3.6.3　未来 ICT 研究所　ナノ ICT 研究室

室長　　大友　明　ほか 24 名

高機能新規材料とナノ構造を用いた革新的 ICT デバイス技術の研究開発

【概　要】

近年の情報通信サービスの多様化と普及によって通信量が急激に増加していることから、情報通信ネットワークの更なる高速化と大容量化が要求されている。しかし、既存技術の延長線上での高速化・大容量化は電力消費の増大を招くことから、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となっている。ナノ ICT 研究室では、環境負荷を抑制しつつ情報通信の高速高効率化を可能とするために、高い光・電子機能性を有する有機分子材料や超伝導材料などの新規材料を用いて、ナノ構造構築技術を応用することでその光・電子機能を効果的に発現させる研究開発を行い、従来技術では達成困難な超高速光変調技術や高効率単一光子検出技術などの確立を目指す。また、光･電子制御機能を更に高める新材料の開発やナノスケールの光･電子機能複合化技術、高次ナノ構造作製･応用技術の研究開発により、通信の要素技術である、光検出、光変調／スイッチング、電磁界センシング等に革新をもたらす基礎技術の研究開発を総合的に推進する。

(1)　有機ナノ ICT 基盤技術の研究開発

有機化合物の高効率な電気光学機能を利用し、既存材料を用いた技術では達成し得ない 100 GHz 以上の高速光変調の実現を目指した研究開発を行う。また、有機化合物の多様な光・電子機能の高効率化と、ナノ構造や分子配列による電磁場制御機能の高精度化を図ることで、ナノ構造デバイスにおける光制御機能の高効率化効果を実証し、超小型光制御デバイス、高機能センサなどの革新的 ICT 基盤技術を確立する。平成 27 年度は、光変調器を試作しチップレベルでの 100 GHz 超の高速光変調の確認を行うとともに、原子層堆積技術を用いて有機電気光学ポリマーを極薄の酸化膜で被覆する方法を開発し耐光性の評価を行った。また、微分応答を有する光機能性生体分子膜バクテリオロドプシン (bR) 光センサセルについて、素子構造の改良による更なる高効率化と 2 次元アレイ化などを行い、高機能素子の動作実証を行った。

(2)　超伝導 ICT 基盤技術の研究開発

巨視的量子現象である超伝導を利用した高効率な単一光子検出システムや光・超伝導インターフェイスを開発し、半導体技術では達成できない高速・高感度光検出技術と低消費エネルギー情報通信システムの基盤技術を確立する。平成 27 年度は、4 ピクセル超伝導光子検出器 (SSPD) アレイについて、後段の超伝導単一磁束量子 (SFQ) 論理回路による極低温信号処理まで含めて動作実証を行った。また、超伝導ナノワイヤを利用した光・超伝導インターフェイスにおいて、市販の消光比 20 dB 程度の光変調器で生成した光信号を用いて、冷凍機に実装した SFQ 回路への光信号入力テストを実施した。

【平成 27 年度の成果】

(1)　有機ナノ ICT 基盤技術の研究開発

①　有機電気光学 (EO) 変調器作製に向けて、有機 EO ポリマーをコアとする光位相変調器を試作、チップレベルでの高速光変調特性を評価し、既存材料を用いたデバイスでは極めて困難な 100 GHz の位相変調動作を確認した (図 1)。また、モジュール化しネットワークでの性能評価に着手した。さらに、原子層堆積 (ALD) 技術を用いて EO ポリマー膜を極薄の酸化膜で被覆することにより耐光性の向上も実現し、過酷条件下での適用性を実証した。これらの成果をまとめ、SPIE Optics + Photonics 2015 で招待講演を行った。

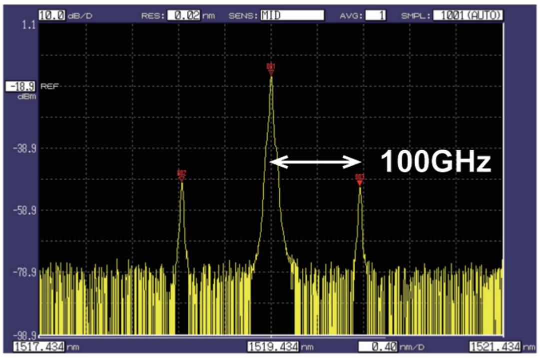

図 1　100 GHz 光位相変調動作の確認
(※光通信基盤研究室で測定)

②　革新的機能を有する光制御素子技術として、光機能性生体分子膜バクテリオロドプシン

（bR）微分応答光センサセルに、タンデム構造や導波路構造を用いて光吸収面積を増加させることにより、光電変換効率 10 倍の高効率化を実現した（図 2）。また、遺伝子操作により光応答時定数を大きくした変異体と野生体を組み合わせたバイポーラセルの 8 × 8 アレイを作製し、デバイスレベルの 2 次元オプティカルフロー検出機能を実証した。これらの成果を、応用物理学会学術講演会で発表した。

（2）　超伝導 ICT 基盤技術の研究開発

①　超伝導単一光子検出器（SSPD）の高速化を目指して、4 ピクセルインタリーブ型 SSPD を作製し、後段の超伝導単一磁束量子論理回路による極低温信号処理まで含めた動作実証に成功し、シングルピクセルの SSPD に比べて 10 倍以上高速となる 150 MHz の最大計数率を確認した（図 3）。さらに、SSPD の蛍光相関分光顕微鏡への応用を目指して、可視波長帯 SSPD（従来の SSPD は通信波長帯用に開発）を開発した。この SSPD を蛍光相関分光に適用することで、タンパク質凝縮等の微小な分子量変化を検出することが可能であることを実証し、アルツハイマー病等の初期診断に有効であることを示した。これらに関連した成果は、Optics Express 誌に掲載され、報道発表を行った。

②　超伝導ナノワイヤ光検出器を利用した光・超伝導インターフェイスの実現を目指し、ナノワイヤの膜厚・線幅を消光比 20 dB 程度の光信号に対してエラーフリー動作が可能となるよう最適化を行った。超伝導ナノワイヤ光検出器と SFQ 回路を冷凍機に実装し、ビットエラーレートの評価を行い、エラーフリー（エラーレート 10^{-6} 以下）光信号入力を実証した（図 4）。これらの成果について、8th East Asian Symposium on Superconducting Electronics で招待講演を行った。

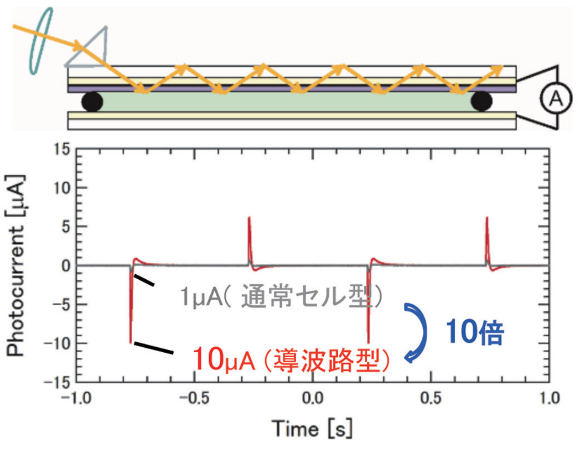

図 2　導波路型 bR セルを用いた高効率化

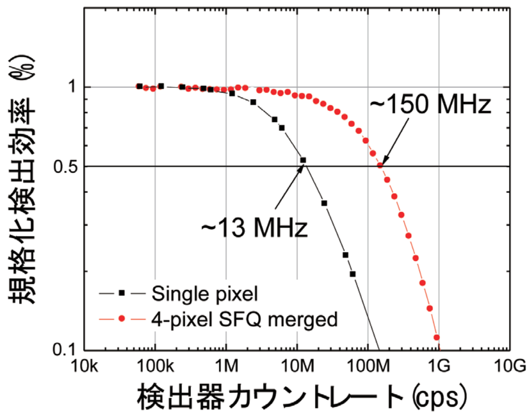

図 3　4 ピクセル SSPD アレイにおける検出効率のカウントレート依存性

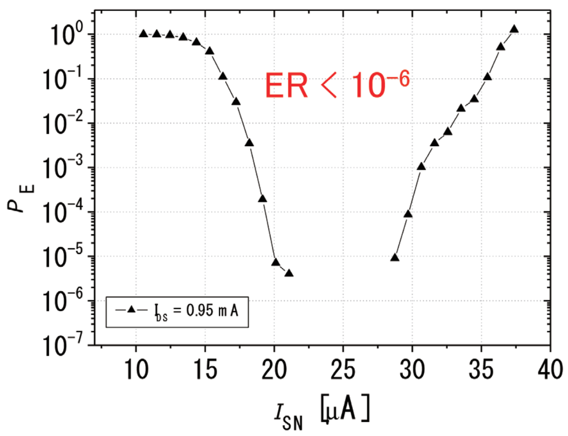

図 4　超伝導ナノワイヤ型光検出器のエラーレート評価結果例