

革新デバイスを支える III-V 族半導体の成長技術

世話人：荒井昌和（宮崎大学），石川史太郎（愛媛大学），影山健生（QD レーザ）

III-V 族半導体は半導体レーザや受光素子などの光デバイスの発展、実用化に大きな役割を担ってきただけでなく、太陽電池、微細構造トランジスタなどのデバイスの革新を支えて今も進化している。それらは III-V 族半導体の成長技術、特に自己組織化成長や埋め込み成長、原子層レベルでの制御などによるものであるが、近年はその応用先毎に別れて進展が進んでいるように思われる。そこで今回のシンポジウムは III-V 族半導体をベースとする最前線の研究を一堂に集めて異なる分野の進展から今の研究開発のヒントになり、この分野の活性化につなげるべく企画を行った。以下の 9 件の招待講演を頂き、多くの聴衆と議論を深めることができた。ご講演頂いた先生方と聴講、議論にご参加頂いた皆様に深く感謝申し上げますとともに、この分野の一層の発展を祈念する。

【量子ドットフォトニクス展望】東京大学 荒川泰彦教授

量子ドットレーザ提唱者である著者から量子ドットレーザの歴史、QD レーザ社の設立、Si-Photonics への展開、結晶成長の重要性を解説された。貫通転位や戻り光への耐性などの量子ドットならではの長が産業界にもたらすインパクトを解説された。

【自己形成量子ドットの進展】電気通信大学 山口浩一教授

狭線幅量子ドット形成や超高密度量子ドットなどを精力的に研究している著者から自己形成量子ドット成長技術のレビューと、最近の Sb を使った高密度化について講演頂いた。サイズ揺らぎを抑えることでできなければ状態密度が先鋭化せず、ドットの効果を引き出せないことを示された。

【半導体量子ドットにおけるスピンドイナミクスと光デバイスへの応用】北海道大学 村山明宏教授

半導体量子ドットにおけるスピンドイナミクスと光デバイスへの応用について講演頂いた。量子ドットでは電子の閉じ込めによりスピンの比較的安全に保たれ、円偏光発光材料としての応用が期待される。ここで量子ドット中のスピンドイナミクスについて詳細に検討し、室温安定化へ向けた展望について講演頂いた。半導体バリア層のスピンの高速で緩和してしまう問題に対して、量子井戸とドットを結合した構造でトンネル現象を用いることで高速スピントンネルが可能であることを発見された。

【2次元成長、3次元成長を分ける成長メカニズム】三重大学 伊藤智徳教授

InAs/GaAs 系を対象に、表面・界面におけるひずみ緩和と成長モードとの関連を、巨視的・微視的理論手法を用いて議論頂いた。2次元成長と3次元成長の境界は自由エネルギー標識から与えられる式で得られるが、これを用いることで(001)面において3次元成長、(111)面で転位、(110)面では双方が混在する結果となる実験事象を定性的に説明できるこ

とが報告された。また、歪緩和層の挿入は3次元成長の発生・抑制に効果的であること、表面再構成も含めて考えると(110)面は特に3次元成長・転移発生が発生しづらい面であることなどが報告された。

【MOVPE 選択成長法によるナノワイヤ成長とデバイス応用】北海道大学 富岡克広准教授

MOVPE 選択成長による化合物半導体ナノワイヤの成長と、そのデバイス応用について講演頂いた。GaAs および Si アモルファス薄膜などにより形成した開口部にエピタキシャル成長を行うことで、ナノワイヤが形成される。これらは太陽電池、LED やレーザに展開され、特に縦型トランジスタは MOSFET の理論限界を凌駕したのサブスレッショルド係数を示す成果が得られている。これらの現状と展望について包括的に報告された。

【高指数面上の副格子交換エピタキシーと面発光テラヘルツ素子】徳島大学 北田賢弘教授

2 波長同時発振する VCSEL を用いたテラヘルツ素子実現に向けた研究の報告。副格子交換エピタキシーを活用した結晶成長を行っている。GaAs(311)B 基板でエピ構造中に Ge を数 ML 挟むと、B 面が A 面に変化する。これによりウエハ接合を用いない A/B 面変換が同一エピで可能となる。このエピを導入した面発光テラヘルツ素子は 2 波長同時発振が実現し、和周波としてテラヘルツ帯を確認した。

【GaAs を用いた高感度テラヘルツバイオチップ開発に向けて】大阪大学 斗内政吉教授

低温成長 GaAs の光伝導素子を用いたバイオチップ開発についての講演である。フェムト秒レーザで励起し、光伝導素子上に直接バイオサンプルを置いて観察するため、テラヘルツの回折限界を下回る励起レーザの回折限界のサイズで測定が可能になり、テラヘルツの欠点を克服できるというコンセプトであった。GaAs 表面を利用するので、バイオセル（溝加工などを施したもの）に僅かなサンプルを注入するだけでも観測可能であり、血糖値モニタ応用など幅広い応用の可能性を示した。

【シリコン基板上 InP テンプレート上のエピタキシャル成長とレーザ作成への展開】日本電信電話 松尾慎治氏

シリコンフォトリソの光源を目指して、III-V 族の活性層を Si 基板に貼り付け、メサを形成後に埋め込み成長を行いレーザ構造を実現した。Si と InP の熱膨張係数差を回避するため、横から電流を注入する薄膜レーザ構造とし、世界最低しきい値 $4.8\mu\text{A}$ を実現した。50G までの直接変調を実現するなどの成果を示した。

【超格子の結晶成長技術と太陽電池応用】東京大学 杉山正和教授

集光型 III-V 族太陽電池は高い効率が得られるため、砂漠などに設置し水の電気分解によって水素を生成、運搬して水素をエネルギー源として利用しようというコンセプトを紹介した。実際に多接合型化合物太陽電池と組み合わせ、26%の水素変換効率を実現している。1eV 帯を効率よく変換するための材料として歪補償量子井戸を用い、この成長に in-situ 歪モニタを活用した実例を示された。