

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－スペイン研究交流）

1. 研究課題名：「中間バンド型太陽電池に向けた高密度量子ドットアレイの研究 (DenQulband)」
2. 研究期間：平成21年11月～平成25年3月
3. 支援額： 総額 6,380,000 円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	岡田 至崇	東京大学 先端科学技術研究センター	教授
研究者	宮野 健次郎	〃	教授
研究者	大島 隆治	〃	助教
研究者	海津 利行	〃	助教
研究者	吉田 勝尚	〃	大学院生
研究者	小倉 暁雄	〃	大学院生
参加研究者 のべ 13名			

相手側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Antonio Luque	マドリード工科大学 太陽光エネルギー研究所	主任教授
研究者	Antonio Martí	〃	主任教授
研究者	Ignacio Tobías	〃	教授
研究者	César Tablero	〃	教授
研究者	Elisa Antolín	〃	研究員
研究者	Manuel Mendes	〃	研究員
参加研究者 のべ 8名			

5. 研究・交流の目的

本研究交流では、50%以上の高いエネルギー変換効率が期待される中間バンド型太陽電池(QD-IBSC)の実現に向けて、素子構造として高密度量子ドットアレイを導入することを目的とする。

日本側（東大先端研）の量子ドットアレイを導入した太陽電池作製技術と、スペイン側（マドリード工科大）の太陽電池の特性評価・解析技術を組み合わせ、共同で研究を推進し中間バンド型太陽電池の高効率化を目指す。

100倍前後の集光動作を想定した集光型太陽電池を開発し、集光動作による中間バンドを介した電流増大の効果を共同で研究を行う。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

現状のシリコン太陽電池を中心とする第一世代と呼ばれる太陽電池は、効率が20%前後であり、またコスト高になっていることが問題となっている。効率40%以上のセルの高効率化は急務であり、高密度量子ドットアレイを用いた中間バンド型太陽電池(QD-IBSC)の可能性を共同で研究した。

まず項目 O1: 中間バンド→伝導帯への光学遷移の高効率化と出力電流の増大、O2: 開放

電圧の低下が生じない中間バンド構造の設計、そして O3: 現在の InAs/GaAs QD-IBSC の最適化と高効率化を中心に行い、O6: 実験データの解析及び QD-IBSC のデバイスモデルの構築に着手した。中間バンド型太陽電池の高効率化においては、価電子帯→中間バンド、並びに中間バンド→伝導帯への 2 段階の光学遷移を効率良く生じさせ、出力電流を増大させながら、一方では出力電圧の低下を最小にするような素子構造の最適化が必要である。現在、中間バンド→伝導帯への遷移レートが小さく、十分な光電流を得るに至っていない。そこで量子ドットに Si 直接ドーピングを行い、キャリアを量子ドットに供給する方法を検討した結果、2 段階光吸収による電流増大の効果を、世界に先駆けてより明確に実証することに成功した。この間、計 6 種類の異なる構造のウエハ試料を東大からマドリッド工科大に作製して提供し、材料物性及び太陽電池特性の評価解析を行うことができた。

次に、項目 O3 の InAs/GaAs QD-IBSC のさらなる高効率化に向けた技術開発と、項目 O4 の集光型 InAs/GaAs QD-IBSC の検討を行った。集光型量子ドット太陽電池の作製技術の開発を東大グループが中心に進め、集光特性評価装置による測定評価はマドリッド工科大が進めた。特性のモデリング、理論解析は両機関が共同で進め議論を重ねた。素子構造の最適化を協力して進めた結果、100 倍前後の集光動作を想定した集光型太陽電池を開発し、変換効率 20.2%の世界最高値(発表当時)を記録することに成功した。集光型の量子ドット中間バンド型太陽電池の作製を世界で初めて実現できたことは価値ある成果であり、今後の高効率化に向けての大きな第一歩である。

6-2 人的交流の成果

両研究機関とも日頃精力的に活動を行っているため、研究交流は刺激的で大変有意義であった。特に、助教・大学院生の若手研究者は、マドリッド工科大の恵まれた研究設備と研究実績に強く印象付けられ、自身の研究活動に多少とも影響を及ぼした。またマドリッド工科大の研究者にとっても東大における結晶成長技術を習得するいい機会となった。

研究交流を通じて相手機関を訪問し、また相手側から研究者を招へいして研究議論を行う機会として大変価値があった。若手研究者の海外経験と人材育成、そして相手国の国民性や研究に対する取り組み方などを知る上でも貴重な交流であった。

また今後も両研究機関が協力して当該研究を展開していく事業へとつなげることができた。集光型太陽光発電システムの研究開発に関わる日 EU 共同開発 NEDO プロジェクトが H23 年度より開始し、東大、マドリッド工科大ともコアメンバーとして参加している。高効率な太陽電池を 5 年以内の実現できる可能性があり、達成できれば社会への波及効果は大きく、太陽電池の低コスト化が進み大規模な普及が益々加速されると考えられる。

7. 主な論文発表・特許等 (5 件以内)

※相手側との共著論文についてはその旨備考欄に記載

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	特記 事項
論文	Y. Shoji, K. Akimoto, and Y. Okada, "Self-organized InGaAs/GaAs quantum dot arrays for use in high-efficiency intermediate-band solar cells", Journal of Physics D: Applied Physics, vol. 46, p. 024002, 2013.	招待 論文
論文	Y. Okada, K. Yoshida, Y. Shoji, A. Ogura, P. Garcia-Linares, A. Marti, and A. Luque, "The effect of concentration on the performance of quantum dot intermediate-band solar cells", AIP Conference Proceedings, vol. 1477, pp. 10-13, 2012.	共著 論文
論文	K. Yoshida, Y. Okada and N. Sano, "Device simulation of intermediate band solar cells: Effects of doping and concentration", Journal of Applied Physics, vol. 112, p. 0814510, 2012.	

論文	Y. Shoji, K. Narahara, H. Tanaka, T. Kita, K. Akimoto, and Y. Okada, "Effect of spacer layer thickness on multi-stacked InGaAs quantum dots grown on GaAs(311)B substrate for application to intermediate band solar cells", Journal of Applied Physics, vol. 111, p. 074305, 2012.	
書籍	Y. Okada, K. Yoshida, and Y. Shoji, "Quantum Dot Solar Cells", in Advanced Solar Cell Materials, Technology, Modeling and Simulation, Ed. L. Fara and M. Yamaguchi, IGI Global (USA), 2013, pp. 163-187.	