

3.6.3 未来 ICT 研究所 ナノ ICT 研究室

室長 大友 明 ほか 22 名

高機能新規材料とナノ構造を用いた革新的光通信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 26 年度は、光変調器を試作し高速光変調特性を評価するとともに、有機電気光学ポリマーの効率的な耐久性評価方法を開発し耐久性の評価を行った。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、素子の電極構造の改良による更なる高効率化と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ースを開発し、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 26 年度は、超伝導光子検出器の高速化を目指したアレイ化素子について、超伝導光子検出器の応答速度の定量的評価を行うとともに、より広い波長帯域で高検出感度を実現するための最適デバイス構造の設計・シミュレーション及び素子特性評価を行った。また、光・超伝導インターフェースである超伝導ナノワイヤを利用した光検出器について、ビットエラーレートの評価を行うとともに、エラーフリー動作に向けたナノワイヤの膜厚・線幅の最適化を行った。

【平成 26 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、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困難な 67 GHz の位相変調動作を確認した。また、既知の無機結晶の測定により透過偏光解析法により得られる EO 定数の有効性を確認するとともに、熱耐久性評価法として熱刺激脱分極電流測定法を適用することで材料評価を迅速化し、85℃での長期保存において 80%に特性が低下するまでの時間が 2.9 万時間 (3.3 年) と、高温で長期使用可能な高ガラス転移温度 (184℃) の実用材料の開発に成功した (図 1)。これらの成果をまとめ、SPIE Photonics West 2015 で招待講演を行った。

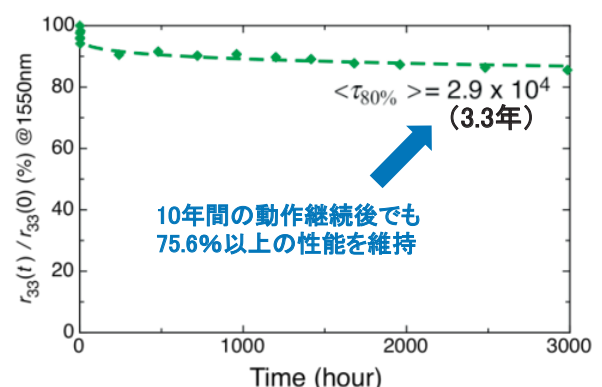


図 1 高耐熱ポリマーの 85℃での EO 定数変化

- 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の電極に、テクスチャー構造 FTO 電極を用いて空間電荷層容量を増加させることにより、光電変換効率 3.5 倍の高効率化に成功した (図 2)。この成果は、Chemical Physics Letters 誌に掲載された。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 8×1 アレイを作製し、オプティカルフローセンサの基本動作を実証した。この成果を、電子情報通信学会で発表した。

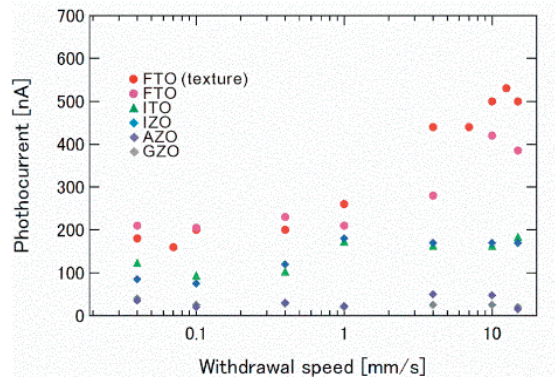


図 2 bR セルの光応答電流の各種透明電極依存性

(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 (図 3)、最大計数率 160 MHz を確認した。これは、従来のシングルピクセル素子に比べて 10 倍以上の高速化を実現したこととなる。さらに、64 ピクセル SSPD アレイ素子の試作を行い、特性評価を行った。全ピクセルにおいて良好な超伝導特性を示し、64 ピクセル中 60 ピクセルにおいて 90 % 以上の内部検出効率の取得に成功した。また、64 ピクセル SSPD アレイを用いて、光ファイバから入射された光の空間強度分布像を取得することに世界で初めて成功した。この成果は、Optics Express 誌に掲載された。さらに、蛍光相関分光顕微鏡に SSPD を適用することに成功し、これまで見ることでできなかった現象 (回転拡散成分の観測) の観測に成功した。これらに関連した成果が、Optics Express 誌に 3 編掲載された。

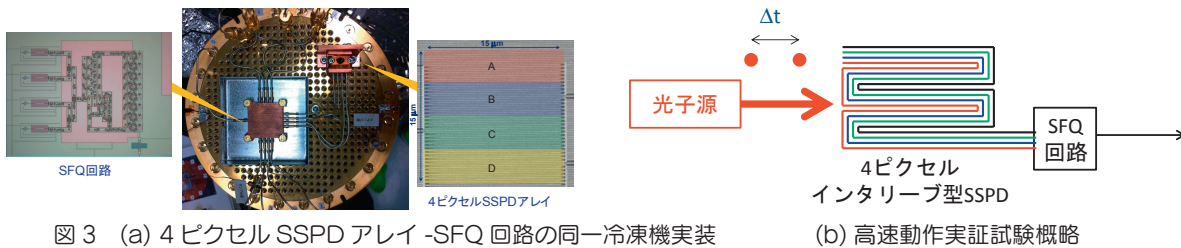
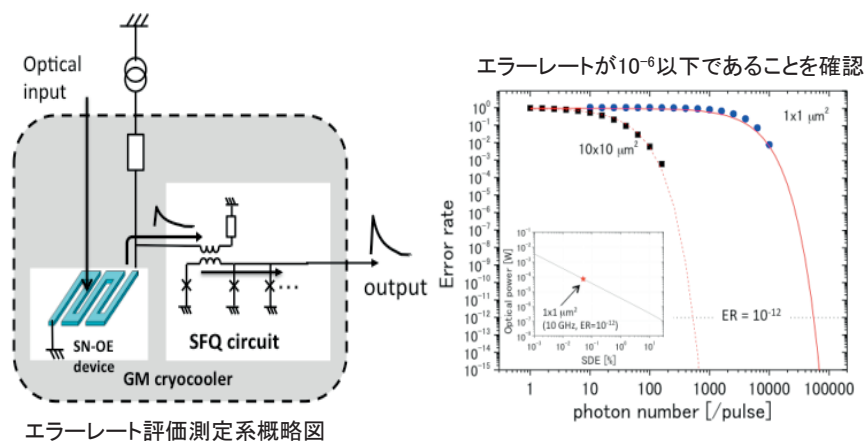


図 3 (a) 4 ピクセル SSPD アレイ -SFQ 回路の同一冷凍機実装

(b) 高速動作実証試験概略

- ② 光/磁束量子インターフェースである超伝導ナノワイヤを利用した光検出器において、ナノワイヤの膜厚・線幅の最適化、ビットエラーレートの評価を行い、エラーレート 10^{-6} 以下の動作を実証した (図 4)。この成果は、電子情報通信学会誌に掲載された。



エラーレート評価測定系概略図

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