

「不純物機能活性型半導体の物性制御とデバイス応用」

藤原 康文・阪大

山本 哲也・高知工科大

喜多 隆・神戸大

固体中への不純物添加は、劇的な物性変化を引き起こし、新機能を発現させる点で極めて魅力的な制御手法である。最近では希土類元素など不純物元素が本質的に有する機能を利用した新規な発光デバイスなどが話題になっている。物性を左右する不純物の電子状態はホスト結晶との組み合わせに抛り多様であることから、電子状態を制御、機能を顕在化させる設計的な、希有あるいは特異な性能を有する“不純物機能活性”型半導体デバイスの研究開発が強く望まれている。半導体結晶技術の著しい進歩は不純物を原子レベルで精密に制御し、添加することを可能とした。それだけに“経験”から“設計+経験”への不純物添加技術への発展は、21世紀を支えるデバイスの実現を効果的にかつ強力に促す。本シンポジウムでは各分野の第一人者の講演から、超高機能不純物精密制御に基づく21世紀型デバイス実現の可能性を探索した。

イントロダクトリートークとして、藤原康文氏(大阪大学)により、不純物添加による半導体技術のこれまでの進歩の変遷が紹介された。“浅い不純物”による価電子制御(フェーズ1)から“深い不純物”による抵抗率制御(フェーズ2)への発展を述べ、現在は“機能性不純物”添加による“不純物特有の機能を顕在化させる”フェーズ3にあることを希土類添加半導体や希薄磁性半導体などを例に挙げて示した。このように本シンポジウムでは、不純物機能活性型半導体の定義の明確化および歴史的役割について、参加者との相互理解を得た後、電気伝導特性制御に関して2件、光磁気機能制御に関して5件の講演を頂いた。

山本哲也氏(高知工科大)は、ワイドギャップ半導体のバンドギャップエネルギー領域中に「設計」的に不純物準位を形成させる単独ドーピング、および同時ドーピングのコンセプトを紹介した。個々の元素の分極率に着目し、局在、非局在状態に対し、局所誘電率を設計することで、電気・光・磁気機能が「設計」的に発現が可能であることを論じ、不純物による電子状態は制御が可能であることが示された。

山田明氏(東工大)はCuInGaSe(CIGS)系薄膜太陽電池における光電変換層および周辺ヘテロ界面層での粒界構造・界面構造評価の重要性について解説した。多元系材料の“組成制御”による価電子状態の制御と、結晶粒など薄膜内“構造制御”との両面からの制御がいかにより電気伝導特性向上を実現し、光電変換効率が向上されるかなど薄膜型太陽電池材料における最近のトピックスが紹介された。

藤原康文氏(大阪大)は希土類添加半導体発光デバイスにおける光機能制御に関する成果を報告した。希土類不純物は4f核内遷移により、高耐熱性を伴う高発光効率が実現可能といった際立つ機能を有する。当該不純物が半導体ホスト結晶に精密に制御添加され、機能が活性化されることを、Er原子周辺局所構造がEr₂O₃配置に秩序制御されたEr₂O₃共添加GaAsによる1.5μm帯発光ダイオードやEu添加GaNによ

る赤色発光ダイオードなどの具体例で示した。

Bingang Guo 氏（篠田プラズマ）は希土類添加結晶蛍光体を利用した新しいタイプのパネル型大面積深紫外光源の開発について最新の成果を報告した。深紫外領域では現在水銀ランプが利用され、環境への負荷、低エネルギー消費効率といった課題を解決すべく、深紫外発光ダイオードなど開発が期待されている。UVプラズマパネルは大面積光源を実現するものとして注目され、当日の日本経済新聞でも取り上げられている。

藤井稔氏（神戸大）は独自のシリコンナノ結晶による光増感された近赤外発光について報告した。発光センターには Yb、Pr、Tm、Er などの希土類不純物（内核遷移による鋭い発光スペクトル）や Cr、Ni などの遷移金属（d-d 遷移に伴うブロードな発光）を用いている。

一方、不純物の単一中心に着目すると、ドットとしての不連続電子状態を利用した単一光子放出や単一スピン制御の可能性や発展が期待できる。

水落憲和氏（筑波大）はダイヤモンド中の窒素-空孔複合（NV）中心のスピンに注目し、室温における量子もつれやスピンコヒーレンスに関する新機能の発現について紹介した。 ^{13}C 核スピンによる多量子ビット化、室温における 2 及び 3 量子ビットでの量子もつれ生成、スピンコヒーレンス時間の機構解明とそれによるスピンコヒーレンス時間の長時間化など NV 中心の機能発展に関する成果が示された。

原田幸弘氏（神戸大）は GaAs 結晶中に添加した窒素ペア発光に由来する励起子状態の制御と光子源への応用について他のグループの単一光子放出実証実験などの研究動向も踏まえながら詳細に紹介した。これら単一不純物中心を利用した機能デバイスは個々の中心を光検出する技術、その一つのスピンを制御する技術の確立によるデバイスの実現が期待できるレベルまで来ていることを明示した。

以上のように本シンポジウムは“不純物機能活性”型半導体のこれからの発展方向を明らかにすべく開催し、100 名を超える多くの聴講者を頂いて、相互に熱心な議論を交わすことができた。会場には若い世代の研究者が多くみられ、この機能性不純物活性が切り開く新しい世界への可能性が次世代へと羽ばたく期待や夢が会場に髣髴とされた。