

「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 23 年度採択研究代表者

H26 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(研究機関別)

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の解析

(2)「秋山」グループ(研究機関別)

①主たる共同研究者： 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の解析

§ 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。また、マルチエキシトン生成、オージェ再結合、アップコンバージョン過程の解明など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。本年度では、(1) 光学・電気計測システムの開発・改良と新しい太陽電池材料のキャリアダイナミクスと非輻射再結合の評価、(2) ナノ構造を利用したマルチエキシトン生成太陽電池とアップコンバージョン（中間バンド）型太陽電池の研究、(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

太陽電池材料・デバイスの過渡光電流、過渡発光ならびに過渡吸収を評価・解析できるシステムの開発・改良を進めた。時間分解発光・過渡吸収・光電流の三つの異なる測定手法を用いることにより、エネルギー損失過程の定量的評価を試みた。多元結晶薄膜太陽電池材料である CZTS ($\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$) や CIGS ($\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$)、さらにはペロブスカイト $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ および $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ のキャリアダイナミクスの詳細な研究を行った (図 1) [1]。特に、これらの材料の太陽電池材料では長寿命の自由キャリアが存在でき、それが優れた太陽電池特性を示す一因であることを実験的に示した。

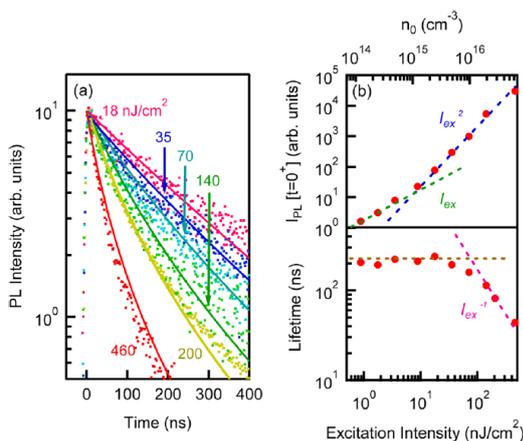


図 1. (a) $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ における発光ダイナミクス. (b) 発光強度と寿命の励起強度依存性. (Reprinted with permission from J. Am. Chem. Soc. 136, 11610 (2014), Copyright 2014 American Chemical Society).

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

効率的に光電流を取り出せる電気伝導性の高いナノ粒子固体薄膜を作製し、その光学的・電気的特性を研究した。PbS ナノ粒子の表面配位子を交換処理することにより、粒子同士を近接化させた薄膜を作製した。ナノ粒子間の距離が短く高い光伝導性を示すナノ粒子薄膜では、ナノ粒子間のトンネル伝導が支配的であることを明らかにした。ナノ粒子薄膜における光電流の入射光子エネルギー依存性より、マルチエキシトン生成による光電流増幅の観測に成功した。また、GaAs や AlGaAs 結晶中に InAs 量子ナノ構造を作製し、InAs 量子ナノ構造からの発光および光電流を測定し、ナノ構造が光電流の発生サイトと同時にクエンチングサイトとして働くことを明らかにした。

3. 実用多接合太陽電池の非輻射再結合ロスの解析

光吸収とその逆過程である発光との相反関係を利用し, 太陽電池を発光ダイオード(LED)動作させた時の各サブセルのエレクトロルミネセンス(EL)の絶対発光効率測定から, 多接合太陽電池のサブセル特性を評価する解析手法を開発した。InGaP/GaAs/Ge 3 接合太陽電池の特性評価に適用し, サブセルの定量的評価に成功した。その解析からは各サブセルの I-V 特性や多接合での変換効率を算出することができた。EL の解析結果は実測値とよく一致しており, 本手法がサブセル動作特性診断に有効であることを証明した。この実験方法・解析方法は新しい太陽電池評価方法として有用であること示した。

- [1] Y. Yamada, T. Nakamura, M. Endo, A. Wakamiya, and Y. Kanemitsu, “Photocarrier Recombination Dynamics in Perovskite $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ for Solar Cell Applications”, J. Am. Chem. Soc. **136**, 11610 (2014). (DOI: 10.1021/ja506624n).