

Society 5.0 時代の大容量情報通信を支える 光・電波融合デバイス・システム基盤技術

国立研究開発法人情報通信研究機構 フォトニック ICT 研究センター
／先端 ICT デバイスラボ (兼)
山本直克

1. はじめに

明るい未来を想像することは楽しく、多くの人はそのような社会構築を第一に考える。一方で人間は老いるし病気にもなるので暗く耐えがたい社会課題を解決することも未来社会構造を考える原動力となる。そのような背景の中、Society 5.0 をキーワードとするサイバーフィジカル社会の実現が一つの未来像として認知されるようになってきており、多くの魅力的なアプリケーション・サービスの展開が見込まれている。Society 5.0 を支える超高度な社会システムを形作るためには、物理空間で発生する大量の情報と、サイバー空間等で演算された情報を高速に相互作用させる必要があり、結果として大容量で高速かつ低遅延な情報通信インフラの構築が必須となる。将来、アバターロボットやパーソナルモビリティなどの「わずかに動くモノ」が多数実装されると考えられることから光ファイバを用いた大容量有線ネットワークと、モバイルに対応した無線通信ネットワークの融合が必須となり、結果として「光・電波融合」をキーワードとするデバイス・システム技術が重要となる。本稿では、Society 5.0 の大容量情報通信を支えるための光・電波融合デバイス・システム基盤技術について、また、伝送ネットワークを中心とした未来社会イメージについて俯瞰する。

2. 光・電波融合デバイス技術

2-1 新材料による光増幅デバイス

光信号増幅は、高速で安定した光情報通信や光信号処理の分野で要となる技術であり、またレーザー光源や光アンプの高度化のために光増幅材料の探求は重要な技術テーマである。将来、光集積回路をより汎用的な技術とするためには、集積化技術と並行して高効率、広帯域かつコンパクトな光増幅デバイスの技術開発が必要となる。ヒ素やリン系の III-V 族化合物半導体は、光増幅デバイスを構成するための中心的な材料であり、さまざまな研究開発により材料特性の向上が示されている。特にナノサイズで量子効果を取り入れた材料開発として、量子井戸や量子ドット構造 (Quantum Dot: QD) などが提案され光ゲインデバイスや半導体レーザーなどの高度化に寄与している^{1,2)}。本稿では特に半導体 QD について注目する。半導体 QD は、数 10nm 程度の微小な半導体ナノ微結晶の構造体であるが、半導体エピタキシャル成長により構成される。QD 断面構造を図 1(a)に示すが、半導体基板表面に液滴のような結晶粒が形成される。これは半導体結晶の SK 成長モードに由来する自己組織的な構造形成であり、その構造は基板の表面状態 (面方位や表面原子種など) や結晶成長温度、結晶成長速度など多岐に渡る成長条件に依存する。エピタキシャル成長による QD 構造は、横方向数 10nm で高さ方向数 nm の平板構造であり、面密度 10^{10} 個/cm² 程度が一般的な特徴である。この QD 内では発光に寄与する電子・ホール等のエネルギーポテンシャルが小さい状態であるために、それらキャリアがドット内に束縛される「量子閉じ込め効果」が発現する。III-V 族化合物半導体の場合、QD の主材料は InAs 結晶であり、GaAs や InP 基板上に作製される。図 1(b)の挿入図のように、GaAs 基板上に作製された InGaAs 埋め込み InAs QD 構造 (InAs/InGaAs QD) を示すが、一部巨大な凝集構造が観測される