

京都大学教育研究振興財団助成事業  
成果報告書

2024年 4月 30日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会長 藤 洋作 様

所属部局 工学研究科 材料工学専攻

職名 助教

氏名 宇都宮 徹

助成の種類	令和5年度 ・ 研究活動推進助成			
申請時の科研費 研究課題名	二次元材料アシストエッチングによる半導体表面構造制御			
上記以外で助成金 を充当した 研究内容				
助成金充当に関 わる共同研究者	(所属・職名・氏名)			
発表学会文献等	(この研究成果を発表した学会・文献等) 第84回応用物理学会秋季学術講演会 36th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2023)			
成果の概要	研究内容・研究成果・今後の見通しなどについて、簡略に、A4版・和文で作成し、添付して下さい。(タイトルは「成果の概要／報告者名」)			
会計報告	交付を受けた助成金額	1,000,000 円		
	使用した助成金額	1,000,000 円		
	返納すべき助成金額	0 円		
	助成金の使途内訳	費目	金額	
		物品費(試薬, 消耗品等)	548,104	
		計算機	282,971	
旅費		86,760		
学会参加費	82,165			
当財団の助成に ついて	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) 貴財団助成には多大なご支援を頂きまして誠にありがとうございました。このような助成なしには令和5年度に研究を推進することが困難であり、大変貴重なものでした。令和6年度の科研費に採択され、貴財団からの後押しが重要であったと感じています。今後も同様なご支援を継続していただけますと幸いです。			

## 成果の概要／宇都宮徹

### 【研究内容】

当研究グループでは二次元材料である各種グラフェン誘導体を用いた半導体エッチングプロセス開発を行ってきた。特にグラファイトを酸化・剥離して合成する酸化グラフェン (Graphene Oxide: GO) がシリコンのエッチング触媒として機能することを明らかにしてきた【*Langmuir*, **37**, 9920 (2021)】。本研究では GO とその光還元体 (reduced GO: rGO) シートをシリコン基板表面に担持して、フッ酸溶液中におけるエッチング特性を評価した。触媒材料の化学構造によるエッチング反応への影響に焦点を当てた。

### 【研究成果・今後の見通し】

GO 水分散液を洗浄した p 型シリコン基板の上にスピコートすることでシートを担持した。この基板に高真空チャンバー ( $<10^{-3}$  Pa) 内で真空紫外 (VUV) 光 ( $\lambda=172$  nm,  $10$  mW cm<sup>-2</sup>) を照射することで過去の報告【*Carbon*, **119**, 82 (2017)など】と同様に光還元した。得られた rGO 担持試料をフッ化水素酸と硝酸を含むエッチング液に 16 分間浸漬した。表面形状観察には原子間力顕微鏡 (AFM) を用いた。

図 1 にエッチング後に得られた各試料の表面形状像を示す。図 1a に示す rGO 担持試料ではシート形状に対応する凹凸構造が得られたものの、シートの周辺部は非被覆部より

低く、シート中央部では非被覆部と同様レベルの高さという構造が得られた。対照実験として GO を担持した試料の AFM 表面形状像を図 1b に示す。概ね 100 nm 前後の深さを持つシート形状の穴が形成され、過去の報告【*Langmuir*, **37**, 9920 (2021)】と矛盾しない結果が得られた。これらのことから担持した単層シートの化学状態に依存したエッチング反応進行が示唆された。これまでに GO アシストエッチングでは GO 面内の欠陥を通じて反応物・生成物の拡散が生じており、シート面内が比較的均一にエッチングされる可能性が示唆されてきた【*Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, 050924 (2019)】。過去に報告してきた高真空中 VUV 光照射による GO シートの還元と導電率向上【*Carbon*, **119**, 82 (2017)】を考慮すると、欠陥修復によってシート面内の反応物・生成物拡散が阻害され、エッチング後の形状が変化した可能性がある。rGO シート中央部がエッチングされない点はエッチング触媒としてはあまり好ましくないものの、GO シート面内に VUV 光照射部と被照射部をパターンすることでシリコン表面へのウェットプロセスによるマイクロ構造形成に活用できる可能性がある。現在、更なる展

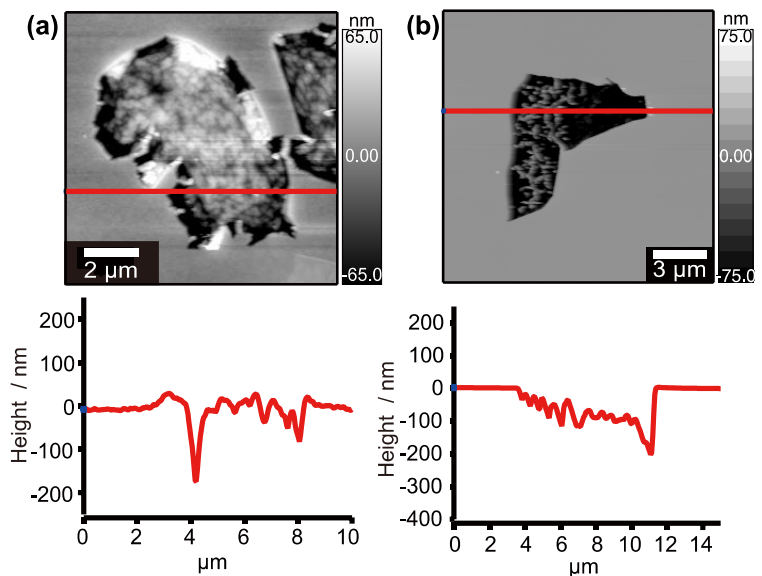


図 1 (a) rGO もしくは (b) GO を担持したシリコン基板をエッチング液に 16 分浸漬した後の AFM 像。

開と論文の準備を進めている。

関連して半導体側の電子状態がエッチング反応に影響するかどうかを検討するために、n 型シリコン基板を用いたアシストエッチングを試みた。その結果、GO シートによる孔周囲が盛り上がる構造が得られており、p 型と異なる特徴を示した。さらに、触媒材料探索として他の二次元材料である遷移金属ダイカルコゲナイドを用いたアシストエッチングも試みており、二硫化モリブデンシートを用いたアシストエッチングに成功した。今後も二次元材料や半導体の化学構造・電子構造などに着目して研究を進める予定である。