

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02450

研究課題名(和文) グラフェン誘導体アシストエッチングによる半導体のナノ・マイクロ加工法開発

研究課題名(英文) Chemical etching of semiconductors assisted by graphene derivatives towards nano- and micro- fabrication.

研究代表者

宇都宮 徹 (Utsunomiya, Toru)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：70734979

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：グラフェンとその誘導体は電気伝導特性や電気化学特性から様々な応用が期待されている。本研究では酸化グラフェン(GO)が持つ酸化剤還元反応活性を半導体エッチング技術に活用して、半導体プロセスの発展に寄与することを目指した。研究の結果、エッチング液組成を適切に調整することで、シリコンウエハ上のGO被覆部が優先的にエッチングされる「GOアシストシリコンエッチング」を実現した。エッチング液に試料を浸漬する液相法に加え、試料に蒸気を暴露する気相法でもマイクロスケールの孔構造形成が実現可能であることを示した。また、シリコン以外の化合物半導体にも展開可能であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

グラフェン誘導体は数多くの研究が行われているが、本研究では半導体エッチング触媒という新たな応用展開を実現・確立した点に大きな意義がある。半導体エッチング技術は電子デバイスの生産において重要であり続けている。これまでもより簡便・安価な半導体エッチング方法として貴金属触媒を用いたウェットエッチングが報告されてきたが、触媒除去などに課題が残されていた。本研究で用いたエッチング触媒は酸化グラフェン(GO)という金属フリーの二次元炭素材料である。エッチング速度など金属アシストエッチングに及ばない部分も残されているものの、新たな半導体表面構造制御プロセスとして貢献できると考えている。

研究成果の概要(英文)：Graphene and its derivatives are 2D nanocarbon materials, and have been attracted in various research fields, due to their electrical and electrochemical properties. In this study, we demonstrated to apply graphene oxide (GO) as a catalyst for semiconductor etching processes. By using optimized composition of the etching solutions, the etch rate under the GO sheets became faster than that at non-covered areas, which can be referred as GO-assisted silicon etching. Also, combining with the micropatterned immobilization processes of GO sheets, we achieved the patterned pore formation with microscale width and depth both at liquid and vapor phase. Our studies can contribute to developing catalytic researches of nanocarbon materials, and semiconductor etching processes without utilizing metal-based catalysts.

研究分野：表面工学

キーワード：酸化グラフェン 半導体 エッチング

1. 研究開始当初の背景

一層のグラファイトからなるグラフェンとその誘導体は優れた電気伝導特性などから電子デバイス等への応用が期待されている。酸化グラフェン (Graphene Oxide: GO) は炭素原子で構成されるハニカム構造に酸素含有官能基が修飾された単原子層の物質であり、グラフェン誘導体の一種である。グラフェンと GO の構造模式図を図 1 (a,b) に示す。GO はグラファイトを酸化、剥離することで安価かつ簡単に作製できることから広く研究が進められてきた。当研究グループでは真空紫外光 (Vacuum Ultraviolet: VUV 光, 波長 100~200 nm) による光化学反応に着目し、GO の室温還元と導電率回復を報告した【Y. Tu, T. Utsunomiya et al., *Appl. Phys. Lett.*, **106**, 133105 (2015) 及び *Carbon*, **119**, 82 (2017)】。しかし、電流計測原子間力顕微鏡により得られた単層の GO 還元体 (reduced GO: rGO) シートの導電率はシート面内に残存した構造欠陥により、グラフェンと比較して低いことが判明し、面内方向の電子・キャリア移動を活用した応用は難しいことが明らかになっていた。そこで、グラフェン誘導体の主に面外方向への電子移動に由来する電気化学活性に着目した。グラフェン誘導体は酸素や硝酸などの還元反応に活性を持つことから、従来の貴金属触媒の代替材料として多くの研究実績がある。当研究グループでは半導体エッチング触媒として用いられている貴金属をグラフェン誘導体に代替出来るのではないかと着想し、実証することに成功した【W. Kubota, T. Utsunomiya et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, 050924 (2019)】。GO を触媒としたアシストシリコンエッチングの模式図を図 1 (c) に示す。エッチング液に含まれる酸化剤が GO 表面にて還元され、対反応となるシリコンの酸化が GO 直下で生じることでエッチングが進む。貴金属フリーで半導体の形状加工・エッチングが可能になったことでグラフェン誘導体の応用範囲拡大や半導体プロセスへの貢献が考えられる。しかし、エッチングメカニズム解明や高速化が課題となっていた。

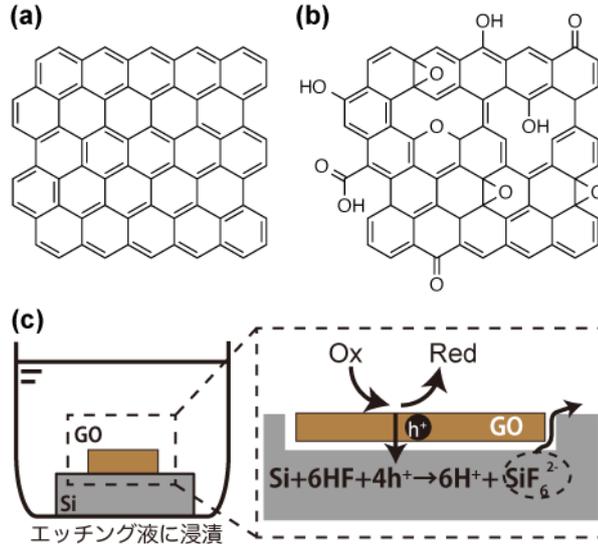


図 1. (a) Graphene の構造モデル. (b) Graphene Oxide (GO) の構造モデル. (c) GO アシストシリコンエッチングの模式図.

2. 研究の目的

本研究ではグラフェン誘導体アシスト半導体エッチングがマイクロ・ナノ形状加工に有効か、その仕組みは何か、を明らかにすることを目的として研究を遂行した。具体的にはエッチング液組成を探索し、マイクロスケールの深さを持つ孔形状形成を目指した。さらに、GO の微細構造とエッチング特性の相関について検証した。得られた知見はシリコンのみならず化合物半導体のエッチングプロセス開発にも貢献できることが期待される。

3. 研究の方法

エッチングを行う試料には 1-10 Ω cm の抵抗率をもつ p 型の Si(100) 基板を用いた。基板の前処理としてアセトン、エタノール、超純水の順にそれぞれ 20 分間超音波洗浄した。その後、キセノンエキシマランプによる光洗浄を行った。洗浄した基板に GO 分散液をスピコートした。用いた GO 分散液は各文献に従い、改良 Hummers 法と言われる化学酸化法【M. Hirata et al., *Carbon* **42**, 2929 (2004)】もしくは電気化学酸化剥離法【J. Cao et al. *J. Am. Chem. Soc.* **139**, 17446 (2017)】で合成した。GO を担持した基板はフッ酸と酸化剤を含む溶液に一定時間浸漬、もしくは溶液から発生した蒸気に暴露してエッチングを行った。表面構造は原子間力顕微鏡 (Atomic force microscopy: AFM) やレーザー顕微鏡、走査型電子顕微鏡を用いて観察した。本研究の一部であるレーザー顕微鏡観察は京都大学ナノテクノロジーハブ拠点 (文部科学省マテリアル先端リサーチインフラ事業) の支援を受けて実施した。

4. 研究成果

(1) フッ酸と硝酸を用いたエッチング結果

GO 分散液を洗浄したシリコンウェハにスピコートした試料表面の AFM 像を図 2 (a,b) に示す。シート構造が観察でき、1.2 nm 程度の厚さであった。この厚さはグラファイトの単層ステップよりも大きい。GO シートは酸素含有基や炭素欠陥に伴う歪みが入っている影響で GO 単層の厚みが 1 nm 程度になることが知られている【X. Y. Peng, et al., *Carbon* **49**, 3488 (2011) 及び Y. Tu

et al., *Appl. Phys. Lett.*, **106**, 133105 (2015)]. スピンコート後のウェハ表面に GO 単層が担持されていることが示された. シート面内方向のサイズは改良 Hummers 法による GO では数マイクロから 20 マイクロ四方程度であった. 電気化学酸化剥離による GO では数マイクロ四方が多い傾向にあった.

図 2 (c,d) にフッ酸・硝酸によるエッチング液に 16 分浸漬後試料のレーザー顕微鏡像を示す【W. Kubota, T. Utsunomiya et al., *Langmuir* **37**, 9920 (2021)]. エッチング液組成を探索した結果, 硝酸濃度がフッ酸濃度に対し薄い条件では図 2 (c,d) に得られるような GO シート形状に類似した窪み形状が得られた. この浸漬時間においては改良 Hummers 法の GO を担持した試料では深さ 300 nm 前後の, 電気化学酸化剥離法の GO を担持した試料では深さ 100 nm 前後の孔形状が得られた. これらの結果から, どちらの GO を用いた場合でも GO 被覆部が優先的にエッチングされたと言える. また, 化学酸化を通じて合成する改良 Hummers 法の GO を用いた方がより高速のアシストエッチングが実現可能であることが示唆された.

エッチング反応は以下の硝酸還元反応とシリコン酸化反応で進行すると考えられる.

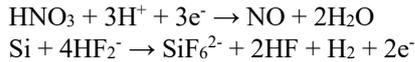


図 2 (c,d) の条件に対応するフッ酸濃度が高い条件では硝酸の供給, 還元反応がエッチング反応を律速していると予想される. 実際に硝酸濃度が相対的に高い, すなわち図 2 (c,d) とは逆の条件では GO 被覆部のエッチングが遅くなり, GO シートがマスクとして作用した表面形状が得られたことから, フッ酸の供給, シリコンの溶解反応自体が律速となったことが示唆されている. 溶液組成に依存したエッチング挙動からも反応式に立脚した考察が裏付けられていると言える.

アシストエッチングが生じた条件では硝酸還元反応過程を促進すればアシストエッチングによる孔形成の高速化達成が見込まれる. 実際にエッチング溶液温度を上昇させると孔形成進行速度は上昇した. 速度論的な知見を得るために温度と孔深さに関わるエッチング反応速度のアレニウスプロットから活性化エネルギーの算出を試みたところ, シリコン自体の溶解と GO 被覆部の活性化エネルギーはほぼ同様であった. それに対し, 頻度因子は GO 被覆部が大きいことが示された. GO 被覆部の優先的なエッチング進行は GO シート面内に存在する硝酸の吸着活性サイトが起源であることを示唆している.

また, 合成方法の異なる 2 種類の GO を用いた場合はエッチング速度の違いが生じていた. 電気化学酸化剥離法で合成した GO シートは構造欠陥密度が少なく, シートの導電率が改良 Hummers 法と比べて大きいことが知られている【W. Kubota, T. Utsunomiya et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **59**, SN1001 (2020)]. GO シート内の欠陥が硝酸の還元反応進行における活性サイトとなっていることが示唆され, シート内の欠陥量の制御がエッチング高速化の指針になることが示唆された.

さらに硝酸還元反応の反応機構に着目してエッチング液組成を探索することで, さらなる高速化も予備的ではあるが示唆されている. GO 担持シリコン基板へのバイアス電圧印加による孔構造のアスペクト比向上も明らかになりつつある. 分子スケールの硝酸還元反応やシリコン/溶液界面の電子構造の知見がエッチングプロセスのさらなる高度化に向けて重要と言える.

(2) 気相中酸化グラフェンアシストシリコンエッチング

フッ酸と硝酸のエッチング液に試料を浸漬して GO アシストエッチングに成功したが, 特に硝酸濃度を上げるとエッチング深さの面内均一性が保てないことが判明した. 硝酸還元とシリコンの溶解反応の過程で NO などの気泡発生に伴うエッチング反応阻害, シートの基板からの剥離が原因と示唆された. また GO シート非被覆部表面へのポーラス層形成が観察され, 活用する場所によっては問題となる可能性がある. 金属援用エッチングではエッチング液からの蒸気

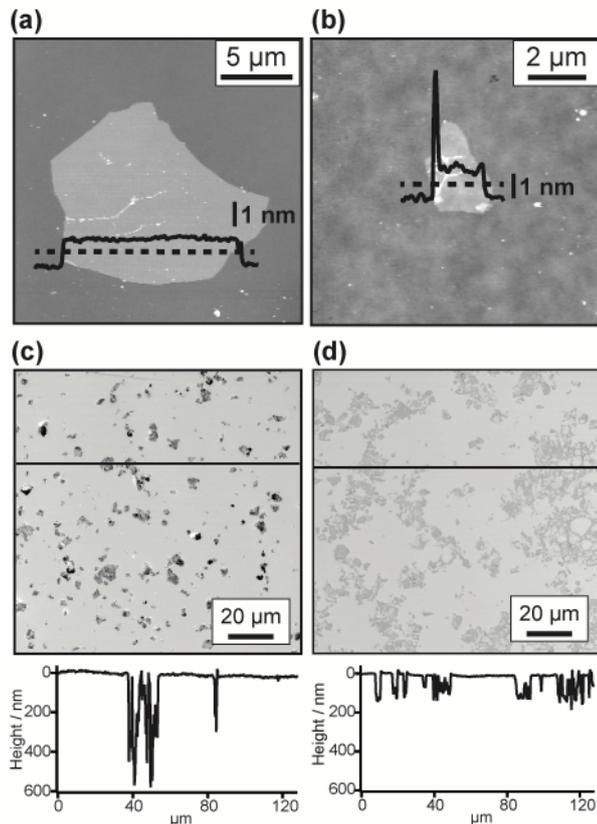


図 2. シリコンウェハにスピンコートして担持した (a) 改良 Hummers 法, (b) 電気化学酸化剥離法による GO シートの AFM 像. (c) 改良 Hummers 法の GO, (d) 電気化学酸化剥離法の GO を担持したシリコンウェハをエッチング液に浸漬した後のレーザー顕微鏡像.

に試料を暴露する気相エッチングが知られており、これらの課題解決に有用であることが示唆されている【O. Hildreth et al., *Adv. Funct. Mater.*, **24**, 3827 (2014)など】. 当研究グループでも GO アシストエッチングで気相エッチングが可能かどうか検証した. 気相エッチングの模式図を図 3 (a) に、得られた表面形状像の 1 つを図 3 (b) に示す. 液相の場合と同様に GO シート形状に由来する孔構造が得られた. 蒸気源となるエッチング液はフッ酸と過酸化水素水で構成されており、液相エッチングで用いた液組成を参考に気相アシストエッチングが可能であることが示された【W. Kubota, T. Utsunomiya et al., *ACS Appl. Nano Mater.* **5**, 11707 (2022)】. 断面の走査型電子顕微鏡像からエッチング蒸気の起源となる溶液の組成を最適化することでポーラス層形成は抑制された.

さらに、GO 担持手法としてマイクロコンタクトプリンティングを導入して気相エッチングを行った. 図 3 (c) に直径 2 μm のドットパターン状に GO を担持して気相エッチングを行った試料の断面走査型電子顕微鏡像を示す. ドットパターン形状に対応した孔構造が得られており、気相中 GO アシストシリコンエッチングによって、マイクロ構造形成を実証した.

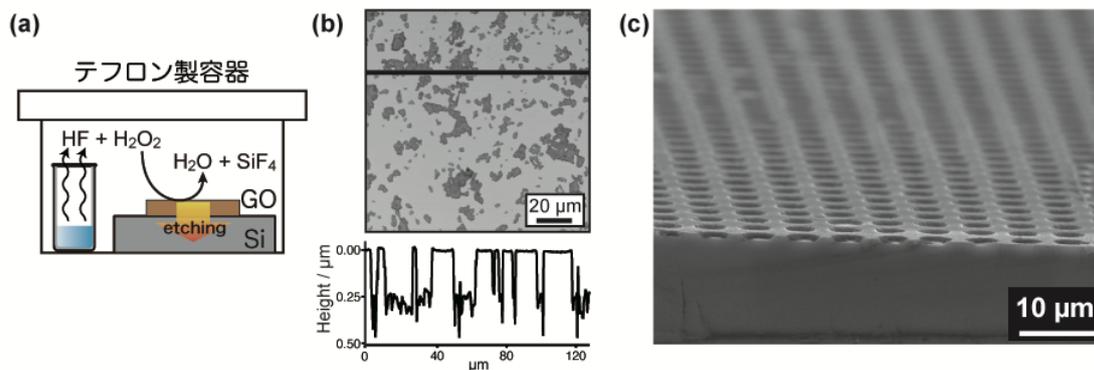


図 3. (a) 気相中 GO アシストシリコンエッチングの模式図. (b) フッ酸と過酸化水素の溶液由来の蒸気に 4 時間暴露した試料表面のレーザー顕微鏡像. (c) マイクロコンタクトプリンティングにてドットパターン形状に GO シートを担持した試料表面をフッ酸と硝酸溶液由来の蒸気に 2 時間暴露した試料の断面走査型電子顕微鏡像.

(3) InP の酸化グラフェンアシストエッチング

近年、金属触媒を用いた半導体表面加工法はシリコンに留まらず、化合物半導体、ワイドギャップ半導体に幅を広げている. 高周波デバイスや通信用受光素子として用いられる InP に対して GO アシストエッチングを試みた. エッチング液に含まれる酸には硫酸と塩酸を、酸化剤には過酸化水素と硝酸を試みた. 代表的なエッチング後のレーザー顕微鏡像を図 4 に示す. 硫酸と硝酸を含むエッチング液に GO 担持 InP 基板を浸漬すると 100 nm ほど盛り上がった GO シート類似の形状が得られた. 硫酸を含むエッチング液では GO 被覆部の方が凸部となり、GO がエッチングマスクとして機能することが示唆された. 塩酸と硝酸を含むエッチング液に GO 担持 InP 基板を浸漬することで、GO 被覆部が 10 nm / h ほど優先的にエッチングされた. すなわち溶液組成を適切に選ぶことでアシストエッチングに成功した. 反応挙動の違いを明らかにするために X 線光電子分光法を用いて、エッチング後試料を分析したところ、エッチング液への酸化物溶解速度がエッチング速度に影響することが示唆された【W. Kubota, T. Utsunomiya et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **61**, SG1040 (2023)】. これまではシリコンに対するアシストエッチングを中心に研究を進めてきたが、GO アシストエッチングが化合物半導体にも展開できる可能性が示された. さらに半導体プロセスへの応用にも期待が持たれる.

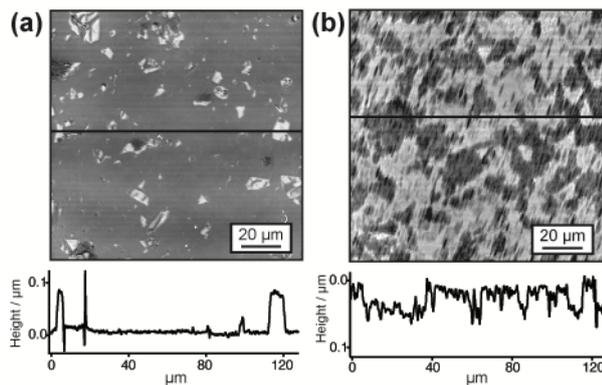


図 4. GO を担持した InP ウェハを (a) 硫酸と硝酸, (b) 塩酸と硝酸のエッチング液に浸漬した後のレーザー顕微鏡像.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kubota Wataru, Utsunomiya Toru, Ichii Takashi, Sugimura Hiroyuki	4. 巻 37
2. 論文標題 Chemical Etching of Silicon Assisted by Graphene Oxide in an HF/HNO ₃ Solution and Its Catalytic Mechanism	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 9920 ~ 9926
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.1c01681	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hiroto Yui, Kubota Wataru, Utsunomiya Toru, Ichii Takashi, Sugimura Hiroyuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Fabrication of reduced graphene oxide with high electrical conductivity by thermal-assisted photoreduction of electrochemically-exfoliated graphene oxide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SL1012 ~ SL1012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac66c0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kubota Wataru, Utsunomiya Toru, Ichii Takashi, Sugimura Hiroyuki	4. 巻 59
2. 論文標題 Local current mapping of electrochemically-exfoliated graphene oxide by conductive AFM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SN1001 ~ SN1001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab80df	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wu Cheng-Tse, Utsunomiya Toru, Ichii Takashi, Sugimura Hiroyuki	4. 巻 36
2. 論文標題 Microstructured SiO _x /COP Stamps for Patterning TiO ₂ on Polymer Substrates via Microcontact Printing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 10933 ~ 10940
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c01558	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kubota Wataru, Yamaoka Ryoya, Utsunomiya Toru, Ichii Takashi, Sugimura Hiroyuki	4. 巻 5
2. 論文標題 Vapor-Phase Chemical Etching of Silicon Assisted by Graphene Oxide for Microfabrication and Microcontact Printing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 11707 ~ 11714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.2c02690	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kubota Wataru, Utsunomiya Toru, Ichii Takashi, Sugimura Hiroyuki	4. 巻 62
2. 論文標題 Chemical etching of InP assisted by graphene oxide	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SG1040 ~ SG1040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/acc03a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Wataru Kubota; Ryoya Yamaoka; Toru Utsunomiya; Takashi Ichii; Hiroyuki Sugimura
2. 発表標題 Pattern etching of silicon assisted by graphene oxide in a vapor phase combined with micro-contact printing
3. 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress, IVC-22 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wataru Kubota; Toru Utsunomiya; Takashi Ichii; Hiroyuki Sugimura
2. 発表標題 Chemical Etching of InP Assisted by Graphene Oxide
3. 学会等名 MNC 2022, 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toru Utsunomiya; Hiroshi Shimakawa; Wataru Kubota; Takashi Ichii; Hiroyuki Sugimura
2. 発表標題 Chemical Etching of Silicon Assisted by Photochemically Patterned Graphene Oxide
3. 学会等名 MNC 2022, 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 窪田航, 山岡遼也, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之
2. 発表標題 マイクロコンタクトプリンティングを併用したシリコンの気相中酸化グラフェンアシストエッチング
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本快知, 窪田航, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之
2. 発表標題 遷移金属ダイカルコゲナイド援用シリコンエッチング
3. 学会等名 第24回関西表面技術フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤雄太, 窪田航, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之
2. 発表標題 酸化グラフェンアシストSiエッチングにおけるシート面内構造依存性
3. 学会等名 第24回関西表面技術フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 窪田航, 山岡遼也, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之
2. 発表標題 気相法によるマイクロパターン酸化グラフェンアシストシリコンエッチング
3. 学会等名 表面技術協会第147回講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宇都宮徹
2. 発表標題 真空紫外光照射を用いた酸化グラフェンの還元
3. 学会等名 日本分光学会紫外フロンティア分光部会 第5回講演会「紫外光研究のフロンティア」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 後藤雄太, 窪田航, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之
2. 発表標題 負バイアス条件での酸化グラフェンアシストシリコンエッチング
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本快知, 窪田航, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之
2. 発表標題 MoS ₂ ナノシートを用いた気相中アシストシリコンエッチング
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wataru Kubota, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura
2. 発表標題 Chemical etching of silicon assisted by graphene oxide in HF-H2O2 vapor
3. 学会等名 Interfinish 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toru Utsunomiya, Hiroshi Shinakawa, Wataru Kubota, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura
2. 発表標題 Assisted etching of silicon with photopatterned graphene oxide
3. 学会等名 Interfinish 2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 窪田航, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之
2. 発表標題 酸化グラフェンマイクロパターンを援用したシリコンの気相中エッチング
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuji Hirotsu, Wataru Kubota, Toru Utsunomiya, Takashi Ichii, Hiroyuki Sugimura
2. 発表標題 Local current mapping of electrochemically-exfoliated graphene oxide after thermal-assisted photoreduction
3. 学会等名 29th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM29) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 窪田航, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之
2. 発表標題 酸化グラフェンアシストInPエッチング法の開発
3. 学会等名 表面技術協会第145回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 窪田航, 山岡遼也, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之
2. 発表標題 マイクロパターン酸化グラフェンを援用した気相中シリコンエッチング
3. 学会等名 先端ナノミクス若手研究者交流会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 窪田航, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之
2. 発表標題 InP基板の酸化グラフェンアシストエッチング
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 窪田航, 宇都宮徹, 一井崇, 杉村博之
2. 発表標題 酸化グラフェンアシストシリコンエッチングの反応活性点
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 窪田 航, 島川 紘, 宇都宮 徹, 一井 崇, 杉村 博之
2. 発表標題 フッ硝酸を用いた酸化グラフェンアシストシリコンエッチング
3. 学会等名 表面技術協会第143回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 窪田 航, 宇都宮 徹, 一井 崇, 杉村 博之
2. 発表標題 気相中酸化グラフェンアシストシリコンエッチング
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇都宮 徹, 島川 紘, 窪田 航, 一井 崇, 杉村 博之
2. 発表標題 光パターニングした酸化グラフェンによるシリコンのアシストエッチング
3. 学会等名 表面技術協会第143回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣富 祐二, 宇都宮 徹, 一井 崇, 杉村 博之
2. 発表標題 電気化学剥離酸化グラフェンのLFM解析
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------