

3.1.3 新世代ネットワーク研究センター 先端 ICT デバイスグループ

グループリーダー 寶迫 巖 ほか 21 名

基盤的ネットワークハードウェア技術の研究開発

【概要】

光と電波は情報通信ネットワークを支える基本的媒体である。これらを制御し活用する手法に対して、革新的な基盤技術の創出とそれらのネットワーク適用への具現化、光と電波における周波数資源開拓（周波数利用率の向上：光波帯・ミリ波帯、未利用周波数帯の開拓：ミリ波帯・テラヘルツ帯・光波帯（1.5 μm 帯以外））を目標に研究開発を進めている。グループは3プロジェクト（光波デバイスプロジェクト、ミリ波デバイスプロジェクト、未開拓周波数（テラヘルツ）プロジェクト）により構成され、それぞれが世界トップレベルの成果を輩出している。

【平成 22 年度の成果】

(1) 光波デバイスに関する研究

インターネット動画配信やクラウドコンピューティングの普及によって通信量は急増しており、高速光通信を支える光波デバイスの高速化、新機能の実現、低コスト化など多面的な技術革新が求められている。現在実用となっている光ファイバにおいては伝送可能な光帯域に限界がある。本プロジェクトでは、光帯域あたりの伝送能力向上と、新たな光帯域の開拓の2つの方向で研究を進めている。

限られた帯域で高速伝送を実現するためには光にデータをのせる役割をする光変調の高度化が重要である。光の波動性を駆使した光位相や振幅を高度に制御するための研究により、平成 22 年度は 360Gbps の超高速光位相変調を実現した（図 1）。光変調では、高速性の追求と高精度の確保の両立が課題であるが、本プロジェクトでは、2つの偏波成分の合成を利用した既存の4値変調方式向けのデバイスを使い、4倍の16値変調を実現する構成を開発し、低コストで、速度のみならず精度の点でも世界最高性能を実現した。

また、計測技術などへの応用も進めており、NICTで開発した高速高精度光変調技術が世界最大の電波天文 ALMA において基準信号発生技術として利用されている。さらに、高精度 ICT デバイス計測などの極限技術への展開も進めており、IEC（International Electrotechnical Commission）などで国際標準化活動を行っている。

一方、ナノ構造を使った量子ドットデバイスにより、これまでの光帯域にとらわれない新たな光通信技術の探求も積極的に行っている。平成 22 年度は、波長 1.0 μm ~ 1.7 μm の間、700nm の広範囲で任意帯域の光ゲイン材料とその光ゲインデバイス動作に成功した。

また、NICT 独自の結晶中の歪みを制御する技術により、平成 22 年度は、量子ドット構造を自らの 150 層という記録を超える世界最高密度 300 層（図 2）の作製に成功し、これを半導体レーザに応用した。これまでのレーザでは温度調節機構を必要とするものが多くその消費電力が問題だったが、NICT の量子ドット構造による 1.55 μm 帯半導体レーザは、温度変化に対する変化の受けにくさを表す数値（特性温度 T_0 ）が 164K であり、一般的なレーザの 90K、平成 21 年度の当グループの記録 113K を大きく上回り、非常に省エネルギーである事を示している（図 3）。

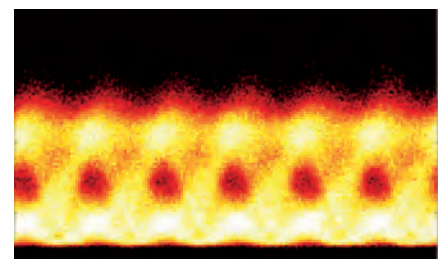


図 1 360Gbps 4 値位相変調信号波形

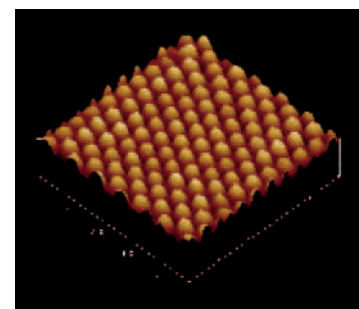


図 2 高密度量子ドット顕微鏡像

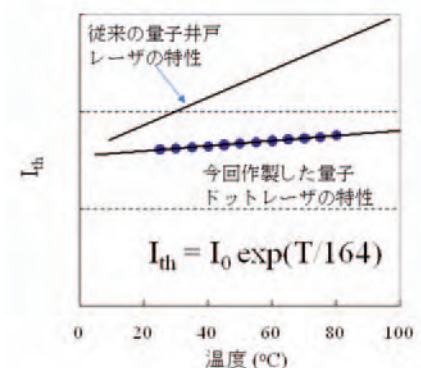


図 3 量子ドットレーザ閾値電流の温度特性
特性温度 $T_0=164$

(2) ミリ波デバイスに関する研究

将来の ICT ネットワーク社会において、大容量のデータを無線でより高速にやりとりする要求に応えるために、周波数が高く高速伝送に適している 30 GHz 以上のミリ波帯が注目を集めている。しかし、一般の電子機器における信号に比べて格段に周波数が高く利用が困難であったミリ波帯信号を自由にあやつるためには、高速性と高周波特性に優れたデバイスの開発が課題となっていた。

NICT は微細電極構造を用いた高速性に優れた ICT デバイスの研究開発に取り組み、世界最高水準の成果を輩出してきた。平成 22 年度は窒化ガリウム (GaN) 系トランジスタの高速・高周波化を目的に様々な検討と改良を実施し、図 4 に示すような構造の微細電極 MIS (Metal Insulator Semiconductor) 型 HEMT (High Electron Mobility Transistor) を作製した結果、ソース・ドレイン電極間距離 LSD を $2.0\mu\text{m}$ から $0.5\mu\text{m}$ まで短縮することに成功した。図 5 は遮断周波数 f_T および最大発振周波数 f_{max} (ともにデバイス動作可能な限界周波数の指標) のゲート直下の窒化アルミニウム (AlN) スパサ層厚への依存性を示し、 $L_{\text{SD}} = 1.0\mu\text{m}$ で $f_{\text{max}} = 207\text{GHz}$ の高速・高周波性能を達成している。なお、GaN 系電子デバイスは高耐圧・耐熱・耐放射線性に優れるだけでなく、高周波パワーデバイスとしても期待されている。

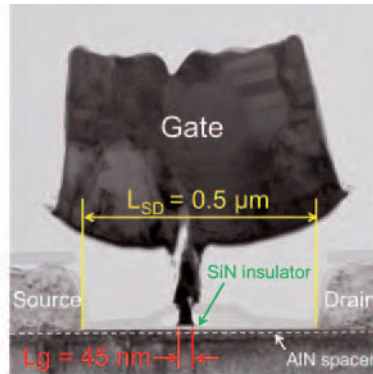


図 4 微細電極 MIS-HEMT 構造

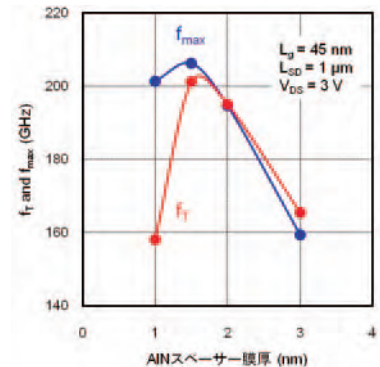


図 5 AlN スパサ層厚依存性

(3) 未開拓周波数に関する研究

重要な未開拓周波数帯電磁波であるテラヘルツ波について半導体基盤技術を中心に研究開発を実施した。テラヘルツ量子カスケードレーザ (THz-QCL) を用いたテラヘルツ帯高輝度光源について、入手性の高い液体窒素を寒剤に用いる小型光源を開発し、それを用いた下記の現実的な応用例の動態展示や実験を実施した。

(a) 特定の生体物質の結合を迅速かつ簡便に検出する「実時間・非標識生体物質検知システム」

(b) 委託研究「ICT による安全・安心を実現するためのテラヘルツ技術の研究開発」のイメージャーチーム (NEC、東大) と協力した「火災現場の煙霧等で視界が効かない環境下でのイメージングシステム」とりわけ (b) のイメージングでは、テラヘルツ帯、中赤外、可視 3つの帯域での比較実験を行い、その中で高温の黒い煙を透かしてイメージングが可能なのはテラヘルツ帯のみであることを実際に示した (図 6)。

テラヘルツ帯量子カスケードレーザの高性能化を目指した技術開発として、平成 21 年度までに開発した第一原理計算シミュレータを用い素子内電子分布の可視化 (図 7) をし、別途提案していた 4 準位系活性層構造の有用性を検証、及び 1 活性モジュール当たり 2 つの量子井戸から成る新規構造の提案を行った。また、THz-QCL の連続波発振化を達成し、変調速度数 kHz の電気変調に成功した。

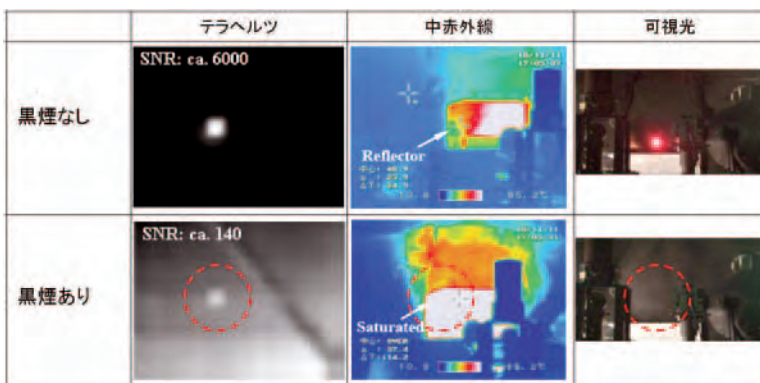


図 6 距離 5m でのイメージング比較実験の結果

テラヘルツ: 黒煙があっても、煙のむこう側で光が反射し、物体がある事を確認できた。

中赤外線: 高温の黒煙からの放射が強く、煙の背後が見えない。

可視光: 黒煙によりさえぎられ煙の背後が見えない。

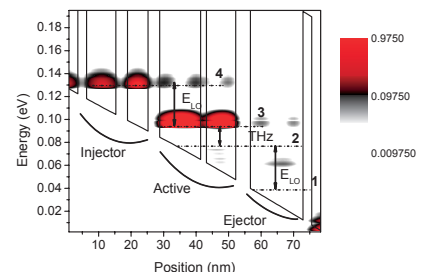


図 7 可視化された 4 準位系活性層構造内部の電子分布