

3.6.1 未来 ICT 研究所 超高周波 ICT 研究室

室長 笠松章史 ほか 11 名

超高周波電磁波(ミリ波、テラヘルツ波)利用技術の開拓

【概要】

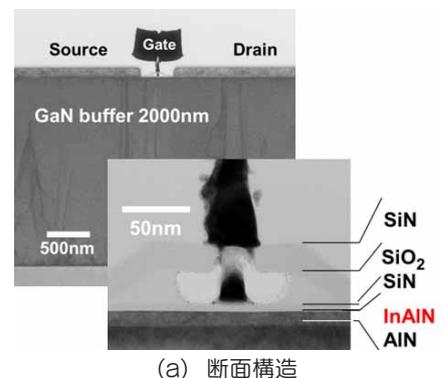
100Gbps 級の超高速無線通信や超高速信号計測、テラヘルツ波を用いた高精度な非破壊非接触計測を 2020 年頃までに可能にするために、超高周波領域での光源、検出器、増幅器、変復調器、光電変換器、アンテナなどの各要素技術、リアルタイム計測による非破壊非接触センサ技術、及び超高周波帯での計測に必要な標準を定めるための技術を開発し基盤技術を確立することを目標に研究開発を進めている。

平成 25 年度は、前年度に引き続きミリ波、テラヘルツ波帯の利用技術の確立を目的とした超高速・高出力デバイス技術、システム技術に関連する研究を行うとともに、3THz 付近のテラヘルツ帯周波数コム発生に向けた光パルス光源の開発とテラヘルツ変換素子の探索を行った。

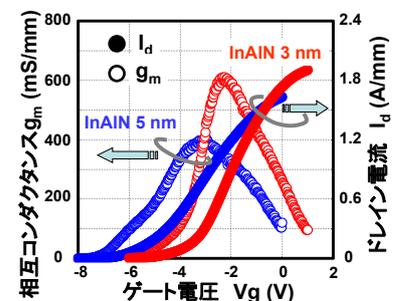
【平成 25 年度の成果】

ミリ波、テラヘルツ波帯の利用技術の確立を目的とし、超高速・高出力電子デバイス技術、システム技術及び超高速信号測定技術に関連する研究を行っている。平成 25 年度は、半導体トランジスタの高性能化に向けた技術開発と、325GHz までの導波管部品及びオンウエハ・プロービング計測環境の構築を実施した。

超高速・高出力デバイス技術に関して、高耐圧・耐熱・耐放射線性に優れ、かつミリ波、テラヘルツ波帯で高出力が期待される窒化ガリウム(GaN)系トランジスタについて、ゲート電極と高速電子を物理的・空間的に隔離するための窒化インジウム・アルミニウム(InAlN)バリア層を有する HEMT (High Electron Mobility Transistor) を作製し(図 1 (a))、InAlN バリア層を 5nm から 3nm に薄膜化することで約 1.5 倍の相互コンダクタンスを得ることに成功した(図 1 (b))。600mS/mm を超える相互コンダクタンスとともに 200GHz を超える遮断周波数 f_T 及び最大発振周波数 f_{max} を得ており、100GHz 超で動作可能な高出力増幅器等への応用の可能性を示した。シリコンないし III-V 族化合物半導体で作られる半導体トランジスタの中で、現在のところ最も高い周波数での動作が期待されるインジウム・リン(InP)系トランジスタについて、さらなる超高速化を目指し、モンテカルロ法シミュレーションによる構造設計・特性解析を実施し、T 型ゲート電極の埋め込み構造が高速化に有効であることを示した。InP 系トランジスタに代わる低雑音・低消費電力トランジスタとして期待されるインジウム・アンチモン(InSb)系トランジスタについて、東京理科大学との共同開発により低温で成長したアルミニウム・アンチモン(AISb)バッファ層を導入した半導体ウエハを作製し、これを用いてゲート長 50nm の HEMT を試作、170GHz を超える f_T の達成に成功した。システム技術に関して、これまで単独で運用してきた超高周波電子デバイス設計技術 TCAD (Technology CAD) 及び超高周波回路設計技術 EDA (Electronic Design Automation) を統合運用可能な設計共通プラットフォームの構築に着手した。超高速信号測定技術に関しては、ネットワークアナライザと周波数エクステンダにより 325GHz までの導波管部品計測環境の整備を完了し、測定精度について評価を実施した(図 2)。また、オンウエハ・プロービング計測環境の構築にも着手した。増幅器、アンテナ等が作製される同一基板上にインピーダンス



(a) 断面構造



(b) 相互コンダクタンスの窒化インジウム・アルミニウム(InAlN)膜厚依存性

図 1 窒化ガリウム(GaN)系 HEMT



図 2 整備した導波管部品及びオンウエハ・プロービング計測環境

標準基板(図3)を設計・形成、一般的に用いられている SOLT 法に替わり、これを用いて超高周波で精度が良いとされている TRL 法を実証した。さらに、InP 系 HEMT の S パラメータ、遮断周波数を評価、超高周波領域でのオンウエハ・プロービング測定への応用の可能性を示した。

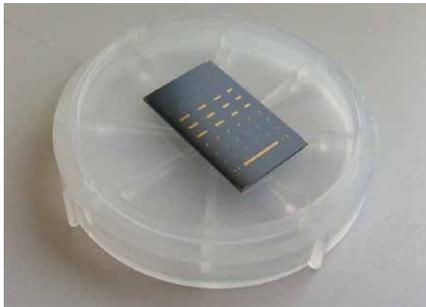


図3 InP 基板上に形成されたインピーダンス標準基板

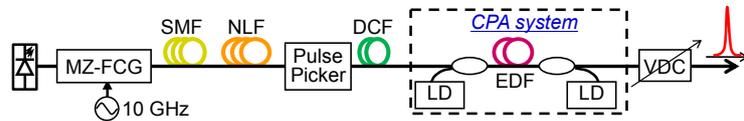


図4 光通信波長帯超短光パルスの構成(MZ-FCG:変調器ベース周波数コム発生器、SMF:単一モードファイバー、NLF:非線形ファイバー、DCF:分散補償ファイバー、LD:レーザーダイオード、EDF:エルビウム添加ファイバー、VDC:可変分散補償器)

周波数利用効率の向上を目指した周波数資源開拓において、未だ十分に利用されているとは言えないテラヘルツ帯の利用技術の確立を目指し、周波数・パワー等の標準までを見通したテラヘルツ帯計測に関する基盤技術、特にテラヘルツ帯の周波数コム技術を中心に研究開発を実施した。テラヘルツ帯の周波数コムに関して、光技術をベースとしたコム発生を念頭に置いており、そこではテラヘルツ波発生に用いられる近赤外領域のパルス光源が鍵となる。さらに、汎用性を鑑み、コンパクト性・メンテナンスフリーの観点より、これまで(1) $1.55\mu\text{m}$ の通信波長帯半導体 CW 発振レーザとマッハ-ツェンダー型ニオブ酸リチウム(LN: lithium niobate)変調器を組み合わせたパルス光源システム、(2) $1\mu\text{m}$ 帯のイッテルビウムドープファイバーモードロックレーザ、の2点に着目して研究開発を行っている。今年度、(1)について、テラヘルツ発生に関わる変調器ベース超短パルス光源の高出力化に着手した。変調器ベースパルス光源に非線形ファイバーを組み合わせることにより超短光パルスを発生し、チャープパルス増幅法を用いて高ピークパワー化を実施した(図4)。その結果、単一変調器の簡易な構成で3THzに及ぶ光コムの発生に成功した。また、パルス幅280fs、ピークパワー2.5kWの高強度・超短光パルス発生に成功した(図5)。(2)についても $1\mu\text{m}$ 帯パルスの高出力化を行い、独自に開発したダブルクラッド型イッテルビウムドープファイバー増幅器により、フェムト秒($\sim 200\text{fs}$)の短パルスを維持したまま、高い出力(W級)を得ることに成功した(図6)。一方、上記のパルス光源からテラヘルツ光を得る手段として、 $1\mu\text{m}$ 帯パルスと非線形結晶の組み合わせによりテラヘルツパルス発生を行った。特にガリウム・リン結晶を用いたものに関しては、約3THzのスペクトル帯域を有することが判明した。また、変調器ベースパルス光源では、光コムより2本のコムを抜き出し、それを単一走行キャリアフォトダイオードに入射することにより、700GHz帯のCWテラヘルツ波発生に成功した。この700GHz帯テラヘルツ波は、簡易な構成で 10^{-11} 台(1秒平均)の周波数安定性が得られており、安定度の高いテラヘルツ波生成が出来ていることを示している。

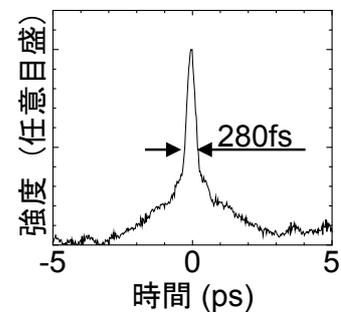


図5 高ピークパワーパルスの自己相関波形

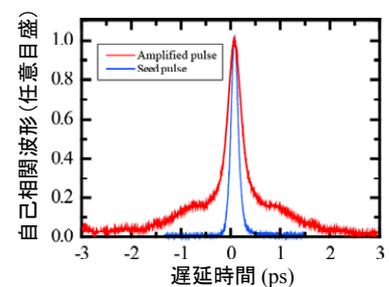
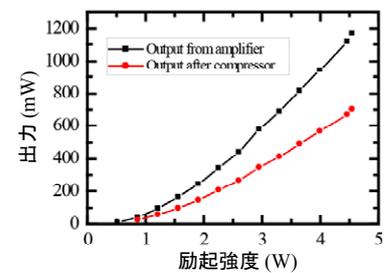


図6 $1\mu\text{m}$ 帯モードロックファイバーレーザの出力特性(上: $1\mu\text{m}$ 帯パルス光出力、下: $1\mu\text{m}$ 帯パルス自己相関波形)