

### 3.6.3 未来 ICT 研究所 ナノ ICT 研究室

研究室長 大友 明 ほか 19 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 24 年度は、有機電気光学ポリマー組成や光変調器構造加工条件などの最適化の検討を行い、光変調器構造の試作を行った。また、光機能性分子のナノスケールでの配向・配列制御技術やナノ微細加工技術のさらなる高精度化を行い、ナノスケールデバイスの低損失化や光機能化を進めた。

##### (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 24 年度は、超伝導光子検出器の計数率向上を目指して素子のアレイ化を検討し、デバイス作製技術の開発、超伝導臨界電流や検出効率等の特性均一性の評価を行った。また、冷凍機システムに実装した光／磁束量子インターフェースモジュールの高速動作試験を実施した。

#### 【平成 24 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) 変調器作製に向けた基盤技術として、デバイス作製に適した有機電気光学ポリマー組成の最適化の検討を行い、2 種類の電気光学分子の組成比により導波路のコア及びクラッドそれぞれに適した屈折率と抵抗率に調整できることを見出し、光導波路構造でも単層膜と同等の高い電気光学効果を得ることに成功した。また、有機電気光学ポリマーの光導波路加工条件の最適化の検討を行い、溶媒耐性の高い架橋性電気光学ポリマーの特徴を活かした加工プロセスを確立し (図 1)、電気光学ポリマーだけで構成される高効率なチャンネル型光導波路構造の作製に成功した (図 2)。

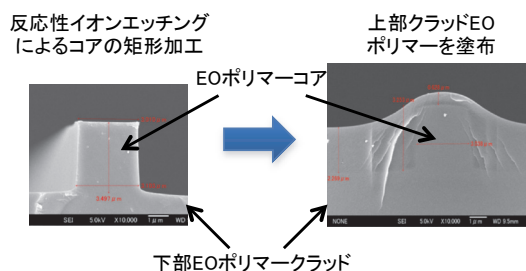


図 1 全 EO ポリマー導波路の加工プロセス

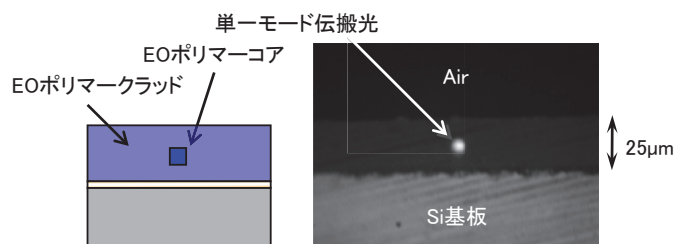


図 2 全 EO ポリマー導波路の断面と単一モード伝搬光

- ② シリコンフォトニック結晶光制御構造の高精度作製技術の開発に取り組み、ナノ微細加工プロセスの最適化により、直角度  $90^\circ \pm 1^\circ$  以下の高精度化を実現した。また、光ファイバーとシリコンナノ構造素子との光結合損失を低減する新規な有機・シリコンハイブリッドインターフェース構造を考案・作製し、1dB 以下の世界最高水準の光結合損失を達成した (図3)。
- ③ ナノ構造デバイスにおける光制御機能の効率化実現のための技術基盤として、光機能性分子のナノスケール配向・配列制御基盤技術の開発に取り組み、光第2高調波の干渉法を用いて光機能性生体膜中の分子が極性配向していることを確認した。光機能性分子の配向・配列制御の基本技術を獲得した上で、配向制御膜のパターンニングにより生体視覚機能を模した双極型光検出器構造 (図4) を作製し、素子レベルのエッジ検出機能の確認に成功した (図5)。

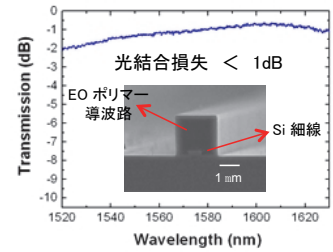


図3 インターフェース構造と光結合損失

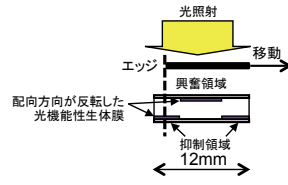


図4 双極型光検出器によるエッジ検出

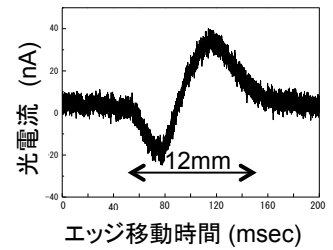


図5 エッジ検出信号

(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) のさらなる応答速度を目指したアレイ化実装技術 (図6) の開発を行い、単一磁束量子 (SFQ) 回路による後段の信号処理を含めて、世界で初めて4ピクセル SSPD アレイのクロストークフリー動作を実証した。また、将来的なパラレルバイアス供給を実現するために重要となる臨界電流均一性を、4ピクセル SSPD アレイにおいて評価し、 $\pm 3\%$  以内であることを確認した (図7)。

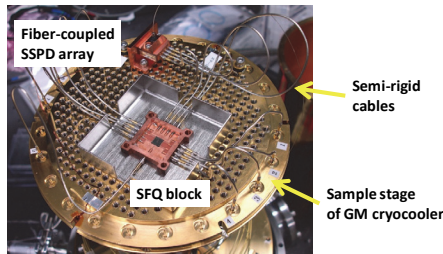


図6 GM 冷凍機に実装した4ピクセル SSPD アレイ



	$I_c$	$R_n$	DE@100Hz DCR
A	37.4 $\mu$ A	936 k $\Omega$	1.79 %
B	39.0 $\mu$ A	912 k $\Omega$	5.07 %
C	39.6 $\mu$ A	886 k $\Omega$	1.20 %
D	38.4 $\mu$ A	873 k $\Omega$	$\sim 0$ %

図7 4ピクセル SSPD アレイの走査電子顕微鏡写真と特性均一性

- ② 光/磁束量子インターフェースモジュールの高速動作評価として、平成23年度に構築した冷凍機システムにおいて、SFQ 変換回路のタイミングジッタ評価を実施した。その結果、測定系のジッタを含めても 30ps 程度のジッタであり (図8)、10GHz を上回る高速動作が可能であることを確認した。
- ③ 10K 冷凍機で冷却可能な NbN を用いた SFQ 集積回路 (図9) 技術の開発を行い、OR ゲート、TFF ゲート等の基本ゲートを含む小規模 SFQ 回路の完全動作の実証に成功した。

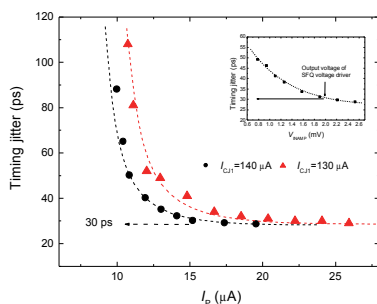


図8 SFQ 変換回路のタイミングジッタ

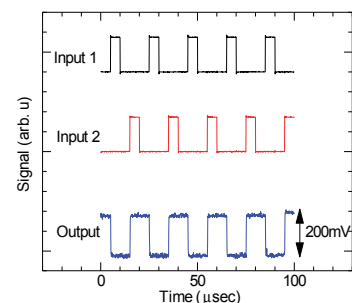
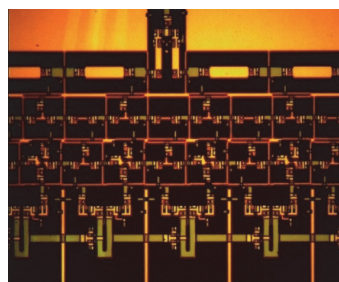


図9 全 NbN SFQ 回路の顕微鏡写真と動作波形