

FEATURE

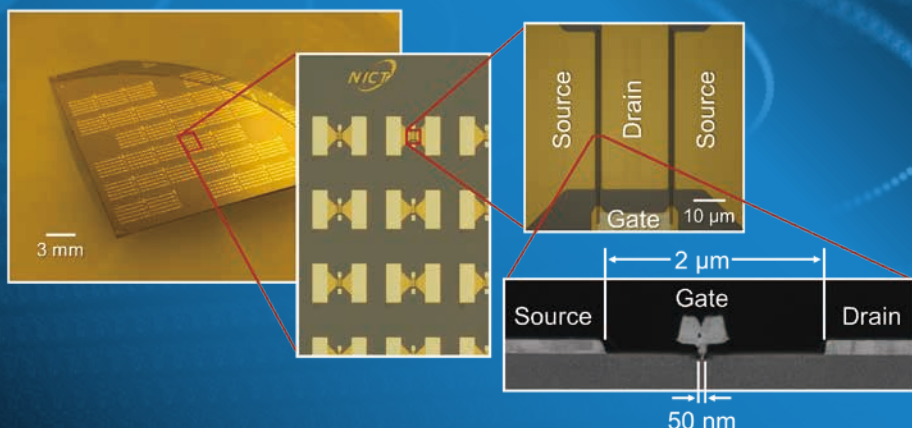
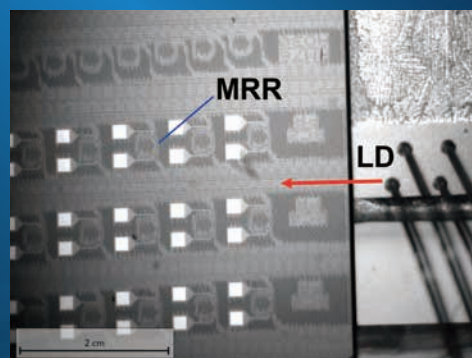
電磁波最後のフロンティアを開拓する テラヘルツデバイス特集

対談

テラヘルツ波



それは電波と光の間に存在する
電磁波最後のフロンティアだ





表紙写真

左下：テラヘルツ帯で動作する高電子移動度トランジスタ (HEMT)

左から、HEMT作製後のウェハ、配列したHEMT及びHEMTの電極の光学顕微鏡像、電極の微細構造を拡大した断面走査型電子顕微鏡像

右上：光周波数コムを発生する微小リング共振器 (MRR) の顕微鏡写真

半導体レーザー (LD) で直接励起することにより小型な構成が可能

左上写真

クリーンルーム設備 (NICT先端ICTデバイスラボ) のイエロールームで半導体エピウェハを洗浄処理する町田龍人研究員 (P4-5参照)

FEATURE

電磁波最後のフロンティアを開拓するテラヘルツデバイス 特集

対談

- 1 テラヘルツ波
それは電波と光の間に存在する
電磁波最後のフロンティアだ
渡邊 一世／関根 徳彦

- 4 インジウム・アンチモン系トランジスタ技術の研究開発
世界最高レベルの高周波特性を達成
町田 龍人／渡邊 一世
- 6 高周波デバイス研究開発に必要な計測評価技術
極低温プロービング測定及び3次元アンテナ放射パターン測定
渡邊 一世
- 8 集積型マイクロコムのデバイス作製と安定化技術
古澤 健太郎／鐵本 智大
- 10 量子カスケードレーザの最近の研究
安田 浩朗

TOPICS

- 12 NICTのチャレンジャー File 33 Cito Michele
次世代の超高速無線通信を実現する共鳴トンネルダイオード
- 13 【起業家甲子園・起業家万博】に全国の起業家が集合！
更なる進化を目指す地域発ICTスタートアップの魅力
デプロイメント推進部門 アントレプレナー支援室

INFORMATION

- 14 NICTオープンハウス2025 開催のお知らせ
- 14 2025年大阪・関西万博 出展のお知らせ

FEATURE

電磁波最後のフロンティアを開拓するテラヘルツデバイス特集 Terahertz Devices Pioneering the Last Frontier of Electromagnetic Waves

対談

テラヘルツ波 それは電波と光の間に存在する 電磁波最後のフロンティアだ

電磁波探求の歴史は、より高い周波数を目指す戦いでもあった。高い周波数の電波ほど大量の情報を送ることができる。こうして、マイクロ波・ミリ波を実用化し、無線による大容量通信を実用化してきた。そして、その先にあるのがテラヘルツ波だ。この電波は光に近いので、通信だけでなくボディスキャナなどイメージングやセンシング、そして計測にも使える、極めて応用範囲の広い電磁波だ。

しかし、高い周波数だけに課題も多い。NICTのテラヘルツ波デバイス研究をリードしている超高周波ICT研究室の渡邊一世室長とテラヘルツ連携研究室の関根徳彦室長に話をきいた。

——テラヘルツ波とはどういうものですか。

渡邊 テラヘルツ波は、電波と光の間に存在する電波で、周波数でいうと100 GHzから10 THzまでを指し、いまだ利活用があまり進んでいない未開拓の周波数帯です。一般的に、電波は周波数が高くなると直進性が強くなり、また大気中の減衰も大きくなります。ですから、テラヘルツ波は今まで使ってきたWi-Fiなど30

GHzまでのマイクロ波とは異なった特性をもっています。また周波数が高いため大量の情報を伝えることができるので、高速で大容量な無線通信の分野から熱い視線を集めています。

関根 テラヘルツ波の研究が始まったのは、1990年代頃からで、最初は電波の領域ではなくより高い周波数の光の領域から始まりました。材料の物性を調べる分光解析に使えることが注目されたのです。

これを電子デバイスでできるようになったのが2000年代です。テラヘルツ波は遠赤外線領域でもあり、電波天文学では古くから使われていました。宇宙からやってくる遠赤外線を捉えて天体の元素を分光測定するのです。そのころのデバイスは天文用の特殊なものでしたから量産品ではなく一品もので非常に高価でした。

近年、テラヘルツよりも少し波長の長いミリ波を使った車載レーダーが普及してきましたが、20年以上前に研究開発



渡邊 一世
(わたなべ いっせい)

未来 ICT 研究所
小金井フロンティア研究センター
超高周波 ICT 研究室
室長
大学院修了後、2004年にNICT入所、化合物半導体トランジスタ・MMICの高性能化、ミリ波・テラヘルツ波帯における高周波計測評価技術などの研究に従事。東京理科大学客員教授。
博士 (工学)。



関根 徳彦
(せきね のりひこ)

Beyond5G 研究開発推進ユニット
テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
室長
大学院修了後、電機メーカー・大学助手を経て2005年にNICT入所。半導体量子ナノ構造のテラヘルツ領域における物性とデバイス応用に関する研究に従事。
博士 (工学)。

対談

テラヘルツ波 それは電波と光の間に存在する 電磁波最後のフロンティアだ

で使っていたミリ波レーダーは非常に高価で、高級車にしか搭載できないものでした。

■センシングとイメージング、そして計測

——テラヘルツ波は実社会に役立つことに気づいたのですね。

渡邊 テラヘルツ波は、従来のマイクロ波・ミリ波よりも更に高い周波数の電波なので、センシングやイメージングでは分解能が上がり、計測では材料を構成する物質の同定や成分分析が非破壊・非接触で可能になります。

空港のセキュリティゲートでボディチェックをしています。あのボディスキャナがミリ波の70～80 GHzあたりの電波を使っています。ほとんどテラヘルツ波と同じ周波数です。テラヘルツ帯を使うことによって分解能がよくなるので、銃器などの隠匿物や粉末状の薬物や爆薬などを発見しやすくなります。また、テラヘルツスキャナの前に液体の入ったボトルを置いてだけで、中身の液体が水なのか可燃物・爆発物なのかを立ちどころに調べることができます。このように、セキュリティをより確実に守ることができます。

■2つのアプローチ

——テラヘルツ波は、イメージングと通信という一見違う機能を同時に利用できるのですね。

関根 テラヘルツ波の研究開発には、

2つのアプローチがあります。上から下に向かうルートと下から上に向かうルートの二つです。上・下というのは周波数のことで、光の周波数に近い高いところから、電波の方向に向かう研究が、私の研究室で進めているテラヘルツフォトンクスです。どちらからのアプローチも目標は、効率よく目指す周波数のテラヘルツ波を出すことです。主に光の技術を使うか、電子デバイスを使うかの違いといえます。

我々の研究室では、2つの方式のフォトンクス技術を研究してまして、一つは遠赤外線を発する量子カスケードレーザーです。これは半導体デバイスから直接テラヘルツ帯のレーザー光を出せるものです。もうひとつは非線形光学結晶で、入射光に対して結晶が非線形に応答する材料です。これをうまく制御することでテラヘルツ波を出すことができます。フォトンクスも、電子デバイス同様、使用する材料による得意不得意があり、望みの周波数のテラヘルツ波を出すための努力を続けているところです。

渡邊 私の研究室では、化合物半導体で作るトランジスタやシリコンCMOS集積回路などの電子デバイス、いわゆる高周波デバイスの研究を行っており、方向性は関根さんの研究室とは反対に、低い周波数から徐々に高い周波数に対応しようというもので、テラヘルツエレクトロニクスと呼んでいます。この研究も扱う周波数が高くなればなるほど難しくなります。半導体材料の特性によって限界が決まってしまうのです。ですから、使う材料と技術をどう組み合わせるかを試行錯誤しながら研究を進めているところです。

——高い方から攻めても、低い方から攻めても課題はあるということですね。

渡邊 テラヘルツエレクトロニクスとテラヘルツフォトンクスの間には、テラヘルツギャップというものがありまして、両方向からこの領域に近づいていくことで、この境界領域で電子デバイスと光デバイスの両方が使えるのではないかと考えています。

関根 テラヘルツエレクトロニクスとテラヘルツフォトンクスでは、それぞれ得意なところが違うのですが、ここ数年で少しずつ融合が進んでいます。論文も出始めており、300 GHz、あるいは500 GHzのテラヘルツ波が出せるという報告もあります。

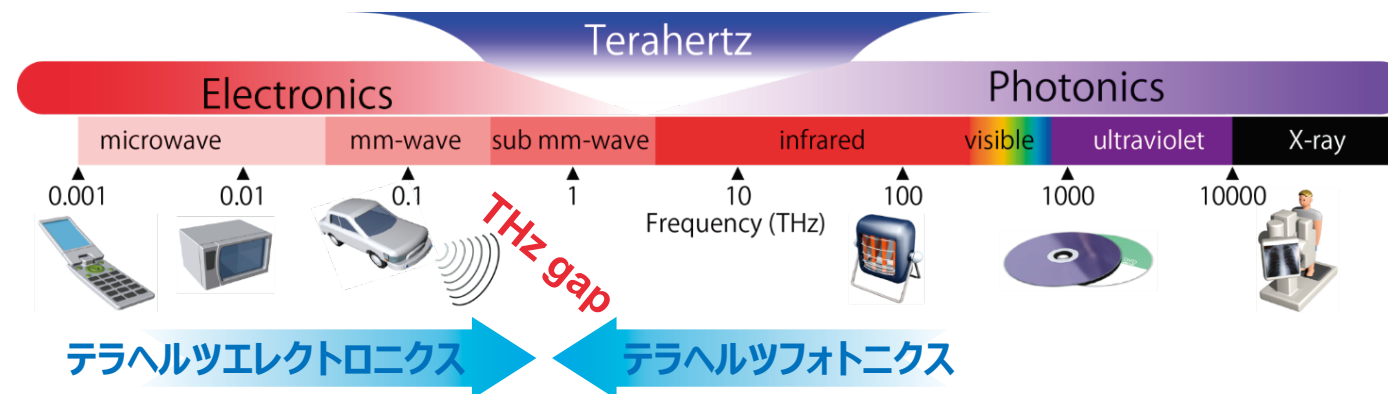
そもそもテラヘルツ波という極めて高い周波数帯研究は、歴史の短い分野なので、まだまだ乗り越えなければならない課題も多いのです。先ほど話が出たように、材料特性の情報がまだまだ不十分であり、測定に関してもまだ研究途上の部分があります。

■標準化の進捗状況

——使える技術にするために研究以外にもやるべきことがありますか。

関根 テラヘルツ波を実際に利用するためには、電波の国際的な周波数割当てが必要です。現在、2019年のWRC（World Radiocommunication Conference、世界無線通信会議）のWRC-19において、周波数の特定化（割当ての一手手前）が終わったところ（275-450 GHzの通信への

Beyond 5G/6G等のミリ波・テラヘルツ波無線の応用展開 （基盤技術の高度化、未利用周波数帯・資源の開拓・拡大）



活用)で、周波数割当てはまだです。ユースケースの検討も、具体的にはこれから始まるといったところです。しかし、デバイス単体では動き始めており、徐々にシステム側との共同作業を進めています。

■ユースケースはアイデア次第

——ユースケースとして考えていることは？

関根 スポット通信があります。ソーシャルICTシステム研究室と共同で実施しているのですが、あるところで溜めたデータを、送受信機が設置してあるポイントを通過した瞬間、溜めていた大量のデータを一瞬で伝送するというものです。情報はいったん基幹系に入れば、そこから先は超大容量の光ファイバーのネットワークですからどのようにでも活用できます。

渡邊 私の研究室では、テラヘルツ無線LANというWi-Fiのテラヘルツ波版のようなものを考えています。飛びの悪いテラヘルツ波でも十数メートル届けばよい狭い室内なら、超高速な無線LANが組めます。手術室内やスタジオ内でのリアルタイム映像伝送とか、いろいろと使い道はあると思います。

関根 テラヘルツ波は基本的にあまり飛

ばないので、ビーム状で使うことにより干渉を避けやすく、工場内無線に適用できるのではないかと期待があります。現在すでに百数十メートルは飛ぶようなデバイスがありますので、いろいろ使えそうです。

渡邊 電子デバイスも光デバイスも材料による物質的・物性的な限界がありますが、システムはアイデア次第です。テラヘルツ波が技術的にできることを外部に積極的に示していくことで、皆さんにどんなユースケースがあるかを議論していただけるのではないかと考えています。

関根 高速大容量の通信技術を活かした「デジタルツイン」についても注目しています。内閣府の科学技術政策「Society5.0」において、CPS(Cyber-Physical Space)というサイバーフィジカル空間が注目されています。CPSでは超大容量の生データアップロードが必須になるので、無線系へのテラヘルツ波通信ネットワークの導入はメリットになると思います。

また、NICTのBeyond5G研究開発推進ユニットが提案している、自分の感覚のすべてをロボットに移行させて、月面にいるロボットを通じて、まるで自らが月面にいるかのような作業ができる「月面都市」のアイデアも、テラヘルツ波に

よる低遅延な通信が重要な役割を果たすでしょう。

■これからの展望

——これからの展望についてお願いします。

関根 テラヘルツ波の研究はもう30年ほど続いており、個々の要素技術はどんどん良くなっています。ですから、使える技術は使えるところから社会実装していきたいと考えています。

渡邊 テラヘルツ波がどのように使えるのかを、メーカーや社会の人に見てもらって議論を重ねることが重要だと思います。大勢の人を巻き込んで、テラヘルツ波の有用性を理解していただける人を増やしていきたいです。

——本日はどうも、ありがとうございます。

インジウム・アンチモン系トランジスタ技術の研究開発

世界最高レベルの高周波特性を達成



町田 龍人

(まちだ りゅうと)

未来ICT研究所
小金井フロンティア研究センター
超高周波ICT研究室
テニユアトラック研究員

大学院修了後、東京理科大学 助教、ソニーを経て、2019年にNICT入所。ナローバンドギャップ半導体の結晶成長及びトランジスタ作製技術などの研究開発に従事。博士(工学)。



渡邊 一世

(わたなべ いっせい)

未来ICT研究所
小金井フロンティア研究センター
超高周波ICT研究室
室長

大学院修了後、2004年にNICT入所。化合物半導体トランジスタ・MMICの高性能化、ミリ波・テラヘルツ波帯における高周波計測評価技術などの研究に従事。東京理科大学客員教授。博士(工学)。

周 波数30 GHz～3 THz (GHz, THzはそれぞれ10億Hz、10兆Hz)であるミリ波・テラヘルツ波帯の利活用に向け、これら周波数帯で動作する電子デバイスの作製技術は極めて重要です。本稿では、インジウム・アンチモン(InSb)系トランジスタ技術の研究開発成果について紹介します。

■背景

我々は、現在よりも高速・大容量な無線通信システムの実現に向けて、300 GHz帯以上のテラヘルツ波帯で動作する電子デバイスの研究開発に取り組んでいます。特にIII-V族化合物半導体であるインジウム・ガリウム・ヒ素(InGaAs)や窒化ガリウム(GaN)は電子の飽和速度が高く、これら材料を電子走行層(チャンネル層)に用いたトランジスタは高周波動作が期待できます。NICTではこれまで、トランジスタの高周波特性の指標の一つである電流利得遮断周波数(f_T)及び最大発振周波数(f_{max})が、InGaAsチャネル高電子移動度トランジスタ(High Electron Mobility Transistor: HEMT)では $f_T = 562$ GHz(2002年当時の世界最高値)を、GaNチャネルHEMTでは $f_{max} = 287$ GHz(2016年から現在に至るまでの国内最高値)をそれぞれ達成しています。

より高い f_T 及び f_{max} を得るため、InGaAsやGaNよりも高い電子の飽和速度をもつ半導体材料であるインジウム・アンチモン(InSb)及びInSbとガリウム・アンチモン(GaSb)の混晶半導体であるガリウム・インジウム・アンチモン(GaInSb)を用いたトランジスタを開発しています。InSb系材料はInGaAsやGaN、またシリコン(Si)やガリウム・ヒ素(GaAs)と比べてバンドギャップが狭いことから“ナローバンドギャップ半導体”

とも呼ばれ、磁気センサや赤外線センサなどに関する研究開発はこれまで盛んに行われてきた一方で、トランジスタに関する研究報告はほとんどありませんでした。この理由は、(1) InSb系トランジスタ作製に用いるエピウェハ*が市販されておらず、自前で高品質なエピウェハを成長しなければならないこと、(2) トランジスタ作製工程で使用する酸・アルカリなどの薬品への耐性が低く、また工程中の熱やプラズマによるダメージを非常に受けやすいため、InSb系トランジスタの開発では、これらの影響を最小限に抑え、半導体結晶そのものの品質劣化を防ぐことが大きな課題です。

■InSb系トランジスタの作製方法

InSb系トランジスタの開発のため、2009年より東京理科大学との共同研究を開始、同大学の分子線エピタキシー(Molecular Beam Epitaxy: MBE)装置でInSb系エピウェハの結晶成長を、NICTはクリーンルーム設備及び半導体製造装置や高周波計測機器を用いたトランジスタ作製とトランジスタの性能評価を実施してきました。

MBE装置は超高真空(1気圧の10兆分の1程度)下で0.1 nm(1 nmは10億分の1 m)オーダーでの組成・膜厚制御が可能であり、高品質なトランジスタ用エピウェハが結晶成長できます(図1)。InSb系トランジスタ

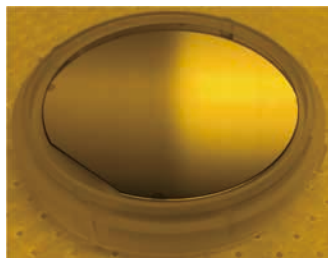
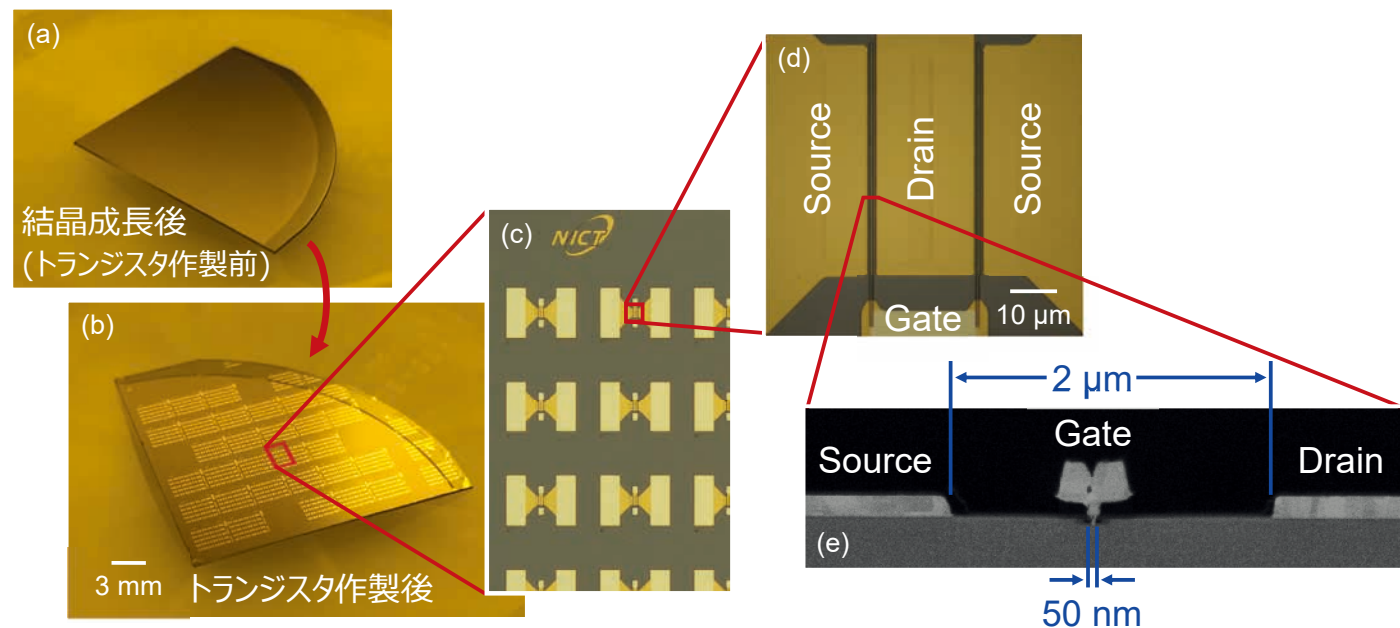


図1 MBE装置で結晶成長したInSb系トランジスタ作製用2インチ径エピウェハ

図2 (a) 結晶成長後(トランジスタ作製前)のエピウェハ。(b) トランジスタ作製後のウェハ。(c) 複数のトランジスタ(HEMT)が配列している領域の光学顕微鏡像。(d) ソース、ゲート及びドレイン電極の光学顕微鏡像。(e) HEMTの断面走査型電子顕微鏡像。ソース・ドレイン間の距離及びゲート長(L_g)はそれぞれ2 μ m、50 nmで設計寸法どおりである。

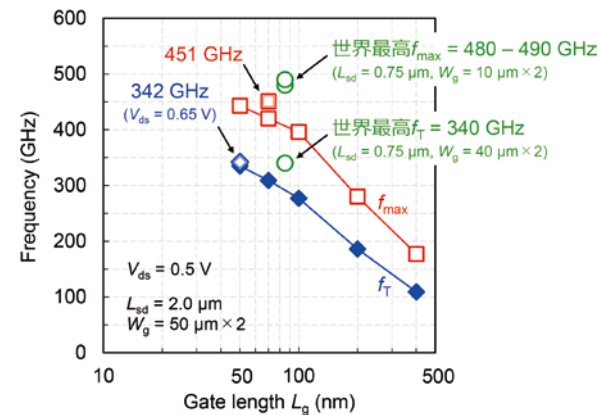
の作製工程は、NICTが開発・保有するInGaAsチャネルHEMTの作製技術をベースとしてInSbチャネルHEMTの作製に合わせて各工程を最適化しました。特に、①半導体結晶の表面保護、②電子ビーム露光用レジストの密着性向上、③微細なゲート電極フット部の機械的支持の三つの役割をもつ酸化シリコン(SiO_x)膜を抵抗加熱蒸着で成膜することで、一般的なプラズマ成膜中のプラズマダメージのないInSbチャネルHEMT作製に成功しました(図2)。

■InSb系トランジスタで世界最高レベルの高周波特性を達成

抵抗加熱蒸着 SiO_x 膜の採用により2016年に我々の研究グループとしては初めて300 GHzを超える f_T を、2017年にはバッファ層構造及びゲートリセス工程の改良により $f_T = 316$ GHzを達成しました。さらに、チャンネル層をInSbからGaInSbに変更し、チャンネル層中のシート電子濃度を高めることでシート抵抗を低減したエピウェハの結晶成長に成功し、2021年にはスペーサ層の薄膜化によってシート電子濃度をより高め、GaInSbチャネルHEMTにおいても300 GHzを超える f_T を達成することができました。

GaInSbチャネルHEMTの更なる高周波化のため、ダブルサイド・ δ ドーピング構造

を新たに導入し、ゲート・チャンネル間距離の短縮によるゲート電極直下の平均電子速度の向上と、バリア層の薄膜化により低下するチャンネル層中のシート電子密度を補償・増加させる効果を狙いました。この結果、 f_T はInSb系トランジスタの世界最高値340 GHzと同等の342 GHz(ゲート長 $L_g = 50$ nm)を、 f_{max} は同じくInSb系トランジスタの

図3 GaInSbチャネルHEMTの f_T 及び f_{max} の L_g 依存性。比較のため、他研究グループのInSb系トランジスタの f_T 及び f_{max} (世界最高値)を記載。

世界最高値480～490 GHzに肉薄する451 GHz($L_g = 70$ nm)をそれぞれ達成するとともに、 $L_g = 70$ nm以下では $f_T = 300$ GHz以上かつ $f_{max} = 400$ GHz以上を同時に実現できることを明らかにしました(図3)。

■今後の展望

InSb系半導体はテラヘルツ波帯で動作するトランジスタだけでなく、狭いバンドギャップをもつため、波長3～5、8～14 μ m(1 μ mは100万分の1 m)である中波長～長波長の赤外線を受光・発光できる素子にも応用できます。InGaAs系やGaN系の材料がもつバンドギャップではこれら波長帯の受発光素子を実現することは難しく、赤外

受発光素子と高い親和性をもつことはInSb系トランジスタならではの特長です。今後、結晶成長技術やトランジスタ作製技術の更なる改良とともにトランジスタ構造の最適化を図ることで(Ga)InSbチャネルHEMTの高周波特性の向上を目指します。また、InSb系材料を共通基盤とした、テラヘルツ波帯トランジスタと赤外受発光素子とを組み合わせた光・電子融合デバイスの実現についても模索します。

*単結晶ウェハ上に用途に応じた層構造を結晶成長したもので、ここでは特に、GaAs等のウェハ上に異種材料であるInSb系トランジスタ用の層構造を結晶成長させたもの

高周波デバイス研究開発に必要な計測評価技術
極低温プロービング測定及び3次元アンテナ放射パターン測定

渡邊 一世

(わたなべ いっせい)

未来ICT研究所
小金井フロンティア研究センター
超高周波ICT研究室
室長

大学院修了後、2004年にNICT入所、化合物半導体トランジスタ・MMICの高性能化、ミリ波・テラヘルツ波帯における高周波計測評価技術などの研究に従事。東京理科大学客員教授。博士(工学)。

近年、電子デバイスや集積回路（IC）はGaAsやInP、SiC、GaN及びSiなどの半導体だけでなく、様々な材質の基板上に作製されています。また電子デバイスやICの動作周波数が高く、また高速に動作するにつれて、デバイスの性能評価や回路設計のための高精度かつ正確な測定技術の確立が重要です。本稿では、高い周波数で動作するデバイス（高周波デバイス）の研究開発に必要な計測評価技術について紹介します。

■背景

NICTでは、周波数が高く、いまだ十分に利活用が進んでいないミリ波・テラヘルツ波帯（周波数：30 GHz～3 THz）などの周波数帯を“新たな電波・周波数資源”として開拓する技術開発を進めています。例えば、III-V族化合物半導体であるInGaAsやGaNをチャネル層（電子走行層）とする高電子移動度トランジスタ（High Electron Mobility Transistor: HEMT）などの高周波デバイスの高速・高周波化に取り組むとともに、その性能評価技術を開発しています。また、マイクロ波帯（周波数：3～30 GHz）やミリ波・テラヘルツ波帯での無線通信やセンシング、イメージングでは電子デバイスなどで発振・増幅された信号を放射・受信するために必要となるアンテナの性能評価技術の確立も進めています。

■極低温下での高周波デバイス性能の測定

我々の身の回りにある電子デバイスは室温環境下で動作しますが、絶対零度（0 K：ケルビン、 -273°C ）に近い極低

温下で動作可能なものもあります。極低温下では電子デバイスを構成する原子の振動（格子振動）が極限まで抑えられるため、デバイス内部の電子（キャリア）の走行を阻害する因子（フォノン散乱）が小さくなり、室温と比べて雑音特性に優れ、また電子の走行速度（電子移動度や電子飽和速度）が高くなり、低雑音かつ高利得・高感度が期待できます。また、近年注目されている量子コンピューターは超伝導デバイスが使われていることから極低温下で動作するため、極低温下での性能評価が必要不可欠です。

図1は高周波デバイスのDC特性や高周波（Radio Frequency: RF）特性を室温から極低温までの範囲（300～5 K、23～ -268°C ）で測定可能とする極低温DC/RFプロービングシステムです。一般的に、DC特性やRF特性の評価には半導体パラメータアナライザやベクトルネットワークアナライザ（Vector Network Analyzer: VNA）など高周波計測機器を使用するとともに、DC/RFプローブ針を用いてオンウェハで測定しますが、極低温下で測定するため、真空断熱チャンバー（図2）とターボ分子ポンプなどの真空排気機構を有しており、チャンバー内部にはDC/RFプローブ針や測定するデバイスをセットするサンプルホルダーがあります。なお、プローブ針やサンプルホルダーの位置は真空断熱チャンバーの外から操作可能です。

高周波デバイスのRF特性評価では、測定前にVNAの校正を行う必要があり、室温では市販されているインピーダンス標準基板（Impedance Standard Substrate: ISS）上にある50 Ω 抵抗体などを用いますが、極低温下では、この50 Ω 抵抗体の

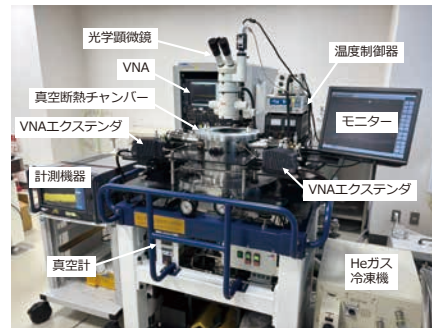


図1 極低温DC/RFプロービングシステム（測定温度：300～5 K）

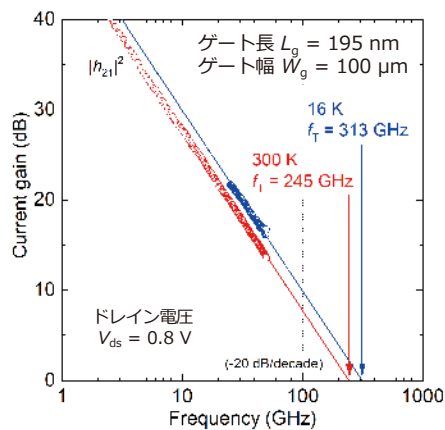


図4 極低温DC/RFプロービングシステムで測定したInP基板上InGaAsチャネルHEMTのRF特性（測定温度300 K及び16 K）

抵抗値は50 Ω ではなくするため、正確な50 Ω を示す新たな基準として、NICTが持つ高周波デバイス作製技術を用いて、InP基板上にISSを設計・作製しました（図3）。このISSには50 Ω 抵抗体の代わりに、50 Ω コプレーナ線路（Coplanar Waveguide: CPW）を作製し、16 Kに冷却したHEMTのDC及びRF特性を評価しました。図4はInP基板上に作製したInGaAsチャネルHEMT（ゲート長 $L_g = 195\text{ nm}$ 、ゲート幅 $W_g = 100\text{ }\mu\text{m}$ ）のRF特性（ドレイン・ソース電圧 $V_{ds} = 0.8\text{ V}$ ）です。300 Kから16 Kに冷却することによりドレイン電流量は増加し、16 Kでの電流利得遮断周波数（ f_T ）は313 GHzを示し、室温での $f_T = 245\text{ GHz}$ と比べて約28%の向上を確認できました。

■ミリ波・テラヘルツ波帯でのアンテナ放射パターン測定

図5はミリ波・テラヘルツ波帯の信号を放射・受信するために必要となるアンテナの性能評価、特に利得や放射指向性

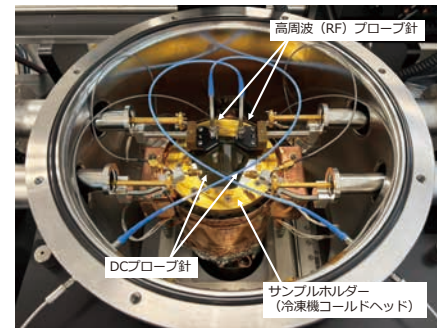


図2 真空断熱チャンバー内のDC/RFプローブ針及びサンプルホルダー

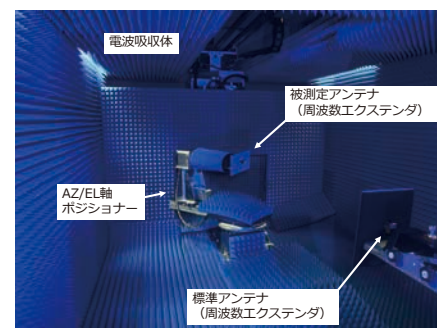


図5 3次元アンテナ放射パターン測定システム（小型電波暗室内）

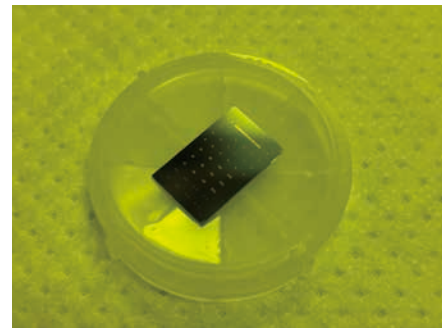


図3 極低温下でのRF特性評価に使用したNICT製InP基板上インピーダンス標準基板（ISS）

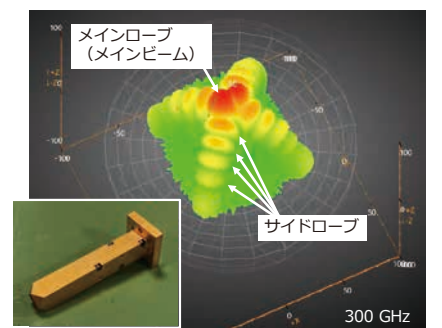


図6 220～330 GHz帯角錐ホーンアンテナ（左下）の3次元放射パターン（測定周波数300 GHz）

■高周波デバイス計測評価技術の応用

高周波デバイスは、ミリ波・テラヘルツ波帯だけでなくマイクロ波帯での無線通信やセンシング、イメージングなどにも使用されるため、更なる高性能化だけでなく多機能化などに関する研究開発は不断に続けられ、高周波デバイスの計測評価項目も多岐にわたるものと考えられます。今回紹介した計測評価技術は、スマートアンテナ技術の一つであるMIMO（Multiple-Input and Multiple-output）アンテナの性能評価やアンテナレドームなどの誘電体材料定数の測定に利活用されるとともに将来の量子コンピューター用回路デバイスの特性評価に利活用されと考えています。

集積型マイクロコムのデバイス作製と安定化技術



古澤 健太郎

(ふるさわ けんたろう)

Beyond5G 研究開発推進ユニット
テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
主任研究員

大学院修了後、University of Southampton、理化学研究所、キャノン株式会社、東北大学を経て、2014年NICT入所。非線形光学、光集積回路、イオントラップデバイスなどに関する研究に従事。Ph.D(工学)。



鐵本 智大

(てつもと ともひろ)

Beyond5G 研究開発推進ユニット
テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
主任研究員

大学院修了後、IMRA America Inc. Post-doctoral research scientist、Research scientistを経て、2021年NICTに入所。集積フォトニクス、非線形光学、低位相雑音テラヘルツ波発生などに関する研究に従事。博士(工学)。

N ICTでは、テラヘルツ周波数において無線通信や高感度計測を実現するために、基準信号を生成する手段として、マイクロコムの研究をしています。低消費電力で周波数安定性の優れたマイクロコムを低コストで供給できるようになると、B5G / 6Gで期待されるサブテラヘルツ周波数帯（0.1～1 THz）無線通信の高効率化、高速化に寄与できるだけでなく、光通信網を介して遠隔の通信端末間の正確な時刻同期を実現する上での重要なデバイスになると考えられています。

■マイクロコムに要求される技術的課題

マイクロコムとは、微小（マイクロ）光共振器の非線形光学効果を用いて発生する光周波数コムのことを意味します。一般に、異なる色の光はほとんど相互作用しないのですが、光の強度が強くなると、物質を介して相互作用するようになります。高強度の光で非線形光学効果を効率的に誘起し、異なる色の光のエネルギー交換を可能にすることが、光周波数コムと呼ばれる光周波数軸上に等間隔に並んだ櫛形状のスペクトルを有する光源を生成するための主要なメカニズムです。

光周波数コムは2005年、2018年、2023年のノーベル物理学賞に寄与した技術で、かつてはフェムト秒オーダーまで時間的に圧縮された光パルスが作り出す高強度電界を利用していました。2000年以降、極めてQ値^{*1}の高い小型な光共振器を作成する技術が発展し、数ミリ角のチップ上に作製された微小光共振器から周波数コムが発生できるようになりました。Q値が高い共振器では、一度共振器に光子が入ると何周も周回するため、

光のエネルギーが蓄積されます。つまり、連続的に光子を送り込んでいれば、光共振器の中には沢山の光子が閉じ込められ、結果的に非線形光学効果を生じるに十分な高強度電界が光共振器内に生成されるというわけです（図1）。

マイクロコムは従来技術を単に小型化できるというだけではなく、コムの周波数間隔を数百 GHzにすることができます（従来の光周波数コムでは、この周波数間隔は10 MHz～10 GHzでした）。つまり、マイクロコムのビート信号（光の周波数差から生じる“うなり”）を高速フォトダイオードで検出すれば、数百 GHzの電気信号を発生することができるわけです。しかも、従来の電子デバイスで発生する信号を^{りょうが}凌駕する低ノイズ特性を得ることができることが示されています。

■集積型マイクロコムのデバイス作製

過去30年間で光集積回路の研究開発はめざましく発展しました。特に、シリコンを光導波層とするシリコンフォトニクス光集積回路は、半導体電子集積回路で培われたデバイス加工装置・技術を転用することが可能で、大量生産に適しており、例えば光トランシーバーに用いられてデータセンターの高機能化と低消費電力化の両立に役買っています。我々は、このシリコンフォトニクスと親和性が良く、高Q値光共振器の作製に適する窒化シリコンをコア層とする光集積回路技術を用いて、高Q値微小光共振器を作製しています（図2）。半導体デバイス作製工程では、成膜、リソグラフィによるパターンマスクの形成、ドライエッチングによるマスクパターンの転写といったプロセスを繰り返して3次元的なデバイ

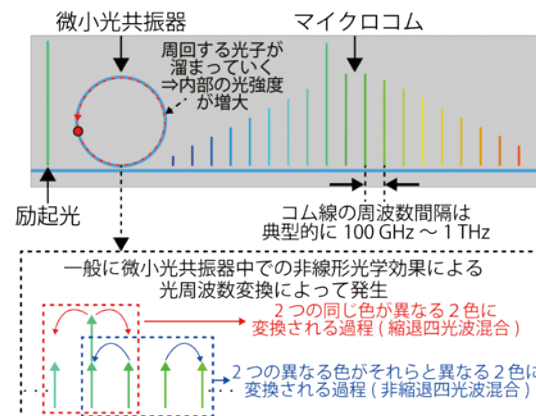


図1 マイクロコムの発生原理の模式図

ス構造を作り込みますが、光デバイスは電子デバイスに比べて加工する構造サイズが相対的に大きい一方で、低損失導波路や高Q値光共振器を作製するためには、加工形状をナノメートルオーダー（1 mmの100万分の1の長さ）で極めて滑らかに加工することが要求されます。これは、屈折率が不連続な（例えばコアとクラッド）界面における光の散乱損失を低減する必要があるためです。また、デバイス構造を構成する各層の膜厚が数ミクロン（電子デバイスの数十～1,000倍）に達することもあるため、膜応力による基板の歪^{ひずみ}などを注意しながらプロセスを設計する必要があります。NICTでは、独自の成膜法による低応力な窒化シリコン膜を用いて、作製プロセスを簡便化しつつ、同時に高Q値化を実現するためのプロセス検討を行っています。

■集積型マイクロコムの安定化

無線通信の信号発生等に利用される発振器の発振周波数は、熱的・力学的な揺らぎ等によって時間的に一定ではありませんが、異なる機器間で安定に通信するためには、それぞれの機器が参照する周波数をそろえる必要があります。また、周波数の逆数から導かれる時間の同期を行う上でも機器間の基準周波数の同期は重要となります。そのため、位相同期ループ等を用いた発振器間の周波数同期が行われています。マイクロコムの安定化とは、マイクロコムの各コム線の光周波数やコム線間の周波数差（無線信号として取り出せる周波数）を安定な周波数基準に同期することを指します。特に、

光周波数コムの特性を有効に利用した光周波数分割という安定化技術は、コム線間の周波数揺らぎ（位相雑音）を大幅に抑制できるため、超低位相雑音テラヘルツ波発生に活用できます。NICTでは、マイクロコムの低雑音化技術とともに、安定化をより簡易かつ拡張性が高い形で実現する技術の開発を進めています。その一つが光注入によるマイクロコムの安定化です。図3に2波長の参照光をマイクロコムに注入した際の位相雑音の測定結果を示しますが、注入後のマイクロコム雑音が参照雑音によく一致していることが分かります。これは、注入した2波長において非線形光学効果の利得が高く、注入した2波長にマイクロコムのコム線波長が引き込まれるためです。この過程を連続的に用いることで、複数のマイクロコムを同一の基準信号に簡便に同期させることが可能と考えています。

■今後の展望

マイクロコムは、実生活で利用できる時間と周波数の精度を大きく向上する潜在力がある技術であり、それによる通信の安定性向上や位置等の計測制度の向上が期待されています。マイクロコムの技術的な課題の一つに要素技術のチップレベルでの集積化がありますが、ここ3年ほどで、レーザと微小光共振器を共集積したチップでのマイクロコム発生やその

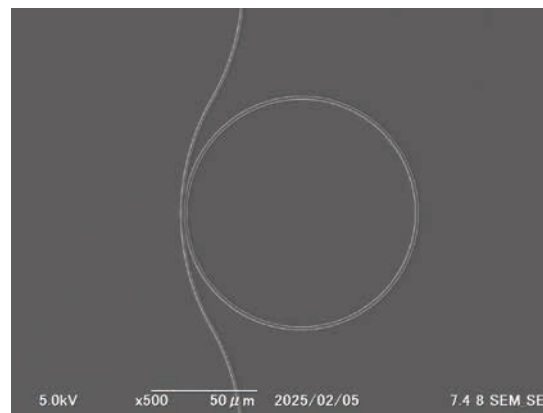


図2 窒化シリコンリング共振器の電子顕微鏡像

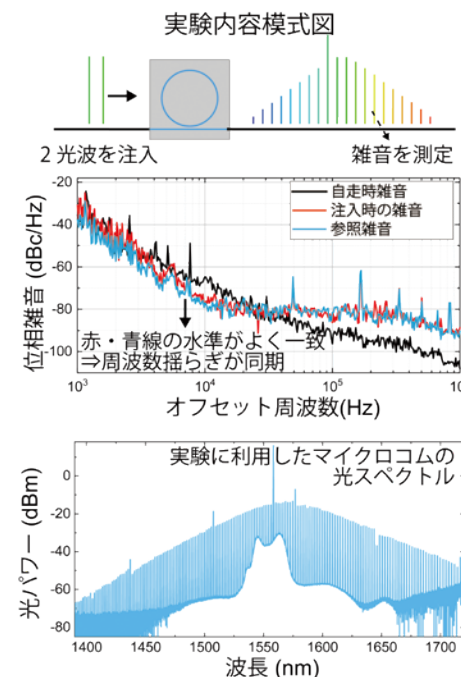


図3 マイクロコムの注入同期実験

応用が研究レベルで実証されており、それに続く形で要素技術を共集積したチップを提供するファウンダリ^{*2}が登場しつつあります。また、一部のディープテック系ベンチャー企業によってマイクロコムを利用した小型な光時計（光波帯の原子の遷移周波数を参照する時計）が開発されており、現在のGPS測位より位置精度が一桁以上高く網羅範囲が広い測位等への活用が検討されています。NICTにおいても、より高精度な周波数が社会インフラとして手軽に活用できる未来に向けて尽力していきます。

*1 光共振器の性能指標。Q値が高い程、低損失で共振器中での光子の滞在時間が長い。
*2 元々は半導体チップ製造工場のことを指すが、ここでは外部から委託を受けて半導体チップ製造を行う製造専門の企業を意味している。

量子カスケードレーザの最近の研究



安田 浩朗

(やすだ ひろあき)

Beyond5G研究開発推進ユニット
テラヘルツ研究センター
テラヘルツ連携研究室
主任研究員

大学院修了後、株式会社東芝を経て、1997年郵政省通信総合研究所（現NICT）入所。以来、ミリ波帯・テラヘルツ帯半導体デバイスの研究開発に従事。博士（工学）。

量子カスケードレーザ（Quantum Cascade Laser：QCL）は、テラヘルツ帯から中赤外領域の光を放射する半導体レーザです。テラヘルツQCL（THz-QCL）は、高速大容量無線通信などでの利用が期待されています。しかし、THz-QCLの室温動作は実現しておらず、更なる性能向上が必要となっています。我々は従来のGaAs系^{*1}と異なる材料系を用いて性能向上を図ることを考え、その第一歩としてInGaSb材料系^{*2}QCL構造をレーザ発振のために欠陥を少なく均一に結晶成長する研究開発を進めています。

■背景

サブテラヘルツ帯（0.1～1 THz）やテラヘルツ帯（1～10 THz）の周波数領域は、大容量無線通信、分光測定、イメージング測定などでの利用が期待されます。幅広く実用されるにあたって小型高出力で室温動作可能な半導体信号源が求められます。サブテラヘルツ帯ではトランジスタなどの電子デバイスの研究開発が進んでいますが、1 THz付近では十分な出力を得るには至っていません。一方、テラヘルツ帯ではQCLなどの光学デバイスの研究開発が行われています。THz-QCLでは出力パワーは得られますが、液体窒素等による冷却が必要であり、動作温度の向上が課題となっています。

THz-QCLの動作原理を図1を用いて説明します。QCLでは、量子井戸とバリアから成る半導体多重量子井戸構造（図1では3個の量子井戸と3個のバリアで構成される）が多数回繰り返されて、両端に適切な電圧が加えられます。図1のサブバンド準位2にある電子は、縦光学（LO）

フォノンと呼ばれる格子振動によってサブバンド準位1に散乱されます。その電子は共鳴トンネル効果によって隣の周期のサブバンド準位3に注入されます。その結果、サブバンド準位3中の電子がサブバンド準位2中の電子よりも多くなり反転分布^{*3}が形成され、電子が準位3→2間を遷移する際に光（電磁波）が放出され、レーザ発振が実現されます。レーザの周波数は、レーザ上準位3とレーザ下準位2の間のエネルギー差で決まります。

これまでのTHz-QCLでは、材料系として量子井戸にGaAs、バリアにAlGaAs^{*4}用いられてきました。このGaAs材料系を用いて、261 Kの最高動作温度（周波数は4 THz）が報告されました。ただパルス動作にとどまり、室温動作・連続波発振が課題となっています。

■InGaSb系テラヘルツ量子カスケードレーザ構造の結晶成長

THz-QCLの性能を更に向上させる方法として、GaAs系に代えて別の材料系、例えばGaN系、GaSb系を使用することが考えられます。材料系によりLOフォノンエネルギー、電子の有効質量などの物性値が変わります。先に述べたようにLOフォノン散乱はレーザ下準位2から準位1に電子を動かし反転分布を増やす役割を果たしますが、温度が上昇するとレーザ上準位3から下準位2へのLOフォノン散乱も生じ反転分布が減ります。また、LOフォノン散乱は、レーザ準位のブロードニングにも影響します。電子の有効質量が異なると、1周期の厚さを変更することになるので、電界強度が変わりますし、量子井戸とバリアとの界面のラフネスが性能に及ぼす影響も異なります。図2に示

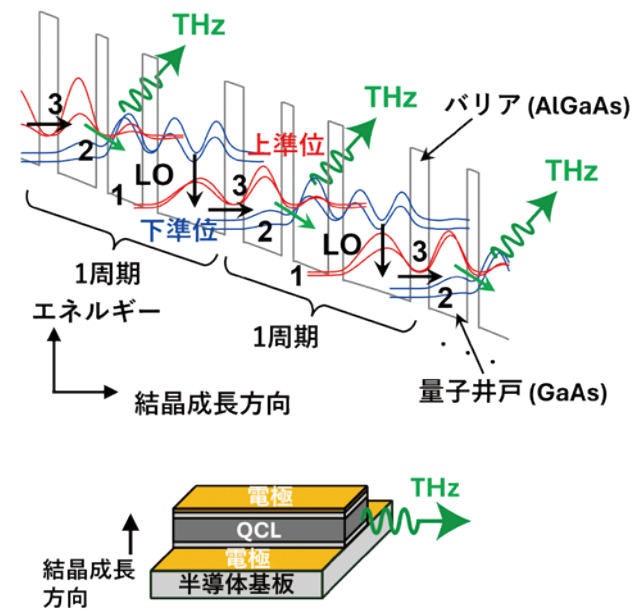


図1 THz-QCLの伝導帯中のサブバンド構造

すように、どの材料系も一長一短があります。そこで、電子と格子振動等との相互作用を量子力学的に取り入れた非平衡グリーン関数法を用いてQCLの電子輸送シミュレーションを行いました。レーザ利得を計算すると、GaSb系が一番良いとの結果を得ました。ただ、GaSbではΓバレーとLバレー間のエネルギー差は84 meVしかなく、QCLに用いた場合、室温ではΓバレー中にほとんど電子が存在しなくなることがわかりました。In比が0.2程度以上のInGaSbではバレー間のエネルギー差が十分大きくなるため、量子井戸にGaSbではなくInGaSbを用いることにしました。シミュレーションではInGaSbを用いても利得はGaAs系よりも向上しました。そこで量子井戸にInGaSb、バリアにAlInGaSbを用いたTHz-QCL構造を分子線エピタキシー法（MBE）^{*5}を用いて成長することにしました。

InGaSb系THz-QCL構造を成長するにあたって、InGaSbと格子整合する半導体基板が存在しないという問題があります。そこで、GaSb基板上にIn比を0近くから徐々に連続的に増やすInGaSb組成傾斜バッファ層を成長し、その上にInGaSb層を成長しました。基板温度を最適化し、また基板上に酸素関連の不純物が生成されないよう注意を払いました。その後、InGaSbと格子整合するように

材料系	LOフォノンエネルギー [meV]	電子の有効質量 [m_0]	熱励起LOフォノン散乱*	準位のブロードニング*	電界強度*
GaAs	36	0.063	中	中	中
GaN	92	0.2	小	大	大
GaSb	30	0.041	大	小	小

図2 各種の材料系で作製するTHz-QCLの特徴 *小の方がQCLの性能が良い

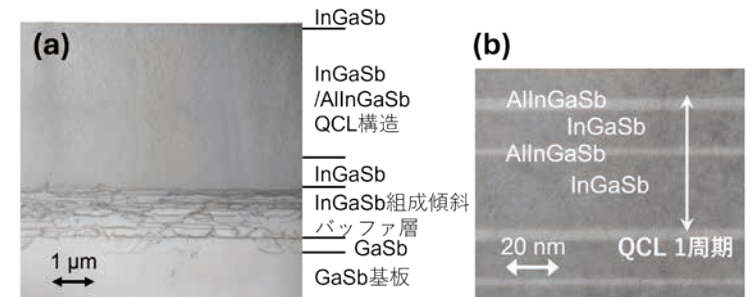


図3 InGaSb/AlInGaSb THz-QCL 構造の断面透過型顕微鏡写真 (a)全体, (b)QCL 1周期分

AlInGaSbのAl比、In比を選び、THz-QCL構造を3 μm の厚さで成長しました。なおTHz-QCLを発振させるには、10 μm 程度のQCL領域の厚さが必要になります。厚さ3 μm のTHz-QCL構造の場合、1周期の厚さが約50 nmのQCL構造を60回繰り返して成長しました。

図3は、MBE成長したQCL構造の断面透過型電子顕微鏡（TEM）画像を示します。広範囲を観察すると、InGaSb組成傾斜バッファ層には高密度の転位が見られましたが、その上のInGaSb層には貫通転位はほとんど確認されませんでした。THz-QCL領域における貫通転位密度はQCL領域の厚さによらず約 $1 \times 10^7/\text{cm}^2$ でした。1周期を拡大してみると、1周期の各層はほぼ均一で、界面は平坦でした。今後、良質なQCL領域を更に厚く成長し、THz-QCLの発振を目指します。

■中赤外量子カスケードレーザの性能向上

非平衡グリーン関数法による動作シミュレーションは中赤外QCLに対しても行うことができます。中赤外QCLでは高出力・室温動作が実現されており、微量ガス分析、リモートセンシング等の分野で利用が進んでいます。ところでアンモニアは、従来から肥料の原料として重要な化学物質でしたが、将来のエネルギー

源である水素のキャリアとして広範囲に利用されることが予想されています。アンモニアガスは波長10 μm の赤外線を吸収するので、QCLから波長10 μm の赤外線を放射し、それを被測定気体を通した後、受光器で検出すれば気体中のアンモニアガス濃度を知ることができます。量子井戸にInGaAs、バリアにInAlAsを用いた10 μm 帯QCLについて非平衡グリーン関数法によるシミュレーションを行い、特にレーザ下準位から電子を引き抜く構造を最適化しました。その結果、これまで用いていた構造と比べて出力パワーを2倍以上にし、消費電力を下げることに成功しました。

■今後の展望

InGaSb系THz-QCLの発振に向けて、厚さ10 μm 程度の欠陥の少ないQCL領域の成長を試みています。THz-QCLの室温動作が実現されれば、テラヘルツ帯周波数領域の利用が大きく進むものと考えます。

*1 GaAsをベースにした半導体材料の材料系。量子井戸にGaAs、バリアにAlGaAsを用いる。
*2 量子井戸にInGaSb、バリアにAlInGaSbを用いる材料系。
*3 エネルギーの低い準位に存在する電子の数よりもエネルギーの高い準位に素材する電子の数の方が多い状態。レーザ発振に必要とされる。
*4 アルミニウムガリウム砒素。組成式は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < x < 1$)
*5 高真空中で分子のビームを基板表面に照射し、基板と一定の方位関係をもった結晶を堆積させる。

次世代の超高速無線通信を実現する 共鳴トンネルダイオード



Cito Michele

(チト ミケーレ)

未来ICT研究所
小金井フロンティア研究センター
超高周波ICT研究室
研究員
博士（工学）

●経歴
1991年 イタリア生まれ
2018年 パーリ工科大学（イタリア）卒業
2022年 グラスゴー大学（英国）にて博士号取得
2023年 NICT入所

一問一答

Q 研究者になってよかったことは？

A 科学はこの世界を探索・理解し、より良くする無限の可能性を与えてくれます。

Q 研究者志望の学生さんにひとこと

A 理工学の勉強は研究の基礎となりますが、創造性と想像力もイノベーションには必要です。大きなことでも小さなことでも構いませんから、旅したり、趣味を追求したり、アートに親しんだり、自然と触れ合ったりする機会を大切にしてください。

Q 最近ハマっていること

A 日本の文化に没頭しています（料理、伝統、武芸など）。神社仏閣を訪ねたり、見つけた猫の写真を撮ったりして楽しんでいます。



無線ネットワークを高速道路に例えてみますと、通信データは高速道路上を走行する車のようなものです。ラッシュアワー時に高速道路が渋滞するのと同様に、今日の無線ネットワークは、SNS、ゲーム、IoTデバイスなどに日々使用される膨大な量のデータによってひっ迫しつつあります。私の研究は、テラヘルツ（THz）と呼ばれる電磁波を用いて、より高速で幅の広い「データハイウェイ」を開発することを目指しています。

テラヘルツ波の導入は、いわば高速道路の車線を増やし、普通車をレーシングカーに置き換えるようなものです。現在の無線通信技術よりもはるかに高速に大量のデータを伝送することができます。テラヘルツ波の実用化を目指し、私は共鳴トンネルダイオード（Resonant Tunneling Diode: RTD）と呼ばれるデバイスを研究しています。RTDは、テラヘルツ波を発生するナノスケールの電子デバイスであり、新しい形態のデータハイウェイ構築に利

用できます。しかし、テラヘルツ波の発生には先端材料を必要とするため、容易ではありません。

これら材料の内部では、電子（e⁻）と呼ばれる微小な「粒子」が運動しており、デバイス動作に不可欠な役割を担っています。電子は、混み合った場所を通り抜けようとする人々に例えることができます。ほかの人や部屋に設置された机や椅子などの家具にぶつかることがあります。このようなことが起きると、電子は速度の低下やエネルギーを損失します。この損失がRTDの効率的な動作を妨げるのです。

私の研究では、電子が互いに衝突したり、障害物にぶつかったりせず、より効率よく移動できるように、材料やRTDの設計を改良することに取り組んでいます。損失を最小限に抑えることで、RTDはより高出力で安定したテラヘ

ルツ波を発生できます。

RTD技術の発展は、ストリーミングやゲームのあり方を変え、私たちの生活に影響を与える可能性があります。また、医療用画像イメージングやセキュリティシステムなど、他の分野にも応用できるかもしれません。

新しいデータハイウェイを構築することで、通信効率や速度を向上させ、デジタル社会において増大する高速通信の需要に対応することができるのです。

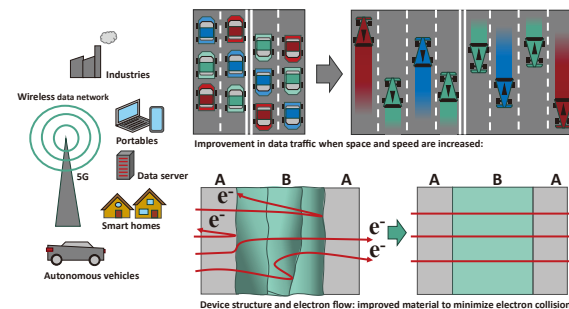


図 無線ネットワークの利用例（左）、データハイウェイの強化（右上）、電子の衝突を減らすデバイス構造・材料（右下）の概略図

【起業家甲子園・起業家万博】に全国の起業家が集合！ 更なる進化を目指す地域発ICTスタートアップの魅力

デプロイメント推進部門 アントレプレナー支援室

アントレプレナー支援室では、総務省とともに、地域発ICTスタートアップの創出による地域課題の解決や経済の活性化を目的に、ICTを活用した事業を志す学生等の次世代のICT人材の発掘・育成及び地域発ICTスタートアップの事業拡大等のサポートを行う「全国アクセラレータ・プログラム」を実施しています。

各地域の「起業家応援団」* が開催する連携大会において、ベンチャーキャピタリスト等のICTメンター陣とともに有望な起業家やその卵を掘り起こし、同メンターによるメンタリングによりビジネスプランをブラッシュアップします。その成果発表の場として、「起業家甲子園」（学生対象）、「起業家万博」（若手起業家対象）を行います。令和6年度は、同7年3月13・14日に、丸ビルホール&コンファレンススクエアにて開催し、「起業家甲子園」は110名、「起業家万博」は103名の関係者のご参加に加え、リアルタイム配信でも多くの方々にご覧いただきました。

「起業家甲子園」は14年度目、「起業家万博」は23年度目の開催となります。本大会の優秀者には総務大臣賞、NICT理事長賞（表参照）、またパートナー企業特別賞等が授与されます。今年度は、認知症や人の生活の質（QOL）に着目するなどライフサイエンス分野に関わるテーマが多くあり、また、技術に関しては、センサーやロボット、AIなどディープテックから生まれたビジネスプランも多く展開されました。

起業家甲子園出場者からは、「メンタリングを受けたことで以前と比べ物にならないくらいブラッシュアップされ、大きく成長できた。」「メンターからの親身なサポートに加え、プロダクトやマーケティングなど様々なことを学ぶことができた。」「同じような道を歩む友人たちや起業をサポートしてくれる団体や個人のつながりによって、起業意欲が高まった。」といった声がありました。学びや成長を後押しするサポートに加え、起業意欲や将来について考える良い機会になったようです。

令和6年度の総務大臣賞とNICT理事長賞

	起業家甲子園 （3月13日 ㊟）	起業家万博 （3月14日 ㊟）
総務大臣賞	「超小型人工衛星を活用した軌道上実証サービス」 （Kick Space Technologies／九州工業大学）	「次世代産業の基盤をつくる、360°球体移動プラットフォーム「TriOrb BASE」」 （株式会社TriOrb）
NICT理事長賞	「力触覚で誰でも簡単操作！汎用ロボットが変える水産業」 （Real Touch／北海道大学大学院）	「人のQOL向上に貢献するマイクロサージャリー支援ロボットの開発」 （F.MED株式会社）

起業家万博出場者からは、「他社のピッチが刺激になった。」「ネットワークを広げるいい機会になった。」「実績、認知、信用の向上につながった。」「的確なメンタリングが自社のビジネスを見つめなおす大変貴重な機会になった。」といった感想をいただきました。本イベントを契機に、一層ビジネスプランがブラッシュアップされ、各社の成長と事業発展に寄与したようです。また、観覧者からは、「学生の取組について知ることができた。」「発表内容のレベルが非常に高く、見応えがあった。」「ICTに係る国内の有力なスタートアップを知ることができた。」「起業家万博の成長が著しく、より説得力のあるプレゼンを展開しているように思う。今後はグローバル展開と地域課題解決にも期待したい。」といった声が聞かれました。

出場者の皆さまには、今後、事業化支援として、大規模展示会への出展機会の提供等のサポートを行います。

アントレプレナー支援室では、これからも各地域の自治体・団体等との一層の連携によりスタートアップのサポート体制を強化し、地域発ICTイノベーション・エコシステム作りを推進していきます。

NICTのスタートアップ支援につきましては、下記URLをご覧ください。

<https://www.nict.go.jp/venture/>

* 起業家応援団：各地域で連携大会を企画・運営するほか、地域のスタートアップコミュニティの核として同地域におけるスタートアップ・エコシステム形成に向けた取組を実施している個人、団体等



起業家甲子園の参加者、前列中央は総務大臣賞受賞者、NICT理事長賞受賞者



起業家万博総務大臣賞受賞者（中央）、川崎総務大臣政務官（左）、最優秀メンター（右）

of Information and Communications Technology OPEN HOUSE 2025 National Institute of Information and Communications Technology

施設一般公開イベント

NICT オープンハウス 2025

6.20(Fri.) → 6.21(Sat.)

6.20 ビジネス向け

- ≫ 基調講演・特別講演
- ≫ 研究者によるプレゼンテーションタイム

6.21 学生・一般向け ※小学生以上対象

- ≫ NICT探検ツアー
- ≫ 学生によるポスターセッション
- ≫ 南極ゆうびん・南極コーナー

両日開催 ≫ 技術展示

参加費無料・事前申込制
(オンライン配信は事前申込不要)

NICT オープンハウス 2025

お問合せ先 国立研究開発法人情報通信研究機構「NICTオープンハウス2025」事務局 Mail: open-house-2025@ml.nict.go.jp

NICTも 大阪・関西万博に参加します！

4月13日から10月13日に、大阪・関西万博が開催されます。NICTも様々な形で参加する予定ですので、ぜひ、お越し下さい。



ぜんぶのいのちと、
ワクワクする未来へ。



Beyond 5G
ready showcase

◆ Beyond 5G ready ショーケース

5Gの次世代通信技術であるBeyond 5Gの実現により、未来の社会・生活がどのように変わるのか映像・体験・展示の3つのゾーンを通して紹介します。

会場催事	
期間	2025年 5月26日(月)～6月3日(火)
会場	EXPOメッセ「WASSE」《North》
バーチャル催事	
展示期間	2025年 5月26日(月)～10月13日(月)
実施環境	WEB上にて実施

◆ 宇宙の窓

【河森正治テーマ事業プロデューサー】

～ほぼリアルタイムに生成される
超高解像度の地球を宇宙から見てみよう～
人間の感覚器官では捉えられない時空スケールの
いのちの輝きを巨大ビジョンに映し出す

期間 万博全会期 2025年4月13日(日)～10月13日(月)
会場 シグネチャーゾーンX06 いのちめぐる冒険 (河森館)



その他のNICTの取組

- MP-PAWRの観測データを用いた高精度気象予測情報の提供
- 言語の壁から開放された万博体験の実現
- 万博向けサイバー防御講習「CIDLE」(シードル)の提供
- 万博期間中の万博運営に関わるサイバーセキュリティ監視対応

◆ 起業家甲子園・起業家万博関連イベント

Colors for Future Powered by NICT
～ICTスタートアップが魅せるちよっと先の未来～
地域発ICTスタートアップの展示やピッチイベント、
ICTメンター等によるセミナーを実施予定です。

期間 2025年9月16日(火)～9月22日(月)
会場 Future Life Experience

