

多接合太陽電池における発光結合効果

太野垣 健¹, S. Kasimir Reichmuth², Henning Helmers², Gerald Siefer²
¹産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 先進多接合デバイスチーム、
²ブラウンホーファ研究機構 太陽エネルギーシステム研究所

研究の目的

- 高効率太陽電池においては輻射再結合(発光)が損失過程に支配的な役割を果たす[1]。
- 多接合太陽電池では、サブセル1で生じた発光がサブセル2で再吸収される発光結合効果が発現する。
- 発光再結合により多接合太陽電池がスペクトル変動に頑強になるなどの効果が期待されるが[2]、その特性の理解と制御は課題となっている。
- 本研究では、多接合太陽電池における発光結合効果の特性を解明することを目的とした。



図1 発光結合効果の概念図

実験

- GalnP/GaAs//GalnP/GaAs/GaInAsP/GaInAs4接合太陽電池を用いた[3]。
- レーザー光照射電流測定から、発光結合電流を見積もった。
- 過渡的開放電圧測定により、サブセルの電圧を計測した[4]。

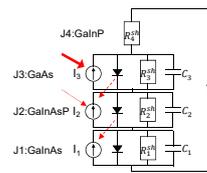


図2 テスト素子の等価回路図

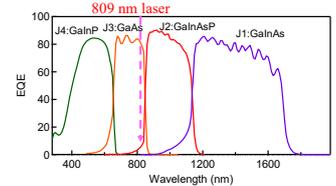


図3 テスト素子の分光感度曲線

結果

- レーザー光(809 nm)照射によりサブセル2および3に光電流を生成した。
- テスト素子を通る電流を計測し、サブセル1に生成された発光結合電流を算出した。
- レーザー光(809 nm)照射によりサブセル2および3に光起電力を生成した。
- 過渡的電圧測定による、サブセル1-3の電圧を算出した。

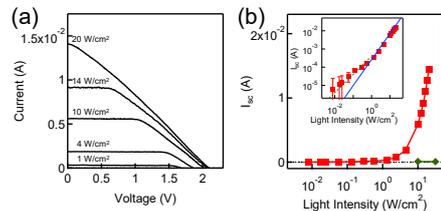


図4 (a) 電流電圧曲線の照射レーザー強度依存性。(b) 短絡電流の照射光強度依存性。

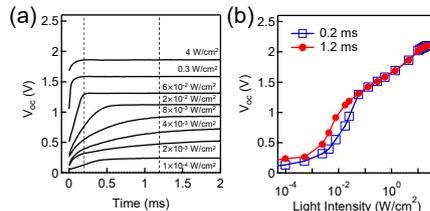


図5 (a) 開放電圧の時間変化。(b) 0.2および1.2 msにおける開放電圧の照射光強度依存性。

- 電界発光測定により、サブセルの基礎パラメータを抽出した。

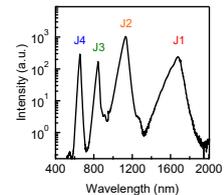


図6 電界発光スペクトル

表1 電界発光測定より得られたパラメータ

Junction	I_0 (A)	m	R_{sh} (Ω)
J1	4.2×10^{-8}	2.03	>5000
J2	2.4×10^{-13}	1.25	>10000
J3	1.9×10^{-13}	1.69	700
J4	8.7×10^{-22}	1.35	500

考察

- 図2の等価回路モデルと基礎パラメータ(表1)を用いて、過渡的電圧生成についてシミュレーションを行った。
- サブセル電圧の振る舞いを見積もった。

生成電流: $I_i(t) = I_{photo,i}(t) + \alpha_i I_{EL,j}(V_i)$

$$I_{subcell,i}(t) = I_i(t) - I_{0,i} \left[\exp\left(\frac{qV_i(t)}{m_i kT}\right) - 1 \right] - \frac{V_i(t)}{R_{sh,i}} - C_i \frac{dV_i(t)}{dt}$$

$$\frac{dV_i(t)}{dt} = \frac{I_i(t)}{C_i} - \frac{I_{0,i}}{C_i} \left[\exp\left(\frac{qV_i(t)}{m_i kT}\right) - 1 \right] - \frac{V_i(t)}{C_i R_{sh,i}} - \frac{V_{meas}(t)}{C_i R_{meas}}$$

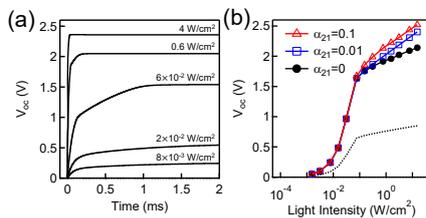


図7 (a) 開放電圧の時間変化、および (b) 照射光強度依存性のシミュレーション結果。

- 発光結合電流とサブセル電圧から、発光結合効率が電界に依存する振る舞いを示すことがわかった。

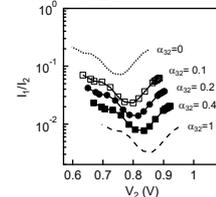


図8 発光結合効率(I_1/I_2)のサブセル電界(V_2)依存性

結論

- 過渡的開放電圧測定をGalnP/GaAs//GalnP/GaAs/GaInAsP/GaInAs4接合太陽電池に適用し、発光結合効果の特性を調べた。
- 電流測定よりGalnP/GaAsからGalnP/GaAsサブセルへの発光結合効果を観測し、これがサブセル電圧に依存した振る舞いを示すことが明らかになった。
- サブセル電界を考慮した発光結合効果の測定手順の確立が必要である。

本研究は、産業技術総合研究所エネルギー・環境領域海外派遣事業の支援のもとに行われた。

参考文献

- M. A. Steiner, J. F. Geisz, I. García, D. J. Friedman, A. Duda, and S. R. Kurtz, *J. Appl. Phys.* **113**, 123109 (2013).
- A. S. Brown and M. A. Green, *Proc. 29th IEEE Photovolt. Spec. Conf.* 868 (2002).
- F. Dimroth *et al.*, *IEEE J. Photovoltaics* **6**, 343 (2016).
- H. Nessimwetter, N. R. Jost, P. Lugli, A. W. Bett, and C. G. Zimmermann, *Appl. Phys. Lett.* **106**, 23903 (2015).
- T. Tayagaki, S. K. Reichmuth, H. Helmers, and G. Siefer, *J. Appl. Phys.* (submitted).