

ナノ結晶シリコンの光起電力特性に対する雪崩増倍効果

Effects of Avalanche Multiplication on Photovoltaic Property of Nanocrystalline Silicon

阪大工¹, JST CREST², 農工大工⁵ ○森 伸也^{1,2}, 越田 信義³Osaka Univ.¹, JST CREST², Tokyo Univ. of A&T³ ○Nobuya Mori^{1,2}, Nobuyoshi Koshida³

E-mail: mori@physics.org

高効率な太陽電池の開発を目指した研究が盛んに行われている。ナノ結晶シリコン (nc-Si) 列を活性層に持つダイオードにおいて、光励起キャリアの雪崩増倍による大きな光導電利得が観測されている [1]。この雪崩増倍は、キャリアの衝突電離により生じる。そこで、太陽電池において、光励起キャリアの余剰運動エネルギーを、衝突電離を通して電子正孔対生成に利用できれば、太陽電池の高効率化が実現できると期待される。本研究では、nc-Si 列において、光励起キャリアの衝突電離によるキャリア増倍率を、モンテカルロ (MC) 法により計算した。

図 1 に計算モデルを示す。直径 d の nc-Si が、厚さ b の SiO_2 層を介して周期的に並んでいる全長 L の構造を考えた。入射光子が電子正孔対を生成し [図 1(i)], 電子が電界により加速され [図 1(ii)], 衝突電離により電子生成対を生成する [図 1(iii)] というような過程を MC 法により模擬した。その際、電子の運動のみを考慮し、正孔の運動は無視した。そして、出射電子数 N_{out}^e と入射光子数 N_{in}^p の比から増倍率 $M (= N_{\text{out}}^e / N_{\text{in}}^p)$ を算出した。nc-Si の電子状態および衝突電離確率は半経験的結合近似法を用いて計算した [2]。また、文献 [3] の手法を用いて、フォノン放出過程を取り入れた。

図 2 の実線に増倍率 M の波長依存性を示す。400 nm 以下の短波長領域において M が 1 を越えることがわかる。この波長領域において M の L 依存性が弱いことから、衝突電離は光励起初段の nc-Si 近傍に限られることが示唆される。一方、長波長領域では、光が吸収されずに試料を透過するようになるため、 L が短くなるにつれて M が小さくなる。図 2 の破線はフォノン散乱を無視した場合の結果であり、フォノン散乱により M が半分近く減少することがわかる。

[1] Y. Hirano *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **95**, 063109 (2009). [2] N. Mori *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **52**, 04CJ04 (2013). [3] N. Mori *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **98**, 062104 (2011).

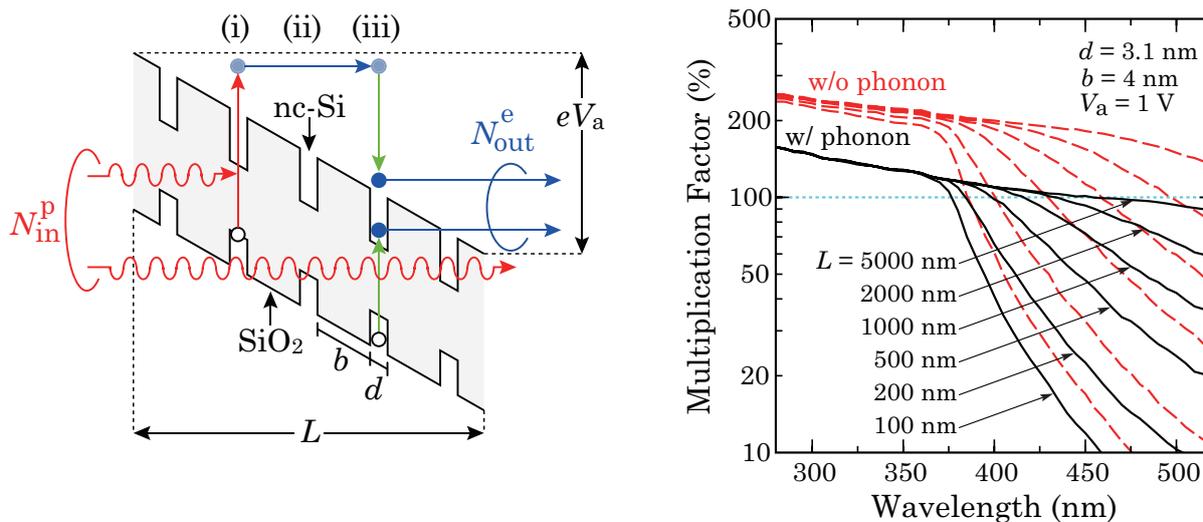


Fig. 1 [left]: Schematic of a nanocrystalline silicon array together with a possible electron trajectory. **Fig. 2** [right]: Photon wavelength dependence of carrier multiplication factor M under a constant bias $V_a = 1$ V at $T = 300$ K. Solid (dashed) lines show M calculated with (without) phonon emission.