

2021年11月5日(金)

A会場

企画・公募シンポジウム

[3Aa01-11] 公募シンポジウム「表面真空科学の新分野
萌芽の土壌としての Beyond 5G」

座長:吹留 博一(東北大学電気通信研究所)

09:00 ~ 12:00 A会場(うどん)

[3Aa01] 趣旨説明

*吹留 博一¹ (1. 東北大学電気通信研究所)

09:00 ~ 09:15

[3Aa02] ミリ波・テラヘルツ波帯無線通信向け HEMTと
Beyond 5G応用

*渡邊 一世¹ (1. 国立研究開発法人情報通信研究機構)

09:15 ~ 09:45

[3Aa04] Post-5Gに向けた高周波 GaN-HEMTの開発動向

*舘野 泰範¹ (1. 住友電気工業株式会社)

09:45 ~ 10:15

[その他] 休憩時間

10:15 ~ 10:30

[3Aa07] 共鳴トンネルダイオードによるテラヘルツ光源と
その応用

*浅田 雅洋¹、鈴木 左文² (1. 東京工業大学 科学技術創
成研究院、2. 東京工業大学 工学院電気電子系)

10:30 ~ 11:00

[3Aa09] 半導体二次元プラズモンを利用したテラヘルツ機
能デバイスとその次世代 Beyond 5G無線通信への
応用

*尾辻 泰一¹ (1. 東北大学)

11:00 ~ 11:30

[3Aa11] 未来を拓く Beyond 5G研究開発の戦略的推進につ
いて

*古川 易史¹ (1. 総務省国際戦略局技術政策課)

11:30 ~ 12:00

企画・公募シンポジウム

[3Aa01-11] 公募シンポジウム「表面真空科学の新分野萌芽の土壌としての Beyond 5G」

座長:吹留 博一(東北大学電気通信研究所)

2021年11月5日(金) 09:00 ~ 12:00 A会場(うどん)

本シンポジウムの趣旨(ダウンロード画面が開きます)

[3Aa01] 趣旨説明

*吹留 博一¹ (1. 東北大学電気通信研究所)

09:00 ~ 09:15

[3Aa02] ミリ波・テラヘルツ波帯無線通信向け HEMTと Beyond 5G応用

*渡邊 一世¹ (1. 国立研究開発法人情報通信研究機構)

09:15 ~ 09:45

[3Aa04] Post-5Gに向けた高周波 GaN-HEMTの開発動向

*舘野 泰範¹ (1. 住友電気工業株式会社)

09:45 ~ 10:15

[その他] 休憩時間

10:15 ~ 10:30

[3Aa07] 共鳴トンネルダイオードによるテラヘルツ光源とその応用

*浅田 雅洋¹、鈴木 左文² (1. 東京工業大学 科学技術創成研究院、2. 東京工業大学 工学院電気電子系)

10:30 ~ 11:00

[3Aa09] 半導体二次元プラズモンを利用したテラヘルツ機能デバイスとその次世代 Beyond 5G無線通信への応用

*尾辻 泰一¹ (1. 東北大学)

11:00 ~ 11:30

[3Aa11] 未来を拓く Beyond 5G研究開発の戦略的推進について

*古川 易史¹ (1. 総務省国際戦略局技術政策課)

11:30 ~ 12:00

Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2021

趣旨説明

○吹留博一^{1*}¹東北大学電気通信研究所

Explanation of aim

○Hirokazu Fukidome^{1*}¹Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

表面真空科学は Needs-oriented な側面が強い学問であり、社会問題解決の過程において新分野を開拓してきた。例えば、真空管開発における「表面電子回折」¹⁾、食糧難を解決する研究過程における「触媒化学」²⁾、トランジスタ発明過程における「半導体表面界面科学」¹⁾、などの創始が挙げられる。高電子移動度トランジスタ (HEMT) は、三村・冷水らが分子線エピタキシー (MBE) などの表面真空技術を駆使して実現した。HEMT は当初より電波天文や衛星放送に応用され、最近では車載レーダや携帯電話基地局に使用されるなどマイクロ波・ミリ波無線通信の時代を切り拓くとともに、ナノテクノロジーのさきがけとなっている。

第五世代移動通信システム (5G) に続く次世代移動通信システム「Beyond 5G」は来るべき Society 5.0 の基盤インフラとなるものである。Society 5.0 は SDGs を下支えするものであるため、Beyond 5G は SDGs 達成に必要な不可欠であると言える。Beyond 5G デバイスは、IoT などネットワークを通じてサーバーやクラウドサービスに接続され、高信頼性・極低電力で大容量の情報を相互に超高速伝送することを可能にすることが求められている。しかも、Beyond 5G デバイスの総数は、近い将来全世界で一兆個程度にも達し得る。ゆえに、地球環境の持続可能性を担保しつつ、物質のポテンシャルを極限まで引き出す物質・デバイス科学の創成が希求される。

上述の歴史的背景や社会的要請を踏まえると、Beyond 5G は表面真空科学において新たな萌芽を生み出す土壌になると考えられる。しかし、コロナ禍に伴う社会変容にとって 5G は不可欠なものと認識されるようになっているが、Beyond 5G は未だ全容がはっきりしているわけではない。そのため、学会員の方々の多くは Beyond 5G の重要性を認識しているものの、具体的なイメージをもてないのが現状であると推察される。

本シンポジウムでは、Beyond 5G の総論および推進戦略をご紹介していただき、Beyond 5G 研究開発に大きく貢献している研究者や企業の方に講演していただく。本シンポジウムを契機として、Beyond 5G に対する理解が進み、表面真空科学の新分野が切り拓かれることを期待したい。

文 献

- 1) John Gartner : “The Idea Factory: Bell Labs and the Great Age of American Innovation” (Penguin books, 2013)
- 2) Daniel Charles : “Master Mind: The Rise and Fall of Fritz Haber, the Nobel Laureate Who Launched the Age of Chemical Warfare”(HarperCollins, 2009).

*E-mail: 責任著者のメールアドレスを記載してください

ミリ波・テラヘルツ波帯無線通信向け HEMT と Beyond 5G 応用

○渡邊 一世

国立研究開発法人情報通信研究機構

HEMTs for millimeter- and terahertz-wave wireless communications, and its applications in Beyond 5G

○Issei Watanabe

¹National Institute of Information and Communications Technology (NICT)

1. はじめに

2000 年代に入り, InGaAs 系高電子移動度トランジスタ (HEMT: High Electron Mobility Transistor) の電流利得遮断周波数 (f_T) は 400 GHz を超え, 2002 年にはゲート長 (L_g) 25 nm で $f_T = 562$ GHz が, 2007 年には 1 THz を超える最大発振周波数 (f_{max}) がそれぞれ報告されている^{1,2)}。一方, GaN 系 HEMT も 2000 年代後半から特性が向上し, 現在は約 600 GHz の f_{max} と 450 GHz を超える f_T が報告されている³⁾。これら報告は, InGaAs や GaN などの III-V 族化合物半導体電子デバイスが, ミリ波・テラヘルツ波帯 (30 GHz~3 THz) を用いた高速無線通信, 高感度なセンシングやイメージングを実現可能な電子デバイスであることを示している。今回, Beyond 5G 応用としてのミリ波・テラヘルツ波帯無線通信向け HEMT の高速・高周波化について報告する。

2. HEMT の高速・高周波化

HEMT の高速・高周波化には, 高い電子移動度や電子飽和速度をもつ半導体エピタキシャル結晶の設計・成長だけでなく, 作製プロセス・条件や HEMT 素子構造の最適化, 特にゲート電極の寸法 (L_g , ゲート幅 W_g) やソース・ドレイン電極間の距離 (L_{SD}) の短縮は必要不可欠である。我々は電子線(EB)リソグラフィにより素子全体を微細化(スケーリング)し, 1 μm 以下の L_{SD} (Fig. 1) や 50 nm 以下の L_g をそれぞれ実現している。また結晶表面の保護やショットキー界面の安定化のため三層絶縁膜 SiN/SiO₂/SiN 構造 (Fig. 2) を開発・導入した結果, $L_g = 45$ nm の GaN 基板上 MES 型 GaN-HEMT において国内最高の $f_{max} = 287$ GHz ($V_{ds} = 3.0$ V, $V_{gs} = 0.4$ V) を達成した^{4,5)}。また GaN 基板上 MIS 型 GaN-HEMT ($L_{SD} = 1$ μm , $L_g = 45$ nm, $W_g = 100$ μm) において, 出力電力密度 0.75 W/mm 以上を周波数 70 GHz で確認した。

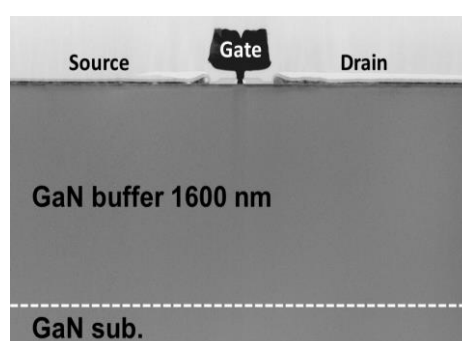
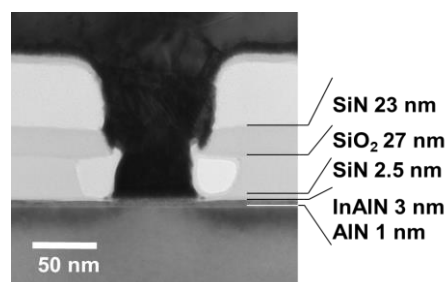


Fig. 1. GaN 基板上に作製された InAlN/AlN/GaN-HEMT

Fig. 2. T 型ゲート電極 ($L_g = 70$ nm) のフット部

謝辞

本研究開発の一部は総務省「電波資源拡大のための研究開発 (JPJ000254)」により実施された。

文 献

- 1) Y. Yamashita *et al.*, IEEE Electron Device Lett., vol. 23, no. 10, pp. 573-575 (2002).
- 2) R. Lai *et al.*, IEDM Tech. Dig., pp. 609-611 (2007).
- 3) K. Shinohara *et al.*, IEEE Trans. Electron Devices, vol. 60, no. 10, pp. 2982-2996 (2013).
- 4) A. Endoh *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 45, No. 4B, pp. 3364-3367 (2006).
- 5) 山下他, 第 63 回応用物理学会 春季学術講演会, no. 20p-P9-2 (2016).

*E-mail: issei@nict.go.jp

Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2021

Post-5G に向けた高周波 GaN-HEMT の開発動向

○舘野 泰範¹

¹住友電気工業株式会社

Development trend of GaN-HEMT for post-5G application

○Yasunori Tateno¹

¹Sumitomo Electric Industries, Ltd.

窒化ガリウム (GaN) が持っている優れた材料物性を利用した高周波 GaN-HEMT は、2005 年に実用化・製品化に成功し、その後、マイクロ波帯通信用途や携帯電話基地局用、各種レーダー用途など、着実に応用範囲を拡大している。

近年では、より高い周波数領域で高出力・高効率が要求されるアプリケーションを目指した研究開発が精力的に行われており、post-5G 用のデバイスとしても大いに期待されている。

本講演では、一層の高周波化を実現する上での課題を整理し、それらの課題への取り組み状況をまとめる。また、各研究機関における GaN-HEMT の研究動向についても紹介したい。

*E-mail: 責任著者のメールアドレスを記載してください

10:15 ～ 10:30 (2021年11月5日(金) 09:00 ～ 12:00 A会場)

[その他] 休憩時間

共鳴トンネルダイオードによるテラヘルツ光源とその応用

○浅田雅洋^{1*}, 鈴木左文²

¹東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所, ²東京工業大学 工学院 電気電子系

Resonant-tunneling-diode terahertz sources and applications

○Masahiro Asada^{1*} and Safumi Suzuki²

¹Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology

²Department of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Institute of Technology

1. はじめに

周波数およそ 0.1~10THz のテラヘルツ (THz) 帯は様々な応用が期待され盛んに研究されている。通信においても 5G に続く次世代の通信システムでの活用が見込まれている。コンパクトな固体の THz 光源はそのための重要なデバイスである。ここでは、我々のグループが進めてきた共鳴トンネルダイオード (RTD) による光源¹⁾ について報告する。

2. RTD による THz 発振器

我々が THz 発振器に用いている RTD のポテンシャル構造を Fig.1 に示す。主要部分は InGaAs/AlAs の二重障壁構造で、高電流密度化と電子の遅延時間短縮のために極薄の障壁と量子井戸を用いている。THz 発振は、印加電圧の増加とともに電流が減少する微分負性コンダクタンス領域を用いる。動作電圧低減のために深い量子井戸とステップエミッタ構造を導入している。

Fig. 2 にこの RTD を用いた THz 発振器の構造を示す。RTD には共振器と放射器を兼ねたスロットアンテナが集積され、出力は基板側から Si レンズを通して取り出される。発振は RTD の微分負性コンダクタンスが放射損失や導体損失を打ち消したときに起こり、発振周波数はスロットアンテナと RTD からなる共振回路の共振周波数で決まる。

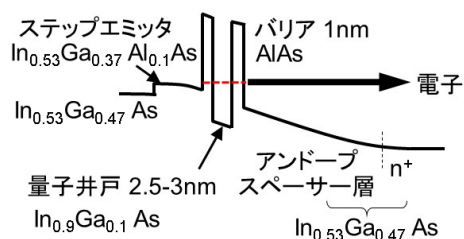


Fig.1 RTD のポテンシャル構造

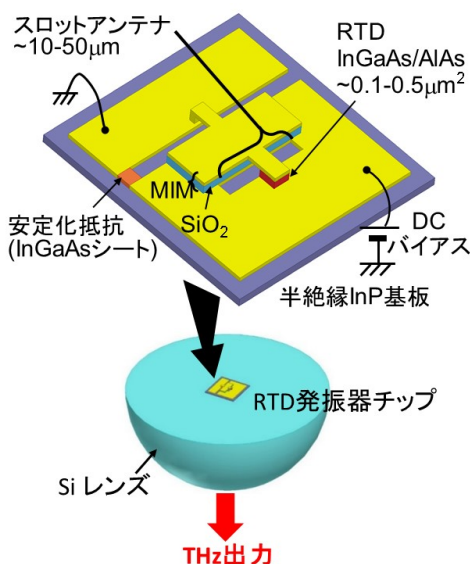


Fig.2 RTD を用いた THz 発振器の構造

高周波発振を行うために、RTD の高電流密度化、遅延時間の短縮、アンテナ損失の低減を行い、現在までに室温電子デバイスで最高の 1.98THz の発振が得られている。高出力化では 89 素子アレイの電力合成により、1THz において 0.73mW が得られている。より高い周波数や高出力の発振が可能な素子構造、および、簡略化した素子構造の作製も進められている¹⁾。

RTD 発振器の応用では、小型で簡易な構成が可能という特長を生かして、バイアス電圧に信号を重畳する直接変調を用いた大容量 THz 無線通信、同じく直接変調信号の位相や周波数を利用した THz レーダーや 3D イメージングなどの基礎実験が行われている¹⁾。

文 献

- 1) M. Asada and S. Suzuki, Sensors, **21**, 1384 (2021).

*E-mail: asada@pe.titech.ac.jp

半導体二次元プラズモンを利用したテラヘルツ機能デバイスとその 次世代 Beyond 5G 無線通信への応用

○尾辻 泰一*

東北大学電気通信研究所

Terahertz functional devices using semiconductor two-dimensional plasmons and their applications to the next-gen beyond 5G wireless communications

○Taiichi Otsuji *

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

1980 年代初頭に自動車電話が世に登場して以来、半導体集積回路・量子エレクトロニクス技術の目覚ましい発展に支えられ、インターネット技術の普及・発展と足並みを揃えて移動体無線通信技術は長足の進歩を遂げている。昨年 2020 年にはいよいよ第 5 世代 5G サービスの商用化が開始された。5G のハイエンドサービスでは、搬送周波数として 28 GHz 帯が我が国では使用されている。従来よりも 1 桁高い周波数帯を利用することで、より高速・大容量・多接続の無線通信サービスが実現し、2020 東京オリンピックでもその臨場感あふれるダイナミックな映像配信が注目された。しかしながら、コロナ禍での困難な‘くらし’を経てニューノーマルな社会への変革が求められる中、スマホ利用のユースケースは従来の想像をはるかに超えるほどに多様化し、ひとびとの「より高速で、より大容量で、より多接続」を可能とする無線通信技術への要求は留まるところを知らない¹⁾。

そのような背景のもとに、移動体通信のトラフィック量増大に対応するため、次世代 Beyond 5G (B5G) の研究開発が盛んに行なわれている²⁾。5G に続く第 6 世代の 6G、さらにその先の第 7 世代の 7G が技術開発ロードマップの指標となる。B5G はそれらを総称した呼称である。B5G の無線周波数帯は、ミリ波テラヘルツ波帯が中核となる²⁾。周波数がミリ波からテラヘルツ波へと向上するにつれて電磁波の大気減衰が強くなる。遠距離の無線伝送にはより高出力な送信デバイスとより高感度な受信デバイスの実現が求められる。しかしながら、トランジスタをはじめとする電子デバイスもレーザーダイオードをはじめとするフォトニックデバイスも、本質的な物理限界によってテラヘルツ帯での動作は困難を極めている^{3,4)}。

かかる‘テラヘルツギャップ’を克服するブレークスルーとして、半導体二次元プラズモンを新たな動作原理とするテラヘルツ機能デバイスの研究動向が注目されている^{5,6)}。最近著者らのグループは、グラフェンを利得媒質とするレーザートランジスタを試作し、100K の低温下ながら単一モードレーザ発振の実証⁷⁾や、グラフェンプラズモンの不安定性に由来する室温下でのテラヘルツ波の誘導増幅の実証⁸⁾に成功するなどの成果を挙げている。本稿では、半導体二次元プラズモンを新たな動作原理とするテラヘルツ機能デバイスの最先端研究動向を紹介するとともに、その B5G 無線通信への応用の可能性について論ずる。

文 献

- 1) 寶迫, “6G に向けたテラヘルツ波通信技術の動向,” ITU ジャーナル, vol. 51, no. 5, pp. 22-25, May 2021.
<https://www.ituaj.jp/?download=24728>
- 2) 総務省, B5G 推進戦略懇談会 提言, June 2020.
https://www.soumu.go.jp/main_content/000696612.pdf
- 3) M. Tonouchi: Nat. Photon. **1**, 97-105 (2007).
- 4) K. Sengupta, T. Nagatsuma, and D.M. Mittleman, Nat. Electron. **1**, 622-635 (2018).
- 5) T. Otsuji, T. Watanabe, S. Boubanga Tombet, A. Satou, W. Knap, V. Popov, M. Ryzhii, and V. Ryzhii, IEEE Trans. Thz. Sci. Technol. **3**, 63-71 (2013).
- 6) V. Ryzhii, T. Otsuji, and M.S. Shur, Appl. Phys. Lett. **116**, 140501 (2020).
- 7) D. Yadav, G. Tamamushi, T. Watanabe, J. Mitsushio, Y. Tobah, K. Sugawara, A.A. Dubinov, A. Satou, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, Nanophoton. **7**, 741-752 (2018).
- 8) S. Boubanga-Tombet, W. Knap, D. Yadav, A. Satou, D.B. But, V.V. Popov, I.V. Gorbenko, V. Kachorovskii, and T. Otsuji, Phys. Rev. X **10**, 031004 (2020).

(最終アクセス 2021 年 9 月 3 日)

*E-mail: otsuji@riec.tohoku.ac.jp

Annual Meeting of the Japan Society of Vacuum and Surface Science 2021

未来を拓く Beyond 5G 研究開発の戦略的推進について

○古川 易史¹¹総務省国際戦略局技術政策課

Beyond 5G R&D Strategy of Japan for the next generation platform

○Yasushi Furukawa^{1*}¹Technology Policy Division, Global Strategy Bureau, Ministry of Internal Affairs and Communications(MIC),
Government of Japan

2030年代のあらゆる産業・社会基盤として期待される5Gの次の無線通信技術 Beyond 5G(いわゆる 6G)について、我が国の国際競争力強化等の観点から戦略的な推進が必要である。総務省では、令和2年6月、Beyond 5G 推進戦略を発表し、特に研究開発戦略については、2025年頃から順次要素技術を確立するため、2020年から最初の5年間を「先行的取組フェーズ」として先端技術への集中投資を行うこととした。この一環として、令和2年度第3次補正予算により Beyond 5G 実現に資する公募研究開発のための基金を創設し、国内外・産学官の多様なプレイヤーの叡智を結集した戦略的な研究開発を推進するとともに、知財・標準化活動の加速化を進めている。令和4年度以降も引き続き我が国の国際競争力を強化し、激化するグローバル開発競争を勝ち抜くため、これらの取組を推進することとしている。本講演では、政府における科学技術戦略や ICT 戦略の概要とともに、Beyond 5G をとりまく現状と戦略の方向性について概説する。

*E-mail: y-furukawa@soumu.go.jp