

東京科学大学

リサーチインフラ・マネジメント機構

コアファシリティセンター

マイクロプロセス部門

技術報告

2025年(令和7年)度

ANNUAL REPORT 2025

Semiconductor and MEMS Processing Division

Core Facility Center

Research Infrastructure Management Center

Institute of Science Tokyo

ご挨拶

この技術報告は、「半導体プロセス技術によるマイクロデバイス開発支援」を主な業務として、東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント機構コアファシリティセンター（2020年4月より東京工業大学技術部から改組、2024年10月より東京工業大学オープンファシリティセンターから改組）マイクロプロセス部門において、令和7年度に行った学内外への発表、当部門職員によるテクニカルレポートについてまとめたものです。この報告集については、当部門の年報として関連の皆様へ毎年ご覧いただいておりますが、MEMSプロセス技術の基本的な実験データなどを適宜ご利用いただければ幸いです。

当部門は2007年度のスタートから18年経過し、実験設備の更新など経て皆様のご要望にお応えできる場面が増えてまいりました。おかげさまで、研究教育支援の依頼も多方面に渡り、従来の半導体、MEMS、材料物理化学分野に加え、バイオ分野への展開も含めて将来は全学研究教育支援の「ハブ機能」を担えればと考えております。

当部門には、高い技術力・研究企画力を持つ技術者と認定されたテクニカルコンダクター（TC）3名とテクニカルマスター（TM）1名が在籍しております。これからも、一朝一夕には得られない高度なプロセス・評価技術の専門家集団として本学の研究発展に貢献し、また最新技術の研鑽と地道な基礎技術の蓄積を両立しながら研究支援と人材育成に邁進してまいります。

2025年4月より、長年に渡り部門の基盤を築いてくださいました松谷前部門長（現コアファシリティ副センター長）から交代し、重責を拝任することとなりました。よき伝統を踏襲しつつ、時代の変化に対応し、メカノマイクロプロセス室におきましては皆様にご満足いただける安全な管理運営を目指す所存ですので、引き続きご理解ご協力の程、宜しくお願い致します。

最後になりましたが、進士忠彦コアファシリティセンター長、総合研究院細田秀樹未来産業技術研究所長および関係各位のご理解ご支援に深く感謝申し上げます。

令和8年（2026年）3月

リサーチインフラ・マネジメント機構
コアファシリティセンター
マイクロプロセス部門長
遠西 美重

Members

上席技術専門員・テクニカルコンダクター

松谷 晃宏 Akihiro Matsutani, Ph.D.

技術専門員・テクニカルコンダクター

佐藤 美那 Mina Sato

技術専門員・テクニカルコンダクター

遠西 美重 Mie Tohnishi

一般技術職員・テクニカルマスター

藤本 美穂 Miho Fujimoto

技術専門員

宇佐美 浩一 Koichi Usami, Ph.D. (令和7年5月23日まで)

(着任順)

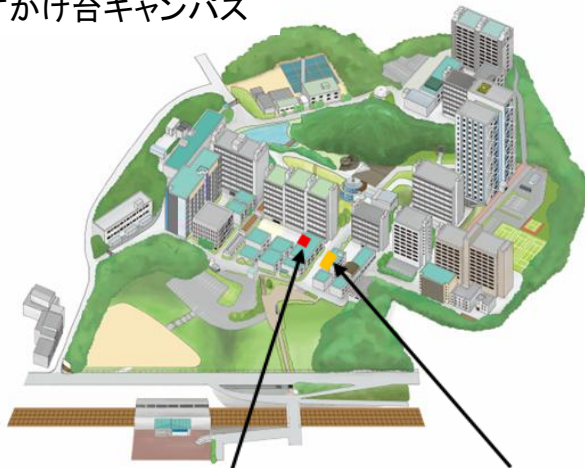
(技術顧問)

未来産業技術研究所 教授

進士 忠彦 Tadahiko Shinshi, Ph.D.

Location

すずかけ台キャンパス



【マイクロプロセス部門居室】
R2-A 棟 2 階
203 号室

【メカマイクロプロセス室】
R3-D 棟 3 階
301, 306 号室

〒226-8501

横浜市緑区長津田町 4259

部屋番号：R2-A203

ポスト番号：R2-3

電話/FAX：045-924-5074

メカマイクロプロセス室の研究支援設備

東京科学大学 リサーチインフラ・マネジメント機構 コアファシリティセンター マイクロプロセス部門
東京科学大学 総合研究院 未来産業技術研究所

本クリーンルームは、平成7年度に東京工業大学精密工学研究所機械系教員を中心に、バイオとメカトロニクスの融合的なデバイス研究を全学的に支援する体制の共同利用のクリーンルームとして設立されました。これまで多くの業績を挙げてきたメカマイクロプロセス室(105m²)に、メカマイクロプロセス室2(91m²)を加え、平成20年度より東京工業大学技術部マイクロプロセス部門の人的資源と統合し、複数の研究分野で最高性能の設備を利用できるハブ拠点としての機能をもって運営しています。本システムを幅広く開放することにより、個別の研究室では対応困難な研究環境を提供し、本学の当該研究分野、特に新デバイスや新材料の創成によるグリーン、ライフの両イノベーションに資する研究での世界的なリーダーシップの獲得を期待することができます。また、次世代の半導体・バイオ・メカ融合デバイス研究支援設備へ進化させる全学的な基盤構築を目指しています。令和3年度より、メカマイクロプロセス室は、未来産業技術研究所の協力の下、主としてリサーチインフラ・マネジメント機構 コアファシリティセンター マイクロプロセス部門により運営管理され、装置の維持、保全を図っています。次世代の半導体・バイオ・メカ融合デバイス研究支援設備を実現するための各種設備については、新規導入、寄付、自作や改造などにより整備を進めています。年会費制による運営で、利用料金により維持管理に必要な経費を得ています。さらに文科省の先端研究基盤共用促進事業の対象となり、平成28年より3年間、共用化のための整備費用の補助を受け、研究基盤共用設備の運用の好事例として文科省の資料にも紹介されています。令和6年10月より、東京科学大学の共用設備として学内外に広く開放されています。



【成膜】
スパッタ装置
(サンユー電子)



【成膜】
スパッタ装置
(キヤノンアネルバ)



【成膜】
蒸着装置
(サンユー電子)



【成膜】
プラズマCVD装置
(サムコ)



【成膜】
スパッタ装置
(サンユー電子)



【成膜】
EB蒸着装置
(サンユー電子)



【成膜】
EB蒸着装置
(ULVAC)



【リソグラフィ】
マスクアライナー
(ミカサ、共和理)



【リソグラフィ】
EB露光装置
(東京テクノロジー)



【リソグラフィ】
EB露光装置
(サンユー電子)



【リソグラフィ】
レーザー描画装置
(ネオアーク)



【エッチング】
Deep-RIE装置
(SPPテクノロジー)



【エッチング】
RIE装置
(サムコ)



【エッチング】
XeF₂気相エッチング装置
(自作)



【エッチング】
ECRイオンシャワー装置
(エリオニクス)



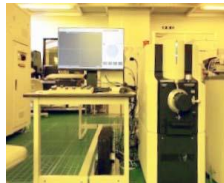
【リソグラフィ】
マスクレス露光装置
(ネオアーク)



【表面処理】
UVオゾンクリーナー
(フィジック)



【観察】
レーザー顕微鏡
(キーエンス)



【観察】
SEM-EDX
(日立ハイテク)



【評価】
触針式表面形状測定器
(ミツミ)



【評価】
エリプソメトリ
(ミツミ光学)



【試料切断】
ダイシングソー
(ディスク)



【観察】
AFM
(日立ハイテク)



【観察】
光学顕微鏡 6台
(オリンパス、ニコン)



【接合】
陽極接合装置
(自作)



【薬品処理】
ドラフトチャンパー

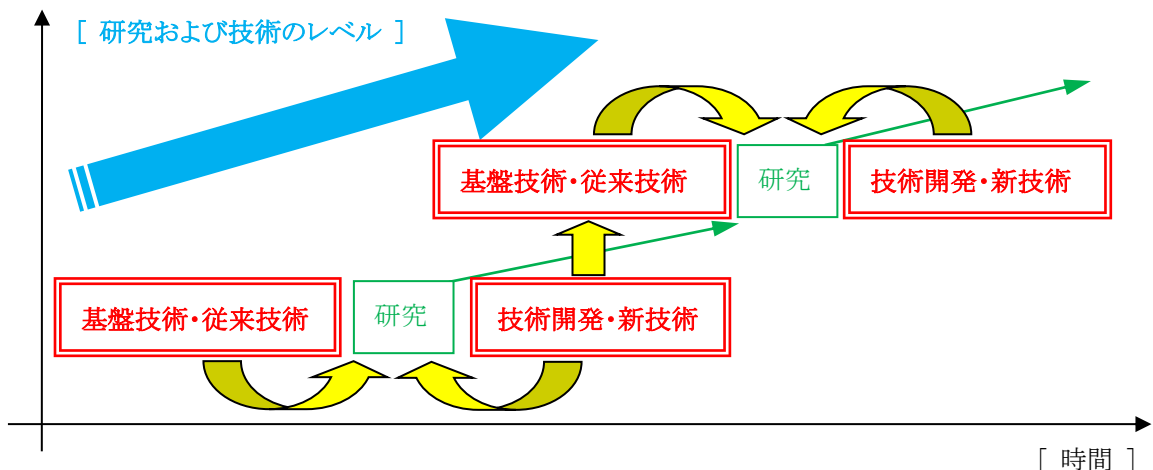
他にも、メカマイクロプロセス室には純水装置、研磨機、金属顕微鏡、スピニングター、ホットプレート、SEM観察用Auコーター、メカマイクロプロセス室2には、加熱炉、ウェットエッチング用器具、などがあります。

(令和8年(2026年)3月)

■ ミッションとビジョン

1. 当部門の運営方針

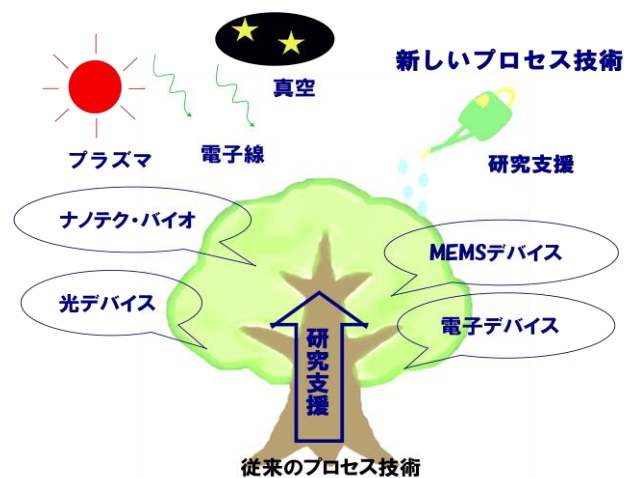
マイクロプロセス部門は、「半導体プロセス技術によるマイクロデバイス開発支援」を主な業務とする研究支援部門です（本学規則による）。研究支援としては、半導体デバイスやMEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems), あるいはバイオチップのプロセス技術および関連材料の分析などを対象としております。当部門には、プラズマプロセス技術, SEM 観察, 材料分析, 微細加工などの専門技術をもつ技術職員が集まり, 半導体・MEMS プロセスで本学の研究に貢献すべく活動しています。当部門の技術の核を, 「真空技術・プラズマプロセス技術・電子線技術」とし, 支援する研究内容を理解し, 個々の研究にふさわしい研究支援業務を行いたいと考え日々研鑽を重ねております。また当部門の特色は, 従来技術や基盤技術からの研究支援だけでなく, 新技術や技術開発による研究支援を行っているところにあります。これは, 新しいデバイス研究の進展には従来技術だけでなく新技術や新たな技術開発による支援が必要であるためです。研究が進展すれば新技術は従来技術となり, さらなる研究の進展のために新しい技術を開発する, このような研究と研究支援のポジティブなループを形成することにより, 本学の発展に寄与したいと考えております。



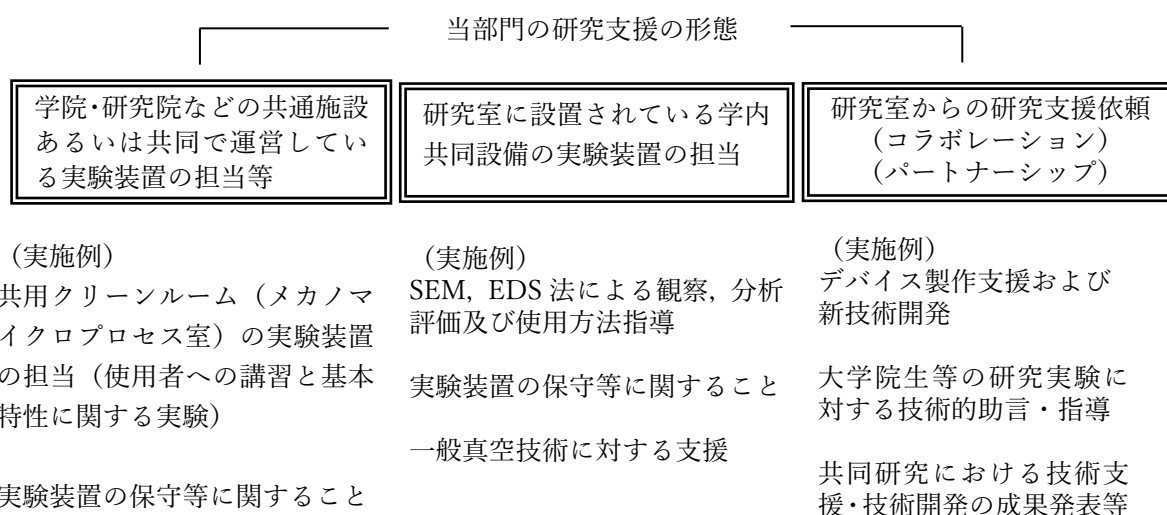
2. 現在の研究支援体制

当部門では、「共通施設の装置の担当」と「研究室からの研究支援依頼に基づく業務」の両面から研究をサポートしております。

「共通施設の装置の担当」では, 専攻・研究所などの共通施設あるいは共同で運営している実験装置, 研究室に設置されている学内共同設備の実験装置を担当するという形態で研究支援を行っております。担当内容としては, 当該実験装置を用いた測定, 分析, 試料製作, 学生への指導・講習, 基本特性に関する実験, メンテナンスなどを行っております。



「研究室からの研究支援依頼に基づく業務」では、各研究室で取り組んでいる研究に専門技術の観点から関与し、研究実験の実施、技術開発、技術相談、実験の指導、実験装置のメンテナンス、装置の設計などを行っております。当部門は、すずかけ台キャンパスに所属しているため、支援業務の多くがすずかけ台キャンパスの研究室ですが、研究支援対象は全学の研究室となりますので、大岡山キャンパスからも毎年数研究室から依頼を受けて研究支援業務を行っております。



3. 「最高の理工系大学」を「最高の研究教育支援」で支えるために

当部門では、東工大ビジョン 2009 で提唱された「知・技・志・和の理工系の育成」を原点として、本学が目指す方向と整合するよう、業務内容に適応するように「知・技・志・和」を以下のように理解して取り組んでいます。

- 知：専門的知識を基盤とした、
- 技：専門的技術により、
- 志：研究教育支援のプロフェッショナルとしての意識をもって、
- 和：研究教育支援の面から学内関連分野融合のハブ機能としても貢献する。

新しいデバイス研究には、新しいプロセス技術の導入によるデバイス製作が必要となります。当部門では、デバイス研究に最適なプロセス技術の提案や開発、観察・分析における最適な試料準備の方法の提案や指導など、コンサルティングやより高度な実験にも取り組んでいきたいと考えております。

また、当部門では全員に科研費の応募を義務付けております。教員の皆様の科研費の分担者、研究協力者や連携研究者などに研究支援のメンバーとして参加することも承りますので、随時ご相談ください。

研究と技術は車の両輪です。皆様の研究や本学の発展に貢献できるよう、当部門は専門的な技術協力でお役に立ちたいと考えております。semi-mem@cfc.rim.isct.ac.jp へお気軽にお問合せください。

■研究教育支援について

▼研究支援依頼は年度単位（年度途中からでも可）でお引き受けしております。

研究支援依頼は研究室等の教授または准教授から包括的に依頼を受け、実際の支援業務は大学院生等から当部門担当者へ個別に依頼していただき、当事者間で調整の後、実施いたします。

これまでに、すずかけ台キャンパス、大岡山キャンパスの多数の研究室からご依頼をいただいております。

なお、研究教育支援依頼書については次頁の書式をご利用ください。

▼メカノマイクロプロセス室の利用も年度単位（年度途中からでも可、年会費制）です。

メカノマイクロプロセス室の利用方法 運用規則（令和6年4月9日一部改訂）より

1. メカノマイクロプロセス室は、クリーンルーム共用化に伴う共用設備です。管理運営はオープンファシリティセンターマイクロプロセス部門および未来産業技術研究所からなる運営委員会によるものとします。運営委員会の組織及び運営等については、別に定めています。
2. メカノマイクロプロセス室運営に必要な費用を、利用研究室に年会費制で分担をお願いしています。

学内の利用者

- (1) 当該年度にメカノマイクロプロセス室を使用する学生とその主指導教員（教授または准教授）の登録が必要です。
年会費制の分担金額は、主指導教員分を登録料40,000 円とします。主指導教員が指導する学生1 人目の使用料を50,000 円、2 人目を40,000 円、3 人目を30,000 円、4 人目以降をそれぞれ20,000 円とします。1 指導教員研究室の上限額は300,000 円とする。年会費のみで当該年度に限り全ての装置を利用できます。
大岡山研究室から薬品を持ち込む場合、登録保管および廃液負担料として、1 本あたり2,000 円を別途いただきます。
- (2) 研究室が使用する場合の分担金は、法人運営費での予算振替のみとします。登録者の追加が必要となった場合には、速やかにメカノマイクロプロセス室幹事に連絡し、追加の分担金をお支払いください。一度いただいた分担金は返還いたしません。

学外の利用者

- (1) 東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント機構コアファシリティセンター共用設備等他大学等学生年間パスポートを所持し必要に応じて提示してください。
- (2) 主指導教員分の登録料 60,000 円とします。主指導教員が指導する学生 1 人あたりの使用料を 50,000 円とします。
3. 装置の管理運営・講習等に関しては、東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント

機構コアファシリティセンターマイクロプロセス部門が行います。講習はすべて日本語で行います。外国人学生が利用する場合は研究室の教員またはチューター学生等が付添い通訳をお願いします（装置マニュアルは日本語と英語を用意しています）。

4. 費用措置方針

A 設備／装置の購入、補修、維持費

B 共通消耗品について

メカノマイクロプロセス室を使用する研究室が共通で使用する頻度の高い以下の物品等を共通消耗品とします。

○ 薬品類：アセトン、IPA、BHF、クロムエッチャント、TMAH

○ レジスト：AZ5214Eと現像液TMAH, ZED-N50

○ ガス等：TEOS, O₂, SF₆, CHF₃, CO₂, CF₄, C₄F₈, He, Ar, Kr, Xe, 液体窒素

○ 実験消耗品：ワイプ、アルミホイル、スポイト、綿棒、スライドガラス、カバーガラス、マイクロピペット用チップ、スパッターターゲット(Cr, SiO₂)

C 設備管理費

- ・マイクロプロセス部門の設備管理基準相当の管理費用
- ・メカノマイクロプロセス室の設備及び装置のメンテナンス、講習、実験立ち合い費用を含めます。

D 実験で必要な個別の消耗品について

共通消耗品以外の消耗品は、各研究室でご準備ください。

以上

年 月 日

東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント機構コアファシリティセンター
マイクロプロセス部門長 殿

研究教育支援依頼書

依頼者

所属 :

職・氏名

印

下記の通り研究教育支援業務を依頼します。

業務内容 :

依頼期間 : 年 月 日～ 年 月 日

業務担当者 : 部門長及び各装置担当者

備考 :

包括的に依頼しますが、各依頼は大学院生等から適宜行います。

特に変更がない場合は来年度も継続します。

※東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント機構コアファシリティセンター
マイクロプロセス部門よりお願い

論文や学会発表等で研究成果をご発表の際には、オーサーシップにご配慮いただくようお願い申し上げます。

※部門記入欄

承認日 年 月 日

東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント機構
コアファシリティセンター マイクロプロセス部門
部門長

【論文】

Akihiro Matsutani, Mina Sato, Miho Fujimoto, and Mie Tohnishi, “CO₂/SF₆-based Deep-Reactive Ion Etching of Si”, *Sensors and Materials*, Vol. 38, No. 3, pp.1193-1205, Mar. 2026.

※Akihiro Matsutani, “Measurement of lens function of yeast cells using optical microscope and laser pointer”, *Physics Education*, Vol. 60, 055028(8pp), Aug. 2025.

Keting Chen, Mie Tohnishi, Akihiro Matsutani, Sachiko Matsushita. “Simulation-based study on a dual-circuit design for achieving continuous power generation in Ge-sensitized thermal cells under isothermal conditions”, *Energy Conversion and Management*, Elsevier, Volume 331, Page 119678, May 2025.

Chaity Saha, Akihiro Matsutani, Marie Tabaru. “Measurement of right-hand motion in Kotsuzumi performance with video analysis using smartphone-captured data”, *Physics Education*, Vol. 60, No. 4, Page 045011, May 2025.

※Mie Tohnishi, Sachiko Matsushita, Akihiro Matsutani. “Microfabrication of Black Ge by SF₆/O₂- and C₄F₈-based Deep Reactive Ion Etching”, *Sensors and Materials*, Vol. 37, No. 3, pp. 943-953, Mar. 2025.

※Mina Sato, Mie Tohnishi, Miho Fujimoto, Akihiro Matsutani. “Sub-micrometer-sized Patterning of Photoresist by Electron Beam Projection Lithography Using Tabletop Scanning Electron Microscopy System and Stencil Masks”, *Sensors and Materials*, Vol. 37, No. 3, pp. 977-985, Mar. 2025

Marie Tabaru, Tomohisa Funakura, and Akihiro Matsutani. “Experiments of acoustic resonance and vibration mode of kotsuzumi using paper pipe, V-shape pendulum, and carbon paper,” *Phys. Educ.* **60** (2025) 015028 (9pp)

Akihiro Matsutani, “Observation of gas flow around plants using Schlieren imaging system and high-refractive-index gas,” *Physics Education*, **59** (2024) 045013(8pp).

T. Mochida, A. Matsutani, W. Hijikata “Development of implantable energy-harvesting system utilizing incomplete tetanus of skeletal muscle,” *Journal of Science and Engineering*, Vol. 19, No. 3 (2024) pp 23-00590.

M. Sato, M. Tohnishi, A. Matsutani, “Microfabrication of Si by KOH Etchant Using Etching Masks Amorphized by Ion Beam Extracted from Electron Cyclotron Plasma,” *Sensors and Materials*, Vol. 36, No. 4 (2024) pp 1319-1328.

M. Tohnishi, Mina Sato, A. Matsutani, T. Ubukata, and S. Matsushita, “Surface Treatment of Polyimide using Solid-source H₂O Plasma for Fabrication of Ge Electrode,” *Sensors and Materials* Vol. 35, No. 3 (2023) pp 1023-1033.

Ryo Tsukui, Masaru Kino, Kodai Yamamoto, Mina Sato, Mie Tohnishi, Akihiro Matsutani, and Mikio Kurita, “Laboratory demonstration of the birefringent point-diffraction interferometer wavefront sensor,” *Optics Continuum* Vol. 2, Issue 2 (2023) pp. 382-396.

A. Matsutani, “Observation of libration and change in apparent diameter of the Moon with a pinhole camera,” *Physics Education*, **57**, (2022) 055011 (6pp).

M. Sato, M. Tohnishi, and A. Matsutani, “Microfabrication of Si by KOH Etchant Using Etching Mask Amorphized by Ar Ion Beam,” *Sensors and Materials*, Vol. 34, No. 1 (2022) pp. 37-45.

M. Tohnishi and A. Matsutani, “Surface Treatment of Polydimethylsiloxane and Glass Using Solid-source H₂O Plasma for Fabrication of Microfluidic Devices,” *Sensors and Materials*, Vol. 33, No. 2 (2021) pp. 569-574.

A. Matsutani, “Direct observation of spherical aberration under microscope using concave micromirrors,” *Eur. J. Phys.*, Vol. 41 (2020) 055303(8pp).

S. Hu, M. Takanohashi, X. Gu, A. Matsutani, F. Koyama, “Lateral Integration of VCSEL and Amplifier with Resonant Wavelength Detuning Design,” *IEICE Electronics Express*, vol. 17, Issue 2, (2020) 20190688.

T. Takeshima, A. Matsutani, M. Sato, K. Hasebe, T. Isobe, A. Nakajima, S. Matsushita, “In-situ Temperature Measurement of Local Photothermal Conversion,” *Chem. Lett.*, Vol.49, No.5 (2020) pp. 469-472.

A. Matsutani, M. Sato, K. Hasebe, A. Takada, “Microfabrication of Concave Micromirror for Microbial Cell Trapping Using Köhler Illumination by XeF₂ Vapor Etching,” *Sensors and Materials*, **31**(2019) pp. 1325-1334.

T. Ezaki, A. Matsutani, K. Nishioka, D. Shoji, M. Sato, T. Okamoto, T. Isobe, A. Nakajima, S. Matsushita, “Surface potential on gold nanodisc arrays fabricated on silicon under light irradiation, *Surface Science*,” **672-673** (2018) 62–67.

H. Takeda, K. Akimoto, T. Oshima, K. Takizawa, J. Kondoh, A. Matsutani, T. Hoshina, T. Tsurumi, “Electro-acoustical constants and Rayleigh surface acoustic wave propagation characteristics of calcium aluminate silicate Ca₂Al₂SiO₇ single crystals,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **57**(2018) 11UD01.

前田幸平, Van Nhu Hai, 西岡 國生, 松谷 晃宏, 立木 隆, 内田 貴司, “MOD 法により Si₃N₄/SiO₂ メンブレン上に製作した VO_x マイクロボロメータの特性評価” *電気学会論文誌 A*, Vol. 138, No. 9, (2018) pp. 471-477.

S. Inoue, S. Nishimura, M. Nakahama, A. Matsutani, T. Sakaguchi, F. Koyama, “High-speed wavelength switching of tunable MEMS vertical cavity surface emitting laser by ringing suppression,” *Japanese Journal of Applied Physics*, **57** (2018) pp. 040308-1-4.

A. Matsutani, A. Takada, “Celluloid Microenclosure and Microlens Array Fabricated by Suzuki's Universal Microprinting Method and XeF₂ Vapor Etching for Microbial Analysis,” *Sensors and Materials*, **30** (2018) pp. 149-155.

T. Takahashi, A. Matsutani, D. Shoji, K. Nishioka, M. Sato, T. Okamoto, T. Ezaki, T. Isobe, A. Nakajima, S. Matsushita, “Optical performance of Au hemispheric sub-microstructure on polystyrene quadramer, *Colloids*,” *Surf. A*. 513 (2017) pp. 51-56.

A. Matsutani, A. Takada, “Microchannel-free collection and single-cell isolation of yeast cells in a suspension using liquid standing wave,” *Japanese Journal of Applied Physics*, **55** (2016) 118006.

A. Matsutani, F. Ishiwari, Y. Shoji, T. Kajitani, T. Uehara, M. Nakagawa, T. Fukushima, “Chlorine -based inductively coupled plasma etching of GaAs wafer using tripod paraffinic triptycene as an etching resist mask,” *Japanese Journal of Applied Physics*, **55** (2016) 06GL01.

A. Matsutani, K. Nishioka, M. Sato, “Energy dispersive X-ray spectroscopy analysis of Si sidewall surface etched by deep-reactive ion etching,” *Japanese Journal of Applied Physics*, **55** (2016) 06GH05.

S. Matsushita, A. Matsutani, Y. Morii, D. Kobayashi, K. Nishioka, D. Shoji, M. Sato, Tetsu Tatsuma, Takumi Sannomiya, Toshihiro Isobe, Akira Nakajima, "Calculation and Fabrication of Two-dimensional Complete Photonic Bandgap Structures composed of Rutile TiO₂ Single Crystals in Air/Liquid," J. MATER. SCI., **51**(2016) 1066.

A. Matsutani, A. Takada, "Single-Cell Isolation and Size Sieving Using Microenclosure Array for Microbial Analysis," Sensors and Materials, **27** (2015) 383.

A. Matsutani, F. Koyama, "Dry etching of SiC using Ar/F₂ plasma and XeF₂ plasma," Japanese Journal of Applied Physics, **54** (2015) 06GB01.

M. Nakahama, X. Gu, T. Sakaguchi, A. Matsutani, M. Ahmed, A. Bakry, F. Koyama, "Sub-gigahertz beam switching of vertical-cavity surface-emitting laser with transverse coupled cavity," Applied Physics Letters, **107** (2015) 071105.

X. Gu, M. Nakahama, A. Matsutani, M. Ahmed, A. Bakry, F. Koyama, "850nm transverse-coupled-cavity vertical-cavity surface-emitting laser with direct modulation bandwidth of over 30GHz," Applied Physics Express, **8** (2015) 82702.

C. Zhi, T. Shinshi, M. Uehara, A. Matsutani, I. Yuito, and T. Takeuchi, "A polydimethylsiloxane diaphragm integrated with a sputtered thin film NdFeB magnet," Microsyst. Technol. **21** (2015) 675.

A. Matsutani, K. Nishioka, M. Sato, D. Shoji, D. Kobayashi, T. Isobe, A. Nakajima, T. Tatsuma, and S. Matsushita, "Angled Etching of (001) Rutile Nb-TiO₂ Substrate Using SF₆ Based Capacitive Coupled Plasma Reactive Ion Etching," Jpn. J. Appl. Phys. **53** (2014) 06JF02.

M. Nakahama, T. Sakaguchi, A. Matsutani, and F. Koyama, "Athermalization and on-chip multi-wavelength integration of VCSELs employing thermally actuated micromachined mirrors," Appl. Phys. Lett. **105** (2014) 091110.

S. Inoue, J. Kashino, A. Matsutani, H. Ohtsuki, T. Miyashita, and F. Koyama, "Highly angular dependent high-contrast grating mirror and its application for transverse-mode control of VCSELs," Jpn. J. Appl. Phys. **53** (2014) 090306.

T. Shimada, A. Matsutani, and F. Koyama, "Lateral Integration of Vertical Cavity Surface Emitting Laser and Slow Light Bragg Reflector Waveguide Devices," Appl. Opt. **53** (2014) 1766.

K. Tahara, T. Iwasaki, S. Furuyama, A. Matsutani, and M. Hatano, "Asymmetric transport property of fluorinated grapheme," Appl. Phys. Lett. **103** (2013) 143106.

A. Matsutani, K. Tahara, T. Iwasaki, and M. Hatano, "Fluorination of Graphene by Reactive Ion Etching System Using Ar/F₂ Plasma," Jpn. J. Appl. Phys. **52** (2013) 06GD11.

A. Matsutani, and A. Takada, "Fabrication of Silicon Microchannel for Transport of Bacterial Cells by Ar/F₂ Vapor Etching Process," Jpn. J. Appl. Phys. **52** (2013) 047001.

A. Matsutani, M. Hayashi, Y. Morii, K. Nishioka, T. Isobe, A. Nakajima, and S. Matsushita, "SF₆-Based Deep Reactive Ion Etching of (001) Rutile TiO₂ Substrate for Photonic Crystal Structure with Wide Complete Photonic Band Gap," Jpn. J. Appl. Phys. **51** (2012) 098002.

K. Tahara, T. Iwasaki, A. Matsutani, and M. Hatano, "Effect of radical fluorination on mono- and bi-layer graphene in Ar/F₂ plasma," Appl. Phys. Lett. **101** (2012) 163105.

A. Matsutani and A. Takada, "Microfabrication of Si and GaAs by Plasma Etching Process Using

Bacterial Cells as an Etching Mask Material,” Jpn. J. Appl. Phys. **51** (2012) 087001.

A. Matsutani, Y. Hashidume, H. Ohtsuki, and F. Koyama, “Microfabrication of Si-Based High-Index-Contrast-Grating Structure by Thermal Nanoimprint Lithography and Cl₂/Xe-Inductively Coupled Plasma Etching,” Jpn. J. Appl. Phys. **51** (2012) 06FF05.

A. Matsutani, H. Ohtsuki and F. Koyama, “Inductively Coupled Plasma Etching of Silicon Using Solid Iodine as an Etching Gas Source,” Jpn. J. Appl. Phys. **50** (2011) 06GG07.

X. Gu, T. Shimada, A. Fuchida, A. Matsutani, A. Imamura, and F. Koyama, “Beam steering in GaInAs/GaAs slow-light Bragg reflector waveguide amplifier,” Appl. Phys. Lett. **99** (2011) 211107

A. Matsutani, A. Takada, “High-Frequency Single-Cell Isolation of Bacteria Using Microenclosure Array with Multipillar Structure,” Jpn. J. Appl. Phys. **49** (2010) 127201.

A. Matsutani, H. Ohtsuki and F. Koyama, “Reactive Ion Etching of Si Using Ar/F₂ Plasma,” Jpn. J. Appl. Phys. **49** (2010) 06GH05

A. Matsutani, H. Ohtsuki and F. Koyama, “Smooth and Vertical Profile Dry Etching of Si using XeF₂ Plasma,” Jpn. J. Appl. Phys. **48** (2009) 06FE09

A. Matsutani, H. Ohtsuki, and F. Koyama, “Generation of Solid-Source H₂O Plasma and Its Application to Dry Etching of CaF₂,” Jpn. J. Appl. Phys. **47** (2008) 5113.

【学会，研究会等】

※遠西 美重, 佐藤 美那, 藤本 美穂, 松谷 晃宏, “CO₂/SF₆ Deep-RIE による Si の垂直微細加工”, 第 73 回応用物理学会春季学術講演会, 17a-M_135-10 (2026 年 3 月 17 日, 東京科学大学)

※松谷 晃宏, “東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント機構における技術職員の人材育成-マイクロプロセス部門の事例-”, 第 73 回応用物理学会春季学術講演会, 16p-M_B07-5 (2026 年 3 月 16 日, 東京科学大学)

※松谷 晃宏, “酵母細胞で形成されたコーヒーリングによる回折光の分光測定”, 第 73 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-PB2-34 (2026 年 3 月 15 日, 東京科学大学)

※遠西 美重, “永久磁石を用いたレジストのエッチングレート向上のための実験”, 実験・実習技術研究会 2026 鳥取大学, B-8 (2026 年 3 月 10 日, オンライン開催)

金澤 亜里沙, 松谷 晃宏, 津久井 遼, 大屋 真, 峰崎 岳夫, 水書 稔治, “位相変位点回折素子の製作状況と今後の光学系製作に関しての展望”, 2025 年度衝撃波シンポジウム, 3B4-4 (2026 年 3 月 6 日, 名古屋大学)

※藤本 美穂, “電子線レジストとしてのネガ型フォトレジスト SU-8 の薄膜化によるラインパターンの微細化”, 令和 7 年度核融合科学研究所技術研究会, P-2-5 (2026 年 3 月 5 日, 多治見市産業文化センター)

※Akihiro Matsutani, “Spectroscopic Measurement of Diffracted Light from Coffee Ring Formed by Yeast Cells”, 38th International Microprocesses and nanotechnology Conference (MNC2025), 20P-1-61 (2025 年 11 月 20 日, KFC Hall & Rooms)

※Mina Sato, Mie Tohnishi, Akihiro Matsutani. “Dependence of Etching Rate Ratio on Ion Energy and Crystal Orientation for KOH Etching of Amorphized Si Etching Masks Formed by N⁺ Irradiation”, 38th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2025), 19P-1-29 (2025 年 11 月)

19 日, KFC Hall & Rooms)

※Mie Tohnishi, Mina Sato, Akihiro Matsutani. “Investigation of magnet placement effect on plasma density and etching profile in Si plasma etching”, 38th International Microprocesses and nanotechnology Conference (MNC2025), 19P-1-35 (2025 年 11 月 19 日, KFC Hall & Rooms)

※Akihiro Matsutani, Mina Sato, Miho Fujimoto, Mie Tohnishi. “SF₆/CO₂-based Deep Reactive Ion Etching of Si”, 38th International Microprocesses and nanotechnology Conference (MNC2025), 19P-1-92L (2025 年 11 月 19 日, KFC Hall & Rooms)

※佐藤 美那, 遠西 美重, 松谷 晃宏. “N⁺照射により形成したアモルファス化 Si エッチングマスクの KOH エッチングに対するエッチング速度のイオンエネルギー依存性”, 第 86 回応用物理学会秋季学術講演会, 9a-N406-6(2025 年 9 月 9 日, 名城大学)

※遠西 美重, 佐藤 美那, 松谷 晃宏. “SmCo 磁石で高密度化された RIE チャンバー内のプラズマ分布の観察”, 第 86 回応用物理学会秋季学術講演会, 9a-N406-7(2025 年 9 月 9 日, 名城大学)

※松谷 晃宏. “ポリスチレンビーズで形成されたコーヒーリングによる回折光の分光測定”, 第 86 回応用物理学会秋季学術講演会, 8p-P01-33(2025 年 9 月 8 日, 名城大学)

松谷晃宏. “V 字振り子を用いたタッピングにより測定したヴィオラ駒と周波数応答の関係”, 日本音響学会音楽音響研究会, 日本音響学会音楽音響研究会資料, Vol. 44, No. 1, pp. 1-4(2025 年 4 月 19 日, 国立音楽大学)

Keiya Yamashita, Naoki Tano, Akihiro Matsutani, Marie Tabaru. “Kotsuzumi’s Membrane Vibration Mode Depending on Contact State between Membrane and Body”, 第 72 回応用物理学会春季学術講演会, 15a-K205-9 (2025 年度 3 月 15 日, 東京理科大学)

Rikuta Uehara, Yuki Kawaguchi, Kazuto Kobayashi, Munehiro Ebato, Akihiro Matsutani, Marie Tabaru. “Acoustic Impedance Imaging of Granite and Quartz by using Ultrasonic Microscopy”, 第 72 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-K210-8 (2025 年 3 月 15 日, 東京理科大学)

飯嶋 航大, 谷口 公太, 大槻秀夫, 神野 莉衣奈, 遠西 美重, 松谷 晃宏, 太田 泰友, 岩本 敏. “ α -Ga₂O₃ 導波路作製に向けた PECVD 成膜 a-C:H 膜の Ar プラズマエッチング耐性評価”, 第 72 回 応用物理学会春季学術講演会, 16a-K403-2(2025 年 3 月 16 日, 東京理科大学)

鈴木 真琴, 三 浦雅展, 松谷 晃宏, “クラリネット用リードにおける表面および内部構造と演奏適性の関係”, 2025 春日本音響学会研究発表会, 2-5-13(2025 年 3 月 18 日, 埼玉大学)

松谷 晃宏, “ヴァイオリン演奏に関する科学 — ヴァイオリンは物理の玉手箱 —”, 第 72 回応用物理学会春季学術講演会, 16a-K204-5(2025 年 3 月 16 日, 東京理科大学)【招待講演】

山下 佳也, 田野 直輝, 松谷 晃宏, 田原 麻梨江, “小鼓膜と胴の接触を考慮した膜振動モードに関する研究”, 第 72 回応用物理学会春季学術講演会, 15a-K205-9 (2025 年 3 月 15 日, 東京理科大学)

上原 隆太, 川口 祐季, 小林 和人, 江波戸 宗大, 松谷 晃宏, 田 原麻梨江, “超音波顕微鏡画像による花崗岩および石英の音響インピーダンス測定”, 第 72 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-K210-8(2025 年 3 月 15 日, 東京理科大学)

陳 科廷, 遠西 美重, 松谷 晃宏, 松下 祥子, “楕形電極 Ge 増感型熱利用電池における放電挙動の電解質層厚み依存”, 第 72 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-K307-14(2025 年 3 月 15 日, 東京理科大学)

佐藤 美那, 遠西 美重, 藤本 美穂, 松谷 晃宏, “卓上 SEM とステンシルマスクを用いた EPL 法の開発”, 第 72 回応用物理学会春季学術講演会, 14p-P07-33 (2025 年 3 月 14 日, 東京理科大学)

松谷 晃宏, “酵母細胞の屈折率の波長依存性の測定”, 第 72 回応用物理学会春季学術講演会, 14p-P07-34 (2025 年 3 月 14 日, 東京理科大学)

小澤 亮太, 水書 稔治, 津久井 遼, 山本 広大, 藤本 美穂, 佐藤 美那, 遠西 美重, 松谷 晃宏, “複屈折結晶を利用した位相変位干渉計素子の試作と光学的特性”, 2024 年衝撃波シンポジウム, 1B4-2 (2025 年 3 月 12 日, 東北大学)

藤本 美穂, “ネガ型フォトレジスト SU-8 の電子線レジストへの応用”, 総合技術研究会 2025 年筑波大学, P_02_01 (2025 年 3 月 6 日, 筑波大学)

遠西 美重, “異種材料接合の表面処理における固体ソース H₂O プラズマ分布均一化のための改良”, 総合技術研究会 2025 年筑波大学, P_02_02 (2025 年 3 月 6 日, 筑波大学)

Akihiro Matsutani, “Optical Properties of Yeast Cell as a Microlens”, 37th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2024), 15P-1-40 (2024 年 11 月 15 日, 京都ブライトンホテル)

Mina Sato, Mie Tohnishi, Miho Fujimoto, Akihiro Matsutani, “Submicrometer-sized Patterning of Photoresist by Electron Beam Projection Lithography Using Tabletop Scanning Electron Microscope System and Si Stencil Mask”, 37th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2024), 14P-1-6 (2024 年 11 月 14 日, 京都ブライトンホテル)

松谷 晃宏, “マイクロレンズとしての酵母細胞の集光特性と屈折率の測定”, 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会, 16p-P07-22 (2024 年 9 月 16 日, 朱鷺メッセほか)

遠西 美重, “固体ソース H₂O プラズマによるフォトレジストのエッチング分布の均一化”, 第 30 回機器・分析技術研究会, P-33 (2024 年 9 月 5 日, 広島大学)

Saha Chaity, Tomohisa Funakura, Akihiro Matsutani, Marie Tabaru, “Measurement of Hand Motion in Kotsuzumi Performance using Smartphone with Video Analysis”, 2024 秋季日本音響学会研究発表会, 1-1-4 (2024 年 9 月 4 日, 関西大学)

遠西 美重, 松下 祥子, 松谷 晃宏, “Deep-RIE で作製したブラック Ge の微細構造側壁のスキヤロップ深さと反射率との関係”, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 23p-P05-33 (2024 年 3 月 23 日, 東京都市大学)

佐藤 美那, 遠西 美重, 松谷 晃宏, “イオンビーム照射によりアモルファス化した Si 表面の XRR 測定”, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 23p-P05-34 (2024 年 3 月 23 日, 東京都市大学)

藤本 美穂, 松谷 晃宏, “裏面露光によるサブミクロン直径の SU-8 円柱構造の作製と蛍光観察”, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 23p-P05-35 (2024 年 3 月 23 日, 東京都市大学)

松谷 晃宏, 遠西 美重, 吉田 桜子, “Os コーティングによる SU-8 膜の梁構造の機械的強度の向上”, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 23p-P05-36 (2024 年 3 月 23 日, 東京都市大学)

陳 科廷, 遠西 美重, 松谷 晃宏, 松下 祥子, “二枚楕形電極を重ねた Ge 増感型熱利用電池構造のシミュレーションと作製”, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 22p-13P-10 (2024 年 3 月 22 日, 東京都市大学)

Saha Chaity, Tomohisa Funakura, Akihiro Matsutani, Marie Tabaru, “Analyzing posture of kotsuzumi players, hitting motion, and sound production,” 日本音響学会第 151 回(2024 年春)研究発表会, 1-5-13 (2024 年 3 月 7 日, 拓殖大学)

船倉 智久, Saha Chaity, 松谷 晃宏, 田原 麻梨江, “小鼓の加振位置の違いによる音の特性と膜の振動特性の評価”, 日本音響学会第 151 回(2024 年春)研究発表会, 1-5-13 (2024 年 3 月 6 日, 拓殖大学)

Kazuki Shishikura, Hiroyuki Nabae, Akihiro Matsutani, Mina Sato, Koichi Suzumori, “Tetherless IPMC Actuator Integrated with Thin Magnesium Battery Formed by Sputtering”, The 2024 16th IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Proceedings of the 2024 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, IEEE (2024 年 1 月, Ha Long, Vietnam)

Mie Tohnishi, Sachiko Matsushita, Akihiro Matsutani, “Fabrication of nonreflective black germanium in near-infrared region up to a wavelength of 2.5 μm by $\text{SF}_6+\text{O}_2/\text{C}_4\text{F}_8$ -plasma-based deep reactive ion etching”, 2023 International Symposium on Dry Process (DPS 2023), Proceedings of International Symposium on Dry Process, P-5 (2023 年 11 月, ウィンクあいち)

遠西 美重, 松谷 晃宏, 松下 祥子, “Deep-RIE により作製したブラック Ge 微細構造側壁の EDX 分析”, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 20p-P07-15 (2023 年 9 月 20 日, 熊本城ホール)

松谷 晃宏, 遠西 美重, “デジタルカメラと回折格子による Si の Deep-RIE プラズマの発光分光測定と EDX による高アスペクト比 (HAR) エッチング側壁の分析の比較”, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 20p-P07-16 (2023 年 9 月 20 日, 熊本城ホール)

遠西 美重, 松谷 晃宏, 生方 俊, 松下 祥子, “固体ソース H_2O プラズマ処理したポリイミド樹脂の表面の XPS 分析”, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 17p-PA02-5 (2023 年 3 月 17 日, 上智大学)

佐藤 美那, 遠西 美重, 松谷 晃宏, “ Ar^+ ビーム照射により作製した KOH エッチング用 Si マスクの XPS 解析”, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 17p-PA02-6 (2023 年 3 月 17 日, 上智大学)

藤本 美穂, 松谷 晃宏, “酸素プラズマ照射した電子線レジスト SML 表面の XPS 分析”, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 17p-PA02-7 (2023 年 3 月 17 日, 上智大学)

津久井 遼, 木野 勝, 山本 広大, 佐藤 美那, 遠西 美重, 松谷 晃宏, 栗田 光樹夫, “点回折干渉計方式による極限補償光学用波面センサの開発”, 2023 年度精密工学会春季大会学術講演会, D45 (2023 年 3 月 15 日, 東京理科大学)

持田 匠, 土方 亘, 松谷 晃宏, “骨格筋の不完全強縮を利用した体内エネルギーハーベスティングデバイスの開発”, 第 31 回 MAGDA コンファレンス in 鹿児島 (MAGDA2022), OS-5-6 (2022 年 11 月 1 日, かごしま県民交流センター)

松谷 晃宏, 遠西 美重, 藤本 美穂, 松下 祥子, “ポジ型電子線レジスト SML1000 をマスクとして用いた SF_6 -RIE による Ge のドライエッチング”, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-P01-5 (2022 年 9 月 20 日, 東北大学)

津久井 遼, 木野 勝, 山本 広大, 佐藤 美那, 遠西 美重, 松谷 晃宏, 栗田 光樹夫, “点回折干渉計方式を用いた補償光学用波面センサの開発3: 波面測定実験”, 日本天文学会 2022 年秋季年会, V229b (2022 年 9 月 14 日, 新潟大学)

藤本 美穂, 松谷 晃宏, “酸素プラズマ照射によるポジ型電子線レジスト SML の増感効果”, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 22a-P01-10 (2022 年 3 月 22 日, 青山学院大学)

遠西 美重, 佐藤 美那, 松下 祥子, 松谷 晃宏, “ポリイミドシート上へスパッタ成膜した Cr/Ge 電極の固体ソース H_2O プラズマを用いた前処理による低抵抗化”, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 22a-P01-9 (2022 年 3 月 22 日, 青山学院大学)

佐藤 美那, 遠西 美重, 松谷 晃宏, “Ar⁺ビーム照射による Si アモルファスマスクを利用した KOH エッチングによる単一細胞分離プレートとマイクロ流路の作製”, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 22a-P01-8 (2022 年 3 月 22 日, 青山学院大学)

大勝 賢樹, 賀 智凱, 松谷 晃宏, 真島 豊, “ナノポア DNA シーケンサに向けた無電解金めっきナノポアの作製”, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 24p-E104-7 (2022 年 3 月 24 日, 青山学院大学)

立花 綾, 佐藤 美那, 松谷 晃宏, 望月 泰英, 磯部 敏宏, 中島 章, 松下 祥子, “2 層コロイド結晶を用いた Metal-Insulator-Metal ナノディスク構造の作製”, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 24p-D316-3 (2022 年 3 月 24 日, 青山学院大学)

田村 茂雄, “電子ビーム露光によるポジ型レジストの現像温度と最適露光量の関係”, 令和 3 年度 核融合科学研究所技術研究会, 作 3 (2022 年 3 月 10 日, オンライン開催)

松谷 晃宏, “科学技術分野の文部科学大臣表彰研究支援賞を受賞して”, 2022 実験実習技術研究会特別講演 2 (2022 年 3 月 3 日, オンライン開催)

松谷 晃宏, “東京工業大学オープンファシリティセンターマイクロプロセス部門の最近の取り組み”, 第 22 回令和 3 年度高エネルギー加速器研究機構シンポジウム (2022 年 1 月 21 日, オンライン開催)

持田 匠, 土方 亘, 松谷 晃宏, “電気刺激による骨格筋の不完全強縮を利用した体内エナジーハーベスティングデバイスの開発”, 2021 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2021 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, D23 (2021 年 9 月 21 日, 神戸大学)

田村 茂雄, “電子ビーム露光レジストパターンのポストバーク温度による形状変化”, 令和 3 年度 山口大学 機器・分析技術研究会, 発表番号 12 (2021 年 9 月 10 日, オンライン開催)

遠西 美重, 佐藤 美那, 松下 祥子, 松谷 晃宏, “固体ソース H₂O プラズマを用いて表面処理したポリイミドテープ上の Cr/Cu 電極の折り曲げ耐久性”, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, 21a-P03-5 (2021 年 9 月 21 日, オンライン開催)

佐藤 美那, 遠西 美重, 松谷 晃宏, “エッチングマスクとして Ar⁺イオンビームを照射した 微細マスクパターンを用いた KOH エッチングによる Si の微細加工”, 第 82 回 応用物理学会秋季学術講演会, 21a-P03-7 (2021 年 9 月 21 日, オンライン開催)

津久井 遼, 木野 勝, 山本 広大, 栗田 光樹夫, 松谷 晃宏, “点回折干渉計方式を用いた補償光学用波面センサの開発”, 日本天文学会 2021 年秋季年会, V245b (2021 年 9 月 14 日, オンライン開催)

佐藤 美那, 松谷 晃宏, 津久井 遼, 木野 勝, 山本 広大, 栗田 光樹夫, 長田 哲也, “ドライエッチングにより製作したメンブレン構造の NbO₂ 薄膜の顕微分光透過率測定と EDX 分析”, 第 68 回応用物理学会学術講演会, 16a-P04-5 (2021 年 3 月 16 日, オンライン開催)

遠西 美重, 松谷 晃宏, “固体ソース H₂O プラズマ処理したポジ型フォトレジストの表面粗さの観察”, 第 68 回応用物理学会学術講演会, 16a-P04-6 (2021 年 3 月 16 日, オンライン開催)

佐藤 美那, “Si の KOH エッチング用マスクとしての FIB 照射の利用～エッチング時間によるマスク耐性及び三次元構造の作製～”, 総合技術研究会 2021 東北大学, D1-04 (2021 年 3 月 3～5 日, オンライン開催)

藤本 美穂, “電子線レジスト SML と ZEP の適正露光量の探索”, 総合技術研究会 2021 東北大学, D9-13 (2021 年 3 月 3～5 日, オンライン開催)

田村 茂雄, “デフォーカスビームによる電子ビームパターンサイズ制御”, 総合技術研究会 2021 東北大学, D2-01 (2021 年 3 月 3~5 日, オンライン開催)

津久井 遼, 木野 勝, 山本 広大, 栗田 光樹夫, 松谷 晃宏, “せいめい望遠鏡での極限補償光学に向けた波面センサの開発”, 第 18 回赤外放射応用関連学会等年会, V207c (2021 年 1 月 29 日, オンライン開催)

松谷 晃宏, “共用クリーンルームにおける研究支援と微細加工プロセス技術の開発”, 第 9 回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ 2020, (2020 年 12 月, オンライン開催)

新井 真俊, 松谷 晃宏, 吉田 和弘, 金 俊完, “深掘り反応性イオンエッチング(DRIE)における開口パターンの高アスペクト比形状への影響”, 山梨講演会 2020, 山梨講演会 講演論文集, No. 200-3, D44 (2020 年 11 月 22 日, オンライン開催)

遠西 美重, 松谷 晃宏, “固体ソース H₂O プラズマによるガラスとポリジメチルシロキサン(PDMS)の接合表面処理”, 2020 年機器・分析技術研究会, P-31 (2020 年 9 月 7~11 日, オンライン開催)

全 聖河, 宮田 啓夢, 榛葉 健太, 宮本 義孝, 松谷 晃宏, 八木 透, “凸凹形状の底面を有したマイクロチャンネルによる神経突起の伸長制御”, 電気学会 マグネティックス, 医用・生体工学合同研究会, MAG-20-043, MBE-20-028 (2020 年 3 月 19 日, 東海大学)

遠西 美重, “固体ソース H₂O プラズマ処理による PDMS とガラスの接合”, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 13a-PA1-14 (2020 年 3 月 13 日, 上智大学)

藤本 美穂, “微細加工した温度応答性感光樹脂薄膜における巨視的相転移の観察”, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 13a-PA1-15 (2020 年 3 月 13 日, 上智大学)

松谷 晃宏, 柳田保子, “眼瞼圧推定のための渦電流式変位センサを用いた測定方法の提案”, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 13a-PA1-16 (2020 年 3 月 13 日, 上智大学)

松谷 晃宏, “スンプ法によるセルロイドマイクロ時計皿アレイ細胞集積チップの製作”, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 13a-PA1-17 (2020 年 3 月 13 日, 上智大学)

許 在旭, 志村 京亮, 顧 曉冬, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “多点接触構造を有する長尺 VCSEL 増幅器”, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 15a-B415-3 (2020 年 3 月 15 日, 上智大学)

藤本 美穂, “メカノマイクロプロセス室の実験装置で利用されている真空技術およびその実験例”, 令和元年度東京工業大学技術部技術発表会 (2020 年 3 月 11 日, 東京工業大学)

遠西 美重, “PDMS とガラスの接合—メカノマイクロプロセス室の真空装置を利用して—”, 令和元年度東京工業大学技術部技術発表会 (2020 年 3 月 11 日, 東京工業大学)

松谷 晃宏, “技術部マイクロプロセス部門における高度専門職人材としての技術職員の養成”, 令和元年度東京工業大学技術部技術発表会 (2020 年 3 月 11 日, 東京工業大学)

藤本 美穂, “フレネルゾーンプレートのフォトマスク作製”, 技術研究会 2020, P-3-02 (2020 年 3 月 5 日, 千葉大学)

遠西 美重, “PDMS とガラスの酸素プラズマ処理による接合”, 技術研究会 2020, P-3-08 (2020 年 3 月 5 日, 千葉大学)

松谷 晃宏, 佐藤 美那, 遠西 美重, 藤本 美穂, 平野 明子, 西沢 望, 進士 忠彦, 初澤 毅, “東京工業大学におけるクリーンルーム統合共用化による組織的研究支援の推進”, 研究・イノベーション学

会第 34 回年次学術大会, 1G09, pp.245-248 (2019 年 10 月 26 日, 政策研究大学院大学)

A. Matsutani, A. Takada, “Optical Characterization of Concave Micromirror Array for Microbial Cell Trapping Fabricated by Laser Lithography and SUMP Method,” MNC2019, 30P-7-19 (2019 年 10 月, 広島国際会議場)

J. Sungha, 宮田 啓夢, 椎葉 健太, 宮本 義孝, 松谷 晃宏, 八木 透, “神経ネットワークの構成における神経突起の伸長制御のためのマイクロチャンネルの開発”, 2019 年度電気学会 電子・情報システム部門大会, (2019 年 9 月, 琉球大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “スンプ法とレーザー描画により製作したマイクロ凹面鏡の集光特性”, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 18a-PA2-7 (2019 年 9 月 18 日, 北海道大学)

M. Morinaga, X. Gu, K. Shimura, A. Matsutani, F. Koyama, “Compact Dot Projector based on Folded Path VCSEL Amplifier for Structured Light Sensing,” Conference on Lasers and Electro-Optics 2019, SM4N.4 (2019年5月 San Jose Convention Center)

K. Kondo, X. Gu, Z. Ho, A. Matsutani, F. Koyama, “Two-Dimensional Beam Steering Device Based on VCSEL Slow-Light Waveguide Array with Amplifier Function,” Optical Fiber Communication Conference and Exhibition 2019, M4E.4 (2019年3月, San Diego, California, USA)

松谷 晃宏, 佐藤 美那, 長谷部 浩一, 高田 綾子, “XeF₂ 気相エッチングによる微生物細胞捕獲用 Si マイクロ凹面鏡の製作と集光実験”, 平成 30 年度東京工業大学技術部技術発表会, (2019 年 3 月 19 日, 東京工業大学)

長谷部 浩一, “コンタクトアライナによる高解像パターンニングのための露光方法とウェハ処理”, 平成30年度東京工業大学技術部技術発表会, (2019年3月19日, 東京工業大学)

松谷 晃宏, 佐藤 美那, 長谷部 浩一, 高田 綾子, “Si マイクロ凹面鏡とケーラー照明光による酵母細胞の捕獲”, 第66回応用物理学会春季学術講演会, 11p-PA2-10 (2019年3月11日, 東京工業大学)

阿川 裕晃, 松谷 晃宏, 長谷部 浩一, 磯部 敏宏, 中島 章, 松下 祥子, “熱プラズマモニックマランゴニ効果を用いたマイクロ混合流の形成”, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 9a-W621-10 (2019 年 3 月 11 日, 東京工業大学)

竹島 利彦, 松谷 晃宏, 佐藤 美那, 長谷部 浩一, 磯部 敏宏, 中島 章, 松下 祥子, “局所光熱変換部の in-situ 温度測定の試み”, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 9a-W621-11 (2019 年 3 月 11 日, 東京工業大学)

長谷部 浩一, 佐藤 美那, 松谷 晃宏, 竹島 利彦, 磯部 敏宏, 中島 章, 松下 祥子, “カソード加熱型 RIE 装置により窒素プラズマ処理した Ti 薄膜およびバルク TiO₂ の透過率測定”, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 11p-PA2-9 (2019 年 3 月 11 日, 東京工業大学)

許 在旭, 志村 京亮, 顧 曉冬, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “高出力面発光レーザー増幅器のビーム品質改善の検討”, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 12p-W611-3 (2019 年 3 月 12 日, 東京工業大学)

富樫 良介, 顧 曉冬, 松谷 晃宏, 坂口 孝浩, 小山 二三夫, “C バンドにおける損失補償特性を持つ InP 系 VCSEL 分波器”, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 12p-W611-8 (2019 年 3 月 12 日, 東京工業大学)

森 長瑞, 顧 曉冬, 志村 京亮, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “3D センシングのための VCSEL 増幅器によるドットパターン生成”, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 12p-W611-4 (2019 年 3 月 12 日, 東京工業大学)

鷹箸 雅司, 志村 京亮, 顧 曉冬, 中濱 正統, 松谷 晃宏, 坂口 孝浩, 小山 二三夫, “カットオフ構造を用いた VCSEL と VCSEL 増幅器の横方向集積”, 第 66 回応用物理学会春季学術講演, 12p-W611-2 (2019 年 3 月 12 日, 東京工業大学)

志村 京亮, 許 在旭, 顧 曉冬, 中濱 正統, 坂口 孝浩, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “カットオフ波長離調構造によるビームスキャナ集積単一モード面発光レーザ”, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 12p-W611-5 (2019 年 3 月 12 日, 東京工業大学)

A. Matsutani, M. Sato, K. Hasebe, A. Takada, “Microfabrication of Si-based Concave Micromirror Array for Microbial Cell Trapping by XeF₂ Vapor Etching,” 31st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2018), 16P-11-43 (2018 年 11 月, 札幌パークホテル)

M. Morinaga, X. Gu, K. Shimura, M. Nakahama, A. Matsutani, F. Koyama, “VCSEL Amplifier Dot Projector with Folded-Path Slow-light Waveguide for 3D Depth Sensing,” 2018 International Semiconductor Laser Conference, TuC4, pp. 95-96 (2018年9月, ヒルトンサンタフェ・ヒストリックプラザ)

S. Inoue, S. Nishimura, M. Nakahama, A. Matsutani, F. Koyama, “High Speed Wavelength Tuning of MEMS VCSEL with Advanced Voltage Drive Technique,” 2018 International Semiconductor Laser Conference, TuP49, pp. 211-212 (2018年9月, ヒルトンサンタフェ・ヒストリックプラザ)

Z. Ho, J. Hayakawa, K. Shimura, K. Kondo, X. Gu, A. Matsutani, A. Murakami, F. Koyama, “High Power and High Beam Quality VCSEL Amplifier,” 2018 International Semiconductor Laser Conference, WC3, pp. 229-230 (2018年9月, ヒルトンサンタフェ・ヒストリックプラザ)

K. Shimura, M. Takanohashi, Z. Ho, X. Gu, M. Nakahama, A. Matsutani, F. Koyama, “Non-Mechanical Beam Scanner Integrated with Wavelength Detuned VCSEL for LiDAR Applications,” International Nano-Optoelectronics Workshop 2018, iNOW2018, pp. 140-141 (2018年7月, カリフォルニア大学)

K. Kondo, X. Gu, Z. Ho, A. Matsutani, F. Koyama, “Two-Dimensional Beam Steering Using Slow-Light Waveguide Deflector Array with Optical Gain,” Conference on Lasers and Electro-Optics 2018, SM31.4 (2018年5月, San Jose Convention Center).

T. Oshima, K. Akimoto, T. Hoshina, T. Tsurumi, J. Kohndoh, A. Matsutani, H. Takeda. Electro-Acoustical Constants and Rayleigh SAW Propagation Characteristics of Ca₂Al₂SiO₇ Single Crystal, 2018 ISAF-FMA-AMF-AMEC-PEM Joint Conference (IFAAP2018) (2018年5月, 広島国際会議場).

富樫 良介, Xiaodong Gu, 松谷 晃宏, 坂口 孝浩, 清水 淳一, 小山 二三夫. “InP系ブラッグ反射鏡導波路を用いた1.5 μm帯スローライト分波器”, 2018年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-3-64 (2018年9月11日, 金沢大学角間キャンパス).

松谷 晃宏, 佐藤 美那, 長谷部 浩一, 高田 綾子, “XeF₂気相エッチングにより製作した微生物細胞捕獲用Siマイクロ凹面鏡の集光実験”, 第79回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-PA2-6 (2018年9月19日, 名古屋国際会議場).

鷹箸 雅司, 志村 京亮, 顧 曉冬, 中濱 正統, 松谷 晃宏, 坂口 孝浩, 小山 二三夫, “面発光レーザとスローライト増幅器の横方向高効率結合集積化”, 第79回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-225B-5 (2018年9月19日, 名古屋国際会議場).

志村 京亮, 鷹箸 雅司, 許 在旭, 顧 曉冬, 中濱 正統, 坂口 孝浩, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “カットオフ波長離調構造によるビームスキャナ集積面発光レーザ”, 第79回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-225B-4 (2018年9月19日, 名古屋国際会議場).

武田 博明, 秋本 恭平, 大島 拓人, 近藤 淳, 松谷 晃宏, 保科 拓也, 鶴見 敬章. “ゲーレナイト

Ca₂Al₂SiO₇結晶の材料定数評価と弾性波特性”, 日本セラミックス協会第31回秋季シンポジウム, 2C08 (2018年9月6日, 名古屋工業大学)

長谷部 浩一, “レーザー顕微鏡および触針表面式形状測定器によるDeep-RIEサンプルのエッチング深さ測定への適用範囲の検討”, P-10-28, 平成30年度機器・分析技術研究会 (2018年9月6日~7日, 秋田大学)

秋本 恭平, 保科 拓也, 近藤 淳, 松谷 晃宏, 鶴見 敬章, 武田 博明, “SAWセンサ応用へ向けたゲーレンイト結晶の特性評価”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 20p-F104-10 (2018年3月20日, 早稲田大学)

二ツ森 皓史, 塩田 忠, 西岡 國生, 松谷 晃宏, 多田 大, 西山 昭雄, 篠崎 和夫, “Si微細加工によるPt-Pd/(Y₂O₃添加ZrO₂単結晶薄膜)/Pt-Pd構造の作製とその抵抗スイッチング特性”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 19p-P5-19 (2018年3月19日, 早稲田大学)

三田 真衣, 松谷 晃宏, 西岡 國生, 佐藤 美那, 磯部 敏宏, 中島 章, 松下 祥子, “金属コーティングシリカ球ピラミッドアレイの作製とその光学特性”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 18p-P9-27 (2018年3月18日, 早稲田大学)

江崎 智太郎, 松谷 晃宏, 西岡 國生, 佐藤 美那, 岡本 隆之, 磯部 敏宏, 中島 章, 松下 祥子, “ケルビンプローブ顕微鏡によるホットエレクトロン可視化の検討”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 18p-P9-29 (2018年3月18日, 早稲田大学)

井上 俊也, 旭 利紘, 西村 駿, 中濱 正統, 松谷 晃宏, 坂口 孝浩, 小山 二三夫, “MEMS VCSEL集積スローライト導波路ビームスキャナの作製”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 18a-B203-7 (2018年3月18日, 早稲田大学)

旭 利紘, 顧 曉冬, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “3Dセンシングのための解像点数100点を超えるアクティブビームスキャナ”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 18a-B203-8 (2018年3月18日, 早稲田大学)

許 在旭, 志村 京亮, 顧 曉冬, 中濱 正統, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “長尺面発光レーザ増幅器による高出力・高ビーム品質動作”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 18a-B203-10 (2018年3月18日, 早稲田大学)

松谷 晃宏, 西岡 國生, 佐藤 美那, “XeF₂気相エッチングによるSiマイクロ凹面鏡構造の製作”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 17p-P2-10 (2018年3月17日, 早稲田大学)

前田 幸平, ヴァン ニュ ハイ, 西岡 國生, 松谷 晃宏, 立木 隆, 内田 貴司, “MOD法によりSi₃N₄/SiO₂メンブレン上に製作したVO_xマイクロボロメータのDC感度測定”, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 17p-P2-5 (2018年3月17日, 早稲田大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “スンプ法によるセルロイド製単一細胞分離チップの製作”, 平成29年度東京工業大学技術部技術発表会, P-10 (2018年3月7日, 東京工業大学)

西岡 國生, “Deep-RIE装置による細胞切断用マイクロブレードを搭載したマイクロデバイスの製作”, 平成29年度東京工業大学技術部技術発表会 (2018年3月7日, 東京工業大学)

佐藤美那, “FIB照射とKOH液を用いたSiエッチングによる構造体の作製”, 平成29年度東京工業大学技術部技術発表会 (2018年3月7日, 東京工業大学)

西岡 國生, “深掘りエッチング装置による細胞切断用マイクロブレードを搭載したマイクロデバイスの製作”, 2017 年度信州大学実験・実習技術研究会, P-026 (2018 年 3 月 1 日, 信州大学)

松谷 晃宏, “エッチングによるゾンプレート制作の可能性”, 第 19 回分子科学研究所技術研究会 (2018 年 2 月 9 日, 分子科学研究所)

A. Matsutani, A. Takada, “Profile Control in Si Etching by Two-step Etching Process Using XeF₂ Vapor for Fabrication of Concave Micromirror,” 39th International Symposium on Dry Process (DPS2017), Proceedings of 39th International Symposium on Dry Process, pp. 61-62 (2017年11月, 東京工業大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “XeF₂ 気相エッチングとスンプ法により製作したセルロイドマイクロレンズによる酵母細胞の捕獲実験”, 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 5p-PB5-8 (2017年9月5日, 福岡国際会議場)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “XeF₂気相エッチングとスンプ法によるセルロイドマイクロレンズアレイの製作”, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 15a-P2-8 (2017年3月15日, パシフィコ横浜)

伴野 将大, 松谷 晃宏, 朴 鍾溟, 柳田 保子, 初澤 毅, “ガラス基板上のSiN薄膜によるフォトニック結晶構造の光学特性”, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 15a-P2-7 (2017年3月15日, パシフィコ横浜)

許 在旭, 志村 京亮, 顧 曉冬, 中濱 正統, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “面発光レーザ高出力化のための長尺半導体光増幅器”, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 15p-422-3 (2017年3月15日, パシフィコ横浜)

中濱 正統, 井上 俊也, 松谷 晃宏, 坂口 孝浩, 小山 二三夫, “機械的共振を用いた MEMS 波長可変 VCSEL の広帯域掃引・低駆動電圧動作”, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 15p-422-5 (2017年3月15日, パシフィコ横浜)

西村 駿, 顧 曉冬, 中濱 正統, 坂口 孝浩, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “熱光学効果による1060nm 帯面発光レーザの高速波長掃引特性”, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 15p-422-6 (2017年3月15日, パシフィコ横浜)

前田 幸平, 西岡 國生, ヴァン・ニュー ハイ, 松谷 晃宏, 立木 隆, 内田 貴司, “Deep-RIEとXeF₂気相エッチングによるVO_x/Si₃N₄/SiO₂メンブレンの製作”, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 14p-3 (2017年3月14日, パシフィコ横浜)

佐藤 美那, “一つのステンシルマスクを用いて多サイズパターン作製を行うプロキシミティスパッタ成膜法の開発”, 2017 年度機器・分析技術研究会 in 長岡, P-27 (2017 年 8 月 29 日, アオーレ長岡)

松谷 晃宏, “Deep-RIE により形成された Si のエッチング側面の EDX 分析とエッチングプラズマの発光分光分析”, 平成 28 年度東京工業大学技術部技術発表会 (2017 年 3 月 10 日, 東京工業大学)

西岡 國生, “深掘りエッチング装置による細胞切断用マイクロブレードを搭載したマイクロデバイスの製作”, 平成28年度東京工業大学技術部技術発表会 (2017年3月10日, 東京工業大学)

庄司 大, “ITOを用いた透明ヒータの透過率特性と温度制御”, 平成28年度東京工業大学技術部技術発表会 (2017年3月10日, 東京工業大学)

西岡 國生, “Deep-RIEによる細胞切断用マイクロブレードを搭載したマイクロデバイスの製作”, 総合技術研究会2017 東京大学, P2-03 (2017年3月9日, 東京大学)

T. Takahashi, A. Matsutani, D. Shoji, K. Nishioka, T. Isobe, A. Nakajima, S. Matsushita, “Microfabrication of polystyrene quadrupole combined with top-down and bottom-up approach,” PHYS-

1520, #176, Pacificchem 2015 (2016年12月, ハワイコンベンションセンター).

A. Matsutani, A. Takada, "Single-cell Isolation of *S. Cerevisiae* Using Celluloid Microenclosure Array Formed by the SUMP Method," 29th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2016), 10P-7-33 (2016年11月, ANAクラウンプラザホテル京都)

M. Shimizu, K. Nishioka, A. Matsutani, K. Yoshida, J. W. Kim, "Study on Fabrication of High Aspect Ratio TPSE by using DRIE," 20th International Conference on Mechatronics Technology (ICMT2016), pp. 32-33 (2016年10月, ハルビン工程大学).

清水 美咲, 西岡 國生, 松谷 晃宏, 吉田 和弘, 金 俊完, "DRIEによる高アスペクト比三角柱ースリット形電極対(TPSE)の製作に関する研究", 山梨講演会2016, 山梨講演会講演論文集, No. 160-3, p. 161-162 (2016年10月22日, 山梨大学)

土子 政貴, 青木 才子, 松谷 晃宏, 西岡 國生, "脂肪酸を添加した溶液中におけるマイクロパターン表面の摩擦特性", トライボロジー会議2016秋新潟, E36 (2016年10月14日, 朱鷺メッセ, 新潟コンベンションセンター)

M. Nakahama, X. Gu, A. Matsutani, T. Sakaguchi, F. Koyama, "VCSEL-Based High Resolution Wavelength Demultiplexer with Large Optical Gain," 25th International Semiconductor Laser Conference, ISLC 2016, TuD5 (2016年9月, 神戸メリケンパークオリエンタルホテル)

井上 俊也, 中濱 正統, 松谷 晃宏, 坂口 孝浩, 小山 二三夫, "HCG MEMS VCSELの製作と温度無依存化に向けた特性評価", 2016年電子情報通信ソサイエティ大会, C-4-23. (2016年9月23日, 北海道大学)

松谷 晃宏, 高 田綾子, "スンプ法により形成したセルロイド製単一細胞分離用プレートによる 酵母細胞の分離", 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 14a-D63-10 (2016年9月14日, 朱鷺メッセ)

顧 曉冬, 許 在旭, 中濱 正統, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, "面発光レーザと集積したブラッグ反射鏡導波路増幅器の高シングルモード出力動作", 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 14p-P2-2. (2016年9月14日, 朱鷺メッセ)

庄司 大, "透明ヒータの温度制御と透過率特性", 平成28年度名古屋大学機器・分析技術研究会, P-34(2016年9月8日, 名古屋大学)

S. Inoue, M. Nakahama, A. Matsutani, T. Sakaguchi, F. Koyama, "Consideration and Fabrication of athermal HCG MEMS VCSEL," International Nano-Optoelectronics Workshop," iNOW2016, Poster Session-7 (2016年7月28日, ミュンヘン工科大学)

S. Inoue, M. Nakahama, A. Matsutani, T. Sakaguchi, F. Koyama, "Fabrication of HCG MEMS VCSELs using nanoimprint lithography and consideration of athermal operation," 21st. Optoelectronics and Communications Conference (OECC/PS2016), MD2-3 (2016年7月, 朱鷺メッセ)

X. Gu, M. Nakahama, A. Matsutani, F. Koyama, "VCSEL-Integrated Bragg Reflector Waveguide Amplifier with Single-mode Output Power over 10 mW," 21st. Optoelectronics and Communications Conference (OECC/PS2016), MD2-4 (2016年7月, 朱鷺メッセ)

M. Nakahama, X. Gu, A. Matsutan, T. Sakaguchi, F. Koyama, "Slow Light VCSEL Amplifier for High-resolution Beam Steering and High-power Operations," Conference on Lasers and Electro-Optics 2016 (CLEO2016), SF1L.5. (San Jose Convention Center, Jun. 2016)

西岡 國生, 佐藤 美那, 松谷 晃宏, "Deep-RIEにより形成されたトレンチ側面の化学組成に関するプラズマ発光分光分析からの考察", 第63回応用物理学会春季学術講演会, 21a-P3-11 (2016年3月21

日, 東京工業大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “液体定在波を利用した微生物細胞の流路レス凝集法におけるマイクロ囲いアレイを用いた大きさによる篩い分けと単一分離”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 21a-P3-12 (2016年3月21日, 東京工業大学)

江崎 智太郎, 松谷 晃宏, 西岡 國生, 庄司 大, 佐藤 美那, 岡本 隆之, 磯部 敏宏, 中島 章, 松下 祥子, “Si上に形成した金ナノ円盤が示す表面電位差の光照射依存”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 21-p-P1-4 (2016年3月21日, 東京工業大学)

森 裕之, 顧 曉冬, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “スローライト導波路アレイを用いた二次元ビーム掃引”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 21a-S321-11 (2016年3月21日, 東京工業大学)

中濱 正統, 顧 曉冬, 坂口 孝浩, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “面発光レーザの単一モード出力増大に向けたスローライトSOAの増幅特性”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 20a-S321-7 (2016年3月20日, 東京工業大学)

井上 俊也, 中濱 正統, 松谷 晃宏, 坂口 孝浩, 小山 二三夫, “サブ波長格子を用いたアサーマル波長可変面発光レーザの製作”, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 20a-S321-9 (2016年3月20日, 東京工業大学)

松谷 晃宏, “フッ素プラズマによるSiCのドライエッチング”, 平成27年度東京工業大学技術部 技術発表会 (2016年3月8日, 東京工業大学)

西岡 國生, “ナノパターンモールドフォトマスクを用いた流路パターンの転写形成”, 平成27年度東京工業大学技術部 技術発表会 (2016年3月8日, 東京工業大学)

庄司 大, “熱と光を同時に利用したナノインプリントのための透明ヒータの製作”, 平成27年度 東京工業大学技術部 技術発表会 (2016年3月8日, 東京工業大学)

佐藤 美那, “一つのステンシルマスクによる多サイズパターンのプロキシミティスパッタ成膜法の検討”, 平成26年度東京工業大学技術部 技術発表会 (2016年3月8日, 東京工業大学)

西岡 國生, “ナノパターンモールドフォトマスクを用いた転写パターンの形成に関する実験”, 平成27年度実験・実習技術研究会in西京, P-081 (2016年3月3日, 山口大学)

庄司 大, “熱と光を同時に利用したナノインプリントのための透明ヒータの開発”, 平成27年度実験・実習技術研究会in西京, P-041 (2016年3月3日, 山口大学)

大竹 真理子, 岸 哲生, 矢野 哲司, 松谷 晃宏, 西岡 國生, “一方向性光結合を示すテルライトガラス回折格子の作製”, The 26th Meeting on Glasses for Photonics, 5 (2016年1月29日, 日本セラミックス協会)

古野 慶太, 松谷 晃宏, 宮本 義孝, 八木 透, “メッシュフィルタへの人工細胞膜形成に関する研究 メッシュフィルタへの人工細胞膜形成に関する研究”, 日本機会学会第28回バイオエンジニアリング講演会, 1C23 (2016年1月9日, 東京工業大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “タッピングによる酵母細胞の流路レス凝集パターン形成と単一細胞分離”, 第7回集積化MEMSシンポジウム, 29pm-PM-3 (2015年10月29日, 朱鷺メッセ).

松谷 晃宏, “単一細胞分離用プレートの開発”, 微細加工に関する技術サロン会 (2015年11月24日, 分子科学研究所)

A. Matsutani, F. Ishiwari, Y. Shoji, T. Uehara, M. Naagawa, and T. Fukushima, “Chlorine-Based

Inductively Coupled Plasma Etching of GaAs Using Tripodal Paraffinic Triptycene (TripC₁₂) as a Nanoimprint Resist Mask,” 28th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2015), 13P-11-70 (2015年11月12日, 富山国際会議場)

A. Matsutani, M. Sato, K. Nishioka, D. Shoji, “EDX analysis of Si sidewall surface etched by deep-RIE process,” 28th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2015), 12P-7-42 (2015年11月12日, 富山国際会議場)

X. Gu, M. Nakahama, A. Matsutani, F. Koyama, “First Demonstration of 850 nm Transverse Coupled Cavity Vertical Cavity Surface-Emitting Laser,” The 76th JSAP Autumn Meeting 2015, 16a-2E-9 (2015年9月16日, 名古屋国際会議場)

中濱 正統, 顧 曉冬, 坂口 孝浩, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “横方向複合共振器面発光レーザによる高速ビームスイッチング動作”, 応用物理学会2015年秋季学術講演会, 16a-2E-8 (2015年9月16日, 名古屋国際会議場)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “液体定在波を利用した酵母細胞の流路レス凝集パターン形成における励振波形の効果”, 応用物理学会2015年秋季学術講演会, 15p-PA3-1, (2015年9月15日, 名古屋国際会議場)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “液体定在波を利用した酵母細胞の流路レス凝集パターンの振動周波数による制御”, 2015年 第62回応用物理学会春季学術講演会, 12p-P2-6 (2015年3月12日, 東海大学)

中濱 正統, 小林 拓貴, 丸山 彰, 坂口孝 浩, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “横方向複合共振器面発光レーザのVernier効果による横モード制御”, 2015年 第62回応用物理学会春季学術講演会, 12a-A17-12 (2015年3月12日, 東海大学)

角田 健, 松谷 晃宏, 宮本 智之, “励起準位を用いたVCSELの動作温度範囲拡大”, 2015年 第62回応用物理学会春季学術講演会, 12a-A17-13 (2015年3月12日, 東海大学)

岩崎 大和, 西林 一彦, 松谷 晃宏, 佐藤 美那, 久我 淳, 宗片 比呂夫, “光導波路とエバネッセント結合したGdFe薄膜の磁気光学応答”, 2015年 第62回応用物理学会春季学術講演会, 11a-A13-5 (2015年3月11日, 東海大学)

高橋 毅, 松谷 晃宏, 庄司 大, 西岡 國生, 佐藤 美那, 磯部 敏宏, 中島 章, 松下 祥子, “トップダウン・ボトムアップ統合アプローチによるポリスチレン四重極子の作製”, 2015年 第62回応用物理学会春季学術講演会, 11p-D13-6 (2015年3月11日, 東海大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “「単一細胞分離用プレート」の発明と特許登録について”, 平成26年度東京工業大学技術部 技術発表会, 口頭発表2 (2015年3月10日, 東京工業大学)

西岡 國生, “ナノパターンモールドフォトマスクを用いた光ナノインプリント実験”, 平成26年度東京工業大学技術部 技術発表会, ポスター発表8 (2015年3月10日, 東京工業大学)

庄司 大, “Arduinoを用いたナノインプリント用ヒータの温度制御 “, 平成26年度 東京工業大学技術部 技術発表会, ポスター発表9 (2015年3月10日, 東京工業大学)

佐藤 美那, “Deep-RIEプロセスにより深掘りエッチングしたSiエッチング側面のEDX分析”, 平成26年度東京工業大学技術部 技術発表会, ポスター発表10 (2015年3月10日, 東京工業大学)

田原 康佐, 岩崎 孝之, 松谷 晃宏, 波多野 睦子, “フッ化グラフェン中のスピン緩和”, 第28回ダイヤモンドシンポジウム, 205 (2014年11月, 東京電機大学東京千住キャンパス)

A. Matsutani, and F. Koyama, “Microfabrication of 4H-SiC by Reactive Ion Etching Using XeF₂

plasma,” 2014 International Symposium on Dry Process (DPS2014) P-15 (2014年11月6日, パシフィコ横浜)

A. Matsutani, and F. Koyama, “Dry Etching of 4H-SiC using Ar/F₂ Plasma,” 27th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2013) 6P-7-34 (2014年11月6日, パシフィコ横浜)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “低周波鉛直加振による液体定在波を利用した酵母細胞の流路レス凝集”, 第31回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 21pm3-PS112, (2014年10月21日, くにびきメッセ)

松谷 晃宏, 石割 文崇, 庄子 良晃, 上原 卓也, 中川 勝, 福島 孝典, “Cl₂-誘導結合型プラズマエッチングにおけるヤヌス型トリプチセンTripC12 のエッチング特性の評価”, 2014年 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-PA1-2 (2014年9月19日, 北海道大学)

田辺 賢司, 顧 曉冬, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “多重リングBragg反射鏡導波路からのVortexビームの生成”, 2014年 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-C7-8 (2014年9月19日, 北海道大学)

角田 健, 松谷 晃宏, 宮本 智之, “励起準位を用いた高利得化VCSELに関する基礎検討”, 2014年 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 18p-C6-6 (2014年9月18日, 北海道大学)

庄司 大, “小型ナノインプリント装置用ヒータの製作とその温度制御”, 平成26年度北海道大学総合技術研究会, P56, P01-01A (2014年9月4日, 北海道大学)

西岡 國生, “ナノパターンモールドフォトマスクと光ナノインプリントによる石英マイクロ流路の製作プロセスの提案”, 平成26年度北海道大学総合技術研究会, P01-02B (2014年9月4日, 北海道大学)

佐藤 美那, “圧力差を利用したキャップ固定による可搬式真空一貫プロセスの検討”, 平成26年度北海道大学総合技術研究会, P01-04B (2014年9月4日, 北海道大学)

橋詰 竜慈, 宮本 義, 松谷 晃宏, 八木 透, “軸索方向制御を目的としたマイクロチャネルの提案とその効果検証”, 医用・生体工学研究会, MBE-14-027 (2014年3月21日, 東京工業大学)

成木 航, 田原 康佐, 岩崎 孝之, 古山 聡子, 松谷 晃宏, 波多野 睦子, “横型フッ化グラフェン-グラフェンヘテロ構造の作製”, 2014年 第61回応用物理学会春季学術講演会, 20a-E2-10 (2014年3月20日, 青山学院大学)

顧 曉冬, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “Bragg Reflector Waveguide Modulator toward High-Speed Operations and Low Power Consumption”, 2014年 第61回応用物理学会春季学術講演会, 20a-F8-1 (2014年3月20日, 青山学院大学)

田辺 賢司, 顧 曉冬, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “Bragg反射鏡導波路からのVortexビームの光ファイバ結合の基礎検討”, 2014年 第61回応用物理学会春季学術講演会, 20a-F8-2 (2014年3月20日, 青山学院大学)

高橋 雄太, DalirHamed, 島田 敏和, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “くびれ酸化狭窄構造を用いた面発光レーザ・変調器集積デバイス”, 2014年 第61回応用物理学会春季学術講演会, 20a-F8-8 (2014年3月20日, 青山学院大学)

佐藤 美那, 松谷 晃宏, 曾根 正人, “多層膜構造を用いたEDX分析におけるCu中のX線発生領域の測定”, 2014年 第61回応用物理学会春季学術講演会, 19p-PA2-4 (2014年3月19日, 青山学院大学)

松下 祥子, 小林 大斗, 松谷 晃宏, 西岡 國生, 庄司 大, 佐藤 美那, 磯部 敏宏, 中島 章, 立間 徹, “傾斜ドライエッチングを用いた酸化チタンフォトニック結晶の作製と評価”, 2014年 第61回応用

物理学会春季学術講演会, 19p-PA2-6 (2014年3月19日, 青山学院大学)

松谷 晃宏, 渡邊 雅彦, 小俣 有紀子, “ポジ形電子線レジストgL2000の化合物半導体エッチング用Cl₂プラズマ耐性”, 2014年 第61回応用物理学会春季学術講演会, 19p-PA2-9 (2014年3月19日, 青山学院大学)

庄司 大, “小型熱ナノインプリント装置用マイクロヒータの開発”, 平成25年度核融合科学研究所技術研究会, P-2-3, (2014年3月13日, 犬山国際観光センター)

西岡 國生, “紫外線硬化樹脂を用いた光インプリント”, 平成25年度実験・実習技術研究会, P1-19, (2014年3月5日, 岩手大学)

庄司 大, “小型ナノインプリント装置用マイクロヒータの製作“, 平成25年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 1 (2014年3月4日, 東京工業大学)

西岡 國生, “紫外線硬化樹脂を用いた光インプリント実験”, 平成25年度東京工業大学技術部 技術発表会, 2 (2014年3月4日, 東京工業大学)

佐藤 美那, “EDXによるCu分析のための多層膜を用いたX線発生領域の測定”, 平成25年度東京工業大学技術部 技術発表会, 3 (2014年3月4日, 東京工業大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “マイクロピラーアレイ構造による細胞の単一分離と培養”, 平成25年度東京工業大学技術部 技術発表会, 4 (2014年3月4日, 東京工業大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “InP基板上に製作したマイクロ罫を用いた出芽酵母の培養”, 第28回化学とマイクロ・ナノシステム学会, 3P07 (2013年12月6日, イーグレ姫路)

佐藤 美那, “EDXにおけるCu試料中の電子侵入深さ推定のための多層膜構造の成膜”, 微細加工に関する技術サロンの会 (2012年11月22日, 分子科学研究所)

松谷 晃宏, “半導体MEMSプロセス技術センターにおける最近の技術開発の状況について”, 微細加工に関する技術サロンの会 (2013年11月21日, 分子科学研究所)

A. Matsutani, K. Nishioka, D. Shoji, M. Sato, D. Kobayashi, T. Isobe, A. Nakajima, T. Tatsuma, and S. Matsushita, “Angled Dry Etching Process of Nb-TiO₂ Substrate by SF₆ Plasma,” MNC2013 26th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2013) 7P-7-55 (2013年11月7日, ロイトン札幌)

佐藤 美那, “EDXによるCu分析のための多層膜を用いた電子侵入深さの測定”, 平成25年度機器・分析技術研究会, P-17 (2013年9月12日, 鳥取大学)

田原 康佐, 岩崎 孝之, 松谷 晃宏, 山口 智弘, 石橋 幸治, 波多野 睦子, “フッ化グラフェンの磁気抵抗効果”, 2013年 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 18a-B1-3 (2013年9月18日, 同志社大学)

顧 曉冬, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “1550nm-band Low Polarization Dependence Wavelength Demultiplexing Using Bragg Reflector Waveguide”, 2013年 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 19a-P2-11 (2013年9月19日, 同志社大学)

田辺 賢司, 望月 翔太, 顧 曉冬, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “Bragg反射鏡導波路からのVortexビームの生成とその特性”, 2013年 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-A8-15 (2013年9月19日, 同志社大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “マイクロ牧場アレイを用いた出芽酵母の培養”, 2013年 第74回応用物理学

会秋季学術講演会, 16p-A2-4 (2013年9月16日, 同志社大学)

松谷 晃宏, 西岡 國生, 庄司 大, 佐藤 美那, 小林 大斗, 磯部 敏宏, 中島 章, 立間 徹, 松下 祥子, “ SF_6 プラズマによるNb-TiO₂結晶基板のドライエッチング”, 2013年 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 16p-A2-8 (2013年9月16日, 同志社大学)

中濱 正統, 佐野 勇人, 坂口 孝浩, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “熱駆動のマイクロマシンを用いたアサermal面発光レーザの波長掃引特性II”, 2013年 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 16p-A8-7 (2013年9月16日, 同志社大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “Ar/F₂気相エッチングにより製作したSiマイクロ流路を用いた大腸菌細胞の輸送”, 第4回集積化MEMS技術研究ワークショップ, P1 (2013年7月27日, 大阪府立大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “マイクロピラー構造を用いた大腸菌と酵母の単一細胞分離とサイズ分離”, 2013年第60回応用物理学会春季学術講演会, 27p-B6-10 (2013年3月27日, 神奈川工科大学)

阿久津 友宏, 牛尾 拓也, 松谷 晃宏, 宮本 智之, “液体ガラスを用いた量子構造混晶化の面発光レーザへの適用性に関する研究”, 2013年第60回応用物理学会春季学術講演会, 29a-B4-8 (2013年3月29日, 神奈川工科大学)

田原 康佐, 岩崎 孝之, 古山 聡子, 松谷 晃宏, 波多野 睦子, “フッ化グラフェンFETの温度特性”, 2013年第60回応用物理学会春季学術講演会, 28a-G10-8 (2013年3月28日, 神奈川工科大学)

古山 聡子, 田原 康佐, 岩崎 孝之, 松谷 晃宏, 波多野 睦子, “イオン液体ゲートを用いたフッ化グラフェン電界効果トランジスタ”, 2013年第60回応用物理学会春季学術講演会, 28a-G10-9 (2013年3月28日, 神奈川工科大学)

西岡 國生, “反応性イオンエッチング装置を用いたガラス基板の表面処理”, 平成24年度愛媛大学総合技術研究会, P006 (2013年3月, 愛媛大学)

庄司 大, “ナノ粒子を用いた電子線のその場調整のための薄膜断面 TEM 観察試料製作方法の開発”, 平成 24 年度愛媛大学総合技術研究会, P016 (2013 年 3 月, 愛媛大学)

佐藤 美那, “四重極型質量分析計を用いたチャンバー内の残留ガス分析”, 平成24年度愛媛大学総合技術研究会, P018 (2013年3月, 愛媛大学)

庄司 大, “ラテックス粒子を利用したTEMの電子線調整と観察試料作製“, 2012年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 3 (2013年3月, 東京工業大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “細菌細胞のプラズマエッチングマスクへの応用”, 2012年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 6 (2013年3月, 東京工業大学)

佐藤 美那, “四重極型質量分析計を用いたスパッタチャンバー内の残留ガス分析”, 2012年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 8 (2013年3月, 東京工業大学)

西岡 國生, “反応性イオンエッチング装置を用いた石英ガラスの表面処理”, 2012年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 11 (2013年3月, 東京工業大学)

A. Matsutani, H. Ohtsuki and F. Koyama, “Microfabrication of Silicon by Reactive Ion Etching Using CO₂ Plasma,” DPS2012, P-15 (2012年11月, 東京大学)

松谷 晃宏, “東京工業大学技術部半導体MEMSプロセス技術センターにおける新技術の開発”, 微細加工に関する技術サロン会 (2012年11月, 分子科学研究所)

佐藤 美那, “MEMSデバイス作製のための薄膜形成技術 –チャンバー内の残留ガス分析–”, 微細加工に関する技術サロンの会 (2012年11月, 分子科学研究所)

A. Matsutani, K. Tahara, T. Iwasaki, M. Hatano, “Fluorination Process of Graphene Using Ar/F₂ Plasma,” MNC2012, 1P-7-33 (2012年11月, 神戸メリケンパークオリエンタルホテル)

A. Matsutani and A. Takada, “Single-Cell Isolation and Sizing of Microorganisms by Microenclosure Array with Multipillar Structure,” MNC2012, 1P-7-83 (2012年11月, 神戸メリケンパークオリエンタルホテル)

A. Matsutani and A. Takada, “Microfabrication of Single-Cell Isolation Structure on Vertical Cavity Surface Emitting Laser Wafer,” 第 29 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, SPLN-10 (2012 年 10 月, 北九州国際会議場)

A. Matsutani, M. Hayashi, Y. Morii, K. Nishioka, T. Isobe, A. Nakajima, S. Matsushita, “Vertical Microfabrication of (001) Rutile TiO₂ Crystal by SF₆-RIE,” APCPST, 2-P115 (2012年10月, 京都大学)

A. Matsutani, H. Ohtsuki and A. Takada, “Microfabrication of Si based Microchannel for Transport of Bacterial Cells by Ar/F₂ Vapor Etching and Cl₂ Inductively Coupled Plasma Etching,” 11th APCPST, 2-P83 (2012年10月, 京都大学)

松谷 晃宏, 大槻 秀夫, 小山 二三夫, “CO₂ プラズマによる Si のドライエッチング”, 2012 年秋季第 73 回応用物理学会学術講演会, 11a-C11-11 (2012 年 9 月, 愛媛大学・松山大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “半導体プロセスを用いた細胞サイズ分離用マイクロピラー構造の製作”, 2012 年秋季第 73 回応用物理学会学術講演会, 12p-PB3-3 (2012 年 9 月, 愛媛大学・松山大学)

島田 敏和, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “VCSEL とスローライト導波路の横方向集積によるオンチップビーム偏向”, 2012 年秋季第 73 回応用物理学会学術講演会, 12a-C6-4 (2012 年 9 月, 愛媛大学・松山大学)

田原 康佐, 岩崎 孝之, 松谷 晃宏, 古山 聡子, 大野 恭秀, 松本 和彦, 波多野 睦子, “フッ化グラフェンのキャリア輸送特性”, 2012 年秋季第 73 回応用物理学会学術講演会, 12p-E3-16 (2012 年 9 月, 愛媛大学・松山大学)

中濱 正統, 佐野 勇人, 坂口 孝浩, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “スティッキング抑制手法によるマイクロマシン面発光レーザの製作”, 2012 年秋季第 73 回応用物理学会学術講演会, 12a-PA5-3 (2012 年 9 月, 愛媛大学・松山大学)

A. Matsutani and A. Takada, “Single-Cell Isolation of Bacteria Using Microenclosure and Its Applications,” RSC Tokyo Conference, A001 (2012年9月, 幕張メッセ)

林 未来郎, 守井 泰士, 磯部 敏宏, 松下 祥子, 中島 章, 松谷 晃宏, 西岡 國生, “ドライエッチングによる(001) TiO₂単結晶のマイクロ規則構造の作製”, 日本セラミックス協会2012年年会, 3K27 (2012 年3月, 京都大学)

田原 康佐, 岩崎 孝之, 松谷 晃宏, 波多野 睦子, “Ar/F₂ プラズマによるフッ化グラフェンの作製”, 2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会, 17p-A3-12 (2012 年 3 月, 早稲田大学)

淵田 歩, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “スローライト導波路における挿入損失評価”, 2012 年電子情報通信学会総合大会, C-3-76 (2012 年 3 月, 岡山大学)

宮毛 泰光, 松谷 晃宏, 小山 二三夫, “角度依存性を有するサブ波長回折格子ミラーの設計と製作”, 2012 年電子情報通信学会総合大会, C-3-102 (2012 年 3 月, 岡山大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “Ar/F₂ 気相エッチングによる細菌細胞輸送用 Si マイクロ流路の形成”, 2012 年春季第 59 回応用物理学関係連合講演会, 18a-GP1-2 (2012 年 3 月, 早稲田大学)

佐藤 美那, “スパッタ装置を用いた SiO₂ 成膜中におけるプラズマの発光分光分析” 2011 年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 4 (2012 年 3 月, 東京工業大学)

松谷 晃宏, 橋爪 佑樹, 小山 二三夫, 大槻 秀夫, “熱ナノインプリントレジストマスクを用いた Cl₂/Xe 誘導結合型プラズマエッチングによる SOI 基板上のサブ波長回折格子の製作”, 2011 年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 5 (2012 年 3 月, 東京工業大学)

庄司 大, “バーニヤ目盛を用いて精度を向上させたマスクアライナ利用講習会用フォトマスクの製作”, 2011 年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 6 (2012 年 3 月, 東京工業大学)

西岡 國生, “微細放電加工機によるフォトマスクのクロム薄膜のパターニング” 2011 年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 7 (2012 年 3 月, 東京工業大学)

佐藤 美那, “スパッタ装置を用いた成膜中におけるプラズマの発光分光分析” 第 18 回分子科学研究所技術研究会, PA-04 (2012 年 3 月, 岡崎コンファレンスセンター)

庄司 大, “密着露光装置利用講習会用フォトマスクの製作”, 平成 23 年度 実験・実習技術研究会、P-006 (2012 年 3 月, 神戸大学)

西岡 國生, “微細放電加工機によるフォトマスクの製作” 平成 23 年度 実験・実習技術研究会、P-032 (2012 年 3 月, 神戸大学)

Y. Hashizume, Y. Miyake, A. Matsutani, H. Ohtsuki, F. Koyama, “Fabrication and characterization of Si/SiO₂ high contrast grating using nanoimprint lithography”, Photonics West 2012, Paper 8270-7 (2012 年 2 月 San Francisco, California, USA)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “低圧プラズマプロセスによる細菌細胞の分解と細菌細胞を用いた半導体のドライエッチング”, 電気学会プラズマ/パルスパワー合同研究会, PST-11-72, PPT-11-73 (2011) pp. 5-8 (2011 年 12 月, 東京工業大学)

A. Matsutani and A. Takada, “Dry Etching of *Escherichia coli* by O₂-, Ar-, Air-, and H₂O- Plasma,” Plasma Conference 2011 (PLASMA2011), 23P004-O (2011年11月, 石川県立音楽堂)

A. Matsutani and A. Takada, “Fabrication of Si based Microchannel by Ar/F₂ Vapor Etching and Plasma Etching,” Plasma Conference 2011 (PLASMA2011), 23P005-O (2011年11月, 石川県立音楽堂)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “Ar/F₂ 気相エッチングによる極微小径 Si マイクロ流路の形成”, 第 24 回化学とマイクロ・ナノシステム研究会, 2P12 (2011 年 11 月, 大阪府立大学)

Akihiro Matsutani, Yuji Hashidume, Hideo Ohtsuki and Fumio Koyama, “Si based High-index-contrast-grating Structure fabricated by High Temperature Cl₂ Inductively Coupled Plasma Etching using Thermal Nanoimprint Resist Mask,” 24th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2011), 26P-7-59 (2011年10月, 京都全日空ホテル)

松谷 晃宏, 橋爪 佑樹, 大槻 秀夫, 小山 二三夫, “ナノインプリントプロセスと Cl₂-ICP エッチングによる Si-HCG 構造の製作と光学特性の評価”, 2011 年秋季第 72 回応用物理学学会学術講演会, 2a-ZJ-6, (2011 年 8 月, 山形大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “O₂ および Cl₂ を用いた大腸菌のプラズマエッチング”, 2011 年秋季第 72 回応用物理学学会学術講演会, 2a-ZJ-7, (2011 年 8 月, 山形大学)

林 未来郎・松谷 晃宏・磯部 敏宏・松下 祥子・中島 章, “酸化チタン電解液系によるワイドフルフोटニックバンドギャップ構造体のシミュレーションによる模索”, 日本化学会 4G5-10, (2011年3月, 神奈川大学)

高梨 裕・加藤 智行・松谷 晃宏・坂口 孝浩・小林 功郎・植之原 裕行, “凹面鏡を用いた二往復共振器受動モード同期 VCSEL の動作特性”, 2011年電子情報通信学会総合大会, C-4-12(2011年3月, 東京都市大学)

松谷 晃宏, 橋爪 佑樹, 大槻 秀夫, 小山 二三夫, “ナノインプリントレジストをマスクに用いた Cl₂-ICP エッチングによる Si-HCG 構造の形成”, 2011年春季第58回応用物理学関係連合講演会, 26p-KN-9 (2011年3月, 神奈川工科大学)

島山 直之, “触針式表面形状測定 of 触針圧が表面粗さにおよぼす影響”, 2010年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 8 (2011年3月, 東京工業大学)

西岡 國生, “光ナノインプリント用石英モールドの製作” 2010年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 9 (2011年3月, 東京工業大学)

松谷 晃宏, “固体ヨウ素をガスソースに用いた Si の誘導結合型プラズマエッチング” 2010年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 10 (2011年3月, 東京工業大学)

庄司 大, “低予算のナノインプリント ~ネガ型フォトレジストを成形樹脂に代用~”, 2010年度 東京工業大学技術部 技術発表会, 11 (2011年3月, 東京工業大学)

庄司 大, “低予算のナノインプリント~ネガ型フォトレジストを成形樹脂に代用~”, 2010年度 熊本大学総合技術研究会, 02P-33 (2011年3月, 熊本大学)

松谷 晃宏, 大槻 秀夫, 小山 二三夫, “固体ソースドライエッチング”, 電気学会プラズマ/パルスパワー合同研究会, PST-10-69, pp. 17-22 (2010年12月, 東京工業大学)

Akihiro Matsutani, Hideo Ohtsuki and Fumio Koyama, “Dry Etching of Si by Solid Source I₂ Inductively Coupled Plasma,” 23rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2010), 11D-8-54 (2010年10月, リーガロイヤルホテル小倉)

Akihiro Matsutani and Ayako Takada, “High Frequency Single Cell Isolation by 2-D Microenclosure Array Using Multipillar Structure,” 23rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2010), 11D-8-106 (2010年10月, リーガロイヤルホテル小倉)

松谷 晃宏, 大槻 秀夫, 小山 二三夫, “I₂-ICP による Si の反応性イオンエッチング”, 第71回応用物理学学会学術講演会, 14p-ZG-4 (2010年9月, 長崎大学)

松谷 晃宏, “F₂系プラズマを用いた Si のドライエッチング”, 2010年度機器・分析技術研究会, P-35 (2010年9月, 東京工業大学)

西岡 國生, 庄司 大, “ナノインプリント装置の設計および試作”, 2010年度機器・分析技術研究会, P-36 (2010年9月, 東京工業大学)

庄司 大, 西岡 國生, “ナノインプリント装置の設計および試作”, 2009年度東京工業大学技術発表会, (2010年3月, 東京工業大学)

庄司 大, “電子線描画装置の適正試料高さ and 試料ホルダの製作”, 2009年度東京工業大学技術発表会, (2010年3月, 東京工業大学)

西岡 國生, “CHF₃ を用いたSiO₂ の反応性イオンエッチング”, 2009年度東京工業大学技術発表会, (2010年3月, 東京工業大学)

畠山 直之, “エリプソメーターを用いたSiO₂ 膜の評価”, 2009年度東京工業大学技術発表会, (2010年3月, 東京工業大学)

西岡 國生, “反応性イオンエッチングを用いた Si と SiO₂ のエッチング”, 平成 21 年度高エネルギー加速器研究機構 技術研究会, P-4-4, (2010 年 3 月, 高エネルギー加速器研究機構)

庄司 大, “電子線描画装置の適正試料高さ測定と試料ホルダの製作”, 平成 21 年度機器・分析技術研究会, P-034 (2010 年 9 月, 東京工業大学)

松谷 晃宏, 高田 綾子, “2 次元マイクロ困いアレイによる大腸菌単一細胞の分離”, 第 57 回応用物理学会関係連合講演会, 18a-S-8 (2010 年 9 月, 東京工業大学)

松谷 晃宏, 大槻 秀夫, 小山 二三夫, “Ar/F₂ プラズマを用いた Si の反応性イオンエッチングにおけるプラズマの特性”, 第 57 回応用物理学会関係連合講演会, 18a-S-7 (2010 年 3 月, 東海大学)

A. Matsutani, H. Ohtsuki and F. Koyama, “Dry Etching of Si Using Ar/F₂ Plasma,” 2008 International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2009) 18D-7-50 (2009 年 11 月, シェラトンホテル札幌)

松谷 晃宏, 大槻 秀夫, 小山 二三夫, “Ar/F₂ プラズマによる Si のドライエッチング”, 第 70 回応用物理学会学術講演会, 9a-ZB-4 (2009 年 9 月, 富山大学)

松谷 晃宏, 大槻 秀夫, 小山 二三夫, “XeF₂ プラズマによる Si のドライエッチング”, 第 1 回集積化 MEMS 技術研究会ワークショップ, P12 (2009 年 7 月 14 日, 東京工業大学)

松谷 晃宏, 大槻 秀夫, 小山 二三夫, “XeF₂ プラズマによる Si のドライエッチングにおける発光分光観測”, 第 56 回応用物理学会関係連合講演会, 1a-N-3 (2009 年 3 月 31 日, 筑波大学)

庄司 大, “電子ビーム露光の繋ぎ補正の検討”, 2008 年度東京工業大学技術発表会 (2009 年 3 月, 東京工業大学)

畠山 直之, “プラズマ CVD による SiO₂ 成膜プロセスについて”, 2008 年度東京工業大学技術発表会 (2009 年 3 月, 東京工業大学)

西岡 國生, “反応性イオンエッチングによる Si のエッチングの基本特性” 2008 年度東京工業大学技術発表会 (2009 年 3 月, 東京工業大学)

庄司 大, “電子線露光装置のフィールド間繋ぎ補正の解析”, 平成 20 年度京都大学総合技術研究会, 2-26-B (2009 年 3 月, 京都大学)

畠山 直之, “集束イオンビーム (FIB) 加工装置を用いたマイクロサイズ片持ち梁の製作” 平成 20 年度京都大学総合技術研究会, 02-III-1 (2009 年 3 月, 京都大学)

A. Matsutani, H. Ohtsuki and F. Koyama, “Vertical and Smooth Dry Etching of Si by XeF₂ Plasma,” International Congress on Plasma Physics (ICPP2008) ESAP3-161 (2008 年 9 月, 福岡国際会議場)

A. Matsutani, H. Ohtsuki and F. Koyama, “Dry Etching of Si by XeF₂ Plasma and Investigation of Emission Intensities from Xe and F in XeF₂ Plasma,” 2008 International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2008) 29D-9-58 (2008 年 9 月, 福岡国際会議場)

松谷 晃宏, “ドライエッチングされた Al 表面のEDX分析とSi固体ソースを用いたエッチングチャンバ

一内の残留酸素の低減”，平成 20 年度機器・分析技術研究会，P-6A（2008 年 9 月，ホテル奥道後）

西岡 國生，“MEMS 製作プロセスの機能性流体デバイスへの応用”，平成 20 年度機器・分析技術研究会，P-14A（2008 年 9 月，ホテル奥道後）

松谷 晃宏，大槻秀夫，小山二三夫，“XeF₂ プラズマによる Si の垂直平滑ドライエッチング”，第 69 回応用物理学学会学術講演会，2a-A-6（2008 年 9 月，中部大学）

上記の他にも共著論文，論文謝辞等（博士論文，修士論文，卒業論文を含む）が多数あります。

【その他】

松谷 晃宏，“花と風”，応用物理 **92**（2023）63.

松谷 晃宏，“雲棚引くマイクロ富士”，応用物理 **91**（2022）3.

松谷 晃宏，“ミクロの緑富士出現”，読売新聞，2022 年 1 月 13 日夕刊，みんなのカガク

【特許】

柳田 保子，松谷 晃宏，藤本 美穂，“温度応答性レンズ”，特願 2020- 23379（出願日 2020 年 2 月 14 日）

松谷 晃宏，高田 綾子，“単一細胞分離用プレート”，特願 2010- 17287，特開 2011-152108，特許第 5622189 号（2014 年 10 月 3 日）

【科学研究費】

松谷 晃宏（研究代表者）

基盤研究(C)，研究期間 2024-04-01 – 2027-03-31

研究課題 24K06352 「球状微粒子とコーヒーリング効果の光学実験による STEAM 教育のための教材開発」

遠西 美重（研究代表者）

奨励研究，課題番号 25H00180（令和 7 年度）

「永久磁石とアンテナを用いた均一なプラズマ密度向上のための磁石配置の最適化」

遠西 美重（研究代表者）

奨励研究，課題番号 24H02547（令和 6 年度）

「異種材料接合の表面処理における固体ソース H₂O プラズマ分布均一化のための改良」

佐藤 美那（研究代表者）

奨励研究，課題番号 24H02574（令和 6 年度）

「汎用 SEM とステンシルマスクを用いた近接転写による簡易電子線リソグラフィ法の開発」

松谷 晃宏 (研究代表者)

基盤研究(C), 課題番号 17K05020 (平成 29 年度~31 年度)

「2次元マイクロ凹面鏡アレイとケーラー照明による単一細胞2次元アレイ操作技術の開発」

松谷 晃宏 (研究代表者)

基盤研究(C), 課題番号 26390037 (平成 26 年度~28 年度)

「半導体微細加工プロセスとクラドニ図形の融合による細胞の輸送と単一分離技術の開発」

佐藤 美那 (研究代表者)

奨励研究, 課題番号 15H00361 (平成 27 年度)

「一つのステンシルマスクによる多サイズパターンのプロキシミティスパッタ成膜法の開発」

佐藤 美那 (研究代表者)

奨励研究, 課題番号 26917015 (平成 26 年度)

「圧力差を利用したキャップ固定による試料の作製から分析までの可搬式真空一貫プロセス」

松谷 晃宏 (研究代表者)

基盤研究(C), 課題番号 23510141 (平成 23 年度~25 年度)

「半導体プロセスによる極狭スリット細胞分離マイクロ流路形成と単一細胞分離構造の融合」

(旧職員分)

庄司 大 (研究代表者)

奨励研究, 課題番号 15H00362 (平成 27 ~28 年度)

「熱と光を同時に利用したナノインプリントのための透明ヒータの開発」

西岡 國生 (研究代表者)

奨励研究, 課題番号 26917022 (平成 26 年度)

「ナノパターンモールドフォトマスクと光ナノインプリントによる石英マイクロ流路の製作」

庄司 大 (研究代表者)

奨励研究, 課題番号 25917015 (平成 25~26 年度)

「小型熱ナノインプリント装置用マイクロヒータの開発」

庄司 大 (研究代表者)

奨励研究, 課題番号 24918009 (平成 24 年度)

「ナノ粒子を用いた電子線のその場調整のための薄膜断面 TEM 観察試料製作方法の開発」

西岡 國生 (研究代表者)

奨励研究, 課題番号 23917025 (平成 23 年度)

「微細放電加工機によるフォトマスクの製作」

【産学連携関連】

研究分担者：2015 年度 1 件, 2014 年度 1 件, 2013 年度 1 件, 2012 年度 1 件, 2011 年度 1 件, 2010 年度 3 件, 2009 年度 2 件, 2008 年度 2 件

【セミナー】

松谷 晃宏, ”マイクロ・ナノプロセスを利用した微細加工技術の応用”, 第 72 回東京工業大学技術交流セミナー, (2013 年 3 月 8 日, 大田区産業プラザ)

【展示会出展】

セミコン・ジャパン 2013, 出展者プレゼンテーション, “東京工業大学メカノマイクロプロセス室におけるマイクロデバイス開発支援と共同研究について” (12 月 4 日講演), (2013 年 12 月 4 日~12 月 6 日, 幕張メッセ)

セミコン・ジャパン 2012, 出展者ステージ, “東京工業大学メカノマイクロプロセス室におけるマイクロデバイス開発支援” (12 月 6 日講演), (2012 年 12 月 5 日~12 月 7 日, 幕張メッセ)

イノベーションジャパン 2010, B-12 “2 次元マイクロピラーアレイ構造を用いた単一細胞分離技術” (2010 年 9 月 29 日~10 月 1 日, 東京国際フォーラム)

【見学】

モスクワ電子工科大学 (Moscow Institute of Electronic Technology) から Vice-Rector for Research 他 2 名, (2013 年 7 月 9 日)

【受賞】

JSAP Poster Award

Akihiro Matsutani, “Measurement of Light-Focusing Properties and Refractive Index of yeast Cell as a Microlens,” The Japan Society of Applied Physics (2024 年 11 月 13 日)

宍倉 一輝, 難波江 裕之, 松谷 晃宏, 佐藤 美那, 鈴木 康一, IEEE/SICE International Symposium on System Integration(SII2024)Best Paper Award Finalist (2024 年 1 月)

松谷 晃宏, 令和 2 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰研究支援賞, "共用クリーンルームの運営と技術開発による先端研究への貢献" (2020 年 4 月)

■学内外委員等 (2008 年度から 2025 年度, 現職員)

松谷 晃宏	裁判所専門委員 (知的財産権訴訟), 2006 年 4 月～現在
松谷 晃宏	応用物理学会, プログラム編集委員 (新技術・複合新領域), 2009 年 5 月～現在
松谷 晃宏	応用物理学会, 講演会企画運営委員, 2011 年 5 月～2016 年 4 月
松谷 晃宏	応用物理学会, 論文賞委員, 2014 年 5 月～2016 年 4 月
佐藤 美那	すずかけ台地区専任衛生管理者, 2014 年 4 月～2016 年 3 月
佐藤 美那	すずかけ台地区代議員, 2018 年 4 月～2019 年 5 月
遠西 美重	すずかけ台地区代議員, 2019 年 6 月～2020 年 3 月

■定期的に技術情報の収集を行っている学会, 展示会等

SEMICON Japan, nano tech, JASIS, ファーマラボ EXPO, 応用物理学会, 他

2025 年度成果報告

Measurement of lens function of yeast cells using optical microscope and laser pointer

Akihiro Matsutani 

Research Infrastructure Management Centre, Institute of Science Tokyo, Yokohama, Japan

E-mail: matsutani.a.aa@m.titech.ac.jp



CrossMark

Abstract

Measurements using an optical microscope, red, green, and blue laser pointers, a diagonal prism mount and a sapphire ball, as well as calculations using the equation for a thick lens, were conducted to investigate the wavelength dependence of the refractive index of micrometre-sized yeast cells. In addition, projection experiments using a lattice pattern and an optical microscope demonstrated that yeast cells can function as lenses. This research method, which uses familiar materials and instruments, such as yeast cells and optical microscopes, is suitable as a teaching method for optical experiments for not only physics students but also biology students to learn the principles of optical microscopes and lenses.

Keywords: yeast cell, refractive index, lens, microscope, laser pointer

1. Introduction

A sphere is a very basic shape in nature. A good example is a water droplet on a water-repellent leaf. Figure 1 shows a photograph of a water droplet on a rose leaf after rain. It can be seen that the water droplet on the surface of the water-repellent leaf becomes spherical. When sunlight is incident on this water droplet, it is concentrated at the focal point. In other words, the water droplet functions as a ball lens. Despite its simple structure, the ball lens as well as a cylindrical lens are suitable as teaching resources in optics, and good experimental results and discussion have been

reported [1, 2]. Spherical objects in nature also include microbial cells. Yeasts are a single-celled model microorganism that can be approximated as roughly spherical cells with a diameter of 3–5 μm . When observing such spherical yeast cells under a microscope, it can be seen that the cells can function as lenses that converge light during focus adjustment. We believe that if this phenomenon is applied to optical teaching materials, it will help in learning how to use an optical microscope and the basics of lens optics. However, although there are examples of imaging using *Chlamydomonas* cells with a diameter of 10–20 μm as lenses [3], there



Figure 1. Water droplet on rose leaf and focused sunlight.

are only a few examples of obtaining images using spherical cells with a diameter of $5\ \mu\text{m}$ or less as lenses.

In this study, we conducted an experimental trial on using cells as optical teaching resources by treating yeast cells as microlenses. We measured their light-focusing characteristics and refractive index under an optical microscope using laser light, and we obtained images of lattice patterns.

2. Experimental setup

To perform optical experiments using yeast cells as microlenses, we first establish an experimental method using a ball lens. Figure 2 shows a conceptual diagram of this experimental method. Collimated light is incident on the ball lens, and the focal position of the transmitted light is measured under an optical microscope. Then, the position of the apex at the top of the curved surface of the ball lens is measured under epi-illumination. The distance between the focal and apical positions is the back focal length (BFL).

As shown in figure 3, the refractive index n of a ball lens can be calculated geometrically using equations (1) and (2), which are related to the lens diameter D , effective focal length (EFL), and BFL [1, 4, 5].

$$\text{EFL} = \frac{nD}{4(n-1)} \quad (1)$$

$$\text{BFL} = \text{EFL} - \frac{D}{2} \quad (2)$$

Since the ball lens is a single lens, it has chromatic aberration. Therefore, it is desirable to use

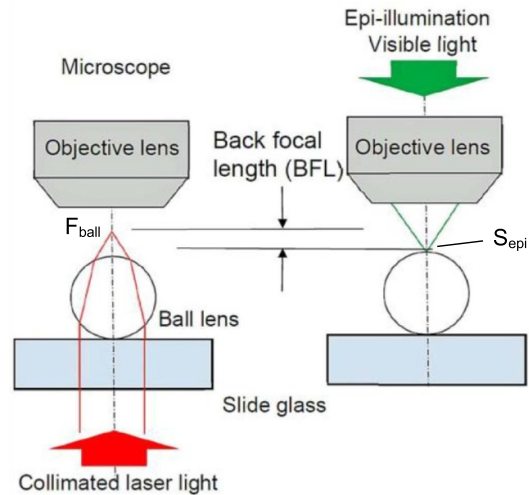


Figure 2. Schematic of this experimental method. F_{ball} indicates the focal position of the ball lens, and S_{epi} indicates the position of the surface of the ball lens when using epi-illumination. A condenser lens, which is used in biological microscopes, was not used when measuring the focal length, as shown in the left-hand-side figure. In the right-hand-side figure, a halogen lamp is used as the light source for epi-illumination, and the illumination light passes through the half-mirror from the middle of the tube (between the objective lens and the eyepiece lens) and the objective lens to illuminate the sample. This illumination method is used in general metallurgical microscopes. To measure BFL, first measure the position of F_{ball} of the ball lens as shown in the left-hand-side figure. Next, measure S_{epi} using epi-illumination, as shown in the right-hand-side figure. The scale engraved on the fine adjustment knob of the microscope was used to measure these positions. BFL can be measured by reading the difference between the scales on the fine adjustment knob corresponding to F_{ball} and S_{epi} . The left-hand-side figure shows a case of trans-illumination.

monochromatic light in this focusing experiment. Red (R), green (G), and blue (B) laser pointers, which are easily available, were used as light sources. As is well known, the spread angle of the spot of a laser pointer is small, and the spot size does not become very large even at a long distance.

Figure 4 shows the photographs of a G laser spot irradiated at distances of 1 m and 3 m from the laser pointer's emission port. As can be seen from this figure, the sizes of the spot irradiated at distances of 1 m and 3 m from the emission port are almost the same. Therefore, the light of

Measurement of lens function of yeast cells using optical microscope and laser pointer

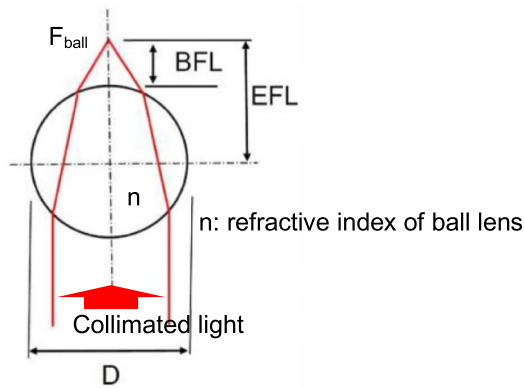


Figure 3. Relationship between the refractive index n of ball lens and the focal point of collimated light.

a laser pointer can be used as collimated light in this experiment. In this experiment, R (670 nm), G (532 nm), and B (450 nm) laser pointers were used as collimated light sources.

Figures 5(a)–(c) show the photographs of the measurement system for optical microscopy observation. First, as shown in figure 5(a), the outer diameter of the laser pointer is adjusted by wrapping the laser pointer with cardboard paper or aluminium foil, to fix it into the opening of the diagonal mount, which is widely used for astronomical telescopes (for the diagonal prism, see the appendix). Because the laser pointer is long, it is difficult to install it facing upward under the stage of a general microscope. Therefore, it is necessary to install the laser pointer sideways and bend the light path. Generally, mirrors are often used to obtain light for transmitted illumination in a microscope, but it is difficult to adjust the mirror angle to exactly 45° . The advantage of using a diagonal prism, which is widely used in astronomical telescopes, as in this experiment, is that the prism angle is exactly 45° , and there is a sleeve for attaching the eyepiece to the prism case and another sleeve for attaching this prism to the eyepiece of the telescope. In this study, these sleeves are used to attach the laser pointer and adjust the optical axis. At this time, a semitransparent cap is placed on the output opening to adjust the optical axis. There is a mark in the centre of the translucent cap. When we adjust the laser light so that it hits this mark, the optical

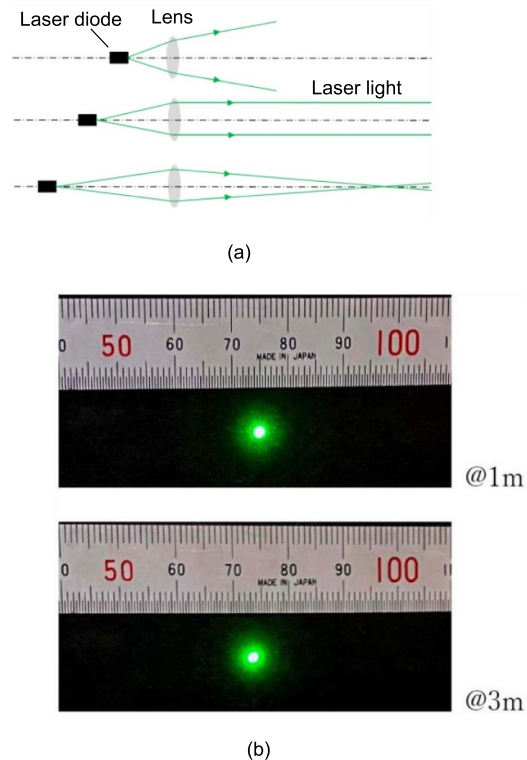


Figure 4. (a) Relationship between the semiconductor laser diode and the optical system of a laser pointer. A laser pointer is composed of a semiconductor laser and a lens optical system. The light emission part of the semiconductor laser is very small (on the order of μm). To transform (a) profile of the laser beam emitted from this optical system into a circular collimated beam, an optical system with multiple lenses is used. If we assume that this optical system is a single convex lens for simplicity, the way the light beam spreads changes depending on the positional relationship between the light source and the convex lens. As shown in the middle figure, a collimated beam can be obtained when these are in the appropriate positional relationship. (b) Relationship between laser pointer's emission port and spot size. The fact that the horizontal spot size (intensity distribution) of the light emitted from the laser pointer does not change means that it is adjusted to the centre state in figure (a), so the light of the laser pointer can be considered to be collimated.

axis will pass through the centre of the sleeve. There is no circular opening in the centre. The translucent cap diffuses the laser light, making it not only convenient for aligning the optical axis,

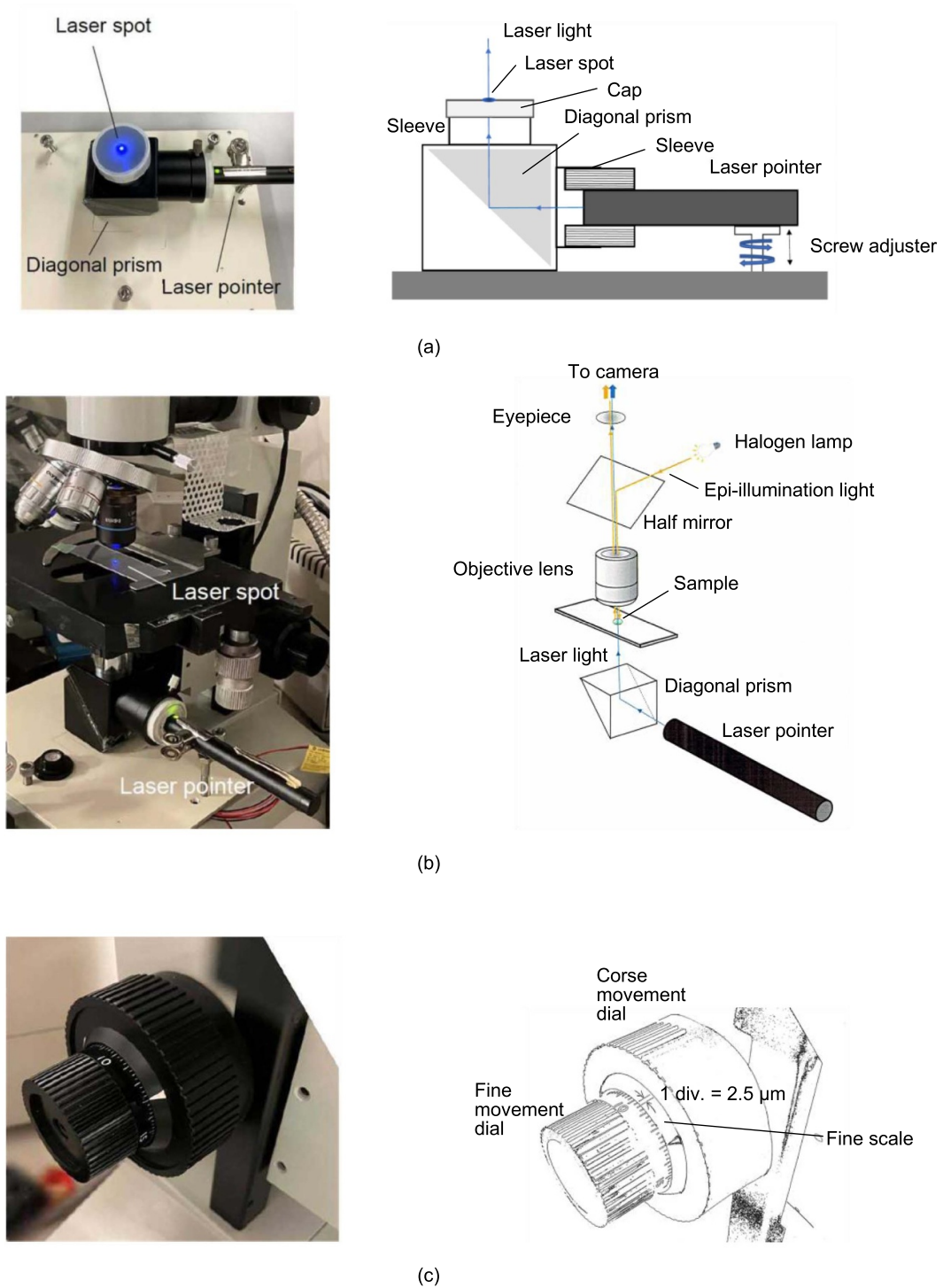


Figure 5. Optical microscopy measurement system used in this experiment. (a) Light source prepared by combining a laser pointer and a diagonal prism, (b) light source installation, and (c) scale of focus adjustment dial.

Measurement of lens function of yeast cells using optical microscope and laser pointer

but also safer. After adjusting the optical axis of the laser pointer, the cap is removed and the laser light source is placed on a plate that can be adjusted horizontally by manipulating three bolts and is then installed under the microscope stage, as shown in figure 5(b). This system enables the correct irradiation of the collimated light onto the optical axis of the microscope. The scale engraved on the focus adjustment dial is used to measure the focal position, as shown in figure 5(c). The minimum scale of the focus adjustment dial of the metallurgical microscope (Meiji Techno, ML7100) used in this experiment is $2.5 \mu\text{m}$. The diameter of the ball lens is measured using the eyepiece micrometre of the optical microscope. In addition, for safety reasons, when measuring using laser light, the image is observed on the monitor screen of a digital camera (Nikon 1J1) attached to the microscope.

3. Results and discussion

3.1. Measurement of refractive index of sapphire ball lens

Figures 6(a) and (b) respectively show the optical microscopy images of the sapphire ball lens and the focused point of its laser light measured by the method shown in figure 2. The observation was performed using a 10x objective lens and a 10x eyepiece lens; therefore, the total magnification was 100x. The images were obtained at 100x (10x eyepiece, 10x objective); thus, the minimum division of the ocular micrometre scale shown on the image of the sapphire ball corresponds to $10 \mu\text{m}$. Therefore, one division of this scale corresponds to $10 \mu\text{m}$. From this image, it can be seen that the diameter of the sapphire ball lens is $550 \mu\text{m}$. The BFL measured using an R laser beam with a wavelength of 670 nm was $40 \mu\text{m}$. The refractive index calculated from these values and equations (1) and (2) was 1.75. This refractive index was almost the same as the previously reported value [6]. Therefore, the validity of this experimental method was demonstrated.

3.2. Measurement of refractive index of yeast cells

Next, we similarly measured the BFL of commercially available dry yeast cells for bread making.

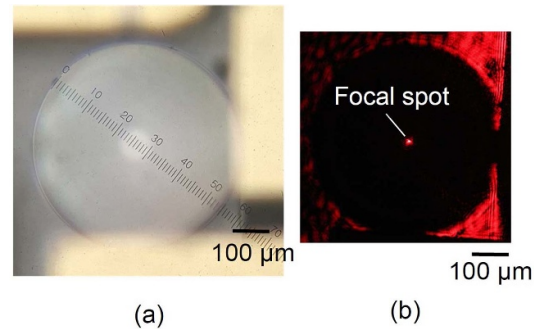


Figure 6. Optical microscopy images. (a) Sapphire ball lens and (b) focal spot of laser light obtained using the microscopy optical system.

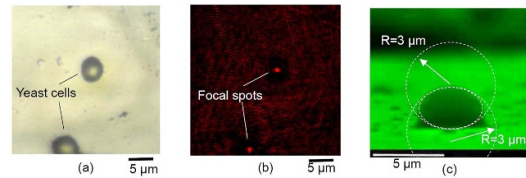


Figure 7. Microscopy images of yeast cells. (a) Optical microscopy image, (b) laser light spot focused by yeast cells, and (c) SEM image of yeast cell and fitting result of the radius of curvature of the biconvex surface.

First, the dry yeast cells were dispersed in water, dropped onto a slide glass, and dried in air. Next, we measured the BFL of the yeast cells using a 100x objective lens (NA, 0.75). Figures 7(a) and (b) show an optical microscopy image and a spot of laser light focused by the yeast cells, respectively. The spot focused on the yeast cells was almost circular, indicating good focusing properties. The BFL of the yeast cells measured with laser light of 670 nm wavelength ranged from 3.7 to $3.8 \mu\text{m}$. From the measured focal position, the height of the yeast cells was determined to be about $3 \mu\text{m}$. From this result, the shape of the yeast cells was estimated to be a three-dimensional ellipsoid, which is considered similar to the shape of a thick biconvex lens rather than a ball lens. To determine the shape of the yeast cells in more detail, we observed the yeast cells by scanning electron microscopy (SEM) and estimated the radius of curvature. Figure 7(c) shows the SEM image of a yeast cell and the fitting result of the radius of curvature of the biconvex surface of the yeast cell, which was estimated to be approximately $3 \mu\text{m}$.

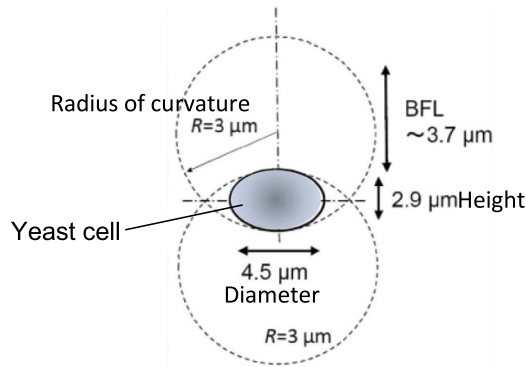


Figure 8. Yeast cell shape and size.

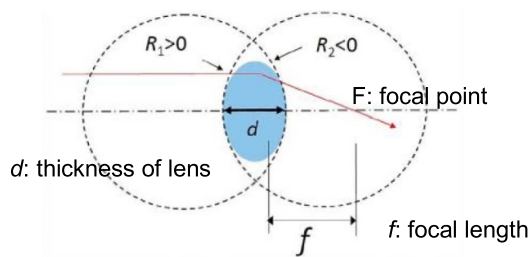


Figure 9. Thick biconvex lens and focus of collimated light. Light incident from the left of this figure is refracted by the lens and intersects with the optical axis at the focal point F . R_1 and R_2 represent the radii of curvatures of the entrance and exit surfaces, respectively. When the blue area is a lens, the radii of curvature is positive when the surface is convex towards the incident light.

From the results of the microscopy observation in figure 7, the approximate dimensions of a yeast cell are as shown in figure 8. From this observation, it appears that the shape of a yeast cell can be approximated as a thick biconvex lens.

Figure 9 shows a schematic of a thick biconvex lens, where the thickness of the lens is d , the refractive index is n , the radii of curvatures of the entrance and exit surfaces are respectively R_1 and R_2 , and the focal length is f ; therefore equation (3) holds true [7]. The radii of curvature is positive when the surface is convex towards the incident light [8].

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) + \left(\frac{d}{n} \right) \frac{(n - 1)^2}{R_1 R_2}. \quad (3)$$

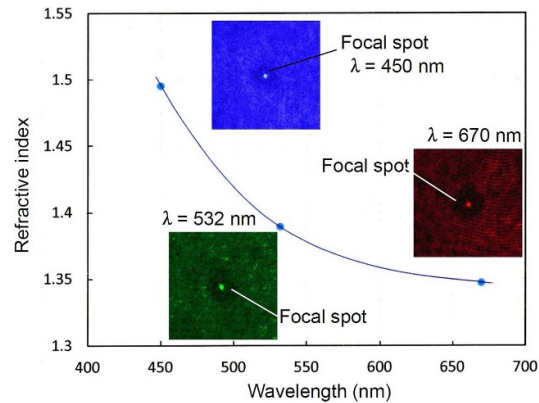


Figure 10. Wavelength dependence of refractive index of yeast cells and focal spot.

The refractive index n can be calculated by substituting $R_1 = -R_2$ ($|R_1| = |R_2| = 3 \mu\text{m}$) and $d = 2.9 \mu\text{m}$ into equation (3). From this numerical information and the equation for the thick biconvex lens, the refractive index of the yeast cell for R laser light of 670 nm was estimated to be approximately 1.345. The refractive indices for B laser light of 450 nm and G laser light of 532 nm were measured similarly. As a result, it was found that the focal positions of the B and G images differed by $0.8 \mu\text{m}$, and those of the G and R images differed by $0.45 \mu\text{m}$. From this numerical information, the refractive index for B light of 450 nm was calculated to be 1.495 and that of G light of 532 nm was 1.389.

Figure 10 shows the focal images of yeast cells at laser light RGB wavelengths and their refractive indices. It can be seen that the spots of the RGB laser lights focused by the yeast cells are almost circular and sharp. The spot size of the B image appears to be the smallest, and the spot size of the R image is the largest. The diameter q of the Airy disk is expressed by [9]

$$q \approx 1.22 \frac{f\lambda}{D} \quad (4)$$

where λ is the wavelength of the observed light, f is the focal length of the lens, and D is the diameter of the lens. Therefore, we can see that the spot size

Measurement of lens function of yeast cells using optical microscope and laser pointer

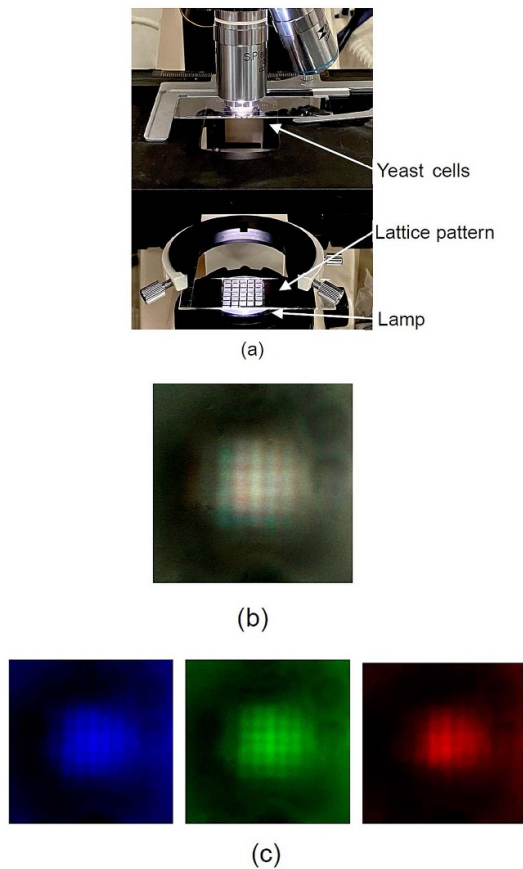


Figure 11. Images of lattice patterns projected by yeast cells. (a) Lattice pattern placed on the microscope lamp. (b) Image of lattice pattern projected by a yeast cell. (c) Images of lattice pattern decomposed into three colours (R, G, and B) using image processing software.

of the B image, which has the shortest wavelength, is the smallest.

3.3. Observation of images projected by yeast cells

Yeast cells can function as lenses, that is, they can form an image of an object. Next, let us observe the images projected by yeast cells. Figure 11(a) shows the experimental system for observing the projected images. First, a lattice pattern is prepared by gluing a piece of black paper with a lattice pattern cut out onto a glass slide. Next, this lattice pattern is placed on a lamp for illumination

for pattern projection. The condenser lens, which is usually installed under the microscope stage (Meiji Techno, MT6300), is removed so that there is no other optical system between the yeast cells and the lattice pattern. The image formed by the yeast cells is observed through a 100x objective lens (NA, 0.75). Figure 11(b) shows the image of the lattice pattern projected by a yeast cell. Yeast cells can function as convex lenses to form an image, and it can be seen that the image of the projected lattice pattern has only a slight distortion. Figure 11(c) shows the lattice image obtained by decomposing this projected image into three colours (R, G, and B) using image processing software (Photoshop Elements11). It can be seen that the G image is the sharpest, whereas the R and B images are slightly blurred. The G image is the sharpest because of the visual sensitivity of the human eye to the G light wavelength as it was focused [10], and the R and B images have different focal positions from the G image because of the chromatic aberration of the yeast cell lens.

4. Conclusion

Using an optical microscope, RGB laser pointers, a diagonal prism mount, a sapphire ball, and the equation for a thick lens, we clarified the optical properties of yeast cells, such as the wavelength dependence of the refractive index. In addition, an imaging experiment using an optical microscope and a lattice pattern demonstrated that yeast cells can function as lenses. As a result, the method developed in this study can be used for learning the principles of optical microscopes and lenses by observing yeast cells, a familiar material, under an optical microscope. Regarding the cost and availability of the optical components used in this study, the R laser pointer and bevelled prism mount are low cost, the G laser pointer and sapphire ball are medium cost, and the B laser pointer is somewhat higher cost; however, all components are commercially and readily available. In this study, yeast cells were used as an example of measuring microorganisms. The method used in this study can be used for larger cells as long as the cells can be approximated as spheres or ellipsoids. For example, for larger cells such as fish eggs,

A Matsutani

it would be possible to obtain results similar to those in this study using only an optical microscope without using an electron microscope. This experimental method can be used as a teaching method for optical experiments for not only physics students but also biology students.

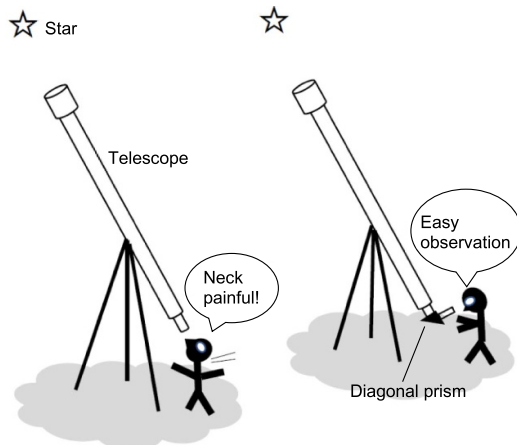
Data availability statement

All data that support the findings of this study are included within the article (and any supplementary files).

Acknowledgment

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP24K06352.

Appendix



In a refracting telescope, the eyepiece is at the rear end of the telescope tube, so when observing

near the zenith, you have to raise your head with a very steep inclination to look through the eyepiece. On the other hand, the diagonal prism bends the optical path at a right angle, allowing us to look through the eyepiece from the side. In the experiments in this study, this diagonal prism was used to bend the light path of the light from a laser pointer at a right angle.

ORCID iD

Akihiro Matsutani  [0000-0003-4073-7894](https://orcid.org/0000-0003-4073-7894)

Received 28 March 2025, in final form 30 June 2025

Accepted for publication 30 July 2025

<https://doi.org/10.1088/1361-6552/adf604>

References

- [1] Quick T and Ellis J G 2024 *Eur. J. Phys.* **45** 045301
- [2] Dragia I and Nikolov S 2015 *Phys. Educ.* **50** 548
- [3] Ueki N *et al* 2016 *Proc. Natl Acad. Sci.* **113** 5299
- [4] Träger F 2007 *Handbook of Lasers and Optics* (Springer) p 56
- [5] Kim S F, Scharf T, Mühlig S, Fruhnert M, Rockstuhl C, Bitterli R, Noell W, Voelkel R and Herzig H P 2016 *Opt. Express* **24** 6996
- [6] Guo X, Quan X, Li Z, Li Q, Zhang B, Zhang X and Song C 2021 *Coatings* **11** 492
- [7] Hecht E and Ganesan A R 2020 *Optics* 5th edn (Pearson Education, Inc) p 257
- [8] Born M and Wolf E 1999 *Principles of Optics* seventh (expanded) edn (Cambridge University Press) p 171
- [9] Hecht E and Ganesan A R 2020 *Optics* 5th edn (Pearson Education, Inc) p 490
- [10] Zisis G and Kitsinelis S 2009 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **42** 173001

Microfabrication of Black Ge by SF₆/O₂- and C₄F₈-based Deep Reactive Ion Etching

Mie Tohnishi,^{1*} Sachiko Matsushita,^{2,3} and Akihiro Matsutani¹

¹Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo,
R2-3, 4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa 226-8503, Japan

²Department of Materials Science and Engineering, Institute of Science Tokyo,
J2-48, 4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa 226-8503, Japan

³elleThalmo, Ltd., INDEST 3F, Institute of Science Tokyo, 3-3-6 Shibaura, Minato-ku, Tokyo 108-0023, Japan

(Received October 21, 2024; accepted January 22, 2025)

Keywords: microfabrication, black Ge, deep RIE, regular reflectance, emissivity

We fabricated black Ge with numerous needlelike microstructures by SF₆/O₂- and C₄F₈-based deep reactive ion etching and measured the regular reflectance in the ultraviolet-to-near-infrared range, thermal radiation properties, and electrical resistance for electrode applications. The regular reflectance of black Ge was very low in the range of 250 nm–2.5 μm. The emissivity of the black Ge surface was observed to be the same as that of a carbon plate. We found that the scallops on the sidewalls of the microstructures also contributed to the low reflectance. Furthermore, the black Ge electrode had a lower resistance than a planar Ge electrode. The black Ge electrode, which has an increased surface area of Ge with numerous needlelike microstructures, has high emissivity, antireflectivity and low resistance, and we consider that it is useful for application to device fabrication utilizing these properties.

1. Introduction

Renewable energy is a particularly active field of research today, which is pursued to meet the rising energy needs of society and to solve global energy problems. The use of renewable energies, such as solar, wind, tidal, and thermal energies, has recently attracted considerable attention^(1–4) owing to both environmental and resource issues. Among these renewable energies, we focus on thermal energy. Efficient and low-cost thermal energy-harvesting systems such as semiconductor-sensitized thermal cells (STCs)^(5–13) have been proposed as a new thermal energy conversion technology based on dye-sensitized solar cells.^(14,15) STCs generate electricity by the redox reactions of electrolyte ions with thermally excited carriers in semiconductors. Germanium (Ge) is often used as a semiconductor because it has a band gap of about 0.7 eV and generates a large amount of thermally excited charge even at relatively low temperatures around 80 °C. The Ge–STC shows its stable battery characteristics owing to the polymer electrolyte including CuCl and CuCl₂ as electrolyte ions. The energy conversion efficiency of STCs has been reported to be 9.2% at approximately 90 °C.⁽⁷⁾ Since STCs generate electricity through

*Corresponding author: e-mail: tohnishi.m.ab@m.titech.ac.jp
<https://doi.org/10.18494/SAM5404>

chemical reactions at the interface of the electrode and electrolyte, having a high specific surface area for the electrode enhances the current acquisition. Additionally, properties such as high emissivity and antireflection due to increased surface area help confine thermal energy within the semiconductor electrode, leading to the efficient generation of thermally excited carriers in the semiconductor. The fabrication of microstructures on the electrode surface is an effective method of increasing the surface area. The fabrication of a black Si structure whose surface is covered with numerous microstructures is one method of increasing the surface area.^(16–21) The microstructures on the surface of black Si are many microneedles with high aspect ratios. Similarly, covering the Ge surface with numerous microstructures is also an effective method of increasing the surface area. There have been examples of black Ge fabrication using gases such as SF₆/O₂, SF₆/C₄F₈, Cl₂, and SF₆/CHF₃.^(22–26) The fabrication of high-aspect-ratio needlelike structures by etching is expected to be achieved under similar process conditions as the etching of narrow trenches with high aspect ratios. Previously, we reported a method of etching narrow trench structures in Si by SF₆/O₂- and C₄F₈-based deep reactive ion etching.⁽²²⁾ We expect that the same manner can be demonstrated for the microfabrication of black Ge. There have been several reports on the reflectivity of such black Ge measured by the total reflection, but since black Ge has many high aspect ratio beam structures, it is necessary to measure the regular reflectivity as well. However, there are few reports on the positive reflectance of black Ge.

In this study, we report the fabrication of black Ge consisting of numerous needlelike microstructures with scalloped sidewalls by SF₆/O₂- and C₄F₈-based deep reactive ion etching (RIE). We measured the emissivity of black Ge. Furthermore, the scallop depth and chemical composition of the etched sidewalls were analyzed by atomic force microscopy (AFM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX), respectively. We also measured the reflectance of black Ge, the angle dependence of the regular reflectance of black Ge in the range of 250 nm–2.5 μm, and the dependence of the scallop depth of the microstructure sidewalls. Finally, to investigate the electrical properties of black Ge, an experiment was performed using an electrolyte and a platinum.

2. Experimental Methods

Figure 1 shows a schematic of the deep RIE setup (SPP MUC21-HRMX: chamber size, φ340 mm; electrode size, φ200 mm) equipped with a switching system with SF₆ and O₂ as the etching gases and C₄F₈ as the passivation gas used in this experiment. A 1-mm-thick n-type Ge (111) substrate was used as a sample, which was placed on a φ200 mm aluminum tray. The microstructure of the sample fabricated by deep RIE was observed by SEM (Hitachi High-Tech FlexSEM1000II) and AFM (Hitachi High-Tech AFM500II). The chemical composition of the microstructures was analyzed by EDX (OXFORD Instruments AZtechOne). Infrared images of the samples were taken using an infrared thermographic camera (FLIR THI-501AJ). The reflectance of the samples was measured using a spectrophotometer (SHIMADZU SolidSpec 3700DUV). To smooth the scallops of the sidewall of microstructures of black Ge for comparison, O₂ plasma treatment was performed with RIE (SAMCO RIE-10NR).

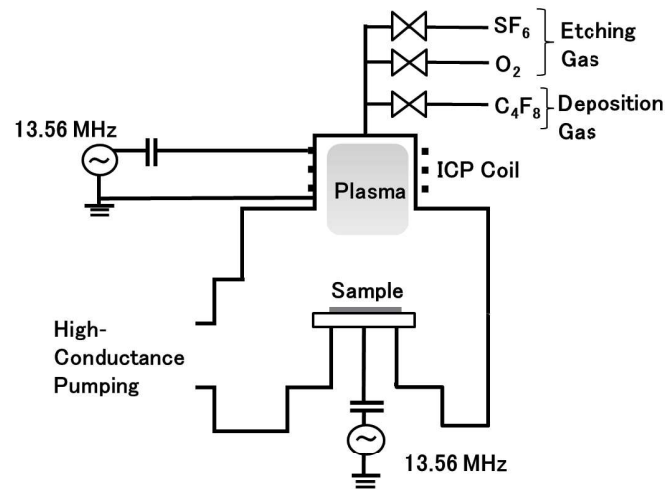


Fig. 1. Schematic of Deep-RIE to fabrication of black Ge.

3. Results and Discussion

3.1 Microfabrication and analysis of microstructure surface of black Ge

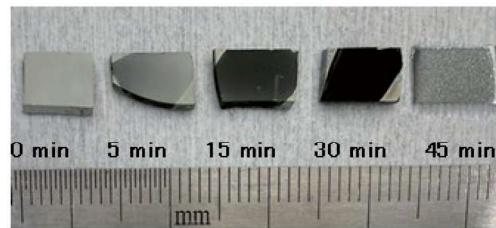
To fabricate black Ge microstructures by dry etching, numerous micromasks are required, and it is difficult to fabricate micromasks for large areas by electron beam lithography. However, it is easy to fabricate micromasks using fluorocarbons generated in the plasma used in the deposition process. In deep RIE, the deposition of the passivation film and etching are switched repeatedly. In the first cycle, C_4F_8 plasma forms a fluorocarbon polymer as a passivation layer. In the subsequent etching step, the polymer is removed by SF_6/O_2 plasma and the Ge surface is isotropically etched. The remaining polymer tends to form into several clusters. These clusters become micromasks for the formation of microstructures. Needlelike microstructures are formed by repeated switching between deposition and etching. The deep RIE conditions for black Ge fabrication are shown in Table 1.

Figure 2(a) shows a top-view photograph of samples at different process times. The Ge surface lost its luster after 5 min and became gray after 15 min and almost black after 30 min. The Ge surface changed to gray again after 45 min. Figure 2(b) shows 45°-tilted SEM images of the microstructures on the Ge surface at different process times. The heights of the microstructures were estimated to be 7 μm after 5 min, 20 μm after 15 min, and 40 μm after 30 min. The microstructures were completely removed after 45 min. Figure 2(c) shows the microstructure height and etching depth as functions of process time. Owing to mask erosion in the etching step, the microstructure height was smaller than the etching depth.

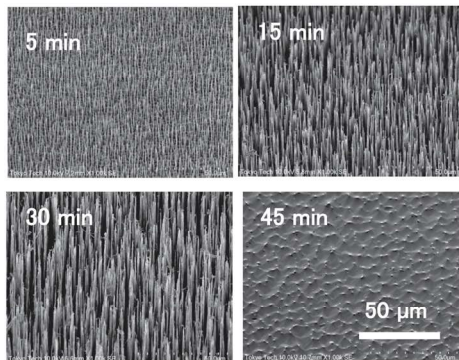
Next, the emissivity of black Ge was investigated by infrared thermography. Infrared images were taken during heating on a hot plate at 90 °C. In this image, the emissivity ε was set to 0.95. The samples were 1-mm-thick $\phi 15$ mm Ge substrates cut into quarters, planar Ge ($\varepsilon = 0.6$), black Ge, and black body tape ($\varepsilon = 0.95$) on planar Ge. The samples were placed on a $\phi 120$ mm carbon

Table 1
Summary of deep RIE conditions.

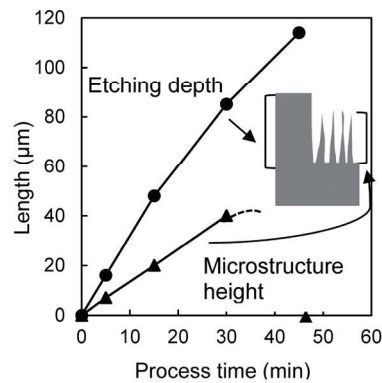
Processing step	Gas	Flow rate (sccm)	Pressure (Pa)	ICP-RF (W)	Bias-RF (W)	Cycle time (s)
Deposition	C ₄ F ₈	90	2	1500	20	5
Etching	SF ₆ /O ₂	200/20	4	2200	40	5



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. (Color online) (a) Top-view photograph of samples at different process times. (b) 45°-tilted SEM images of samples at different process times. (c) Etching depth and microstructure height as functions of process time.

plate ($\varepsilon = 0.85$). Figure 3 shows an infrared image obtained when the temperature of the black body tape was 85.8 °C. The temperatures of all the samples should be the same; however, the surface of planar Ge was observed to exhibit the lowest temperature. The emissivity of black Ge fabricated by deep RIE was higher than that of planar Ge. It is considered that the displayed temperatures of these samples indicate a difference in emissivity. As can be seen from Fig. 3, the emissivity of black Ge is about the same as that of the carbon plate. Therefore, we believe that the emissivity can be increased by the fabrication of a microstructure as black Ge.

Figure 4 shows the AFM image and line profile of the sidewalls of the microstructures. The surface of the microstructures has a regularly scalloped figure. In this experiment, the scallop depth was about 200 nm and the scallop pitch was about 220 nm. The scallop depth was approximately equal to the etching depth per cycle, and the sidewalls were also isotropically etched. Scallop are formed on the sidewalls of the microstructures as a result of the switching between deposition and isotropic etching.

We analyzed the chemical composition of the sidewalls of the microstructure by EDX. To simplify the measurements, EDX analysis was performed on a broken microstructure. The

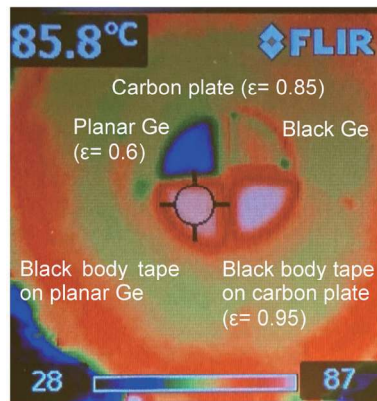


Fig. 3. (Color online) Infrared image of samples on carbon hot plate.

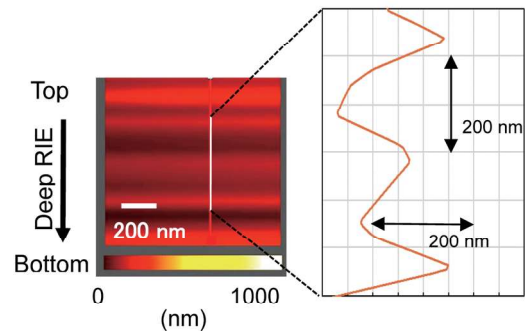


Fig. 4. (Color online) AFM image and line profile of the scallop of the sidewalls of the microstructures.

analysis point of the microstructure is shown in Fig. 5(a). The microstructure was about 2 μm in diameter except at its tip. As shown in Fig. 5(b), when the acceleration voltage was set to 10 kV and the spot size was about 10 nm, the X-ray generation region in this EDX analysis was estimated to be 0.7 μm from Castaing's equation.⁽²⁷⁾ We analyzed the atomic ratios of Ge, F, C and O. The atomic ratios of F and O were below the limit of measurement. The atomic ratios of C were 34, 29, and 25% at measurement points 10 μm (upper), 20 μm (middle), and 30 μm (bottom), respectively, from the tip of the microstructure. The trend for the carbon-rich surface was the same as that for the sidewalls of a high-aspect-ratio Si narrow trench in our previous report.⁽²²⁾ We found that the carbon-rich surface on scallops is effective as a passivation film to protect the sidewalls from etching by fluorine radicals for the formation of a high-aspect-ratio microstructure.

3.2 Measurement of reflectance of black Ge

The reflectance of the black Ge surface was measured in the UV-to-NIR (250 nm–2.5 μm) region using photomultiplier tubes (250–850 nm), InGaAs cells (850 nm–1.65 μm), and Pbs cells (1.65–2.5 μm) as detectors. Data at around the wavelength of 850 nm were excluded because the correct reflectance cannot be measured owing to the switching of the detector. The total reflectance spectra of black Ge and planar Ge are shown in Fig. 6(a). Up to a wavelength of 1.4 μm , the reflectivity was around 2%, increasing to only 20% at 1.8 μm . The total reflectivity increased above 1.55 μm . Figure 6(b) shows the regular reflectance spectra of black Ge and planar Ge. The angle of the incident light was 5°. The regular reflectance of the fabricated black Ge was extremely low in the UV-to-near-infrared region up to a wavelength of 2.5 μm . The reflectivity of black Ge was dominated by light scattering and light absorption within the microstructures. There was no significant difference between the total reflectance and regular reflectance of planar Ge. In the measurement of the total reflectance, the reflectance included diffuse reflection, i.e., the reflectance of the side of the needlelike microstructure was also

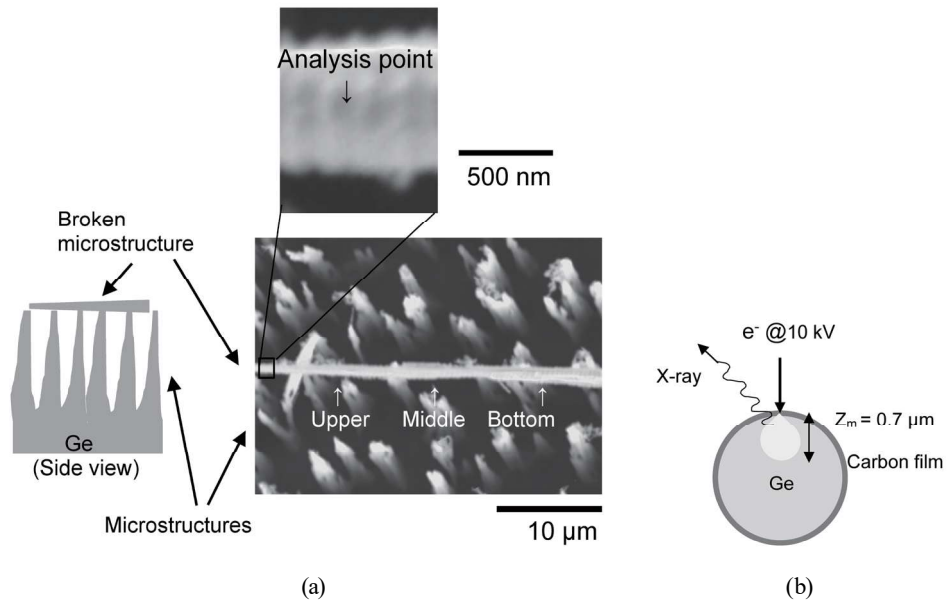


Fig. 5. (a) Point of microstructure analyzed by EDX (top view). (b) Schematic of X-ray generation area of the cross section of a microstructure.

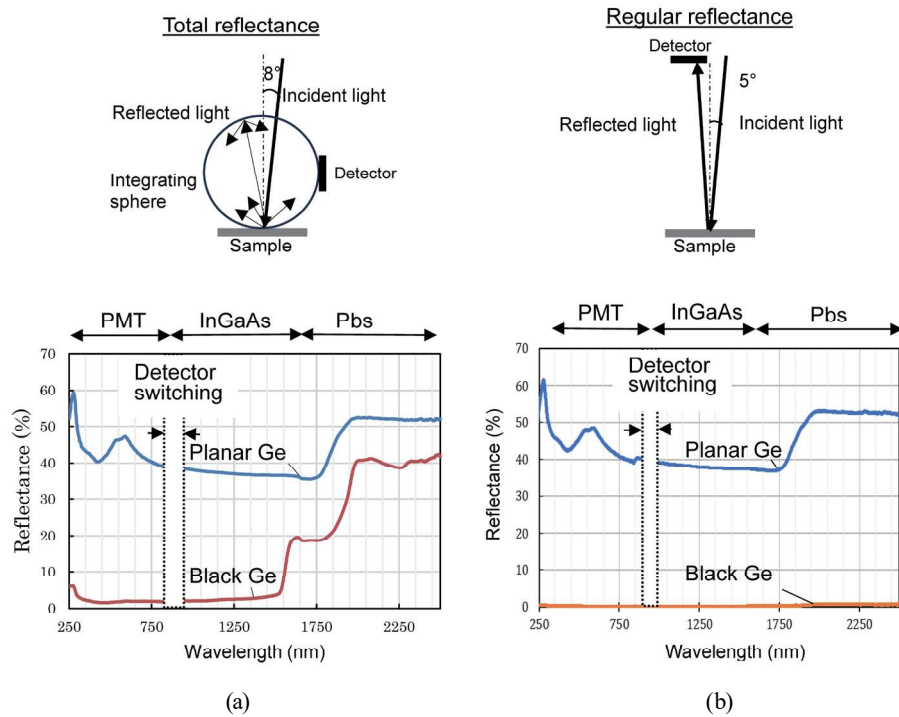


Fig. 6. (Color online) (a) Total and (b) regular reflectance spectra of black Ge and planar Ge.

measured. On the other hand, in the regular reflectance measurement, the reflectance seen from the front of the needlelike microstructure was measured and considered to be suitable for evaluating the reflectance of black Ge.

By regular reflection measurements, the angular dependence of the reflectance of the needlelike microstructure of black Ge can also be measured. Figure 7(a) shows the incident angle dependence of the black Ge reflectance. Measurements were conducted at incident angles of 5, 15, and 30°. When the incident angle increased, the reflectance decreased. The measured reflectance was below 1% in the wavelength range lower than the bandgap energy. It is deduced that the reflectance increased owing to the light scattering in the wavelength range of above 1550 nm.⁽²³⁾ Figure 7(b) shows the schematic needlelike microstructures of the black Ge surface. The shape of the microstructure is tapered, and its tip is thin like a needle. Figure 7(c) shows a schematic of the model of light traveling in the scallops on the sidewall of the needlelike microstructure. In Fig. 7(c), light with a small incident angle of 5° is reflected at the scallop tip and reaches the detector, whereas light with a large incident angle of 30° is reflected at the scallop tip and travels inside the scallop and cannot reach the detector. In other words, the reflectance is expected to be lower at the angle of incidence of light of 30° to the scallops of black Ge.

Next, we investigated the dependence of the reflectance on the scallop depth of the sidewalls of the microstructures. As mentioned in Sect. 3.1, the sidewalls of the microstructures are covered with carbon. Therefore, we considered that the scallop depth of the sidewalls of the microstructures can be made smaller by O₂ plasma treatment.⁽²⁸⁾ O₂ plasma treatment was carried out in the RIE system. Figure 8(a) shows SEM images of black Ge obtained before and after 10 min of O₂ plasma treatment. It can be seen that the sidewalls of the microstructures were smoothed by O₂ plasma treatment. Figure 8(b) shows the AFM line profile of the sidewalls of the

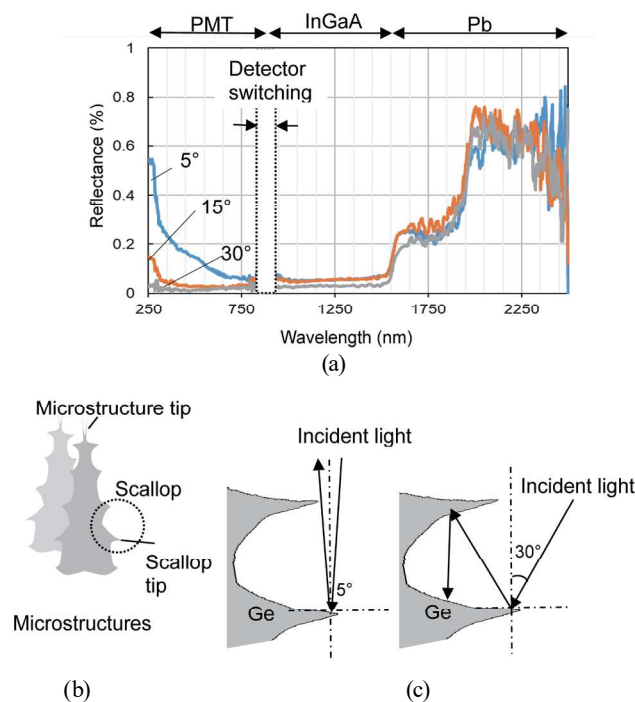


Fig. 7. (Color online) (a) Angular dependence of black Ge reflectance. (b) Schematic of microstructures. (c) Model of angular dependence of reflection on the scallop.

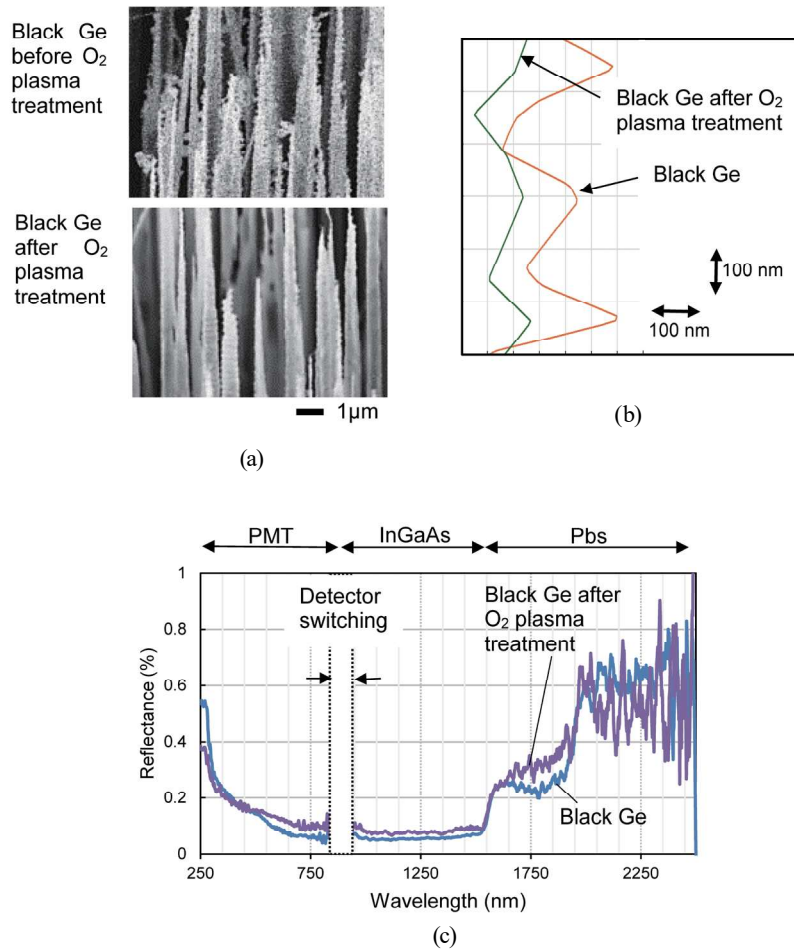


Fig. 8. (Color online) (a) SEM images of black Ge obtained before and after O₂ plasma treatment. (b) AFM line profiles of the scallops of the sidewall of black Ge obtained before and after O₂ plasma treatment. (c) Reflectance spectra of black Ge obtained before and after O₂ plasma treatment.

microstructures smoothed by O₂ plasma treatment. The depth of the scallop of the sidewalls of the microstructures was 200 nm, which was reduced to approximately 100 nm by O₂ plasma treatment. Figure 8(c) shows the reflectance spectra of black Ge obtained before and after O₂ plasma treatment. The reflectance of black Ge with O₂ plasma treatment was slightly higher than that without the treatment. We believe that scallops of the sidewalls of microstructures also contribute to the decrease in the reflectance of black Ge.

3.3 Measurement of resistance of black Ge electrode

Finally, to investigate the electrical properties of black Ge, the electrical resistance of black Ge was compared with that of planar Ge using an electrolyte and Pt. Figure 9(a) shows a photograph of the Ge and Pt electrodes used in this experiment. The Ge electrodes were fabricated on each surface of a φ35 mm Ge substrate with a thickness of 1.5 mm cut into four

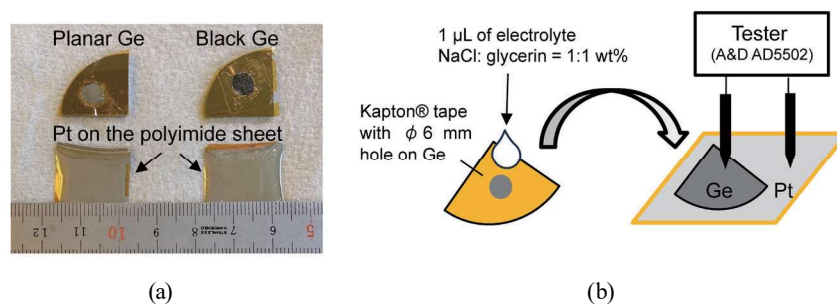


Fig. 9. (Color online) (a) Top view of Ge and Pt electrodes on the polyimide sheet. (b) Schematic of the resistance measurement of Ge and Pt cells.

Table 2

Comparison of resistances of black Ge electrode and planar Ge electrode.

Electrode	Planar Ge	Black Ge
Resistance (kΩ)	82	58

pieces. Planar Ge was fabricated by covering the Ge substrate with Kapton® tape ($t = 50 \mu\text{m}$) with a $\phi 6 \text{ mm}$ hole. The black Ge electrode was fabricated by covering the Ge substrate with Kapton tape with a $\phi 6 \text{ mm}$ hole and etching it by deep RIE. As mentioned above, the surface of black Ge after deep RIE is carbon-rich, and black Ge immediately after etching was used in this experiment. The Pt electrode was deposited by sputtering on a 50- μm -thick polyimide sheet. Figure 9(b) shows a schematic of the electrical resistance measurement setup using the samples in Fig. 9(a). The electrolyte was made by mixing NaCl and glycerin in 1:1 ratio. The electrolyte was filled into the hole of the Kapton tape on the Ge electrode, and it was sandwiched between the Ge electrode and the Pt electrode. The electrical resistance between the Ge electrode and the Pt electrode was measured by applying a tester pin. Table 2 shows the electrical resistance of this measurement system when the black and planar Ge electrodes were used. The resistance when the black Ge electrode was used was about 30% lower than that when the planar Ge electrode was used. This reduction in electrical resistance is considered to be due to the increase in the area of Ge in contact with the electrolyte.⁽²⁹⁾ However, this reduction in resistance may not be solely due to the effect of increasing the surface area, since other factors, such as the difference in electrical conductivity between Ge and carbon, may also be involved. We would like to study further details in the future.

4. Conclusions

We demonstrated the microfabrication of black Ge by SF_6/O_2 - and C_4F_8 -based deep RIE. The surface of Ge was etched by deep RIE to numerous needlelike microstructures that had scallops on the sidewall. In the measurement with an infrared thermometer, the emissivity of the surface of black Ge was found to be higher than that of planar Ge and the same as that of a carbon plate. In addition, the regular reflectance of black Ge was extremely low from the ultraviolet region to the near-infrared region. The shape of the scallop of the sidewall of the microstructures of black

Ge also contributed to the low reflectivity. Also, the electrical resistance of the black Ge electrode was about 30% lower than that of the planar Ge electrode. From these experiments, we believe that black Ge with high emissivity, antireflectivity, and low resistance is useful for improving the performance of electrical and thermal devices such as STCs.

Acknowledgments

This research was supported by a Grant-in-Aid for Scientific Research (B) (21H02041) and by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan (MEXT) under the Advanced Research Infrastructure Sharing Promotion Program (Core Facility Construction Support Program JPMXS0440200021).

References

- 1 M. Matsumoto, Y. Wada, T. Kitamura, K. Shigaki, T. Inoue, M. Ikeda, and S. Yanagida: *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **74** (2001) 387.
- 2 S. C. Pryor, R. J. Barthelmie, M. S. Bukovsky, L. R. Leung, and K. Sakaguchi: *Nat. Rev. Earth Environ.* **1** (2020) 627.
- 3 A. Roberts, B. Thomas, P. Sewell, Z. Khan, S. Balmain, and J. Gillman: *J. Ocean Eng. Mar. Energy* **2** (2016) 227.
- 4 A. Chapman, E. Ertekin, M. Kubota, A. Nagao, K. Bertsch, A. Macadre, T. Tsuchiyama, T. Masamura, S. Takaki, R. Komoda, M. Dadfarnia, B. Somerday, A. T. Staykov, J. Sugimura, Y. Sawae, T. Morita, H. Tanaka, K. Yagi, V. Niste, P. Saravanan, S. Onitsuka, K.-S. Yoon, S. Ogo, T. Matsushima, G. Tumen-Ulzii, D. Klotz, D. H. Nguyen, G. Harrington, C. Adachi, H. Matsumoto, L. Kwati, Y. Takahashi, N. Kosem, T. Ishihara, M. Yamauchi, B. B. Saha, M. A. Islam, J. Miyawaki, H. Sivasankaran, M. Kohno, S. Fujikawa, R. Selyanchyn, T. Tsuji, Y. Higashi, R. Kirchheim, and P. Sofronis: *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **95** (2022) 73.
- 5 S. Matsushita, T. Araki, B. Mei, S. Sugawara, Y. Inagawa, J. Nishiyama, T. Isobe, and A. Nakajima: *J. Mater. Chem. A* **7** (2019) 18249.
- 6 Y. Inagawa, T. Isobe, A. Nakajima, and S. Matsushita: *J. Phys. Chem. C* **123** (2019) 12135.
- 7 S. Matsushita, S. Sugawara, T. Isobe, and A. Nakajima: *ACS Appl. Energy Mater.* **2** (2019) 13.
- 8 S. Sugawara, T. Sato, T. Takahashi, T. Isobe, A. Nakajima, and S. Matsushita: *Mater. Res. Innov.* **23** (2017) 49.
- 9 S. Matsushita, A. Tsuruoka, Y. Kimura, T. Isobe, and A. Nakajima: *Solid-State Electron.* **158** (2019) 70.
- 10 S. Matsushita, S. Sugawara, T. Ikeda, T. Araki, H. Sekiya, H. Kohata, T. Isobe, and A. Nakajima: *Chem. Lett.* **49** (2020) 1013.
- 11 H. Sekiya, T. Isobe, A. Nakajima, and S. Matsushita: *Mater. Today Energy* **17** (2020) 100469.
- 12 T. Ikeda, H. Sekiya, H. Kohata, T. Isobe, A. Nakajima, and S. Matsushita: *J. Electroanal. Chem.* **895** (2021) 115413.
- 13 H. Kohata, B. Mei, Y. Wang, K. Mizukoshi, T. Isobe, A. Nakajima, and S. Matsushita: *Energy Fuels* **36** (2022) 11619.
- 14 L. Kavan, M. Gratzel, J. Rathousky, and A. Zukal: *J. Electrochem. Soc.* **143** (1996) 394.
- 15 M. Freiyag, J. Teuscher, Y. Saygili, X. Zhang, F. Giordano, P. Liska, J. Hua, S. M. Zakeeruddin, J.-E. Moser, M. Grätzel, and A. Hagfeldt: *Nat. Photon.* **11** (2017) 372.
- 16 M. Steglich, T. Käsebier, M. Zilk, T. Pertsch, E. B. Kley, and A. Tünnermann: *J. Appl. Phys.* **116** (2014) 173503.
- 17 H. Savin, P. Repo, G. Gastrow, P. Ortega, E. Calle, M. Garin, and R. Alcubilla: *Nat. Nanotechnol.* **10** (2015) 624.
- 18 H. Jansen, M. Boer, J. Burger, R. Legtenberg, and M. Elwenspoek: *Microelectron. Eng.* **27** (1995) 475.
- 19 Y. Zang, C. Kong, R. S. Davidsen, G. Scardera, L. Duan, K. T. Khoo, and M. Abbott: *Ultramicroscopy* **218** (2020) 113084.
- 20 G. Scardera, S. Wang, Y. Zhang, M. U. Khan, S. Zou, D. Zhang, and M. D. Abbott: *IEEE J. Photovoltaics* **11** (2021) 298.
- 21 Y. Kanamori, S. Haida, and K. Hane: *IEEJ Trans. SM* **130** (2010) 92 (in Japanese).
- 22 A. Matsutani, K. Nishioka, and M. Sato: *Jpn. J. Appl. Phys.* **55** (2016) 06GH05.
- 23 S. Schicho, A. Jaouad, C. Sellmer, D. Morris, V. Aimez, and R. Ares: *Mater. Lett.* **94** (2013) 86.

- 24 M. Steglich, T. Käsebier, E. B. Kley, and A. Tünnermann: *Appl. Phys. A* **122** (2016) 836.
- 25 Y. Chen, C. Zhang, Z. Yi, J. Wu, Y. Zhang, L. Bian, L. Iiu, X. Ye, H. Yang, and H. Li: *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **248** (2022) 112005.
- 26 S. An, Y. Liao, S. Shin, and M. Kim: *Adv. Mater. Technol.* **7** (2022) 2100912.
- 27 R. Castaing: Ph. D. Dissertation, Univ. of Paris (1951).
- 28 K. Kato: *J. Finishing Soc. Jpn.* **69** (2018) 441.
- 29 K. Murase: The 45th Electrochemistry Workshop (2015) (in Japanese). <http://www.echem.mtl.kyoto-u.ac.jp/documents/20150915o.pdf>

Sub-micrometer-sized Patterning of Photoresist by Electron Beam Projection Lithography Using Tabletop Scanning Electron Microscopy System and Stencil Masks

Mina Sato,* Mie Tohnishi, Miho Fujimoto, and Akihiro Matsutani

Core Facility Center, Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo,
4259 Nagatsuta, Yokohama 226-8501, Japan

(Received January 15, 2025; accepted March 5, 2025)

Keywords: EPL, stencil masks, tabletop SEM, lithography, Si

We demonstrated a lithography technique using stencil masks and a tabletop scanning electron microscopy (SEM) system by applying electron beam projection lithography (EPL) technology. Si and Pt were used as stencil mask materials. Si has excellent fabrication workability, and Pt has excellent electron shielding. The lithography was performed at an incident electron energy of 5 to 10 kV, which is typically used in the tabletop SEM system. This technique achieves high throughput and can expose large areas at once. Sub-micrometer- and micrometer-sized patterns can be formed simultaneously.

1. Introduction

Lithography technology is an essential element in the fabrication of MEMS devices. Although electron beam lithography (EBL) can be used to fabricate finer patterns than photolithography, EBL generally has low throughput because the electron beam is irradiated in a scanning mode. Electron beam projection lithography (EPL) systems, such as EB steppers, have been developed to solve this issue.⁽¹⁾ EPL, a type of EBL, is a technology that transfers a mask image onto a wafer and exposes the wafer and is used to achieve high throughput while maintaining high resolution.^(2–6) In low-energy EPL (LEEPL), a type of EPL technology, a stencil mask is placed close to a wafer coated with a resist and irradiated with an electron beam. Si is used as the stencil mask material in EB steppers, whereas a polycrystalline diamond thin film is used as the stencil mask in LEEPL. In particular, it would be desirable to fabricate stencil masks with common materials instead of diamond thin films. LEEPL is operated using specialized equipment with 2 kV electron beam exposure.^(7–9)

Therefore, to achieve EPL without these specific equipment and diamond stencil masks, we propose EPL with a tabletop SEM system for observation. We realized LEEPL with a simple method using a tabletop SEM system. This technique is easy because patterning can be

*Corresponding author: e-mail: sato.m.ar@m.titech.ac.jp
<https://doi.org/10.18494/SAM5547>

performed with a tabletop SEM system by preparing a stencil mask. Furthermore, EBL enables the fabrication of sub-micrometer-sized patterns, which is difficult to achieve with contact exposure using mercury vapor lamps, which are widely used in research. We believe that the EPL technique using a tabletop SEM system is expected to expand its application to the fabrication of biochips containing sub-micrometer-sized patterns.^(10–12) The important point of this technique is to fabricate stencil masks with common materials instead of diamond. In addition, using a tabletop SEM system, which is compact and easy to use, allows biologists to use this EPL technique with their own observation equipment. Biologists will benefit from having devices that are needed in large quantities, especially disposable ones, to be more easily available. Such devices are, for example, cell separators with sub-micrometer-order pillar-gap structures⁽¹³⁾ and plasmonic crystal sensors.⁽¹⁴⁾ These devices used in research and development will be fabricated using a tabletop SEM system.

In this study, stencil masks were fabricated using Si for micrometer-order lithography and Pt for sub-micrometer-order lithography. These materials were selected because Si has excellent fabrication workability and Pt has a large atomic number and an excellent electron shielding property. In particular, a thin Pt film can shield against electron beams, which enables the narrowing of the aperture pattern of the stencil mask. In this study, the EPL technique using a tabletop SEM system and a Si or Pt stencil mask was demonstrated. A photoresist was used to demonstrate the fabrication of sub-micrometer-sized resist patterns using the tabletop SEM system.

2. Experimental Methods

2.1 Lithography

Figure 1 shows a schematic of this experiment. The stencil mask was placed in contact with the wafer coated with a resist and exposed in the observation mode of the tabletop SEM system. A Hitachi High-Tech FlexSEM1000II was used as the tabletop SEM system for EPL. The magnification of the SEM image was $50\times$ in EPL, and the exposure area was $2.5\times 2\text{ mm}^2$. The focal point of the SEM system was set 1 mm above the resist surface. The dose was estimated to be $50\text{ }\mu\text{C}/\text{cm}^2$. This dose was reached after 10 min of exposure in the observation mode when using this SEM system. The acceleration voltage was from 5 to 10 kV. The higher the acceleration voltage, the higher the resolution, because a low acceleration voltage enhances the scattering of electrons inside the resist. The acceleration voltages generally used in tabletop SEM systems in the observation mode are from 5 to 15 kV, and 20 kV at the highest. In this study, the EPL technique was intended to be realized with a tabletop SEM system and was performed at an acceleration voltage from 5 to 10 kV.

Figure 2 shows the electron depth range in Pt and Si. This range is the maximum at which accelerated electrons penetrate a material. The range was calculated using the Kanaya–Okayama equation.⁽¹⁵⁾ The electron depth in Si was $1.5\text{ }\mu\text{m}$ at an incident electron energy of 10 kV. Therefore, the thickness of the stencil mask should be larger than $1.5\text{ }\mu\text{m}$. The resist was exposed

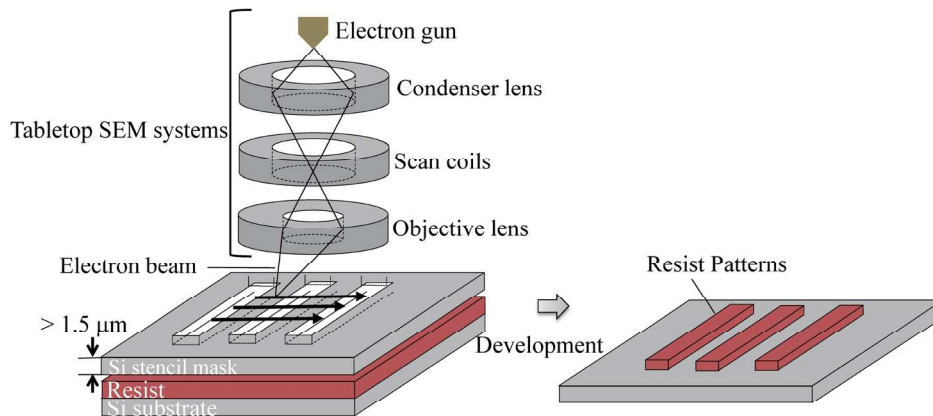


Fig. 1. (Color online) Schematic of this experiment.

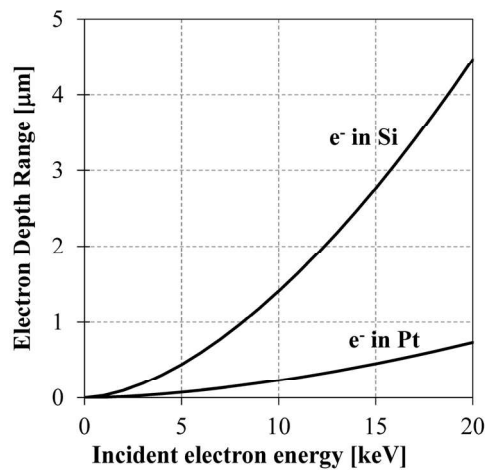


Fig. 2. Relationship between electron depth range and incident electron energy in Si and Pt.

to or shielded from the electron beam using the stencil mask. Si is suitable as a stencil mask material for micrometer-sized lithography because of its high stiffness.

On the other hand, the electron depth ranges in Pt were 0.24 μm at an incident electron energy of 10 kV and 0.07 μm at an incident electron energy of 5 kV. The Pt film with a smaller thickness than the Si film shielded the resist from the electron beam. Therefore, stencil masks with the Pt film were fabricated for sub-micrometer-sized lithography. Forming sub-micrometer-sized resist patterns requires the fabrication of Si stencil masks with a high aspect ratio, which is difficult to achieve considering the electron depth range. The smaller the thickness required for the stencil mask, the smaller the aspect ratio of the stencil mask, and it becomes easier to fabricate the mask. Therefore, we consider that the application of this technique to thin-film structures is possible by utilizing the difference in the electron depth range of materials.

AZ5214E (Merck) was used as the resist. The resist was diluted and spin-coated on the Si substrate. The thickness was 150 nm. The specimen was developed after electron beam exposure followed by reversal bake and flood exposure because it was used as a negative resist in a reversal exposure.^(16,17) 2.3% Tetramethyl ammonium hydroxide (TMAH) was used as the developer. The cross-sectional profile of the fabricated resist patterns was measured with a stylus surface profilometer (Veeco Dektak 150).

2.2 Fabrication method of Si stencil masks for micrometer-sized lithography

The Si stencil mask was fabricated in this experiment by wet etching, as shown in Fig. 3(a). Wet etching enables the simultaneous etching of both sides of the substrate, thereby reducing the number of process steps compared with fabrication by dry etching.

The amorphized layer used as a mask for KOH etching was formed on the Si(110) substrate surface by ion irradiation with an electron cyclotron resonance (ECR) ion shower system (Elionix EIS-200ER).^(18–20) The amorphized layer of 15 nm thickness can be formed on the Si(110) substrate surface by N^+ irradiation at 1 keV, and the etching rate ratio to Si is over 10000. The amorphized layer does not have SiO_2 or SiN films; therefore, charging does not occur in principle during electron beam exposure.

In this experiment, the thickness of the Si(110) substrate was about 300 μm and the thickness of the electron beam shielding area of the stencil mask was about 100 μm . A vertical profile of Si is fabricated by anisotropic etching as shown in Fig. 3(b).^(21–23) Wet etching is typically isotropic, whereas Si(100) etching with alkaline solution is anisotropic owing to the difference in the etching rate with crystal orientation. Therefore, it is possible to fabricate vertical profiles, and such profiles were applied to the fabrication of stencil masks.

2.3 Fabrication method for Pt stencil masks for sub-micrometer-sized lithography

Figure 4 shows the fabrication of stencil masks. Pt was deposited on a Si substrate, and the Pt film was fabricated by etching the Si substrate from its back side using a deep-reactive-ion

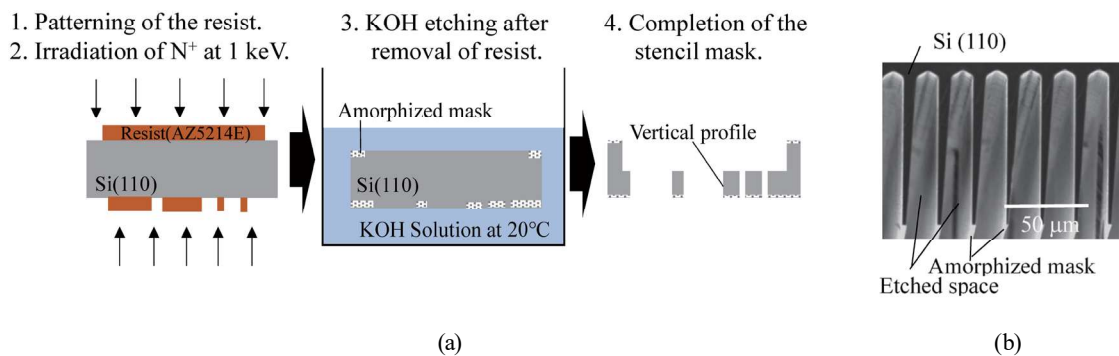


Fig. 3. (Color online) (a) Process of stencil mask fabrication. (b) Cross section of Si (110) etched with KOH.

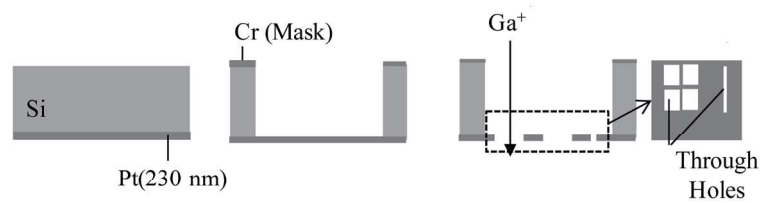


Fig. 4. (Color online) Fabrication of stencil masks with a Pt film structure.

etching system. The thickness of the Pt film was 230 nm. The stencil pattern was fabricated in the film using a focused ion beam system.

3. Results and Discussion

3.1 EPL using Si stencil mask

Figure 5(a) shows an SEM image of the fabricated micrometer-sized stencil mask and Fig. 5(b) shows an optical microscopy image of the resist pattern after exposure and development and the cross-sectional profile. The incident electron energy in the SEM system was 10 kV. Resist patterns of 10 μm size can be formed. The cross-sectional profile also shows that the pattern was formed without resist residues. The proposed technique for fabricating patterns using the tabletop SEM system was demonstrated.

3.2 EPL using Pt membrane structure as a stencil mask

Figure 6 shows (a) the fabricated stencil mask and (b) the resist pattern formed by EPL using the tabletop SEM system. The incident electron energy was 5 kV in EPL. EPL using a tabletop SEM system can be applied to forming resist patterns of micrometer and sub-micrometer sizes, which can be formed simultaneously. However, the resist pattern was larger than the stencil mask. This was particularly clear in sub-micrometer-sized resist patterns with line shapes. Figure 7 shows the relationship between the width of the stencil mask and the width of the fabricated resist patterns. Lithography was carried out several times with the same mask. As a result, the expanded size of the fabricated resist pattern was 0.3 μm independent of the stencil mask size. The size variation (coefficient of variation) of the fabricated resist patterns was approximately 2% on average and 3% at the maximum. This is considered to be due to the distance between the stencil mask and the resist, the effect of forward scattered electrons generated upon exposure at a low incident electron energy, and the angle of incidence of the electrons caused by the low magnification.

In this experiment, the stencil mask was placed in contact with the top of the resist, but the deformation by stress may have caused a gap between the mask and the resist. The through-hole width of the stencil mask was 130 nm, which was sufficiently larger than the de Broglie wavelength of 0.02 nm at 5 kV electron beams. The incident electron beam is considered to pass

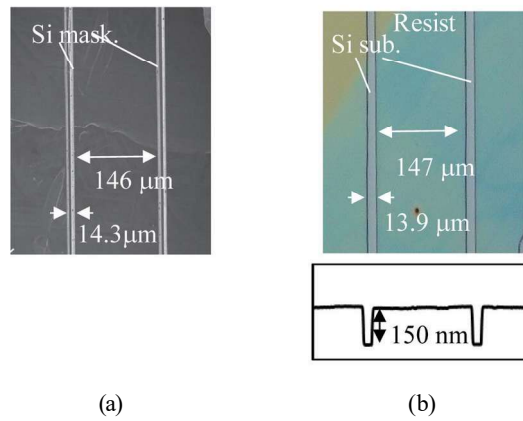


Fig. 5. (Color online) (a) SEM image of fabricated micrometer-sized stencil mask. (b) Optical microscopy image of resist pattern after exposure and development and cross-sectional profile.

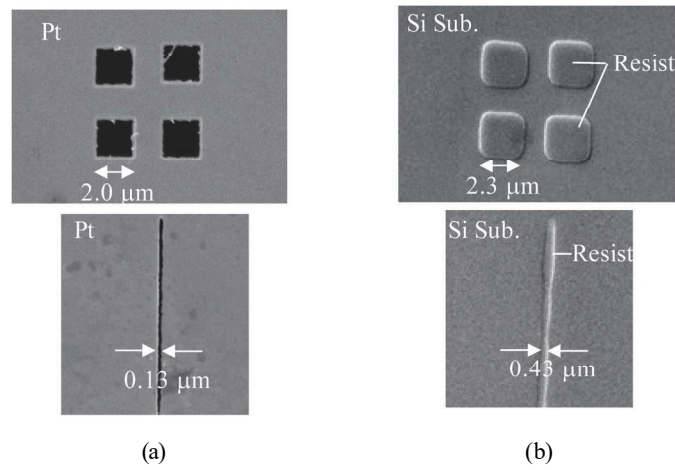


Fig. 6. (Color online) SEM images of (a) fabricated stencil mask and (b) resist pattern formed by EPL using a tabletop SEM system.

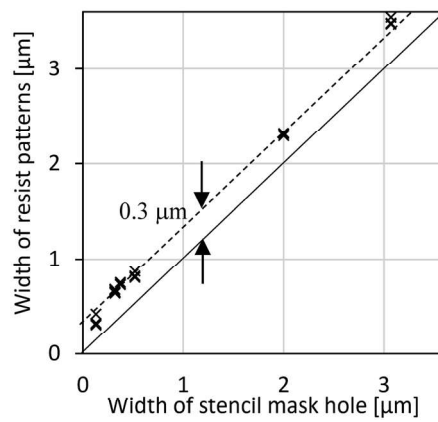


Fig. 7. Relationship between the width of the stencil mask and the width of the fabricated resist patterns

straight through the stencil mask. However, it is considered that the pattern was expanded because of the broadening of the electron beam and the angle dependence of the incident electron beam.

Figure 8(a) shows a schematic of the EPL experiment shown in Fig. 6, including the deformation of the stencil mask. To determine the deformation Δ of the stencil mask, an experiment with a spacer was performed. Figure 8(b) shows a schematic of the path of the electron beam through the stencil mask aperture in the experiment with spacers. When spacers ($12\ \mu\text{m}$) were inserted between the stencil mask used in this experiment and the Si substrate coated with a resist and exposed to the beam, the width of the exposed resist was $0.54\ \mu\text{m}$. When $24\ \mu\text{m}$ spacers were used, the width of the exposed resist was $0.66\ \mu\text{m}$. As the distance between the stencil mask and the Si coated with the resist increased, the width of the fabricated resist increased. The electron beam spread angle θ can be calculated from the width of the pattern and the distance of the spacer. θ is the angle between the straight line from the $0.13\ \mu\text{m}$ aperture edge to the resist edge and the vertical line to the resist surface. The beam spread angle θ in the exposed pattern was estimated to be 0.57° from these experimental results. The distance between the stencil mask aperture and the Si coated with the resist can be calculated from this angle and the width of the resist in Fig. 6. As a result, we estimated the stencil mask deformation Δ to be $15\ \mu\text{m}$ using this beam spread angle.

The problem of the resist pattern being larger than the stencil mask can be overcome by decreasing the stencil mask pattern size according to the distance between the mask and the Si substrate. It is also important to optimize the thickness of the resist. Figure 9 shows the relationship between the thickness of the resist and the width of the fabricated resist pattern. EPL was performed using Pt stencil masks with aperture widths of $2\ \mu\text{m}$ or $0.1\ \mu\text{m}$, respectively. The thinner the resist, the smaller the fabricated resist patterns. This is considered to be a result of pattern widening due to electron scattering in the resist when the film thickness is thick at low acceleration voltages. The tabletop SEM system has a limited acceleration voltage, which limits the pattern size. Although there is a limit to the pattern size, it is possible to fabricate resist patterns similar to the stencil mask by reducing the thickness of the resist. This technique can be applied to sub-micrometer-order pattern fabrication.

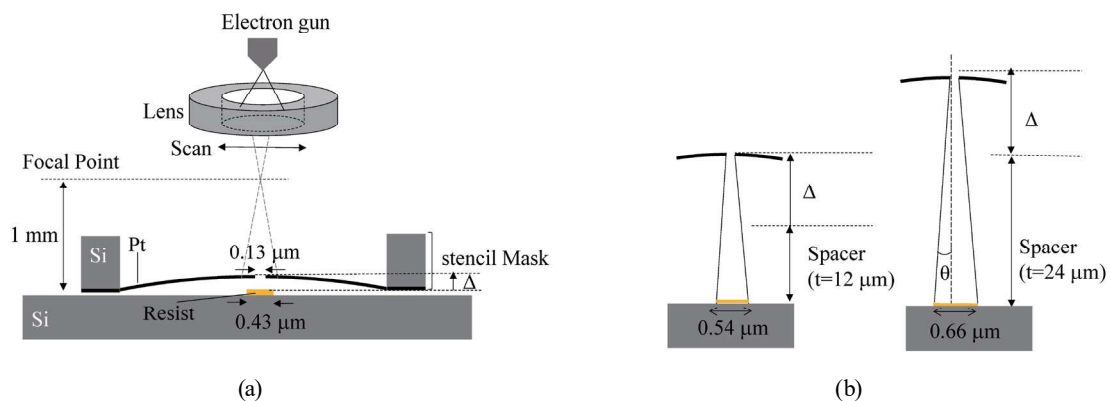


Fig. 8. (Color online) (a) Schematic of EPL experiment shown in Fig. 6. (b) Schematic of path of electron beam through the stencil mask aperture in the experiment with spacers.

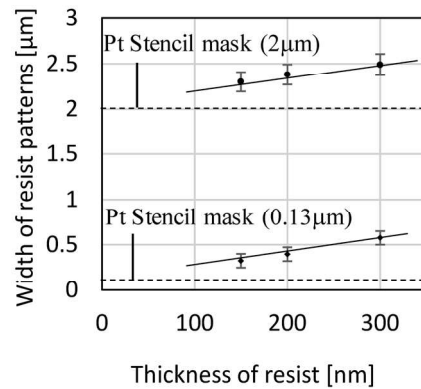


Fig. 9. Relationship between the thickness of the resist and the width of the fabricated resist patterns.

4. Conclusions

We demonstrated that the EPL technique using the stencil mask and tabletop SEM system can be applied to forming sub-micrometer-sized patterns. Furthermore, we demonstrated that the EPL technique using the Pt stencil mask with excellent electron shielding performance and tabletop SEM system can be applied to the simultaneous formation of the micrometer- and sub-micrometer-sized patterns. This technique is considered to be more insensitive to vibration than EB direct writing because the mask is placed in contact with the resist. The lithography of sub-micrometer-sized patterning with high throughput using a tabletop SEM system is expected to be achieved by optimizing the stencil mask material and exposure conditions. As a future research prospect, it is necessary to optimize the stencil mask design, material, and film stress. For example, the use of Au or Bi, which have a higher atomic number than Pt, or the use of a honeycomb structure to support the membrane of the stencil mask and reduce the amount of deformation can be considered.

It is difficult to fabricate a floating structure pattern with a doughnut shape in a stencil mask, and it is also difficult to fabricate multiple circular patterns with stencil masks. However, they are considered possible when using a mask with a freestanding Pt pattern with low electron penetration on a support membrane with high electron penetration.

Conventional electron beam lithography systems for research and development are used for patterning below the wavelength of a mercury vapor lamp and have issues with throughput. With conventional electron beam lithography systems using the same W-SEM, an area of $2.5 \times 2 \text{ mm}^2$ with the same dose and raster scan would take nearly 5 h at an acceleration voltage of 30 kV. However, this technique enabled the exposure of the same area in 10 min. Compared with conventional electron beam lithography systems, this system has a larger exposure area and enables patterning below the wavelength of light at a higher throughput by increasing the irradiation current value. It is considered suitable for fabricating devices for repetitive experiments including sub-micrometer-order-sized patterns.

The EPL technique using a tabletop SEM system is expected to be applicable to the fabrication of microfluidic filters, biochip array structures, and optical devices.

Acknowledgments

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP24H02574. This work was the result of using research equipment shared in a MEXT Project for promoting public utilization of advanced research infrastructure (Program for supporting the construction of core facilities under Grant Number JPMXS0440200024).

References

- 1 K. Suzuki and S. Shimizu: *J. Photopolym. Sci. Technol.* **15** (2002) 395.
- 2 S. D. Berger and J. M. Gibson: *Appl. Phys. Lett.* **57** (1990) 153.
- 3 H. C. Pfeiffer: *Jpn. J. Appl. Phys.* **34** (1995) 6658.
- 4 T. Miura, T. Sato, M. Miyazaki, K. Hada, Y. Sato, M. Tokunaga, and Y. Kakizaki: *J. Microlith. Microfab. Microsyst.* **1** (2002) 313.
- 5 M. Yamabe and J. Microlith: *Microfab. Microsyst.* **4** (2005) 011005.
- 6 S. Kawata, N. Katakura, S. Takahashi, and K. Uchikawa: *J. Vac. Sci. Technol. B* **17** (1999) 2864.
- 7 T. Utsumi: *J. Vac. Sci. Technol. B* **17** (1999) 2897.
- 8 T. Utsumi: *Jpn. J. Appl. Phys.* **38** (1999) 7046.
- 9 H. Nozue, A. Endo, A. Higuchi, H. Kasahara, and Nobuo Shimazu: *Oyo Buturi* **71** (2002) 421 (in Japanese).
- 10 T. Kitamori, S. Shoji, Y. Baba, and H. Fujita: *Micro Kagaku Chip no Gizyutsu to Oyo* (Maruzen, Tokyo, 2004) 185 (in Japanese).
- 11 Y. Horiike and Y. Miyahara: *Biochip to Biosensor* (Kyoritsu Shuppan, Tokyo, 2006) 163 (in Japanese).
- 12 A. Matsutani and A. Takada: *Jpn. J. Appl. Phys.* **49** (2010) 127201.
- 13 T. G. Kang, Y. J. Yoon, H. Ji, P. Y. Lim, and Y. Chen, *J. Micromech. Microeng.* **24** (2014) 087001.
- 14 T. Endo, H. Takizawa, Y. Yanagida, and T. Hatsuzawa: *IEEJ Trans. SM.* **133** (2013) 374 (in Japanese).
- 15 K. Kanaya and S. Okayama: *J. Phys. D.* **5** (1972) 43.
- 16 H. Y. Liu and E. D. Liu: *Microelectron Eng.* **6** (1987) 439.
- 17 R. Andok, A. Benčurová, P. Hrkút, A. Konečnicková, L. Matay, P. Nemeč, and J. Škriniarová: *J. Electr. Eng.* **64** (2013) 371.
- 18 B. Schmidt, L. Bischoff, and J. Teichert: *Sens. Actuators, A* **61** (1997) 369.
- 19 M. Sato, M. Tohnishi, and A. Matsutani: *Sens. Mater.* **34** (2022) 37.
- 20 M. Sato, M. Tohnishi, and A. Matsutani, *Sens. Mater.* **36** (2024) 1319.
- 21 D. B. Lee: *J. Appl. Phys.* **40** (1969) 4569.
- 22 K. E. Bean: *IEEE Trans. Electron Devices* **25** (1978) 1185.
- 23 K. Sato, M. Shikida, T. Yamashiro, M. Tsunekawa, and S. Ito: *Sens. Actuators* **73** (1999) 122.

Spectroscopic Measurement of Diffracted Light from Coffee Ring Formed by Yeast Cells

Akihiro Matsutani

Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo,
4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8501, Japan

*Phone/Fax: +81-45-924-5074, E-mail: matsutani.a.aa@m.titech.ac.jp

A coffee ring is a pattern that appears after the evaporation of a liquid containing fine particles [1]. As shown in Fig. 1(a), such a ring is formed by the Marangoni force that occurs when a fine particle suspension dries, forming a ring of fine particles that remain inside the ring. Figure 1(b) shows a photograph of a coffee ring formed by 3 μm diameter polystyrene beads on a glass slide, and Figure 1(c) shows an optical microscopy image of the inside of a coffee ring formed by yeast cells. When light is irradiated at an appropriate angle onto the coffee ring, various colors appear owing to diffraction, and a colorful and beautiful artistic coffee ring like a jewel is observed [2]. In this study, the diffracted light from the coffee ring formed by polystyrene beads and yeast cells was imaged, and the difference in the color of the diffracted light due to the difference in the diameter measured as a spectroscopic spectrum.

In this experiment, a suspension of polystyrene beads with a diameter of 0.5 to 3.0 μm and yeast cells was dropped onto a glass slide and allowed to dry naturally to form a coffee ring. Figure 2 shows a photograph of the diffracted light of a coffee ring formed by polystyrene beads observed under sunlight (i.e., collimated light). It can be seen that the color corresponding to the diameter of the polystyrene beads is observed. Figure 3(a) shows a measurement system (light source–coffee ring–camera) of the diffracted light from the coffee ring. A white LED was used as a light source in the experiment using polystyrene beads, and a halogen lamp with a reflector and filter was used in the experiment using yeast cells. A knife-edge slit was placed on the camera side just in front of the coffee ring, and a spectroscopic observation kit (GOTO TELESCOPE) and a camera were used to measure the spectrum. A transmission diffraction grating STARANALYSER100 (100 lines/mm) was placed in front of the camera lens to capture the spectrum, and the wavelength-intensity distribution was analyzed using analysis software (RSpec). Figure 3(b) shows a photograph of the diffracted light from a coffee ring formed by polystyrene beads with a diameter of 1 μm . In this figure, the light source is placed diagonally downward, and it can be seen that the color of the diffracted light changes from blue to red depending on the angle of the light source, which corresponds to positions a to d, from 46 to 52°. The spectra of lights of different colors are shown in Fig. 3(c). The peaks of the white LED light source (approximately 460 nm and 560 nm) and the peak wavelengths of the diffracted light from the coffee ring formed by polystyrene beads (approximately 450 to 630 nm) were observed to show the angle dependence of the diffracted light and light source. Figure 4(a) shows a photograph of the diffracted light from a coffee ring formed by yeast cells with a diameter of approximately 3 μm . Depending on the relative positions of the coffee ring and halogen lamp light source, white scattered light and pink diffracted light were observed. Figure 4(b) shows the spectra normalized to the maximum intensities of these light. In the diffracted light from the coffee ring formed by yeast cells, an increase in peak intensity was observed in the wavelength range of approximately 660 to 850 nm, which was clearly different from the spectrum of the halogen lamp light source.

In conclusion, these results show that it is possible to generate colors in the visible to near-infrared range using the diffracted light from coffee rings formed by microorganisms and particles, suggesting the possibility of applying microorganisms to optical devices.

Acknowledgments

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP24K06352.

References [1] R.D. Deegan, O. Bakajin, T.F. Dupont, G. Huber, S.R. Nagel and T.A. Witten, *Nature*, **389** (1997) 827. [2] A. Matsutani, Oyo Buturi, **88** (2019) 305.

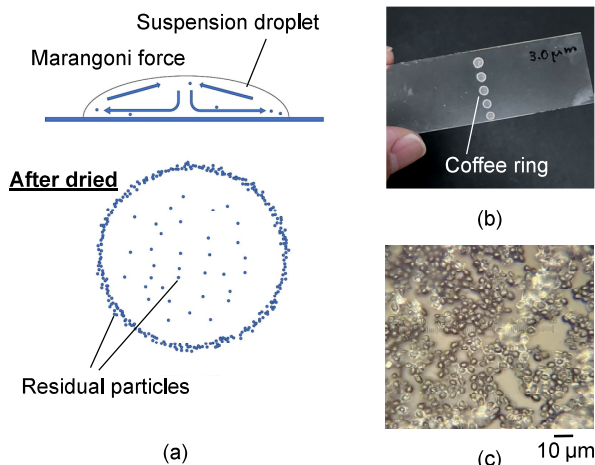


Fig. 1 (a) Schematic of the coffee ring effect. (b) Coffee ring formed by polystyrene beads with a diameter of 3 μm. (c) Optical microscopy image of yeast cells remaining inside the coffee ring formed by yeast cells.

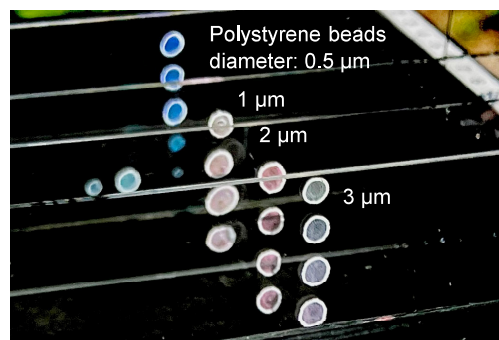


Fig. 2 Photograph of the diffracted light of a coffee ring formed by polystyrene beads observed under sunlight. The sunlight used for illumination can be considered as a plane wave, i.e., collimated light, so the illumination light is incident on the coffee ring at an equal angle.

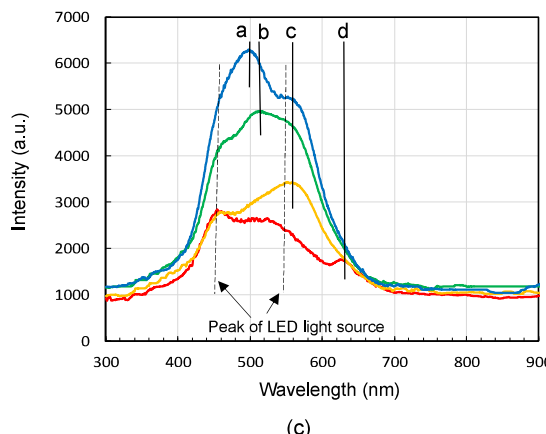
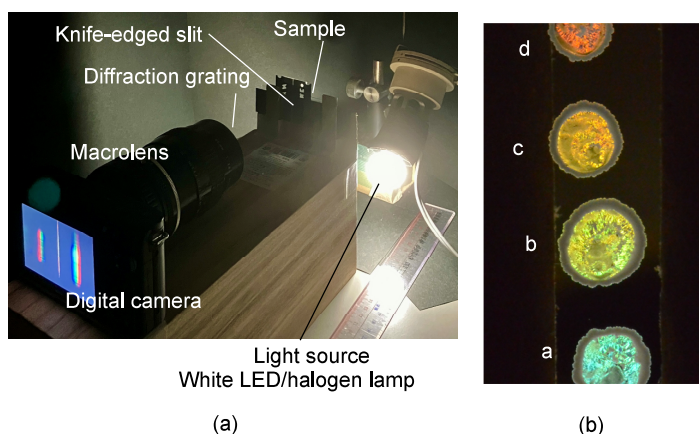


Fig. 3 (a) Measurement system for diffracted light from a coffee ring used in this experiment. (b) Diffraction light from a coffee ring formed by polystyrene beads with a diameter of 1 μm. (c) Spectrum of the diffracted light from the coffee ring.

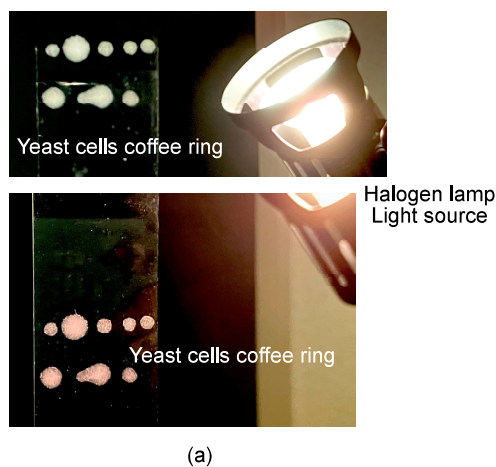


Fig. 4 (a) Relationship between the color of the diffracted light from the coffee ring formed by yeast cells and the position of the halogen lamp. (b) Spectrum of the diffracted light from the coffee ring formed by yeast cells.

Dependence of Etching Rate Ratio on Ion Energy and Crystal Orientation for KOH Etching of Amorphized Si Etching Masks Formed by N⁺ Irradiation

Mina Sato, Mie Tohnishi, Akihiro Matsutani

Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo, Japan

E-mail: sato.m.ff28@m.isct.ac.jp

1. INTRODUCTION

Si wet etching generally requires the deposition of a thin film as a mask, which has to be removed after etching. A wet etching technique that does not require the deposition of a thin film involves the formation of an amorphized mask by ion irradiation. Thus far, we have demonstrated that a high etching rate ratio can be achieved in the KOH etching of Si using amorphized masks fabricated by irradiating various ion species. [1, 2]. In particular, amorphized masks irradiated with N⁺ at 500 eV on a Si(100) surface achieved a high KOH etching rate ratio, which was estimated to be over 3000. However, this technique has not yet been used to fabricate structures larger than 100 nm. Therefore, in this study, we aim to further improve the etching rate ratio by using higher-energy N⁺ irradiation and Si crystal anisotropy. Here, we report the results of our experiments.

2. EXPERIMENTS

Figure 1 shows a schematic of amorphized mask fabrication. The region of the Si substrate irradiated with ions becomes amorphous. Since the amorphized layer has a lower etching rate than single-crystal Si, it can be used as a mask for KOH solution. Figure 2 shows the definition of h_s for evaluating mask resistance. When the Si substrate with an amorphized mask is etched with a KOH etchant, the height of the etched structure increases with etching time. However, after the etching mask region disappears, the height of the etched microstructure remains constant, which we define as h_s (saturated step height). Figure 3 shows the applications of this technique to devices achieved in our previous work [1,2]. This technique can be applied to simplify the fabrication of devices such as micro total analysis system (μ -TAS) by applying to a single cell isolation plate and microfluidic devices using anode bonding.

In this experiment, N⁺ was irradiated to a Si substrate with a pattern formed by a photoresist using an ECR ion shower system (Elionix EIS-200ER) to fabricate an amorphized mask on the Si substrate surface. For comparison, samples irradiated with Ar⁺ were also prepared. After ion irradiation, the resist was removed and the Si substrate etched with the KOH solution (40 wt%, 20°C). The ion energy was set at 500, 750, or 1000 eV. This is because we considered that the higher the energy, the thicker the amorphized mask will become. The ion incident angle was set at 7° and the dose at 5×10^{17} ions/cm². The surface orientations of the substrate were Si(100) and Si(110). Figure 4 shows the position of Si atoms in the crystal orientations (100) and (110) from the view point of incident ions. The Si atomic density is lower on the Si(110) surface than on the Si(100) surface, and ions penetrate deep into the substrate owing to the channeling effect in Si(110). Figure 5 shows the dependence of h_s on the ion energies of N⁺ and Ar⁺. It was found that h_s increases with N⁺ energy. The h_s obtained when using N⁺ was larger than when using Ar⁺. h_s reached 140 μ m with N⁺ irradiation of Si(100) surface at 1000 eV. Since the h_s of samples irradiated with N⁺ and that of samples irradiated with Ar⁺ show similar trends, it can be considered that h_s increased owing to an increase in the thickness of the amorphized mask as the ion penetration depth range increased with ion energy, as observed in our previous study[1]. The N⁺-irradiated region might partly bond with nitrogen in addition to the amorphized Si surface. Next, comparing Si(100) and Si(110), we found that h_s was larger on Si (110) than on Si (100), and h_s reached 250 μ m with N⁺ irradiation of Si(110) surface at 1000 eV. Figure 6 shows the results of calculating the etching rate ratio of Si to the mask. The ratio was determined from h_s and the thickness of the amorphized mask. The thickness of the amorphized mask was estimated by a simulation of ion penetration depth[3]. We were able to achieve an etching rate ratio of over 10000. This etching rate ratio was almost constant in the Si(110) surface. On the other hand, it was found that the etching resistance was low and increased with increasing energy in the Si(100) surface. The SEM image of the cross section of Si structures after KOH etching is shown in Fig.6. This profile shows typical crystal anisotropy when etched with KOH.

3. SUMMARY

We were able to further improve the etch rate ratio by using higher-energy N⁺ irradiation and the anisotropy of silicon crystals. We were able to fabricate masks that are resistant to KOH etching owing to

the synergistic effect of these factors. This technique does not require an insulating film (SiO₂ or SiN), which is typically used as a mask for KOH etching. Conductivity can be obtained without removing the film with hydrofluoric acid after wet etching, and anodic bonding is easily achievable. We believe that the proposed technique is expected to be applied to biochips.

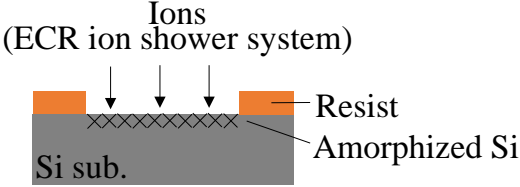


Fig. 1. Schematic diagram of amorphized mask fabrication by ion irradiation.

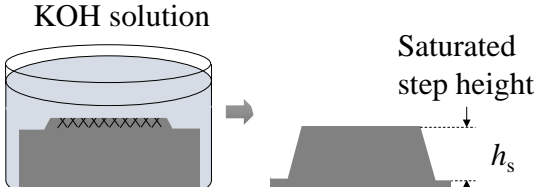


Fig. 2. Definition of h_s for evaluating mask resistance.

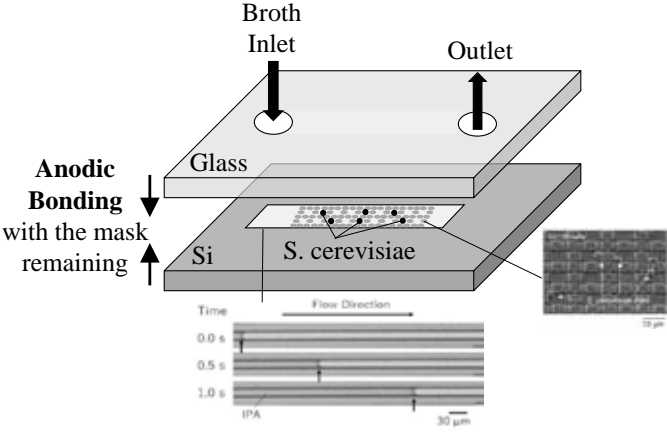


Fig. 3. Application to devices with anodic bonding using amorphized masks irradiated with ions. [1,2].

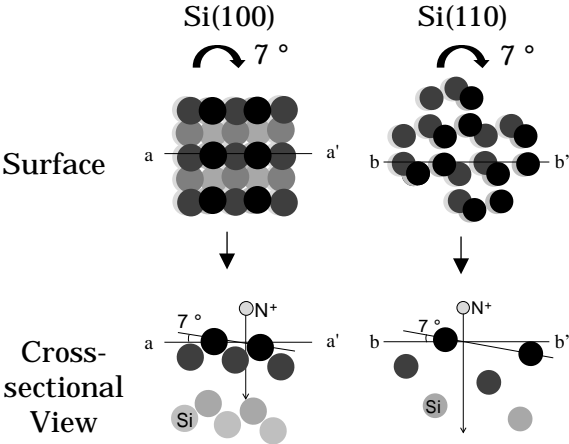


Fig. 4. Position of atoms in Si crystal using orientations (100) and (110) from the view point of incident ions.

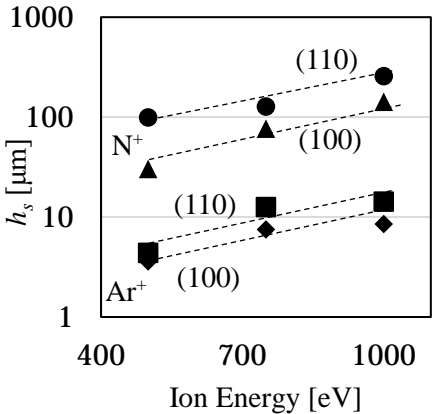


Fig. 5. Dependence of h_s on ion energy in Si(100) and Si(110).

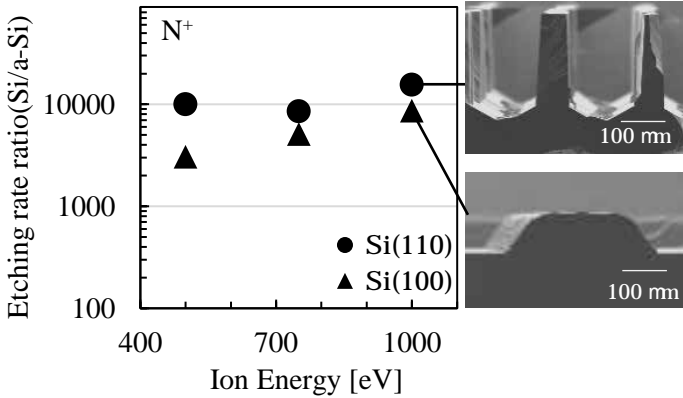


Fig. 6. Dependence of etching rate ratio (Si/ a-Si mask) on ion energy

[1] M. Sato, M. Tohnishi and A. Matsutani, Sens, Mater. **34** (2022)37.
[2] M. Sato, M. Tohnishi and A. Matsutani, Sens, Mater. **36** (2024)1319.
[3] SRIM2013: <http://www.srim.org> (accessed May 2025)

Investigation of magnet placement effect on plasma density and etching profile in Si plasma etching

Mie Tohnishi, Mina Sato, Akihiro Matsutani

Research Infrastructure management center, Institute of Science Tokyo, Japan

E-mail: tohnishi.m.b69a@m.isct.ac.jp

1. Introduction

The high-density plasma generated by permanent magnets is widely used in magnetron sputtering [1]. However, the plasmas formed directly above the target are doughnut-shaped, which makes it difficult to apply them to large-area reactive ion etching (RIE). On the other hand, InP etching using densified plasma, in which the permanent magnet is located opposite the RF electrode [2], and a high-density plasma source, in which the permanent magnet is set in the electrode hollow groove [3], has been reported, but the plasma emission distribution over a wide area in which the permanent magnet is placed opposite the RF electrode has not been reported.

In this study, Ar plasma was generated by placing permanent magnets in concentric circles on the chamber lid facing the electrodes of the RIE device, and the density of the plasma over a wide area was determined from the observed emission intensity. Si etching with SF₆ plasma was also performed, and the difference in etching profile depending on the installation position of the magnet was examined.

2. Experiment

Figure 1 shows the schematic of the experimental setup for modified RIE (SAMCO RIE-101L). Eight samarium–cobalt magnets (300 mT) with a diameter of 10 mm and a thickness of 5 mm were fixed in parallel on a 10–mm–diameter punched PVC plate and placed on the quartz plate of the chamber top. The emission of Ar plasma was photographed from the direction of the quartz plate of the chamber and compared in terms of RGB intensity. In addition, a Si patterned with dots of Cr was etched with SF₆ plasma, and the differences in etching rate and profile at various magnet positions were investigated.

3. Results and Discussion

With magnets, RIE can be expected to increase the density of plasma by confining charged particles in the area surrounded by magnetic fields and RF electrodes around the magnet. Figure 2 shows Ar plasma emission photographed from the direction of the quartz plate of the chamber and the RGB intensity at the center line of the quartz plate. When the magnets were placed, the RGB intensity increased in the region with many magnetic field lines. In addition, the effects of the weak magnetic field located on the circumference of the circular pattern and the high density of the strong magnetic field at the center of the center pattern were almost the same in terms of the emission intensity of the plasma. Therefore, by dispersing the magnet location at the periphery, the high-density plasma area is increased. Figure 3 shows the observation point of SF₆ plasma emission from the slit placed in the chamber viewport. Figure 4 shows the emission intensity at various wavelengths. The emission intensity of the center pattern and the circular pattern increased compared with that w/o magnet. The intensity of F (702 nm) in the center pattern is high. In addition, the plasma emission intensity changed depending on the magnet arrangement pattern in the wavelength ranges around 380 nm, 720 nm, and 830 nm. Figure 5 shows SEM images of Si pillars etched by SF₆ plasma. The magnet increases both plasma density and etching rate. The center pattern has a higher F intensity than the circular pattern, which is considered due to side etching. Side etching would be not only the effect of F ions but that of radicals. We consider that to increase etching rate and obtain a vertical profile, it is suitable to increase plasma density with weak magnetic fields arranged in a circular pattern.

Acknowledgement

This research was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP25H00180.

References

[1] A. Kinbara *et al.*, J. Vac. Soc. Jpn., **46** (10) 719 (2003). [2] A. Matsutani, Jpn. J. Appl. Phys., **43** L960 (2004). [3] M. Hossain *et al.*, IEEE Trans. Plasma Sci., **46** (8) 2894 (2018).

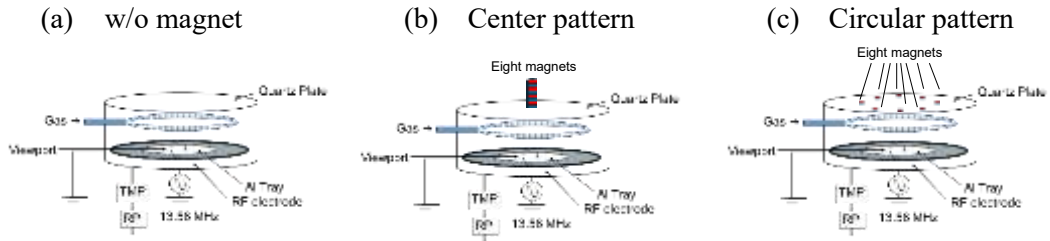


Fig. 1 Schematic of experimental setup.

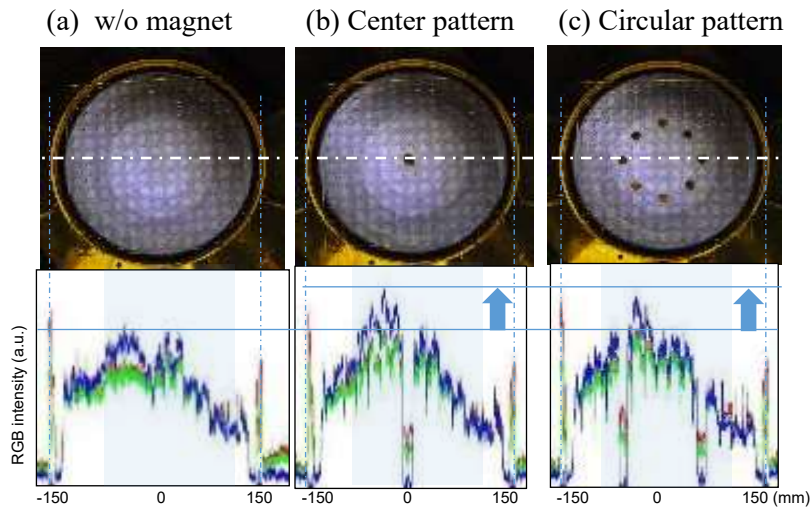


Fig. 2 Photographs (top view) and RGB intensity of Ar plasma (30 sccm, 1 Pa, 100 W) emission.

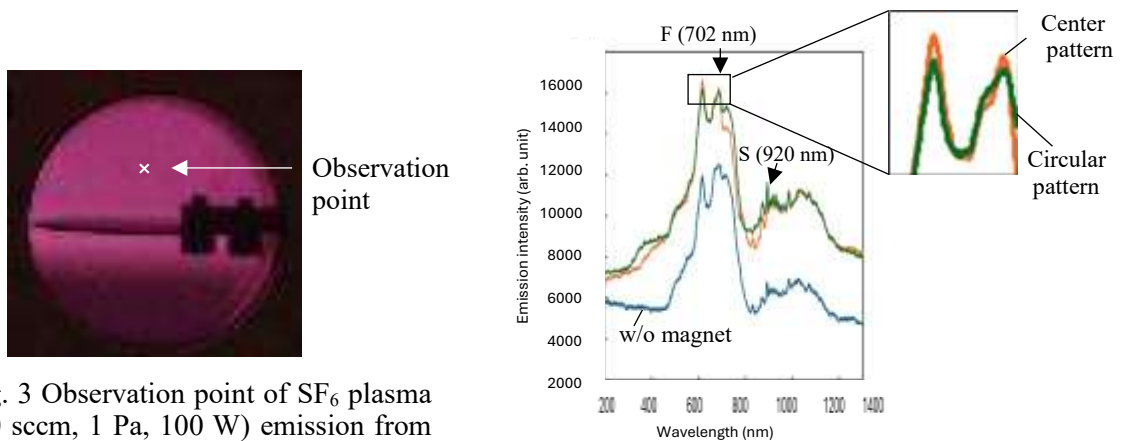


Fig. 3 Observation point of SF₆ plasma (30 sccm, 1 Pa, 100 W) emission from chamber viewport.

Fig. 4 SF₆ plasma emission intensities at various wavelengths.

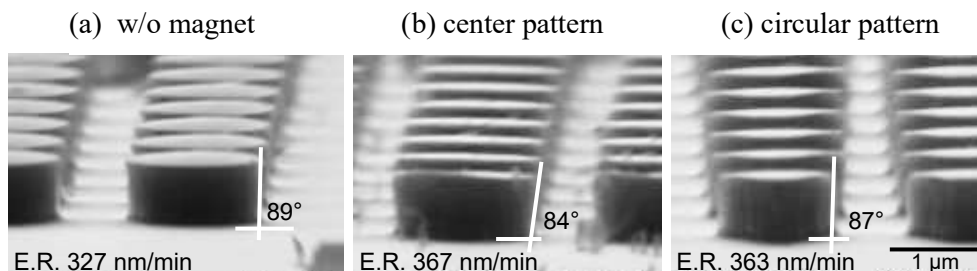


Fig. 5 SEM images of Si pillars etched by SF₆ plasma.

SF₆/CO₂-based Deep Reactive Ion Etching of Si

Akihiro Matsutani¹, Mina Sato¹, Miho Fujimoto¹, Mie Tohnishi¹

¹Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo,
4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama 226-8501, Japan

*Phone/Fax: +81-45-924-5074, E-mail: matsutani.a.aa@m.titech.ac.jp

Deep reactive ion etching (deep-RIE) is an effective microfabrication technique widely used to fabricate microelectromechanical systems (MEMS) devices. For Si dry etching, a switching process known as the Bosch process using SF₆/C₄F₈ plasma, as shown in Fig. 1, is widely used. In this process, a fluorocarbon passivation film is deposited on the etched surface and sidewalls using C₄F₈ plasma, as previously reported [1, 2]. However, our previous research showed that the main component of the passivation film on the sidewalls of narrow trenches was carbon [3]. The global warming potential (GWP) of C₄F₈ is approximately 7,800. We note that carbon films also function adequately as passivation films, and therefore, we propose using CO₂, which has a global warming factor of 1 and is readily available, instead of C₄F₈ for the passivation process, as shown in Fig. 2. However, there have been few studies demonstrating the vertical etching of Si by SF₆/CO₂-based deep-RIE.

In this study, we demonstrated the vertical etching of Si using an SF₆/CO₂-based deep-RIE system and the passivation process time dependence of the etching profile. We also conducted the optical emission spectroscopy of the plasma during the deep-RIE process, and the energy-dispersive X-ray (EDX) analysis of the chemical composition of the passivation film on the etched Si sidewall.

A deep-RIE system (SPP Technologies Co., Ltd., MUC-21) was used for this experiment. As shown in Fig. 3, SF₆ was used for etching and CO₂ for passivation. These gases were introduced into the process chamber using mass flow controllers. A 1.5 × 1.5 cm² Si substrate sample was placed on an Al sample tray. Figure 4 shows the etching profile and the passivation process time dependence. CO₂ was supplied via a C₄F₈ mass flow controller at a displayed flow rate of 200 sccm. The actual flow rate must be converted to a value considering the conversion factor. The SF₆ flow rate was 400 sccm. The etching process time for one cycle was 2.6 s. The passivation process time (i.e., corresponding to the thickness of the protective film) significantly contributed to the etching profile, and a longer passivation process time resulted in a more vertically etched profile with less side etching. The deposition rate of the passivation film was 26 nm/min and the etching rate for the results in Fig. 4(d) was 0.33 μm/cycle. Figure 5 shows the results of the optical emission spectroscopy of the plasma during the deep-RIE process. This measurement was carried out through a window above the RF coil. Since the emission due to C was observed during the passivation process, it is believed that C contributes to the formation of the passivation film as one of the species. On the other hand, the emission due mainly to F and S was observed during etching. Figure 6 shows the EDX analysis results for the composition of the passivation film on the etched Si sidewall. This measurement revealed that a large amount of C was deposited on the etched sidewall, consistent with our previous results [3], suggesting that C functioned as the main component of the passivation film.

In summary, we demonstrated the vertical etching of Si by SF₆/CO₂-based deep-RIE with CO₂ having a GWP of 1 as the passivation process. We believe that even faster etching may be possible by optimizing the process conditions.

References

- [1] T. Arakawa, H. Kusakawa, and S. Shoji, *Proc. MEMS*, 2007, p. 287.
- [2] M. Mizuhata, T. Miyake, Y. Nomoto, and S. Deki, *Microelectron. Eng.* **85**, 355 (2008).
- [3] A. Matsutani, K. Nishioka, and M. Sato, *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 06GH05 (2016).

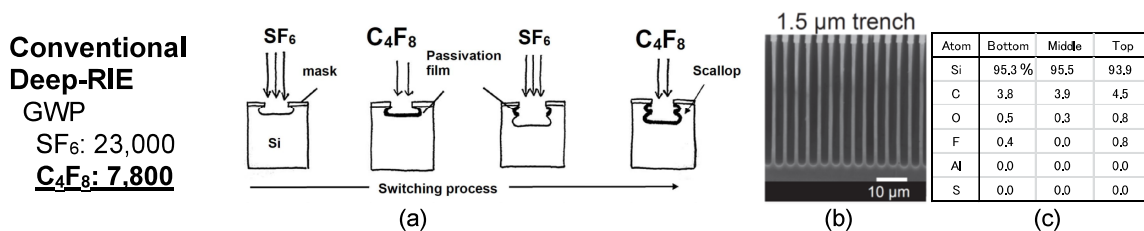


Fig. 1 Conventional deep-RIE process using SF₆/C₄F₈ plasma. (a) Schematic process, (b) etched trench structure, and (c) Chemical composition of the etched sidewall [3].

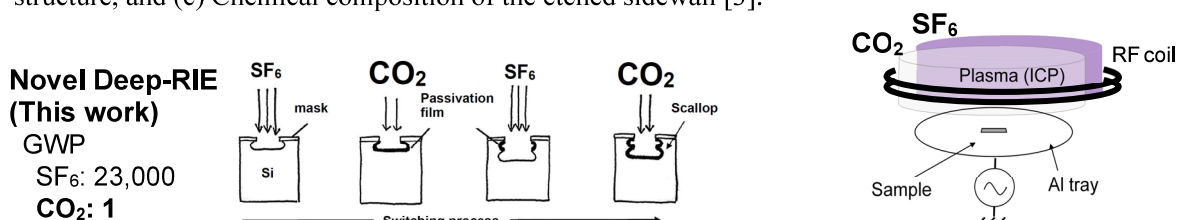


Fig. 2 Schematic of the deep-RIE process using SF₆/CO₂ plasma proposed in this study.

Fig. 3 SF₆/CO₂-based deep-RIE system used in this experiment.

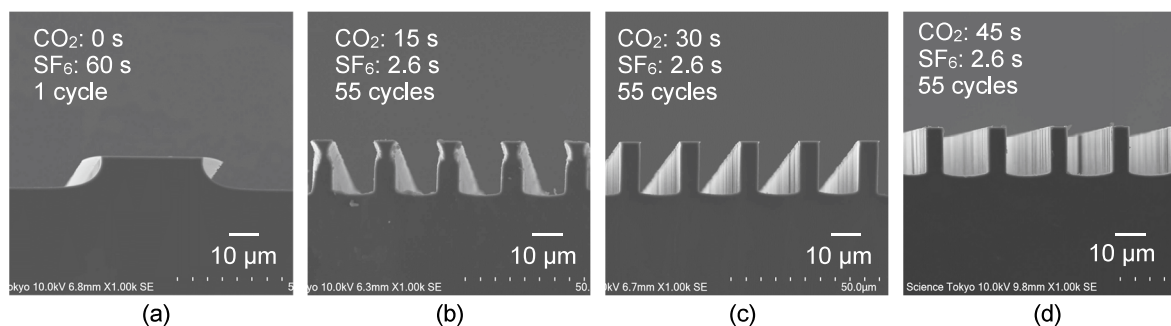


Fig. 4 Etching profile dependence on passivation process time in SF₆/CO₂-based deep-RIE. (a) Passivation process time: 0 s, (b) 15 s, (c) 30 s, (d) 45 s.

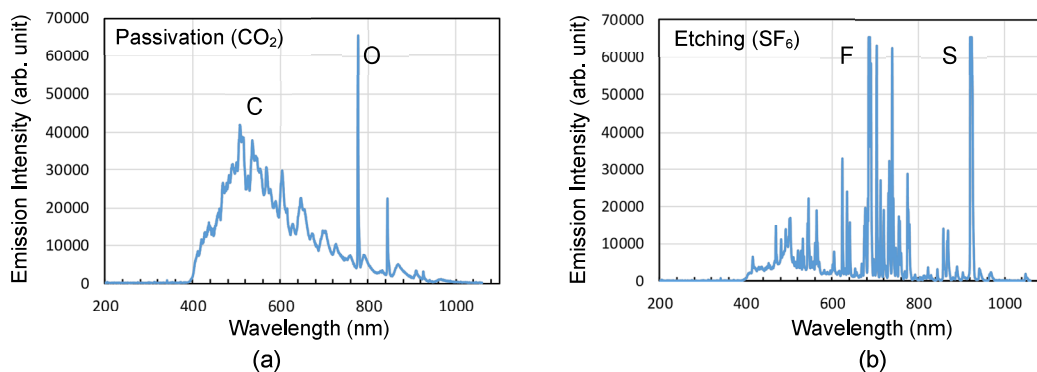


Fig. 5 Optical emission spectroscopy of plasma during deep-RIE processing. (a) Passivation process with CO₂, (b) Etching process with SF₆

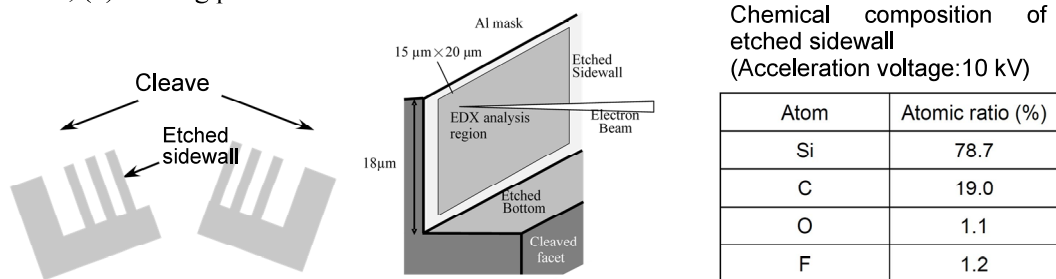


Fig. 6 EDX analysis of the composition of the passivation film on the etched Si sidewall of the sample in Fig. 4(d).

CO₂/SF₆ Deep-RIE による Si の垂直微細加工

Vertical Microfabrication of Si by CO₂/SF₆-based Deep Reactive Ion Etching

東京科学大 リサーチインフラ・マネジメント機構

○遠西美重, 佐藤美那, 藤本美穂, 松谷晃宏

Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo

○Mie Tohnishi, Mina Sato, Miho Fujimoto, and Akihiro Matsutani

E-mail: semi-mem@cfc.rim.isct.ac.jp

Deep-RIEは、MEMSデバイスの製造に広く用いられている微細加工技術である。Siドライエッチングでは、C₄F₈/SF₆プラズマを用いたスイッチングプロセスが広く用いられている。このプロセスでは、C₄F₈プラズマを用いたエッチング側壁にフルオロカーボン系のパッシベーション膜が堆積するとされている[1,2]。しかし、我々の以前の研究では狭いトレンチの側壁のパッシベーション膜の主成分は炭素であった[3]。C₄F₈の地球温暖化係数(GWP)は約10,000である。我々は、カーボン膜もパッシベーション膜として十分に機能することから、C₄F₈の代わりにGWPが1で、入手しやすいCO₂を使用することを提案する。本研究では、CO₂/SF₆ベースのDeep-RIEによるSiの垂直エッチングの実証と、エッチング側壁のパッシベーション膜の化学組成のXPS分析の結果などについて報告する。

実験にはDeep-RIE装置(SPPテクノロジーズ株式会社, MUC-21)を使用し、エッチングにはSF₆を、パッシベーションにはCO₂を使用した。試料として1.5×1.5 cm²のSi基板を用いた。図1に、エッチングプロファイルとパッシベーションプロセスの時間依存性を示す。CO₂は、C₄F₈マスフローコントローラを介して、実流量880 sccmで供給した。SF₆流量は400 sccm, 1サイクルのエッチングプロセス時間は2.6 sとした。パッシベーションプロセス時間はエッチングプロファイルに大きく寄与し、パッシベーションプロセス時間を長くすると保護膜が厚くなり、サイドエッチングが少ない垂直なエッチングプロファイルが得られた。表1に、エッチングされた Si

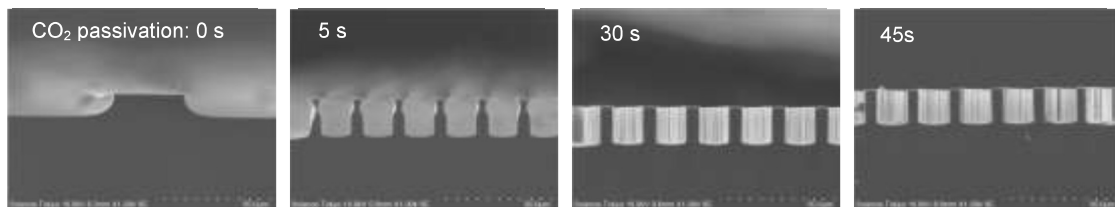


図1 エッチングプロファイルのパッシベーションプロセス時間依存性

側壁のパッシベーション膜の組成を XPS で分析した結果を示す。この測定により、エッチングされた側壁にはFは少なく、CやOが多く堆積していることが明らかになった。Deep-RIEプロセス中のプラズマの発光分光法の結果では、パッシベーションプロセス中にC, O, COによる発光が強く観測されたことから、CやOが化学種の一つとしてパッシベーション膜の形成に寄与していると考えられる。これらの結果から、CO₂もパッシベーション膜の形成に十分な機能を持ち、C₄F₈の代替ガスとして使用可能なことがわかった。

謝辞 XPS測定は、長岡技術科学大学分析計測センターで実施し、近藤みずき氏と上野悠一氏に技術支援をいただきました。心より感謝申し上げます。

参考文献 [1] T. Arakawa, H. Kusakawa, and S. Shoji, Proc. MEMS, 2007, p. 287. [2] M. Mizuhata, T. Miyake, Y. Nomoto, and S. Deki, Microelectron. Eng. **85**, 355 (2008). [3] A. Matsutani, K. Nishioka, and M. Sato, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 06GH05 (2016).

表1 エッチングされた Si 側壁のパッシベーション膜の組成の XPS 分析結果

Atom	Atomic ratio (%)
Si2p	46.72
C1s	17.73
O1s	24.05
F1s	1.36
S2p	10.15

東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント機構における技術職員の人材育成 —マイクロプロセス部門の事例—

Human Resource Development for Technical Staff at Research Infrastructure Management Center of
Institute of Science Tokyo

—A Case Study of Semiconductor and MEMS Processing Division—

東京科学大 リサーチインフラ・マネジメント機構, [○]松谷晃宏

Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo

[○]Akihiro Matsutani, E-mail: matsutani.a.644e@m.isct.ac.jp

我が国の国立大学が有する研究施設・設備・機器は、科学技術のイノベーション活動の基盤として、科学技術を社会に貢献させる上で必要なインフラと考えられ、基盤的・先端的の両面から研究施設・設備・機器の持続的な整備と、これらを運営する要としての専門性を有する人材の持続的な確保と資質の向上が不可欠である[1]。研究設備の維持管理に関しては、高度で専門的な知識・技術を有する国立大学の技術職員（法人化前は文部技官あるいは文部科学技官）は教員と共に課題解決を担うパートナーとして研究成果の創出に必須の存在である。しかし、国立大学の技術職員は、これまでキャリアパスも明確でなく十分な評価を受けなかったために、優秀な人材の確保が困難な状況である。持続的な人材育成・確保のためには、チーム型研究体制による研究力強化（研究基盤の運営の要たる技術職員の育成・活躍促進）が期待され、近年では、広く技術に携わる人材のなかで指導的役割を果たす人材を「高度な専門職人材」として位置づけて我が国として有用な人材であることを明確化するという点から、国家資格のような評価基準の仕組みを設けるために、東京科学大学を中心に、博士と同様のプロセスで取得するテクニカルコンダクター（TC）という称号授与の制度が始まっている。これまでは「研究支援」の意味はイメージで語られることが多いので、これを「物事について深く考えたりよく調べたりして真理をきわめることを支え助け、援助を与えること（research cooperation）」と定義し、「研究目的を共有して協力し、共同で実施して援助すること」という意味をもたせている[2]。

東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント機構コアファシリティでは、マイクロプロセス部門に半導体・MEMS系の共用クリーンルームを設置している[3]。利用者の研究分野は、MEMS、電気化学、バイオチップ、宇宙・地球惑星科学まで広範囲である。これらのニーズに応えるには、経験豊富な専門家が研究者として利用者とコラボレーションしながら進めることが研究成果の創出には最適な方法である。マイクロプロセス部門における高度な専門職人材としての技術職員養成の中心は、核となる真空技術・プラズマプロセス技術・電子線技術について、従来技術だけでなく、新たな技術開発による支援が必要という視点に置かれている。このような、組織の運営には、リーダーとフォロワーが役割分担と協力体制を構築してチームとして運営することが重要で、若手職員には、知識力・技術力・行動力についてバランスよく成長してもらい、将来は自らが利用者を開拓する（頼りにされる）力をもつことを期待している。利用者とのよい関係を築けば、お互いにプラスになるようにさらに幅が広がることになる。これには、高度な専門職人材育成のために様々な仕組みを用意する必要がある。マイクロプロセス部門では、各自が管理運営を担当する装置群を核とする技術課題を自ら設定して取り組み、月に2回の定例会議時にテクニカルレポート、論文紹介を輪番制でプレゼンテーションして情報共有するとともに、職員間の討論・助言等で知識力・技術力・発表力を養成している。さらに、応用物理学会には全員入会して講演会に参加・発表、半導体、バイオ、ナノテクの展示会での情報収集し、最先端技術情報の取得とニーズの調査を行っている。また、他大学で開催される技術発表会での発表、科学研究費応募についても全員に課している。これにより様々な力が獲得され、学内外の多くの研究者とコラボレーションできるようになり、職員のモチベーション向上にも有効となる。また、共用施設の利用者との会話を通してニーズも把握できることから、それを先取りした情報収集やプロセス技術の味見実験や開発も可能になる。議論と実践を On the job training 的に進めることは、部門スタッフの育成に効果的である。これらの取り組みの結果、研究力向上への大きな貢献が可能となっている。

References [1]内閣府,第6期科学技術・イノベーション基本計画(2021),[2]松谷,東京工業大学TC論文(2022). [3]松谷,佐藤,遠西,藤本,平野,西沢,進士,初澤,研究・イノベーション学会,1G09(2019).

酵母細胞で形成されたコーヒーリングによる回折光の分光測定

Spectroscopic Measurement of Diffracted Light from Coffee Ring

Formed by Yest Cells

東京科学大 リサーチインフラ・マネジメント機構

○松谷晃宏

Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo

°Akihiro Matsutani¹

E-mail: matsutani.a.644e@m.isct.ac.jp

コーヒーリングとは微粒子を含む液体が蒸発した後に現れるリング状の蒸発残渣物のパターンのことである[1]。このようなリングは、図1に示すように微粒子の懸濁液が乾燥する際のマランゴニ力により、微粒子の環と環の内部に残された微粒子で作られるのが形成生成過程である。コーヒーリングに適当な角度で光をあてれば回折により様々な色が観察可能であり、 μm サイズのポリビーズの懸濁液を滴下して光を当ててみるとカラフルで美しいコーヒーリングを観察することができる[2]。これまでに、ポリスチレンビーズで形成されたコーヒーリングの回折光を結像し、ビーズサイズの違いによる回折光の色の違いを分光スペクトルとして測定した[3]。今回は、酵母細胞を用いた同様の実験結果について報告する。

実験では、スライドガラス上に酵母細胞の懸濁液を滴下し自然乾燥してコーヒーリングを形成した。ハロゲンランプ (IWASAKI, JDR 110V60WWUV MK/H/E11) を光源として、光源-酵母細胞コーヒーリング-カメラの位置関係でコーヒーリングからの回折光を観測した。図2に、酵母細胞により形成されたコーヒーリングの回折光を示す。光源との角度により回折光の色が白色から赤色に変わることがわかる。この光の分光スペクトルを図3に示す。スペクトルの測定にはスペクトル観測キット (五藤テレスコープ) と赤外領域にも感度を持つデジタルカメラを用いた。酵母細胞により形成されたコーヒーリングのカメラ側の直前にナイフエッジで製作したスリットを置き、カメラのレンズの前に100本/mmの透過回折格子 STARANALYSER100 を置いてスペクトルを撮影し、解析ソフトウェア (RSpec) で波長-強度分布を分析した。光源のハロゲンランプのカバーガラス表面にはコーティングが施されているため、スペクトルでは周期的な強度変動も見られるが、酵母細胞により形成されたコーヒーリングの回折光は波長750-850 nm付近で光源のスペクトルよりも強度が大きくなり、図2で見られた赤色の分光特性を示すことが検出された。

本研究は JSPS 科研費 JP24K06352 の助成を受けたものです。

References [1] R.D. Deegan, O. Bakajin, T.F. Dupont, G. Huber, S.R. Nagel & T.A. Witten, *Nature*, **389** (1997) 827. [2] 松谷, 応用物理, **88** (2019) 305. [3] 松谷, 2025 秋応物 8p-P01-33.

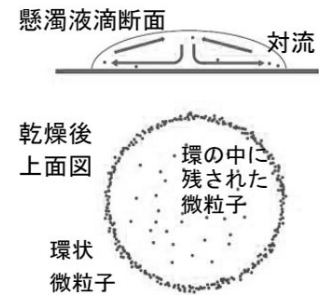


Fig. 1 コーヒーリング効果

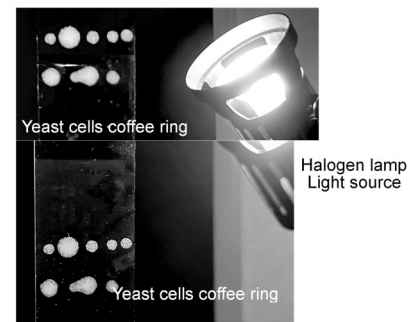


Fig. 2 酵母細胞を用いて形成されたコーヒーリングの回折光

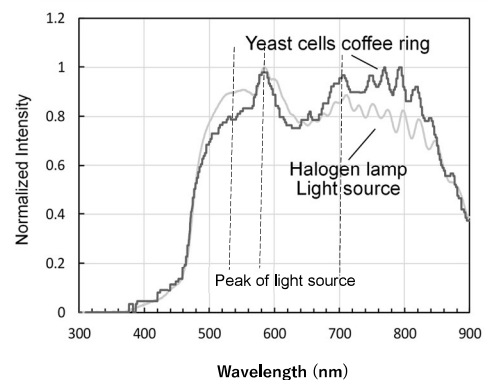


Fig. 3 酵母細胞を用いて形成されたコーヒーリングの回折光のスペクトル

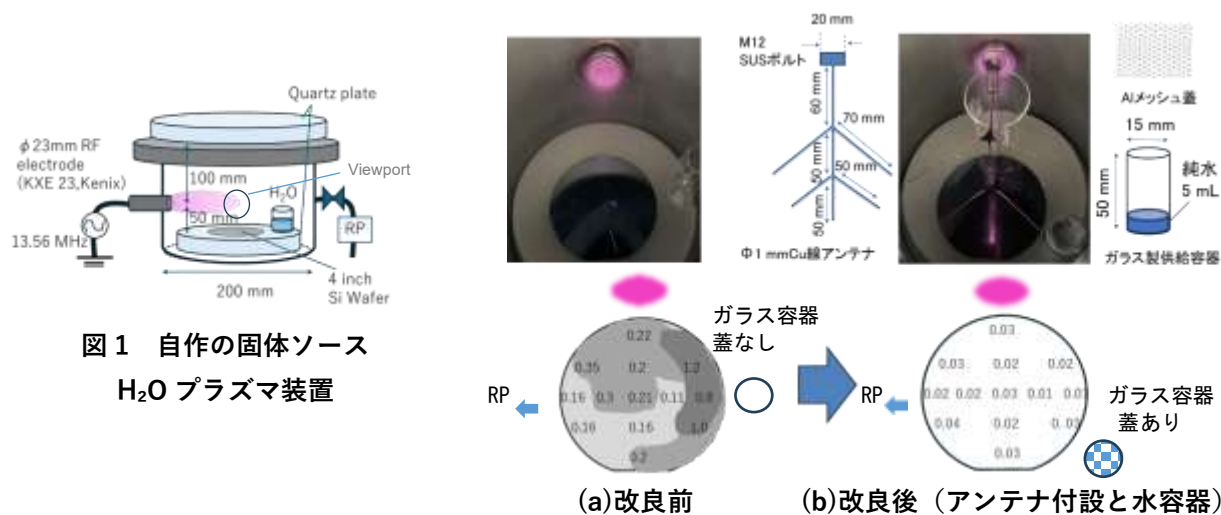
永久磁石を用いたレジストのエッチングレート向上のための実験

遠西 美重^{a)}

^{a)}東京科学大学 リサーチインフラマネジメント機構 コアファシリティセンター

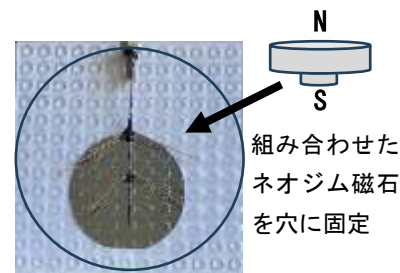
1. はじめに

マイクロ流路作製におけるガラスとポリジメチルシロキサン (PDMS) などの異種材料を用いた接合のための表面親水化技術として、酸素や空気を用いたプラズマ処理が行われている。これらの試料の強い接合には OH を介した水素結合が必要なことが知られている^[1]。これまで、図 1 に示す水の状態変化を利用したシンプルな構成の固体ソース H₂O プラズマ装置を自作し、親水化処理によりガラスと PDMS の良好な接合を達成した。^[2] 更に、図 2 に示すように H₂O ガス供給容器と多素子アンテナを付設した RF 電極を工夫することで、フォトリソのエッチング深さ分布の評価から、φ4 inch の領域でのプラズマの均一性を改善できることを報告した^[3,4]。しかしながら、多素子アンテナ付設によってレジストのエッチングレートは減少した。処理時間の短縮にはプラズマの高密度化が求められることから、本研究では、磁力線に電子が巻き付く性質に着目し、アンテナを付設した固体ソース H₂O プラズマ装置に永久磁石を加えたプラズマの高密度化について、磁石とアンテナ配置を検討した実験結果を報告する。



2. 実験方法

アンテナを付設した固体ソース H₂O プラズマ装置のチャンバー蓋上に、φ22 mm、t=10 mm と φ10 mm、t=5 mm のネオジム磁石を組み合わせて (410 mT)、穴径 φ10 mm、ピッチ 15 mm、t=3 mm のアクリルパンチ板ホルダーに S 極を下にして固定した。φ4 inch の Si ウエハに AZ5214E レジストを塗布し、プロセス圧力 100 Pa、RF パワー 10 W で H₂O プラズマ処理を 5 min 行い、Dektak (Bruker XT-E) にてレジストのエッチング深さを 13 点測定した。



3. 実験結果

図 4 (a)から図 4(d)に磁石を設置したレジストのエッチング深さ分布を示す。図 4(a)に示すアンテナ付設なしの場合は、RF 電極近傍かつ磁石の直下のエッチング深さが大きかった。図 4(a)と同じ磁石配置にアンテナを付設した図 4(b)は、RF 電極から離れた領域もエッチング深さが増加した。図 4(c)では、図 4(b)で減少量の少なかった RF 電極に近い位置に磁石を追加した。この場合は試料中心部のエッチング深さが減少した。図 4(d)では図 4(c)と磁石の個数は同じとし、試料の中心に磁石を設置した。このときのエッチング深さ分布は図 2 (b)の改良後の磁石設置のない場合とほぼ同等であった。さらに図 2(b)では、平均エッチング深さが $0.02 \mu\text{m}$ であったのに対し、図 4(d)の配置では 3 倍の $0.06 \mu\text{m}$ に増加した。

図 5(a)は磁石を設置した時の放電の概略図を示す。図 5(b)に示すように、ビューポートから撮影したプラズマの発光は、磁石を設置した場合には、アンテナ上方にも拡がり、磁石直下と磁石の間のできるカブス磁場の磁力線の集中する領域でプラズマの発光が観察され、プラズマが高密度化されていると考えられる^[5]。図 6

には、図 4(d)の配置での石英天板上部から撮影したプラズマ放電の様子を示す。磁石の設置により、磁場の集中する領域

にプラズマが閉じ込められ、レジストのエッチング深さが増加したと考えられる。

4. まとめ

アンテナ付設に加えて永久磁石を設置することで、アンテナ形状による均一性と永久磁石によるプラズマの高密度化から、面内均一性に優れた高効率なプラズマ処理が可能となることが示唆された。アンテナ形状や磁石配置の最適化により、広い領域でのガラス-PDMS 接合のための H_2O プラズマ処理が可能となることが期待される。

参考文献

- [1] H. Goh *et al*, Appl. Mater.No.2, 1324 (2010)
- [2] M. Tohnishi and A. Matsutani, Sensors and Materials, Vol. 33, No. 2 569 (2021)
- [3] 遠西 美重, 第 30 回機器・分析技術研究会 2024 広島大学, P-33 (2024)
- [4] 遠西 美重, 総合技術研究会 2025 筑波大学, P_02_02 (2025)
- [5] M. Tohnishi, M. Sato and A. Matsutani, MNC2025, 19P-1-35 (2025)

謝辞

本研究は科研費奨励研究 (25H00180) の助成により得られた成果である。

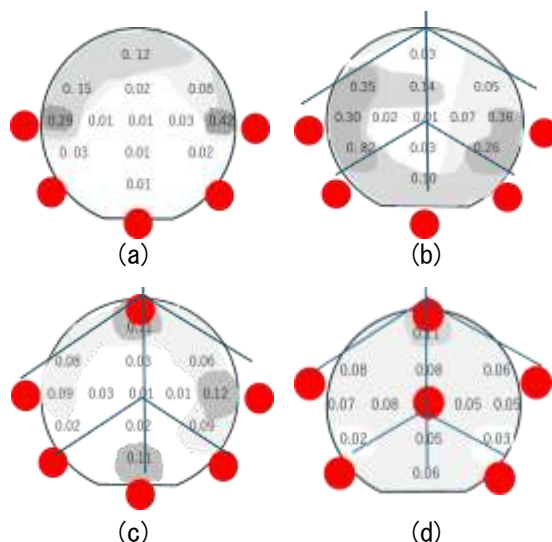


図 4 チャンバー蓋上の磁石設置パターンとレジストのエッチング深さ分布 (μm)

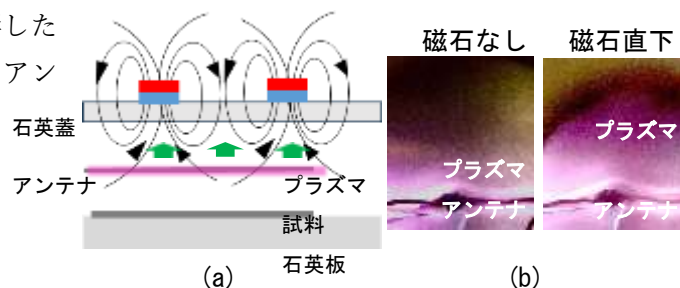


図 5 (a) 磁石を配置した H_2O プラズマ放電の概略図
(b)ビューポートから撮影したアンテナ素子の発光の様子



図 6 図 4(d)の磁石配置での H_2O プラズマ放電

ネガ型電子線レジストとしてのSU-8の薄膜化によるラインパターンの微細化

○藤本 美穂

東京科学大学リサーチインフラ・マネジメント機構コアファシリティセンターマイクロプロセス部門

1. はじめに

エポキシ樹脂ベースのネガ型フォトレジスト SU-8 は電子線レジストとしても利用可能であり、フォトリソグラフィでは実現が難しい線幅 1 μm 以下の高アスペクト比のパターン形成に用いられている^[1]。微細パターンの形成には、レジストの薄膜化^[1]や PEB 温度の最適化^[2]が有効である。今回は SU-8 の膜厚の薄膜化により、線幅約 440 nm の高アスペクト比のラインアンドスペースパターンを作製したので報告する。

2. 実験方法

図 1 に、本実験の電子線描画の概略図を示す。15 \times 15 mm^2 に劈開した厚さ約 300 μm の Si (100) ウェハ上に、PGMEA で希釈した SU-8 2002 を 500 rpm で 10 秒間、3000 rpm で 30 秒間スピコートし、ホットプレート上で、110 $^{\circ}\text{C}$ で 60 秒間プリベークした。これにより、通常のスピンコートで得られる約 2.4 μm の厚さを約 3 分の 1 に薄膜化した。

電子線描画は、加速電圧 30 kV、ビーム電流 10 pA、ドーズ量 1 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ で行った。描画後の基板をホットプレート上で、69 $^{\circ}\text{C}$ で 60 秒間 PEB を行った^[2]。SU-8 developer で 60 秒間現像後、IPA で 15 秒間リンスを行った。描画したラインアンドスペースパターンの倒れや結合の有無を SEM で観察した。

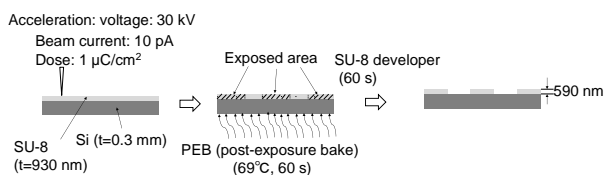


図 1 本実験の電子線描画の概略図

3. 結果と考察

図 2 に、膜厚約 590 nm の SU-8 のラインアンドスペースパターンの SEM 像を示す。図 2 に示すように、線幅は約 440 nm、アスペクト比は約 1.3 の SU-8 のラインアンドスペースパターンが製作できた。先行研究^[1]の膜厚約 500 nm のアスペクト比 1 のラインアンドスペースパターンよりも高いアスペクト比の構造を実現することができた。

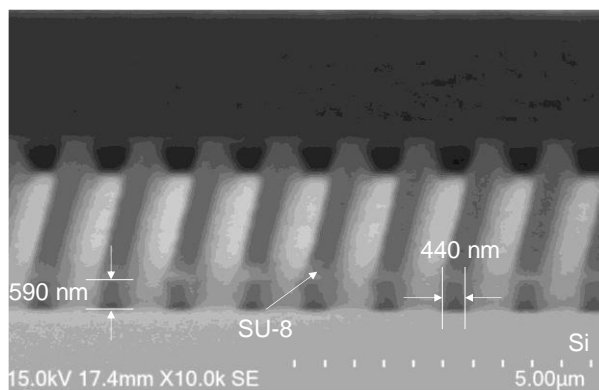


図 2 膜厚約 590 nm の SU-8 の最小ラインアンドスペースパターン

4. まとめと今後の展望

SU-8 の膜厚を薄膜化することで、電子線描画によりアスペクト比 1.3 のラインアンドスペースパターンを実現した。今後は本実験で得られたアスペクト比を維持したまま SU-8 の微細パターンの高密度化と、更なる高アスペクト比のパターンの製作を目指す。

参考文献

- [1] J. Vinje et al., “Electron Beam Lithography Fabrication SU-8 Polymer Structures for Cell Studies”, J. Microelectromechanical Syst., Vol. 29, No. 2, (2020).
- [2] M. Yasui et al., “Effects of post exposure bake temperature and exposure time on SU-8 nanopattern obtained by electron beam lithography”, Jpn. J. Appl. Phys., **53**, 11RF03, (2014).

N⁺照射により形成したアモルファス化 Si エッチングマスクの KOH エッチングに対するエッチング速度のイオンエネルギー依存性 Dependence of Etching Rate on Ion Energy for KOH Etching of Amorphized Si Etching Mask Formed by N⁺ Irradiation

Science Tokyo RIM 機構 ○佐藤美那, 遠西美重, 松谷晃宏

Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo.

○Mina Sato, Mie Tohnishi and Akihiro Matsutani

E-mail: sato.m.ff28@m.isct.ac.jp

我々はこれまで Si の KOH エッチングにおいて、イオンの照射により作製したアモルファス化マスクで高いエッチングレート比を得られることを示してきた[1, 2]. 特に Si(100)面に 500 eV の N⁺照射によりアモルファス化したマスクを用いることで高さ 30 μm を超える Si 構造体を作製できた. マスクに対する Si のエッチングレート比は高く、3000 以上と見積もられた. そこで本発表では、30 μm を超える Si 構造体の作製を目指し、より高エネルギーの N⁺照射の利用した実験の結果を報告する.

図1に本実験で使用したアモルファス化マスクの概略図を示す. Si 基板のイオン照射した範囲はアモルファス化され、そのアモルファス化層は Si 単結晶に比べエッチングレートが小さいため、KOH 溶液に対するマスクとして作用し、構造体を作製できる. しかしながら、KOH 溶液によるウェットエッチングを進めるとマスクがなくなり、構造体の高さがエッチングを続けても変化しなくなり一定となる. 本実験ではその高さを h_s と定義した. 本実験では、フォトリソトによりパターンを作製した Si 基板に、ECR イオンシャワー装置(Elionix EIS-200ER)により N⁺イオンを照射し、Si(100)基板表面にアモルファス化層を作製した. 比較として Ar⁺を照射した基板も用意した. イオン照射条件は、500, 750, 1000 eV とした. イオン入射角度は θ , ドーズ量は 5×10^{17} ions/cm² とした. イオン照射後レジストを除去し KOH 溶液(40 wt%, 20°C)に浸漬した. 図2に h_s の N⁺および Ar⁺のエネルギー依存性を示す. 1000 eV の N⁺照射では h_s が 140 μm に達し、500 eV の N⁺照射の3倍以上の h_s が得られた. これは、イオンエネルギーの増加に伴い、イオンの飛程が大きくなり、アモルファス層が厚くなることで h_s が大きくなったと考えられる[1]. 本提案手法は、従来のエッチングマスクとして用いられている絶縁膜(SiO₂ や SiN)を KOH エッチング後にフッ酸等で除去することなく導電性表面が得られ、容易に陽極接合が可能となり、マイクロスケールのバイオチップ等に応用が期待される.

[1] M. Sato, M. Tohnishi and A. Matsutani, Sens, Mater. **34** (2022)37.

[2] M. Sato, M. Tohnishi and A. Matsutani, Sens, Mater. **36** (2024)1319.

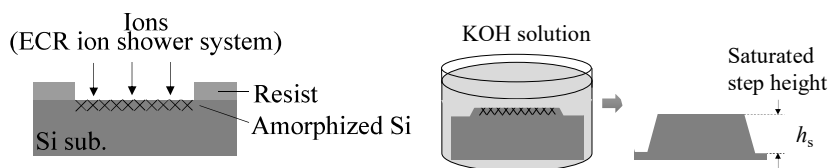


Fig.1. Schematic diagram of amorphized mask fabrication by ion irradiation and definition of h_s .

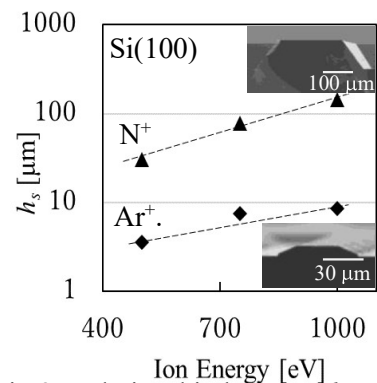


Fig.2. Relationship between h_s and ion energy of amorphized etching masks by N⁺ or Ar⁺.

SmCo 磁石で高密度化された RIE チャンバー内のプラズマ分布の観察 Observation of plasma distribution in a RIE chamber densified by SmCo magnets

東京科学大 リサーチインフラ・マネジメント機構

○遠西美重, 佐藤美那, 松谷晃宏

Research Infra Management Center, Institute of Science Tokyo.

○Mie Tohnishi, Mina Sato, and Akihiro Matsutani

E-mail: tohnishi.m.ab@m.titech.ac.jp

永久磁石によるプラズマの高密度化はマグネトロンスパッタで広く用いられている[1]。しかしながら、それらはターゲット直上でのドーナツ型のプラズマであり、広い面積の RIE に適用するには難しい。一方、永久磁石を RF 電極の対向に位置したプラズマの高密度化による InP エッチング[2]や、電極ホロー溝に永久磁石を設置した均一な高密度プラズマ源[3]が報告されているが、RF 電極の対向位置に永久磁石を設置した広い領域のプラズマ発光分布についてはほとんど検討されていない。

本研究では、RIE 装置の電極に対向するチャンバー蓋上へ永久磁石を同心円状に設置して Ar プラズマを発生させ、発光強度から広い領域におけるプラズマの高密度化を検討した。

図 1 に実験で用いた RIE 装置 (SAMCO RIE-101L) とチャンバー石英板上に置いた磁石の磁場分布を示す。磁石は直径 10 mm、厚さ 5 mm のサマリウムコバルト磁石 (300 mT/個) 8 個を用い、RF 電極の対向位置の石英板上に塩ビのパンチ板の穴に入れて固定した。磁場分布はテスラメータ (GOYOJO GT129B) で測定した。磁石の設置により磁石周辺の磁力線と RF 電極に囲まれた領域に荷電粒子が閉じ込められることによるプラズマの高密度化が期待できる。磁石の設置は、図 2(a) と 2(b) に示すように、8 個の磁石を直列に付けた配置と直径 100 mm の円周上への配置の 2 つのパターンとした。

図 3 に石英板上方向から撮影した Ar プラズマの写真とチャンバー中心を通る線における RGB 像の強度を示す。放電条件は、1 Pa, 30sccm, 100 W とした。いずれの磁石配置でもチャンバー中心で RGB 強度は増加したことから、マグネatron RF スパッタのようなドーナツ状のプラズマではなく、広い領域でプラズマが高密度化されたことがわかる。また、円周上に配置された弱い磁場と中心での強い磁場の高密度化への効果は、プラズマの発光強度の観測ではほぼ同等であると思われる。

本研究は科研費奨励研究 (25H00180) の助成により得られた成果である。

[1] 金原 繁, 真空 (2003) Vol. 46, No.10, p. 719. [2] A. Matsutani *et al.*, *Jpn.J.Appl.Phys.* (2004) 43, L960.

[3] M.Hossain *et al.*, *IEEE Transactions on Plasma Science*,(2018) Vol.46, No.8, pp. 2894-2900.

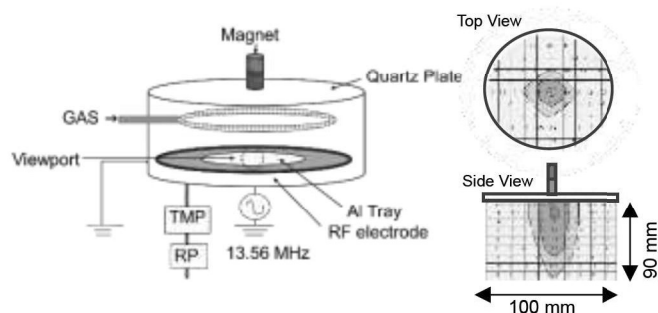


Fig.1 Schematic of RIE system and measurement result of magnetic flux density of magnet placed at the center of top plate.

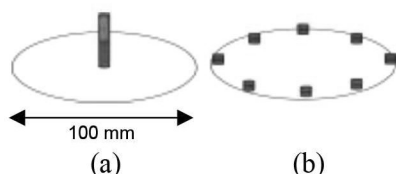


Fig.2 Schematic of magnet arrangement on a quartz plate.

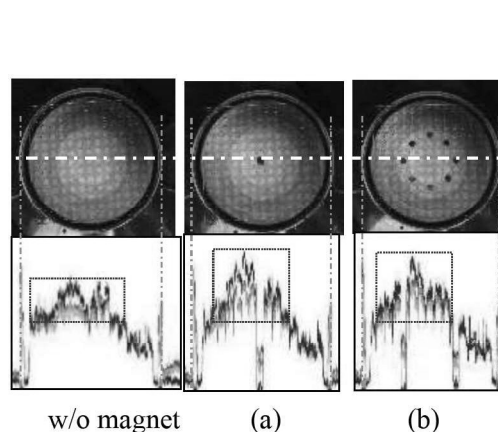


Fig.3 Photo images of plasma emission and RGB intensity w/o and with magnets pattern (a) and (b). (Top view)

ポリスチレンビーズで形成されたコーヒーリングによる回折光の分光測定 Spectroscopic Measurement of Diffracted Light from Coffee Ring Formed by Polystyrene Microbeads

東京科学大 リサーチインフラ・マネジメント機構

○松谷晃宏

Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo,

°Akihiro Matsutani¹

E-mail: matsutani.a.644e@m.isct.ac.jp

コーヒーリングとは微粒子を含む液体が蒸発した後に現れるリング状の蒸発残渣物のパターンのことである[1]。このようなリングは、Fig. 1に示すように微粒子の懸濁液が乾燥する際のマランゴニ力により、微粒子の環と環の内部に残された微粒子で作られるのが形成生成過程である。コーヒーリングに適当な角度で光をあてれば回折により様々な色が観察可能であり、 μm サイズのビーズの懸濁液を滴下して光を当ててみると宝石を散りばめたようにカラフルで美しい芸術的なコーヒーリングを観察することができる[2]。今回は、ポリスチレンビーズで形成されたコーヒーリングの回折光を結像し、ビーズサイズの違いによる回折光の色の違いを分光スペクトルとして測定したので報告する。

実験では、スライドガラス上に直径 $0.5\sim 3.0\ \mu\text{m}$ のポリスチレンビーズ懸濁液を滴下し自然乾燥してコーヒーリングを形成した。白色LEDを光源として、光源-ポリスチレンコーヒーリング-カメラの位置関係でコーヒーリングからの回折光を観測した。Fig. 2に直径 $1\ \mu\text{m}$ のポリスチレン微粒子により形成されたコーヒーリングの回折光を示す。この図では光源は斜め下方の位置にあり、位置aからdに相当する $46\sim 52^\circ$ の光源との角度により回折光の色が青から赤に変わることがわかる。これらの光の分光スペクトルをFig. 3に示す。スペクトルの測定には分光観測キット(五藤テレスコープ)とカメラを用いた。ポリスチレン微粒子により形成されたコーヒーリングのカメラ側の直前にナイフエッジで製作したスリットを置き、カメラのレンズの前に透過回折格子 STARANALYSER100 (100本/mm)を置いてスペクトルを撮影し、解析ソフトウェア(RSpec)で波長-強度分布を分析した。光源の白色LEDのピーク(約 $460\ \text{nm}$, 約 $560\ \text{nm}$)とポリスチレン微粒子により形成されたコーヒーリングの回折光のピーク波長(約 $450\sim 630\ \text{nm}$)が観測され、回折光と光源との角度依存性が検出された。

本研究は JSPS 科研費 JP24K06352 の助成を受けたものです。

References [1] R.D. Deegan, O. Bakajin, T.F. Dupont, G. Huber, S.R. Nagel & T.A. Witten, *Nature*, **389** (1997) 827. [2] 松谷, 応用物理, **88** (2019) 305.

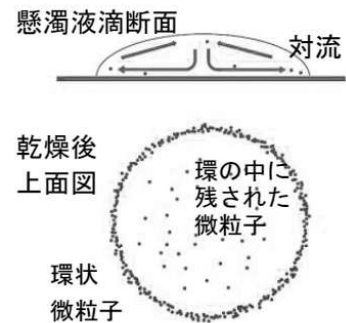


Fig. 1 コーヒーリング効果

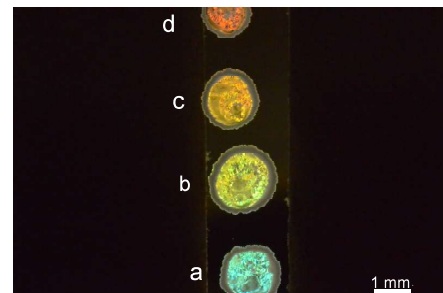


Fig. 2 直径 $1\ \mu\text{m}$ のポリスチレン微粒子を用いて形成されたコーヒーリングの回折光

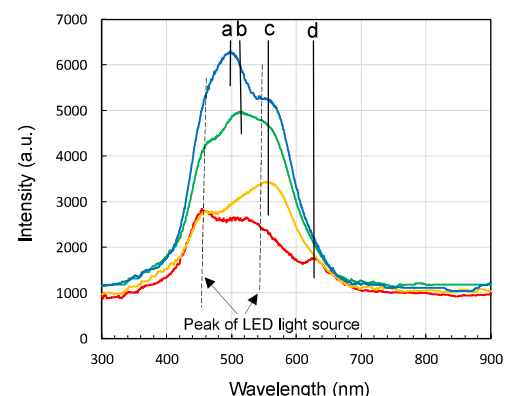


Fig. 3 直径 $1\ \mu\text{m}$ のポリスチレン微粒子により形成されたコーヒーリングの回折光のスペクトル