



東京大学
ナノ量子情報エレクトロニクス
研究機構長
教授 荒川泰彦

「ナノ」, 「光」, 「量子」の融合がもたらすデバイスのイノベーション

1970年は、光デバイスの分野にとって歴史的なポイントであった。この年は、米国ベル研究所の林・Panishやソ連のヨッフエ研究所のAlferovらが、半導体レーザの室温連続発振をダブルヘテロ接合構造の導入により達成に成功した年である。また、同じ年に米国コーニング社により20 dB/kmという当時として革新的な低損失光ファイバが実現された。この二つの出来事が光ファイバ通信時代の本格的な幕開けの起点となったことは周知のとおりである。

一方、同じく40年前の1969年、IBMワトソン研究所の江崎らが半導体超格子を提案し、波動関数エンジニアリングという概念を生み出した。この概念は電子デバイスおよび光デバイスの両方の発展に多くの革新をもたらした。光デバイスにおいては、量子井戸レーザがその代表例である。量子井戸レーザは、1990年代には光通信用レーザとして実用化され、青色窒化ガリウム発光ダイオードやレーザの開発成功においても重要な役割を果たした。

40年を経た今、これからの光デバイスの発展はどこにあるであろうか。その一つが、ナノフォトニクスである。ナノフォトニクスは、ナノエレクトロニクスと対応する概念として、「ナノ構造をベースにしたフォトニクス」を総称したものである。量子ドット、フォトニック結晶、プラズモニクス、近接場光学、シリコンフォトニクスなどは、ナノフォトニクスの中心的概念である。この分野では、ナノ技術、光科学技術、量子科学の融合が必然的となる。ナノフォトニクスにおいてもっとも重要な役割を果たすのが量子ドットである。

江崎による超格子の提案から10年余り経た1982年、私達は量子ドットのことを提案した。量子ドットの発想は、半導体レーザのしきい値電流の温度依存性のメカニズムを議論する中で生まれた。2004年の東大と富士通による温度・電流無調整量子ドットレーザの高速動作実験の成功は、ベンチャー企業で

あるQDレーザ社の設立に結実した。間もなく量子ドットレーザは1.3ミクロン帯レーザとして市場に現れる予定である。

量子ドットは、通信用レーザのみならず、今後は、フォトニックネットワークにおける光増幅器やスイッチ、青色、緑色光源などにおいて、革新をもたらすフォトニクス素子として発展する。また、単一光子発生素子や量子もつれ素子などによる量子暗号通信素子、さらには、量子ビットや量子ゲートによる量子計算回路素子などへの展開についても役に立つ。また、ナノフォトニクスは、光とLSIの融合によるエレクトロニクスの革新化においても重要な役割をはたす。特に、シリコンにいかにか光源を導入するかが課題となるが、ここでも量子ドットがキーである。

フォトニック結晶もナノフォトニクスにおける重要なナノ構造である。1次元フォトニック結晶は、分布ブラッグ反射構造や分布帰還構造として50年以上前からよく知られていたが、1987年のYablonovitchの3次元フォトニック結晶の提案が、フォトニクスの研究者に屈折率周期構造の魅力をあらためて提示した。残念ながら当初期待されたほどには実用化されていないが、ナノ、量子との組み合わせにおいて重要な舞台を提供する。

これまで、情報技術は利便性の追求に終始してき

た。いわば人間の欲求を満たすための技術、経済成長のための技術であった。他方、40年前のローマクラブへの報告のLimits to growth (「成長の限界」)において既に警鐘されたように、地球持続可能性の問題を抱えている。情報技術による持続可能性の追求において、超ブロードバンドネットワークの情報技術の発展は、人やモノの移動の必要性を下げるため、輸送等他の二酸化炭素排出量を抑えることを可能にする。また、低消費電力デバイスの実現により、直接的に省エネ化に貢献する。この際、光とLSIの融合がコンピュータの革新をもたらすものと期待される。

一方、エネルギー消費のみならずエネルギー生成も重要である。量子ドットなどナノ構造を有する太陽電池が期待されているが、これも光デバイスの範疇であり、今後の発展が大きく期待される大きな分野である。ただ、人並みのアイデアではトップを走ることはできない。新しい発想がこの分野においても必要とされる。

今後は「ナノ」、「光」、「量子」の融合が新しいディシプリンを創成する。革新的光デバイスが、グローバル規模での経済発展と地球持続可能性に貢献することを大いに期待したい。なお、このためには、若い研究者・技術者が新しい発想を生み、またそれを実現できる場を確保する必要がある。