結晶シリコン太陽電池のための広帯域応答アップコンバーター

Broadband-sensitive upconverters for crystalline silicon solar cells

⁰竹田 康彦, 水野 真太郎, ルイテル ホム ナト, 谷 俊彦(豊田中研)

[°]Yasuhiko Takeda, Shintaro Mizuno, Hom Nath Luitel, Toshihiko Tani (Toyota Central R&D Labs., Inc.)

E-mail: takeda@mosk.tytlabs.co.jp

アップコンバージョンは太陽電池の変換効率を格段に向上させる方法の一つである。現在の太陽光発電の 主流である結晶シリコン太陽電池に対しては、波長1.55 μm帯の光を0.98 μmに変換する、Er³⁺を含むアップコ ンバーターが用いられる。しかし、Er³⁺の吸収帯域が狭いため、太陽光スペクトルのごく一部しか利用すること ができないのが問題点である[1]。我々は、結晶シリコンにもEr³⁺にも吸収されない1.1-1.45 μm光を吸収し、そ のエネルギーを Er³⁺に移動させる増感材を導入し、これを Er³⁺と共に添加するホスト材料との組み合わせを設 計することによって、感度の広帯域化を実現した。

アニオンにより形成される正 8 面体の中心に位置する6 配位 Ni²⁺は上記近赤外域に吸収帯を形成するので、 増感材の候補となる。ただし、Ni³⁺や、正 4 面体中心に位置する4 配位 Ni²⁺は、より長波長にも吸収帯をもつた め、増感材として機能しないと考えられる。また、アップコンバージョンは 2 光子過程であるため、Er³⁺, Ni²⁺共に 極力高濃度に添加できることが望ましい。従ってホスト材料の要件は、(i) Ni²⁺が正 8 面体中心を占め、他の対 称性サイトを占め得ない結晶構造であること、(ii) 構造安定性のため、8 面体中心カチオンのイオン半径は Ni²⁺に近い値であること、(iii) Er³⁺に近いイオン半径のカチオンを含むこと、である。ペロブスカイト構造をもつ La(Ga,Sc)O₃, MZrO₃ (M = Ca, Sr, Ba)などはこれらの要件を満たす。

これらホスト材料に Er^{3+} , Ni^{2+} を共添加した粉末試料を合成した。価数が異なるイオンにより置換する際に生じる電荷の不釣り合いを補償するために、 Ni^{2+} と共に Nb^{5+} を、また MZrO₃の場合には、 Er^{3+} と共に Li^+ などを共添加した。図1は Er, Ni, Nb 共添加 LaGa_{1-x}Sc_xO₃を波長 1.18 µm の半導体レーザーにより励起したときの発光スペクトルである[2]。波長 1.55 µm 光照射 (Er^{3+} の直接励起)の場合と同様の明確なアップコンバージョン発光が観測された。即ち、 Ni^{2+} により吸収されたエネルギーが Er^{3+} に移動して発光が生じることを確認した。x = 0.5のときに発光強度が最も大きいのは、x に依存する Ni^{2+} 吸収バンドのシフト、及び僅かに生じる酸素欠損による吸収の影響から解釈され、また、このときの Ni^{2+} から Er^{3+} へのエネルギー移動効率は1に近い値であることを見出した。また、図2に示されるように、1.1-1.35 µm の幅広い帯域の励起光に対してもアップコンバージョン発光が生じた。MZrO₃ についても、同様の機構による発光を確認した[3]。図3 に示されるように、 Ca^{2+} よりもイオン半径が小さい Li^+ を含むときに最大の発光強度が得られた。更に、M = Ca, Sr, Ba に依存する Ni^{2+} 吸収バンドのシフトに起因して、 $CaZrO_3$ の場合に発光強度が最大となった。

本研究の一部は、JST 戦略的創造研究推進事業-先端的低炭素化技術開発(ALCA)の助成を受けた。

[1] C. M. Johnson, S. Woo, and G. J. Conibeer, IEEE J. Photovolt., 4, 799 (2014).

[2] Y. Takeda, S. Mizuno, H. N. Luitel, and T. Tani, submitted to Appl. Phys. Lett.

[3] H. N. Luitel, S. Mizuno, T. Tani, and Y. Takeda, in preparation.



Fig. 1 Upconversion (UC) emission spectra of $LaGa_{1-x}Sc_xO_3$ doped with 10% Er, 0.5% Ni, 0.5% Nb under 1.18 μ m excitation.



Fig. 2 Comparison of the absorbance $1 - R_d$ (R_d : diffuse reflectance) and UC sensitivity of LaGa_{0.5}Sc_{0.5}O₃ doped with 10% Er, 0.5% Ni, 0.5% Nb.



Fig. 3 Upconversion (UC) emission spectra of $CaZrO_3$ doped with 15% Er, 15% Li (or Na, K), 0.2 % Ni, 0.4% Nb under 1.18 µm excitation.