

ホットキャリア太陽電池の高効率化のための ワイドバンドギャップエネルギー選択性コンタクト

Wide-bandgap energy-selective contacts for higher efficiency of hot-carrier solar cells

豊田中研 ○竹田 康彦

Toyota Central R&D Labs. Yasuhiko Takeda

E-mail: takeda@mosk.tytlabs.co.jp

高効率のホットキャリア太陽電池(HC-SC)を実現するためには、光吸収層におけるキャリアの熱緩和が抑制されることと共に、エネルギー選択性コンタクト(ESC)のエネルギー選択幅が狭く、コンダクタンスが適切な値であることが重要である[1]。ESC には、当初提案された半導体量子ドット(QD)や量子井戸(QW)からなる2重障壁トンネルダイオード(DB-RTD)に加えて、適切なバンドオフセットをもつワイドギャップ(WG)層の利用も検討されている[2]。これらの特性が変換効率(η_{PV})に及ぼす影響を、詳細釣り合いモデルを用いて調べた[3]。キャリアの熱緩和及び Shockley-Read-Hall 再結合については、これらに対応する寿命(熱緩和寿命 τ_{th} , SRH 再結合寿命 τ_{SRH})を導入して効果を取り入れた。

QD-ESC からは特定のエネルギー範囲のキャリアが取り出される(図 1(a))。QW-ESC からは閾値以上のエネルギーのキャリアが等確率で取り出される(図 1(b))。WG-ESC からの取り出しも閾値以上ではあるが、取り出し確率が閾値からほぼ直線状に高くなる(図 1(c))。仮に各 ESC のコンダクタンスが十分に大きければ、エネルギー選択幅が狭い方が高い変換効率となるので[4]、 $QD > QW > WG$ の順である。しかし、実際には、QD-, QW-ESC のコンダクタンスは最適値よりも小さいので[5]、 $QD < QW \cong WG$ となる(図 2(a))。バンド内遷移、あるいは中間バンドを経た2段階励起が生じる場合には、励起キャリアの平均エネルギーが大きくなる。そのため、エネルギー保存の要請により ESC がより高エネルギー側、即ちフェルミ分布のより裾に近いところに位置する。従って、小さいコンダクタンスの悪影響が強く表れるので、 $QD < QW < WG$ となる(図 2(b), 2(c))。

従来の WG-ESC の利用は、精密な構造制御を要する QD-, QW-ESC の代替という位置づけであった。しかし、本計算結果に加えて、QD-, QW-ESC のコンダクタンスの向上のためには極薄の障壁層が必須であるためリーク電流の抑制が難しいことを考え合わせると、WG-ESC が高効率化のための現実的な解となる。

- [1] Y. Takeda, "Requisites for highly efficient hot-carriersolar cells" in J. Wu and Z. M. Wang eds., *Quantum Dot Solar Cells* (Springer, 2014).
[2] I. Konovalov, et al., *Sol. Energy* **111**, 1 (2015)
[3] Y. Takeda, *PIP* **30**, 65 (2022).
[4] S. Limpert, et al., *New J. Phys.* **17**, 095004 (2015).
[5] Y. Takeda, et al., *JAP* **118**, 124510 (2015).

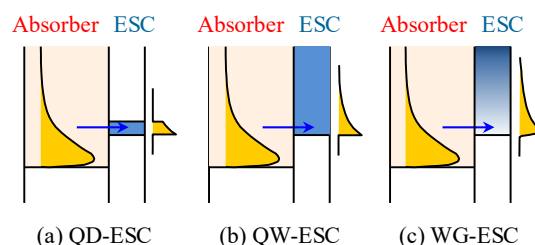


Fig. 1 Energy-dependent carrier extraction probabilities of the ESCs (blue-shaded) and energy distributions of the extracted carriers.

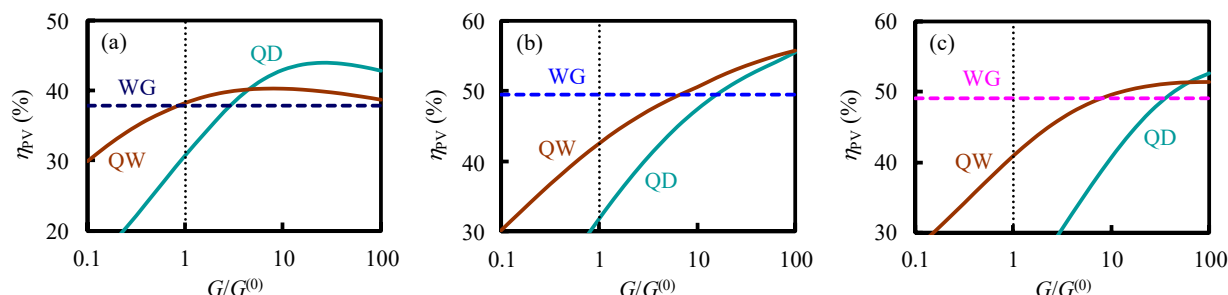


Fig. 2 Impact of the ESC conductance G normalized by the practical upper limit $G^{(0)}$ on η_{PV} of HC-SCs using QD-, QW-, and WG-ESCs under 500 times-concentrated AM1.5D solar illumination. (a) Original types, $\tau_{th} = 1$ ns, $\tau_{SRH} = 10$ ns. (b) With intraband transition, $\tau_{th} = 1$ ns, $\tau_{SRH} = 10$ ns. (c) With intermediate-band-assistance, $\tau_{th} = 0.1$ ns, $\tau_{SRH} = 1$ ns. The thicknesses of the absorbers are $1 \mu\text{m}$.