

量子ドット中間バンド型太陽電池における連続トンネルの影響

Effect of Sequential Tunneling on Performance of Quantum-Dot Intermediate-Band Solar Cells

○吉田 勝尚¹、岡田 至崇¹、佐野 伸行²(1. 東大先端研、2. 筑波大)

○Katsuhisa Yoshida¹, Yoshitaka Okada¹ and Nobuyuki Sano² (1.RCAST, The Univ. Tokyo, 2.Univ. Tsukuba)

E-mail: yoshida@mbe.rcast.u-tokyo.ac.jp

はじめに 多重積層量子ドットを用いた中間バンド型太陽電池[1]において、積層量子ドット層間が薄くなることにより、積層方向の量子ドット間での量子的なカップリングを生じることが期待される。このカップリングにより、光吸収に対する選択則の変調が生じることが報告されている[2]。加えて、カップリングにより量子準位間での電子のトンネル輸送が太陽電池特性に対し影響を与えられられる。そこで、本報告ではドリフト拡散法を用いた中間バンド型太陽電池に対するデバイスシミュレーション[3]へ連続トンネルの影響を導入し、太陽電池特性への影響について検討を行う。

解析手法 量子ドットに起因する電子準位である、中間バンドを IB dot として中間バンド領域に導入した(Fig. 1)。また、この準位間での電流は、量子井戸超格子構造の電子輸送で知られる連続トンネルモデル[4]を用いた。連続トンネルは、カップリングが弱い場合の輸送描像であり、最近接ドット間のエネルギー準位差及び擬フェルミ準位差により電流が特徴づけられる。以上を踏まえ、ポアソン方程式及び、伝導帯(CB)電子、価電子帯(VB)正孔、中間バンド(IB)電子の連続方程式を定常状態で自己無撞着に解きシミュレーションを行った。また、カップリングの強さ T_C はパラメータとして導入した。

解析結果 非集光下短絡状態におけるバンド図を Fig. 2 に示す。連続トンネルにより IB 電子に対する擬フェルミ準位(μ_i)がフラット化している。この結果、中間バンド領域/n 層境界近傍の中間バンド電子濃度が高くなり、この領域での電界強度が強くなっている。このバンド図から、p 層/中間バンド領域境界近傍で IB-VB 間での光励起により生成した電子が、各 IB dot 間でのポテンシャル並びに、擬フェルミ差に従い、連続トンネルにより中間バンド領域/n 層境界近傍に蓄積し、この領域で高い占有率を保ったまま、CB-IB 間光吸収により CB へと引き抜かれる様子が明らかになった。

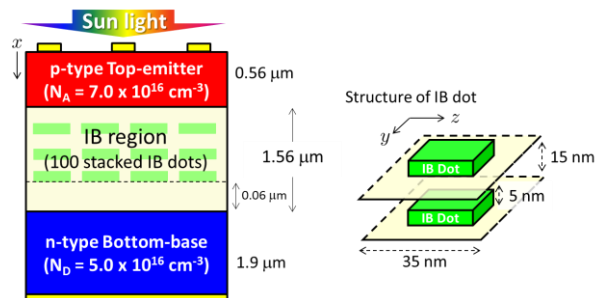


Figure 1 Left: Schematic of IBSC structure employed in the present study. IB region has 100 IB dot sheets and is non-doped. Right: Schematic structure of IB dot sheets. IB dot sheets have 5 nm thickness and 10 nm spacer layer in the direction from the top-emitter to the bottom-base. The present simulation is in 1D along x-direction. Thus, the lateral size of IB dot is not explicitly treated but the spacing of IB dots in y-z plane is considered in effective density of states of IB dot.

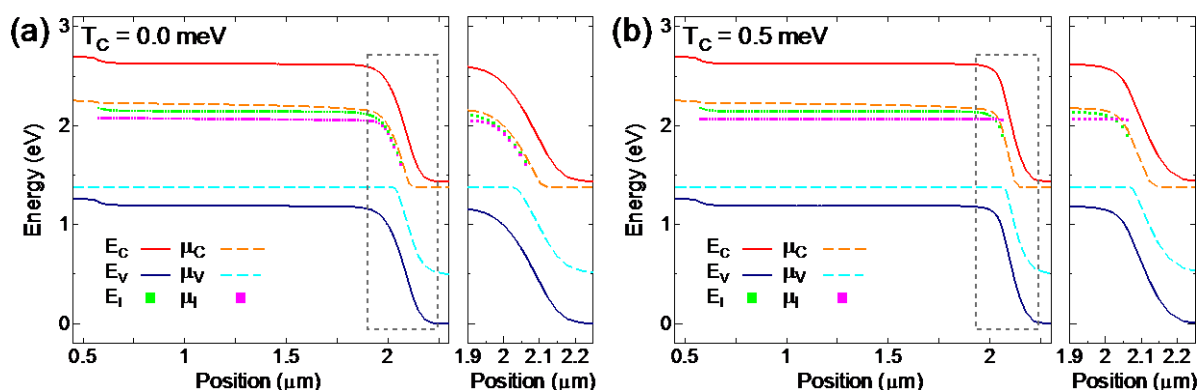


Figure 2 Calculated Band diagrams in short-circuit condition (a) without and (b) with the tunneling effect under 1 sun illumination. The profiles far from the IB region in the top-emitter and the bottom base are omitted. E_i and μ_i denote the band edge and the quasi-Fermi level of i -band where $i = C, I, V$ for CB, IB and VB, respectively. The right side figures in (a) and (b) are the regions enclosed by dashed line in the right one, respectively.

- [1] Y. Okada et al., Appl. Phys. Rev. 2, 021302 (2015). [2] T. Kita et al., J. Appl. Phys. 115, 233512 (2014).
[3] K. Yoshida et al., J. Appl. Phys. 112, 084510 (2012). [4] A. Wacker, Phys. Rep. 357, 1 (2002).