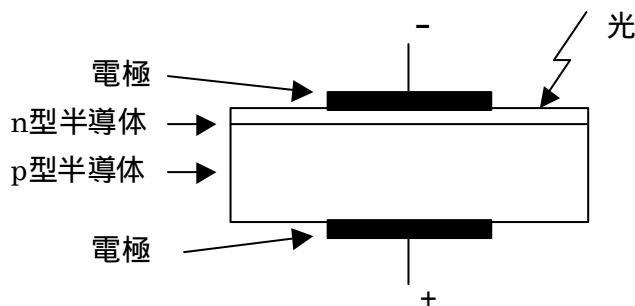


図1 pn接合太陽電池の構造

まず動作原理について、図1に示すようなpn接合を例にとって説明する。pn接合の接合部付近ではそれぞれの多数キャリアである電子と正孔が相手の領域に拡散し空乏層が生じ、空間電荷層を形成している。n型半導体に光を照射すると、光はn型半導体を透過し、接合部とp型半導体にも入射する。半導体に光を照射すれば、その価電子帯にいる電子はエネルギーを受け取り、伝導帯に励起し伝導電子となり、電流を流すキャリアになる。同時に電子の抜けた箇所は正孔となり、これも電流を流すキャリアになる。空乏層内で生成されたキャリアは空間電荷によって発生した電界により電子はn型半導体に、正孔はp型半導体に引き寄せられn型半導体から電子、p型半導体から正孔が生成したように見られる。その結果、n型半導

体は電子によって負電圧が、p型半導体は正孔によって正電圧が現れ、p型半導体とn型半導体の間に起電圧が発生する。この現象を利用した素子が太陽電池である。ここで、n型半導体を薄くしp型半導体を厚くすることによって、再結合で失われる電子は少なく、光照射による電子の発生は多くなり、電流に寄与する電子が増え、大きな電流を得ることができる。

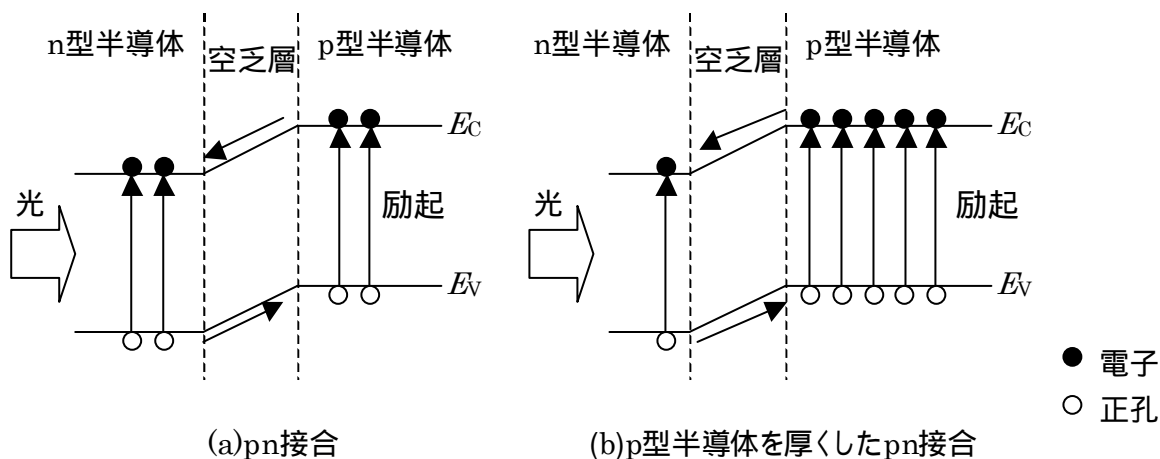


図2 pn接合のエネルギーバンド図

次に出力特性について説明する。出力特性は電圧電流特性で表される。光照射時の電圧電流特性は I を出力電流、 V を出力電圧とすると、

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) - I_L \quad \dots$$

で与えられる。pn接合に流れる電流から光電流 I_L (空乏層内で生成されるの電子・正孔の移動によって生じる電流) を引いたものとなる。また、開放電圧は出力電流が零となる値であるから、

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad \dots$$

と、書くことができる。 V_{OC} は開放電圧、 I_0 は pn 接合の逆飽和電流である。また、出力電流と出力電圧から電力 P を求めることができ、

$$P = V \cdot I = V \cdot \left\{ I_L - I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \right\} \quad \dots$$

で表される。ここで、図 3 における斜線部が電力を表している。この面積が最大のとき最大電力となり、このときの電流を最適動作電流 I_{MAX} 、電圧を最適動作電圧 V_{MAX} で表す。この最適動作点で電力は最大になるため、

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \dots$$

となる。これらより、最適動作電圧は

$$e^{\frac{qV_{MAX}}{kT}} \left(1 + \frac{qV_{MAX}}{kT} \right) = \frac{I_L}{I_0} + 1 \quad \dots$$

を満たすことがわかる。また、このときの最適動作電流は

$$I_{MAX} = \frac{(I_L + I_0) \frac{qV_{MAX}}{kT}}{1 + \frac{qV_{MAX}}{kT}} \quad \dots$$

と、表示することができる。

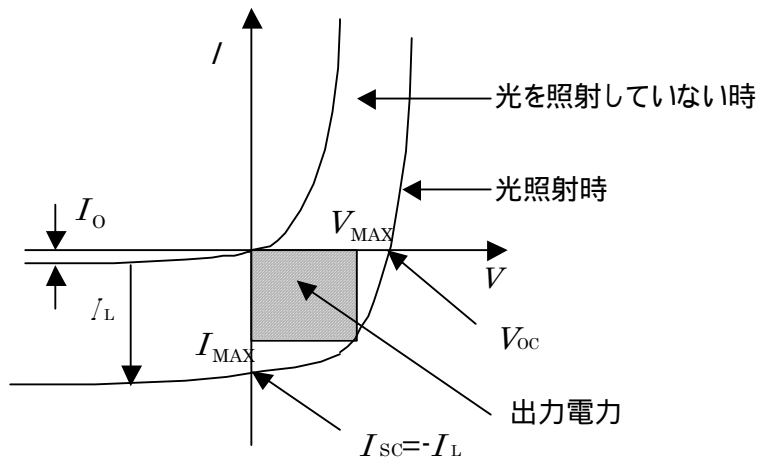


図3 pn接合太陽電池の電圧電流特性

そして、太陽電池のエネルギー変換効率 η は

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{V_{MAX} \cdot I_{MAX}}{P_{in}} \times 100[\%] \\ &= \frac{V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF}{P_{in}} \times 100[\%] \quad \dots \\ FF &= \frac{V_{MAX} \cdot I_{MAX}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad \dots \end{aligned}$$

と定義されている。ここで P_{in} は受光面への入射エネルギー、 I_{SC} は短絡光電流である。 FF は曲線因子と呼ばれ、出力電圧と V_{OC} 、 I_{SC} の比で表される。 FF が 1 に近いほど大きな出力が得られる。