

Press Release

研究成果

報道解禁

あり

本研究成果は論文掲載先である Scientific Reports から、以下の通り報道解禁設定があります。

TV・ラジオ・WEB ……9月15日(水)午後6時(日本時間)
新聞 ……9月16日(木)朝刊(日本時間)

2021年9月13日

分野：自然科学系

キーワード：パワーデバイス、非破壊評価、テラヘルツ、エリプソメトリ、GaN、SiC、SDGs

—パワー半導体の非破壊・非接触評価の新手法の提案—

高精度テラヘルツエリプソメトリにより

GaN や SiC などの半導体評価精度を 10 倍以上に向上

【研究成果のポイント】

- ◆ 窒化ガリウム (GaN) (注1) は、最も重要な半導体の1つで、6G 機器に対する代表的な候補材料。低抵抗 GaN ウエハ (特に、 10^{19}cm^{-3} かそれ以上) の電気特性の非破壊検査は強く望まれている。
- ◆ テラヘルツ時間領域エリプソメトリ (注2) と呼ばれる光学技術を、回転検光子を用いたマルチ時間波形測定により解析の精度を 10 倍以上改良することに成功しました。
- ◆ このテラヘルツ時間領域エリプソメトリと呼ばれる光学技術が約 $10^{20}\text{--}10^{21}\text{cm}^{-3}$ までの高キャリア濃度 GaN ウエハの電気特性評価に対して有効であることを実証しました。これは GaN だけでなく、SiC や他の半導体等の評価にも役立つ手法です。

❖ 概要

大阪大学レーザー科学研究所の中嶋誠准教授、Agulto, Verdad C. (アグルト, ヴァーダッド C.) 特任研究員、Mag-usara, Valynn K. (マグウサラ, ヴァリン K.) 特任研究員、吉村政志教授、日邦プレジジョン株式会社の岩本敏志博士、大阪大学大学院工学研究科の森勇介教授、今西正幸准教授らの研究グループは、キャリア濃度が 10^{20}cm^{-3} に達する窒化ガリウム (GaN) ウエハのキャリア濃度および移動度を非接触・非破壊の手法で評価することに成功しました。

窒化ガリウム (GaN) は、5G 機器はもちろん様々なパワーエレクトロニクス機器において、現在、技術的に最も重要な半導体の1つであり、100GHz 以上で動作する未来の 6G 機器に対する代表的な候補材料でもあります。半導体機器の応用において、非常に高いキャリア濃度の半導体に対する需要は増加しています。半導体物質の物性 (キャリア濃度や移動度) はデバイスの性能を決定付ける主要な要因です。そのため、その装置開発に用いられる半導体のキャリア濃度と移動度を正確に評価することは重要になります。

大阪大学レーザー科学研究所の研究グループは日邦プレジジョン(株)との共同研究において、テラヘルツ時間領域エリプソメトリと呼ばれる光学技術を約 10^{20}cm^{-3} の高いキャリア濃度の GaN 半導体の評価に対して有効であることを実証しました。試料の GaN 結晶は、高品質の GaN 結晶を作り出す Na-flux 法由来の大阪大学大学院工学研究科で開発された point-seed 技術と呼ばれる結晶成長法によって作成したものを利用しました。

本研究成果は、日本時間 2021 年 9 月 15 日 (水曜日) 午後 6 時に英国学術雑誌 Scientific Reports 誌 (サイエンティフィック・レポート) のオンライン版で公開される予定です。

❖ 研究の背景

窒化ガリウム (GaN) は最も技術的に重要な半導体であり、多くの光エレクトロニクスやパワーデバイスの基本的な部材のうちの 1 つです。低抵抗 GaN ウエハの需要は高く、高電圧で高周波数の応用に対して不可欠な縦型 GaN パワーデバイスの性能を向上させるために活発に研究開発が行われています。GaN デバイスの開発では、特に、 10^{19}cm^{-3} かそれ以上のキャリア濃度に対する電気特性の非破壊検査は強く望まれています。

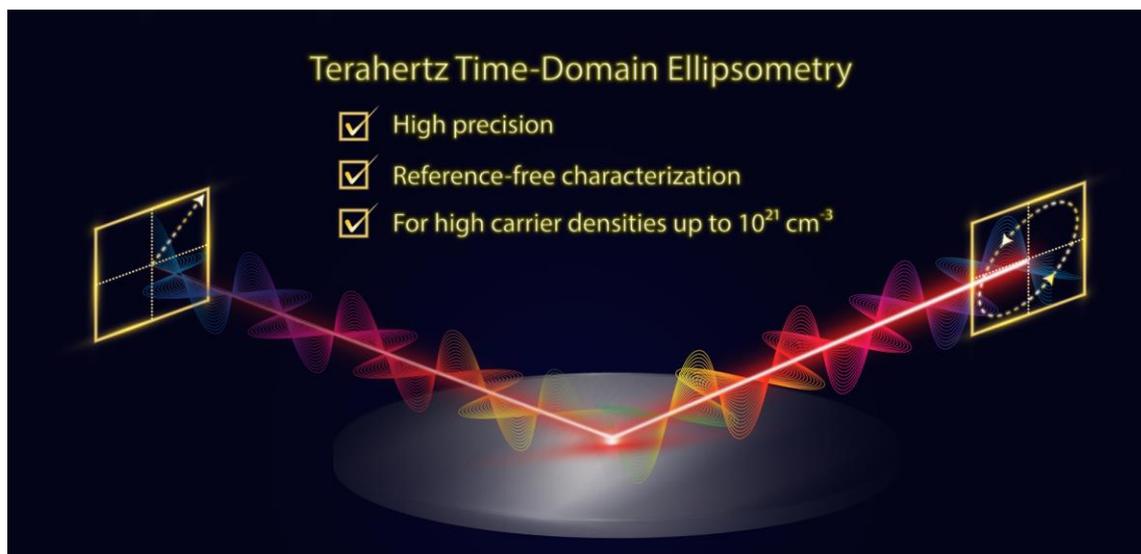


図 1： テラヘルツエリプソメトリによる半導体評価のイメージ。

斜入射の直線偏光のテラヘルツパルスが半導体によって、異なる偏光成分がそれぞれ違うように反射され、楕円偏光になっている様子を表しています。このリファレンスを必要としないテラヘルツ波を用いた非破壊の手法により、高キャリア濃度の半導体評価が可能になりました。

❖ 研究の内容

大阪大学レーザー科学研究所の中嶋誠准教授らの研究グループは日邦プレジジョン(株)と共同でテラヘルツ波による半導体の非破壊評価において測定可能なキャリア濃度領域を広げる技術を開発しました。

半導体の非破壊検査におけるテラヘルツ波の利用は継続的に拡大しています。テラヘルツ波 (THz 波) (注 3) は、電磁波の一部で、波長で 3mm から $30\mu\text{m}$ まで、周波数で 100GHz から 10THz までのものを呼びます。物質内の自由電子がテラヘルツ波を吸収するため、テラヘルツ波を使って半導体の電気特性を見積もることができます。

テラヘルツ時間領域エリプソメトリでは、直線偏光のテラヘルツ波パルスを試料に入射し、時間の関数として反射したテラヘルツ波の電場強度を測定します。具体的には、入射面に平行な方向(p)と垂直な方向(s)に偏光した反射波に着目し、この p-および s-偏光成分の割合からキャリア濃度および移動度の評価を可能とする誘電率 (注 4) を取得します。さらにこの手法はテラヘルツ時間領域分光法と違いリファレンス測定が不要という大きな利点もあります。

大阪大学レーザー科学研究所の研究者らとの共同研究によって日邦プレジジョン(株)で開発されたテラヘルツ時間領域エリプソメータである Tera Evaluator® (注 5) を用いて GaN 半導体の評価を行いました。その装置は偏光子-試料-検光子という光学配置を用い、検光子の角度を 0° から 360° まで 15° ステップで変えながら波形を取得します。このマルチアングル技術はテラヘルツ時間領域エリプソメトリに新たに導入され、検出されるテラヘルツ電場の強度と位相からシステムエラーを取り除くことにより、誘電率を精度

Press Release

良く測定することを実現しました。この結果、特に、非常に高い伝導率の半導体に対して、優れた精度でキャリア濃度および移動度の決定が可能になることを示しました。この技術によって、測定可能範囲は約 10^{20} – 10^{21}cm^{-3} にまで広がりました。この装置はテラヘルツ波が透過しない物質でさえも、誘電率を精度良く測定するとともに、本手法は物質内の自由電子を反映したテラヘルツ領域の誘電率から伝導特性を評価することから、GaN だけでなく、SiC や他の半導体の評価にも有効です。

本研究は、経済産業省 戦略的基盤技術高度化支援事業 JPJ005698 の支援のもとで行われました。

❖ 特記事項

雑誌名: *Scientific Reports*

論文タイトル: Terahertz time-domain ellipsometry with high precision for the evaluation of GaN crystals with carrier densities up to 10^{20}cm^{-3}

論文タイトル訳: 高精度のテラヘルツ時間領域エリプソメトリによる 10^{20}cm^{-3} におよぶキャリア密度を持つ GaN 結晶の評価

著者: : Verdad C. Agulto, Toshiyuki Iwamoto, Hideaki Kitahara, Kazuhiro Toya, Valynn Katrine Mag-usara, Masayuki Imanishi, Yusuke Mori, Masashi Yoshimura, and Makoto Nakajima

著者 (漢字表記): Verdad C. Agulto (大阪大学レーザー科学研究所)、岩本敏志 (日邦プレジジョン株式会社)、北原英明 (大阪大学レーザー科学研究所)、遠矢雄浩 (大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻博士前期課程)、Valynn Katrine Mag-usara (同レーザー科学研究所)、今西正幸 (大阪大学大学院工学研究科)、森勇介 (同)、吉村政志 (同レーザー科学研究所)、中嶋誠 (同)

DOI number: [10.1038/s41598-021-97253-z](https://doi.org/10.1038/s41598-021-97253-z)

発表者:

中嶋 誠 (大阪大学レーザー科学研究所 准教授)

Agulto, Verdad C. (大阪大学大学院工学研究科 特任研究員)

岩本 敏志 (日邦プレジジョン株式会社)

Mag-usara, Valynn Katrine (大阪大学レーザー科学研究所 特任研究員)

吉村 政志 (大阪大学レーザー科学研究所 教授)

今西 正幸 (大阪大学大学院工学研究科 准教授)

森 勇介 (大阪大学大学院工学研究科 教授)

❖ 注意事項

日本時間 2021 年 9 月 15 日 (水) 午後 6 時 (英国標準時 2021 年 9 月 15 日 (水) 午前 10 時) 以前の公開は禁じられています。

【中嶋准教授のコメント】

テラヘルツ時間領域エリプソメトリは、通常のエリプソメトリと異なり、試料で反射したテラヘルツ波時間波形の変化(振幅情報と位相情報)を利用する新しい分光手法です。これまで反射型のテラヘルツ時間領域分光法では、位相情報を正しく取得することが困難でしたが、本発表の手法により、振幅・位相情報ともに高精度に取得できることになり、大幅な性能改善につながりました。半導体・パワーデバイス等の評価だけでなく、6G 材料評価などに、非常に有効な分光システムの開発に成功しました。

❖ 用語解説

(注1) 窒化ガリウム (GaN)

窒化ガリウム (GaN) は、5G 機器はもちろん様々なパワーエレクトロニクス機器において、現在、技術的に最も重要な半導体の1つであり、100GHz 以上で動作する未来の6G 機器に対する代表的な候補材料でもあります。

(注2) テラヘルツ時間領域エリプソメトリ

テラヘルツ時間領域エリプソメトリは、テラヘルツ時間領域分光 (THz-TDS) を基盤とした透過しない材料を対象とした分光手法です。THz-TDS はテラヘルツ波を用いて物性を調べる技術で、テラヘルツ波は紫外線やX線と違い、エネルギーが低いため観測対象を壊しません。THz-TDS は半導体やその他の物質の遠赤外領域における誘電率や電気特性を測定するのに幅広く使われます。テラヘルツ時間領域エリプソメトリは、反射型の反射光の偏光変化より物質情報を抽出する手法であり、THz-TDS に比べて、リファレンスフリーでの計測が可能などの利点を持ちます。

(注3) テラヘルツ波 (THz 波)

テラヘルツ波は周波数が 10^{12} Hz 付近、特に波長が 3 mm から 30 μm (0.1~10 THz) の領域の電磁波です。テラヘルツ波は材料解析のような科学的な応用の他に医療分野における画像化やセキュリティ分野における検査や遠距離通信技術などの技術にも使われます。電波よりも高い周波数のテラヘルツ波は高周波数動作機器や高速、超高帯域通信を可能にします。このようにテラヘルツ波は beyond 5G/6G の通信技術の鍵になると考えられています。

(注4) 誘電率

誘電率は物質の誘電分極のしやすさを表し、複素誘電率は複素屈折率によって表すこともできます。複素屈折率は物質の光の伝搬を記述する物性量で、実部は伝搬の速さを表す屈折率で、虚部は物質内を伝搬する光の減衰の強さを表す消光係数です。光はエネルギーの一部が結晶の原子によって吸収される (フォノン吸収) 時や物質内の自由電子による吸収によって減衰します。したがって、誘電率から自由電子による伝導特性が評価できます。

(注5) TeraEvaluator

TeraEvaluator は大阪大学レーザー科学研究所との共同研究により日邦プレジジョン(株)にて開発されたテラヘルツ時間領域エリプソメータです。テラヘルツ波が透過しない材料の複素屈折率/誘電率スペクトルを精度良く測定可能です。GaN の他、Siをはじめ、SiC等の半導体に利用可能。

<https://terahertzwave.com/>

❖ 本件に関する問い合わせ先

(研究に関すること)

大阪大学レーザー科学研究所 光量子ビーム科学研究部門

准教授 中嶋 誠 (なかじま まこと)

TEL : 06-6879-4225 携帯電話 : 090-7017-2867

E-mail : nakajima-m@ile.osaka-u.ac.jp

日邦プレジジョン株式会社

岩本 敏志 (いわもと としゆき)

TEL : 0551-22-8998 携帯電話 : 070-4276-3004

E-mail : toshiyuki.iwamoto@pnp.co.jp

Press Release

(報道に関すること)

大阪大学レーザー科学研究所 庶務係

TEL : 06-6879-8711 E-mail : rezaken-syomu@office.osaka-u.ac.jp

❖ 参考 URL

中嶋 誠 准教授

研究者 Web URL <https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/ths/>

研究者総覧 URL <https://rd.iai.osaka-u.ac.jp/ja/4e9648b8087ba555.html>