

「窒素添加半導体技術のマイルストーンと新展開」

大阪大学 近藤 正彦

NIMS 佐久間芳樹

埼玉大学 矢口 裕之

神戸大学 喜多 隆

本シンポジウムのテーマである窒素添加 III-V 族半導体は 1992 年に日本で創製された物質で、以来世界中で活発にデバイス応用研究が進められている。この材料系の発表件数は講演会の「結晶工学・III-V 族エピタキシャル結晶」セッションで大きなグループを構成しており、成長技術の進歩に合わせてデバイス性能が向上し、物性が明らかになってきている。このような時期に、これまでの経緯をきちんと整理して、新しい方向性を確認する作業はきわめて有用なことである。

良く知られているように、窒素添加 III-V 族半導体はわずかな窒素によって劇的に電子状態が変化することから注目を集めている。この材料系は創製されて以来、エピタキシャル結晶成長技術からデバイス応用まで幅広く研究が進んでおり、今日では VCSEL デバイスが商品化されるに至っている。本シンポジウムではこれまでの歩みと技術的なマイルストーンをしっかりと確認したうえで、この材料系が進む方向を明らかにすることを目指した。

シンポジウムは窒素添加 III-V 族半導体を利用したデバイスの現状と展開から始まり、添加した窒素によって生み出される新しい物性の発現、さらには軽元素である窒素の特性を積極的に利用した新しい試みまで広い視野で窒素添加 III-V 族半導体の全体を眺めた。

講演はまずこの研究分野のパイオニアである大阪大学・近藤氏によるイントロダクトリー・トークを兼ねた「GaInAs 半導体レーザの現状と新展開」で幕を開けた。近藤氏の講演では通信半導体レーザとして開発されてきた経緯とこの材料系に期待されている高いポテンシャルを再確認するとともに、長波長面発光レーザに期待する新しい展開について示した。続いて住友電工・大西氏は温度特性のすぐれた GaAs 基板上 GaInAs-DFB レーザと VCSEL の開発現状を報告し、富士通・田中氏は小型で高速な利得応答が期待されている半導体光増幅器について既存デバイスを上回る現状を紹介した。またシリコンデバイス群との融合を図る試みとして Si 基板上の GaPN 系半導体の基礎デバイス特性の紹介を豊橋技科大・若原氏が引き、デバイス関係の最後として、窒素の小さな原子径を利用した歪緩和量子ドットの超高性能太陽電池応用に関するトピックを東大・大島氏が提供した。

窒素添加 III-V 族半導体は先にも書いたようにわずかな窒素添加によって劇的に電子状態が変化するのが特徴である。これによって光学的・電気的な特性が顕著に変化する。これは窒素原子の大きな電気陰性度と最外殻電子エネルギーと無縁ではない。窒素原子は電子局在準位として作用し、窒素濃度とともに材料物性を大きく変貌させる。特にその影響はバンドギャップの変化において顕著であり、非常に大きなボーイング特性を生み出すことがよく知られている。しかしそのメカニズムは必ずしも明らかでなく、本シンポジウムでは諸説を整理することから始めて、物性の理解を深めた。講演では東大・尾鍋氏から InAs 量子ナノ構造におけるバンドギャップボーイングについて、ラマン散乱によるナノスコピックな観点からの考え方の紹介があった。また 埼玉大・矢口氏は GaInAs におけるバンドギャップナローイングの起源についてバンド反交差モデルと等電子トラップ由来の

モデルを比較しながら説明し、実験結果の説明を試み、これまでのシンプルな考え方であるバンド反交差モデルが必ずしもすべてを説明するユニバーサルなモデルでない可能性を明らかに示した。

本シンポジウムの最後のパートでは窒素原子が創る等電子トラップを究極の量子ドットとして利用する最近の新しい研究展開にフォーカスした。これまで不純物は価電子制御などマクロな物性の制御に利用されてきたが、不純物の量子的な性質を顕在化させて応用しようとした例はほとんど無い。しかし最近では不純物を単一光子光源、スピン制御、あるいは量子ゲート操作などに応用しようとする研究が注目されている。講演では神戸大・喜多氏が提案した窒素デルタドープ GaAs の窒素ペア発光について詳細な発光特性が示され、マルチエキシトン効果や磁場による励起子微細構造制御について報告した。また、NIMS・佐久間氏は同じデルタドープ構造の GaP 窒素ペアを利用して光子相関実験を行い、世界で初めてアンチバンチングの観測に成功した例を報告した。

以上のように本シンポジウムは窒素添加 III-V 族半導体のこれからの方向を明らかにすべく開催し、シンポジウム終了まで参加いただいた多くの聴講者から意見をいただき、相互に熱心な議論を交わすことができた。特に会場には若い世代の研究者が多くみられ、この材料系が次世代に羽ばたく可能性を確信した。