

「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出」
平成22年度採択研究代表者

H26 年度 実績報告書

重川 直輝

公立大学法人 大阪市立大学 工学研究科
教授

シリコン基板上窒化物等異種材料タンデム太陽電池の研究開発

§ 1. 研究実施体制

(1) 大阪市立大学グループ

- ① 研究代表者: 重川 直輝 (大阪市立大学工学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・ハイブリッドタンデムセルプロセス検討

(2) NTT 先端集積デバイス研究所グループ

- ① 主たる共同研究者: 渡邊 則之 (NTT 先端集積デバイス研究所、主幹研究員)
- ② 研究項目
 - ・ハイブリッドタンデムセル用結晶成長検討

(3) 福井大学グループ

- ① 主たる共同研究者: 葛原 正明 (福井大学、教授)
- ② 研究項目
 - ・モノリシックタンデムセル用結晶成長検討

§ 2. 研究実施の概要

本研究は、太陽電池材料として最も広く使用されているシリコン (Si) 太陽電池 (ボトムセル) 上に異なる吸収端を有する太陽電池を積層することにより、高い変換効率と低い発電コストを両立させたタンデム太陽電池を実現することを狙いとする。「表面活性化ボンディング (SAB) 法による Si と異種材料の接合 (ハイブリッド)」及び「Si 上への窒化物半導体結晶成長 (モノリシック)」により、窒化物半導体等の異種材料 (InGa_N, InGaP, GaAs 等) からなるトップセル、ミドルセルを有するタンデム太陽電池プロトタイプ の作製、高効率実現のための課題の抽出・解決の指針提示を目指す。あわせてトップセル、ミドルセル用材料の研究 (電流整合を実現に向けたバンドギャップ制御、導電性制御、キャリア輸送機構解明) を行い、30% 以上の変換効率実現を目指す。「A. ハイブリッドタンデム太陽電池プロセス検討」(大阪市立大)「B. ハイブリッドタンデム太陽電池結晶成長検討」(NTT 研究所)「C. モノリシックタンデム太陽電池結晶成長検討」(福井大) という役割分担にて研究を実施する。今年度の進捗は以下の通りである。

A. ハイブリッドタンデム太陽電池プロセス検討に

おいては、昨年度に引き続き課題 (1)「SAB 法による異種材料接合の界面物性解明 (電気特性・界面構造・プロセス条件の相関明確化)。界面電気抵抗低減」、課題 (2)「タンデム太陽電池構造の作製。タンデム動作実証。多接合化の効果実証」に取り組んだ。課題 (1) に関しては、接合後の熱処理により接合の電気特性が改善されること、改善効果は界面準位密度の低減に依ると考えられること、を示した。課題 (2) に関しては、

InGaP/GaAs 2 接合セル構造と Si ボトムセル構造からなる 3 接合タンデム太陽電池を作製し、

AM1.5G/非集光の条件下で効率 24.4% を得るとともに、図 1 に示すように分光感度測定による各サブセルの外部量子効率を評価し、接合界面がタンデム特性に及ぼす影響は電氣的・光学的に十分無視できることを明らかにした [1]。今後はボトムセルの特性改善・タンデム動作時の変換効率向上に取り組む。

B. ハイブリッドタンデム太陽電池結晶成長検討においては (3)「トップセル用窒化物半導体の成長」、および、(4)「トップ・ミドルセル用リン系半導体の成長」が課題である。(3) においては、分極効果を利用した InGa_N/AlGa_N/Ga_N 構造でのトンネル接合作製の検討を行い、また、昨年度提示した InGa_N/Ga_N 多重量子井戸の光励起キャリアの輸送特性と太陽電池特性 (短絡電流) を関連付けるモデルに関連し、多重量子井戸構造と輸送特性を特徴づけるパラメータの相関を導き出し、多重量子井戸構造の最適化を試みた。(4) においては、バンドギャップ制御を目的とする歪 InGaP/InGaP 多重量子井戸の成長法を検討し、オフ基板を用いることによりバリア層領域の厚みを変調させて量子細線状構造を作製することに成功した。今後セル特性向上に向けた構造最適化と、Si セルとのタンデム化を目指す。

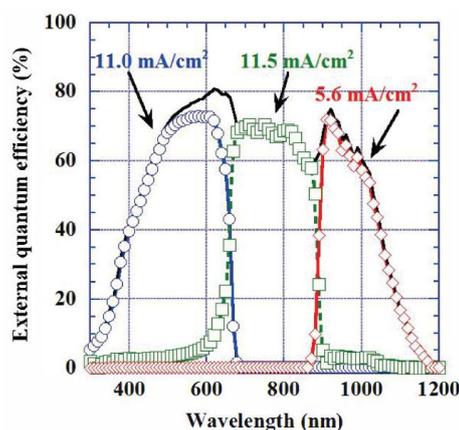


図 1 3 接合セルの分光感度特性

C. モノリシックタンデム太陽電池結晶成長検討においては、課題(5)「InGaN 厚膜化に伴う相分離現象の解明と抑制」、課題(6)「Mg アクセプタ活性化熱処理時の相分離発生の抑制」、課題(7)「Mg ドーピング技術の確立と InGaN の p 型化, pn 接合形成」に取り組んだ。(5)においては、MOVPE 法による InGaN 成長において相分離が生じる臨界の膜厚が存在し、臨界膜厚は成長温度の上昇とともに急激に減少することを明らかにした[2]。(6)においては、Mg 活性化処理に RTA 法を採用することによって、570°C成長 InGaN 膜においても正孔濃度 $10^{18} \sim 10^{19} \text{cm}^{-3}$ の p 型層を相分離なく実現した。(7)においては、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 基板上に $n^+ \text{-p}$ 構造 InGaN セルを実現し、0.7 V の V_{oc} と波長 540nm までの光感度を確認した。今後はこれらの知見をもとに、モノリシックタンデム太陽電池の実現、特性向上を目指す。

[1] Naoteru Shigekawa, Li Chai, Masashi Morimoto, Jianbo Liang, Ryusuke Onitsuka, Takaaki Agui, Hiroyuki Juso, and Tatsuya Takamoto, "Hybrid Triple-Junction Solar Cells by Surface Activated Bonding of III-V Double-Junction-Cell Heterostructures to Ion-Implantation-Based Si Cells", Proc. 40th IEEE Photovoltaic Specialists Conference pp. 534-537, 2014 (DOI: 10.1109/PVSC.2014.6924976)

[2] A. Yamamoto, T. Md Hasan, K. Kodama, N. Shigekawa, M. Kuzuhara, "Growth temperature dependent critical thickness for phase separation in thick (1 μm) $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x=0.2\text{--}0.4$)", Journal of Crystal Growth, vol. 419, pp.64-68, 2015 (DOI:10.1016/j.jcrysgro.2015.02.100)