バレー間散乱を利用したホットキャリア太陽電池の理論検討

Theoretical analysis of a hot carrier solar cell using the intervalley scatterings

産総研，上出健仁

AIST, K. Kamide, E-mail: kenji.kamide@aist.go.jp

ホットキャリア太陽電池は単一吸収体を用いてその SQ 限界を大きく超える理論変換効率を持つ太陽電池のコンセプトとして知られているが、光生成されたホットキャリアが熱緩和するより短い時間以内に、しかも高エネルギーのキャリアのみを選択して取り出す必要があり、現在までに実現されていない[1]。最近、新しいホットキャリア太陽電池のコンセプトとして、ホットキャリアのバレー間散乱の利用が提案され、同グループにより検証実験が進められている [2,3]。文献では、光吸収体として $In_{0.53}Ga_{0.47}As$ などを想定し、光学的直接遷移によりΓバレーに励起されたホットキャリアが瞬時により高いエネルギーの極小点を持つ L バレーへと散乱される場合に(図 1(a))、ホットキャリアの熱緩和が抑制され高い変換効率が得られると予想されている。強電場で駆動された GaAs においてバレー間散乱が増強されること自体は古くから知られており、そのような効果がホットキャリア太陽電池に何らかの効果を与える可能性は十分にある。しかし一方で、強いバレー間散乱の存在下におけるホットキャリア太陽電池のデバイス特性について詳細な解析は示されていない。

本講演では、ホットキャリア太陽電池のデバイス特性へバレー間散乱が与える影響について、$In_{0.53}Ga_{0.47}As$ のバンド構造を想定し、バレー自由度としてΓバレーと L バレーのみを考慮した簡易モデル（図 1(a))に対し太陽電池の非平衡理論[4,5]を適用し得られた結果について報告する。結果の一例として、図 1(b)にバレー間散乱が高速に起こる場合とそうでない場合のホットキャリア太陽電池の I-V 特性の比較を示す。文献の予想に反してバレー間散乱が強い場合に、開放電圧と最大変換効率が減少するという結果が得られた。結果の物理的解釈を含め詳細は当日説明する。

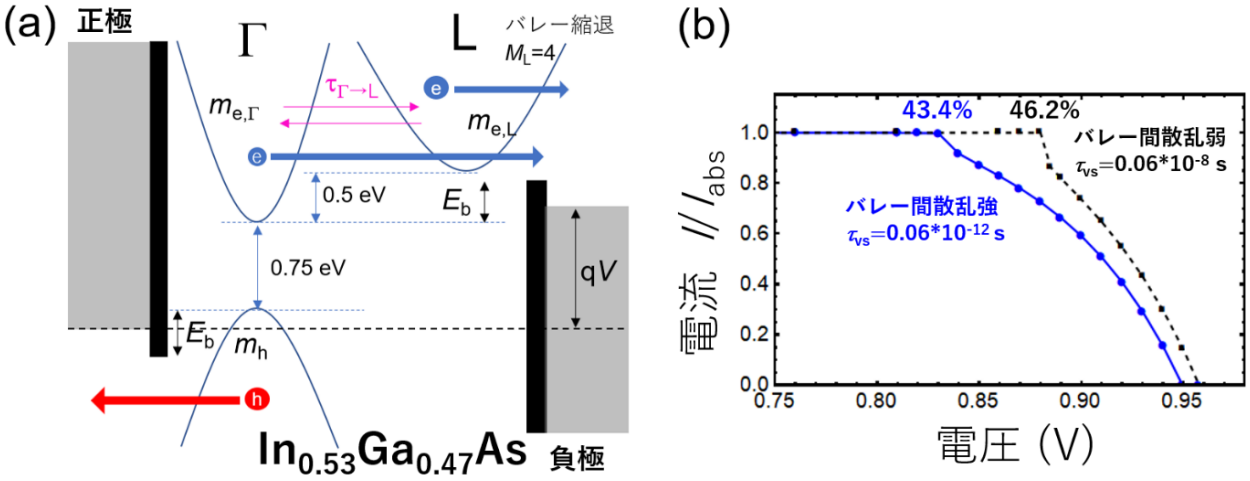

図 1. バレー間散乱を含むホットキャリア太陽電池の(a)バンド図と(b) バレー間散乱が早い場合と遅い場合（τ_{vs}＝0.06*10^{-12} 秒と 0.06*10^{-8} 秒）における I-V 特性の比較（E_g＝0.75 eV、有効質量 $m_{e,\Gamma}$＝ $m_{h,\Gamma}$＝0.1m_0、$m_{e,L}/m_{e,\Gamma}$＝1.84、等価なバレー数 M_L=4、吸収体厚＝100 nm、1000 倍集光、格子温度＝300 K, ΔE＝0.5 eV、E_b＝0.3 eV、熱化時間 τ_{th}＝10^{-9} 秒、平衡化時間 τ_{eq}＝10^{-12} 秒、取り出し時間 τ_{out}＝10^{-11} 秒、光吸収率=1（Γ-Γ直接遷移), 10^{-3}（Γ-L 間接遷移））

【文献】[1] R. T. Ross *et al.*, J. Appl. Phys. **53**, 3813 (1982) [2] D. Ferry, Semicond. Sci. Technol. **34**, 044001 (2019) [3] V R Whiteside *et al.* Semicond. Sci. Technol. **34**, 094001 (2019) [4] K. Kamide *et al.*, Phys. Rev. Applied **10**, 044069 (2018) [5] K. Kamide, J. Appl. Phys. **127**, 183102 (2020).

© 2020年 応用物理学会