

量子ナノ構造と光エレクトロニクス

榊 裕 之

(東京大学先端科学技術センター)

レーザーなど光学素子の実現の上で半導体の重要性は今さら強調するまでもない。pn 電極により励起準位に電子を効率よく注入できること、材料の選択により広汎な範囲で発振波長を選べること、共振器や導波路などを一体形成できるなどの点は、他には得難い魅力である。こうした利点なくしては、光通信などの光エレクトロニクスの今日の発展は望むべくもなかったであろう。

さて近年の半導体技術の進展で厚さ 10 nm 級の超薄膜（量子井戸）構造が登場し、半導体の魅力はさらにいちだんと増している。超薄膜内の量子的閉込めにより、(イ)状態密度が変わるため、電子正孔のエネルギー広がりや抑制したり、吸収や利得スペクトルを制御することが可能となるとともに、(ロ)超薄膜の中で電子と正孔の相互作用が増すため、励起子効果を強めることも可能となった。これら物性上の制御により、レーザー特性の大幅な改善や、新しい光双安定素子などがまずもたらされた。さらに(ハ)超薄膜内部に複数の量子準位を形成することで、それらの準位（サブバンド）間の光学遷移が可能となり、この遷移を利用した新しい赤外検出器やレーザーなど新素子も続々と生まれつつある。

こうした量子閉込めを極限まで制御し、素子応用の新領域を切り開く手段として、断面の寸法が 10 nm ほどの半導体細線や箱構造には大きな魅力がある。1975 年筆者は、この種の半導体ナノ構造の概念を提示し、その素子応用の利点を論じた。当時の加工技術のレベルからすると、無謀な提言であることは認識していたが、そのころ実現したばかりの量子井戸構造において端面に現れる 10 nm 幅の縞模様などを利用すれば、いずれ 10 nm 幅の細線は実現されると希望的に考えたのである。

その後、半導体プロセス技術の着実な進展で、80 年代半ばには 100 nm 級の量子細線や量子箱が実現し、極低温でメソスコピック領域の物理が明らかにされた。続いて 10 nm 級の細線と箱の作製が試みられたが、加工の精度の不足、加工面の損傷や汚染などのため良好な特性は得られず、実現は再度疑問視されることとなった。

しかし粘り強い努力と斬新な工夫が内外で継続されたため、良質の 10 nm 級細線や箱が最近実現され始めており、それらに関する実験的研究も次々と出てきている。今後、理論予測の検証に加え、予想外の現象の発見など新たな展開が期待される。この量子ナノ構造の最先端を切り開くことにより、光エレクトロニクスにさらに新しい発展のもたらされることを期待している。