

「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

H23 年度 実績報告

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

(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

§ 2. 研究実施内容

本研究では、時空間分解レーザー分光を駆使して、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効率低下の実際的な主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、集光型太陽電池で重要となるオージェ再結合過程などキャリア密度の増加とともに支配的となる非輻射再結合過程を計測できるシステムを構築し、各材料・デバイス試料に適用を試みる。さらに、ナノ構造において競合するマルチエキシトン生成とオージェ再結合過程を明らかにし、マルチエキシトン生成によりキャリアを取り出すことが可能かどうか原理検証を行う。これら集光型ヘテロ接合太陽電池開発にとって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・長寿化のための設計指針の具体的な提示を行う。

研究初年度である 23 年度においては、多接合界面の非輻射再結合速度やナノ物質における複雑かつ微細なエネルギー構造を系統的に調べるための分光評価システムの開発に着手した。様々なヘテロ構造における非輻射再結合速度を計測できる時間分解レーザー分光評価システムの開発に向け、光学測定系やソフトウェアの設計と構築を行った。従来の低繰り返し再生増幅レーザーを用いたポンププローブ測定システムに加えて、今年度は、可視域および近赤外域で測定できる空間分解発光寿命評価システムと、高繰り返し再生増幅レーザーを用いたポンププローブ評価システム開発を進め、運用を開始した。特に、空間分解や波長分解、時間分解を自動的にスキャンする技術開発・改良を独自に行い、時空間分解レーザー分光測定による光学評価を効率的に実施できるようにした。これらにより、広範囲の波長における非輻射再結合速度を、高感度かつ効率的に評価できるように整備した。

これらの分光評価システムを用いて、集光型太陽電池の変換効率の低下を引き起こす非輻射再結合過程をバルク結晶と薄膜試料を用いて計測し、キャリア緩和過程の評価を開始した。可視波長域の分光実験では、化合物半導体およびシリコン系半導体の薄膜さらにナノ粒子や量子ドットを試料として用いた。それらの時間分解発光・過渡吸収スペクトルを測定し、キャリア寿命や輻射再結合寿命を明らかにし、非輻射再結合プロセスの評価を進めた。また、多接合太陽電池の高効率化の鍵となる近赤外波長領域に分光感度を有するバルク結晶や薄膜試料のための評価システムを強化し、時間分解発光の計測を行った。化合物半導体、シリコン系結晶薄膜およびナノ構造物質に対して、1 ns 以下の時間分解能で時間分解発光スペクトル測定を行い、非線形緩和過程を観測した。ポンププローブ測定の実験では、GaAs 系薄膜に対してフェムト秒時間分解過渡吸収スペクトルを測定し、近赤外波長範囲でポンプ光を変えた時のキャリアダイナミクスの変化など、非輻射再結合過程の解明に取り組んだ。

さらに、半導体ヘテロ・ナノ構造を用いた太陽電池材料・デバイスの基礎研究に必要となる標準的な試料として、GaAs 系単接合デバイスを設計した。また、活性層内および接合界面における低密度から高密度までのキャリア状態における非輻射再結合を分離して評価するための、試料構造および評価方法の検討を進めた。標準的試料については、表面および欠陥による非輻射再結合ロスを極力少なくした高品質 GaAs 系材料の結晶成長実績のある海外の協力研究グループと結

晶成長を検討した。また、試料を効率よくチーム内でも自家開発できるよう、既に立ち上げ中の MBE 結晶成長装置の整備を加速し、本研究に活用できるように体制整備を行った。作製された試料の基礎光学評価・顕微分光評価に必要な CW チタンサファイアレーザー・冷却 CCD 分光器装置・ソースメジャーユニットなどを用いた電気光学的基礎評価システムを整備した。蛍光寿命評価のためのモード同期チタンサファイアレーザーシステムをポンプする 10W レーザーを導入し、非輻射再結合の具体的な解析法開発を開始した。

次年度には本研究課題実施に必要な主要設備がほぼ導入される予定であり、目標達成に向けた本格的な研究が推進できるものと期待される。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

なし