

半導体 R & D 支援テラヘルツ放射顕微鏡

レーザー科学研究所

教授 斗内 政吉

Researchmap <https://researchmap.jp/read0051752>

研究の概要

フェムト秒レーザーを用いて物質中に光電荷を励起すると、その電荷は内部電界などにより加速され、その場から高速で移動します。その速度変化に伴ってテラヘルツ電磁波が放射されます。斗内研究室では、そのテラヘルツ波放射を用いて、電荷の時空間移動をダイナミックに分析観測する独自技術—テラヘルツ放射顕微鏡 (LTEM) —の開発に取り組んでいます。今回 LTEM が、シリコン貫通電極 (TSV) ならびにワイドギャップ半導体などの先進半導体開発支援技術として有効であることを証明しました。

研究の背景と結果

我が国の半導体産業の再興には、キャッチアップをはるかに凌駕するブレークスルー半導体開発技術が必要です。その課題解決の重要なカギを握るものの一つとして、世界に類を見ない新しい半導体分析技術の開発が必要です。その中で、LTEM は、電荷の時空間ダイナミクス可視化技術を提供するとともに、局所物性の抽出を可能にする独自技術です。その実用化には、実際の問題解決をデモンストレーションすることが重要で、今回、3次元集積回路開発に重要な要素技術である TSV ならびにワイドバンドギャップ半導体 InGaN/GaN 多重量子井戸 (MQW) 構造を対象とし、LTEM の有用性を検証しました。

TSV は、図1に示すように、金属電極がシリコン半導体ウェファーを貫通するもので、その間には絶縁層が形成されており、いわゆる MOS 構造を構成しています。その一部に光電荷を励起すると、電子は電極から遠ざかり、正孔は電極方向に移動します。この時テラヘルツが放射されますが、その信号には、電荷の移動方向が見取れます。また、励起されたテラヘルツ波は、電極の沿って内部へと侵入し、背面で反射されたものがまた表面からテラヘルツ波として放射されるので、その信号の時間変化を見ることで、内部の伝搬の様子、即ち MOS 構造の3次元的な分析も可能となることが期待されます。

図2に、今回分析した MQW 構造を示します。この場合は、TSV とは異なり、GaN 層に埋め込まれた MQW 内部に電荷を励起します。この時、その励起は量子遷移に敏感で、テラヘルツ波放射に影響を見ることができます。また、電荷が量子井戸内で移動すると、GaN と InGaN の界面にある歪が変化・解放され、音響フォノンを励起します。その音響フォノンが表面まで伝搬するとテラヘルツが放射されるので、時間差を伴った複雑なテラヘルツ波が観測されます (図3)。これを用いることで、表面の GaN 層の厚さを 10nm 分解能で、ウェファースケールで見積もることで、デバイス開発支援技術としても利用することが証明されました。

研究の意義と将来展望

TSV は、3次元集積回路開発の重要な要素技術で、その深さ方向の内部分析は困難となっています。また、ワイドギャップ半導体は、まだ不明な物性が多数存在し、ウェファースケールでの物性評価は極めて重要です。

今回の成果は、本研究で示した TSV やワイドギャップ半導体量子井戸構造の評価にとどまらず、半導体製造プロセスに非接触試験を可能にする統計計測ソリューションを提供することが期待されます。生産

歩留まりを最大化することは、省エネルギーと廃棄物の最小化に不可欠であり、3次元化・微細化により研究開発・生産の複雑さはますます増すなか、非破壊・非接触で分析・検査を可能とする LTEM は、その課題を解決するために重要なイノベーションをもたらします。

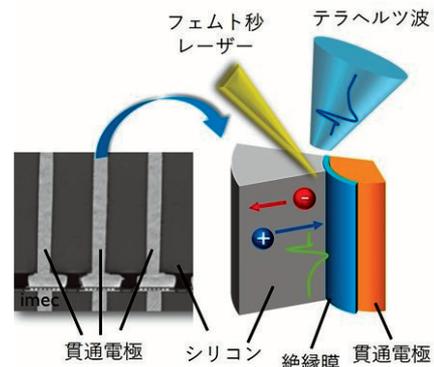


図1

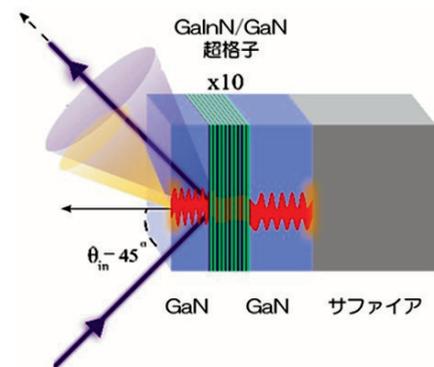


図2

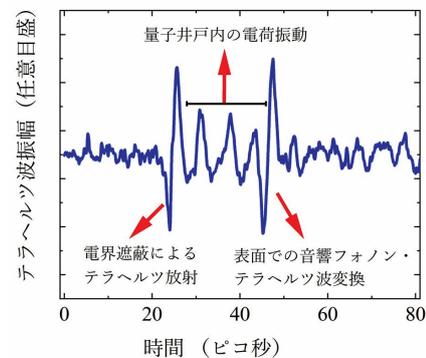


図3

特許	
論文	斗内政吉 テラヘルツ時間領域分光, 内田老鶴園, 2021. ISBN978-4-753-2318-1 Jacobs, K. J. P. et al. Characterization of through-silicon vias using laser terahertz emission microscopy. Nat Electron. 2021; 4: 202-207. doi: 10.1038/s41928-021-00559-z Mannan, A. et al. Ultrafast Terahertz Nanoseismology of GaInN/GaN Multiple Quantum Wells. ADVANCED OPTICAL MATERIALS. 2021; 9(15): 2100258. doi: 10.1002/adom.202100258
参考 URL	https://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/THP/
キーワード	半導体 R & D 支援分析技術、テラヘルツ時間領域分光、シリコン貫通電極、ワイドギャップ半導体、LTEM