

レーザー研究室紹介



国立研究開発法人情報通信研究機構

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

代表者：関根 徳彦

所属：室長

所在地：〒184-8795

東京都小金井市貫井北町 4-2-1

<https://www.nict.go.jp/index.html>



◆ 1. 機構紹介

国立研究開発法人情報通信研究機構 (National Institute of Information and Communications Technology (NICT)) は、総務省が所管する情報通信分野を専門とする我が国唯一の公的研究機関です。NICT 憲章¹⁾にもあるように、情報通信技術の研究開発を、基礎から応用まで統合的な視点で推進し、同時に、海外を含めた大学や産業界、研究機関と密接に連携し、研究開発成果を広く社会へと還元することにより、イノベーションを創出することを目指しています。NICT では、重点的に研究開発を行う以下の重点5分野：

- ・電磁波先進技術分野
- ・革新的ネットワーク分野
- ・サイバーセキュリティ分野
- ・ユニバーサルコミュニケーション分野
- ・フロンティアサイエンス分野

と、政府戦略を踏まえて、戦略的に推進すべき研究4領域(戦略4領域)：

- ・Beyond 5G
- ・AI
- ・量子情報通信
- ・サイバーセキュリティ

の体制で研究開発を進めています (Fig. 1)。

このような体制のもと、研究活動は、多くの拠点²⁾で行われていますが、大きな拠点としては、東京都小金井市(本部)、けいはんな学研都市、兵庫県神戸市、神奈川県横須賀市が挙げられます(筆者は小金井本部にいます)。筆者の研究室は、戦略4領域の Beyond 5G の項目に関連した Beyond5G 研究開発推進ユニットのテラヘルツ研究センターの下に配され、テラヘルツ波利用の基礎技術の確立から実用システムへの応用と、テラヘルツといてもかなり幅広い分野をカバーした研究室になります(次



Fig. 1 Four strategic fields, five priority R&D areas, and open innovation in NICT.

節で具体的な活動例を紹介します)。

採用について、NICT は定期的に採用活動を行っており、研究系では研究職と研究技術職の2種、雇用形態によってパーマネント職員や有期雇用職員、テニュアトラック研究員があります。有期雇用職員は随時行っていますが、パーマネント職員は毎年2~3月ごろに公募がかかります(9月公募もあります)。また、博士号取得者のみでなく修士卒の方も幅広く募集していますので、ご興味を持って頂ければ幸いです³⁾。

◆ 2. テラヘルツ連携研究室紹介

テラヘルツ連携研究室は、その名のとおりに(本研究室が本務となる人もいますが)電磁波研究所やネットワーク研究所、未来 ICT 研究所などの下にある研究室の方も兼務で所属しており、分野横断的な組織としてテラヘルツ

¹⁾ <https://www.nict.go.jp/about/charter.html>

²⁾ <https://www.nict.go.jp/about/location.html>

³⁾ 詳細は <https://www.nict.go.jp/employment/index-top.html> をご覧ください。

技術の研究開発を推進しています。テラヘルツ無線通信やテラヘルツセンシングといった研究課題では、電子デバイスがベースとなるシステムを思い浮かぶ方も多いかもしれませんが、レーザーのようなフォトンクス技術を用いた研究開発も行っていますので、ここではそのようなトピックスを2つ挙げたいと思います。

・小型高安定マイクロ光周波数コム

テラヘルツ帯の電波を用いた大容量無線通信や高感度計測を行う際、安定な基準信号は非常に重要です。しかも、それが小型にできれば、皆さんが使える便利な信号源ができると考えています。我々は、それが実現可能なデバイスとして窒化シリコンから成る微小共振器から発生させる光周波数コム(マイクロコム)に注目し、その作製から応用まで見据えた研究を行っています。光周波数コムはスペクトルが等間隔に並んだものですが、コム生成に必要な非線形光学効果を引き起こすプラットフォームである窒化シリコンは、シリコンフォトンクスとの親和性が高いため、集積化にも向いています。

窒化シリコンリング共振器(Fig. 2)では、低い励起パワーでマイクロコムを発生させるため、高いQ値が必要となります。我々は、独自の成膜方法と作製プロセスの改善により 10^6 台のQ値を得ることができており、実際に光周波数コム発生に成功しています。

従来の光周波数コムと比較して、マイクロコムは周波数間隔を数百GHzに広げられるという特徴を持ちます。そのため、そのビート信号を高速フォトダイオードで変換することで、従来の電子デバイスを凌駕する超低ノイズ特性を持つ数百GHzの電気信号を発生させることが可能です。上記の特徴により、このデバイスは実社会で利用できる時刻と周波数の精度を大きく向上させる潜在能力を持つため、通信の安定性向上や位置等の計測精度の向上が期待されています。

・リュードベリ原子を用いた精密テラヘルツ電界強度センサー

テラヘルツ帯の電波の実社会での利用を考えた際、その周波数や電力を正確に知る必要があります。周波数に

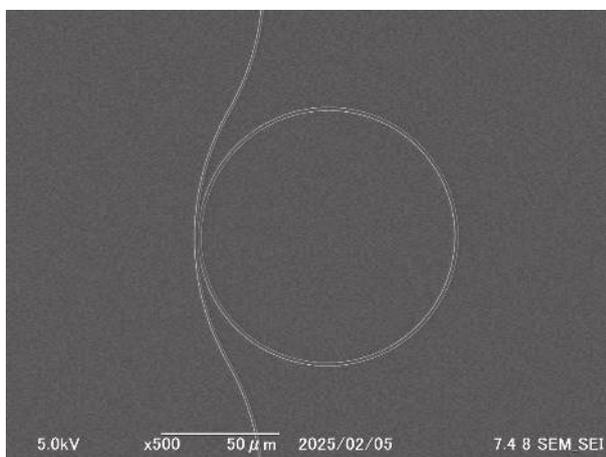


Fig. 2 SEM image of a silicon nitride ring resonator.

ついては、光格子時計やイオントラップ光時計などの技術により 10^{-18} を切る不確かさが得られていますが、電力についてはそこまでの精度が出ていないのが現状です。さらにテラヘルツ帯という(電波という観点で見ると)高い周波数での電力計測は未成熟な状況にあります。このような課題を解決するため、我々は光技術を用い、SI単位系に直接基づいた電界強度の決定と高感度・高速計測の実現を目的として、リュードベリ状態のアルカリ金属原子を利用した革新的な量子型電界強度センサーの研究を行っています。

リュードベリ原子は、原子核の周りの1つの電子が主量子数の大きな軌道に励起されているため、隣接する準位間の電気双極子モーメント μ が大きく、電磁波との相互作用が強いという性質を持っています。そのため、リュードベリ原子の2準位と共鳴する電界強度Eの電磁波が存在するとき、この原子は光子と強く結合したドレスト状態になり、それぞれの準位はラビ周波数 $\Omega_R = \mu E/\hbar$ だけ離れた2つに分離します。双極子モーメントが既知ならば、分裂した準位の周波数間隔(Ω_R)を計測することで、物理定数であるプランク定数 \hbar に基づいた電界強度を算出することができます。先に述べたように、周波数計測技術は十分な精度を持つため、かつ比較的短時間でS/N比の高い測定も可能であることから、従来の熱型センサーを凌駕する高感度かつ高速な電界強度の精密計測が期待できます。

現在、我々はセシウム(Cs)原子の4準位系で構成されるリュードベリ原子センサーを開発しています(Fig. 3)。ガラスセルに封入されたセシウム原子に波長852nmのプロブレーザー光と波長515nmのカップリングレーザー光を対向させて照射することで、基底状態 $6^2S_{1/2}$ から中間状態 $6^2P_{3/2}$ を介してリュードベリ状態 $23^2D_{3/2}$ まで励起し、ほぼドップラー広がりのない電磁誘起透明化(EIT)信号が得られました(Fig. 4(a))。このとき、隣接するリュードベリ準位間($23^2D_{3/2} - 21^2F_{5/2}$)に共鳴する約326GHzのテラヘルツ波を照射すると、その電界強度に比例したEIT信号のAutler-Townes分裂の観測にも成功しています(Fig. 4(b), (c))。今後は、リュードベリ準位の磁場縮退を解くことで特定の状態の原子のみを選択的に分光し、電界強度をより高精度に決定することを目指しています。(NICT 長野重夫, 関根)

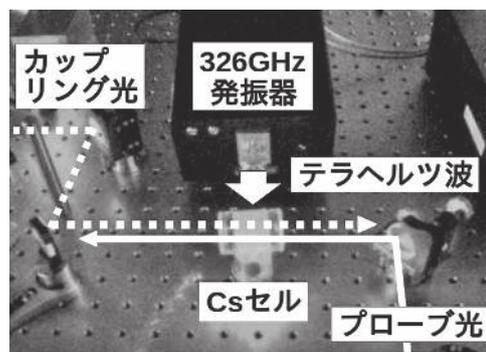


Fig. 3 Experimental setup for THz field sensor using Rydberg atoms.

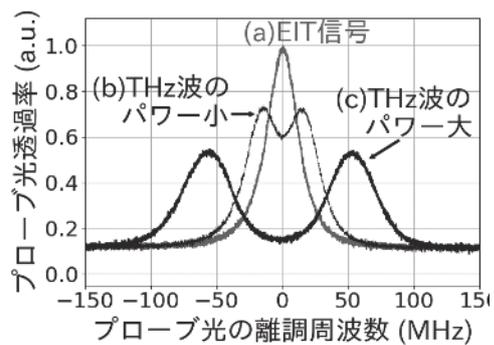


Fig. 4 Transmission spectrum of Rydberg atoms with/without THz field: (a) w/o THz field (i.e. EIT signal), (b) transmission peak splitting induced by THz field (the frequency difference corresponds to the THz field strength), (c) the splitting becomes wider with increasing the THz field.

上記以外にも当研究室では、テラヘルツ帯 Si-CMOS デバイスやテラヘルツ無線伝送技術、高精度なテラヘルツ帯分光技術や、テラヘルツ周波数帯の電波を扱う際に必要となる較正のための基盤技術や標準化活動等、幅広く手掛けていますので、ご興味がありましたら是非ご連絡頂ければと思います。