

InGaN/GaN MQW 太陽電池における短絡電流と MQW 構造の相関

Relationship between J_{sc} and InGaN/GaN MQW structure in solar cells日本電信電話 (株) NTTフォトニクス研究所¹, 大阪市立大学大学院工学研究科²○渡邊 則之¹, 満原 学¹, 横山 春喜¹, 梁 剣波², 重川 直輝²NTT Photonics Labs., NTT Corporation¹, Grad. School of Eng., Osaka City Univ.²○N. Watanabe¹, M. Mitsuhashi¹, H. Yokoyama¹, J. Liang², N. Shigekawa²

E-mail: watanabe.noriyuki@lab.ntt.co.jp

1. はじめに III-V 窒化物半導体は 0.65eV から 6.2eV までの範囲でバンドギャップを制御でき太陽光スペクトルのほぼすべてをカバーすることから、超高効率太陽電池用材料として広く研究されている [1,2]。前回、MQW のペア数を変えることでキャリア寿命が変わるものの、太陽電池特性にはほとんど影響を与えておらず、光誘起キャリアの輸送特性で短絡電流が律速されていることを報告した [3, 4]。今回、前回提唱したモデルを基に既報 [5] の結果を検証し、短絡電流を改善するための指針を得たので報告する。

2. モデル 太陽光は InGaN の E_g より高い成分が井戸層でのみ吸収され (吸収係数 α は波長に依存せず一定とする)、GaN バリア層での光の吸収はないとする。すると、 n 番目の InGaN 井戸層で吸収される光の強度 ΔI_n は、太陽光の強度 I_0 および井戸厚 w_w を用いて以下のように与えられる。

$$\Delta I_n = I_0 \{ \exp(-n\alpha w_w) - \exp(-(n-1)\alpha w_w) \} \quad (1)$$

また、InGaN 井戸層で生成した光誘起キャリアがコンタクト層まで到達することにより光誘起電流として観測されるが、その輸送特性が拡散により支配されているものと仮定すると、 n 番目の InGaN 井戸層で生成した電子および正孔がコンタクト層に到達する確率 η はそれぞれ

$$\eta_n(n) = \exp \left\{ -\frac{(N-n+1)(w_b + w_w)}{L} \right\} \quad (2)$$

$$\eta_p(n) = \exp \left\{ -\frac{n(w_b + w_w)}{L} \right\} \quad (3)$$

で与えられる。ここで、 w_b はバリア厚、 L はキャリアの拡散長、

N は MQW のペア数である。短絡電流密度 $J_{sc}(N)$ は (1), (2) および (3) を用いて

で与えられる。ここで、 A はフィッティングパラメータである。

$$J_{sc}(N) = A \sum_{n=1}^N \Delta I_n \{ \eta_n(n) + \eta_p(n) \} \quad (4)$$

3. 結果および考察 図 1 は、井戸厚 4nm、バリア厚 3nm および 9nm の MQW を有する太陽電池における J_{sc} を (4) 式にしたがって見積もった結果を示したものである (吸収係数を $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ とした)。既報 [4] の結果から、バリア厚 3nm での拡散長を 75nm とし、実験値 [5] と合うように A を定めた。図 1 には既報 [5] の結果をプロットしてある。実験結果はバリア厚が 3nm $\rightarrow$ 9nm と増大すると拡散長がおおよそ 1.7 倍になると仮定すると説明できる。すなわち、バリア厚に対し $1/2$ 乗の依存性を示すことが示唆される。このバリア厚依存性を用い、井戸厚を 4nm で固定して得られる J_{sc} のバリア厚依存性をいくつかのペア数に対して求めた結果を図 2 に示す。いずれのペア数であっても、バリア厚 = 4nm で最大の J_{sc} を示すことが分かった。この結果は、短絡電流を増大するためには井戸厚とバリア厚を等しくすることが効果的であることを示唆している。また、 J_{sc} のペア数に対する依存性は 5 $\rightarrow$ 15 ペアで急激に増加したあと 20 ペアで最大となり 20 $\rightarrow$ 30 ペアで微減する傾向を示した。この結果は J_{sc} を最大とするために最適なペア数が存在していることを示している。

謝辞 本研究の実施に当たり、JST-CREST「太陽光を利用した独創的グリーンエネルギー生成技術の創出」の支援を受けた。

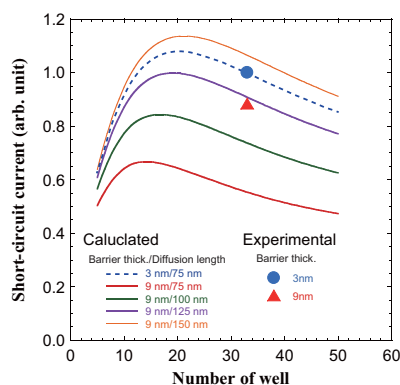


図 1 短絡電流のペア数依存性 (計算および実験値)

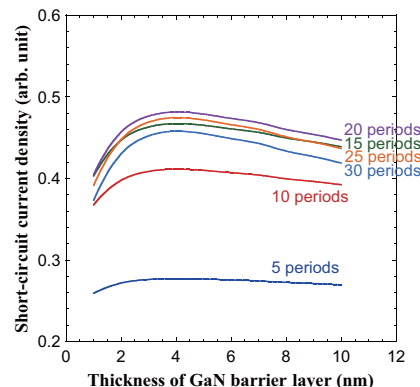


図 2 短絡電流のバリア厚依存性 (計算値)

[1] L. Hsu et al., Journal of Applied Physics **104** (2008) 024507.

[2] R. E. Jones et al., in proc. 33rd IEEE Photovoltaic Specialist Conference, San Diego, 2008.

[3] 渡邊 他, 2013 年春季第 60 回応用物理学関係連合講演会 (神奈川)。

[4] N. Watanabe et al., ISCS2013, TuA2-2, Kobe, 2013.

[5] N. Watanabe et al., Japanese Journal of Applied Physics **51** (2012) 10ND10.