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

2024年(令和6年)度

ANNUAL REPORT 2024 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(20 20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6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、当部門の年報とし関連の皆様に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17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。

デバイス研究には,製作プロセス技術と評価分析技術が不可欠です。新しい概念のデバイ スを研究開発しようとすれば,既存のプロセス技術だけでは不十分で新しいプロセス技術 を開発しなければならないことが少なくありません。また,所望のデバイスが製作できてい るかどうかを確かめるには,プロセス毎にきちんとした評価を行い,ひとつずつ確かめなが ら製作を進めていく必要があります。しかし,本学ではプロセス技術の研究支援体制が必ず しも十分ではないことは皆様のご承知のとおりです。デバイス研究とプロセス研究を両立 させることは相当な努力を必要とします。これは,プロセス技術が専門知識とノウハウの集 合技術であることに起因します。したがって,プロセス技術を自由に扱えるようになるには 最先端の技術と基礎の双方の視点から経験を重ねることが必要であり,一朝一夕に手に入 れることができないという特徴をもっています。当部門ではこのような状況を鑑み,本学に おけるプロセス技術の専門家集団として,本学の研究の発展に貢献したいと考えておりま す。

当部門では実験装置の運営管理だけではなく、少数精鋭で「技術の質」による貢献を目指 しています。当部門職員は、基盤的従来技術による研究支援業務のほか、各人がそれぞれの 担当分野を中心とした技術課題に取り組み、研究会や展示会等で最新の技術情報に接する ことで研鑽を積んでいます。この冊子に収められた報告は、当部門職員の1年間の努力の 成果です。人材の育成には長い時間がかかりますが、日々努力を重ねて半導体やMEMS関 連のプロセス技術・評価分析技術の専門家集団の組織として、本学の研究の発展に貢献した いと思います。皆様には、長い目でご指導ご鞭撻をいただければ幸いに存じます。

当部門が管理運営する装置群はやや古い原理的なものが多く,必ずしも最新鋭のものを 備えているわけではありません。しかし,大学における研究活動に使用する装置では,原理 がよくわかるということも学生への教育の観点からはたいへん重要なことです。また,原理 的な装置であればメンテナンスも改造も,自動化あるいはブラックボックス化された最新 設備よりも容易であり,使う側の自由度が大きく,新しいデバイスの製作上の要求に応えら れるプロセス技術を開発するのに有利となります。このためには,われわれ自身で考えて発 展・応用できるように,常に基礎から最新までの技術情報を収集して理解するなど,日頃か ら準備しておく必要があります。発足当初から取り組んでいるテクニカルレポートは280 報を超え,技術の蓄積が進んでまいりました。プロセス技術は経験が財産となりますから, 我々はこれからも地道に基礎技術を蓄積していく所存です。

令和4年度からは、受託外部利用や年間パスポート制による他大学の学生への設備利用 も始まりました。このような制度に取り組めるのも、日頃からクリーンルームの円滑な運営 にもご協力いただいている利用者の皆様のおかげです。御礼申し上げます。

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7年(2025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 博士(工学) 松 谷 晃 宏

Members

部門長・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(休職中)	宇佐美浩一 Koichi Usami, Ph.D.
	(羊/) () () () () () () () () () () () () ()

(技術顧問) 未来産業技術研究所 教授 (着任順)

進士 忠彦 Tadahiko Shinshi, Ph.D.



■ 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。



「時間]

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。

	当部門の研究支援の形態 -	
学院・研究院などの共通施設 あるいは共同で運営してい る実験装置の担当等	研究室に設置されている学内 共同設備の実験装置の担当	研究室からの研究支援依頼 (コラボレーション) (パートナーシップ)
(実施例) 共用クリーンルーム(メカノマ イクロプロセス室)の実験装置	(実施例) SEM, EDS 法による観察, 分析 評価及び使用方法指導	(実施例) デバイス製作支援および 新技術開発
の担当(使用者への講習と基本 特性に関する実験)	実験装置の保守等に関すること	大学院生等の研究実験に 対する技術的助言・指導
実験装置の保守等に関すること	一般真空技術に対する支援	共同研究における技術支 援・技術開発の成果発表等

大学院の授業への協力

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・和の理工人の育成」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行きたいと 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。お問い合わせやご相談など、 semimem@ofc.titech.ac.jp でお待ちしております。

■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, SML1000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

(ET)

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 松 谷 晃 宏

メカノ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、バイオ、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共同利用のクリーンルームを稼 動させ, これまで多くの業績を挙げてきたメカノマイクロプロセス室(105m²)に, メカノマイクロプロセス室2 (91m²)を加え、東京工業大学オープ ンファシリティセンター(OFC)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・メカノ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 カノ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OFC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・メカノ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)



【成瞙】 EB蒸着装置 (ULVAC)



【成膜】 スパッタ装置 (キヤノンアネルバ)



蒸着装置

(サンユー電子)

【リソグラフィ】 マスクアライナー (ミカサ. 共和理研)



【成膜】 プラズマCVD装置



【リソグラフィ】 EB露光装置 (東京テクノロジー)



【成膜】 スパッタ装置 (サンユー電子)

【リソグラフィ】

EB露光装置

(サンユー電子)



【成膜】 EB蒸着装置 (サンユー電子)



【リソグラフィ】 -ザー描画装置 (ネオアーク)



【エッチング】 Deep-RIE装置 (SPPテクノロジーズ)



【表面処理】 UVオゾンクリーナ-(フィルジェン)

【観察】

AFM



【観察】

(キーエンス)

・ザー顕微鏡





【観察】 SEM-EDX (日立ハイテク)

陽極接合装置

(自作)



【評価】 触針式表面形状測定器 Dektak (Bruker) 2台



【エッチング】

ECRイオンシャワー装置

(エリオニクス)

【評価】 エリプソメトリ (溝尻光学)



【試料切断】 ダイシングソー (ディスコ)

他にも、メカノマイクロプロセス室には 純水装置, 研磨機, 金属顕微鏡, 超臨界乾燥装置,スピンコータ-ホットプレート, SEM観察用Auコーター メカノ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7年(2025年)3月)

【観察】 光学顕微鏡 6台 (オリンパス,ニコン)



【薬品処理】 ドラフトチャンバー



【リソグラフィ】

マスクレス露光装置



【論文】

<u>Mina Sato</u>, <u>Mie Tohnishi</u>, <u>Miho Fujimoto</u> and <u>Akihiro Matsutani</u>, "Submicrometer-sized Patterning of Photoresist by Electron Beam Projection Lithography Using Tabletop Scanning Electron Microscope System and Stencil Masks," Sensors and Materials, Vol. 37, (2025). in press.

<u>M. Tohnishi</u>, S. Matsushita, and <u>A. Matsutani</u>, "Microfabrication of Black Ge by SF₆/O₂- and C₄F₈-based Deep Reactive Ion Etching," Sensors and Materials, Vol. 37, (2025). in press.

Keting Chen, <u>Mie Tohnishi, Akihiro Matsutani,</u> Sachiko Matsushita, "Simulation-based study on dual circuit design for achieving continuous power generation in Ge-sensitized thermal cells under isothermal conditions," Energy Conversion and Management, Vol. 331 (2025), 119678 (8pp)

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

<u>** Akihiro Matsutani</u>, "Observation of gas flow around plants using Schlieren imaging system and highrefractive-index gas," Physics Education, **59** (2024) 045013(8pp).

T. Mochida, <u>A. Matsuani</u>, 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.

<u>* M. Sato, M. Tohnishi, A. Matsuani</u>, "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.

<u>M. Tohnishi, Mina Sato, A. Matsutani</u>, 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, <u>Mina Sato, Mie Tohnishi, Akihiro Matsutani</u>, and Mikio Kurita, "Laboratory demonstration of the birefrigent point-diffraction interferometer wavefront sensor," Optics Continuum Vol. 2, Issue 2 (2023) pp. 382-396.

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

<u>M. Sato, M. Tohnishi</u>, and <u>A. Matsutani</u>, "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.

<u>M. Tohnishi</u> and <u>A. Matsutani</u>, "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.

<u>A. Matsutani</u>, "Direct observation of spherical aberration under microscope using concave micromirrors," Eur. J. Phys., Vol. 41 (2020) 055303(8pp).

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

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

<u>A. Matsutani, M. Sato, K. Hasebe</u>, A. Takada, "Microfabrication of Concave Micromirror for Microbial Cell Trapping Using Köhler Illumination by XeF₂Vapor Etching," Sensors and Materials,**31**(2019) pp. 1325-1334.

T. Ezaki, <u>A. Matsutan</u>i, K. Nishioka, D. Shoji, <u>M. Sato</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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, <u>西岡國生</u>, <u>松谷晃宏</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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.

<u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, D. Shoji, <u>K. Nishioka</u>, <u>M. Sato</u>, T. Okamoto, T. Ezaki, T. Isobe, A. Nakajima, S. Matsushita, "Optical performance of Au hemispheric sub-microstructure on polystyrene quadrumer, Colloids," Surf. A. 513 (2017) pp. 51-56.

<u>A. Matsutani</u>, 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.

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

<u>A. Matsutani, K. Nishioka, M. Sato</u>, "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, <u>A. Matsutani</u>, Y. Morii, D. Kobayashi, <u>K. Nishioka</u>, <u>D. Shoji</u>, <u>M. Sato</u>, 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.

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

<u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, I. Yuito, and T. Takeuchi, "A polydimethylsiloxane diaphragm integrated with a sputtered thin film NdFeB magnet," Microsyst. Technol. **21** (2015) 675.

<u>A. Matsutani, K. Nishioka, M. Sato, D. Shoji</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, and F. Koyama, "Athermalization and on-chip multiwavelength integration of VCSELs employing thermally actuated micromachined mirrors," Appl. Phys. Lett. **105** (2014) 091110.

S. Inoue, J. Kashino, <u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, and M. Hatano, "Asymmetric transport property of fluorinated grapheme," Appl. Phys. Lett. **103** (2013) 143106.

<u>A. Matsutan</u>i, 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.

<u>A. Matsutani</u>, 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.

<u>A. Matsutani</u>, M. Hayashi, Y. Morii, <u>K. Nishioka</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, and M. Hatano, "Effect of radical fluorination on mono- and bi-layer graphene in Ar/F₂ plasma," Appl. Phys. Lett. **101** (2012) 163105.

<u>A. Matsutani</u> 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.

<u>A. Matsutani</u>, 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.

<u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, A. Imamura, and F. Koyama, "Beam steering in GaInAs/GaAs slow-light Bragg reflector waveguide amplifier," Appl. Phys. Lett. **99** (2011) 211107

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

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

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

<u>A. Matsutani</u>, 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】

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)

<u>松谷 晃宏</u>, "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 —", 2025 年第 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】

飯嶋航大,谷口公太,大槻秀夫,神野莉衣奈,<u>遠西美重</u>,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", 2025 年第 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)

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",2025年第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)(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,<u>松谷晃宏</u>,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",2025 年第 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, <u>遠西美重</u>, <u>松谷 晃宏</u>, 松下 祥子, "櫛形電極 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", 2025 年第 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)

- ※<u>佐藤美那</u>, 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", 2024 年度第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", 2024 年度第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,<u>藤本美穂</u>,<u>佐藤美那</u>,<u>遠西美重</u>,<u>松谷晃宏</u>,"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)

※<u>遠西美重</u>, "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)

- ※<u>Akihiro Matsutani</u>, "Optical Properties of Yeast Cell as a Microlens", MNC2024 (37th International Microprocesses and Nanotechnology Conference), 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", MNC2024 (37th International Microprocesses and Nanotechnology Conference), 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", 2024 年度第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)
- ※<u>遠西美重</u>, "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, <u>Akihiro Matsutani</u>, 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)

<u>遠西美重</u>,松下祥子,<u>松谷晃宏</u>, "Deep-RIE で作製したブラック Ge の微細構造側壁のスキャロップ深 さと反射率との関係",2024 年第 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)

<u>佐藤美那, 遠西美重, 松谷晃宏</u>, "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", 2024 年第 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", 2024 年第 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)

<u>松谷晃宏,遠西美重</u>,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", 2024 年第 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,<u>遠西美重</u>,松谷晃宏,松下祥子,"二枚櫛形電極を重ねた Ge 増感型熱利用電池構造のシミ コレーションと作製",2024 年第 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, <u>Akihiro Matsutani</u>, 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)

舩倉智久, Saha Chaity, <u>松谷晃宏</u>, 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, <u>Akihiro Matsutani</u>, <u>Mina Sato</u>, 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)

<u>Mie Tohnishi</u>, Sachiko Matsushita, <u>Akihiro Matsutani</u>, "Fabrication of nonreflective black germanium in near-infrared region up to a wavelength of 2.5 µm by SF₆+O₂/C₄F₈-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)

<u>遠西美重</u>, 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", 2023 年第 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", 2023 年第 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)

<u>遠西美重</u>, <u>松谷晃宏</u>, <u>生方 俊</u>, <u>松下祥子</u>, "固体ソース H2O プラズマ処理したポリイミド樹脂の表面の XPS 分析", 2023 年第 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)

<u>佐藤美那</u>, 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", 2023 年第 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)

<u>藤本美穂</u>, 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", 2023 年第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,<u>佐藤美那,遠西美重</u>,<u>松谷晃宏</u>,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, <u>松谷 晃宏</u>, "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", 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)

<u>松谷晃宏</u>, <u>遠西美重</u>, <u>藤本美穂</u>, 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 SF₆-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,<u>佐藤美那</u>,<u>遠西美重</u>,<u>松谷晃宏</u>,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)

<u>藤本美穂</u>, <u>松谷晃宏</u>, "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", 2022 年第 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)

<u>遠西美重,</u>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 H2O プラズマを用いた前処理による低抵抗化", 22a-P01-9(2022 年 3 月 22 日,青山学院大 学)

<u>佐藤美那</u>, 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", 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", 24p-E104-7(2022 年 3 月 24 日, 青山学院大学)

立花 綾, <u>佐藤美那</u>, 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", 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, <u>松谷晃宏</u>, "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ベ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)

<u>遠西美重</u>, <u>佐藤美那</u>, 松下祥子, <u>松谷晃宏</u>, "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)

<u>佐藤美那</u>, <u>遠西美重</u>, <u>松谷晃宏</u>, "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)

<u>佐藤美那</u>, 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 NbO 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)

<u>遠西美重</u>, 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)

<u>佐藤美那</u>, "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)

<u>藤本美穂</u>, "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)

<u>田村茂雄</u>, "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, <u>松谷晃宏</u>, "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)

<u>松谷晃宏</u>. "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, <u>松谷 晃宏</u>, 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)

<u>遠西美重</u>, 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)

<u>遠西美重</u>, "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, 栁田保子, "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 暁冬, <u>松谷 晃宏</u>, 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)

<u>遠西美重</u>, "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)

<u>藤本美穂</u>, "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)

<u>遠西美重</u>, "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)

<u>A. Matsutani</u>, 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, <u>松谷晃宏</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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)

<u>松谷晃宏</u>, <u>佐藤美那</u>, 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)

<u>長谷部浩一</u>, "コンタクトアライナによる高解像パター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, 髙田 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 insitu 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)

<u>長谷部浩一</u>, <u>佐藤美那</u>, <u>松谷晃宏</u>, 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, 顧暁冬, <u>松谷晃宏</u>, 小山二三夫, "高出力面発光レーザ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)

冨樫良介, 顧暁冬, <u>松谷晃宏</u>, 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, 顧暁冬, 志村京亮, <u>松谷晃宏</u>, 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, 顧暁冬, 中濱正統, <u>松谷晃宏</u>, 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,顧暁冬,中濵正統,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)

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

M. Morinaga, X. Gu, K. Shimura, M. Nakahama, <u>A. Matsutan</u>i, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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).

冨樫良介, Xiaodong Gu, <u>松谷晃宏</u>, 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,顧暁冬,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 ライト光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, 顧暁冬, 中濵正統, 坂口孝浩, <u>松谷晃宏</u>, 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,<u>松谷晃宏</u>,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)

<u>長谷部浩一</u>, "レーザ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,<u>松谷晃宏</u>,鶴見敬章,武田博明,"SAWセンサ応用へ向けたゲーレナ 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, 中濵正統, <u>松谷晃宏</u>, 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, 顧暁冬, <u>松谷晃宏</u>, 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,顧暁冬,中濵正統,<u>松谷晃宏</u>,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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>佐藤美那</u>, "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)

<u>西岡國生</u>, "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ー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)

<u>A. Matsutani</u>, 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)

<u>松谷晃宏</u>, 髙田綾子, "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)

<u>松谷晃宏</u>, 髙田綾子, "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,朴鍾淏,栁田保子,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,顧暁冬,中濵正統,<u>松谷晃宏</u>,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, <u>松谷晃宏</u>, 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, 顧暁冬, 中濵正統, 坂口孝浩, <u>松谷晃宏</u>, 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 ハイ, <u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>佐藤美那</u>, "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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>庄司大</u>, "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)

<u>西岡國生</u>, "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, <u>A. Matsutani</u>, <u>D. Shoji</u>, <u>K. Nishioka</u>, T. Isobe, A. Nakajima, S. Matsushita, "Microfabrication of polystyrene quadrupole combined with top-down and bottom-up approach," PHYS-1520, #176, Pacifichem 2015 (2016年12月, ハワイコンベンションセンター).

<u>A. Matsutani</u>, 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, <u>K. Nishioka, A. Matsutani</u>, 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-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, <u>松谷晃宏, 西岡國生</u>, "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, <u>A. Matsutani</u>, 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, 中濵正統, 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 暁冬,許 在旭,中濵 正統,<u>松谷 晃宏</u>,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)

<u>庄司大</u>, "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, <u>A. Matsutani</u>, T. Sakaguchi, F. Koyama, "Consideration and Fabrication of athermal HCG MEMS VCSEL," International Nano-Optolectronics Workshop," iNOW2016, Poster Session-7 (2016年7月28日, ミュンヘン工科大学)

S. Inoue, M. Nakahama, <u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutani</u>, 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, <u>A. Matsutan</u>, T. Sakaguchi, F. Koyama, "Slow Light VCSEL Amplifier for Highresolution Beam Steering and High-power Operations," Conference on Lasers and Electro-Optics 2016 (CLEO2016), SF1L.5. (San Jose Convention Center, Jun. 2016)

<u>西岡國生</u>, <u>佐藤美那</u>, <u>松谷晃宏</u>, "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, 顧暁冬, 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, 顧暁冬, 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, 中濵正統, <u>松谷晃宏</u>, 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) <u>松谷晃宏</u>, "フッ素プラズマによるSiCのドライエッチング", 平平成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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>庄司大</u>, "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)

<u>佐藤美那</u>, "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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>庄司大</u>, "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)

<u>松谷晃宏</u>, 髙田綾子, "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).

<u>松谷晃宏</u>, "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)

<u>A. Matsutani</u>, 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)

<u>A. Matsutani</u>, <u>M. Sato</u>, <u>K. Nishioka</u>, <u>D. Shoji</u>, "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, <u>A. Matsutani</u>, 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, 顧暁冬, 坂口孝浩, <u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>松谷晃宏</u>, 髙田綾子, "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)

<u>松谷晃宏</u>, 髙田綾子, "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, <u>松谷晃宏</u>, 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, <u>松谷晃宏, 佐藤美那,</u> 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)

<u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>庄司大</u>, "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)

<u>佐藤美那</u>, "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)

<u>A. Matsutani</u>, 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)

<u>A, Matsutani</u>, 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, 顧暁冬, <u>松谷晃宏</u>, 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, <u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>佐藤美那</u>, "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ーグラフェン 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)

顧暁冬, <u>松谷晃宏</u>, 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, 顧暁冬, <u>松谷晃宏</u>, 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, <u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>佐藤美那</u>, 松谷晃宏, 曽根正人, "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)

<u>松谷晃宏</u>,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)

<u>庄司大</u>, "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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>庄司大</u>, "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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>佐藤美那</u>, "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, 髙田綾子, "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囲い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)

<u>佐藤美那</u>, "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会 (2013年11月21日, 分子科学研究所)

<u>A. Matsutani, K. Nishioka</u>, <u>D. Shoji</u>, <u>M. Sato</u>, 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)

<u>佐藤美那</u>, "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, <u>松谷晃宏</u>, 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)

顧暁冬, <u>松谷晃宏,</u>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,顧暁冬,<u>松谷晃宏</u>,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, 髙田綾子, "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)

<u>松谷晃宏</u>, 西岡國生, 庄司大, <u>佐藤美那</u>, 小林大斗, 磯部敏宏, 中島章, 立間徹, 松下祥子, "SF₆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ーマ ル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)

<u>松谷晃宏</u>, 髙田綾子, "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, <u>松谷晃宏</u>, 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, <u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>庄司大</u>, "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)

<u>佐藤美那</u>, "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)

<u>庄司大</u>, "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, 髙田綾子, "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)

<u>佐藤美那</u>, "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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>A. Matsutani</u>, 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)

<u>松谷晃宏</u>, "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)

<u>佐藤美那</u>, "MEMSデバイス作製のための薄膜形成技術 ーチャンバー内の残留ガス分析ー", 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)

<u>A. Matsutani</u>, 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)

<u>A. Matsutani</u> 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)

<u>A. Matsutani</u> 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)

<u>A. Matsutani</u>, 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)

<u>A. Matsutani</u>, 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, <u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>A. Matsutani</u> 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, <u>松谷晃宏</u>, <u>西岡國生</u>, "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, <u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>佐藤美那</u>, "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)

<u>庄司大</u>, "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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>庄司大</u>, "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) <u>西岡國生</u>, "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, <u>A. Matsutani</u>, 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)

<u>松谷晃宏</u>, 髙田綾子, "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)

<u>A. Matsutani</u> 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)

<u>A. Matsutani</u> 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)

<u>Akihiro Matsutani</u>, Yuji Hashidume, Hideo Ohtsuki and Fumio Koyama, "Si based High-index-contrastgrating 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 回応用物理学会学術講演会, 2a-ZJ-6, (2011 年 8 月,山形大学)

<u>松谷晃宏</u>,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 用物理学会学術講演会, 2a-ZJ-7, (2011 年 8 月,山形大学)

林未来郎・<u>松谷晃宏</u>・磯部敏宏・松下祥子・中島章, "酸化チタンー電解液系によるワイドフルフォトニッ 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・<u>松谷晃宏</u>・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)

<u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>畠山直之</u>, "触針式表面形状測定の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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>庄司大</u>, "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)

<u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>Akihiro Matsutani</u>, 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)

<u>Akihiro Matsutani</u> 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)

<u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>西岡國生</u>, <u>庄司大</u>, "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)

<u>庄司</u>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)

<u>庄司</u>大, "電子線描画装置の適正試料高さと試料ホルダの製作", 2009年度東京工業大学技術発表 会, (2010年3月, 東京工業大学)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>畠山直之</u>, "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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>庄司</u>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 次元マイクロ囲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)

<u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>A. Matsutani</u>, 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)

<u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>松谷晃宏</u>, 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)

<u>庄司</u>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)

<u>畠山直之</u>, "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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>庄司</u>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)

<u>畠山直之</u>, "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)

<u>A. Matsutani</u>, 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)

<u>A. Matsutani</u>, 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ー 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)

<u>西岡國生</u>, "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)

<u>松谷晃宏</u>, 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,<u>松谷晃宏</u>,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 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,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

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

<u>Akihiro Matsutani</u>, "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)

完倉一輝,難波江裕之,松谷晃宏,佐藤美那,鈴森康一,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 2024 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
成果発表

Observation of gas flow around plants using Schlieren imaging system and high-refractive-index gas

Akihiro Matsutani

Semiconductor and MEMS Processing Division, Open Facility Centre, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan

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

Abstract

The fruits of many plant are carried and flowers are also swayed by the wind. If the flow of air around plants can be visualized, the science behind it will be interestingly illustrated. In this study, the gas flow around cherry blossom fruits, clover flowers, maple seed propellers, and dandelion pappi as spherical and propeller-shaped samples is demonstrated using a Schlieren optical system and a high-refractive-index gas. The observed gas flow corresponding to the sample shape was well characterized by fluid dynamics features such as the Coandă effect. The results of experiments in which the flow of gas around plants is visualized are useful as a scientific education material for fluidics and optics.

Keywords: Schlieren, plant, gas flow, Coandă effect

1. Introduction

The Schlieren and shadowgraph methods are commonly used for visualizing fluids [1, 2]. Both methods clearly show changes in the refractive index of the medium through which light passes. Various fluids have been observed using these methods. Their use in shock wave, sound wave, and microfluid observations has been reported [3-6]. The Schlieren and shadowgraph methods are suitable as observation methods in science education, and in some studies, they have been used as teaching tools [7-11]. However, the observations

© 2024 IOP Publishing Ltd

using the Schlieren method often use artificial shape objects such as airplanes or only gas flow as a sample, although there are also examples of the application of these methods to the observation of living organisms. Liu *et al* reported the use of Schlieren photography of a flying hawkmoth [12]. In addition, Gates used the Schlieren method to observe plants in research on heat transfer in plants [13]. Cummins *et al* reported that a separated vortex ring underlies the flight of dandelion pappi [14]. The author is interested in the naturally generated flow of gas around objects of various



PAPER iopscience.org/ped

A Matsutani

shapes exist close to us. The fruits of many plants are carried and flowers are also swayed by the wind. The author believes that if the flow of air around plants can be visualized, it will be interesting as a scientific demonstration method.

In this study, the gas flow around cherry blossom fruits, clover flowers, maple seed propellers, annual flebane flowers, and dandelion pappi used as spherical and propeller-shaped samples is observed using a Schlieren optical system and a high-refractive-index gas.

2. Experimental setup

For this experiment, a basic Schlieren optical system consisting of a pinhole, two lenses, and a knife edge was used as shown in figure 1. Figure 2 shows (a) an overview of the Schlieren optical system used in this experiment, (b) the pinhole and objective lens, (c) the knife edge, (d) the positional relationship between the sample and the spray can, and (e) the observed jet ejected from the spray can. A traditional incandescent bulb was used as a light source. Two objective lenses of the same astronomical telescope (Takahashi Seisakusyo Ltd, FC60-C) facing each other were used as the convex lenses of this Schlieren optical system. The aperture of these lenses was 60 mm and the focal length was 355 mm. The objective aperture of a scanning electron microscope made of molybdenum was used as a pinhole [15]. The pinhole diameter used in this experiment was 0.35 mm. The knife edge was a craft knife blade (OLFA Co.), which was attached to the edge of the drawtube of the telescope with a double-sided tape. Therefore, the position of the knife edge in the optical axis direction can be manipulated in the same way as adjusting the focus of a telescope. All samples were placed between the two lenses.

The Schlieren optical system can visualize the refractive index gradient (dn/dy) of a gas such as air heated by the temperature of palm of a hand. The refractive index n of air is approximately 1.000 27 at room temperature and 1 atm. This refractive index changes by -1 ppm per 1 °C. Therefore, the refractive index change of air heated by body temperature is approximately -10 ppm. In this experiment, an easily available gas with a higher refractive index than air



Figure 1. Schematic of Schlieren system used in this experiment.

was used to facilitate observation. The stream applied to the sample was gas from a commercial spray used to blow away dust from a computer's keyboard. The gas in the spray can (Hozan Tool Industrial Co., Ltd, Z-283 134a Duster) was hydrofluorocarbon (HFC134a). The refractive index of this gas is approximately 1.0067. This gas, which has a higher refractive index than air, makes it easier to observe gas flows around samples. A sample was exposed to a gas flow from a direction perpendicular to the optical axis. In this experiment, plant fruits, flowers, seeds, and pappi were used as samples. The gas flow rate was measured with an anemometer (Sanwa Supply Inc., CHE-WD1). This instrument is a propellar-type anemometer and its minimum limit of flow rate detection is 0.4 m s⁻¹. In addition, figure 2(e) shows the observed jet ejected from the spray can. A thin tube (inner diameter, 1 mm) was connected to the tip of the nozzle of a spray can to generate a gas flow. As can be seen from this photograph, it was confirmed that the jet from the spray can be sufficiently clearly observed with this Schlieren optical system. In most of the following experiments, a gas was sprayed without the thin tube at a flow rate of about $1.4-2 \text{ m s}^{-1}$.

3. Observation results of gas flow around plants

3.1. Gas flow around spherical sample

First, let us observe the gas flow around a spherical sample. Figure 3 shows the results of an experiment using a spherical fruit as an example of observing airflow around a spherical sample. Figure 3(a) shows a photograph of the Japanese Yoshino cherry blossom fruit used in this experiment, the shape of which is approximately



Observation of gas flow around plants using Schlieren imaging system

Figure 2. (a) Overview of Schlieren optical system used in experiment, (b) pinhole and objective lens, (c) knife edge, (d) positional relationship between sample and spray can, (e) observed jet ejected from spray can.

spherical. Figure 3(b1) shows the gas flow when the sample is not hit by the gas ejected from the nozzle, and figure 3(b2) is the same as figure 3(b1)with the flow edges clarified by image processing. In these figures, only the flow of the gas from the nozzle was observed. Figure 3(c1) shows the gas flow when the bottom surface of the sample is hit by the gas ejected from the nozzle, and figure 3(c2) is the same as figure 3(c1) with the flow edges clarified by image processing. It can be seen that the gas upon hitting the lower part of the spherical sample flows along the surface of the sample and travels towards the upper part of the sample. This is a phenomenon called the Coandă effect, in which the flow adheres to the wall. The jet from the nozzle collides with the underside of the sample and splits into upper and lower parts. The lower flow travels along the surface of the sample. The flow along the lower surface wraps around the sample, separates at the rear of the sample, and proceeds to the left side of the screen. The flow on the upper side of the sample behaves similarly. The upper flow separates at the rear of the sample and merges with the flow from the lower side. Figure 3(d1) shows the flow of the gas upon hitting the centre of the sample, and figure 3(d2) is the same as figure 3(d1) with flow edges clarified by image processing. This photograph shows that the gas that hits the centre of the spherical sample flows symmetrically around the sample.

Next, gas flows were observed around a nearly spherical flower. The flower used for this observation was a red clover (*Trifolium pratense*). Figure 4(a) shows a photograph of a red clover flower. The flower has a dense inflorescence. Figures 4(b) and (c) show the flow of gas ejected from the nozzle and applied from below the flower. The gas that hits the bottom of the nearly spherical flower flows symmetrically along the periphery of the flower. This is also the Coandă effect. Other symmetrical flows can also be observed at the upper part of the flower. The gas flow velocity shown in figure 4(c) was higher than that in figure 4(b). From these observations, taking into account gas viscosity, it can be inferred

A Matsutani



Figure 3. Observation of airflow around spherical plant fruit sample. Left: raw images and right: after image processing. (a) Yoshino cherry blossom fruit used in this experiment, (b1), (b2) gas flow when sample is not hit by gas, (c1), (c2) gas flow hitting bottom of sample, and (d1), (d2) gas flow hitting centre of sample.

that the aggregate of inflorescence functions as a larger structure.

3.2. Gas flow around propeller-shaped structure

Next, the gas flow around a symmetrical propellershaped structure was observed using a Japanese maple (*Acer palmatum*) seed. Figure 5(a) shows a photograph of the propeller of a Japanese maple





Figure 4. Photographs of gas flow around red clover flower: (a) close-up image of red clover flower, and (b)–(c) Schlieren images of gas flow around red clover flower.

seed. The seed has a pair of winged samaras, each approximately 1.5 cm long, with seeds visible at their base. This photograph was taken in May. When the seed ripens in autumn, it flies as it rotates in the wind. Figures 5(b)-(d) show the flow of gas ejected from the nozzle and applied from below the seed. The gas that hits the lower part of the samara flows symmetrically along the outer circumference of the wings. This is also the Coandă effect. In addition, symmetrical flow patterns such as the 'U' shape appeared at the upper part of the samaras as shown in figure 5(d). Figure 5(e) shows the gas flow around a single samara. It can be seen that even a single wing is sufficient to affect the gas flow induced by the Coandă effect.

3.3. Gas flow around narrow gap structure

The flow of gas around another type of flower the was also observed. The flower of annual fleabane (*Erigeron annuus*) was used for this observation. Figure 6(a) shows a photograph of annual fleabane flowers. The flower heads have many white ray florets. Figures 6(b) and (d) show the flow of gas ejected from the nozzle and applied from below the sample. When the gas collides with the lower part of the sample, it flows symmetrically along

Observation of gas flow around plants using Schlieren imaging system



the outer circumference of the flower. This is also the Coandă effect. It can also be seen that there is a relationship between the gap structure and the flow velocity such that the radial gas flow through gaps of less than 1 mm between ray florets can also be observed as shown in figure 6(d).

3.4. Gas flow around aggregate of fine fluffs

Finally, gas flow around a pappus was also observed. A pappus of the dandelion was used for this observation. Figure 7(a) shows a photograph of a pappus of the dandelion. Figure 7(b) shows an optical microscopy image of the dandelion pappus. It can be seen that among

Figure 6. Photographs of gas flow around annual fleabane flower [16]: (a) close-up image of annual fleabane flower, and (b)–(d) Schlieren images of gas flow around annual fleabane flower. Reproduced from [16]. CC BY 4.0.

the approximately 100 main fluffs with a diameter of approximately 20 μ m, there are short fluff-like branches. As shown in figures 7(c)–(g), various pattern of gas flow around the pappus can be observed. In this experiment, the gas was sprayed at a flow rate of less than 0.4 m s⁻¹. In figures 7(c)–(e), symmetrical flows were observed around the pappus. It can also be observed that the gas flow was affected by the pappus even in distant

A Matsutani



Figure 7. Photographs of dandelion pappus [17]: (a) close-up image of pappus, (b) optical microscopy image of pappus, and (c)-(g) Schlieren images of gas flow around dandelion pappus. Reproduced from [17]. CC BY 4.0.

regions. Additionally, as shown in figures 7(f) and (g), an asymmetrical vortex formation can be observed when the gas was applied slightly from the side. From these observations, taking into account gas viscosity, it can be inferred that the aggregate of fine fluffs functions as a larger structure.

4. Discussion

The above experimental results revealed that plant fruits, flowers, and pappi have excellent properties as samples for use in the observation of the fluidic dynamics of gas flows around them. Since the above phenomenon is the behaviour of the flow during its relative motion toward the object, let us roughly estimate the Reynolds number. The Reynolds number is used to characterize various flows, such as laminar and turbulent flows. Laminar flows, in which viscous forces dominate, have low Reynolds numbers. On the other hand, turbulent flows are dominated by inertial forces and have high Reynolds numbers. Vortex profiles are associated with Reynolds number. The Reynolds number R_e is expressed as follows.

$$R_e = \rho v L/\mu, \tag{1}$$

where ρ is the density of the fluid, v is the speed of the fluid, L is a characteristic length, and μ is the dynamic viscosity of the fluid. For HFC134a, ρ is 30 kg m⁻³ and μ is approximately 12 μ Pa·s [18]. In the experiment shown in figure 3, when v is approximately 2 m s⁻¹ and L is 2 cm, the Reynolds number R_e is estimated to be approximately on the order of 10^5 . In contrast, the example shown in figure 7 shows vortices. Owing to the reduced velocity (cm s^{-1}) and L, the Reynolds number is expected to be below 1000, i.e. it is about a factor of 100 lower. When L is 1 cm, vis estimated to be approximately on the order of cm s^{-1} . This flow rate is considered reasonable considering that it could not be measured with an anemometer. Gas flow is observed in this system as a three-dimensional phenomenon. It was also found that the microstructures of plants act as a larger structure affecting gas flow, considering the viscosity of gas. The fact that gas flows around an object can be visualized even with such a simple experimental setup indicates that various objects can be used as observation targets. However, any HFC used in this experiment has-compared with chlorofluorocarbon (CFCs)-a small ozoneaffecting potential but a large greenhouse warming potential (GWP). The GWP of HFC-134a is 1300. Therefore, the use of other smaller GWP gases may be possible, for example, gases with a different refractive index such as Kr (n = 1.00043)at 0 °C, 1 atm) and CO₂ (n = 1.000 45 at 0 °C, 1 atm) so this visualization experiment can be easily used in classrooms. Schlieren observations of plants of various shapes as described above will be useful for intuitively understanding the physical behaviour of gas flows around objects. Therefore, this experimental method using plants seems to be very suitable for scientific, technological, and engineering teaching demonstrations of, for example, optics and fluidics to stimulate the interest of students in science.

Next, let us discuss the optics. The optical system for this experiment included two telescopes, but magnifying glasses, camera lenses, or close-up lenses could also be used instead of two objective lenses. However, it is necessary to use a lens with little chromatic aberration. Single lenses have chromatic aberration. Therefore, monochromatic images are often observed using a bandpass filter when single lenses are used. Therefore, spherical mirrors without cromatic abberation are often used in Schlieren optical systems. These lenses of the astronomical telescope used in this experiment were apochromatic lenses. Therefore, chromatic and spherical aberrations are well corrected such that the focal spot diameter of the objective lens of this telescope is approximately 30 μ m for plane waves (collimated light). Each colour of light from the C-line (656 nm) to G-line (430 nm) of Fraunhofer lines is focused within ± 0.1 mm [19]. Therefore, sharp Schlieren images were obtained as shown in the above mentioned figures. In this experiment, a pinhole with a diameter of 0.35 mm was used to ensure a sufficient amount of light. By using a pinhole with a diameter larger than the spot size, we can increase the tolerance for the spatial adjustment of the knife edge at the focal point by approximately 10 times, which also helps improve the operability of the optical system in experiments.

5. Conclusion

In this study, the gas flow around cherry blossom fruits, clover flowers, maple seed propellers, annual fleabane flowers, and dandelion pappi was demonstrated using a homemade Schlieren optical system and a jet from a spray can. The observed gas flow corresponding to the sample shape was well characterized by fluid dynamics features such as the Coandă effect. The author believes that the experimental results of visualizing the flow of gas around plants have a scientific impact and are useful as an educational tool for the scientific demonstration of fluidics and optics.

A Matsutani

Data availability statement

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

ORCID iD

Akihiro Matsutani b https://orcid.org/0000-0003-4073-7894

Received 6 February 2024, in final form 2 April 2024 Accepted for publication 24 April 2024 https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad42f8

References

- [1] Settles G S 2001 Schlieren and Shadowgraph Techniques: Visualizing Phenomena in Transparent Media (Springer)
- [2] Settles G S and Hargather M J 2017 Meas. Sci. Technol. 28 042001
- [3] Li G, Agir M B, Kontis K, Ukai T and Rengarajan S 2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1215 012021
- [4] Fang Q, Li Z-Y, Yu Q, Zou C, Li S and Luo D 2021 Phys. Educ. 56 065016

- [5] Kudo N, Ouchi H, Yamamoto K and Sekimizu H 2004 J. Phys.: Conf. Ser. 1 146
- [6] Huang C, Gregory J W and Sullivan J P 2007 Meas. Sci. Technol. 18 N32
- [7] Lekholm V, Rämme G and Thornell G 2011 Phys. Educ. 46 294
- [8] Veith S I and Friege G 2021 *Phys. Educ.* 56 025024
- [9] Bunjong D, Pussadee N and Wattanakasiwich P 2018 J. Phys.: Conf. Ser. 1144 012097
- [10] Abed M E 2016 Phys. Educ. 51 015008
- [11] Gopal V, Klosowiak J L, Jaeger R, Selimkhanov T and Hartmann M J Z 2008
 Eur. J. Phys. 29 607
- [12] Liu Y, Roll J, Kooten S V and Deng X 2018 Biol. Lett. 14 20180198
- [13] Gates D M 1965 Sci. Am. 213 76
- [14] Cummins C, Seale M, Macente A, Certini D, Mastropaolo E, Viola I M and Nakayama N 2018 Nature 562 414
- [15] Matsutani A 2022 Phys. Educ. 57 055011
- [16] Matsutani A 2023 Oyo Buturi 92 63
- [17] Matsutani A 2021 O Plus E 43 567 (available at: www.adcom-media.co.jp/pic/2021/11/25/ 42604/)
- [18] Kitakawa N S, Takahashi M and Yokoyama C 1998 Int. J. Thermophys. 19 1285
- [19] (Available at: www.starbase.co.jp/SHOP/TS-Te09-2.html)

S & M 3600

Microfabrication of Si by KOH Etchant Using Etching Masks Amorphized by Ion Beam Extracted From Electron Cyclotron Plasma

Mina Sato,* Mie Tohnishi, and Akihiro Matsutani

Semiconductor and MEMS Processing Division, Open Facility Center, Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsuta, Yokohama 226-8501, Japan

(Received December 22, 2023; accepted February 2, 2024)

Keywords: Si, KOH, ion beam, amorphous, microfabrication

We demonstrated KOH etching with an etching mask amorphized by ion irradiation. Amorphized masks were prepared by irradiating ion species (Ar^+ , Kr^+ , Xe^+ , N^+ , O^+) at an ion energy of 500 eV with an electron cyclotron resonance ion shower system. The parameters for KOH etching were also studied. In addition, we fabricated structures with an aspect ratio of over 3000 and microfluidic devices using the proposed microfabrication technique. This technique is expected to be useful for the microfabrication of Si structures.

1. Introduction

Etching techniques are essential for MEMS device manufacturing processes and are categorized into two major types: wet etching and dry etching. These techniques are used according to the shape, size, and application of the structure to be fabricated.^(1,2) Wet etching is a highly productive technique because it involves a chemical reaction, which causes less damage to the etched surface than dry etching. Anisotropic chemical wet etching of Si with KOH solution is widely used to fabricate microstructures such as V-shaped structures and bridges using the principle that the etching rate depends on the crystal plane. Silicon oxide or silicon nitride is often used as an etching mask. These masks need to be removed with, for example, HF solution after etching.⁽³⁻⁶⁾

To avoid the need for mask removal, a process that combines nanoscale fabrication with a focused ion beam (FIB) and etching with an alkaline solution is used. This phenomenon is known as ion-bombardment-retarded etching (IBRE).⁽⁷⁾ Single-crystal silicon is irradiated with Ga or Si at an ion energy of 10 to 60 keV using FIB equipment, and the irradiated area becomes amorphous. The irradiated area can be used as a mask for alkali etching.^(8–14) This technique improves productivity because there is no need to deposit a thin film before etching or to remove the mask after etching. Furthermore, it has recently become possible to fabricate nanostructures with complex 3-D structures, and their application to nanowires has been demonstrated.^(15–16)

However, it has low throughput because a very small area on the order of 100 μ m is used for microstructure fabrication because of the use of an FIB.

Therefore, we have been focusing on the use of low-energy ion beams with an electron cyclotron resonance (ECR) ion source. The beam diameter of the ECR ion source is 10 to 200 mm,^(17–19) which enables the amorphization of large areas. Furthermore, this approach is advantageous for controlling the amorphized region, since the ion energy, ion species, and dose can be controlled.

We previously demonstrated that Si amorphized masks fabricated by Ar^+ irradiation to Si are resistant to KOH etching. In addition, we have discussed the dependence of the etching depth on ion irradiation parameters such as incidence angle, dose, and ion energy. We were able to fabricate structures of up to 3.7 mm depth. In addition, we reported that this technique can be used to fabricate microfluidic devices and single-cell isolation plates.⁽²⁰⁾ To fabricate more deeply etched structures, it is necessary to increase the etching rate ratio of the amorphized Si mask to the Si crystal.

In this study, to improve the etching rate ratio, we investigated the effect of the parameters of KOH solution (KOH concentration and temperature) when etching with amorphized masks. Furthermore, we applied N^+ and O^+ , which have a larger ion range than Ar $^+$ and were expected to increase the thickness of the amorphous layer, and Kr $^+$ and Xe $^+$, which have a large atomic number and low ionization energy, to increase the defect density in the surface layer and improve the etching resistance.⁽²¹⁾ Ion bombardment by Xe has the effect of increasing subsurface defects.⁽²²⁾

We also analyzed the amorphized mask layer by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) to measure its composition and binding energy in relation to its KOH etching resistance. Finally, we fabricated structures of Si(110) with a high aspect ratio and microfluidic devices bonded to glass by anodic bonding without a mask removal process.

2. Experimental Setup

Figure 1 shows a schematic diagram of the ECR ion shower system (Elionix EIS-200ER) used in this study. Gas introduced into the system ionizes in the plasma. The ions are accelerated by two grids with many holes and irradiated to the sample. The ion energy and ion current



Fig. 1. (Color online) Schematic diagram of ECR ion shower system used in this study.

density can be independently controlled in this system. The ion current density is measured with a Faraday cup. We used Ar, Kr, Xe, O₂, and N₂ gas as plasma sources and Si(100) and Si(110) substrates as samples. The size of the Si substrate was 10×10 mm². On the Si substrate, a mask pattern was prepared with photoresist (AZ5214E). The resist patterns were 100 mm line and space. Si was treated with buffered hydrogen fluoride (BHF) before mask pattern fabrication. After ion irradiation, the photoresist was removed with acetone. Then, the samples were etched with KOH aqueous solution. The height of the structures was measured with a stylus surface profilometer (Veeco, Dektak 150). The cross section of the structure was observed by SEM (Hitachi High-Tech, FlexSEM1000II). An area of φ 400 mm of the surface of the amorphized Si mask was measured by XPS (Thermo Fisher Scientific, Nexsa) using an Al K α X-ray source. The Si2p spectra were measured at an energy resolution of 0.05 eV and a pass energy of 25 eV. The background was removed using the Shirley method.

The amorphized mask formed by ion irradiation was expected to be very thin owing to the short range of ion penetration in the Si . Therefore, we used h_s (saturated step height), as schematically shown in Fig. 2, to evaluate the etching resistance. The Si substrate was etched by KOH etchant as a mask using the region amorphized by ion irradiation. The height of the structure increased with the etching time. After a particular etching time, the mask disappeared and the Si structure height became saturated. We defined the height of this structure as h_s , where a large h_s means that the KOH etching resistance of the ion-irradiated area is high. Table 1 shows the irradiation parameters for each ion (Ar⁺, Kr⁺, Xe⁺, O⁺, and N⁺) in this experiment. The ion energy and dose were set to fixed values. Although the sample is etched during ion irradiation, the etching depth is less than 10 nm and does not influence the h_s evaluation.



Fig. 2. (Color online) Schematic diagram of h_s .

Table 1						
Ion irradiation parameters.						
Gas	Ar	Kr	Xe	O ₂	N2	
Ion energy (eV)	500					
Dose (ions/cm ²)	5×10^{17}					
Current density (mA/cm ²)	0.85					
Ion incidence angle (°)	7					
Gas fow rate (sccm)	0.8	0.4	0.2	1.3	1.0	
Microwave power (W)	60	75	100	80	70	

3. Experimental Results

3.1 KOH solution temperature dependence of h_s

Figure 3 shows the relation between the KOH solution temperature and h_s when the Si(100) substrate was irradiated with each type of ion, the KOH concentration was 40 wt%, and the temperature of the KOH solution was 20, 40, or 60 °C. SEM images of the cross sections of the structures fabricated using the masks prepared by N⁺ or Kr⁺ irradiation are shown in Fig. 3. h_s decreased with increasing KOH temperature for all ion species. This result is similar to the decrease in the etching rate ratio of Si to SiO₂ masks with increasing temperature when Si is etched with KOH solution.⁽²³⁾ h_s depended on the ion species and decreased in the order N⁺ > Xe⁺ > Ar⁺ > O⁺ > Kr⁺.

3.2 KOH concentration dependence of h_s

Figure 4 shows the relation between the KOH concentration and h_s when the Si(100) substrate was irradiated with each ion, the temperature of the KOH solution was 20 °C, and the KOH concentration was 20, 30, 40, or 50 wt%. h_s for the N⁺-irradiated sample was largest for 40 wt% KOH solution. This result shows that amorphized masks subjected to N⁺ irradiation are highly etching resistant and suitable for fabricating structures. Etching with the 40 wt% KOH solution was found to be optimal. h_s for the samples irradiated with Ar⁺ or Xe⁺ decreased slightly with increasing KOH concentration. This result is similar to the decrease in the etching rate ratio of Si to SiO₂ masks with increasing concentration of KOH.⁽²⁴⁾ h_s for the samples irradiated with O⁺ or Kr⁺ was small and did not depend on the KOH concentration.

3.3 Etching rate ratio

We calculated the depth range of each ion in Si using the Transport of Ions in Matter (TRIM) simulation program to estimate the thickness of the amorphous layer formed by ion irradiation.⁽²¹⁾



Fig. 3. Relation between temperature of KOH solution and h_s .

Fig. 4. Relation between KOH concentration and h_s .

The damage event generated by each ion irradiated in Si was calculated. The maximum depth was estimated as the maximum thickness of the amorphous layer.^(25–27) The simulation conditions were Si with an atomic weight of 28.08 amu, a displacement energy of 15 eV, a surface binding energy of 2 eV, a lattice binding energy of 4.7 eV, and total number of ions of 1×10^4 . The ion incidence angle used in the calculations was 7°. Table 2 shows the calculated thickness of the amorphous layer by simulation. In a previous report,⁽²⁰⁾ we calculated the thickness of the amorphous layer using the Stopping and Range of Ions in Matter (SRIM) simulation program. We estimated the thickness as the sum of the depth range of ions and the straggling depth. However, we considered that the straggling depth would be significantly influenced by the type of ion used in this experiment. Therefore, the maximum thickness of the amorphous layer was considered on the basis of the damage events induced by ion irradiation. Figures 5 and 6 show the obtained KOH etching rate ratios calculated from the thickness of the amorphous layer for each ion.

The etching rate ratio depended on the ion species and decreased in the order $N^+ > Xe^+ > Ar^+$ > $O^+ > Kr^+$. The etching rate ratio was the highest (over 3000) when the samples were irradiated with N⁺. Therefore, to fabricate vertical shapes with a high aspect ratio, the structures were fabricated by KOH etching using N⁺-irradiated masks in Si(110) substrates. Figure 7 shows a SEM image of the fabricated structure. The dimensions of the mask pattern were 20 mm line and space, and the etching conditions were KOH solution temperature of 20 °C and concentration of 40 wt%. Etching was performed for 53 h. The structure became tapered due to undercut. In this experiment, the etching rates with KOH solution were 15 nm/min for Si(100) and 30 nm/min for Si(110), which was twice as fast. On the other hand, h_s was 31 µm for Si(100) but 91 µm for Si(110), about three times higher. This means that the etching resistance was improved in Si(110)

 Table.2

 Thickness of amorphous layer determined by TRIM simulation.

 Ar Kr Xe O N

 Thickness of a-layer (nm)

 7.5
 6.4
 5.4
 9.1
 9.9





Fig. 5. Relation between temperature of KOH solution and etching rate ratio (Si/a-Si).

Fig. 6. Relation between KOH concentration and etching rate ratio (Si/a-Si).



Fig. 7. Structure with high aspect ratio fabricated with Si (110).

despite the same ion irradiation parameters. It is considered that the amorphized mask fabricated in Si(110) has a thicker layer than the one fabricated in Si(100) due to the channeling effect.^(28,29)

3.4 XPS analysis of amorphized masks

We analyzed Si amorphized masks irradiated with ions by XPS to measure the composition and binding energy of the mask. Figure 8 shows the widescan XPS spectra of samples irradiated with each ion. Figure 9 shows the XPS spectra of Si2p. Two peaks around 100 eV were observed in the spectra of Si2p without ion irradiation shown in Fig. 9. After ion irradiation, the spectra of Si2p are broad peaks. This indicates that the Si surface is amorphous.⁽³⁰⁾

The Si2p spectra have binding energy peaks around 103.4 eV for SiO₂, 102.5 eV for SiN_xO_y, 101.6 eV for Si₃N₄, and 100.8 eV for SiN_x.⁽³¹⁾ Therefore, some of the Si in the region irradiated with Ar, Kr, or Xe ions was bonded with nitrogen or oxygen. Also, Si in the O⁺-irradiated region was mainly bonded to oxygen, and Si in the N⁺ irradiated region was mainly bonded to nitrogen.

Table 3 shows the surface composition obtained by XPS analysis. The Si surface, which functions as an etching mask and is implanted with Ar^+ , Kr^+ , or Xe^+ , contains about 1 at% of each element.

4. Discussion

As described above, we etched Si with KOH solution using a mask amorphized by ion irradiation. The N⁺-irradiated sample exhibited a maximum etching rate ratio of 3000 or more, significantly higher than that of the other ion species. Typically, ion irradiation with an inert gas causes Si–Si bonds to break and the material to become amorphous.⁽³²⁾ Then, oxygen is adsorbed on the broken dangling bonds, which are activated in the atmosphere.⁽³³⁾ However, it is considered that nitrogen is preferentially adsorbed on the dangling bonds by irradiation with N⁺.⁽³⁴⁾ We anticipate that the amorphized mask in this experiment is not a pure SiN layer. We also etched Si with KOH solution as a mask for a SiN thin film deposited by Low Pressure Chemical Vapor Deposition (LP-CVD) under the same etchant conditions as before. The obtained etching rate ratio was about 80000. Therefore, the N⁺ irradiated region might be partly bonded with nitrogen in addition to the amorphized Si surface. We were able to fabricate masks that are resistant to KOH etching due to the synergistic effect of these factors.



Fig. 8. (Color online) XPS spectra of samples irradiated with each ion (Ar⁺, Kr⁺, Xe⁺, O⁺, and N⁺).



Fig. 9. XPS spectra of Si2p.

Table 3Surface composition obtained from XPS spectra (in atomic percent).

	Si	Ν	О	Others
Ar (at%)	50	13	36	1 (Ar)
Kr (at%)	57	7	35	1 (Kr)
Xe (at%)	49	8	41	1 (Xe)
O (at%)	36	ND	64	ND
N (at%)	42	29	30	ND
Si-sub (at%)	76	ND	24	ND

Next, the etching rate ratios of the samples irradiated with Ar^+ , Xe^+ , and Kr^+ were compared. The etching rate ratio of the ion-irradiated samples decreased in the order $Xe^+ > Ar^+ > Kr^+$. We consider that this is because the defect density is higher in the Xe^+ -irradiated sample than in the Ar^+ -irradiated sample. Although the thickness of the amorphous layer was estimated to be lower in the Xe^+ -irradiated sample than in the Ar^+ irradiated sample, the XPS analysis results show similar values in nitrogen and oxygen concentrations and spectra. Therefore, we consider that the etching rate ratio increased because of the increase in the defect density and the large amount of bonding of Si with O and N.

The intensity of the Si2p spectra of the Kr⁺-irradiated samples was greater than those of the Xe⁺- and Ar⁺-irradiated samples, indicating that the amorphous layer was thinner in the Kr⁺- irradiated samples. As described in Ref. 35, amorphization and etching occur simultaneously during ion irradiation. The etching rate of Kr⁺ irradiation is large. As a result, the amorphous layer resulting from irradiation with Kr was thinner, and the KOH etching resistance was lower.

Amorphized masks irradiated with O^+ had lower resistance to KOH etching than masks irradiated with Ar^+ , Xe^+ or N^+ . In addition, no nitrogen was observed in the mask layer. SiO₂ and SiN are often used as etching mask materials in the etching of Si with KOH. In general, the etching rate ratio of SiN is larger than that of SiO₂. Therefore, in addition to amorphization, the increased nitrogen content in the amorphized mask may contribute to the improved resistance to KOH etching.

In addition, the difference in h_s between the center and the edge of the sample (10 × 10 mm²) was a maximum of 6% for N⁺ irradiation and 3% for other ion irradiation, so the h_s accuracy is estimated to be within 10% for an effective beam diameter of 20 mm. These values are similar to those of widely used plasma systems. We believe that the proposed method can be scaled up to large areas.

5. Application to Fabrication of Microchannel Using Anodic Bonding

We fabricated a microfluidic device using anodic bonding, which is a technique for bonding borosilicate glass and Si. Figure 10(a) shows a schematic diagram of the anodic bonding setup in this experiment. A DC voltage of 500 V was applied to the Si side, which acted as an anode



Fig. 10. Microchannel fabricated by anodic bonding. (a) Schematic diagram of the anodic bonding setup used in this experiment. (b) Image of IPA flowing through a microchannel.

during heating to 400 °C for 40 min.^(36–38) Positive ions such as Na⁺ in the glass moved to the cathode. A layer with a small number of positive ions was formed at the glass-side interface. Positive charges appeared at the Si-side interface. Thus, they attracted each other by the Coulomb force. Finally, bonding between the Si and the borosilicate glass occurred through the reaction of oxygen supplied by the glass and elements on the Si side.

Microchannels were fabricated by KOH etching using the ion-irradiated amorphized Si masks reported in this paper. The structures fabricated by this technique do not require the removal of the mask, and it is possible to bond them to glass by anodic bonding. Trenches as high as 3.3 mm were fabricated on Si(100) substrates by irradiating N⁺ at 500 eV and etching with KOH solution (40 wt%, 20 °C, 230 min). The Si was bonded to borosilicate glass. Figure 10(b) shows images of a solution flowing through a microchannel. We demonstrated that 2-propanol was able to flow in the fabricated microchannel. The amorphized Si and glass were well bonded, and no leakage was observed. Thus, we were able to fabricate a microchannel using anodic bonding.

6. Conclusion

We employed KOH etching using an amorphized mask irradiated with Ar^+ , Kr^+ , Xe^+ , N^+ , and O^+ to improve etching resistance. Xe⁺-irradiated masks had a higher defect density of the amorphous layer and a higher etching rate ratio than Ar^+ -irradiated masks. N⁺-irradiated masks significantly improved the etching resistance, which was due to the Si–N bonding, in addition to increasing the thickness of the amorphous layer.

We also succeeded in the anodic bonding of amorphized Si surface and glass. Amorphous layers formed by N^+ irradiation and glass could also be bonded. Since anodic bonding through insulating films such as nitride films is not easy, anodic bonding using an amorphous layer that functions as an etching mask is an excellent method for fabricating microfluidic devices. We believe that KOH etching with a mask by N^+ ion irradiation can be applied to the fabrication of high-aspect-ratio structures through anodic bonding, which does not require a mask removal process after KOH etching.

Acknowledgments

The XPS measurements were performed at the Nagaoka University of Technology Analysis and Instrumentation Center. We sincerely thank M. Kondo and Y. Ueno of the center for technical assistance. This work was the result of using research equipment shared in the MEXT Project for Promoting Public Utilization of Advanced Research Infrastructure (Program for Supporting Construction of Core Facilities) Grant Number JPMXS0440200023.

References

- 1 J. W. Cobum and Harold F. Winters: J. Vac. Sci. Technol. 16 (1979) 391.
- 2 H. Robbins and B. Schwartz: J. Electrochem. Soc. 107 (1960) 108.
- 3 D. B. Lee: J. Appl. Phys. 40 (1969) 4569.
- 4 K. E. Bean: IEEE Trans. Electron Devices 25 (1978) 1185.
- 5 K. Sato, M. Shikida, T. Yamashiro, M. Tsunekawa, and S. Ito: Sens. Actuators 73 (1999) 122.
- 6 M. Shikida: J. Surf. Finish. Soc. Jpn. 59 (2008) 84 (in Japanese).
- 7 M. Masahara, Y. Liu, S. Hosokawa, T. Matsukawa, K. Ishii, H. Tanoue, K. Sakamoto, T. Sekigawa, H.
- Yamauchi, S. Kanemaru, and E. Suzuki: IEEE Trans. Electron Devices 51 (2004) 2078.
- 8 B. Schmidt, L. Bischoff, and J. Teichert: Sens. Actuators, A 61 (1997) 369.
- 9 H. Fuhrmann, M. Döbeli, R. Kötz, R. Mühle, B. Schnyder: J. Vac. Sci. Technol. B 17 (1999) 3068.
- 10 N. Kawasegi, K. Shibata, N. Morita, K. Ashida, J. Taniguchi, and I. Miyamoto: Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng. C.70 (2004) 2541 (in Japanese).
- 11 N. Kawasegi, N. Morita, S. Yamada, N. Takano, T. Oyama, K. Ashida, and J. W. Park: Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng. C. **71** (2005) 2035 (in Japanese).
- 12 M. Koh, S. Sawara, T. Shinada, T. Goto. Y. Ando, and I. Ohdomari: Appl. Surf. Sci. 162 (2000) 599.
- 13 A. J. Steckl, H. C. Mogul, and S. Mogren: Appl. Phys. Lett. 60 (1992) 1833.
- 14 J. Brugger, G. Beljakovic, M. Despont, N. F. de Rooij, and P. Vettiger: Microelectron. Eng. 35 (1997) 401.
- 15 V. Garg, R. G. Mote, and J. Fu: Appl. Surf. Sci. 526 (2020) 146644.
- 16 R.Bottger, L. Bischoff. B. Schmidt, and M. Krause : J. Micromech. Microeng. 21 (2011) 095025.
- 17 T. Masuzawa: J. Jpn. Soc. Precis. Eng. 55 (1989) 270 (in Japanese).
- 18 T. Masuzawa, I. Tsuchiya, and N. Kinoshita: CIRP Ann. 33 (1984) 105.
- 19 S. Matsuo and Y. Adachi: Jpn. J. Appl. Phys. 21 (1982) L4.
- 20 M Sato, M Tohnishi, and A Matsutani: Sens. Mater. 34 (2022) 37.
- 21 SRIM2013: <u>http://www.srim.org</u> (accessed December 2023).
- 22 M. E. Day, M. Delfino, W. Tsai, A. Bivas, and K. N. Ritz: J. Appl. Phys. 74 (1993) 5217.
- 23 P. Pal, A. Ashok, S. Haldar, Y. Xing, and K. Sato: Micro Nano Lett. 10 (2015) 224.
- 24 H. Seidel, L. Csepregi, A. Heuberger, and H. Baumgarte: J. Electrochem. Soc. 137 (1990) 3612.
- 25 M.Ishii, Y. Hirose, T. Satoh, T. Ohwaki, and Y. Taga : J. Vac. Sci. Technol. A 15 (1997) 820.
- 26 N. Kawasegi, N. Morita, S. Yamada, N. Takano, T. Oyama, S. Momota, J. Taniguchi, and I. Miyamoto: Appl. Surf. Sci. **253** (2007) 3284.
- 27 K. Eriguchi Y. Nakakubo, A. Matsuda, Y. Takao, and K. Ono: Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 056203.
- 28 Y. Okada, K. Eriguchi and K. Ono: Proc. Int. Conf. Integrated Circuit Design and Technology (2015) 15311526.
- 29 T. Itoh, T. Tsurushima, K. Yata, and I. Ohdomari: Ion Implantation (SHOKODO, Tokyo, 1976) (in Japanese).
- 30 Z. H. Lu, D. F. Mitchell, and M. J. Graham: Appl. Phys. Lett. 65 (1994) 552.
- 31 M. Matsuoka, S. Isotani, W. Sucasaire, L.S. Zambom, and K. Ogata: Surf. Coat. Technol. 204 (2010) 2923.
- 32 S. Yamasaki, U. K. Das, and K. Ishikawa: Thin Solid Films 407 (2002) 139.
- 33 S. Yamasaki: Oyo Buturi. 75 (2006) 1487 (in Japanese).
- 34 K. Ishikawa, Y. Yamaoka, M. Nakamura, Y. Yamazaki, S. Yamasaki, Y. Ishikawa, and S.Samukawa: J.Appl. Phys.99 (2006) 083305.
- 35 G. Kono, M. Fujino, D. Yamashita, K. Watanabe, M. Sugiyama, Y. Nakano, and T. Suga: Proc. Int. Conf. ICEP-IACC 2015 (2015) 478.
- 36 G. Wallis: J. Am. Ceram. Soc. 53 (1970) 563.
- 37 M. Esashi: 3D and Circuit Integration of MEMS (WILEY-VCH, 2021, Weinheim) Chap. 11.
- 38 M. Takahashi: NEW GLASS 25 (2010) 7 (in Japanese).

Optical Properties of Yeast Cell as a Microlens

Akihiro Matsutani

Semiconductor and MEMS Processing Division, Open Facility Center, Tokyo Institute of Technology,

4259 Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 226-8503, Japan

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

A sphere is a very basic shape in nature. A water droplet on a leaf with a water-repellent structure is a good example. When sunlight hits the surface of this spherical water droplet, a focal point is observed on its other side, so spherical objects in nature function as optical devices. Spherical cells of biological origin are found in many microorganisms, and the yeast cell is a single-celled eukaryotic model organism with a nearly spherical shape. When observing a yeast cell under a microscope, we can see that its curved surface functions as a lens to converge light. We can consider applying this phenomenon to optical teaching materials. However, there are few examples of images obtained using spherical microbial cells with a diameter of less than 5 μ m as a lens, except for *Chlamydomonas* with a diameter of 10–20 μ m [1]. In this study, we measured the focusing properties and refractive index of yeast cells as a microlens.

Figure 1 shows a schematic of this experimental method. A collimated laser light (λ =670 nm) is incident on a spherical sample. First, the position of the focal spot is measured by using an optical microscope. Next, the position of the rear vertex of the curved surface of the sample is measured under visible light with epi-illumination. The distance between these positions is obtained as the back focal length (BFL). The diameter of the sample is measured under visible light with an optical microscope. The refractive index is calculated geometrically from information such as the radius of curvature of the sample surface. Figure 2 shows an optical microscopy image of the sapphire ball lens and the focal spot image of the laser light measured using the above method. The diameter and BFL of the sapphire ball lens were measured to be 550 µm and 40 µm, respectively. The refractive index calculated from the equation based on the geometric optics of the focal position, diameter, and refractive index of the ball lens was 1.75, which is equivalent to the physical property value. These results confirmed the effectiveness of this method. Next, BFL was measured in the same way using commercially available dry yeast cells. The cells were dispersed in water, dropped onto a slide glass, and dried in air. The BFL of the yeast cells was measured using a 100x objective lens (NA 0.75). Since actual yeast has a shape similar to a thick biconvex lens rather than a ball lens, the radius of curvature of the biconvex surface was measured by fitting on the SEM image. Figures 3(a) and 3(b) respectively show the optical microscopy image and the laser light spot focused by the yeast cells. The focal spot size of the yeast cells was small circle and indicate good focusing properties. The BFL of the yeast cell was 3.7-3.8 µm. Figure 3(c) shows an SEM image with the fitted circle of the radius of curvature of the biconvex surface. The radius of curvature of the biconvex surface of the observed yeast cell was about 3 µm. The refractive index of this yeast cell was estimated to be about 1.34-1.35 from this numerical information and the equation for a thick biconvex lens. Figure 4 shows the imaging results for a lattice pattern projected by yeast cells. The image of grating pattern projected using yeast cells has little distortion. From the above results, it is found that yeast cell has good optical properties as a microlens.

In summary, we believe that yeast cells are expected to be used as not only optical teaching materials but micro-optical elements.

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP24K06352.

References [1] N. Ueki, T. Ide, S. Mochiji, Y. Kobayashi, R. Tokutsu, N. Ohnishi, K. Yamaguchi, S. Shigenobu, K. Tanaka, J. Minagawa, T. Hisabori, M. Hirono, and K. Wakabayashi, *PNAS*, **113** (2016) 5299–5304.





Fig. 2 Optical microscopy images.(a) Sapphire ball lens and (b) focal spot of laser light obtained using the microscopy optical



Fig. 3 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 of circle of the radius of curvature of the biconvex surface.



Fig. 4 Imaging results for a lattice pattern projected by yeast cells. (a) Grating placed on the microscope lamp and (b) grating image projected by yeast cells.

Fig. 1 Schematic of this experimental method.

Submicrometer-sized Patterning of Photoresist by Electron Beam Projection Lithography Using Tabletop Scanning Electron Microscope System and Si Stencil Mask

Mina Sato, Mie Tohnishi, Miho Fujimoto and Akihiro Matsutani Tokyo Institute of Technology, Open Facility Center, Japan E-mail: sato.m.ar@m.titech.ac.jp

Electron beam projection lithography (EPL) technology is used to achieve high throughput while retaining high resolution. In low energy EPL (LEEPL), a stencil mask is placed close to a wafer coated with a resist and irradiated with electron beams. The stencil mask is made of polycrystalline diamond thin film. It is used in specialized equipment and exposed to a 2 kV electron beam [1]. If EPL can be performed with a tabletop Scanning Electron Microscope (SEM) system, it is expected to expand the range of applications to the fabrication of biochips that contain submicrometer-sized patterns. In this study, we demonstrate the use of EPL technology with a tabletop SEM system and Si stencil masks, and we show the results of lithography of submicrometer sized-patterns with an incident electron energy of 10 kV, which is typically used for a tabletop SEM system.

Figure 1 shows a schematic diagram of this experiment. The Si stencil mask is placed directly on top of the wafer coated with a resist and exposed using the observation mode of the tabletop SEM system. The resist is exposed to or shielded from the electron beam using the stencil mask. The electron depth range in Si is 1.5 μ m at an incident electron energy of 10 kV, calculated from the Kanaya/Okayama equation shown in Fig. 2[2]. Therefore, the thickness of the stencil mask should be larger than 1.5 μ m. The Si stencil mask was fabricated in this experiment by wet etching, which enables the etching of both side of the substrate simultaneously, thereby reducing the number of process steps compared with fabrication by dry etching. Figure 3(a) shows the process of stencil mask fabrication. An amorphized layer used as a mask for KOH etching is formed at the surface of the Si(110) substrate by ion irradiation [3]. This amorphized layer has an etching rate ratio above 10000 with respect to Si. The amorphized layer does not use SiO₂ or SiN films, therefore, charging does not occur in principle during electron beam exposure. The amorphized layer with a thickness of 15 nm was formed at the Si substrate surface by N⁺ irradiation at 1 keV. In this experiment, the thicknesses of the Si (110) substrate and stencil mask were approximately 300 μ m and 100 μ m respectively. As shown in Figure 3(b), anisotropic etching enables the fabrication of vertical profiles, and we applied it to the fabrication of stencil masks.

A tabletop SEM system (Hitachi High-Tech FlexSEM1000II) was used for EPL. AZ5214E (MicroChemicals) with thickness of 150 nm was used as a negative resist prepared in reversal exposure. Figure 4(a) shows an SEM image of the fabricated micrometer-sized stencil mask and the optical microscopy image and cross-sectional profile of the pattern after development by exposure with the tabletop SEM system. The cross-sectional profile was measured with a stylus surface profilometer (Veeco Dektak 150). The magnification of the SEM image was 50x in EPL, and the exposure area was 2.5 mm x 2 mm. The dose was estimated to be 50 μ c/cm². The specimen was developed after reversal bake and flood exposure. Tetramethyl ammonium hydroxide (TMAH) was used as the developer.

Figure 4(b) shows an SEM image of a submicrometer-sized stencil mask and an SEM image of the resist pattern after exposure and development. EPL using a tabletop SEM system shows that resist patterns of 10 micrometer and submicrometer sizes can be formed simultaneously. Although the width of the pattern after development became slightly lager, it was demonstrated that submicrometer sized patterns can be fabricated. This technique is expected to be applicable to forming even smaller patterns by optimizing the exposure conditions and working distance.

In summary, we demonstrated that the EPL technique using the Si stencil mask and tabletop SEM system is applicable to forming large patterns on the micrometer and submicrometer-sized patterns simultaneously. The optimization of stencil mask shape, thickness, and exposure conditions is expected to enable high- throughput submicrometer-sized pattern lithography using a tabletop SEM system. **Acknowledgement** This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP24H02574.

References [1] H. Nozue, A. Endo, A. Higuchi, H. Kasahara and Nobuo Shimazu, Oyo Buturi **71**, 421(2002). [2] K. Kanaya and S. Okayama, J. Phys. D. **5**, 43(1972). [3] M. Sato, M. Tohnishi and A. Matsutani, Sens, Mater. **34**, 37 (2022).



Fig. 4. (a) Micrometer-sized pattern: (upper)SEM image of the fabricated stencil mask and (bottom) optical microscopy image of the resist pattern after exposure and development and cross-sectional profile. (b) Submicrometer-sized pattern: (upper) SEM image of the stencil mask and (bottom) optical microscopy image of the resist pattern after exposure and development.

卓上 SEM とステンシルマスクを用いた EPL 法の開発

Patterning of resist by electron beam projection lithography using a tabletop SEM and stencil mask.

Science Tokyo RIM 機構 [°]佐藤美那, 遠西美重, 藤本美穂, 松谷晃宏

Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo.

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

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

電子線リソグラフィにおいて、高解像度を維持したまま高スループットの露光を実現するため、 ステンシルマスクをレジストウエハに近接させて設置し、ステンシルマスクを透過した電子線に より等倍露光する Electron- beam Projection Lithography (EPL)技術がある. これまでに、低エネルギ ーの電子線を用いた Low Energy EPL (LEEPL)では、専用の装置と多結晶ダイヤモンド薄膜で作製 したステンシルマスクを利用し、2 kV の電子線で一括露光する方法が報告されているが、本格的 な装置が必要であった[1]. EPL が汎用の卓上 SEM で実現可能であれば、サブミクロンサイズの パターンが含まれる Bio-chip の製作にも応用範囲の拡大が期待される.

本報告では、卓上 SEM とステンシルマスクでこの EPL 技術を実証した結果を報告する.

Fig.1 に本手法の概略図を示す.フォトレジスト AZ5214E を塗布した基板上 Si にステンシルマ スクを設置し、卓上 SEM (FkexSEM1000II, 日立ハイテク㈱製)の観察モードで露光した(加速電 圧 10kV, 露光面積は 2.5 mm×2 mm). レジストは Si ステンシルマスクにより遮蔽されなかった電 子線により露光される. Kanaya-Okayama の関係から, Si 中の飛程は加速電圧 10 kV で 1.5 μm で あるから、ステンシルマスクの厚さは 1.5 μm より厚ければ十分である[2].

Fig. 2(a)に本実験で使用したステンシルマスクの SEM 写真と Fig. 2(b)に卓上 SEM で露光した現 像後のレジストパターンの光学顕微鏡写真を示す.現像後のパターンはその幅がやや大きくなっ たが、本手法でサブミクロンオーダーのパターン作製も可能である事を実証した.露光条件や焦 点位置の最適化により、さらに微細なパターンの形成も可能であると考えられる.



Fig.1 Schematic diagram of this study

Fig.2(a) Stencil masks (b) Resist pattern

References [1] H. Nozue et al.; Oyo Buturi, 71(2002) 421. [2] K. Kanaya et al.; J. Phys. D. 5(1972)43 Acknowledgement This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP24H02574.

酵母細胞の屈折率の波長依存性の測定

Measurement of wavelength dependence of refractive index of yeast cells

東京科学大 リサーチインフラ・マネジメント機構, ^O松谷晃宏 Research Infrastructure Management Center, Institute of Science Tokyo, ^OAkihiro Matsutani¹

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

酵母細胞は細胞質が細胞膜で覆われた楕円体形状であることから両凸レンズとして機能する。 その集光特性と屈折率については光学顕微鏡と赤色レーザ光を用いて測定して報告した[1]。また, 酵母細胞を投影レンズとして格子模様を観察し,良好な結像性能があることも示した[2]。その投 影画像は,歪曲収差については比較的少なかったものの,画像処理ソフトで RGB の 3 色に分解 して比較すると,G画像が最もシャープで,R画像とB画像はややぼやけた画像であった。G画 像シャープなのは焦点合わせにヒトの眼を用いたことによる波長に対する視感度に起因するもの である。RとB画像がややぼやけた画像となるのは酵母細胞レンズに色収差が存在するためであ る。今回は,マイクロレンズとしての酵母細胞の屈折率の波長依存性を測定したので報告する。

屈折率の測定方法には、半導体レーザのコリメート光(レーザーポインターの光)を酵母細胞 に入射し透過させて光学顕微鏡によりバックフォーカスの距離(BFL)を測定し、試料の曲率半 径などの情報から幾何学的に屈折率を求める実験方法を用いた[1]。測定に用いた青(B),緑(G), 赤(R)の半導体レーザの波長はそれぞれ 450 nm, 532 nm, 670 nm である。各色の焦点位置は光 学顕微鏡の焦点合わせダイアルの目盛りから読み取ることが可能である。この結果、B 画像と G 画像の焦点位置は 0.8 µm, G 画像と R 画像の焦点位置は 0.45 µm の差があることがわかった。測 定した焦点距離を両凸レンズの式に代入して各色に対する屈折率を求めると、波長 450 nm での 屈折率は 1.495, 波長 532 nm での屈折率は 1.389, 波長 670 nm での屈折率は 1.347 となった。 Fig.1 に、酵母細胞による RGB の各波長での焦点像と酵母細胞の屈折率を示す。酵母細胞による 各色のレーザ光のスポットはそれぞれの画像でシャープな結像であることがわかる。また、各屈

折率を滑らかな曲線で結んで、フラウン フォーファのd線(587.56 nm)、F線 (486.1 nm)、C線(656.3 nm)に対する 屈折率を見積もり、これらの値からアッ ベ数 ν dを求めてみると約4となり、酵母 細胞は光学材料として大きな分散をもつ ことがわかった。酵母細胞のレンズとし ての集光機能と一般的な光学顕微鏡とレ ーザ光を用いた以上に示した光学性能の 測定方法は、光学教材としても有用と思 われる。

本研究は JSPS 科研費 JP24K06352 の 助成を受けたものです。



Fig. 1 Wavelength dependence of refractive index of yeast cells and focused spots.

References [1] 松谷晃宏, 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会, 16p-P07-22, 2024. [2] A. Matsutani, MNC2024, 15P-1-40, Kyoto, Nov. 2024.

ネガ型フォトレジスト SU-8 の電子線レジストへの応用

○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るが、近 接効果^[1]や現像前ベーク(PEB)による架橋反応^[2]により、近接するパターン同士が結合しやすく、高密 度のパターン形成が難しい。先行研究^[2]では、レジストの薄膜化と PEB 温度の調整により直径約 0.1 μm の周期的なピラーの作製に成功したと報告されている。

我々は近接効果および架橋反応に着目し、SU-8の薄膜化と PEB 温度の調整により、電子線リソグラ フィで SU-8の 0.5 μm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、本実験の電子線リソグラ フィの概略図を示す。また表1に電 子線リソグラフィの条件を示す。厚 さ 0.3 mm の Si(100)基板を 10×10 mm²に劈開して試料とした。レジス トは SU-8 2002 を用いた。薄膜化す る際は、SU-8 2002 と PGMEA を体積 比で 4:1 になるよう希釈した。500 rpm で 10 秒間、2000 rpm で 30 秒間 スピンコートし、ホットプレート上

表1 本実験で行った電子線リソグラフィの条件

	SU-8 2002	4:1 (v/v) SU-8/PGMEA	
プリベーク	65°C, 60 s→95°C, 120 s	110°C, 60 s	
加速電圧	30 kV		
ドーズ量	$1 \ \mu C/cm^2$		
ビーム電流値	10 pA		
PEB	57, 63, 69, 80°C		
現像	SU-8 developer, 60 s		
リンス	IPA		

でプリベークした。SU-8 2002の膜厚は約 2.0 μm、PGMEA で希釈した SU-8 2002の膜厚は約 1.0 μm だった。

電子線リソグラフィを加速電圧 30 kV、ビーム電流 10 pA、ドーズ量 1 μC/cm² で行った。描画エリア は 500×500 μm²、解像度は 10000×10000 とした。WD は 8.1 mm に設定した。描画後の基板をホットプ レート上で PEB^[2]を 60 秒間行い、SU-8 developer で 60 秒間現像後、電子線未照射の SU-8 が完全に溶解 されるまで IPA でリンスした。0.5 μm のラインアンドスペースパターンを SEM 観察し、近接するライ ンパターンの結合や倒れの有無を確認し、パターンの結合や倒れがない条件を作製条件とした。

30 kV



図1 本実験の電子線リソグラフィの概略図

3. 結果と考察

図 2 に、膜厚 2.0 µm および 1.0 µm の SU-8 の 0.5 µm 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、膜厚 2.0 µm の SU-8 ではいずれの PEB 温度でも近接するラインパターンが結合 していた。厚膜のレジスト中では多くの電子が散乱する^[2]ため、近接効果が原因と考えられる。したが って、膜厚 2.0 µm の SU-8 では 0.5 µm ラインアンドスペースパターンを作製できないことがわかった。

ー方で図 2 に示すように、膜厚 1.0 μm の SU-8 では、いずれの PEB 温度でも近接するラインパターン は結合していなかったため、薄膜化により近接効果を抑制できたと考えられる。また、PEB 温度 80℃の みパターンが倒れていなかった。電子線が照射されたレジスト中で発生した酸は PEB により拡散され ることで架橋反応を促進させる^[3]ため、膜厚 1.0 μm の SU-8 では、PEB 温度 80℃で 0.5 μm ラインアン ドスペースパターンの作製に十分な架橋結合が形成されたと考えられる。

したがって図 2 の結果より、膜厚 1.0 µm、PEB 温度 80℃のとき、電子線リソグラフィで SU-8 の 0.5 µm ラインアンドスペースパターンを作製できることがわかった。



図 2 SU-8 のレジスト厚さと PEB 温度の関係

4. まとめと今後の展望

膜厚 1.0 μm、PEB 温度 80℃で、電子線リソグラフィで SU-8 の 0.5 μm ラインアンドスペースパター ンを作製することができた。今後は 0.5 μm よりも小さい寸法のパターンを作製できる膜厚や PEB 温度 等の条件を最適化する予定である。

参考文献

- [1] J. Vinje et al., J. Microelectromech. S., Vol. 29, No. 2, 160-169 (2020)
- [2] M. Yasui et al., Jpn. J. Appl. Phys., 53, 11RF03 (2014)
- [3] 佐々木実、電学論 E、131 巻,1 号, pp. 2-7 (1996)

謝辞

本研究は、文科省先端基盤共用促進事業(コアファシリティ構築支援プログラム JPMXS0440200021)で共用した機器 を利用した成果である。

異種材料接合の表面処理における

固体ソース H₂0 プラズマ分布均一化のための改良

遠西 美重

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

固体ソースH2Oプラズマ装置は、水の状態変化を 利用した自作のプラズマ発生装置である。ポリジメ チルシロキサン(PDMS)流路を作製する際、流路を ガラスで封止する前に貼合わせ面をプラズマによ って親水化させる表面処理を行うが、これまで本装 置による H₂O プラズマ処理により、ガラスと PDMS の強い接合を達成することができた印。しかしなが ら、プラズマが多く集中している電極およびH2Oガ ス供給源の近傍で処理した場合は接合が強く、それ 以外は接合が弱い傾向があった。広い面積の流路デ バイスでも全面を均一に接合させるために、本装置 のH2Oガス供給源の設置位置の検討、および電極形 状の改良を行った^[2]。ここでは、H₂O プラズマ処理 後のガラスと PDMS 表面の接触角測定、AFM 観察、 および接合強度の破壊検査を行い、改良した固体ソ ース H₂O プラズマ装置を用いることにより、直径4 インチの領域で均一な結果が得られたので報告す る。

2. H₂O プラズマ発生装置の概要

図1に装置の概要を示す。直径200mmのSUSチャンバーには直径35mmのポートが複数あり、排気 用ロータリーポンプ、RF電源、圧力ゲージおよびリ ーク弁を取り付けている。蓋は透明な20mm厚の石 英板とした。チャンバー本体からサンプルおよび供 給容器へ熱が伝わらないよう、チャンバー底にも30 mm厚の石英板を設置した。H₂Oガスの供給源とな る水5mLをガラス製の供給容器に入れてチャンバ ー内に置いた。ロータリーポンプ(RP)でチャンバー 内を減圧すると、状態変化によって水は凍り始め、 200Paで完全に固体になった。更に圧力を下げると 固体の水は昇華してH₂Oガスとなる。H₂Oガス流量 は容器の開口径に依存するため、本実験では圧力を 150Pa以下にすることができる直径15mmのガラ ス容器とした。13.56 MHzの高周波(RF)を10W印



加してプラズマを発生させ分光器で観測すると、発 光スペクトルから OH、H、O の H₂O 由来のピーク が観察された。

3. 実験と結果

3.1 プラズマ分布均一化のための改良

図2に改良前と改良後の放電の様子およびレジ スト膜厚減少量の分布を示す。4インチのSi基板上 に中央から放射状に13か所のパターンを付けたレ ジスト(AZ5214E)膜厚の減少量から、プラズマ分布 を測った。アンテナの設置、純水を入れるガラス容 器の位置変更と水跳ね防止の蓋を追加したことに より、レジスト膜厚減少量は均一となった。以降は 改良した装置を使用し、試料として15×15 mm²のガ ラスと PDMSを用いて直径4インチの領域でのH₂O プラズマ表面処理の位置依存性を検証した。



減少量(µm)の分布

3.2 表面処理後の接触角と表面粗さ

改良した装置での表面処理後の接触角と表面粗さの 位置依存性を調べるために、図3に示す直径4インチ のSi基板上の①から⑤の位置に試料(ガラスと PDMS)を設置し、100 Pa、10 W、1 minのH₂Oプラ ズマ処理を行った。図4にガラスとPDMSの処理後 の純水滴の接触角とAFMで測定した表面粗さを示 す。接触角は、ガラスでは±2°、PDMSでは±5°以内、 表面粗さは、ガラスでは±0 nm、PDMSでは±3 nm 以 内であり、直径4インチの領域で均一性が示された。



3.3 接合強度試験

次に、改良した装置でH₂O プラズマ処理し、貼り 合せたガラスと PDMS の接合強度の位置依存性を 調べた。図5に接合強度試験の概要を示す。3.2 と同条件でプラズマ処理したガラスと PDMS の処 理面の半分を貼り合わせ、90℃で10min ベークした 中心部をフォースゲージの先端で押し、PDMS が破 壊したときの最大値を接合強度とした。図6に示す ように、接合強度は①から⑤の位置において±0.8 N/cm² であった。これより、接合強度試験において も直径4インチの領域での均一性が示された。



総合技術研究会 2025 筑波大学 2025.3.5-7

3.4 流路デバイスの評価

最後に、改良した装置による広い領域でのプラズ マ処理への効果を、封止用ガラスと L=40 mm、 W=100 µm、D=130 µm の PDMS 矩形流路を貼り合 せた流路デバイスに純水を流して評価した。図6に 処理時の試料の設置位置と作製した流路デバイス を示す。①チャンバー壁際、②チャンバー中心に試 料を置き、処理後直ちに貼り合わせて 90℃で 10 min ベークした。表3に示すように、改良後の装置でプ ラズマ処理した試料の流路デバイスは、シリンジポ ンプの最大流速 3 mL/min でも破壊せず、直径 4 イ ンチの領域外に設置した試料であっても接合が可 能であることが示された。



図7 試料の設置位置と作製した流路デバイス

表3 装置改良前後の純水流速と水漏れの関係

	①壁際	②中央
装置改良前	水漏れあり	<0.3 mL/min 水漏れなし
装置改良後	>3 mL/min 水漏れなし	>3 mL/min 水漏れなし

4. まとめ

水の状態変化を利用した簡易な装置構成の固体 ソースH₂Oプラズマ装置を改良し、プラズマ分布の 均一化を図った。改良した装置を用いてガラスと PDMSの表面処理を行い、表面の接触角測定、AFM 観察および接合強度試験を行った結果、直径4イン チの領域での均一性が示された。流路デバイス評価 においても、改良後の装置では、広い領域でのプラ ズマ処理が可能であった。

参考文献

 M. Tohnishi, and A. Matsutani, Sensors and Materials, Vol. 33, No. 2 569 (2021).

[2] 遠西 美重, 第 30 回機器·分析技術研究会 2024 広島大学, P-33 (2024).

謝辞

本研究は科研費奨励研究(24H02547)の助成を受けた。

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

Measurement of Light-Focusing Properties and Refractive Index of Yeast Cell as a Microlens

> ¹東工大 OFC マイクロプロセス ⁰松谷晃宏 ¹ ¹Tokyo Institute of Technology [°]Akihiro Matsutani¹ E-mail: matsutani.a.aa@m.titech.ac.jp

自然界において球というのは極めて基本的な姿である。撥水構造をもつ葉の上にできた水滴は そのよい例である。この球状の水滴に日光が当たれば、その反対の側では集光点が観察されるよ うに自然界の球状の物体は光学デバイスとしての機能を保有している。生物由来の球状細胞はイ クラのような魚卵だけではなく微生物の細胞にも多く、パン酵母も球に近い形状の単細胞真核生 物モデル生物である。酵母細胞の顕微鏡観察中に、筆者は酵母細胞の曲面がレンズと機能して光 が収束される事象が観察し、この現象の光学教材への応用を考えた。しかし、直径数 µm の球状

の微生物細胞をレンズとしてその結像特性評価をした例は ほとんどない。今回は,マイクロレンズとしての酵母細胞 の集光特性と屈折率を測定したので報告する。

屈折率の測定方法は、半導体レーザ(波長 670 nm)のコ リメート光を球状試料に透過させてバックフォーカスの距 離(BFL)を測定し、試料の曲率半径などの情報から幾何 学的に屈折率を求めるという実験方法を用いた。まず、こ の方法での屈折率の測定の可否をサファイアのボールレン ズを用いて測定したところ、既知の数値と同等の屈折率

(1.75)が得られ、実験方法の妥当性が検証された。次に、 市販のドライイーストを用いて同様に BFL の長さを測定 した。ドライイーストは水中で分散させてスライドガラス 上に滴下して大気中で乾燥させた。図1(a)と1(b)に酵母 細胞の光学顕微鏡像と集光スポットを示す。測定には 100 倍の対物レンズ(NA0.75)を用いた。酵母細胞の集光スポ ットサイズは小さな円形を示し良好なレンズ特性をもつこ とがわかる。測定された酵母細胞の BFL は 3.7~3.8 µm で あった。実際の酵母はボールレンズというよりは厚い両凸 レンズ形状であるため、両凸面の曲率半径を SEM 写真か らフィッティングにより測定した。図1(c)に SEM 像と曲 率半径のフィッティング円を示す。細胞両曲面の曲率半径 は約3 µm であり、これらの数値を厚い両凸レンズの式に 当てはめると屈折率は約1.34~1.35と見積もられた。酵母 細胞はレンズとしての良好な集光機能をもつことから、光 学教材の他に微小光学素子としての応用も期待できる。本 研究は ISPS 科研費 IP24K06352 の助成を受けたものです。



Fig. 1 Optical microscope and SEM images of yeast cells: (a) visible light, (b) focused image of semiconductor laser light, (c) SEM image and radius of curvature.

5.0KX

54

20.0KU

固体ソース H₂0 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

○遠西 美重 東京工業大学 オープンファシリティセンター

1.はじめに

固体ソース H₂0 プラズマ装置は、水の状態変化を利用した 自作のプラズマ発生装置である。図1の矢印に示すように、 水を入れた容器を中に置いたチャンバーを減圧することに より、気化熱が奪われて固体となった水は昇華する。昇華し た H₂0 ガスを供給源とし、RF パワーを印加するとプラズマが 発生する。ポリジメチルシロキサン (PDMS) 流路を作製する 際、流路の封止前に貼合わせ面をプラズマによって親水化さ せる表面処理を行うことがあるが、これまで H₂0 プラズマ処 理により、ガラスと PDMS の強い接合を達成することができ た[1]。しかしながら、プラズマが多く集中している電極お よび H₂0 ガス供給源の近傍で処理した場合は接合が強く、そ



れ以外は接合が弱い傾向が生じた。このバラつきはプラズマ分布が均一でないことに原因があると考え られる。広い面積の流路デバイスでも全面を均一に接合させるためには、広い面積での均一なプラズマ 処理が求められる。均一なプラズマ処理では、プラズマによるエッチング分布も均一になると考え、フ ォトレジストを塗布した4 inchのSi ウエハをサンプルとして用い、プラズマにより減少するレジスト 膜厚からエッチング分布を評価した。ここでは、固体ソース H₂0 プラズマ装置の H₂0 ガス供給源と設置 位置の検討、および電極形状を改良した結果、均一なエッチング分布が得られたので報告する。

2. H₂0 プラズマ発生装置

図 2 に実験装置の概要を示す。 φ 200 mm の SUS チャンバーには \$35 mm の穴が複数あり、排気用 ロータリーポンプ、RF 電源、圧力ゲージおよびリ ーク弁を取り付けている。プラズマ発光を確認す るために、蓋は透明な t=20 mm の石英板とした。 H₂0 ガスの供給源となる水 5 mL をガラス製の供給 容器に入れてチャンバー内に置いた。チャンバー本 体からサンプルおよび供給容器へ熱が伝わらない よう、チャンバー底にも t=30 mm の石英板を置いた。 ロータリーポンプ (RP) でチャンバー内を減圧する と、水は凍り始め、200 Paでは完全に固体になった。 更に圧力を下げると固体の水は昇華して H₂O ガスと なる。本実験は100 Pa で行った。H₂0 ガス流量は容 器の開口径に依存するため、本実験では 150 Pa 以 下の圧力に下げられる φ15 mm のガラス容器とし た。プラズマは 13.56 MHz の高周波 (RF)を 10 W 印





加して発生させた。図3にチャンバー石英蓋から観測したプラズマの発光スペクトルを示す。OH、H、O のピークが観測され、プラズマはH₂O由来であることが確認された。

3. 実験結果

3.1 供給容器からの水跳ねの抑制

減圧して水が固体となる際、供給容器から水滴 が飛び出してしまうことがあった。そこで供給容 器にA1メッシュの蓋をして水滴の発生を防ぐこ とを期待し、チャンバー内に水に反応すると青く 変色する試験紙(70×100 cm²)と5 mLの水を入 れた供給容器を排気口から最も離れた場所に設 置し、100 Paまで減圧した。図4に減圧後の試 験紙を示す。メッシュなしでは供給容器の付近で 水跳ねの痕跡が見られ、メッシュありでは水跳ね の痕跡が見られなかった。これより、メッシュ蓋 によって容器外に飛び出す水滴が抑制され、ガス として均一に供給されることがわかった。

3.2 H₂0 ガス供給源の位置によるレジスト 膜厚減少量の分布

次に H₂0 ガス供給源の設置位置を変え、 プラズマ処理により減少するレジスト膜 厚からエッチング分布を評価した。4 inch の Si ウエハにポジ型フォトレジスト (AZ5214E)を1.5 µm 厚に塗布し、ウエハ の中心から放射状に 13 か所の膜厚測定用 のラインパターンを付けた。プラズマ処理 は 10 min 行い、減少したレジスト膜の段 差は Dektak にて測定した。図5に H₂0 ガス 供給源の位置によるエッチングによるレ ジスト膜厚の減少量を示す。ここでもメッ シュ蓋なしでは、水滴の落下のあった供給 容器の周辺で膜厚が目立って減少してお り、メッシュ蓋の効果が確認できた。位置 (a)と(c)では、いずれも場所によって減少 量に偏りがあり、電極と排気口からの距離 がそれぞれ離れた位置(b)で比較的減少量 の差が少ない結果であった。



図 5. H₂0 ガス供給源の位置によるレジスト膜厚減少量(µm)

3.3 アンテナ形状によるレジスト膜厚減少量の分布

供給容器にメッシュ蓋をし、レジストの膜厚減少量が比較的均一となる位置に設置したが、電極から の距離が遠い位置では減少量が少ない。そこで、SUS 製 M12 ボルトにφ1 mm Cu 線を巻き付けた3 種類 の延長アンテナを作製した。図6に作製したアンテナとプラズマ発光の様子、およびレジスト膜厚減少 量を示す。供給容器にはメッシュ蓋をして図5(b)の位置に設置し、アンテナはガラス製ビーカーを支え にし、RF 電極に接続させて10 min プラズマ処理を行った。減少したレジスト膜の段差は Dektak にて測 定した。電極とアンテナに沿ってプラズマ発光が確認でき、素子が増えるとアンテナからの発光が弱く なる傾向が見られた。レジストの膜厚減少量も、素子が増えると減少量が少なくなった。①と②のアン テナでは、電極に近い位置とアンテナ直下の減少量が多く、素子の数が多い③のアンテナでは、レジス ト膜厚減少量の分布が均一となる結果であった。



図 6. 異なるアンテナ形状によるプラズマ発光の様子とレジスト膜厚減少量(µm)

4. おわりに

水の状態変化を利用した簡易な装置構成の固体ソース H₂0 プラズマ装置を用い、レジスト膜厚のエッ チング分布の均一化を図った。水跳ねの抑制、水は RF 電源と排気ロそれぞれから離れた位置、ウエハ 全体を覆うような形状のアンテナによって、均一化が達成された。

本研究は科研費奨励研究(24H02547)の助成を受けたものである。

参考文献 [1] M. Tohnishi, and A. Matsutani, Sensors and Materials, Vol. 33, No. 2 569 (2021).

テクニカルレポート

- No. 276 改造後の RIE-101L による Si と SiO2 のエッチング
- No. 277 FlexSEM1000 II での観察時における試料電流値および電子線照射範囲と、ステンシル マスクを用いた簡易リソグラフィの試み
- No. 278 純水を用いた Ge のウエットエッチングの実験
- No. 279 プラズマ処理した SML1000 レジストの増感とメカニズムについての考察
- No. 280 簡易スパッタ装置による酸化クロムの成膜
- No. 281 FlexSEM1000 II を用いた SiN メンブレンを介した SEM 観察
- No. 282 電子線描画レジストとして用いたフォトレジスト AZ5214E の検証
- No. 283 SU-8 への電子線リソグラフィへの応用における現像前ベーク (PEB) 温度に関する実験
- No. 284 AZ5214Eのプリベーク時間と膜厚および屈折率に関する実験
- No. 285 FlexSEM1000 II による観察時のイオン液体を用いたチャージアップ低減方法の検討
- No. 286 ハイアスペクト比構造の PDMS への転写
- No. 287 マスクレス露光装置による Cr 上における AZ5214E パターンのネガ型露光の条件
2008 年度から 2023 年度までのテクニカルレポートの一覧

2008年度

- No.1 メカノマイクロプロセス室でのリソグラフィ技術の現状と課題
 No.2 TEOS/O₂ プラズマCVD により成膜したSiO2 のBHF エッチングレートの測定
 No.3 SF₆ 流量とSi のエッチングレートの関係
 No.4 電子線描画装置フィールド繋ぎ補正の解析 その1「直角補正関数の解析」
 No.5 TEOS/O₂ プラズマCVD によるSiO₂ 成膜レートと成膜プロセス順序の関係
 No.6 プロセス圧力とSi のエッチングレートの関係
 No.7 電子線描画装置フィールド繋ぎ補正の解析 その2「補正関数の解析」
 No.8 TEOS/O₂ プラズマCVD の 成膜プロセス順序の違いによるSiO₂ 膜厚の比較
 No.9 RF パワーおよびエッチング時間とSi のエッチングレートの関係
 No.10 電子線描画装置フィールド繋ぎ補正の解析 その3「補正パラメータ算出」
 No.11 エリプソメータを用いたSiO₂ 膜厚・屈折率の評価
- No.12 マグネトロンの回転数とSi のエッチングレートの関係

2009年度

No.13 電子線描画装置フィールド繋ぎ補正の解析 その4「繋ぎ精度の検証」

No.14 TEOS / O₂ プラズマCVD におけるSiO₂ 成膜レートとRF パワーの関係

No.15 マグネトロンRIE における磁界分布のSi のエッチングレートへの影響

No.16 フォトマスクの製作

No.17 エリプソメータを用いたSiO2 の膜厚と屈折率の評価

No.18 RIE におけるSiO₂のエッチングレートの関係

No.19 電子線描画の試料高さ位置合わせ その1 「高さ変化と回転歪みの関係」

No.20 プラズマCVD により成膜したSiO2 膜の屈折率の測定

No.21 CHF₃を用いたSiO₂の反応性イオンエッチング

No.22 電子線描画の試料高さ位置合わせ その2「高さ変化と繋ぎ誤差の関係」

No.23 プラズマCVD によるSiO₂ 膜のSEM-EDX を用いた元素分析

No.24 SiO₂ をマスクとしたSi の反応性イオンエッチング

No.25 レーザー描画装置のステージ移動誤差による描画歪みの検証

No.26 熱酸化によるSiO₂ 膜のSEM-EDX を用いた元素分析

No.27 ナノインプリント装置の設計および試作

No.28 ナノインプリント装置用UV-LED 光源の製作 その1

No.29 AFM を用いたL/S パターンの測定

No.30 光ナノインプリント用石英モールドの製作 その1

2010年度

No.31 ナノインプリント装置用 UV-LED 光源の製作 その2 No.32 TMAH を用いたウェットエッチングによるSi (111) 面の作製 No.33 光ナノインプリント用石英モールドの製作 その2 No.34 レーザ描画装置における光強度・デフォーカス量の入力値と物理量の関係 No.35 AFM 測定における試料傾斜の高さ方向測定値への影響 No.36 光ナノインプリント用石英モールドの製作 その3 No.37 SEM の作動距離変化がスケール誤差、像回転、非点収差に与える影響 No.38 SEM-EDX 分析におよぼす試料洗浄によるC, O 汚染の影響 No.39 光ナノインプリント用石英モールドの製作 その4 No.40 光ナノインプリントにおけるモールドの表面処理 その1 No.41 触針式表面形状測定の触針圧が表面粗さにおよぼす影響 No.42 電子線描画用ネガレジスト(SAL601)のエッチング特性に関して No.43 硼珪酸ガラスのBHF エッチングにおけるマスクの検討 No.44 触針を用いた表面形状測定のレジストの削れについて No.45 電子線描画用ネガレジスト (SAL601) のエッチング特性に関して その2 No.46 光ナノインプリントにおけるモールドの表面処理 その2 No.47 Dektak 触針が軟質材料レジストの表面形状および表面粗さにおよぼす影響

2011年度

No.48 RIE におけるサンプルトレーの材質とエッチングレートの関係

- No.49 OMR85 を用いた光ナノインプイント試行実験
- No.50 RF スパッタ装置の到達真空度と成膜条件と膜厚の関係
- No.51 RIE におけるサンプルトレーの材質とエッチングレートの関係 その2
- No.52 フォトレジストAZ5214E の塗布膜厚と適正露光・現像条件
- No.53 スパッタ装置のチャンバーベーキングによる到達真空度の向上及びSiO₂ 膜厚の屈折率と 到達真空度の関係

No.54 クロムのマスクパターンを用いたドライエッチングにおけるSi の形状

- No.55 フォトレジストAZ5214E のイメージ反転プロセス条件と現像特性
- No.56 SiO2 成膜のスパッタ条件と膜厚の関係及び屈折率の面内分布/金属材料の成膜レート
- No.57 CF₄ プラズマを用いた石英ガラスのRF パワー依存性に関して
- No.58 レーザー描画装置によるフォトマスクの製作のための描画条件

No.59 スパッタ装置を用いたSiO2の成膜中におけるプラズマの発光分光分析

No.60 CF4 プラズマを用いた石英ガラスのエッチング特性に関して

No.61 フォトレジストOFPR800LB の5µm ラインパターンにおける最適露光時間

No.62 真空蒸着装置におけるAI 薄膜の膜厚の面内分布/蒸着時間及び蒸着源の質量と膜厚の

関係

No.63 紫外線硬化樹脂(NOA81)を用いた光ナノインプリント

No.64 電子線レジストZEP520A のドーズ量に関する実験

No.65 サンユースパッタ装置のコールドトラップによるチャンバ内の変化

2012年度

No.66 微細放電加工機によるクロム薄膜のパターニング

No.67 UV 照度計の製作とマスクアライナ水銀灯の光量測定

No.68 スパッタ装置における真空引きによるチャンバ内の残留ガスの変化

No.69 UV オゾン装置を用いたSi 基板とガラス基板の表面処理

No.70 EB 描画を用いたフォトマスク製作におけるL/S パターンの補正

No.71 集束イオンビーム装置におけるビーム選択とエッチング深さの関係

No.72 フッ素系離型剤を用いたガラス基板の表面処理

No.73 イオン注入装置におけるP イオン、B イオンのビーム電流及び注入時間

No.74 EDX による元素分析 一加速電圧と原子数比の関係-

No.75 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

No.76 電子線描画におけるレジストZEP520A のビーム電流と描画分解能の関係

No.77 スパッタリング装置におけるAr プラズマ及びO₂ プラズマを利用したSiO2 薄膜の作成

No.78 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

- 重合膜の紫外線透過量および付着強度-

No.79 イオン注入装置にて生成されるイオン種とビーム電流マススペクトルの解析

- No.80 Kr およびO₂ スパッタリングにおけるプラズマの発光分光分析とSiO₂ 薄膜の成膜レート と屈折率
- No.81 インプリント実験における圧力分布の均一化と付着強度の測定

No.82 ネガ型EB レジストSAL601 の適正PEB 温度とパターン精度及び解像度の検証

No. 83 スパッタ法によるCu, Cr, Ti, Al成膜中のプラズマの発光分光分析

2013年度

- No. 84 RIEにおける基板の傾斜角度とSi基板のエッチング形状の関係
- No. 85 ポリスチレンラテックス粒子を利用したSEM非点収差補正用試料の作製
- No.86 EDXによるCu分析のための多層膜を用いた電子の侵入深さの測定
- No. 87 紫外線硬化樹脂(NOA81)を用いた光ナノインプリント

-その2 SiO₂モールドパターンの転写形成-

- No. 88 現像液AZ300MIF及びMF_CD-26のNMD-3への代用性の検証
- No. 89 サンユースパッタ装置におけるSiO₂薄膜の屈折率及び膜厚の面内分布およびターゲット材料の使用状況による成膜への影響

- No. 90 紫外線硬化樹脂 (NOA81) を用いた光ナノインプリント-その3 転写条件の最適化-
- No. 91 レーザ描画装置DDB-201-NHT光量測定用照度計の製作と校正
- No. 92 RFマグネトロンスパッタ装置における粒状材料を用いた成膜
- No. 93 プラズマCVDを用いたSiO,の成膜とTEOS流量およびプロセス圧力の関係
- No. 94 フォトレジストAZ5214Eにおける露光量とPEB温度、時間の関係式の導出
- No.95 簡易蒸着装置におけるAI薄膜の膜厚分布の蒸着源と基板間距離依存性
- No.96 深掘りエッチング装置(Deep-RIE)の基礎的特性に関して
- No. 97 レーザ描画における光量測定と描画線幅の校正データの作成
- No.98 集束イオンビーム装置を用いた加工における加工深さと表面粗さ
- No. 99 深掘りエッチング装置(Deep-RIE)の基礎的特性に関して -その2 SF₆およびC₄F₈流量を変化させた際のエッチング特性

2014年度

- No. 100 電子線レジストOEBR-CAP112の適正現像時間
- No. 101 FIB装置を用いた加工におけるアパーチャ径と最小加工線幅の関係
- No. 102 深掘りエッチング装置(Deep-RIE)の基礎的特性に関して (その3 SiトレーおよびAlトレーを用いた際のエッチング特性に関して)
- No. 103 近接露光におけるギャップ間隔とパターン解像性への影響
- No. 104 サンユースパッタ装置を用いたITO 薄膜の作製およびEDX による組成比の 評価
- No. 105 深掘りエッチング装置(Deep-RIE)の基礎的特性に関して (その4 基板側RFパワーを変化させた際のエッチング特性および サイドエッチングの制御)
- No. 106 フォトレジストAZ5214E(ポジ型)のCrのスパッタ成膜におけるリフトオフ実験
- No. 107 FIB 装置を用いたSi, Ti, Al, Cr, Cu のエッチングレートと加工係数の補正
- No. 108 深掘りエッチング装置(Deep-RIE)の基礎的特性に関して

(その5 基板トレーとサンプルの貼り付け方法に関する実験)

- No. 109 電子線レジストOEBR-CAP112の膜厚制御及び膜厚に対する現像評価
- No. 110 Crの反応性スパッタリングにより成膜した酸化クロム薄膜の評価
- No.111 深掘りエッチング装置(Deep-RIE)の基礎的特性に関して (その6 基板トレーとウェハの固定方法に関する実験)
- No.112 ポジ型電子線レジストgL-2000を用いたリフトオフの検証実験
- No. 113 FIB装置を用いた斜め加工におけるエッチング深さ
- No. 114 深掘りエッチング装置(Deep-RIE)の基礎的特性に関して (その7 Siの針状突起パターンの除去に関して)

No.115 ポジ型電子線レジストgL2000の膜厚制御と感度

2015年度

- No.116 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可搬式真空一貫 プロセスの有用性についての評価
- No. 117 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
- No. 118 フォトレジストAZ5214E(ネガ型)を用いたCr パターンのリフトオフ実験
- No.119 逆スパッタリングによるレジストOFPR-800LB 及びCu 基板のエッチング深さの評価
- No. 120 深掘りエッチング装置(Deep-RIE)の基礎的特性に関して (その8 基板側RF パワーを変化させた際のSi のエッチング形状に関して)
- No. 121 ポジ型EB レジストgL2000 の膜厚、パターンサイズの違いにおける現像の検証
- No. 122 Ti の反応性スパッタリングにより成膜した酸化チタン薄膜の評価
- No. 123 Deep RIE 用レジスト (TCIR-ZR8800 PB) を用いた基礎実験
- No. 124 電子線レジストgL2000 の加速電圧に対する電子線走査振幅補正とドーズ量
- No. 125 サンユースパッタ装置におけるスパッタリング条件と基板表面温度の関係
- No. 126 Deep RIE 用レジスト (TCIR-ZR8800 PB) を用いた基礎実験 (その2 リフトオフに関する実験)
- No. 127 SU-8 パターンのSEM 観察におけるチャージアップ対策
- No. 128 アネルバスパッタ装置における成膜条件と基板表面温度の関係および サンユースパッタ装置における成膜材料による基板表面温度の関係
- No. 129 深掘りエッチング装置(Deep-RIE)の基礎的特性に関して (その9 エッチングサイクル中のプロセス圧力を変化させた際のSiの エッチング特性)
- No. 130 SU-8 の塗布、露光、現像に関する基礎的実験
- No. 131 サンユースパッタ装置における成膜時の密着性評価
- No. 132 簡易スパッタ装置(SC-701MKII)の基礎的特性に関する実験 (成膜レート,成膜分布,および発光分光分析に関する実験)

- No. 133 SU-8 の PEB 条件の違いがパターン形状に与える影響について
- No. 134 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 成膜法について
- No.135 Deep-RIE を用いた狭いトレンチ幅のエッチングに関して
- No. 136 ITO を利用した透明ヒータの製作
- No.137 PDMS の基礎的特性に関する実験
- No. 138 SU-8 で作製したパターン側壁の逆テーパー形状改善方法の検討

No. 139 Deep-RIE を用いた Si の深堀りエッチングに関する実験

(Xe 添加による Si 基板底部のエッチング形状に関する実験)

- No. 140 EB レジスト gL-2000 で製作したパターンの熱処理による逆テーパー形状の改善
- No. 141 Deep-RIE を用いた Si の深堀りエッチングに関する実験 (ボッシュプロセス中の C4F8 流量を変化させた際のエッチング形状に関する実験)
- No. 142 KOH を用いた異方性ウエットエッチングの実験
- No. 143 RIE におけるフォトレジスト AZ5214E のエッチングマスクとしての 有用性の検証
- No. 144 Deep-RIE を用いた Si の深堀りエッチングに関する実験 (エッチングプロセス中に酸素を添加した際のエッチングレートおよび 断面形状に関する実験)
- No. 145 KOH を用いた異方性ウエットエッチングの実験 (IPA を添加した場合のエッチングレートおよび表面形状について)
- No. 146 AZ5214E の膜厚に対するレジスト感度とレジスト解像度
- No. 147 Deep-RIE を用いた Si のマイクロローディング効果に関する実験
- No. 148 KOH を用いた異方性ウエットエッチングの実験(エッチング時間が長い場合)

- No. 149 AZ5214E の膜厚に対するパターン解像度
- No. 150 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 デバイスの製作に関する実験
- No. 151 Si (110) 基板の異方性ウエットチングの実験
- No. 152 陽極接合を用いたガラスと Si 基板の接合に関する基礎実験 (基板の表面状態による接合の可否に関して)
- No. 153 Si 基板上の円パターンの異方性ウエットエッチングの実験
- No. 154 Al の反応性スパッタリングによる酸化アルミニウム薄膜の作製
- No. 155 簡易スパッタ装置(SC-701MKII)の基礎的特性に関する実験 (その2 成膜レートおよびステップカバレッジに関する実験)
- No. 156 Si (110) 基板のL&S パターン異方性エッチング
- No. 157 スパッタ装置により作製したクロム薄膜のシート抵抗の測定 ~基板と膜厚による抵抗値への影響~
- No. 158 Deep-RIE を用いた Si 基板の貫通エッチングに関する実験 (スリットパターンの貫通エッチングに関して)
- No. 159 フォトリソグラフィーにおけるランプ照度の違いによる露光サイズの比較
- No. 160 EDX 分析における絶縁体の Au コートによる半定量分析への影響
- No. 161 Deep-RIE 装置を用いた Si 基板のエッチングに関する実験

(マスク材料のエッチングレートならびに選択比の関係)

- No. 162 Si の等方性ウエットエッチングの実験
- No. 163 フィルムマスクを用いたブランクマスクへの転写について
- No. 164 Deep-RIE 装置を用いた Si 基板のエッチングに関する実験 (ダミーの金属試料台を利用したエッチングに関する実験)
- No. 165 TMAH を希釈した現像液の NMD-3 現像液との比較
- No. 166 レーザ描画装置による矩形パターン描画における精密線幅制御

2018 年度

- No. 167 FIB 装置による Ga+照射を用いた Si の KOH 液エッチングマスクとしての利用
- No. 168 Deep-RIE 装置を用いた Si 基板のエッチングに関する実験
- No. 169 TMAH を希釈した現像液の NMD-3 現像液との比較 (その 2)
- No. 170 スパッタ装置におけるメンテナンス前後の膜への影響
- No. 171 レーザー顕微鏡, Dektak および断面観測によるエッチング深さ測定
- No. 172 SD-25(TMAH25%)を用いるウェットエッチングの実験
- No. 173 Au 蒸着のための Ti 密着層と Cr 密着層の抵抗値への影響
- No. 174 Deep-RIE 装置を用いた Si 基板のエッチングに関する実験 (デポおよびエッチングのステップ時間を変化させた場合のエッチング特性)
- No. 175 PDMS を用いる流路デバイスの作製
- No. 176 Ti スパッタリングにおける窒素導入による反応性スパッタリング
- No. 177 Deep-RIE 装置を用いた Si 基板のエッチングに関する実験 (Xe ガス添加時のデポおよびエッチングのステップ時間を変化させた場合のエッチン グ特性)
- No. 178 PDMS とガラスの酸素プラズマ処理による接合
- No. 179 FIB 装置による W デポ膜の作製
- No. 180 フォトリソ現像液 TMAH 希釈用水の違いによるパターニングの実験
- No. 181 SU-8 を用いた厚膜コーティングの実験
- No. 182 スパッタ成膜における到達真空度と基板洗浄後の加熱処理の有無による表面形状への 影響
- No. 183 Deep-RIE 装置における非ボッシュプロセス時の SF6 流量依存性
- No. 184 PDMS とガラスの酸素プズマ処理による接合 (その2)

- No. 185 電鋳ボンド仕様ブレード Z09 シリーズを用いたダイシング
- No. 186 CHF₃プラズマによる Si 基板表面の疎水化
- No. 187 XeF₂気相エッチングによる Si マイクロ凹面鏡の製作

- No. 188 TEOS/O2プラズマにより成膜した SiO2の膜厚分布と屈折率分布について
- No. 189 ポジ型電子線レジスト ZEP520A への微細パターンの電子線描画
- No. 190 ダイシングソーによる Si 基板への切り込み溝深さと分割の容易性の関係 およびハーフカットによるスライドガラスへの流路の形成
- No. 191 CCP 装置を用いた CHF₃プラズマによるフッ化膜の成膜
- No. 192 フレネルゾーンプレートのレーザー描画の条件検討
- No. 193 Deep-RIE による Si 基板のエッチング—エッチング側壁の角度に関する実験—
- No. 194 CCP 装置を用いた CF4 プラズマによる Si、SiO2のエッチング
- No. 195 レーザー描画したゾーンプレートの焦点距離
- No. 196 マジックペンを用いた SU-8 のフォトリソグラフィとリフトオフにより製作した Al エッチングマスクを用いたマイクロ流路パターンの形成
- No. 197 水プラズマによる PDMS の接合実験
- No. 198 フレネルゾーンプレートの温度感受性樹脂への転写
- No. 199 Deep-RIE におけるエッチング深さとエッチング面積の関係
- No. 200 水プラズマによる PDMS の接合実験(その2)

2020年度

- No. 201 電子線レジスト SML1000 の微細パターン描画条件の検討
- No. 202 Deep-RIE で形成したトレンチを XeF2 気相エッチングした時の形状変化
- No. 203 Deep-RIE 装置による TiO2 基板のエッチングの試み
- No. 204 FIB 装置による Ga⁺照射を用いた Si の KOH 液エッチングマスクとして利用 —長時間エッチングによるマスク耐性及び三次元構造の作製(第二報)—
- No. 205 アネルバスパッタ装置における基板ホルダーの回転を利用した大面積基板への成膜
- No. 206 簡易プラズマ発生装置の条件出し実験
- No. 207 フォトレジストを用いた簡易プラズマ発生装置のプラズマ分布の推定
- No. 208 ZEP520A 上への回折格子の電子線描画
- No. 209 走査型電子顕微鏡で撮影した高精細低倍率画像による微細構造観察

- No. 210 CCP-RIE と Deep-RIE による TiO2 基板のドライエッチングにおけるエッチング底面の 平滑性の比較
- No. 211 反応性スパッタリングによる NbxOy の成膜—成膜レートおよび屈折率,透過率,発光分 光分析の評価—No. 203 Deep-RIE 装置による TiO₂ 基板のエッチングの試み
- No. 212 H₂O プラズマ処理したフォトレジストの表面粗さの観察
- No.213 H₂O プラズマによる酵母細胞増加抑制の実験
- No. 214 電子線露光前の酸素プラズマ処理による SML レジストの増感効果の酸素プラズマ処

理時間依存性

- No. 215 電子ビーム露光による回折格子周期の 0.1nm 精密制御
- No. 216 Deep-RIE を用いたトレンチエッチングにおけるエッチングレートの時間的変化
- No. 217 スパッタ装置(サンユー製 S VC-R F700 II)を用いて Ar+を照射した Si 表面の KOH エッ チング耐性
- No. 218 回折格子を用いた超高圧水銀ランプの光学スペクトルの測定
- No. 219 プラズマ処理したポリイミド上の金属薄膜の折り曲げ耐性試験
- No. 220 電子線レジスト SML における適正露光量とパターン寸法の加速電圧依存性
- No. 221 電子線露光前の酸素プラズマ処理による SML1000 の増感効果・その1
- No. 222 UV 光照射によるレジストの電子ビーム露光感度の向上
- No. 223 カプトンテープをエッチングマスクに用いた Deep-RIE による Si 音叉の製作
- No. 224 ECR イオンシャワー装置(エリオニクス製 EIS-200ER)を用いて Ar+を照射した Si 基板 表面の KOH エッチング耐性-第一報 Si(100),Si(110)基板を用いた実験および結晶方 位シミュレーション -
- No. 225 ECR イオンシャワー装置(エリオニクス製 EIS-200ER)を用いて Ar+を照射した Si 基板 表面の KOH エッチング耐性-第二報 イオンシャワー条件および SRIM による固体中 のイオン飛程距離計算 -
- No. 226 プラズマ処理したポリイミド上の金属薄膜の折り曲げ耐性試験 その 2)
- No. 227 マスクレス露光装置における AZ5214E の露光条件探索
- No. 228 電子ビーム露光レジスト ZEP520A のポストベーク温度による形状変化
- No. 229 Deep-RIE における試料トレーの材料とエッチング形状の関係
- No. 230 10 nm オーダーの SiO2 薄膜における Dektak, エリプソメータ, SPM による膜厚の測定 と EDX 分析による定量分析結果の比較
- No. 231 市販のレジンクラフト用 UV-LED ライトを光源として用いたフォトレジスト AZ5214E パターンの作製
- No. 232 RIE-10NR を用いた CF4プラズマによる Si のエッチングレートについて
- No. 233 RIE-10NR を用いた CF 4プラズマによる Si のエッチング形状について
- No. 234 電子線露光前の酸素プラズマ処理による SML1000 の増感効果・その2
- No. 235 電子ビーム露光装置の高速描画モードによる微細パターン形成

- No. 236 Deep-RIE による Si 深掘り時のエッチング底面の厚さと透過光強度の関係
- No. 237 ターゲット材料としてサファイア基板を用いたスパッタリング成膜
- No. 238 マスクレス露光装置を用いたポリイミドフィルム上へのレジストパターン形成とリフ トオフによる電極の製作
- No. 239 Dektak XT と Dektak 150 の測定値の差異について
- No. 240 SML1000 レジストの適正ドーズ量の現像温度依存性
- No. 241 発光分光分析と EDX 分析による Deep-RIE における Si の深掘り条件の比較

- No. 242 ターゲット材料としてサファイア基板を用いたスパッタリング成膜-ボイド低減方法 および SEM 観察中の変形現象について-
- No. 243 SiO₂ 薄膜の研磨に関する実験
- No. 244 マスクレス露光装置を用いたネガポジ反転パターンの露光条件の検討
- No. 245 ZED-N50の SML1000 現像液への適用
- No. 246 回折格子とデジタルカメラを用いた発光分光分析による Deep-RIE 装置の酸素プラズ マクリーニング効果の観察
- No. 247 ECR イオンシャワー装置(エリオニクス製 EIS-200ER)を用いて Ar⁺を照射した Si 基板表 面の KOH エッチング耐性- 第三報 KOH 温度依存性およびイオン照射前後の表面 XPS 分析 -
- No. 248 RIE-10NR を用いた SF6 プラズマによる Si のエッチングレートについて
- No. 249 Deep-RIE 装置における Si 垂直形状条件の検討
- No. 250 電子線描画における電子線の電流値および基板と適正ドーズ量の関係
- No. 251 SML1000 レジストの電子線露光前の酸素プラズマ照射による増感効果に関するドーズ 量の再確認
- No. 252 pH 試験紙を用いたメカノマイクロプロセス室に常備している試薬等の pH 測定
- No. 253 ECR イオンシャワー装置を用いた Ti, Al 成膜
- No. 254 スプレー法による微細エッチングマスク形成とトレンチ構造へのレジスト塗布の実験
- No. 255 電子線描画とスパッタリングによる Cr の微細孔の作製

- No. 256 Deep-RIE における垂直エッチング条件とプラズマ発光強度の関係
- No. 257 ECR イオンシャワー装置を用いてイオン照射した Si 基板表面の KOH エッチング耐性 -第四報 N₂ガスおよび O₂ガス依存性-
- No. 258 市販のレジン液を用いたマイクロ流路の作製
- No. 259 セミの翅の構造転写による微小レジストパターンを用いたナノ構造の作製
- No. 260 Si 貫通エッチングによる格子パターンの製作に関する実験
- No. 261 スピンコートにおけるレジスト滴下量と膜厚分布の関係
- No. 262 プロキシミティ露光によるフォトマスクとレジスト表面の間隔とパターン形状の関係
- No. 263 スパッタリング成膜装置により作製した SiO および SiN 膜の KOH エッチングマスクと しての利用
- No. 264 BHF を用いたガラスのウェットエッチング-スパッタ成膜で作製した SiO₂薄膜、合成 石英、スライドガラスの比較-
- No. 265 オスミウムコートしたポリイミド上の金属薄膜の折り曲げ試験
- No. 266 スピンコーター用試料台の研磨による吸着力改善について
- No. 267 シリコーンゴム KE-12 を用いたマイクロメートルサイズ構造の形成

- No. 268 ECR イオンシャワー装置を用いて種々のイオン照射した Si 基板表面の KOH エッチン グ耐性-第五報 Ar, Kr, Xe, O₂ 及び N₂ ガスイオン照射時の KOH 溶液温度・濃度依存性-
- No. 269 セミの翅をフォトマスクとして用いたレジストパターン形成方法によるナノ構造の作 製
- No. 270 チャンバー内壁をステンレスとした RIE-10NR を用いた SF₆-RIE による Si のエッチン グ
- No. 271 裏面露光による SU-8 の高アスペクト比ピラーの作製
- No. 272 集中荷重による両端固定の SU-8 両持ち梁のたわみの測定
- No. 273 SiO2 コーティングした Al 板と Si 基板のテスター接触荷重と抵抗値の関係
- No. 274 Deep-RIE によるブラック Ge の製作
- No. 275 SML1000 レジストの電子線描画前の酸素プラズマ照射による増感効果に関するパラメ ータの再確認

改造後のRIE-101LによるSiとSiO2のエッチング

(令和6年7月9日,令和6年7月10日改訂)

松谷 晃宏, 遠西 美重

1. はじめに

メカノマイクロプロセス室の反応性イオンエッチング装置(RIE-101L)は、修理不可能な搬送ロボットの故障により自動モードで利用できない状態である。手動操作時にもチャンバ蓋の開閉が困難な続いていたため、令和5年度(2023年)にチャンバ蓋と上部シャワー電極を取り去る改造を行った。今回は、 改造後の RIE-101L による Si のエッチングを試みた結果について報告する。

2. 改造箇所と実験方法

図1に、改造後の RIE-101L 装置の概略図を示す。 改造前の上部電極はステンレス製のシャワー電極 で、チャンバの蓋の開閉は圧縮空気で作動するアームを利用して開閉していた。しかし、この機構も不具 合があり動作が不安定で、操作上においても危険が伴っていたので、蓋の開閉機構を除去して、石英板を はめ込む蓋を新しく製作した。この石英板を手動で開閉(はめ込みと取り外し)することにより、チャン バ内へのアクセスが可能となり、試料を手で運び下部電極上にセットする。下部電極(直径4インチ)は 自動搬送機構の構造がむき出しになっているので、プロセス時にはアルミ板や Si 基板等を置き、平坦化 と電極保護もできる。プラズマの均一化のために、電極の外側には石英のドーナツ板を設置する。ガス導 入についてはシャワー電極を除去し、ステンレスパイプのリングの内側に極小孔が開いた部品を新しく 設置してガスを導入して分布の均一化を図った。図1の左下には、放電中の酸素プラズマを観察した写 真を示す。均一なシース幅のプラズマが観察できたことから、良好な放電状態であることがわかる。

実験には Si (100) 基板と SiO₂の試料として石英板 (t=0.5 mm), エッチング用のガスには SF₆を用い た。エッチングマスクには簡易スパッタ装置で成膜した Cr (t=120 nm)を用いた。下部電極上に厚さ 50 μm の PTFE のシートを置き, 試料をカプトンテープで固定した。エッチング時間は 5 分とし, エッチン グ深さは Dektak を用いて測定した。また, SEM による形状観察と EDX によるエッチング表面の分析を 行った。



図1 改造後の RIE-101L 装置の概略図

3. 実験結果

図 2 に、Si と SiO₂のエッチング深さの RF パワー 依存性を示す。エッチング時間は5分とした。このエ ッチング条件では、Si は SiO₂よりもエッチングが早 く進み、Si と SiO₂のエッチングレート比は 2~3 で あることがわかる。図 3 に、30 sccm の流量でエッチ ングした Si のエッチング形状の RF power 依存性を 示す。RF パワーが 50W の時にはテーパー形状、100W の時にはほぼ垂直形状であることがわかる。200W で は孔構造もほぼ垂直形状でエッチング可能なことが わかる。

表 1 に, SF₆-RIE 後の Si 表面と SF₆-RIE 後に酸素 プラズマ処理した後の Si 表面の EDX 分析結果を示 す。SF₆-RIE 後の表面の原子数比 13.1%の C は酸素 プラズマ処理 (O₂ 30 sccm, 2 Pa, 100 W, 5 min) によ り, 5.7%の原子数比に減少することがわかる。酸素プ



図 2 Si と SiO₂のエッチング深さの RF パワー 依存性

ラズマ処理後ではわずかに O と F が測定されたが, RIE なしの試料では同条件の酸素プラズマ処理によ り EDX 分析結果はほぼ変化がなかったことから, RIE 中に堆積した PTFE 由来の C は酸素プラズマ処理 により効果的に除去できることがわかった。



図3 Siのエッチング形状 (SF₆: 30sccm, RF power: (a) 50W, (b) 100W, (c) 200W).

表1 SF₆-RIE 後の Si 表面と SF₆-RIE 後に酸素プラズマ処理した後の Si 表面の EDX 分析結果

Atomic%@10 kV

	Si	С	0	F
SF ₆ -RIE 後	86.9%	13.1%		_
SF ₆ -RIE 後に 酸素プラズマ処理	93.1%	5.7%	0.9%	0.3%

4.まとめ

改造後の RIE-101L による Si のエッチングを試み, Si のエッチングについてはほぼ垂直形状のエッチン グが可能であることが確認された。フルマニュアル操作の装置のため、学生利用には開放しないが、今回 の改造により様々な材料のエッチングの試験等に活用できる状況となった。

FlexSEM1000 II での観察時における試料電流値および電子線照射範 囲と、ステンシルマスクを用いた簡易リソグラフィの試み

(令和6年7月9日 令和6年7月19日改訂) 佐藤 美那

1. はじめに

SEM(Scanning electron microscope)は光学顕微鏡より高倍率での観察が可能である一方,電子線や熱に弱い 試料は観察部に電子線によるダメージが生じる.そこで,メカノマイクロプロセス室のSEM (FlexSEM1000 II,日 立ハイテク(㈱製)を用いた観察時における諸特性を調査し,電子ダメージの影響を受けやすい条件を調査した. FlexSEM1000 II 照射電子線のパラメータとして,加速電圧およびスポット強度が設定可能である.スポット強度は, 主に照射電流の制御に使われるパラメータである.そこで,本テクニカルレポートでは試料電流値のスポット強度 と加速電圧依存性を調査した.

更にSEMは電子線を走査し,放出される二次電子を観察しているため,実際に電子線を照射している範囲と 観察時にPC画面上の表示されている範囲に差が生じる.そこで,電子線で感光するレジストを用いて電子線の 照射範囲を測定した結果を報告する.さらにその応用として,電子線での簡易的なリソグラフィを実施した結果 を報告する.

2. 実験概要

2.1 試料電流値のスポット強度・加速電圧依存性

試料台に電子線を照射することで流れる試料電流値を,スポット強度および加速電圧を変化させて測定した. 試料電流とは,試料に照射される一次電子のうち,試料が吸収した電子により発生する電流である.一次電子線 の一部は反射電子や二次電子として放出するため試料照射電流とは異なる.試料電流値は本装置に内蔵され ている簡易的な電流測定システムにより測定した値である.

加速電圧 5, 10, 15, 20kV のときスポット強度を 30, 50, 70, 100 とした時の試料電流値を測定した. WD 8.9 mm, 倍率は 100 倍である. ただし, 倍率(50-5000 倍)および WD±1mm の範囲で変化させた場合, 試料電流値は変 化しなかった. 図 1 にスポット強度と試料電流の関係を示す. また, それぞれの観察条件でのアルミの試料台の SEM 像を示す. SEM 像の明るさやコントラストはオート調整後の像である. また, 写真撮影条件(スキャンスピード および画素数)は同じである.



図1 試料電流値のスポット強度と加速電圧の関係

スポット強度を大きくするほど試料電流が大きくなった.また,加速電圧を大きくするほど試料電流値は大きくなった.スポット強度は試料電流値に大きく影響するため,電子線によるダメージを減らすにはスポット強度を可能

な限り小さくする必要がある. SEM 像は, 加速電圧が高いと分解能が高く, 加速電圧が低いと最表面情報が得ら れた. スポット強度が大きいほど S/N 比が良くなることが確認できた. 一般的な各パラメータと像質との関係と同様 の傾向が確認できた[1].

2.2 電子線の照射範囲の測定

電子線に感光するレジスト(AZ5214E, MicroChemicals GmbH 製)をネガ型として用いて電子線の照射 範囲を測定した. 図 2 に本実験の概略を示す.



図2 本実験概要

測定するにあたり、レジストの薄膜化条件およびレジストの露光条件を検討した. レジストの薄膜化 はスピンコータの回転数および PGMEA(Propylene glycol methyl ether acetate)による希釈により行っ た. Si 基板上にレジストを約 0.25 ml 滴下後にスピンコータを用いて、500rpm で 5sec 回転塗布した後、 所定の回転数で 60sec 回転した. プリベーク(120℃, 120sec)後にレジストをピンセットで削り取り Dektak により測定した. 図 3 にスピンコータ回転数と希釈による膜厚への影響を測定した結果を示す. 30wt%で 3000rpm 回転することで 150 nm のレジスト膜厚となった. 以降の実験ではレジスト厚さ 150 nm を使用した. つぎに、レジストの露光条件を測定した. 加速電圧 10kV,スポット強度 70 (322 pA)、 で 1min 電子線を照射した. 観察倍率を 50~5000 倍で変化させることで電子線照射範囲を変化させ、試 料電流値から単位面積当たりのドーズ量を見積もった. 露光後リバーサルベーク(130℃, 2min)および全 面露光(200 mJ/cm²)を行い、TMAH(2.3%)により現像した. ポストベーク(100℃, 2 min)後のレジスト残 膜率を調査した. ドーズ量と規格化膜厚の関係を図 4 に示す. ドーズ量はレジストのパターンサイズと 試料電流値から見積もった. 20 μ C /cm² 以上のドーズ量で十分露光できることを確認した. ただし、本 実験では試料電流値から見積もった値であり、照射電流量はさらに大きい可能性があるため本来のドー ズ量より小さく算出されている可能性がある.

次に、レジストを SEM により露光し電子線の照射範囲を測定した. レジストパターンのサイズが電子 線照射範囲となる. 画面上のサイズおよびレジストパターンサイズは SEM の測長機能で測定した結果 である. ドーズ量は画面上範囲に対して 50 μC/cm²となるよう照射時間を変えて露光した. その結果を 表1に示す. 画面のサイズとレジストのパターンサイズを比較すると、どの倍率においてもレジストパ ターンは横方向で特に増加率が高く、倍率が高くなるほど顕著であった. 観察時は観察画面上に表示さ れている範囲より、広い範囲に電子線が照射されているため、電子線のダメージを避けたい箇所かから 倍率に応じて十分に距離をとる必要がある.

本実験における電子線照射範囲とレジストのパターンの誤差については、ステンシルマスクを利用し

て電子線照射位置とパターンサイズを比較した時,300 nm 程度パターンが大きくなった.そのためで電子線照射範囲とレジストパターンのサイズ差は無視できるほど小さく,本実験で電子線照射範囲をレジ ストパターン形成範囲として扱うことに問題はないと考えられる.



図3 回転数と希釈によるレジスト膜厚の関係

図4 AZ5214Eのドーズ量と規格化膜厚の関係

広委	画面サイズ	レジストパターン	増減率[%]	
百华	$[\mu m \times \mu m]$	サイズ[μm×μm]	横	縦
50	1900×2540	1902×3250	+1	+28
100	950×1270	968×1680	+2	+32
500	190×252	194×298	+2	+18
1000	84.4×127.0	98.0×151.0	+16	+18
5000	19.0×25.4	24.2×36.7	+27	+40

表1 観察画面サイズと電子線照射範囲の関係

3. 実験応用 簡易リソグラフィ

本技術を応用してレジストの任意形状のパターン作製を行った.ステンシルマスクとして TEM 用 Cu メッシュを 使用した(図 5(a)). 露光は加速電圧 10kV, スポット強度 100 とし, ドーズ量が 50 µC /cm² として露光した. レジス トに対して, ジャストフォーカスで露光すると図 5(b)に示す様に Cu メッシュ部分のレジストに横縞が生じた. 同図に Dektak(触針半径 12.5 µm R)触針で測定した結果も併せて示す. ただし凹凸周期が狭いため触針が底部まで届 いていない可能性もある. そこで, フォーカス位置を-1mm としてデフォーカスで露光した. 現像後のパターンを 図 5(c)に示す. レジストに凹凸がなく, 広範囲にパターン作製が可能であった.



(a)Cu メッシュ



(b)Cu メッシュ部分のレジストパターン (ジャストフォーカス)



(c) レジストパターン(-1mm デフォーカス)図 5 光学顕微鏡像

4. まとめ・今後の展望

SEM で試料を観察する際、ダメージが生じることがある.スポット強度を上げるほどと照射電流が対数に比例して上昇することに注意が必要である.また、SEM で試料を観察する際は電子線が操作画面上に表示されている範囲より更に広い範囲に照射されていることに注意して観察を行う必要がある.とくに EDX 分析の測定範囲を指定しない分析では 観察画面の端に位置している箇所の信号を検出する場合があるため注意が必要である均一な試料でない場合は測定個所を指定した測定の方が良いと考えられる.また、FlexSEM1000 は W フィラメントを使用しているためフィラメントの消耗状態等により実際の値は変化することも注意が必要である.

参考文献

[1] ㈱日立ハイテクノロジーズ編"SEM と友だちになろう"東京(2012)

純水を用いた Ge のウエットエッチングの実験

(令和 6年 7月 9日 令和 7年 3月 3日改訂) 遠西 美重

1. はじめに

Geのエッチングにおいて、(1)式のようにGe表面のGeO2が水と反応して溶出しやすい性質を利用し、 金属を触媒とし、水をエッチャントとしたウエットエッチングの手法を用いることがある[1]。

$GeO_2 + H_2O \rightarrow H_2GeO_3(aq.)$ (1)

ここではAuを触媒とした純水によるGeのウエットエッチングを行ったので報告する。

2. 実験概要

アセトンで洗浄した Ge(111)基板 15×7 mm²に AZ5214E レジストを 1.5 µm 厚に塗布し、マスクレス露 光装置にて φ 30 µm のドットパターンを露光し、現像を行った。その後 Au コーターにて 10nm 厚で成膜 し、アセトンにてリフトオフを行い、Au のドットパターンのついた Ge 基板を試料とした。Ge エッチン グの温度依存性を調べるために、純水を 25℃、30℃、40℃のホットバスで加温しながらエッチングを行 った。長時間のエッチングは、純水 20℃で行った。実験時の室内温度はおおむね 20℃であった。エッチ ング深さは Dektak、表面観察は光学顕微鏡と SEM および AFM にて行った。

3. 実験結果

図 1(a)に 40℃の純水で 330 min エッチングした Ge 基板上の Au パターンの光学顕微鏡写真を示す。図 1 (b)に図 1(a)の点線部を測定した結果を示す。Dektak によるスキャンプロファイルより、Au パターン 上はうねりのある表面となり、Au と Ge の境界付近には約 10 µm 幅の溝ができている。これは Au パタ ーン周縁部で触媒効果が最も大きくエッチングが進んでいると考えられる。図 2 にエッチング時間と Ge



図 1(a) 40℃で 330 min エッチング後の Ge 基板上の Au ドットパターン光学顕微鏡写真(Top View) (b) Dektak による破線部のスキャンプロファイル のエッチング深さの関係を示す。溝の深さをエッチング深さとした。エッチング時間とともにエッチングは進み、純水の温度が高い ほどエッチング速度は大きくなる。

次に、図 3(a)と図 3(b)に 20°Cの純水で 72 時間エッチングを 行った試料表面の光学顕微鏡写真と SEM 写真を示す。エッ チングにより、Ge 表面の研磨痕が視認できるようになった。ドッ トバターンは黒色を示し、SEM で観察すると三角錐形状にエッ チングされた表面であった。ドットパターンの外側でも細かい凹 凸が見られた。純水によって Ge はエッチングされるが、Au の触 媒効果によってエッチングは更に促進され、三角錐形状にエッ チングされることがわかる。図 4 に Au ドットパターンの 5×5 μ m ²の範囲の AFM 像と断面プロファイルを示す。①に示すように、 およそ一辺が 150 nm の三角錐形状の溝の深さは 100 nm で あった。また②に示すように、三角錐形状以外の箇所でも 5 nm 程度の凹凸があった。①の値から推察すると、Ge 基板表面と エッチングでできた三角錐溝の斜面の角度はおよそ 54°であ り、三角錐形状は Ge(100)面の結晶面が露出したものと考え られる。



図 3 20℃で 72 h エッチング後の Ge 基板上の Au ドットパターンの (a)光学顕微鏡写真、(b) SEM 写真



図 4 20℃で 72 h エッチング後の Ge 基板上の Au ドットパターンの AFM 像および断面プロファイル

4. まとめ

Au を触媒とした純水による Ge のウエットエッチングを行った。Ge は純水でエッチングされ、Au と Ge の境界付近、かつ純水の温度が高いほどエッチングが進んだ。また、Au の触媒効果により Ge 表面は三角錐形状にエッチングされ、結晶面が露出した。

参考文献

[1] 有馬 健太ほか:水中での溶存酸素を介した Ge 表面の金属アシストエッチングの基礎特性,表面科学 36, No.7, 369-374 (2015)

プラズマ処理したSML1000レジストの増感とメカニズムについての考察

(令和6年7月9日,令和7年3月3日改訂)

藤本美穂

1. はじめに

2023年のテクニカルレポート[1]で、酸素プラズマ処理したSMLレジストの増感効果は、すべてのパラメータが寄与していると報告したが、酸素プラズマによる増感メカニズムは未解明である。本報告では、プラズマの増感因子の検証について報告する。またArプラズマによるSMLレジストの増感と増感のメカニズムについても報告する。

2. 実験方法

2.5×2.5 inch² のマスクブランクス(Cr 付)をガラスカッターで 15×15 mm² に切り出して試料とした。レジストは SML1000 を用いた。レジストを 500 rpm で 3 秒間、4000 rpm で 60 秒間スピンコートし、180℃に設定したホットプ レート上で 2 分間プリベークした。

図1に、プラズマ処理方法の概略図を示す。図1(a)の方法で基板を処理し、電子線描画を行った。プラズマ中の光のみを照射する場合は図1(b)、ラジカルのみを照射する場合は図1(c)の方法で基板を処理した。プラズマ処理時間はいずれも10秒間とした。。





表 1 の条件にしたがって、電子線描画を行った。描画エリ アは 500×500 μ m²、解像度は 10000×10000 とした。WD は 6.9 mm に設定した。描画後のレジストを 20°Cの ZED-N50 で 150 秒間現像し、IPA で 15 秒間リンスし、クロムエッチングを 行った。Dektak による膜厚測定には、50 μ m の L/S パターン を利用した。残膜 0 になる最低ドーズ量を D_0 とした。現像液

衣 前丁緑油回の余物	1 電子線	描画の卶	を件
--------------	-------	------	----

加速電圧	30 kV
電流値	100 pA
ドーズ量	$10 \sim 150 \ \mu C/cm^2$
現像	ZED-N50(20°C), 150 s
リンス	IPA, 15 s

は恒温槽で温度を一定に維持した。また SEM 観察には 1 μ m および 0.5 μ m の L/S パターンを対象とした。酸素 プラズマ未処理の SML1000 の D_0 は、136 μ C/cm²だった。 図 2 に、本実験の電子線描画の概略図を示す。



図2 本実験の電子線描画の概略図

3. 結果と考察

3.1. プラズマ処理による SML レジストの増感

図 3(a)に、図 1 (a)の方法でプラズマ処理を行った SML1000 のコントラスト曲線のプラズマガス種依存性を示す。 図 3 (a)より、酸素プラズマ処理した SML1000 の D_0 は 125 μ C/cm²、Ar プラズマ処理した SML1000 の D_0 は 132 μ C/cm² であり、いずれのプラズマで処理しても増感されることがわかった。図 3 (b)に酸素プラズマおよび Ar プラ ズマ処理による 10 秒間あたりのエッチング深さを示す。図 3 (b)より、酸素プラズマ処理によって SML1000 は約 170 nm、Ar プラズマ処理によって約 70 nm エッチングされることがわかった。図 3 の結果より、Ar プラズマ処理に より SML1000 の増感が可能だが、酸素プラズマ処理の方がより増感されることがわかった。



図 3 (a) SML1000 のコントラスト曲線のガス種依存性。(b) プラズマガス種と処理時間 10 秒当たりのエッチン グ深さ

図4に、プラズマ処理を行っていない SML1000と、プラズマ処理を行った SML1000 に電子線描画した1および 0.5 µm のラインアンドスペースパターンを示す。プラズマの流量は25 sccm、圧力は20 Pa、RF power は270 W とした。プラズマ処理後のラインパターンの高さはやや減少していたが、構造はプラズマ処理前と同様の形状だったことから、プラズマ処理によるラインアンドスペースパターンの断面形状への影響はないとわかった。



図 4 プラズマ照射前後の SML1000 のラインアンドスペースパターン。ドーズ量は 180 µC/cm²。観察時の加速電圧は 15 kV

3.2. プラズマによる SML レジストの増感因子

図 5(a)~5(d)に、図 1(a)~1(c)の方法でプラズマ処理した SML1000 のコントラスト曲線のプラズマ因子依存性と エッチング深さを示す。図 5 (a)に示すように、酸素プラズマ中の光のみを照射した SML1000(図 1 (b))の D_0 は 136 μ C/cm² と、プラズマ未処理と同じ値だった。一般的に電子線レジストは光を照射しても反応が進行しない[2] ため、光のみを照射しても増感しないと考えられる。一方で酸素ラジカルのみを照射した SML1000(図 1 (c))の D_0 は 131 μ C/cm²(g=1 mm)および 132 μ C/cm²(g=0.3 mm)だった。また図 5(c)より、図 1 (a)の方法で酸素プラズ マ処理した SML1000 のみがエッチングされていたため、エッチングは酸素プラズマ中のイオンが原因と考えられ る。図 5 (a)および図 5 (c)の結果から、酸素プラズマの増感はイオンと酸素ラジカルが原因と考えられる。

図 5 (b)に示すように、図 1(b)および 1(c)の方法でプラズマ処理した SML1000 の D_0 はいずれも 136 μ C/cm²だった。また図 5 (d)より、図 1 (a)の方法で Ar プラズマ処理した SML1000 のみがエッチングされることがわかった。 Ar は希ガスなので、Ar プラズマによる増感はイオンが原因と考えられる。先行研究[3]では PMMA に酸素プラズ マや Ar プラズマを照射することで、構造変化が生じることが報告されている。よって図 5 の結果は、イオンやラジ カルによって SML1000 に構造変化が生じたことが原因と考えられる。



図 5 (a)SML1000 のコントラスト曲線の酸素プラズマの因子依存性。(b) SML1000 のコントラスト曲線の Ar プ ラズマの因子依存性。(c) 酸素プラズマ中の粒子と処理時間 10 秒あたりのエッチング深さの関係。(d) Ar プラ ズマ中の粒子と処理時間 10 秒当たりのエッチング深さの関係

図5の結果からSMLレジストの増感にプラズマ中のイオンが大きく寄与していると考えられるため、イオンのエネ ルギーの効果を調べるためArプラズマのRF power 依存性を検証した。図6(a)-6(d)に、SML1000のコントラス ト曲線のArプラズマのRF power 依存性および10秒当たりのエッチング深さ、波長750 nm における発光スペク トル強度と D_0 の関係性を示す。Arプラズマの圧力を20 Pa、流量を25 sccm に設定した。図6(a)より、RF power が100 W で D_0 がわずかに減少(135 μ C/cm²)し、RF power が上昇すると D_0 は小さくなるため、Arプラズマ処理 による増感に RF power 依存性があることがわかった。図6(b)より、RF power が大きくなると処理時間10秒当たり のエッチング深さも大きくなるため、エッチング深さにも RF power 依存性があることがわかった。これは酸素プラズ マと同様の傾向である[1]。図6(c)より、波長750 nm における発光スペクトルの強度は、RF power が大きくなると 増加する一方、 D_0 は RF power が100 W 以上で減少した。図6の結果から SML1000の増感に Arプラズマの RF power が大きく寄与していることから、プラズマ処理による SML1000の増感はプラズマ中のイオンのエネルギ ーが寄与していると考えられる。



図 6 (a)SML1000 のコントラスト曲線の Ar プラズマの RF power 依存性。(b) RF power と処理時間 10 秒当たり のエッチング深さの関係。(c) RF power における波長 750 nm における発光スペクトルの強度および D₀の関係

4. まとめ

電子線描画前の SML1000 を Ar プラズマで処理することで増感効果が生じるが、酸素プラズマと比較すると増 感効果は小さいとわかった。またプラズマ中のイオンのエネルギーが SML レジストの増感に大きく寄与していると 考えられる。

参考文献

[1] 藤本美穂 テクニカルレポート No. 275 (2023)

[2] 城田靖彦 他 高分子 28 巻 3 月号 181-186(1979)

[3] P. Gröning et al., Appl. Surf. Sci., Volume 89, Issue 1, 83-91 (1995)

簡易スパッタ装置による酸化クロムの成膜

(令和6年11月5日,令和6年11月6日改訂)

松谷 晃宏

1. はじめに

メカノマイクロプロセス室の簡易スパッタ装置(サンユー電子製, SC-701MKII)は、真空排気が不十 分な状態で Cr を成膜すると酸化クロムが成膜される。しかしながら、成膜された酸化クロムの屈折率や 分光透過率についてはこれまでに測定されていなかった。今回は、エリプソメータと分光器を用いて、簡 易スパッタ装置で成膜された酸化クロムの光学特性について測定したので報告する。また、Cr 成膜のた めの回転パージの効果についても報告する。

2. 簡易スパッタ装置を用いた酸化クロムの成膜とエリプソメータを用いた屈折率の測定

簡易スパッタ装置に関する以前のテクニカルレポ ートでは、Cr 成膜における膜厚分布などは報告されて いる。それによると、到達圧力 1.2×10-1 Pa、プロセス 圧力 1 Pa の条件で成膜された Cr 膜成膜レートは 23 nm/min である[1, 2]。今回の実験は、以下の方法で行 った。図1に示すように、試料台の上に 22×22 mm²の カバーガラスと Si 基板を向かい合わせて置き, それぞ れの試料の上に膜厚測定用のカプトンテープの小片を 試料台の中央付近の位置に貼った。2時間真空排気を実 施し、到達真空度 0.88 Pa, 回転パージなしで Ar を導 入して, 圧力 1.5 Pa で放電し, プリスパッタ 2 分, 成 膜時間は5分とした。図2に成膜前後のカバーガラス を示す。成膜後では薄い着色が見られ、典型的な酸化 クロム膜の様相を示した。Dektak で成膜された膜厚 を測定すると約15nmであった。すなわち,3nm/min の成膜レートであった。

次に, Si 基板上に成膜された膜をエリプソメータで 屈折率を測定した。測定位置は試料の中央とした。膜 厚 d=15 nm として屈折率 n と消衰係数 *k*を計測する と,屈折率 n=2.094, k=0.00 (@633 nm)であった。



図 1 簡易スパッタ装置の試料台に設置したカバ ーガラスと Si 基板の配置



図 2 カバーガラス上に成膜した酸化クロム膜(a) と成膜していないカバーガラス(b)

一方, k=0.00 として, 屈折率 n と膜厚 d を計測すると, n=1.935, d=17.7 nm となった。同様に, k=0.1 として, 屈折率 n と膜厚 d を計測すると, n=1.571, d=19.9 nm となり, 明らかに不適当な数値となった。 Cr_2O_3 の屈折率は 2.24-i0.07 (@700nm) [3]とされているので, 成膜した膜にはわずかな着色がみられていたが, Cr_2O_3 よりは酸素リッチの膜で屈折率は約 2, 消衰係数は約 0 と考えられる。 * https://www.hakumaku.com/jochaku.php

3. 成膜された酸化クロム膜の分光透過率

次に,成膜された酸化クロムの分光透過率を測定した。透過率の測定は次のように行った。まず,分光器(Ocean Optics, USB4000-XR1)とタングステンハロゲンランプ光源(Ocean Optics, LS-1-LL)を向

かい合わせて,光の強度を適量に調整し,分光器の入射口にカバーガラスをほぼ垂直に設置して透過光 を測定した。次に,酸化クロム膜のついたカバーガラス試料を酸化クロム表面が光源側になるように同

様に設置して透過光を測定した。これらのデータ から,酸化クロム膜の分光透過率を算出した。図 3に測定した酸化クロム膜の分光透過率を示す。 表示範囲は波長 300~1000 nm とした。タングス テンハロゲンランプは短波長側ではほとんど強度 がないため,350 nm 以下の透過率はノイズによる 誤差を大きく含むが,350~1000 nm の透過率は, 短波長側で減衰が大きくなることがわかる。エリ プソメータで測定した波長 633 nm における透過 率は 95%程度であることがわかった。エリプソメ ータの測定で用いた Si 基板上の酸化クロム膜で消 衰係数が 0 と見積もられたが,この差が何に起因 するかは今後の課題である。



図3 簡易スパッタ装置で成膜した酸化クロム膜の 分光透過率

4. 回転パージの効果

酸化クロム膜の生成は成膜中のチャンバー内の残留酸素に起因する。 したがって、Ar を用いた回転パージでチャンバー内の残留酸素を低減 することができる。図4は、6PaまでArを導入して回転パージを2回 実施した後に成膜した Cr 膜である。真空排気時間1.5 時間、1.0 Pa、 成膜時間10分で80~100 nmの膜厚のCr が成膜され、回転パージが 効果的なことが実証された。



図4 Ar による回転パージを 実施した後に成膜した Cr 膜

5. まとめ

簡易スパッタ装置で成膜された酸化クロムの光学特性を測定し、屈折率と分光透過率について測定した。また、Arを用いた回転パージはCr成膜のために効果的であることがわかった。

(参考)酸化クロムについて

簡易蒸着装置で Cr を蒸着する場合に, 蒸着後にチャンバーを開けるとタングステンボートの上の Cr の 表面が緑色になっていることがある。この時, 試料上には成膜はされていないが, 表面の緑色のこの物質 が Cr₂O₃ (クロム III) である。チャンバー中の酸素と反応して Cr₂O₃ が生成されていることになる。Cr₂O₃ の融点は 2435 °C, Cr の融点は 1907°Cである。Cr₂O₃ は酸や塩基によって容易には侵されないが, 溶融 アルカリには溶けて亜クロム酸塩を与える。加熱すると茶色に変化するが、冷却すると暗緑色に戻る。吸 湿性がある。一方, CrO は塩化ナトリウム型構造の黒色粉末で [3]空気中で容易に酸化されて酸化クロ ム(III)となる。

参考文献

[1]西岡, テクニカルレポート No. 132 (2016).

[2]西岡, テクニカルレポート No. 155 (2017).

[3] Egon Wiberg, Arnold Frederick Holleman (2001) Inorganic Chemistry, Elsevier ISBN 0123526515

FlexSEM1000 IIを用いたSiNメンブレンを介したSEM観察

(令和6年11月5日 令和7年2月27日改訂) 佐藤 美那

1. はじめに

Scanning electron microscope (SEM)は光学顕微鏡より高倍率での観察が可能である一方, 観察には真空が必要であるため液中の観察が難しい. そのため, 液中のSEM観察は, 一般的に大気圧SEMやメンブレンフィルターを有するセルが用いられる[1]. そこで, 本テクニカルレポートでは, SiNメンブレンを介したSEM観察の諸条件についてメカノマイクロプロセス室のSEM (FlexSEM1000 II, 日立ハイテク㈱製)を用いて実験した結果を報告する.

1. 実験条件

図1に本実験で使用したSiNメンブレンフィルター((株)アライアンスバイオシステムズ製:TEM Windows Grids, フレーム厚 200 µm)を示す. Si 基板の中央部にSiNメンブレン窓(0.5×0.5 mm², 厚さ500 nm)がある. 図2に本 実験方法の概略図を示す. Si 基板上にCrパターン(幅10 µm, L&S, t=100 nm) を作製したサンプル上に, SiN メンブレンを重ねSiNメンブレン窓直下のパターンのSEM 観察を実施した.

<u>SEM 観察</u> 加速電圧を 5, 10, 15, 20 kV と変化させて高真空モードで SEM 観察した. スポット強度は 50 または 100 として二次電子像を確認した. SEM 像の明るさやコントラストは自動調整した. 写真撮影条件(スキャンスピー ドおよび画素数)は同じ条件とした.

EDX 分析 SEM 観察像の中で最も解像度の良い観察条件で EDX 分析のマッピングを実施した. 原子数濃度比は C を除き, Si, N, Cr を算出した.

|武料電流測定| 試料電流値は本装置に内蔵されている簡易的な電流測定システムにより測定した. SiN メンブレンを直接試料台に置き試料電流値を測定した. またメンブレンを介さずに直接試料台に電子線を照射した時と試料電流値を比較測定した.







図2 本実験の概略(断面図)

2. 実験結果·考察

3.1 SEM 観察

図3に各観察条件でのSEM像を示す.加速電圧5 kV で観察した時はチャージアップにより観察できなかった.10 kV では、スポット強度を100 とした場合にはわずかに Cr パターンが確認できた.このことから、加速電圧10 kV 以下ではビーム調整時に拡大観察した箇所が明るくなっていることから、SiN 膜中のチャージアップの影響を受けやすいと考えられる.

更に,加速電圧を15kVから20kVに上げると像がよりシャープになり,スポット強度が大きくなるほどコントラストが高くなった.以上の結果より,メカノマイクロプロセス室のSEMでもメンブレンフィルターを介した観察が可能であることがわかった.ただし本装置は共用装置のため,液体観察は不可とする.粉体の飛散による内部汚染の防止膜としての利用が可能であると考えられる.

加速電圧 20 kV, スポット強度 100 で観察した時の EDX 分析結果を図 4 に示す. SEM 像全面の Si, N, Cr の 原子数濃度比を表 1 に示す. Cr/Si のパターンどおりの Si と Cr の分布が確認できた. また SiN メンブレンに由 来する N 元素は全体に分布している. 以上より, 本手法は EDX 分析に適用可能であることがわかった.

図5に加速電圧が5kVと20kVの時のスポット強度と試料電流の関係をメンブレンフィルター法の有無で測定 した結果を示す. 加速電圧 5 kV において、メンブレンフィルターを介することで電流値が低下した. これは、帯電 の影響と考えられる.一方,加速電圧 20 kV においてはメンブレンの有無で試料電流値影響を与えなかった.入 射した電子線が十分に試料まで達していると考えられる.



図 3 メンブレンフィルターを介した SEM 観察像



Si

50µm



図4 EDX 分析による元素マッピング

表1SEM 像全面の原子数濃度

元素	原子数濃度[at%]
N	41
Si	56
\mathbf{Cr}	3



Ν Κα1_2

3. まとめ・今後の展望

TEM 観察用の SiN メンブレンフィルターを用いた SEM 観察条件について調査した.メカノマイクロプロセス室 においてメンブレンフィルターを介した観察は加速電圧 15 kV 以上でが可能であったが,液体観察は不可とする. 共用設備のため液中観察は不可である.しかし、本手法は粉体の飛散防止用として有用であると考えられる. SiN メンブレンの厚さが小さくなるほど電子線の散乱が抑えられ、より明瞭な像の観察が可能である. 今後, 低真 空モードや反射電子像での観察が可能か検討する予定である.

参考文献 [1] 石田忠 "イオン液体を用いた電子顕微鏡観察法の開発" J. Japan Soc. Prec. Eng. 88(2022) 5

電子線描画レジストとして用いたフォトリソレジスト AZ5214E の検証

(令和 6年 11月 5日 令和 7年 3月 3日改訂) **遠西 美重**

1. はじめに

フォトレジスト AZ5214E はポジ型およびネガ型で使われ、電子線にも感度を持つ。このレジストはメ カプロ室の電子線レジストで使われている SML1000 よりも安価であり、450 nm 程度の構造作製が可能 [1]であることから、メカプロ室の共用の電子線レジストとして運用することが望まれている。ここでは、 AZ5214E を電子線レジストとして用いる際の条件出しを目的とした実験結果について報告する。

2. 実験概要

アセトンで洗浄した Si 基板 15×15 mm²を試料として用いた。AZ5214E レジストは、ポジ型では1メ トキシ 2 プロパノールアセテートにて体積比 1:1 で希釈して用い、ネガ型では希釈せずに用いた。SEM /EB 描画装置 (JSN-IT200/SPG-724) は加速電圧 30 kV、電流値 100 pA、ドーズ量 (1-250 μc/cm²) の条 件で描画を行った。膜厚は Dektak XT にて測定し、現像後のレジストの形状は SEM (Hitachi High-tech FlexSEM1000 II)にて観察した。

3. 実験結果

3.1 ポジ型で用いた場合

始めにレジストをポジ型として用いて露光を行った。 表1に実験条件を示す。AZ5214E レジストを塗布(スピ ンコート 500 rpm 5 s→4000 rpm 60 s)し、100[°]Cのホッ トプレートにて 60 sベークを行った。露光後 TMAH 2.3% 溶液にて現像(現像時間 40 s)、純水にてリンス(60 s) を行った。図1にコントラストカーブを示す。30-100 μ c/cm² で残膜0となり、130 μ c/cm²以上では膜厚が増 加した。ドーズ量が多いとレジストに含まれる光活性物 質がパターンの外周でのみ架橋し、パターン部分はポジ プロセスとして反応しなくなる[2]ためである。このポジ

表1 ポジ型として用いた場合の実験条件

	ポジ型	
	(膜厚 232 nm)	
レジスト塗布	500 rpm 5 s→4000 rpm 60 s	
プリベーク	100°C、 60 s	
描画	加速電圧 30 kV	
	電流值 100 pA	
現像	40 s	
リンス	60 s	



図1 ポジ型として用いた場合の コントラストカーブ



図 2 10 μc/cm²のドーズ量で露光、 現像後の L&S パターン光学顕微鏡写真 (Top View)

型で起こる現象は PMMA レジストでも起こると報告されている[2]が、図 1 の参考に示す OFPR800LB レジストにおいても、ドーズ量が過剰になると膜厚が増加する同様の傾向があった。図 2 に 10 µc/cm²の ドーズ量で露光、現像後の L&S パターン光学顕微鏡写真を示す。10 µc/cm²のドーズ量の露光によって 1 µm の L&S が作製可能であることがわかった。

3.2 ネガ型で用いた場合

次にレジストをネガ型として用いて露光を行った。 表 2 に実験条件を示す。AZ5214E レジストを塗布 (スピンコート 500 rpm 5 s→4000 rpm 60 s)し、100℃ のホットプレートにて 60 s ベークを行った。 露光後リ バーサルベークを 120°C 90 s 行った後、マスクアラ イナにて基板全面を UV 露光(露光時間 50 s)し、 TMAH 2.3%溶液にて現像(現像時間 80 s)、純水に てリンス(60 s)を行った。 図 3 にコントラストカーブを 示す。80 µc/cm² 以上のドーズ量で緩やかな上昇 になった。図4のSEM写真に示すように、ドーズ量 200 µc/cm²では、1 µm の L&S パターンの狭いスペ ースのレジストは、現像で完全に溶解されなかった ため、過剰な露光は現像不良となる。図 5 は 80 μc/cm²のドーズ量で露光、リバーサルベークおよび 現像後の SEM 写真である。1 µm の L&S を得るこ とができた。これより、ネガ型として用いる場合では、 80 µc/cm²のドーズ量での露光によって1µmのパタ ーンのL&Sが作製可能であることがわかった。





図 4 ドーズ量の異なる 1 μm の L&S パターン SEM 写真(87°tilted)

	ジスト
1 µm	0.5 µm

図 5 80 µc/cm²のドーズ量で露光、 現像後 L&S パターン SEM 写真 (45°tilted)

4. まとめ

ポジ型ネガ型として使用可能なフォトレジスト AZ5214E を電子線露光のレジストとして用いた。ポジ型ではドーズ 量 10 µc/cm² 程度、ネガ型では 80 µc/cm² において、1 µm の L&S が作製可能であることがわかった。

参考文献

[1] R. Andok, *et. al.*: The AZ5214E resist in EBDW lithography and its use as a RIE etch-mask in etching thin Ag layers in n_2 plasma, Journal of Electrical Engineering **64**, No.6, 371-375 (2013)

[2] Nanobridges formed through electron beam image reversal lithography for plasmonic mid-infrared resonators with high aspect ratio nanogaps, Landobasa Y. M. Tobing, *et. al.*: *Nanotechnology* **30** 425302 (2019)

表2 ネガ型として用いた場合の実験条件

	ネガ型	
	(膜厚 1640 nm)	
レジスト塗布	500 rpm 5 s→4000 rpm 60 s	
プリベーク	100°C、60 s	
描画	加速電圧 30 kV	
	電流値 100 pA	
リバーサルベーク	120°C、90 s	
現像	80 s	
リンス	60 s	

SU-8への電子線リソグラフィへの応用における現像前ベーク(PEB)温度 に関する実験

(令和6年11月5日,令和7年3月3日改訂)

藤本美穂

1. はじめに

エポキシ樹脂で構成されるネガ型フォトレジストSU-8を用いて、電子線描画により線幅約0.5 μmのライン構造の 作製可能である[1]。SU-8は従来の電子線レジストと比較して高感度[1]である。一方、電子線の近接効果や現像 前ベーク(PEB)温度によって近接するパターンが結合することが報告されている[2]。

本実験ではメカノマイクロプロセス室の共用電子線レジストとしてSU-8を運用するため、電子線描画のPEB温度の条件を探索した。

2. 実験方法

図1に、本実験の電子線描画の概略図を示す。Si (100)を10×10 mm²に劈開して試料とした。レジストは SU-8 2002 を用いた。薄膜化する際はレジストと PGMEA を体積比で 4:1 になるよう混合した。500 rpm で 10 秒間、2000 rpm で 30 秒間スピンコートし、ホットプレート上でプリベーク[1][2]した。希釈していない SU-8 2022 の膜厚は約 2 µm、PGMEA で希釈した SU-8 2002 の膜厚は約 1 µm だった。

表1に本実験の電子線描画の条件を示 す。描画エリアは 500×500 μ m²、解像度 は10000×10000 とした。WD は8.1 mm に 設定した。描画後の基板をホットプレート上 で PEB[2]を行い、SU-8 developer で現像 後、IPA で電子線未照射の SU-8 が溶解す るまでリンスした。膜厚は DekTak で測定し た。1 μ m および 0.5 μ m の L/S パターンを SEM 観察し、近接するラインパターンの結 合や倒れの有無を確認し、パターンの結

表1 電子線描画の条件				
	SU-8/PGMEA (v/v) 4:1			
プリベーク	65°C, 60 s→95°C, 120 s 110°C, 60 s			
加速電圧	30 kV			
電流値	10 pA			
ドーズ量	$1 \ \mu C/cm^2$			
PEB	57, 63, 69, 80°C, 60 s			
現像	SU-8 developer, 60 s			
リンス	IPA			

合および倒れがない条件を最適な条件とした。

30 kV



3. 結果と考察

図 2 に、膜厚 2 µm の SU-8 のラインアンドスペースの SEM 像を示す。図 2 に示すように、PEB の温度が 57℃ で 1 µm ラインパターンは倒れず、近接するパターンの結合がみられなかった。一方で PEB 温度が 63℃以上で は隣接するラインパターンが結合していた。PEB 温度とドーズ量の組み合わせによって近接するパターンが結合 する[2]ため、膜厚 2 µm の SU-8 では相転移温度(約 63℃)よりも低い PEB 温度が最適と考えられる。しかしなが らいずれの PEB 温度でも、近接する 0.5 µm ラインパターンの結合が確認された。膜厚が 2 µm のため、近接効果 が原因と考えられる。図 2 の結果から、膜厚 2 µm の SU-8 への電子線描画で作製できるラインアンドスペースパ ターンは 1 µm が最小であることがわかった。

L/S	57°C_1 min	63°C_1 min	69°C_1 min	80°C_1 min
0.5 µm				
1 µm		Targe Tech 10 Ziv 14 dem XND X BE	11111	

図2 膜厚2µmのSU-8のラインアンドスペースパターンのSEM像

図3に、PGMEAで希釈した膜厚1µmのSU-8のラインアンドスペースのSEM像を示す。図3より、いずれのPEB温度でも近接するパターンの結合はなかったことから、薄膜化により近接効果の影響が小さくなったと考えられる。またPEB温度80℃で、ラインパターンの寸法がCADの設計値とほぼ同じであり、パターンが倒れなかった。 先行研究でもプロセス条件によりパターン寸法と設計値にずれが生じ、パターンが歪むことがあると報告されている[2]。図3の結果より、膜厚1µm、PEB温度80℃で0.5µmのラインアンドスペースパターンを作製できることがわかった。

L/S	57°C_1 min	63°C_1 min	69°C_1 min	80°C_1 min
0.5 µm	0.1 µm ⊮⊀	0.5 μm ≠ i≉ Nave Test 10 Sec 10 Sec	0.4 µm ⊮ ⊭ Tage Tech 1624 14 two X624 00	0.4 µm
1 µm	0.4 µm +i ∺ 0.9 µm‡	1 <u>.3</u> µm ≭0.6µm	<u>-+i i≮ *</u> 1.0 µm 0.7 µm * Тим Тил ийлени	0.9 µm. ментек и скана скана

図3 膜厚1µmのSU-8のラインアンドスペースのSEM像

3. まとめと今後の展望

電子線レジストとして SU-8 を運用するにあたり、膜厚 1 µm、PEB 温度 80℃で 0.5 µm のラインアンドスペースパ ターンを作製できた。今後は 0.5 µm 以下のパターンをより安定的に形成できる SU-8 の膜厚と条件を検証する。

参考文献

[1] A. K. Nallani et al., Proc. SPIE, Vol. 5116, 414 (2003)

[2] M. Yasui et al., Jpn. J. Appl. Phys., 53 11RF03 (2014)

AZ5214Eのプリベーク時間と膜厚および屈折率に関する実験

(令和7年2月25日,令和7年2月26日改訂)

松谷 晃宏

1. はじめに

メカノマイクロプロセス室では、フォトリソグラフィで用いるレジストとしてポジ型では AZ5214E を 共用レジストとして提供している。デバイス製作に必要なパターンに応じてさまざまな露光・現像条件 で使用されているが、個別案件が多く、関連するノウハウはユーザーまたは利用研究室内で閉じられて いることが多い。レジストの露光・現像結果は、UV 光のパワー密度、露光時間、露光パターン形状、ベ ーク温度、現像液、現像温度、現像時間などの多くのパラメータに支配されている。これまでのテクニカ ルレポートで、いくつかのパラメータについては情報を開示している。単波長のフォトリソグラフィで 製作したレジストパターンの側面には 100~200 nm の定在波効果に起因する周期の波形模様が形成され る。波形模様の周期パターンから屈折率を求め、ホットプレートを用いた熱処理によりレジストパター ン底部の凝集性が高くなったことを反映していると報告されている例もある[1]。

今回は,ポジ型フォトレジスト AZ5214E のプリベーク時間と膜厚,屈折率および白色光下で作業した後に TMAH によって現像されるレジストの厚さの減少についての測定結果を報告する。

2. 実験方法

今回の実験は以下の方法で行った。試料には 18×18 mm²の Si(100)基板を用いた。Si 基板をアセトンで洗浄後, 沸騰直後の純水をかけ流して洗浄した。冷蔵庫から取り出して 30 分後の AZ5214E を Si 基板にスピンコートした。スピンコートの条件は, 初期回転数 200 rpm から10 秒のスロープで4000 rpm に回転数を増やして60 秒間回転後に停止した。プリベークはホットプレートで行い, 温度は100°C, ベーク時間を30 秒,60 秒,120 秒,300 秒,600 秒とした。図1に示すように,4 分割したときの対角線中央付近にピンセットで傷をつけて, Dektak での膜厚測定用の箇所とした。エリプソ(溝尻光学, 波長 633 nm)を用いた屈折率の測定箇所はDektak 測定箇所の近傍の干渉色が変わらない箇所とし, Dektak で測定した膜厚との差を最小限とした。



図1 実験に用いた試料と膜厚と屈折率の測定箇所

3. 実験結果

3.1 AZ5214E のプリベーク時間と膜厚の関係

図2に, AZ5214E のプリベーク時間と膜厚の関係を示す。プリベーク時間が 30 秒と 60 秒の時には AZ5214E の厚さは 1.824—1.825 µm でほぼ同じ厚さであった。しかしながら, プリベーク時間が 120 秒 ではその厚さは 1.746 µm, 300 秒で 1.737 µm, 600 秒で 1.715 µm となり, プリベーク時間の増加とと もに AZ5214E の膜厚も徐々に減少する傾向がみられた。この膜厚の減少は, ホットプレートを用いた熱 処理によりレジストパターン底部の凝集性が高くなったことを反映しているとする参考文献 1 の記述と 整合するように思われる。

3.2 AZ5214E のプリベーク時間と屈折率の関係

図3に、AZ5214Eのプリベーク時間と屈折率 の関係を示す。プリベーク時間が30秒と60秒の 時には AZ5214E の屈折率は 1.628—1.627 µm で ほぼ同じであった。しかしながら、プリベーク時間 が 120 秒ではその屈折率は 1.634 と増加し、300 秒と 600 秒では、屈折率は 1.630、1.609 となり 徐々に減少する傾向がみられた。この屈折率の減 少は、ホットプレートを用いた熱処理によりレジ ストパターン底部の凝集性が高くなったことを反 映しているとする参考文献1の記述とは整合しな いように思われる。

3.3 AZ5214E のプリベーク時間と白色光下で膜 厚測定と屈折率測定した後の TMAH による現像膜 厚の関係

図4に、AZ5214Eのプリベーク時間と白色光下で 膜厚測定と屈折率測定した後のTMAH:水(1:10)で 1分現像される膜厚の関係を示す。試料(AZ5214E) が白色光下にさらされていた時間はおよそ1時間 であった。TMAHの現像は室温で1分間とした。 プリベーク時間が30秒ではエッチングされた厚さ は1.29 µm,60秒の時には1.1 µm,120秒では1.067 µm であった。白色光で露光された状態のAZ5214E のエッチング速度は、プリベーク時間が長いときに はやや小さくなることがわかった。

4. まとめ

以上の実験により,プリベークの時間が AZ5214E の膜厚,屈折率,TMAH のよる現像速度を変化させ る要因となることがわかった。これにより,AZ5214E を用いたリソグラフィでは,プリベーク時間も重要な パラメータであり,膜厚,屈折率,現像速度の制御に 活用できる可能性があることが示唆された。

参考文献

[1] 河合晃,川上喜章"原子間力顕微鏡(AFM)に よる微細レジストパターン内の屈折率分布の解析" 日本接着学会誌,**43**(2007) pp. 140-143.







FlexSEM1000 II による観察時のイオン液体を用いたチャージアップ低減 方法の検討

(令和7年2月25日 令和7年2月27日改訂) 佐藤 美那

1. はじめに

Scanning electron microscope (SEM)は光学顕微鏡より高倍率での観察が可能である一方,真空で電子線を照射するため非導電性試料の観察時にチャージアップが生じる.そのため,非導電性試料をSEM観察する際は、メカノマイクロプロセス室では試料表面をAuコートすることで観察している.また,Auコートが困難な試料はSEMの低真空モードで観察している.しかし,近年イオン液体の塗布による電子顕微鏡観察法が提案されており,Auコートの必要ない観察が可能である[1].そこで、本テクニカルレポートではメカノマイクロプロセス室のSEM (FlexSEM1000 II,日立ハイテク(株製)におけるイオン液体塗布による観察について実験した結果を報告する.

2. 実験条件

イオン液体

図1に本実験で使用したイオン液体(Ionic liquid, IL)の1-ブチル-3-メチ ルイミダゾリウムビス(トリフルオロメタンスルホニル)イミド([BMI⁺][TFSA⁻])の 構造式を示す[2]. 分子式は CH₃C₃H₃N₂C₄H₉[(CF₃SO₂)₂N]である. IL は揮 発性が極めて低いこと, 難燃性であること, イオン導電性を有していること が特徴である.



図1 イオン液体の構造式

観察サンプル

観察したサンプルを図2に示す.2種類の絶縁性試料である.

(a) ポリウレタン製繊維(アルファスティック, Texwipe 社製)

(b) サファイア(Al₂O₃)基板上のSiO₂薄膜(t = 130 nm)に細孔
 (50µm×50µmの正方形)を配列した試料



(a)ポリウレタン繊維
 (b)SiO₂/Al₂O₃
 図2観察サンプル

塗布方法

本実験で使用した IL は桑畑らの報告^[1]で, エタノールで 1 wt%に希釈した IL を使用していたことから同様に 調整した. IL の塗布方法は, ポリウレタン繊維は浸漬後乾燥させた. SiO₂ 薄膜パターンはスピンコーター(500 rpm 5 sec→3000rpm 60sec)により塗布後乾燥させた.

SEM 観察条件

SEM の高真空モードで, ①IL をコートした試料, ②Au コート(100Å)した試料, ③導電性コート無の試料の3 種類を観察, EDX 分析を実施した. また, 低真空モードで④導電性コート無の試料を観察した. 高真空 SEM 観 察条件は以下のとおりである.

SEM:加速電圧 5kV, スポット強度 30, 検出器 SE, 撮影条件 Slow(40)

EDX:加速電圧 10kV, スポット強度 80

低真空 SEM 観察条件は以下のとおりである.

SEM: 圧力 40 Pa, 加速電圧 5kV, スポット強度 80, 検出器 BSE, 撮影条件 Slow(40)

3. 実験結果·考察

3.1 SEM 観察

表1に観察試料の SEM 像を示す. ポリウレタン繊維では, IL や Au をコーティングした場合はチャージアップ を低減できた. 一方, コート無しで高真空 SEM 観察した場合, チャージアップした. 特に観察中にでは像がゆが み観察が困難であった. 低真空下でもチャージアップせずに観察を実施しできたがノイズが多く像の粗さが目立 っている. サファイア基板上の SiO2パターンについても同じく, IL や Au をコーティングした場合はチャージアップ を低減できた.しかし, IL をコートした試料には IL の液滴が表面についており, 観察の妨げとなった. コート無し で高真空 SEM 観察した場合, チャージアップした. 低真空下ではチャージアップせずに観察を実施しできたがノ イズが多く像の粗さが目立った.



表1 各サンプルの SEM 像

3.2 EDX 分析

高真空下でサファイア基板上の SiO2 膜の EDX 分析を実施した. ③コート無の 試料では, Si, O, Al, C を検出し, IL に由 来する S.F および Au は検出しなかった.

図3にILとAuでコートした試料の主 要な元素のマッピング像を示す. IL をコー トした試料では SEM 像の液滴に対応した 箇所に多く S.F が検出され、約 1at%含ん でいた. Au コートした試料は,全体的に 分布しており、Au 1at%が検出された.



図3 EDX分析の元素マッピング結果

(b)Au ⊐∽ト

4. まとめ・今後の展望

メカノマイクロプロセス室において IL による電子顕微鏡観察への応用について実験を行った. IL コートによる チャージアップ低減の有用性を確認できた.しかし、ILの液滴がサンプル表面に点在していることにより、表面観 察の妨げとなることがあるため、今後希釈濃度やコート方法などの条件を再検討する必要がある.

本手法は、観察後に導電性のコートを除去が可能である点や繊維等の奥までコートが可能である点で特に有 用である. 本実験後, IL コートしたサンプルをエタノールで洗浄したところ除去することができたが, Au コートした サンプルは Au の除去が困難であった.本手法を引き続き検討する事に加えて,衣類の静電気スプレーであるエ レガード™も同様の効果が得られるという報告があるので、今後併せて検討する予定である[3].

参考文献

- [1] 桑畑進, "イオン液体を用いた電子顕微鏡観察法の開発" J. Vac. Soc. Jpn. 56 (2013) 83.
- [2] 関東化学株式会社 <u>https://cica-web.kanto.co.jp/CicaWeb/servlet/wsj.front.LogonSvlt?ReqItem=05063-33</u>
- [3] 澤 龍 et.al"エレガード[®]を用いた絶縁性試料の SEM-EDX 分析"BUNSEKI KAGAKU 62(2013)155.

ハイアスペクト比構造の PDMS への転写

(令和 7年 2月 25日 令和 7年 3月 11日改訂) **遠西 美重**

1. はじめに

光を閉じ込める暗黒シートの作製について 2023 年に産総研から報告があった[1]。図1に暗黒 シートの光閉じ込め効果について、図2に作製方法を示す。高エネルギーイオンビーム照射と NaOH 水溶液によるウエットエッチングによって作製したアスペクト比4以上の微細構造を持 つ樹脂基板を鋳型とし、シリコーン樹脂に転写した型をカシューオイル樹脂液に型押しして作 製する。作製した暗黒シートは99.98%の光吸収効果を持つ。メカプロ室では、ハイアスペクト 比の微細構造の作製は、パッシベーション粒子をマイクロマスクとし、C4F8とSF6/O2のスイッ チングプロセスを用いた Deep-RIE によるブラック Ge 作製によっても容易に作製できる[2]。こ こでは、無数の針状微細構造をもつブラック Ge を PDMS 転写の鋳型として使用可能であるか の実験を行ったので報告する。



図1 暗黒シートの 光閉じ込め効果[1]

図2 暗黒シートの作製方法[1]

2. ブラック Ge 鋳型への転写

はじめに、直径 30 mm、t=1 mm の Ge 基板を 1/4 にカットし、Deep-RIE にて針状微細構造の表面に 加工してテクニカルレポート No. 274 の条件[2]を 用いてブラック Ge を作製した。

図 3(a)は作製したブラック Ge である。図 3(b)の SEM 写真に示すように、ブラック Ge の表面は、直 径 2 µm 高さ 40 µm 程度で先端が針状の無数の微 細構造になっている。次に、ブラック Ge 鋳型から 離型しやすくするために、CCP 装置を用いてブラ ック Ge にフッ素コートした (CHF₃ ガスによるプ

ラズマ処理、25 Pa、30 sccm、50 W、1 min)。PDMS は基剤と硬化剤を 10:1 の割合で混合後に脱気し、フッ素コートしたブラック Ge 鋳型を底 面に貼り付けたシャーレに静かに注ぎ、更に脱気した後、90℃のホット プレート上で1時間加熱硬化して鋳型から剥離した。図4にブラック Ge 鋳型から転写後の PDMS 写真を示す。シャーレに流しただけの平坦な PDMS と比較すると、転写した PDMS は半透明で黒みがあり、下に置 いた定規の数字や目盛りを見ることができない。



図 3 (a) ブラック Ge 鋳型 (Top View) (b) 表面の SEM 写真 (45° Tilted)



図 4 ブラック Ge 鋳型 から転写後の PDMS (Top View)
図 5 にブラック Ge 鋳型から転写 後の PDMS の光学顕微鏡写真を示 す。上からの撮影で、表面上に折れ た Ge の針状微細構造が観察でき る。硬化前の PDMS の密度は 1 g/cm³ であるため、厚さ2mm であると鋳 型全体に 350 mg の荷重がかかる。 Ge 針が横や斜めになっていること から、PDMS を鋳型に流し込む際に 折れたものと考えられる。また、断 面の写真より、PDMS 母材に入り込 んだ 10-20 µm の Ge 針もあることが わかった。これは、鋳型からの剥離 の際に剥がれずに PDMS 母材に残っ たものと考えられる。これらの結果 から、転写後の黒みは、PDMS に付 着した折れた Ge 針状微細構造であ ると考えられる。図6に PDMS に転 写後のブラック Ge 鋳型の SEM 写真 を示す。先端が折れて 10-30 µm の Ge 針状微細構造が残っている。

次に、図 6 の針の先端が折れた Ge 鋳型を用いて PDMS 転写を行った。 図7に1回目の転写で折れたブラッ ク Ge 鋳型を用いた 2 回目転写後の PDMS の光学顕微鏡写真を示す。シ ャーレに流しただけのパターンの ない PDMS と比較すると、2回目に 転写した PDMS は半透明であるが1 回目転写ほどの黒みはない。図8に 折れたブラック Ge 鋳型から転写後 の PDMS の光学顕微鏡写真を示す。 上からの撮影で、表面上に折れた Ge の針状微細構造は観察できなか った。また断面の写真から、PDMS に入り込んだ Ge 針状微細構造もほ とんど確認されなかった。

3. まとめ

ブラック Ge を鋳型として用い、PDMS を流して固化させて剥離した微細構造をもつ PDMS 基板を作製した。ブラック Ge から転写した PDMS には Ge 針の混入があったが、2 回目の転 写では Ge 針の先端が折れた鋳型によって、Ge 針の混入がない微細構造の PDMS 表面となっ た。ハイアスペクト比の鋳型では、PDMS の流し込み時と剥離時に構造が破損する恐れがある ため、ハイアスペクト比構造の鋳型を用いる際には、流し込みと剥離の方法を検討する必要が ある。

参考文献

[1] 産総研 2023 年研究成果 <u>https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2023/pr20230118/pr20230118.html</u>
[2] 遠西美重: Deep-RIE によるブラック Ge の製作、テクニカルレポート No.274



図 5 ブラック Ge 鋳型から転写後の PDMS の 光学顕微鏡写真



図 6 転写後の針の先端が 折れたブラック Ge 鋳型の 表面の SEM 写真 (45° Titled)



Ge 針

図7 ブラック Ge 鋳型 から2回目転写後の PDMS(Top View)



図 8 ブラック Ge 鋳型から 2 回目転写後の PDMS の 光学顕微鏡写真

マスクレス露光装置によるCr上におけるAZ5214Eパターンのネガ型露光の条件

(令和7年2月25日,令和7年3月3日改訂)

藤本美穂

1. はじめに

フォトレジストAZ5214Eは、露光後にベークを行うことで、構造変化 が生じた露光部分が再度架橋結合された後、全面露光により未露 光部分が現像液に可溶になるためネガ型として利用できる[1]。2022 年のテクニカルレポートでは、Si基板上のAZ5214Eをネガ型でマスク レス露光する条件について報告していた[2]が、金属を成膜した基板 上における条件は検討されていなかった。

本実験では、Cr膜上に図1に示す5 μmラインアンドスペースを持つ 櫛型パターンおよび5 μmラインアンドスペースのレジストパターンを マスクレス露光装置で露光し、CADの設計寸法通りにパターン形成 できる条件を求めた。

2. 実験方法

Si (結晶方位不明)ウェハを 20×20 mm² にダイシングソーを用 いてカットして試料とし、簡易スパッタリング装置を用い

て Si 上に Cr を成膜した。この成膜では、プリスパッタ前 に Ar ガスの回転パージを2回行った。プロセス圧力 1.1 Pa で、10分間成膜した。成膜された Cr の膜厚は約 180 nm だった。

図 2 に本実験で行ったマスクレス露光の概略図を、 表 1 にマスクレス露光の条件を示す。AZ5214E を 500 rpm で 5 秒間、4000 rpm で 60 秒間スピンコートし、ホッ トプレート上でプリベークした。AZ5214E の膜厚は 1.5 µm だった。マスクレス露光装置で LED パワーを変えな





表1 マスクレス露光の条件

プリベーク	100°C, 120 s
露光時間	1.0 s/shot
フォーカスオフセット	2.0 μm
反転ベーク	120°C, 60 s
全面露光	200 mJ/cm ²
現像	1:10 (v/v) TMAH/water, 50 s
リンス	Water, 60 s

がら露光した。表 1 に示すように、いずれの LED パワーでも露光時間は 1.0 秒/shot、フォーカスオフセットは 2.0 µm とした。露光後にホットプレート上で、120℃で 60 秒間反転ベークを行い、マスクアライナを用いて 200 mJ/cm² になるよう全面露光を行った。体積比で 1:10 になるよう混合した TMAH と水の混合液で 50 秒間現像し、水で 60 秒間リンスした。

作製したレジストパターンを落射顕微鏡で観察し、パターン底面の寸法をレーザー顕微鏡で測定した。



図1 本実験の露光の概略図

結果と考察

図3に、Cr上に作製した櫛型レジストパターンを示す。図3(a)に示すように、LEDパワー10%のとき、5μmの 櫛型構造は形成されなかった。マスクレス露光装置は DMD に投影しながら露光するため、パターン付近の未露 光部分が僅かに露光されたためにベークで架橋結合されたためと考えられる。

図 3 (b)に示すように、LED パワー6%のときの櫛型のレジストパターンの線幅は 6.0 µm、図 3 (c)に示すように LED パワー5.5%で 5.8 µm、図 3 (d)に示すように LED パワー5%で 5.4 µm、図 3 (e)に示すように LED パワー4% で 5.1 µm だった。図 3 (b)から(d)の結果から、LED パワーの最適値が存在することがわかった。



図 3 Cr 膜上の櫛型レジストパターン。(a) LED パワー10%。(b) LED パワー6%、(c) LED パワー5.5%、(d) LED パワー5%。(e) LED パワー4%。露光時間は 1.0 秒/shot、フォーカスオフセットは 2.0 µm

図 4 に、Cr 上に作製した 5 µm ラインアンドスペースのレジストパターンを示す。図 4(a)に示すように LED パワ ーが 5%でラインパターンの線幅は 5.9 µm、図 4(b)に示すように LED パワーが 4.5%では 5.9 µm、図 4 (c)に示す ように LED パワーが 4%では、5.6 µm だった。図 3 の結果と比較して、櫛型パターンとラインアンドスペースでは 必要な LED パワーに差があることがわかった。また Cr 上で AZ5214E をネガ型露光するのに必要な LED パワー は、Si 表面上(8%)[2]よりも低い値であることがわかった。



図 4 Cr 膜上の 5 µm ラインアンドスペースパターン。(a) LED パワー5%。(b) LED パワー4.5%。(c) LED パワー4%。露 光時間は 1.0 秒/shot、フォーカスオフセットは 2.0 µm

図5に、図3および図4で得られたLEDパワーとレジスト パターンの線幅の関係を示す。図5の結果から、線幅5µmの パターンを得るには、櫛型構造(青)で約4%、ラインアンド スペースパターンで4%よりも低いLEDパワーが必要と考え られる。

3. まとめと今後の展望

Cr 膜上で AZ5214E をネガ型で露光する場合、Si 上よりも 低い LED パワーで露光する必要があるとわかった。今後は 本実験で得られたデータを基に、CAD の設計寸法と同じ 寸法のレジストパターンを露光できる詳細な条件を検討す る。

参考文献

[1] Technical data sheet AZ5214E Photoresist (Merck Performance Materials GmbH)

[2] 遠西美重、"マスクレス露光装置を用いたネガポジ反 転パターンの露光条件の検討"、テクニカルレポート No. 244 (2022)





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 2024 年度 2025 年 3 月発行

発行者

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
〒226-8501 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259
TEL 045-924-5074
E-mail semi-mem@ofc.titech.ac.jp

http://www.ofc.titech.ac.jp/~semimem/