

3.6.3 未来 ICT 研究所 ナノ ICT 研究室

室長 大友 明 ほか 20 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さら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・電子制御機能をさら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 100GHz 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 25 年度は、光変調器の基本特性を評価するとともに、有機電気光学ポリマーの熱安定性や光導波路の伝搬損失の改善などを行った。また、スローライト効果などのナノ構造特有の光制御機能を利用した超小型光変調器や、光学応答が異なる 2 種類の有機分子を組み合わせた光学的相対速度場検出器などの高機能電磁界センサを試作し、基本動作を確認した。

(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 25 年度は、超伝導光子検出器の検出効率向上を目指して、ダブルサイドキャビティ構造を検討し、デバイスパラメータ抽出、作製プロセス開発、素子特性評価を実施した。また、アレイ化したデバイスについて、入射光子数と出力パルス数の線形性を評価し、計数率の向上を実証した。より高速かつ省電力な光／磁束量子インターフェースを目指して、超伝導ナノワイヤを利用した光検出器の基礎特性評価を実施した。

【平成 25 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、光変調器の基本特性を評価し、既存デバイスでは困難な 50GHz の高周波信号に対する光応答を確認した。また、架橋性有機 EO ポリマーの熱安定性改善のために、ガラス転移温度 (T_g) が高いモノマーユニットを共重合 (MMA \Rightarrow DCPMA) することで T_g を 40°C 以上向上させることに成功 (図 1) するとともに、高効率変調が可能なオール EO ポリマーのシングルモード光導波路を試作し、変調器動作に十分な伝搬損失 3.9dB/cm を実現した。

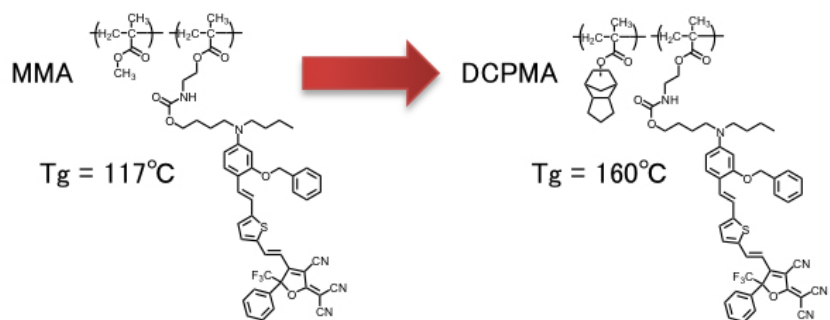


図 1 DCPMA 共重合によるガラス転移温度の向上

- ② 革新的機能を有する光制御素子技術として、有機 EO ポリマーとシリコン 1 次元フォトニック結晶導波路のハイブリッド EO 変調器を考案・試作し(図 2)、スローライト効果により、従来デバイスに比べて素子サイズで 1/100、実効性能で 10 倍以上の光変調器動作を実証した。
- ③ 光機能性生体分子膜バクテリオロドプシン (bR) の野生型と遺伝子操作により光応答時定数を大きくした変異型有機分子とを組み合わせることで光学的相対速度場検出器を試作し、単一のバイポーラセルの基本動作確認(図 3)を行うとともに、その実験データをもとに光学的相対速度場検出のシミュレーションを行い、動作特性を検証した。

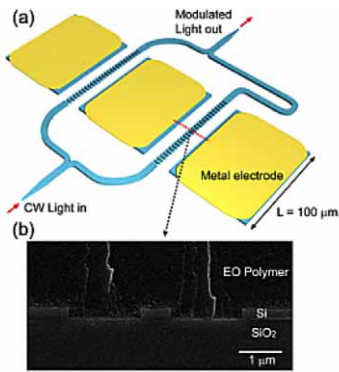


図 2 超小型ハイブリッド EO 変調器

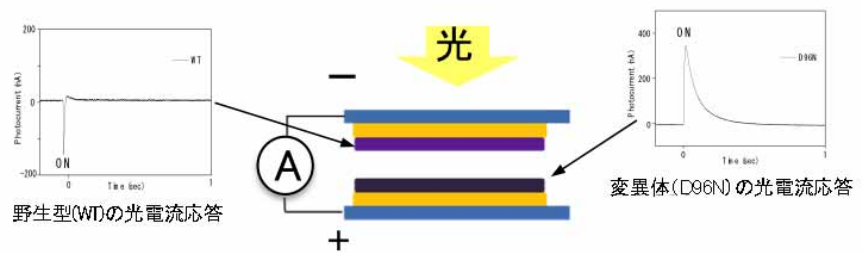


図 3 光応答時定数の異なる bR バイポーラセルの光電流応答

(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) の検出効率向上を目指して、ナノワイヤの両側に光反射層を持つダブルサイドキャビティ(図 4)の作製プロセスを開発して実際に作製し、暗計数率 40cps におけるシステム検出効率として、約 67ps の低ジッタを両立しながら、80% を達成した(図 5)。また、ナノワイヤのフィリングファクタを通常の 50% から 16% に低減しても 75% のシステム検出効率が得られることを確認し、低フィリングファクタ化により最大計数率がこれまでの 25 MHz から 2.8 倍の 70 MHz に向(図 6)するなど、素子特性評価を実施した。単一磁束量子 (SFQ) 回路による信号処理を用いた 4 ピクセル SSPD アレイの検出効率の入射光子数依存性から計数率 100MHz 以上を確認し、シングルピクセルの 25MHz からの向上を実証した。

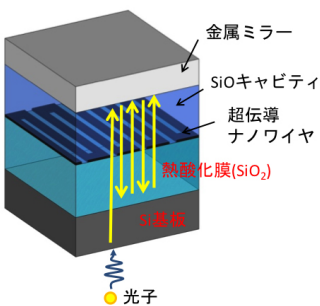


図 4 ダブルサイドキャビティ SSPD

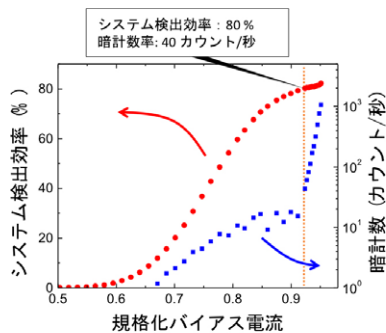


図 5 システム検出効率と暗計数率

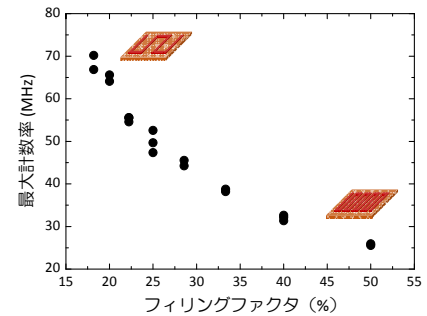


図 6 フィリングファクタと最大計数率

- ② 光/磁束量子インターフェースへの応用を目指して、超伝導ナノワイヤを利用した光検出器の応答時間を評価し、受光面積を従来の $15\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$ から $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ に小型化することにより応答時間を 14ns から 0.3ns へと大幅に短縮できることを確認した(図 7)。また、 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ の受光面積でエラーレートが 10^{-12} 以下となるために必要な 1 パルス当たりの光子数は約 54,000 と見積もられ、10 GHz の動作周波数においても従来の半導体フォトダイオードよりも 1 桁以上低い $70\mu\text{W}$ の光入力パワーで動作することを確認した。

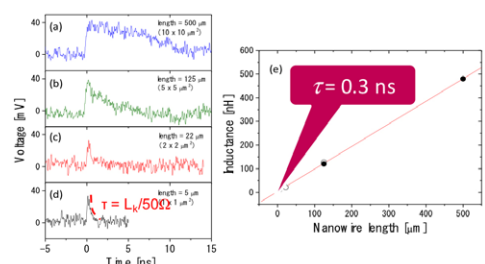


図 7 光/電気変換器における応答速度の受光面積依存性