

マテリアル先端リサーチインフラ利用報告書

ARIM User's Report

[Release : 2025.06.10] [Update : 2025.04.07]

課題データ / Project Data

課題番号 Project Issue Number	24BA0011
利用課題名 Title	TEM/AFMを用いた超高速計測技術の研究
利用した実施機関 Support Institute	筑波大学 / Tsukuba Univ.
機関外・機関内の利用 External or Internal Use	内部利用 (ARIM事業参画者以外) / Internal Use (by non ARIM members)
ARIM半導体基盤PF 関連課題 Related to ARIM-SETI	指定なし / No Designation
横断技術領域 Cross-Technology Area	計測・分析/Advanced Characterization 加工・デバイスプロセス/Nanofabrication
重要技術領域 Important Technology Area	高度なデバイス機能の発現を可能とするマテリアル/Materials allowing high-level device functions to be performed
キーワード Keywords	電子顕微鏡/ Electronic microscope,走査プローブ顕微鏡/ Scanning probe microscope,集束イオンビーム/ Focused ion beam,蒸着・成膜/ Vapor deposition/film formation,スパッタリング/ Sputtering,膜加工・エッチング/ Film processing/etching,高品質プロセス材料/技術/ High quality process materials/technique,センサ/ Sensor,光デバイス/ Optical Device

利用者と利用形態 / User and Support Type

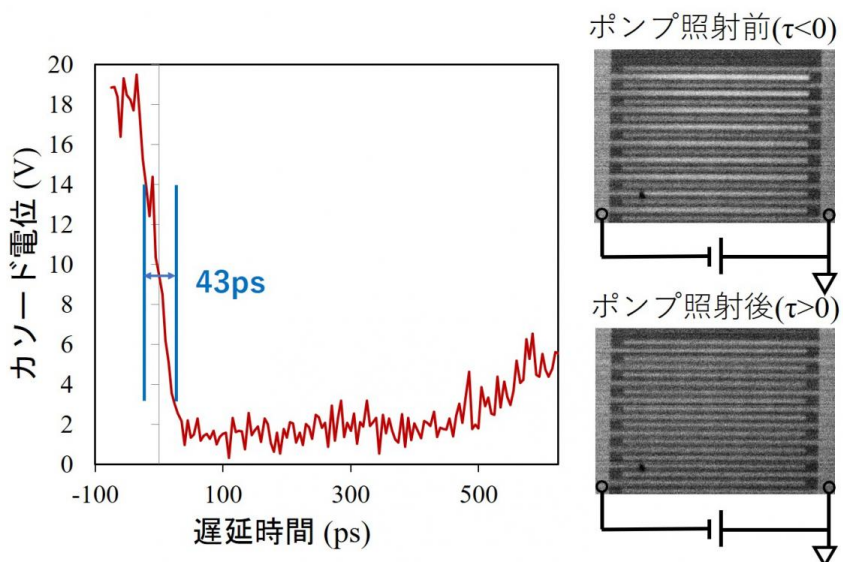
利用者名 (課題申請者) User Name (Project Applicant)	藤田 淳一
所属名 Affiliation	筑波大学数理物質系
共同利用者氏名 Names of Collaborators Excluding Supporters in the Hub and Spoke Institutes	藤田 淳一
ARIM実施機関支援担当者 Names of Supporters in the Hub and Spoke Institutes	
利用形態 Support Type	機器利用/Equipment Utilization,技術補助/Technical Assistance

利用した主な設備 / Equipment Used in This Project

利用した主な設備 Equipment ID & Name	BA-009 : パターン投影リソグラフィシステム BA-003 : FIB-SEM BA-018 : イオンミリング
---------------------------------	---

報告書データ / Report

概要 (目的・用途・実施内容) Abstract (Aim, Use Applications and Contents)	本研究では、TEM/SEM/AFMとfsレーザーを組み合わせた超高速計測技術開発を行っている。特に、試料の作製においては、2次元半 導体デバイスの動作を可視化するために、極微細な電極パターンを形成す必要がある。その精度は、10nmオーダー～サブミクロンメートルの精度が必要である。試料の作成では、顕微レーザー露光装置やEB露光装置によるリソグラフィを用いた。また、リソグラフィに伴う、金やアルミニウム等の蒸着膜形成、もしくはRFスパッタによる薄膜形成を実施した。この描画パターンを用いて、フェムト秒レーザー励起型超高速電子顕微による光ポンプによる試料表面電位の高速キャリア移動の可視化を検証することができた。
実験 Experimental	使用した装置はハイデルベルグのパターン投影装置で試料表面上に2層レジストパターンを形成した。パターンは、くし形電極構造、ならびに同心円フレネルゾーンプレートである。その後、蒸着装置もしくはスパッタ装置で約200 nmの厚さの金薄膜を形成し、リフトオフプロセスもしくはイオンエッチング装置により電極パターンを形成し、さらにプラズマクリーナーにて表面処理を行い、テスト試料を作成した。このテスト試料を用いて、フェムト秒レーザー励起型の超高速走査電子顕微鏡 (図1) による電極周囲ポテンシャル変化の空間ならびに時間分解計測を実施した。
結果と考察 Results and Discussion	走査型電子顕微鏡においては、撮影画像の空間分解能を向上させるためには電子間のクーロン相互作用つまり空間電荷効果を抑制しつつ、照射電子線の輝度を上げる必要がある。特に超高速計測を行う場合には、極めて短いパルス電子線を用いることになる。しかし電子線輝度を稼ごうとすると、1つのパルスに含まれる電子数が増えてしまい、空間電荷効果による空間分解能とのトレードオフが生じる。本研究におけるフェムト秒レーザー励起型の電子線励起では、パルス繰り返し周波数を76 MHzまで引き上げ、輝度を維持しつつ1パルス照射で発生する光電子量とは平均約0.8個に抑えて、平均電子線輝度を維持するようにした。その結果、電子パルスが顕微鏡鏡筒内を飛翔中に受ける空間電荷効果を大幅に減らすことができた。その結果として図2に示すように空間分解能を92 nm程度と、大きく向上させることに成功した。また、時間分解能では、約43 psを達成することができた。
図・表・数式 1 Figures, Tables and Equations 1	<div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">超高速走査電子顕微鏡 (SUEM) の模式図</p> <p>図1 超高速走査電子顕微鏡 (SUEM) の模式図</p>

<p>図・表・数式 2 Figures, Tables and Equations 2</p>	 <p>図2 電極電位変化の時間分解計測</p>
<p>その他・特記事項 (参考文献・謝辞等) Remarks(References and Acknowledgements)</p>	

成果発表・成果利用 / Publication and Patents

<p>DOI (論文・プロシーディング) [1] DOI (Publication and Proceedings)</p>	<p>Yusuke Arashida, Visualizing the Transient Response of Local Potentials on Photoconductive Antennas Using Scanning Ultrafast Electron Microscopy, <i>ACS Photonics</i>, 11, 2171-2175(2024). DOI: https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.3c01532</p>
<p>口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文[1] Oral Presentations etc.</p>	<p>岡本 ニコライ 岳, 嵐田 雄介, 川崎 康平, 羽田 真毅, 吉田 昭二, 鄭 サムエル, 赤田 圭史, 藤田 淳一 ” 超高速時間分解SEMを用いた光伝導アンテナの局所電位の可視化” 第85回応用物理学会秋季学術講演会, 9月16日~20日,</p>
<p>特許出願件数 Number of Patent Applications</p>	<p>0件</p>
<p>特許登録件数 Number of Registered Patents</p>	<p>0件</p>