

### 3.2.3 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 25 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質である。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（周波数利用効率の向上: 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 $\mu\text{m}$ 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と言える成果を輩出している。

#### 平成 21 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で、平成 21 年度は 100Gbps を超える超高速光位相変調を実現した。図 1 に示すよう、変調した信号が、10 ピコ秒間隔（100Gbps の 1 ビットの間隔）できちんと分離して見えている。高速性の追求と高精度の確保の両立が課題であるが、速度のみならず精度の点でも世界最高性能を実現し、電波天文などの極限技術へも応用されている。

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。これまで通信用には主として波長 1.5 $\mu\text{m}$  帯のレーザが用いられてきたが、この波長帯と、これまで通信用に使われてこなかった波長 1 $\mu\text{m}$  帯のレーザを1本のファイバで同時に伝送するシステム構築に成功した。

また NICT 独自の結晶中の歪みを制御する技術により、従来は 10 層程度が限界であった量子ドット構造について世界最高密度 150 層の作製に成功し、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消費電力が問題だったが、量子ドットレーザは、温度変化の影響を受けにくく調整機構が不要なため、省エネルギーの点でもきわめて重要である。通常、半導体レーザの発振が得られる閾値電流は温度の上昇に伴う増加が以下の式で表わされる。

$$J_{th} = J_0 \exp\left(\frac{T}{T_0}\right)$$

$J_{th}$ : 半導体レーザの閾値電流、 $J_0$ : 定数、 $T$ : 温度

ここで特性温度と呼ばれる  $T_0$  を高くできると、半導体レーザの閾値電流の増加は抑えられることがわかる。理想的な量子ドットレーザでは、 $T_0$  が無限大となり閾値電流の増加が全くなくなることが理論的に予想されている。今回の成果では  $T_0$  が 113 という、従来値（90 程度）を大幅に超える 1.55 $\mu\text{m}$  帯半導体レーザが実現した。

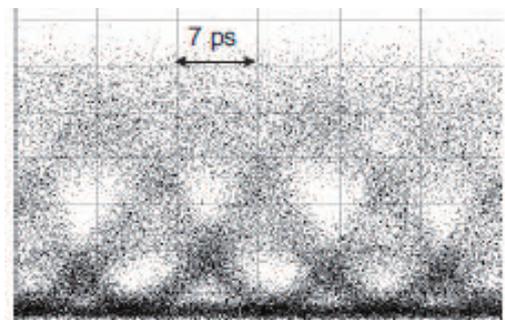


図 1 100Gbps を超える超高速光位相変調技術

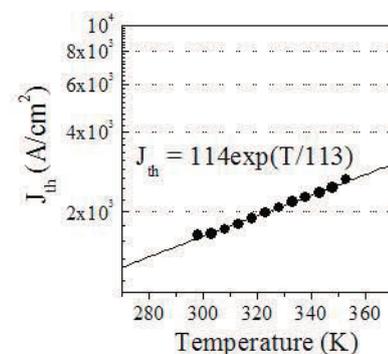


図 2 量子ドットレーザ閾値電流の温度特性

### (2) ミリ波デバイスに関する研究

携帯電話、無線 LAN などワイヤレス機器が身近になり知らない間に一人何台もの無線機を使いこなすのがあたりまえになってきているが、より簡単にたくさんのデータをやりとりしたいという要求はさらに高まる一方である。これまで広く使われてきた数 GHz 以下の無線帯域はすでに混雑している。また、無線周波数が高いほど高速伝送に適しているということもあり、これまであまり利用が進んでいない 30GHz 以上のミリ波帯が注目を集めている。しかし、ミリ波帯信号は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、ミリ波を自由にあやつるためには高速性と低雑音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 20、21 年度は窒化ガリウム (GaN) 系トランジスタの遮断周波数 (トランジスタ動作可能な限界周波数) で 200GHz に届こうという世界最高レベルの高速性能を達成している。これは、図 3 に示すようなゲート長 ( $L_g$ ) が 50 nm 以下の微細ゲート電極構造によるものである。図 4 は NICT とこれまで論文等で報告されている他の研究機関の GaN 系トランジスタのゲート電極幅 1mm あたりの出力電力密度の周波数依存性である。矢印で示した NICT が作製した GaN 系トランジスタは周波数 60 GHz で 1W/mm を、周波数 80GHz 以上では 0.2W/mm を超える高い出力電力密度を世界に先駆けて報告している。なお、GaN はブルーレイなどを支える青色レーザを実現する材料として有名であるが、電子を高速に制御するための材料としても期待されている。

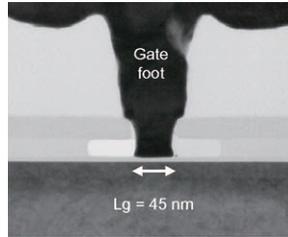


図 3 微細ゲート電極構造

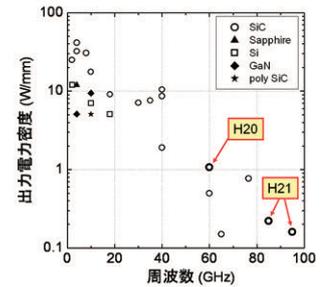


図 4 出力電力密度の周波数依存性

### (3) 未開拓周波数に関する研究

未開拓周波数帯電磁波の 1 つ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。平成 20 年度までに開発してきたテラヘルツ帯量子カスケードレーザシステムを用い、京都大学農学部及び委託研究「ICT による安全・安心を実現するためのテラヘルツ波技術の研究開発」の委託先である NEC と連携し、NEC が開発した非冷却テラヘルツ (THz) 帯アレイセンサと組み合わせイメージングシステムを利用した「実時間・非標識生体物質検知技術」を開発し第 8 回産学官連携推進会議等で展示を行った。実時間・非標識生体物質検知システム (図 5) は、特定の生体物質の結合を蛍光や発色等の付加的な化学反応なしで迅速かつ簡便に検出する事ができ、バイオテクノロジー分野での研究ツールとして期待されている。



図 5 実時間・非標識生体物質検知システムと生体物質撮像例

テラヘルツ帯量子カスケードレーザの高速変調を目指した技術開発として、近赤外光注入実験を行い 100% の変調深度を得て、超高速強度変調実現への目途が付いた。本実験では、素子の母材である砒素化ガリウムのバンドギャップエネルギーより小さなエネルギーの近赤外光 (波長 831nm) を 10mW ~ 60mW で注入、電流が 5.2A ~ 5.4A では 10mW 以上でテラヘルツ波の発振が止まり、変調深度がほぼ 100% に達することを確認した (図 6 網掛け部)。光による変調方式では、光キャリアの再結合時間で決まるため高速変調に適している。また、素子性能向上を目指し、第 1 原理計算により素子内電子分布の可視化にも成功している。

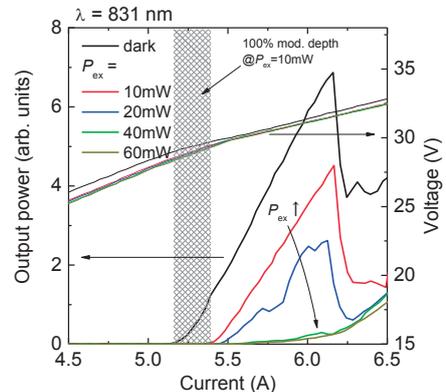


図 6 近赤外光注入による強度変調実験結果