

新材料とナノ技術の融合による革新的 ICT ハードウェアの研究

大友 明 王 鎮

グローバルに張り巡らされた情報通信ネットワークは、人々の暮らしにとって不可欠な社会基盤の1つとなっている。そして、フォトニックネットワーク技術に代表される情報通信技術 (ICT) の継続的な高速化と大容量化により、いつでもどこでも高度な情報へ瞬時にアクセスすることが可能となった。いまや、ブロードバンドネットワークを介して時間と距離の制約を感じることなく、e コマースやテレビ会議、ビデオ配信サービスなどが日常的に行われるようになってきている。一方、スマートフォンやタブレット PC などの高度な情報端末の普及と、ソーシャルネットワークやクラウドコンピューティングなどの情報通信サービスの多様化によって情報通信量の増加に拍車がかかり、さらなる高速化と大容量化が要求されている。このような情報通信の高速化・大容量化は、ネットワーク機器による電力消費の増大を同時に招く。情報通信で消費される電力量は、既に無視できないレベルに達しており、実質的な電力供給量限界と環境負荷低減の観点からも、情報通信の低消費電力化は世界的に重要課題となっている。しかしながら、高速化・大容量化と消費電力抑制という相反する課題の解決は、既存技術の延長線上での改良だけではなく、革新的なシステムとその基盤となる ICT ハードウェア技術の革新が不可欠である。

ナノ ICT 研究室では、有機分子材料や超伝導材料などの優れた光・電子機能と、先進のナノ構造制御技術を駆使し、光検出効率や光変調速度、消費電力などの性能を、従来の材料を用いた技術では達成不可能なレベルへ向上させる、革新的な ICT ハードウェア技術の研究開発を行っている。有機材料は、分子内の π 共役電子が光の電磁場と共鳴することから、無機材料に比べて高速で高効率な光応答を示す。また、超伝導材料は、完全導電性や磁束の量子化など他の材料にはないユニークな物性を有している。しかし、光は物質との相互作用が基本的に小さいため、その材料性能を高めるだけでは素材が持つポテンシャルを十分に引き出すことは難しい。一方、最新のナノ加工技術によって、光の電磁場や分子間相互作用を精密に制御することが可能となってきている。すなわち、精緻なナノ構造を

作製し、光を微小空間に閉じ込める、あるいは相互作用領域を限定するなどして、有機材料や超伝導材料と光との相互作用を高効率化させることにより、光デバイスの革新的な性能を実現することが我々の研究目的である。NICT では、有機材料及び超伝導材料とナノ技術を融合した研究を、基礎・材料研究の段階から 20 年以上の長期に亘って行っており、一部のテーマは既に応用のステージに上り実を結んできている。例えば、超伝導デバイスの研究では、窒化ニオブ (NbN) の薄膜形成技術やナノワイヤ作製技術を確立し、電磁波や光応答特性に優れた超伝導デバイス技術を創出してきた。その技術基盤に基づいて作製される超伝導単一光子検出器 (SSPD) は、従来用いられてきた半導体アバランシェフォトダイオードに比べて遥かに高い性能が実現され、既に量子暗号通信システムのキーデバイスの1つとして不可欠な存在となっている。最新の研究では、光子検出効率と高周波特性の向上による SSPD のさらなる高性能化が進められており、微弱光検出を必要とする様々なアプリケーションへの展開が期待されている。有機デバイスにおいても、有機電気光学 (EO) ポリマーを用いた 100GHz を超える超高速光変調技術の実現が視野に入ってきている。既に、電気光学特性において従来の無機材料 (LiNbO_3) を凌駕する性能の有機 EO ポリマーの開発に成功しており、高速光変調器試作の段階に進んでいる。さらに、ナノ加工により作製したシリコンフォトニック結晶と有機 EO ポリマー材料を融合することで、光変調器そのものを 1/1000 に小型化する研究にも取り組んでおり、既に変調動作を確認している。

本特集号では、ナノ ICT 研究室の最新の成果を、有機ナノデバイス、超伝導デバイス、ナノ・バイオ融合研究の3つの章に分けて報告する。有機ナノデバイスの研究については、まず、有機 EO デバイスについて材料の開発から評価技術、低電力駆動の超高速光変調器試作に向けた研究について述べる。さらに、無機ナノ構造との組合せにより有機分子の持つ高い機能をさらに高効率化し、デバイスを小型化する技術について報告する。超伝導デバイスについては、量子情報通信のキーデバイスとして既に応用されている SSPD の高

1 新材料とナノ技術の融合による革新的 ICT ハードウェアの研究

性能化技術について述べる。そして、超伝導単一磁束量子を用いた超伝導・光インターフェース技術と光ナノアンテナを用いた新しい光検出デバイス技術についても報告する。ナノ・バイオ融合研究は、最近プロジェクト化した比較的新しい分野の研究であるが、既に新しい機能を持ったデバイスができつつある。有機分子の光・電子機能をつかさどる π 共役電子は分子サイズで広がっているために分子間相互作用しやすいという特徴を有する。このため、分子構造だけではなく分子間の高次構造を制御することで分子集合体としての高効率化や新たな機能発現も可能である。しかし、ナノメートル以下で分子間距離を人工的に制御することは容易ではない。生体分子は、タンパクが鋳型になり機能分子間の相互作用を巧みに制御しており、有機合成した機能分子単体ではなく、あらかじめ高次構造まで構築された機能性タンパクを利用することは、効果的な手法の1つである。本特集号のナノ・バイオ融合研究については、生物の視細胞と同様の光応答を示すバクテリオロドプシンを用いた光センサーの研究に関して報告する。

萌芽的な基礎研究の段階から実用可能な応用技術に発展するまでには深く超え難い死の谷が存在する。この難関を乗り越えて実用化にまで繋げ、情報通信技術を究極な姿へと導くことは、NICTの重要なミッションの1つである。ナノ ICT 研究室では基礎・材料技術から応用・デバイス技術まで自ら一貫して研究を進めるとともに、委託研究などにより産業との連携を強化し市場投入も見据えた研究体制を構築している。ここに報告した革新的 ICT ハードウェア技術は、こうした体制を構築しつつ永年に亘り地道に研究を行ってきた成果であり、近い将来には情報通信システムを技術革新へと導き、さらに発展していくものと確信する。



大友 明 (おおとも あきら)
未来 ICT 研究所ナノ ICT 研究室室長
Ph.D.
ナノフォトンクス、非線形光学



王 鎮 (おう ちん)
未来 ICT 研究所主管研究員
工学博士
超伝導エレクトロニクス、ナノエレクトロニクス

7月1日から、未来 ICT 研究所招へい専門員 /
中国科学院上海微系統与信息技術研究所教授