

超高速電子デバイスの動作を捉えた 時空間イメージング法

今日の電子デバイスはギガヘルツ帯域で動作することが多いが、次世代電子デバイスはすでにミリ波領域へ進出しつつある。そのため、高速トランジスタ、ハイブリッドフォトニックプラットフォーム、テラヘルツメタデバイスのプロトタイプは、電子領域と光学領域の橋渡しができなければならない。

このような次世代デバイスの特性評価と観測は、特に速度と空間分解能の点において、適切な観測ツールがなければ困難である。そこで、独コンスタントツ大 (University of Konstanz) の研究チームは、フェムト秒/テラヘルツ領域で電子回路の時空間イメージングを取得するツールの開発に取り組んだ(図1)。

「現代世界では、情報が遍在しており、情報処理の主な手段は電子デバイスだ」と、イメージング手法を開発した光と物質の研究チームを率いる物理学教授、ピーター・バーム氏 (Peter Baum) は言う。「そのため、回路はますます小型化、高速化が求められる。しかし、記録的な高速デバイスを開発した場合、一体どのように測定するのだろうか。これは、鶏が先か卵が先かというような問題であり、解決しなければならない」。

フェムト秒電子ビームプローブ

バーム教授の研究チームは、先述の鶏か卵かの問題を解決するツールを開

発するため、超高速電子顕微鏡を使用し、空間と時間の動画として電位を測定する方法を考案した。

具体的には、透過型電子顕微鏡を用いてフェムト秒の電子パルスを生成し、それを赤外レーザー光で持続時間80フェムト秒(fs)に圧縮する。さらに、光伝導スイッチを使用してレーザーで起動される電子伝送の内部電場に同期させる。

同研究チームのポンプ・プローブ法を使用すると、電子デバイスの局所的な電磁場を空間と時間の関数として直接計測できる。

同チームの超高速電子ビームプローブは、フェムト秒、ナノメートル、ミリボルトの分解能を実現し、しかもデ

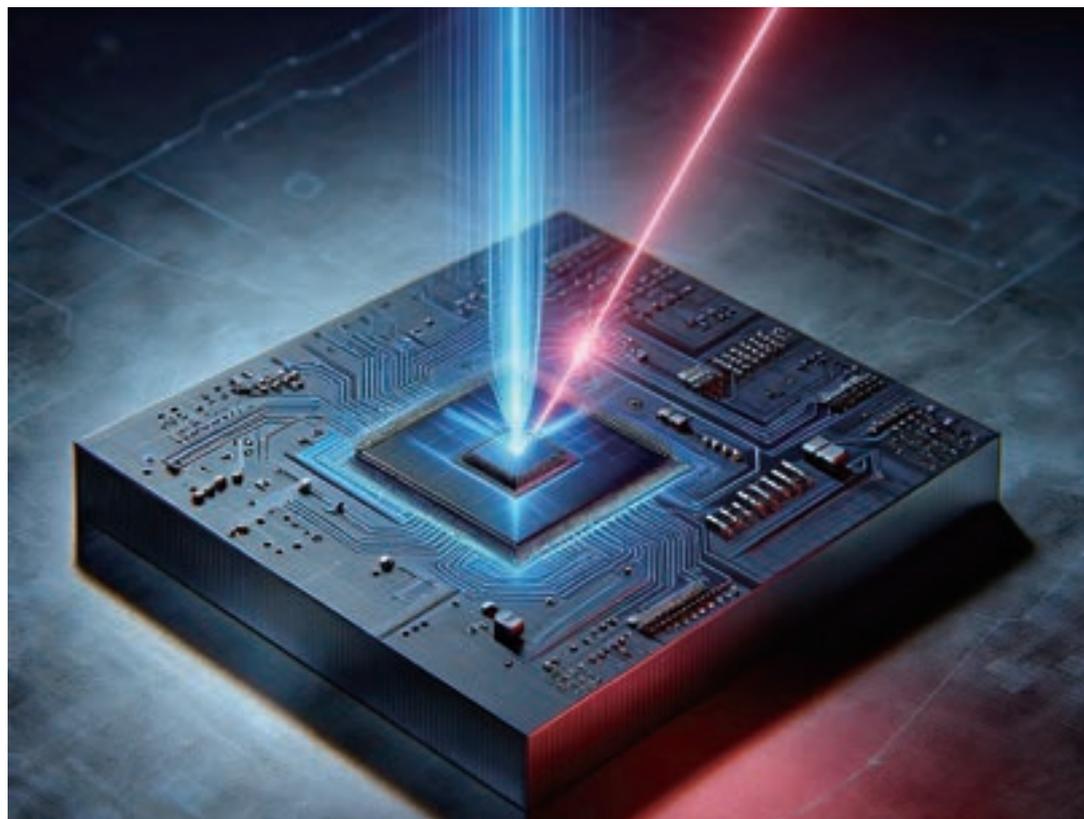


図1 バーム教授のチームが開発した、フェムト秒電子ビームによる超高速電子デバイス用検査ツールのイメージ画像 [画像提供: ミハイル・ヴォルコフ氏 (Mikhail Volkov)、独コンスタントツ大所属]

レーザー・光技術のお困りごとは
レーザー専門商社の

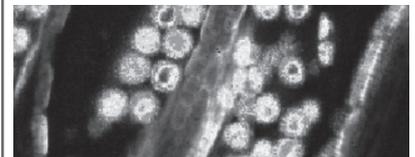


にお任せください!

レーザー加工



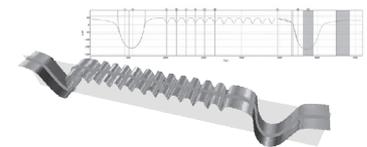
顕微鏡、バイオイメーキング



原子・分子・量子研究



検査・分析・評価



ナノフォトニクス、微細加工



光技術に関するご相談は

<https://www.japanlaser.co.jp/>

E-mail: jlc@japanlaser.co.jp



本社 〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-14-1

TEL: 03-5285-0861

大阪支店 TEL: 06-6323-7286

名古屋支店 TEL: 052-205-9711

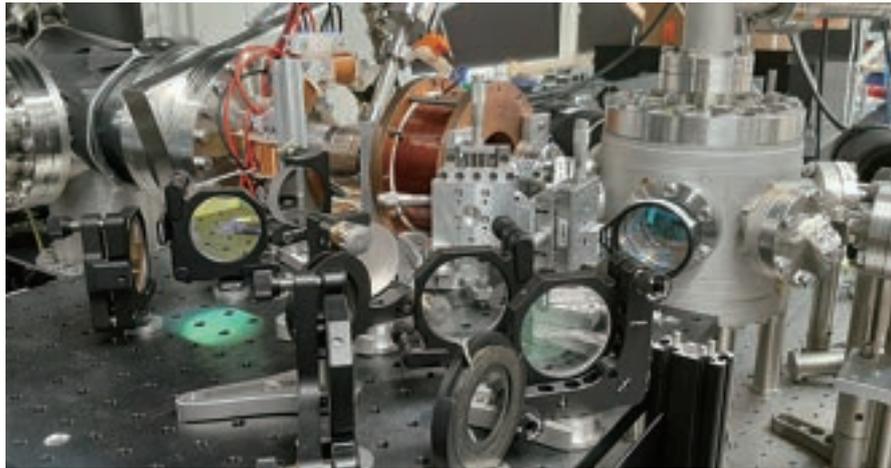


図2 バーム教授の研究室内のセットアップ(画像提供: マキシム・ツアレフ氏(Maxim Tsarev)、コンスタンツ大所属)

バースのその場動作に影響を及ぼさないのだ(図2)。

「フェムト秒レーザーが生成するフェムト秒電子パルスは、デバイス内で起こりうるほぼすべての電子プロセスよりも、はるかに短い時間スケールのパルスを生成する」と、バーム教授は述べる。「ストロボスコープのように、観測中の動態をあたかも一時的に静止したかのように、視認して観測できる。重要なのは、この観測手法自体はデバイスの動作を乱すことがないため、通常の動作条件下で測定できることだ」。

本研究に関わる残された課題は、試料の作成である。「基板は、電子ビームが通過できるほどの薄さが必要だ」と、バーム教授は言う。「通常、回路は複数の層で構成されており、基板を薄くするのは必ずしも簡単ではない。しかし、最上層は最小かつ最速であり、十分に薄いのだ」。

同チームのフェムト秒電子ビームプローブ法は、次世代電子デバイスの研究開発に新たな道を切り拓くものだ。なぜなら、観測分解能は、現在、顕微鏡内の電子のド・ブロイ波長と、全光電子パルス圧縮に適用される遠赤外レーザー光のサイクルタイムによってのみ

制限されているからである。

「コンピュータチップの製造は、すでに品質管理のために電子顕微鏡に大きく依存している」と、バーム教授は述べる。「当チームの新手法は、フェムト秒かつテラヘルツ周波数の領域で電子回路を時空間イメージングするものであり、こうした電子顕微鏡に容易に組み込むことができる。当チームの手法は広く普及する可能性がある」。

バーム教授は、超高速回路の動作の背後にある基本的な機能やメカニズムについて、理解が深まることを期待している。「当チームの動画のように視覚的かつ直感的な測定法は、飛躍的な革新と発見に向けて、刷新的なデバイスの設計と製造を可能な限り効率的に導く鍵となるだろう」。

一方、バーム教授のチームは、同手法を純粋な光学領域にまで拡張することにも取り組んでいる。「光の振動と伝播の光学サイクルを観測するためには、アト秒の時間分解能が必要だ」と、同氏は言う。「電子デバイスが将来的に光学技術と融合できるほど高速化すれば、当チームは電子デバイスを時空間的に観測できるようになるだろう」。

(Sally Cole Johnson)

LFWJ