

# 太陽電池の エネルギー変換効率

工学博士 喜多 隆 編著

コロナ社

# ま え が き

私たちの生活の豊かさは、大量のエネルギー消費によって支えられている。「いつでも、どこでも」欲しいものを手に入れることのできる便利な社会は、エネルギーを湯水のように使った物資の猛烈な輸送と、人の高速な移動で実現されている。また、便利で使いやすい高性能なデバイスはあらゆるものを制御し、われわれの意識から消えてしまうほどにいきなり、日々大量のエネルギーを消費しながら動き続けている。このようなエネルギー消費は、ほぼGDPと歩調を合わせながら右肩上がりに増加している。今後、世界の電力需要は、2030年には現在の1.5倍になると予想されており、これまでこの電力需要を支えてきたのはいうまでもなく原子力発電である。

原子力発電は、「原子力」を平和利用するわが国にとっては特別な事業であり、現実にも戦後の経済発展の原動力となった。原子力発電は発電においてCO<sub>2</sub>を排出しないシステムであるため、石油や石炭などの化石資源を使用しないクリーンなエネルギーとして脚光を浴び、国を挙げて取り組んできた事業である。化石資源に代わるクリーンな新エネルギーシステムの開発と大規模な普及は、持続可能な低炭素社会を実現するためにも不可欠な取組みであるが、それを原子力だけに頼ることに今日多くの疑問が投げかけられている。

この課題を克服すると期待されているのが再生可能エネルギーである。太陽光、風力、水力に加えて最近話題のバイオ燃料や地熱など、一度利用しても再生可能で枯渇することのないエネルギーを再生可能エネルギーという。つまり、再生可能エネルギーは普段は放棄しているエネルギーといってもよい。それぞれのエネルギー源の毎秒当りのエネルギー量は、太陽光が42兆 kcal/s、風力が880億 kcal/s、水力が5億 kcal/sと、圧倒的に太陽光のエネルギー量が大きい。

太陽光エネルギーのスケールの大きさは、つぎのような見方をすればわかりやすいかもしれない。地上に到達する太陽光エネルギーは、 $1\text{ m}^2$  当り約  $1\text{ kW}$  であり、地球に届く太陽光エネルギーの1時間分の量で、世界全体が1年間消費しているエネルギーをすべて賄えるという。地球全体の1%の面積に太陽電池を設置すれば、世界中が必要とする電力を創り出せるのである。そして、そもそもが放棄しているエネルギーを使うだけである。

また、太陽電池をデバイスという側面から見た場合にはつぎのような特徴がある。モータのような可動部分がない。原子力発電も、火力発電も、そして風力発電も突き詰めればモータを回して発電しているのである。太陽電池は半導体中の“電子”以外は何も動いていない。音もなく電気を生むのである。また、大規模集中発電から小規模分散へ移行できる。これによりエネルギーネットワークのポートフォリオ (portfolio) を組みやすくなる。

しかし、原子力発電1基分を現在の標準の太陽電池でカバーするには、東京ディズニーランド100個分の面積も必要である。太陽電池セルのコストも発電単価も安いほうがよい。これらは太陽電池セルのエネルギー変換効率に依存しており、高い変換効率を実現することが研究機関に課せられた使命である。しかし、高効率化に当たっては越え難い一つの大きな壁が存在する。それは半導体pn接合が一つしかない、いわゆる単接合太陽電池のエネルギー変換効率は約30%を超えることができないという理論限界である。一部の多接合型太陽電池を除き、市場に出ているほとんどの太陽電池が単接合であり、この限界の制約下にある。この変換効率の限界を計算によって証明し、論文「Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells, Journal of Applied Physics, vol. 32, no. 3, pp. 510~519 (1961)」を発表したのがWilliam ShockleyとHans-Joachim Queisserであったことから、この変換効率の限界はShockley-Queisser limit (以下、S-Q限界)と呼ばれている。

われわれが太陽電池の勉強を始めようとするとき、すでに出版されている教科書を手にすることが多い。だが、残念ながらどの太陽電池の教科書を見ても、太陽電池の限界を証明しているこの単純化されたすばらしい理論に詳しく

触れることなく、エネルギー変換効率の計算の結果が示されているだけである。これは決して教科書著者の諸先生方のせいではなく、原著論文がたいへん良く書かれているために、原著論文を読めば済むだけの話であって、改めて解説する必要がなかったからである。わたくしたちの研究室では太陽電池の研究を始めるに当たり、この原著論文を勉強するところから始めた。そこで受けた印象を率直に言えば、この理論的考察を進める過程の理解は、その最終結果だけを利用することによって得るものを遥かに超えているということである。本書では、多くの教科書のように広範囲の内容を扱うことは避け、エネルギー変換効率のS-Q限界にのみ着目する。まず、太陽電池の理論的な詳細平衡時の変換効率を求めていき、どのような要因がエネルギー変換効率に上限を与えている原因になっているかを浮き彫りにしていく。また、本書の最後の8章には半導体の基礎を解説した。これは、大学3年生の学生を対象に実施している「半導体電子工学」の講義ノートをまとめたものであり、非常に基礎的な内容であるが半導体の大切な考え方を含んでいる。S-Q限界の説明では極力半導体の知識を使わず説明を試みたが、7章で明らかにしたように半導体の特性ゆえに理想条件には限界があり、高い変換効率を実現するには多くの制約を一つひとつ取り外していかなければならない。そのためにも半導体の基礎知識が不可欠であり、太陽電池に必要なpn接合まで解説した。もちろん、この8章は読み飛ばしていただいても、前半の章の理解を妨げることはない。

本書は、現役学生諸君によって執筆された太陽電池の変換効率の解説を編者の責任で内容を吟味し、編んだという非常にユニークなものである。また、半導体の基礎を加えることで、さらにつぎのステップに進もうとする読者の力になりたいと考えた。ここに、研究室の学生諸君と取り組んだ学習の成果を整理し、世に送り出すことで、太陽電池の研究、開発に取り組んでおられる方々だけでなく、これから太陽電池の物理を学ぼうとしている多くの若い方々に少しでもお役に立つことができるのであればこれ以上の喜びはない。

2012年8月

喜 多 隆

# 目 次

## 1. 太陽電池と化学電池

1.1 化学電池の発電原理 .....	2
1.2 太陽電池の発電原理 .....	7
1.3 化学電池と太陽電池との対比 .....	12

## 2. 太陽からのフォトン

2.1 光の波長とエネルギー .....	14
2.2 太陽光の波長 .....	17
2.3 黒体輻射 .....	19
2.4 立体角の定義 .....	22
2.5 黒体輻射によるフォトン流量 .....	23

## 3. 完全理想モデルの太陽電池変換効率

3.1 太陽電池の変換効率 .....	25
3.2 半導体のバンドギャップ .....	27
3.3 バンドギャップに起因する透過損と熱損失 .....	31
3.4 理想的な太陽電池の条件設定 .....	33
3.5 太陽電池出力の三次元的表記 .....	35
3.6 完全理想モデルの太陽電池変換効率曲線導出 .....	37

## 4. キャリヤの生成と再結合が太陽電池の変換効率に及ぼす影響

4.1 太陽電池の入力 .....	42
-------------------	----

4.2	電流 - 電圧の関係	46
4.3	短絡電流と開放電圧	51

## 5. 詳細平衡モデルによる太陽電池変換効率

5.1	非詳細平衡時の変換効率	55
5.2	詳細平衡時の変換効率	58

## 6. 太陽電池効率の実際の計算

6.1	単接合太陽電池	69
6.2	集光型太陽電池	73
6.3	多接合タンデム型太陽電池	77
6.4	中間バンド型太陽電池	81
6.5	光増感太陽電池	89
6.6	天候の影響	93
6.7	温度の影響	104

## 7. 理想条件の限界

7.1	吸収係数	111
7.2	少数キャリアの拡散	115
7.3	膜厚を考慮した各物質の光電流密度	121

## 8. 半導体の基礎

8.1	半導体のバンドギャップ	128
8.2	真性半導体	133
8.3	外因性半導体	135
8.4	不純物のエネルギー準位とキャリアの生成	137
8.5	バンド中のキャリア分布	142
8.6	フェルミ準位	147

8.7	キャリア密度の温度依存性 .....	150
8.8	半導体を流れる電流：ドリフト電流と拡散電流 .....	153
8.9	擬フェルミ準位 .....	159
8.10	pn 接 合 .....	162
8.11	pn 接合の電流 - 電圧特性 .....	168
<b>索 引</b>	.....	<b>175</b>

\*\*\*\*\* 1 .

# 太陽電池と化学電池



はじめに 本書では3章以降、太陽電池のさまざまな条件下における変換効率を導出している。太陽電池の変換効率を考えるうえで、太陽電池がどのような原理で発電するのかを理解することは非常に重要である。しかしながら、高校化学で一般的に学ぶ機会のある化学電池とは異なり、太陽電池の原理について学ぶ機会というのは、一部の専門的な学部を除くと残念ながらほとんど皆無に等しい。

たとえ太陽電池について学ぶ機会が設けられたとしても、半導体のpn接合<sup>†1</sup>で構成される太陽電池の発電の仕組みに関して、“半導体工学”の分野で論ぜられることが多いように感じる。半導体と銘打たれると、高校までに学んだ化学電池とはまったく別の分野のような気がしてくるかもしれない。このため、せっかく太陽電池の仕組みについて学習しようとしたものの、半導体の物性に関して学ぶことが多すぎて、直感的にイメージが湧きにくい読者も多いかもしれない。

本章では、高校で学んでなじみの深い化学電池、その中でも、まず初めに学んだであろうボルタ電池<sup>†2</sup>を例に挙げて、酸化還元反応という観点から化学電池と太陽電池を対比させ、どのように太陽電池が太陽のエネルギーを電気エ

---

†1 半導体結晶中に電子が豊富に含まれているn層と、正孔が多いp層がぴったりと合わさった半導体のこと。8.10節で述べる。

†2 ボルタ電池には、亜鉛板と銅板を硫酸水溶液に浸した構造の初期ボルタ電池のほかに、酸化した銅板と食塩水を用いた後期ボルタ電池が存在するが、ここでは、説明の便宜上から初期ボルタ電池をボルタ電池として扱う。



## 2 1. 太陽電池と化学電池

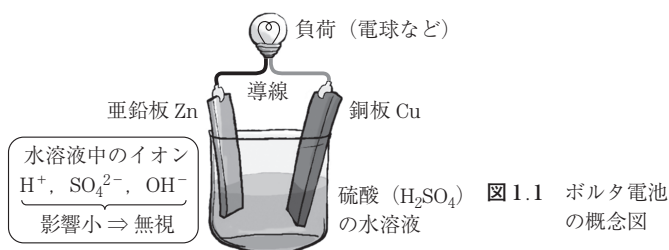
エネルギーへ変換するのかを説明する。電気の流れる様子をイメージしやすくするために、太陽電池の内部における、電子の動きに重点を置いて説明するように努めた。

まず、高校化学のレベルでボルタ電池の仕組みを説明したあと、太陽電池の発電原理を化学電池と結び付けながら説明する。最後に、化学電池と太陽電池は、「電池」と呼ばれるものどうし、何が同じで何が異なるのかを議論することで、より太陽電池の位置付けをわかりやすくした。

### 1.1 化学電池の発電原理

本節では、代表的な化学電池であるボルタ電池について説明する。高校化学で学習した範囲を復習する程度の説明なので、高校化学の範囲を十分に理解している読者は1.2節へ進んでもかまわない。

さて、ボルタ電池の概念図を図1.1に示す。硫酸 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 水溶液が入ったビーカーへ亜鉛板 Zn と銅板 Cu を浸している。この二つの金属板と、負荷 (電球など) とを導線で接続した構造である。このような電池を作った際に、どのような化学反応が生じるのかを順を追って見ていこう。



まず初めに、電池から一步離れて、導線で接続しない状態を考える。硫酸水溶液へ金属板をそのまま浸すとどのような反応が生じるだろうか。

金属と、硫酸水溶液の反応を考えるために、金属のイオン化について簡単に説明する。金属などの物質が、負電荷を持つ電子  $e^-$  を放出して、陽イオンに

なる現象を**イオン化**という。金属亜鉛 (Zn) を例に挙げると、 $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$  といった反応がイオン化である。物質ごとにイオン化しやすさは異なっており、**図 1.2 (a)** のようにイオン化しやすい順に物質を並べた列のことを**イオン化傾向**という<sup>†</sup>。

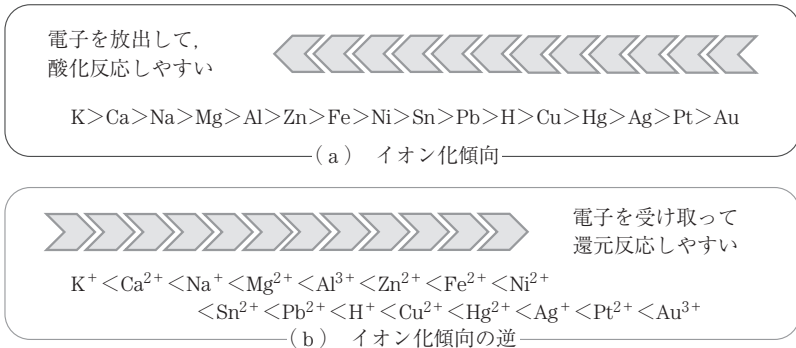


図 1.2 イオン化傾向とその逆

図(a)に示すイオン化傾向は、左側の物質ほど電子を放出しやすい傾向にあることを表している。最も電子を放出しやすい金属はカリウム (K) である。カリウムやナトリウムのように、元素の周期表で1族に属する金属は、電子を放出してイオン化しやすい。自然界でも、カリウムやナトリウムは、金属単体ではめったに存在せず、ほとんどはイオン化して塩素イオンなどと結び付いて「塩類」の状態となっている。これに対して、一番右側の物質、つまり、最も電子を放出しにくい物質は金 (Au) である。Au は「錆びない」ことで知られるように、化学的に非常に安定した金属であることから、電子を放出しにくく、反応しにくいことがイメージできるだろう。

図(b)に示す“イオン化傾向の逆”は、イオン化した物質における電子の受取りやすさを示しており、右側のイオンほど電子を受取りやすいことを表している。例えば、水素イオン ( $\text{H}^+$ ) が電子を受け取ると、 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$  とい

<sup>†</sup> イオン化傾向を見て、高校時代に覚えた「貸 (K) そうか (Ca) な (Na), ま (Mg) あ (Al) あ (Zn) て (Fe) に (Ni) する (Sn) な (Pb), ひ (H) ど (Cu) す (Hg) ぎ (Ag) る 借 (Pt) 金 (Au)」を思い出す方も多だろう。

#### 4 1. 太陽電池と化学電池

う反応が生じて、 $H^+$ は水素分子( $H_2$ )になる。

金属板と硫酸の反応を考えるため、図 1.1 に登場するおもな物質を整理しよう。金属板は亜鉛(Zn)と銅(Cu)である。水溶液の中には硫酸( $H_2SO_4$ )から水和した大量の硫酸化物イオン( $SO_4^{2-}$ )と大量の水素イオン( $H^+$ )、そして水の自己イオン化によってわずかに存在する水酸化物イオン( $OH^-$ )が存在している。以降の説明では、 $SO_4^{2-}$ と $OH^-$ は重要ではないので無視する。

これらの物質の中で反応を起こすペア(pair, 対)は、Znと $H^+$ である。イオン化傾向を見ると、Znは $H_2$ よりも電子を放出しやすく、 $H^+$ は $Zn^{2+}$ よりも電子を受け取りやすい。このような条件がそろった場合に、Znが $H^+$ に電子を与える反応が生じる。

ある物質が電子を放出し、その電子をほかの物質に与える反応のことを**酸化反応**という。図 1.3 では、Znが電子を放出してイオン化( $Zn^{2+}$ )しているので、酸化反応を起こしたのはZnである。

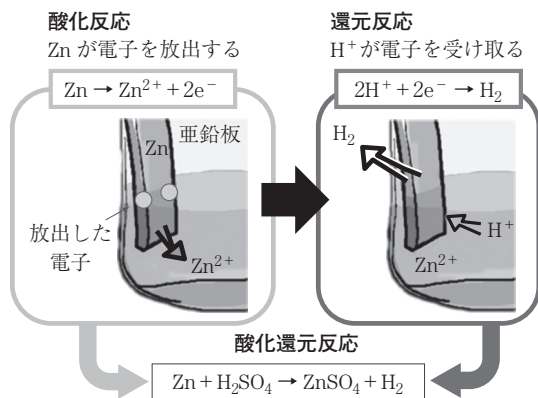


図 1.3 Znと $H^+$ との酸化還元反応

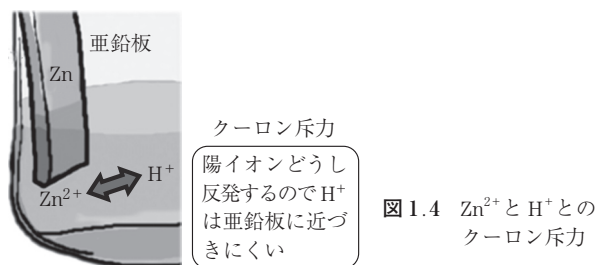
つぎに、 $H^+$ を中心に据えて考えよう。 $H^+$ はZnから電子を受け取って $H_2$ になった。このように、ある物質がほかの物質から電子を受け取る反応のことを**還元反応**という。図では、 $H^+$ が還元反応を起こしている。

酸化反応(電子を放出する反応)と還元反応(電子を受け取る反応)は、必ずペアになって生じる反応であり、併せて**酸化還元反応**という。この亜鉛Zn

と水素イオン  $H^+$  の反応の場合、 $H^+$  の起源は硫酸  $H_2SO_4$  であるから、 $Zn$  と  $H_2SO_4$  の酸化還元反応とみなして、式 (1.1) の反応式で表すことが多い。



つぎに、酸化還元反応ののち、少しだけ  $Zn^{2+}$  が水溶液中へ溶け出した状態を考えよう。まだ、水溶液中には未反応の  $H^+$  が大量に存在し、イオン化していない金属亜鉛も大量に存在する。よって、潜在的にはまだまだ酸化還元反応は起こる状況にある。しかし、亜鉛板の周りには溶け出した亜鉛イオン  $Zn^{2+}$  が存在するために、陽イオンどうしのクーロン斥力<sup>†</sup> が働き、図 1.4 のように水溶液中の  $H^+$  は亜鉛板に近づきにくい状態となっている。



さらに、図 1.3 で示したような酸化還元反応により、亜鉛板上から生じた水素の気体分子  $H_2$  の粒子も亜鉛板上に付着しているので、亜鉛板だけが硫酸水溶液に浸かっている場合、酸化還元反応が進むごとに、水素イオン  $H^+$  は亜鉛板に近づきにくくなり、反応の速度は遅くなる。

ここで、亜鉛板に導線が接続されており、導線は負荷を通じて銅板に接続されている図 1.1 の状態を考える。金属板内、および導線内であれば金属中の自由電子は自由に移動することが可能である。つまり、 $H^+$  は、近づきにくい亜鉛板上で  $Zn$  からわざわざ電子を受け取るよりも、付近の陽イオンの量が少ない銅板上で電子を受け取ったほうが楽（エネルギー的に得する）なのである（図 1.5）。

<sup>†</sup> 陽イオンどうしが、磁石の同極を近づけたときのように反発する力

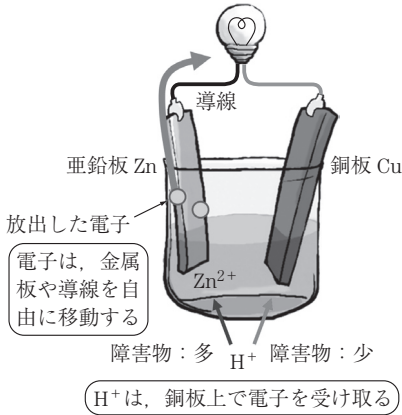


図1.5  $Zn^{2+}$ が溶け出したあとは、硫酸水溶液中の  $H^+$ は銅板上のほうが電子をたやすく受け取れる

したがって、亜鉛板上では図1.3と同様に亜鉛  $Zn$  が酸化反応を起こして電子を放出し、亜鉛イオン  $Zn^{2+}$  が水溶液中に溶け出すが、 $Zn$  から放出されて亜鉛板内に残った電子は、亜鉛板上では水素イオン  $H^+$  に与えられず、亜鉛板に接続された導線を通して銅板内に流れ込む。そして、銅板上で電子は  $H^+$  に与えられ、 $H^+$  は還元反応を起こして水素分子  $H_2$  となる (図1.6)。

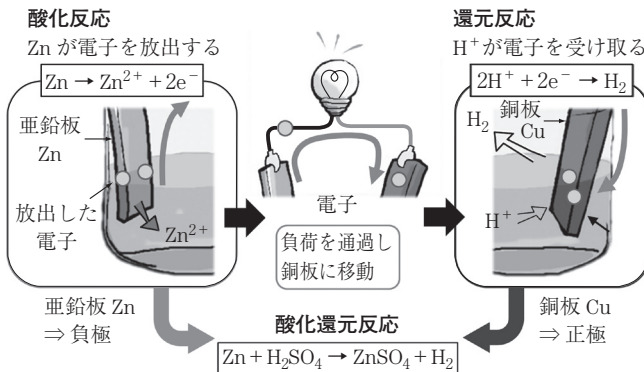


図1.6 銅板上での  $H^+$  の還元反応 (ボルタ電池の発電原理)

このように、酸化反応と還元反応を別々の場所で生じさせることにより、意図的に電子の移動を起こさせ、電子の通り道の途中に負荷を接続することで、電子の移動をエネルギーとして取り出す装置を**化学電池**という。

# 索 引

<b>【あ】</b>	価電子	129	混成軌道	128
アインシュタインの関係式	価電子帯	127	混濁係数	99
	価電子バンド	29, 81, 127	<b>【さ】</b>	
	還元反応	4, 6	再結合	8, 10, 42, 133, 134
アクセプタ	間接遷移型半導体	131	再結合寿命	117
アクセプタイオン	<b>【き】</b>		再結合頻度	157
アップコンバージョン	幾何学的因子	44	再結合プロセス	173
	起電力	42	最大集光	76, 79, 80, 87
<b>【い】</b>	擬フェルミ準位	85, 159, 174	最大集光時の変換効率	37
イオン化	逆バイアス	172	酸化還元反応	4
イオン化傾向	逆方向バイアス	164	酸化反応	4, 6
移動度	キャリアの光励起	9	3接合タンデム型太陽電池	80
	キャリア密度	108, 150	<b>【し】</b>	
<b>【え】</b>	吸収係数	111, 112, 113	紫外光	16
エアマス	共有結合	8, 129	質量作用の法則	147
エネルギー緩和	許容バンド	29	集光型太陽電池	68, 73
エネルギー保存則	禁制バンド	29	集光率	74
遠赤外光	<b>【く】</b>		縮退半導体	147
	空乏領域	8	主量子数	128
<b>【お】</b>	雲の厚み	99	順方向バイアス	164, 170, 173
オーミック性	クーロン斥力	5	詳細平衡	58
オーミック接合	クーロンポテンシャル	130	詳細平衡時の変換効率	60
	群速度	141	詳細平衡モデル	55, 174
<b>【か】</b>	<b>【こ】</b>		少数キャリア	115, 116, 154
外因性半導体	光子	14	状態密度	142
開放電圧	公称効率	19	真性半導体	127, 133
化学電池	光電流密度	120	<b>【す】</b>	
拡散	高不整合合金	88	水素原子モデル	139
拡散距離	光子量子仮説	14	水分量	99
拡散係数	黒体輻射	17, 19, 20		
拡散定数				
拡散電位				
拡散電流				
可視光				

スペクトルモデラー	94	電子密度	46	非輻射再結合数	47
		電子流密度	120	非輻射生成数	48
<b>【せ】</b>		伝導帯	127	品質因子	173
正極	7	伝導バンド	29, 81, 127		
正孔	9, 127	電流 - 電圧特性	56	<b>【ふ】</b>	
——の励起	31	電流密度	34, 119	フィルファクタ <i>FF</i>	62
正孔密度	46			フェルミ準位	
生成	42	<b>【と】</b>			127, 147, 151, 162
生成頻度	157	透過	132	フェルミ・ディラック統計	143
生成プロセス	173	透過損	26, 31, 32, 41	フォトン	14
赤外光	16	導電率	154	——の流量	17
絶対温度	133	ドナー	8, 135	フォトン流量	23
		ドナーイオン	11	フォノン	33
<b>【た】</b>		ドリフト電流	153, 154, 168	負極	7
大気通過量	19, 67			輻射	16, 19, 134
ダイヤモンド構造	129	<b>【に】</b>		輻射再結合数	47
太陽乾電池	13	2 接合タンデム型太陽電池	78	不純物半導体	127, 135
太陽光スペクトル	94			不純物領域	151
太陽電池	1, 12	<b>【ね】</b>		プランク定数	14
——の変換効率	25	熱緩和	33	プランクの黒体輻射	20
ダウンコンバージョン	89	熱緩和時間	33	プランクの黒体輻射の式	17
多数キャリア	154	熱損失	26, 31, 33, 41	分光放射照度	69
多接合タンデム型太陽電池					
	67, 68, 77, 97	<b>【は】</b>		<b>【へ】</b>	
単接合太陽電池	27, 69, 95	発光	134	変換効率	25
短絡電流	51, 60	反射損失	26		
		反射防止膜	26	<b>【ほ】</b>	
<b>【ち】</b>		半導体	127	ポアソン方程式	166
中間バンド	81	バンドギャップ		方位量子数	128
中間バンド型太陽電池			27, 30, 104, 108, 127, 128	放射	16, 19, 134
	67, 68, 81, 98	バンドギャップエネルギー		ボルタ電池	1
中性領域	8, 163		30	ボルツマン定数	143
直接遷移型半導体	131			ボルツマン分布	144
		<b>【ひ】</b>		<b>【ゆ】</b>	
<b>【て】</b>		光増感太陽電池	89	有効状態密度	146
電荷中性条件	150	光の侵入長	113		
電気的中性	8	光励起	31	<b>【よ】</b>	
電子	127	非集光	79, 80, 87	余剰電子	8
——の光励起	9	非詳細平衡	55		
——の励起	31	非輻射再結合	134		
電子 - 正孔対	44, 46				

	量子井戸	88	理論限界効率	26
	量子構造	87	<b>【れ】</b>	
ランベルト・ベールの法則	量子効率	115	連続の方程式	116
111	量子細線	88		
	量子ドット	88		
<b>【わ】</b>	量子ドット超格子	88		
立体角	量子ナノ構造	87		
22, 42				

	<b>【A】</b>		<b>【N】</b>		<b>【S】</b>
AM		19, 67	NREL	69	Si
	<b>【G】</b>		n 型半導体	127, 135	S-Q 限界
GaAs		73, 105, 123	<b>【P】</b>		
Ge		105	pn 接合	162	Varshni の半経験的關係式
	<b>【I】</b>		pn 接合ダイオード	172	
InP		73	p 型半導体	127, 135	



—— 編著者略歴 ——

- 1985年 関西学院大学理学部物理学科卒業  
1987年 関西学院大学大学院理学研究科博士前期課程修了  
1989年 大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程中退  
1990年 神戸大学助手  
1991年 工学博士（大阪大学）  
2000年 神戸大学助教授  
2007年 神戸大学大学院教授  
現在に至る

## 太陽電池のエネルギー変換効率

Energy Conversion Efficiency of Solar Cells

© Takashi Kita 2012

2012年10月26日 初版第1刷発行

★

検印省略

編著者 <sup>き</sup>喜 <sup>た</sup>多 <sup>たかし</sup>隆  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来真也  
印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03)3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-00842-5 (新井) (製本：牧製本印刷)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします