

### 3.3.2 未来 ICT 研究センター ナノ ICT グループ

グループリーダー 王 鎮 ほか 17 名

#### 極限機能創出に向けたナノ ICT に関する研究開発

##### 【概要】

新たな原理・概念に基づく未来の情報通信技術の創出を目指し、原子・分子・超伝導などの新たな材料を用いて、量子特性の高度な制御技術や低エネルギー化に導く光子レベルの情報制御技術、原子・分子レベルの構造制御・利用技術の基盤技術の研究開発を行う。

##### (1) 分子ナノ材料を用いた分子光素子、光・電子融合デバイスの研究

分子ナノ材料を用いた分子光源技術やナノ技術による光ナノインターフェース技術を確立し、単一光子発生システムや分子ロジック・スイッチ素子の研究開発を行う。

##### (2) 超伝導を用いた光・電磁波デバイス、光インターフェース技術の研究

高品質超伝導材料と高精度デバイス技術を確立し、100MHz 以上の高速動作の超伝導単一光子検出器と光・超伝導インターフェース回路技術の研究開発を行う。

##### (3) 極微小・微弱シグナルの高機能センシング技術の研究

多様な機能・情報を有する原子・分子応用技術を確立し、情報検出・記録、伝搬性能を飛躍的に向上させる高感度・高精度センシング技術の研究開発を行う。

##### 【平成 22 年度の成果】

##### (1) 分子ナノ材料を用いた分子光素子、光・電子融合デバイスの研究

- ① 分子機能材料などによる単一光子源の研究開発に関しては、周期構造による発光制御技術であるフォトニック構造上に配置した有機蛍光色素（ペリレンビスイミド）の発光実験を実施した。図 1 はフォトニック構造に依存した発光スペクトル特性である。図 1 に示すように、フォトニック構造の格子定数に依存した発光強度の増大とスペクトルシフトが観測され、光子発生の量子制御に成功していることを示唆している。
- ② 光ネットワークとナノデバイスのインターフェースとなる光ナノ集束構造の研究開発では、表面プラズモン超集束を電気信号で動的に制御する構造を考案し、3次元数値解析シミュレーションにより動作を検証した。また、SOI 基板を用いて超集束の電氣的制御構造（図 2）を試作した。今後、特性評価及び最適化を行い、インターフェース開発へ展開する。
- ③ 分子ナノ材料を用いた極低消費エネルギー素子の研究に関しては、分子間エネルギー移動や単電子トンネリングを光子単位で制御可能な光ロジック基本動作を確認した。また、金属表面にナノ集束したエネルギーを、約 50% の高効率で分子アレイ素子へエネルギー移動する分子構造を設計、効果的エネルギー移動を実証した。

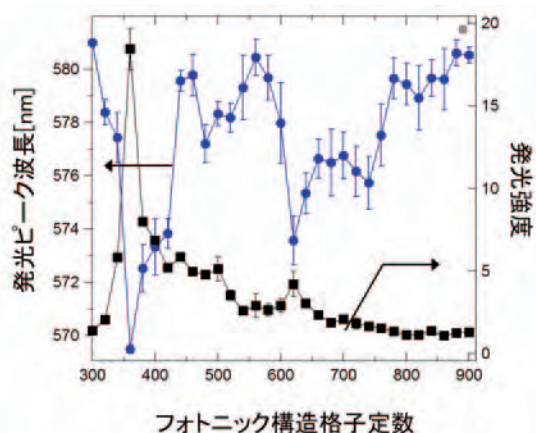


図 1 フォトニック構造に依存した分子発光スペクトル特性

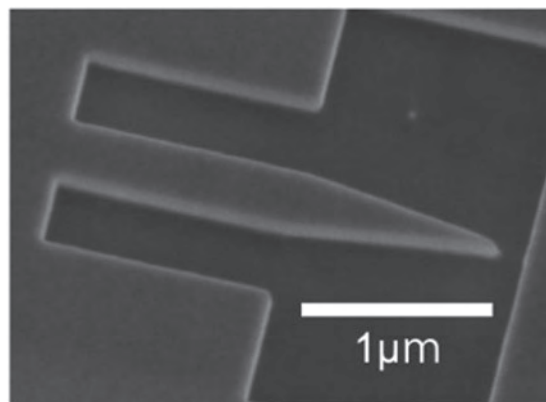


図 2 開発した超集束の電氣的制御構造

(2) 超伝導を用いた光・電磁波デバイス、光インターフェース技術の研究

- ① 量子情報通信への実用化を目指して、世界最高性能のマルチチャンネル超伝導単一光子検出器 (SSPD) システム (量子効率 20%、暗計数率 100Hz、カウントレート 100MHz) を開発し、トータル性能として既存半導体光子検出器 (APD) の約 200 倍以上を達成した (表 1)。また、量子暗号・量子通信国際会議 2010 において、開発したマルチチャンネル SSPD システムを用いた東京 QKD ネットワークライブデモを実施し、SSPD の有効性を実証した。

表 1 各種光子検出器の性能比較

検出器	検出効率 (%)	暗計数率 (Hz)	カウントレート (MHz)	動作温度 (K)	性能指数 $\times 10^3$
PMT	2	$2 \times 10^5$	10	200	1
InGaAs/InP APD	10	91	0.01	200	1.1
InGaAs/InP APD	10	$16 \times 10^3$	100	240	0.6
SSPD (NIST)	3	100	100	3	30
SSPD (NICT)	20	100	100	3	200

- ② ネットワークの低消費エネルギー化を目指した超伝導-光インターフェースの研究では、極低温動作通信波長帯 (1,550nm) 光入力モジュールを開発し、超伝導単一磁束量子 (SFQ) 回路への光入力動作実証に成功した。図 3 は開発した光入力モジュールと動作出力波形であり、光入力により SFQ 回路は正確に動作していることを示している。また、SFQ 回路を用いた SSPD 信号読み出し回路を提案し、世界で初めて SSPD の出力信号から SFQ パルスへの変換動作に成功した。

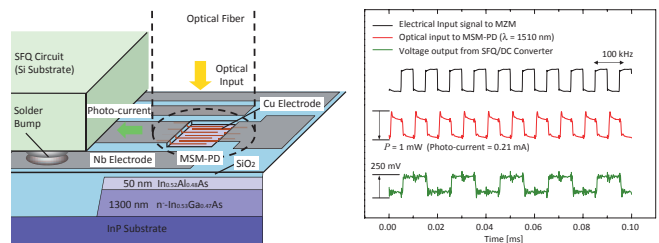


図 3 光入力モジュールの概略図と動作出力波形

(3) 極微小・微弱シグナルの高機能センシング技術の研究

- ① 原子・分子レベルの光-電子相互作用などの高感度計測技術の研究では、有機ワイヤー分子と金ナノ粒子からなるハイブリッド材料のダブルドット単電子トランジスタ構造を、自己組織化手法を用いて作製し、ハイブリッド粒子間の相互作用を反映した微分コンダクタンスの超周期構造 (図 4 (a)) を世界で初めて観測した。図 4 (b) と (c) は作製した単電子トランジスタ構造の走査電子顕微鏡 (SEM) 写真と等価回路である。

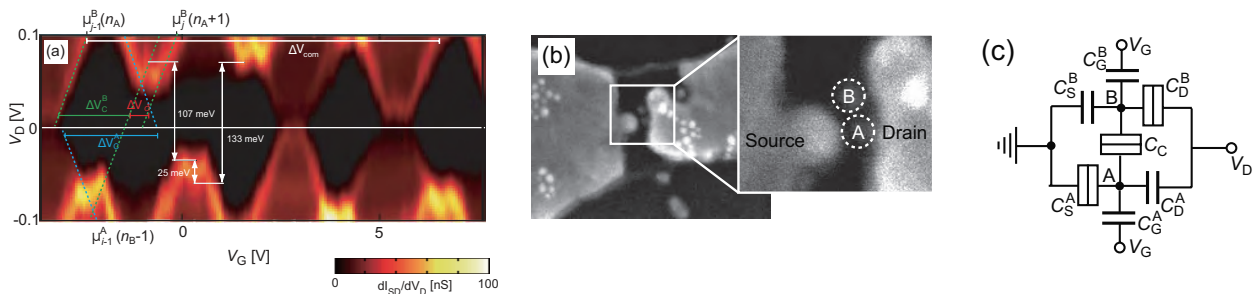


図 4 (a) 観測した微分コンダクタンスの超周期構造 (b) 単電子トランジスタ構造の SEM 写真 (c) 等価回路