

## 最先端研究の融合による新たな情報通信パラダイムの創出を目指す

## ■概要

当研究室は、革新的ICTの研究開発を進める未来ICT研究所の中でも、既存技術の延長線上に無い新たな技術の種を創出し芽吹かせるため、最先端融合領域の基礎・基盤研究を、幅広い研究分野にわたり総合的に実施している。その中で、1. 通信速度や消費電力、感度等に係る課題に対してブレークスルーとなるデバイスの創出を研究開発する「高機能ICTデバイス技術」、2. ミリ波及びテラヘルツ波を利用した100 Gbps級の無線通信システムを実現するための技術を研究開発し、未踏周波数領域の開拓に貢献する「超高周波・テラヘルツ基盤技術」、3. 生物の感覚受容システムを利用したセンシングシステム、生体特に細胞や神経における情報伝達・処理を模倣したシステム及び生体材料が示す応答を計測・取得するシステムに関する技術を研究開発する「バイオICT基盤技術」の3分野を中心に、量子ICT基礎を加え、さらに、それらの派生・融合分野の研究プロジェクト(PJ)を設け研究を進めている。

平成29年度は、第4期中長期計画の2年目にあたり、各研究分野において計画目標達成の起点となる重要な成果が出ている。また、基礎基盤研究の成果であることから、各研究分野、各研究PJにおける、派生研究の成果や融合分野での研究成果も見られ、本研究室の特徴でもある、多様な成果が出ている。以下の成果のほかにも、量子ICT基礎のPJでは、前年度の人工原子の深強結合状態の観測に続き、それらを制御する量子回路技術や新理論を確立するなどの成果も挙げられる。これら詳細、特に融合研究分野、共同研究等については、それぞれの研究所、連携研究先などの報告を参照いただきたい。

## ■平成29年度の成果

## 1. 高機能ICTデバイス技術

高速・大容量・低消費電力の光通信システム等を実現するため、原子・分子レベルでの材料・構造制御や機能融合等を利用したICTデバイスの新機能や高機能化を実現する技術の研究開発を進めている。

小型超高速光変調器の実用化に向けた研究では、400 Gbps超光インターコネクトの実現に向け、シリコ

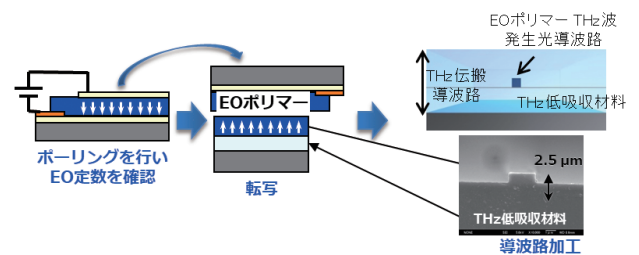


図1 有機EOポリマー転写プロセスによるTHz発生デバイス作製  
 ・有機EOポリマーの難接着性材料への転写技術の開発  
 ・リッジ型導波路からの世界初となるTHz波高効率発生

ンスロット導波路に有機EOポリマーを隙間なく充填することに成功、その光伝搬も確認し、有機EOポリマー/Siスロット導波路によるハイブリッド光変調器を実現する技術を得た。また、THz波等の超高周波応用への融合研究展開においては、THz吸収材料をクラッドとした有機EOポリマーリッジ型導波路の作製に成功し、世界初となる導波路構造による高効率THz波発生を確認した(図1)。さらに、有機EOポリマー導波路を用いた8ch光フェーズドアレイを試作、8ch分岐を確認するとともに、3.2度の位相変更動作を確認し、立体映像再生や自動運転ライダー等への社会展開の基礎を得ている。

超伝導単一光子検出器(SSPD)の広範な応用展開を目指した研究開発では、新素子構造となる超伝導アバランシェ型光子検出器(SNAP)において、従来SSPDの7倍以上の高速応答等の高機能性を実証。多ピクセル化(32×32)の試作、10 ps以下の精度でのSFQ回路による極低温信号処理によるSSPDシステム高速化の実証を行った。また、量子情報研究につながる超伝導量子ビットへの応用を目指した、磁性ジョセフソン接合の開発において、窒化物超伝導体を用いた磁性ジョセフソン接合を試作、世界初となるパイ状態の観測に成功し(図2)、コヒーレンスに優れた超伝導量子ビットの実現に向けた基盤を得た。

## 2. 高周波・テラヘルツ基盤技術

ミリ波及びテラヘルツ波を利用した100 Gbps級の無線通信システムの実現を目指したデバイス技術や集積化技術、計測基盤技術等の研究、その信号源や検出器等に

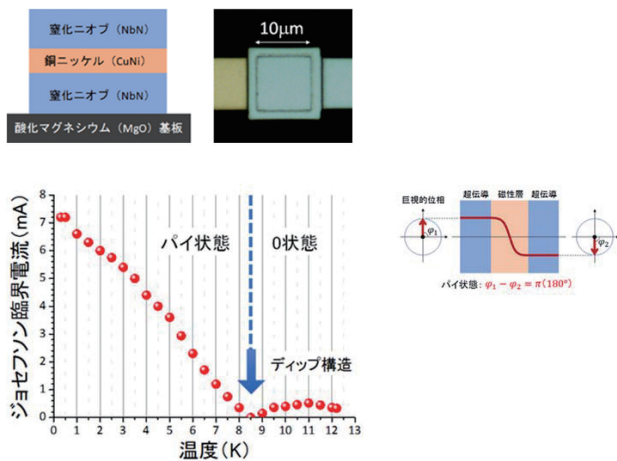


図2 上：磁性ジョセフソン接合素子構造と顕微鏡写真  
下：ジョセフソン臨界電流の温度依存性 パイ状態の観測

関する基盤技術の研究開発を進めている。

テラヘルツ集積回路の実現に向けた半導体デバイスや受動素子等の作製技術の開発に関し、前年度に開発した、高集積化可能な画期的PLL (Phase Locked Loop) 発振回路の構成について、その成果を主要論文誌に発表するとともに、これら成果を基にセンサネットワークシステムの開発を開始した。また、300 GHzシリコンCMOS受信集積回路を実現、前年度までに実施した送信回路と合わせ、シリコン集積回路での「送受信」を実現した。これにより、送受信共にシリコン集積回路による300 GHzの伝送を実現した。本成果は、無線分野での国際会議IEEE RFIT (Radio Frequency Integrated Technology, 8月)において、平成27年度を受賞に続き、2度目の最優秀Awardを受賞した。

超高周波領域での通信・計測システムに適用可能な高安定光源の研究開発に関しては、狭線幅・高安定コム光源実現のコアとなる非常に高いQ値を持つ共振器実現のため、低損失導波路等の微細加工技術を開発した。具体的には、レジストマスクのリフローを活用した低LER (line edge roughness) 深掘りドライエッチング技術を開発し(図3)、低損失化を実現。これにより、約 $10^5$ の共振器内部Q値(消光比10 dB以上)を実現し、低入力パワーで熱光学効果による共鳴ピークのシフトも観測可能となるなど、非線形光学効果を用いたコム発生が可能なレベルに近づいている。

### 3. バイオICT基盤技術

QoL (Quality of Life) の向上につながる、生体の感覚に則したセンシングの実現に向け、分子・細胞等の生体材料が持つ優れた特性を活かした、様々な情報を抽出・利用するための基盤技術の研究開発を進めている。

生体材料を用いた情報検出システムを構築する研究・

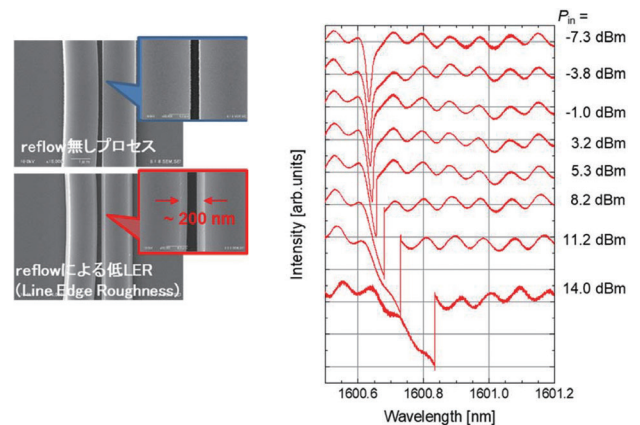


図3 左：作成した共振器構造結合部分の走査型電子顕微鏡 (SEM) 像の改善前 (上) と改善後 (下)  
右：作成した共振器構造の光透過特性。共振スペクトルのシフトを観測

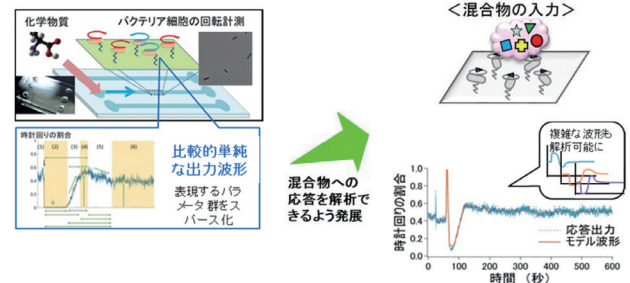


図4 バクテリアセンサの応答波形解析 物質同定の波形解析(左)と混合物同定の波形解析

技術開発として、前年度達成したタンパク質機能モジュールの導入に続き、分子素子にDNA結合モジュールを導入することに成功。生体素子の構築につながる、DNA上を移動して情報を伝える運び手分子を作製した。また、昆虫の摂食コマンドニューロンに対し、光による興奮抑制システムを構築。条件付け「記憶」がコマンドニューロン上に形成されることを明らかにし、真に脳を模倣したAI情報処理システムの構築への足掛かりを得た。さらに、生体深部計測を実現する補償光学顕微鏡開発においては、波面センシング技術を改良、既成の波面センサに比べ約10倍の高感度を達成し、より暗いサンプル (0.3 μmビーズ) の補正を可能とした。

生物の持つ優れた情報抽出・利用機能に関しては、応用展開が進むバクテリアセンサの研究において、物質同定のアルゴリズムから、複合情報の識別法の検討を進めた。混合物の入力に対する複雑な応答波形を解析、数値化する手法を開発(図4)、混合物や自然界の情報(複雑情報)をセンシングし解析可能とする技術基盤を得た。また、情報認識の分子機構解析として、細胞内における外来DNA認識の分子機構の解明や、核膜孔複合体(NPC)による情報認識の分子機構の解明など、学術的機構解明から社会応用展開につながる成果を得た。