

「太陽光を利用した独自のクリーンエネルギー生成技術の創出」
平成 23 年度採択研究代表者

H27 年度
実績報告書

金光義彦

京都大学 化学研究所
教授

集光型ヘテロ構造太陽電池における非輻射再結合損失の評価と制御

§ 1. 研究実施体制

(1)「金光」グループ

- ① 研究代表者： 金光 義彦（京都大学・化学研究所・教授）
- ② 研究項目
 - ・非輻射再結合速度の計測評価システムの構築と非輻射再結合過程の解明
 - ・ナノ構造のマルチエキシトン生成とオージェ非輻射再結合
 - ・実用多接合太陽電池の非輻射再結合ロス解析

(2)「秋山」グループ

- ① 秋山 英文（東京大学・物性研究所・准教授）
- ② 研究項目
 - ・非輻射再結合速度の計測評価システムの構築と非輻射再結合過程の解明
 - ・ナノ構造のマルチエキシトン生成とオージェ非輻射再結合
 - ・実用多接合太陽電池の非輻射再結合ロス解析

§ 2. 研究実施の概要

本研究では、多接合太陽電池の基本要素である様々なヘテロ構造・量子ナノ構造材料において電力変換効率低下の主な原因となっている、非輻射キャリア再結合過程の解明を行う。集光型ヘテロ構造太陽電池に関する重要な課題に明確な結論を導き、基礎物理の立場から高効率化のための設計指針の具体的な提示を行うことを目的とした研究を推進している。本年度では、(1)計測システムの開発・改良とペロブスカイト半導体などの新しい太陽電池材料のキャリアダイナミクスの解析、(2)ナノ粒子・量子ドットを利用した太陽電池の基礎光学過程の解明、(3)電界発光計測による多接合太陽電池のエネルギー損失過程の解明、を中心に研究を行った。以下に、主な成果をまとめた。

1. 非輻射再結合速度の計測評価システムの構築と非輻射再結合過程の解明

過渡発光、過渡吸収、ならびに過渡光電流の計測・解析システムの開発・改良を進め、薄膜太陽電池材料と期待されているハロゲン化鉛ペロブスカイト ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$, $\text{X}=\text{I}, \text{Br}$) や $\text{CZTSSe}[\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4]$ のキャリアダイナミクスの詳細な研究を行った。1光子励起発光と2光子励起発光を比較することにより、ペロブスカイト結晶では高速キャリア拡散と強いバンド端発光・吸収にもとづくフォトンリサイクリングによりキャリア分布が決まることを明らかにした。CZTSSeでは、Se成分の増加とともにバンドテイルの乱れが大きくなるにも関わらず、自由キャリア寿命は増大することを見出した。

2. ナノ構造のマルチエキシトン生成とオージェ非輻射再結合

光伝導ダイナミクスをフェムト秒時間分解能で測定できる光伝導励起相関法(PC-FEC)を開発し、中間バンド太陽電池として期待されているGaAs結晶中のInAs量子構造中の光キャリア生成ダイナミクスを研究した。InAs量子構造に共鳴励起した時に強いPC-FEC信号が観測された。その緩和時間は励起光強度に強く依存しており、励起光強度とともに緩和時間は短くなる。これは、高密度励起下では支配的なキャリア生成過程がオージェ過程によるアップコンバージョンであることを明らかにした。量子構造は、電流のクエンチングサイトとしても働くことを見出した。

3. 実用多接合太陽電池の非輻射再結合ロスの解析

太陽光としてAM0、AM1.5G、AM1.5Dのスペクトルとその集光条件を設定して、2接合以上の多接合太陽電池における変換効率を計算した。多接合太陽電池の各サブセルに非輻射再結合ロスが存在する場合、それらがどの程度敏感に電池全体の効率低下をもたらすかを定量的に明らかにした。非輻射再結合ロスが存在する現実の材料を用いた時の多接合太陽電池の設計指針を、従来よりもさらに明確に示すことに成功し、今後の設計や解析に重要な指針が得られた。

H27 年度の代表的な論文

- [1] Y. Yamada, T. Yamada, L. Q. Phuong, N. Maruyama, H. Nishimura, A. Wakamiya, Y. Murata, and Y. Kanemitsu: Dynamic optical properties of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ single crystals as revealed by one- and two-photon excited photoluminescence measurements. *J. Am. Chem. Soc.* 137, 10456-10459 (2015).
- [2] L. Q. Phuong, M. Okano, G. Yamashita, M. Nagai, M. Ashida, A. Nagaoka, K. Yoshino, and Y. Kanemitsu: Free-carrier dynamics and band tails in $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_4$: Evaluation of factors determining solar cell efficiency. *Phys. Rev. B* 92, 115204 (7 pages) (2015).
- [3] L. Zhu, T. Mochizuki, M. Yoshita, S. Chen, C. Kim, H. Akiyama, and Y. Kanemitsu: Conversion efficiency limits and bandgap designs for multi-junction solar cells with internal radiative efficiencies below unity. *Opt. Express* 24, A740-A751 (2016).