

目次

幹事長交代の挨拶

幹事長退任にあたって	大阪公立大学	白藤 立	1
幹事長就任にあたって	九州大学	古閑 一憲	4

寄稿

応用物理学会業績賞をいただいて ～40 年を経て見つけたもの～	名古屋大学	堀 勝	5
------------------------------------	-------	-----	---

研究室紹介

室蘭工業大学 大学院工学研究科 気体エレクトロニクス研究室	室蘭工業大学	高橋 一弘 川口 悟	6
----------------------------------	--------	---------------	---

学生のためのページ

発光・吸収分光法によるプラズマ内活性粒子の 診断技術	名城大学	竹田 圭吾	11
-------------------------------	------	-------	----

第 22 回プラズマエレクトロニクス賞

第 22 回「プラズマエレクトロニクス賞」について	大阪公立大学	白藤 立	17
---------------------------	--------	------	----

応用物理学会講演奨励賞

高容量 Li イオン電池のための 2 元スパッタリング を用いた Ge/C 複合負極の開発	名城大学	大前 知輝 内田 儀一郎	18
交流電圧を印加した金属板上に形成されるイオン シースの時間分解レーザー誘起蛍光計測	京都大学	占部 継一郎 高橋 良輔	21

国際会議報告

第 44 回ドライプロセス国際シンポジウム 44th International Symposium on Dry Process (DPS2023)	中部大学	小川 大輔	23
16th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials / 17th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science / 13rd Asia-Pacific Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (ISPlasma2024 / IC-PLANTS2024 / APSPT-13)	名古屋大学	田中 宏昌	25

国内会議報告

第 41 回プラズマプロセッシング研究会(SPP41)	東京工業大学	赤塚 洋	26
第 71 回応用物理学会春季学術講演会 チュートリアル講演開催報告	ウェスタンデジタル	平松 亮	27

第 71 回応用物理学会春季学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会 シンポジウム T13「プラズマが拓くナノ粒子・量子ドットの新展開」	九州大学	鎌滝 晋礼	28
第 71 回応用物理学会春季学術講演会 分科内招待講演 キオクシア(株) 宮島秀史 「高積層 3次元フラッシュメモリにおける プロセス開発とその対策」	産業総合研究所	辻 享志	30
第 71 回応用物理学会春季学術講演会 分科内招待講演 九州大学 小菅佑輔 「核融合プラズマ研究の最新の動向」	産業総合研究所	辻 享志	31
第 42 回プラズマ新領域研究会 「気液界面および液体中の放電現象」	金沢工業大学	大澤 直樹	32
第 43 回プラズマ新領域研究会 「ナノ粒子・微粒子の分散技術」	名古屋大学	鈴木 陽香	33
行事案内			
2024 年 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会企画	名城大学 名古屋大学	伊藤 昌文 石川 健治	35
第 45 回ドライプロセス国際シンポジウム 45th International Symposium on Dry Process (DPS2024)	キオクシア 室蘭工業大学 東京エレクトロン宮城	大村 光広 佐藤 孝紀 本田 昌伸	38
第 18 回インキュベーションホール	名古屋大学 北海道大学	石川 健治 富田 健太郎	40
掲示板			
第 23 回プラズマエレクトロニクス賞受賞候補論 文の募集	九州大学	古閑 一憲	42
2024 年度(令和 6 年度) プラズマエレクトロニクス分科会幹事名簿			43
2024 年度(令和 6 年度)分科会幹事役割分担			45
2024 年度(令和 6 年度) 分科会関連の各種世話人・委員			46
活動報告			47
プラズマエレクトロニクス関連会議日程			48
当会報への広告掲載について			49
編集後記			50

幹事長退任の挨拶

幹事長退任にあたって

大阪公立大学 白藤 立

2022年4月から2024年3月までの2年間、プラズマエレクトロニクス(以下PE)分科会幹事長を担当させていただきました。副幹事長の伊藤昌文先生(名城大学)、上坂裕之先生(岐阜大学)、深沢正永様(当時ソニーセミコンダクターソリューションズ、現在産総研(つくば)先端半導体研究センター)、庶務幹事の竹内希先生(東京工業大学)、竹中弘祐先生(大阪大学)、宗岡均先生(東京大学)、そして分科会行事を活発に進めていただいた幹事各位には、後手後手の白藤を強力にサポートしていただき、心より感謝申し上げます。また、応用物理学会の分科会担当の小田様には、突然の共催案件などにご対応賜り、心より感謝申し上げます。本稿にて、私の分科会での2年間の活動を振り返り、反省点などを述べたいと思います。

●日本学術会議「未来の学術振興構想」の策定に向けた「学術の中長期研究戦略」への応募

これは、かつてのマスタープラン[1]に代わる新たな取り組みとして、2022年6月30日に公募されたものです。今後30年頃までを見通した「グランドビジョン」の提示と、そのバックキャストに基づく研究戦略を示すものです。堀勝教授(代表)(名古屋大学)、白谷正治教授(九州大学)、石川健治先生(名古屋大学)の強力なイニシアチブのもと、PE会員の多くの方々に参集いただいたワーキンググループにて申請書を作成し、2022年12月16日に申請しました。ご協力頂いた方々のご尽力のおかげで、2023年9月26日に「No.118 グランドビジョン⑭ 低温プラズマの学術とイノベーション推進のための研究戦略」として公表さ

れました[2]。ご多用中にも関わらず、ワーキングにご協力いただき、貴重な意見を賜った方々に心より感謝申し上げます。なお、これはまだスタートラインに立たせてもらった段階ですので、今後の分科会各位の研究により、グランドビジョンが徐々に実現されていくことを祈念いたします。

●アカデミックロードマップ改訂

PE分科会の30周年記念事業の一つとして、前幹事長の節原裕一先生(大阪大学)から引継ぎました。白谷先生のイニシアチブのもと、ワーキングに参画いただいた多数の方々のおかげで、おおよその形は出来上がったのですが(2023年度末のインフォーマルミーティング資料)、私の力不足にて、英語版や挿入図表の著作権問題の解決などが未完成となりました。誠に申し訳ありません。先述の「未来の学術振興構想」とも関連するものであるので、早く完成させて、本会報の12月号とホームページで公表するべく頑張ります。

●出版物のアーカイブ化

PE分科会30周年記念事業の一つとして、PE講習会やPEインキュベーションホール(以下IH)のテキストのアーカイブ化が実施されました。前幹事長の節原裕一先生と石川先生のご尽力により、ほぼ完了に域に達しています。課題であった著者の著作権についても、応用物理学会への譲渡をお願いすることとなりました[3]。ただ、著者以外が著作権を有する図表を含むテキストの扱いが微妙ですので、もう少しお時間をいただければと存じます。

●コロナ禍の終息と分科会行事

2022年度はコロナ禍が終息に向かっており、嬉しいことではあったのですが、行事を企画する段階での実施形態（対面か遠隔か）の意思決定がかなり難しかった時期でした。そのような時期でしたが、分科会の重要行事であるプラズマプロセッシング研究会（SPP）の国際版である反応性プラズマ国際会議（ICRP）が、chairの朽久保文嘉先生（東京都立大学）と現地実行委員長&GEC委員の金子俊郎先生（東北大学）をはじめとする運営委員の方々のご尽力により、対面のICRP-11 / GEC2022 / SPP-40 / SPSM35 合同会議として仙台国際センターで開催され、大成功を収められました。

その次のSPPは、学振153委員会のプラズマ材料科学シンポジウム（SPSM, 2017年SPP-34より合同）がなくなったことにより7年ぶりの単独開催となりましたが、実行委員長の赤塚洋先生（東京工業大学）をはじめとする運営委員の方々のご尽力により、2024年1月23～25日にSPP-41として成功裏に開催されました。

対面を重視するPE-IHについては、2022年度はやむを得ず遠隔実施となりましたが、2023年度からは対面実施に戻りました。小職の不手際にて、開催地近隣の方が担当幹事になっておらず、ご不便をおかけしましたこととお詫び申し上げます。こうしたこともあり、次年度以降は、開催地を固定しないことになりました。

PE講習会についても2022年度は遠隔実施でしたが、2023年度は参加者アンケートの結果から初めてのハイブリッドが試行され、過去最高の参加者を達成されました。担当された深沢様をはじめとする関係各位に心より感謝申し上げます。

●有給財産保有制限への対応

着任直後の理事会で各分科会に指示されたのが

「有給財産保有制限について」でした。公益財団法人なのに余剰金が多すぎるので有効活用しなさいという指示です。PE分科会では、PE講習会などの黒字事業の収益をPE-IHなどの若手育成に活用する方針でしたが、コロナ禍の遠隔化で支出が減少したのが原因の一つです。これに対する対応として、以下を実施しました。

①これまで無予算実施だったプラズマ新領域研究会への予算配分による活性化。

②ISPC-25に併催の2023 The IPCS Summer School（2023年5月20日～21日、京都ガーデンパレス）への共催および「支援金」補助による若手育成。実行委員長の渡辺隆行先生（九州大学）には、PE会員用の特別参加枠を設けてもらうなどご協力を賜りました。

③ICPIG2023（2023年7月9～14日）への共催とPE会員学生の渡航補助。2019年のICRP-10北海道大学でのICRP-10 / XXXVI ICPIGの黒字分相当をchairの佐々木浩一先生（北海道大学）のご意向でこの目的に支出しました。ICPIGとの共催、審査などにて白谷先生ならびに研究室秘書様に大変お世話になりました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

④国際会議等への共催のガイドライン策定。上記の活動をするにあたり、「支援金を出して共催する際のガイドラインを分科会として策定すべし」というご指摘をいただき、幹事各位と議論して「PE分科会の活性化につながることを骨子として策定しました。

以下は、計画のみで不実施項目です。

⑤プラズマを魅せる。アカデミックロードマップなどの分科会共通の資料に載せる科学イラストを有償で専門業者に描いてもらい、会員で共有する[4]。

⑥ホームページのリニューアル。未執行となり申し訳ありません。

●DPS との共催の開始

PE 技術の中で「それなくしてできません」という社会実装に至っているドライエッチングを中心とするドライプロセスシンポジウムとの共催が DPS2023 (2023 年 11 月 21~22 日, ウィンク愛知) から開始しました。DPS 組織委員長であった松井都様 (日立製作所), 事務局の田畑睦様をはじめとする DPS 組織委員会の方々には大変お世話になりました。深く御礼申し上げます。過去のプロシーディングスの著作権の帰属先などの課題が残っていますが, 双方が Win-Win となる関係が構築されることを祈っています。

●ICRP の継続的・組織的計画

ICRP は GEC, ICPIG, ESCAMPIG といった海外の関連国際会議と合同開催を行ってきました。その際, 特に GEC 側との折衝に立たされた方から, 「ICRP も GEC ぐらいに組織的に計画しなければならない」というご指摘をいただきました。この度, 共催が開始した DPS も過去履歴の管理や次回・次々回に関する計画がしっかりと議論されていました。こうしたご指摘を受けて, 2023 年度から ICRP を組織的に計画する委員会を立ち上げなければならなかったのですが, 白藤の努力不足で委員会発足にまで至りませんでしたことをお詫び申し上げます。

●応物本部からの各種推薦依頼

毎年, 応物本部より, 次期応物役員, 業績賞, フェローなどの推薦依頼が来ます。その際には, 過去 5 年ぐらいの幹事長やそのときの応物副会長の辰巳哲也様 (ソニーセミコンダクターソリューションズ) に大変お世話になりました。心より感

謝申し上げます。

私が担当した 2 年間を振り返りましたが, 未実施と未達成が多く, PE 行事にご尽力いただいた方々と比べて, つくづく私の至らなさが目に余ることを痛感しました。本当に申し訳ありません。未完成・未達成の事項については, 退任後も力を尽くし, 早期に達成するようにいたします。

2024 年度からは, 新幹事長の古閑一憲先生 (九州大学) のもとで, 新たな PE 分科会の活動が推進されることとなりますが, 私を反面教師として見ていただき, 分科会をさらに有意義で活性度の高い分科会にしていいただければ幸いです。

参考文献

- [1] 「マスタープラン 2020」
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-24-t286-1.html>
第 24 期マスタープラン 2020 では, No. 23 「最先端プラズマ科学グローバルイノベーション拠点の形成」(代表: 堀勝, 名古屋大学低温プラズマ科学研究センター) が採択されている。今回の申請は, この後を引き継ぐものと位置づけられる。
- [2] 「未来の学術振興構想」の策定に向けた「学術の中長期研究戦略」の公募
<https://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/kenkyukeikaku/25koubo.html>
- [3] 「著作権委譲に関するお願い」
https://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/copyright_2022.pdf
- [4] 辻野貴志: 「魅力的な科学イラストを描くコツ」, 応用物理 92, 243 (2023)。

幹事長就任の挨拶

幹事長就任にあたって

九州大学 古閑 一憲

このたび 2024 年 4 月から 2 年間、プラズマエレクトロニクス分科会の幹事長を拝命いたしました。オンラインに残る分科会誌を紐解きますと、過去 30 年間において、以下の先生方が歴任されております。

1994、1995 年度	慶応大	真壁利明先生
1996、1997 年度	大阪大	三宅正司先生
1998、1999 年度	名大	菅井秀郎先生
2000、2001 年度	長崎大	藤山寛先生
2002、2003 年度	京大	斧高一先生
2004、2005 年度	名大	河野明廣先生
2006、2007 年度	東北大	畠山力三先生
2008、2009 年度	九大	白谷正治先生
2010、2011 年度	名大	堀勝先生
2012、2013 年度	東大	寺嶋和夫先生
2014、2015 年度	名大	豊田浩孝先生
2016、2017 年度	首都大東京	朽久保文嘉先生
2018、2019 年度	名城大	平松美根男先生
2020、2021 年度	阪大	節原裕一先生
2022、2023 年度	大阪公立大	白藤立先生

上記した著名な先生方の中に名を連ねる光栄と、果たして連なってもよいのか甚だ不安になる非才の身ながら、分科会の皆様からの期待に応えることができるよう、副幹事長、庶務、その他分科会幹事と共に努力してまいります。

ここ近年のプラズマ科学周辺の状況を見ても、デジタルトランスフォーメーションとグリーントランスフォーメーションが示すように、現状からの転換・変換が必要とされているように思います。それも、単に性能の良いものを生み出すといった発展の方向性のみならず、環境やエネル

ギーなど新しい価値観との共存が求められているようです。その中で単なる技術開発に留まらない新しい価値観に基づいた学理構築が分科会にも求められているように思います。

プラズマエレクトロニクス分科会では、半導体デバイスプロセスに関連する研究を筆頭に、プラズマバイオ、プラズマ触媒、プラズマナノテクノロジーなど、従来分野の発展維持とともに新しい分野を創出する役割を担っています。講習会やインキュベーションホール、プラズマプロセッシング研究会、新領域研究会、International Conference on Reactive Plasmas の企画運営の他に、応用物理学会におけるシンポジウム企画などの従来サービスを踏襲しつつ新しい状況に合わせた会員サービスを実施したいと思います。

半導体デバイスプロセス分野では、Rapidus 株式会社の設立や TSMC の工場建設など、国内での半導体分野の動きに柔軟に対応し、新しい学術シーズの母体として、若手研究者のプラズマプロセスの学理を涵養する場として貢献したいと思います。加えて、ドライプロセスシンポジウムとの連携を強化してゆきます。加えてプラズマエレクトロニクス分科会 30 周年事業の一貫として始まったロードマップの改訂が着々と進み新しいプラズマエレクトロニクスの姿が描かれていくものと考えます。描かれたロードマップを現実にするためには、皆様のご協力・ご参画あってのものと思います。

皆様と共に、あらゆる状況を楽しむことをモットーに 2 年間で過ごしたいと思います。以上どうぞよろしくお願いいたします。

応用物理学会業績賞をいただいて ～40年を経て見つけたもの～

名古屋大学 低温プラズマ科学研究センター 堀 勝

2024年3月22日に応用物理学会業績賞を受賞する栄誉に浴し、身に余る光栄です。業績賞の歴史の中で、プラズマという名称が刻まれた業績理由での受賞は、初めてです。したがって、私に授与された業績賞は、本分野の発展に尽くされた多くの諸先輩の努力を礎としての受賞と思います。また、活動や研究を共にしていただいた皆様方に心より感謝いたします。

この度、応用物理学会から受賞に対する随筆の依頼を受けました。受賞に際して思うことは、学会誌7月号（7月10日発行）に掲載される予定ですので、ご高覧願います。私の受賞理由は、「ラジカル制御プラズマプロセスの先駆的研究」であり、約40年間にわたって、プラズマ中の活性種であるラジカルを基軸にして、低温プラズマ科学とその応用の研究を推進してきた活動を評価していただいたものです。また、受賞日に、プラズマエレクトロニクス分科会招待講演として、受賞講演をさせていただきました。多くの方々に出席していただき、心からお礼申し上げます。3月になって、受賞講演で、私の40年間にわたる研究を紹介すべく、スライドを作成していました。ラジカル制御プラズマプロセスの研究については、一昨年に、“Radical-controlled Plasma Processes” *Reviews of Modern Plasma Physics*, 6, 1-117 (2022) に長い論文を執筆しました。これを基にして、プラズマプロセスの歴史について思考を繰り返している内に、思いがけず、プラズマプロセスの本質に気が付きました。プラズマと物質（気体、液体、固体、生体など）との相互作用で

発現する非平衡の表界面層における物理化学反応のダイナミクスとその表界面で形成された層が、絶えず、次の反応（エッチング、薄膜成長、細胞内シグナル伝達など）を決定するとともに、反応が終端するとレガシーとして残ります。これまで、これらの層は、改質層、混合層、凝縮層、境界層、ダメージ層などのバラバラの名称で定義されてきましたが、この層を科学として体系化することが、低温プラズマ科学に残された領域であると洞察しました。そこで、これらの層を呼称するのにふさわしい名称としてメタレイヤー（*Meta-layer*）という造語が瞬時に浮かびました。メタとは、「あとに」という意味の古代ギリシャ語の接頭辞。転じて「超越した」、「高次の」という意味であるとともに、「変化」を意味する接頭辞であると定義されています。まさにプラズマプロセスの本質を握っている科学領域に相応しい名称であると実感し、受賞講演では、メタレイヤーを基軸にして、多様なプラズマ現象をまとめました。実に興味深いことに、プラズマと溶液あるいは生体との相互反応についても、時定数と反応長は異なりますが、固体と同様に、メタレイヤーによって、統一的に現象を特定し、体系化できることです。受賞が契機となって、40年を経て、プラズマプロセス科学の核心を掴み、残された研究者としての時間とエネルギーをメタレイヤーの特定と体系化と制御に傾けたいと決意しました。

今後も、学会などを通して、皆様方とともにメタレイヤーについて議論できることを楽しみにしています。

研究室紹介

室蘭工業大学 大学院工学研究科 気体エレクトロニクス研究室

室蘭工業大学 高橋一弘，川口悟

1. はじめに

室蘭工業大学は、創造工学科とシステム理化学科からなる理工学部を有する国立の工科系単科大学です。当研究室は、理工学部創造工学科を構成する4コース（建築土木工学コース，機械ロボット工学コース，航空宇宙工学コース，電気電子工学コース）の内，電気電子工学コースにて活動しており，教育・研究1号館F棟の3階に学生や教員の居室が，1階に実験室を設けています。本年度の研究室メンバー【写真1】は，佐藤孝紀理事・副学長，川口悟助教，高橋と大学院生4名（M1/M2が各2名）および学部生2名で構成されています。また，研究室の卒業生・修了生は電力業界をはじめとして，電機・重電業界，半導体業界などで幅広く活躍しています。なお，本稿につきましては，学内の海外派遣事業にて The University of Strathclyde (Glasgow, Scotland) に訪問中の高橋が主に執筆しております。

2. 研究室の取り組み

当研究室では，気体放電プラズマの環境応用に着目した研究として，放電プラズマの水処理応用[1]や環境汚染物質の分解・無害化[2]，未利用エネルギー源の有効活用[3]などを実施してきました。近年では，放電プラズマが誘起する現象の解明や放電基礎過程に関する取り組みが主となります。ここでは，プラズマと液体の相互作用の解明，電子-分子相互作用データベース（電子輸送係数および電子衝突断面積セット）の整備，および Physics-informed neural networks (PINNs) の応用について紹介したいと思います。

2.1 プラズマ-液体相互作用の解明

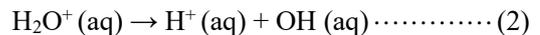
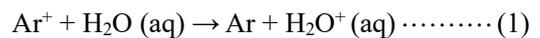
放電を水面上で発生させることで OH をはじめとする RONS (Reactive Oxygen/Nitrogen Species, 活性酸素種/窒素種) を生成させ，それらを殺菌や植物の発育促進，医療などに利用する研究が行われており，有用な種を選択的かつ効率的に生成させ



写真1 研究室集合写真（2024/5/14撮影，高橋：スクリーン内，川口：右から2人目）

ることが望まれています。気相中のプラズマについては、雰囲気ガスをコントロールすることで生成される種をある程度制御可能になりつつありますが、それらの溶解を経て、水中で化学反応を伴いながら拡散していく種を自在に制御できるまでには至っておりません。特に、水中の化学反応では、濃度や pH, 温度など、さまざまなパラメータが関わってきます。当研究室では、活性種の生成制御を目指し、プラズマと液体の相互作用について調査しており、これまでに Ar 雰囲気下で水上パルス放電を照射したときの水中の pH 変化機序と H₂O₂ 濃度の極性効果[4], 水温の時空間分解測定[5]および流動形成について明らかにしてきました【図1】。

水の pH は酸や塩基の解離平衡に基づくイオンと分子の比率を決める重要なパラメータの一つです。そのため、局所的でも pH の変化があると、RONS の生成量（濃度）が大きく左右されると考えられます。そこで我々は、パルス放電を pH 指示薬に照射することで水中の pH 変化を可視化しました。正極性のパルス放電を連続的に照射すると、pH 減少 (H⁺生成) 領域が水面側から形成されます。これは、(1)式のプラズマ中で生成される正イオン（ここでは Ar⁺）による電荷交換反応、およびその反応によって生成される H₂O⁺の自己解離 (2)式) が生じることによるものと考えられます。



なお、接地電極付近では、水の電気分解反応が生じることで、pH 増加 (OH⁻生成) 領域が局所的に形成されることも観察されました。同様に負極性パルス放電を照射すると、水面側から pH 増加領域が、接地電極付近では pH 減少領域が形成されます。さらに、どちらの極性においても、放電照射後の溶液を攪拌すると溶液全体の pH が中性に戻ることから、生成される H⁺と OH⁻が等量であることもわかりました。このような pH 変化機序を図2にまとめて示しています。

また、ご存知の通り、水への放電照射によって、OH⁻ を生成することができます。ここで、正極性放電では(2)式の反応による生成もあり、効果的に OH⁻ を生成できると考えられます。水中の OH⁻ を定量することは困難ですので、OH⁻ の反応による生成が主である H₂O₂ の濃度を測定すると、正極性パルス放電照射時に負極性よりも高い結果（我々の実験では3倍程度）が得られ、(2)式によって生成される OH⁻ がすべて H₂O₂ になるものとして、放電電流から求めた積算電荷量とファラデーの第二法則より H₂O₂ 生成量を算出すると、実験結果の差分と良い一致を示しました。そのため、水面付近に OH⁻/H₂O₂ を積極的に生成したい場合には正極性放電を用いるのが望ましいといえます。

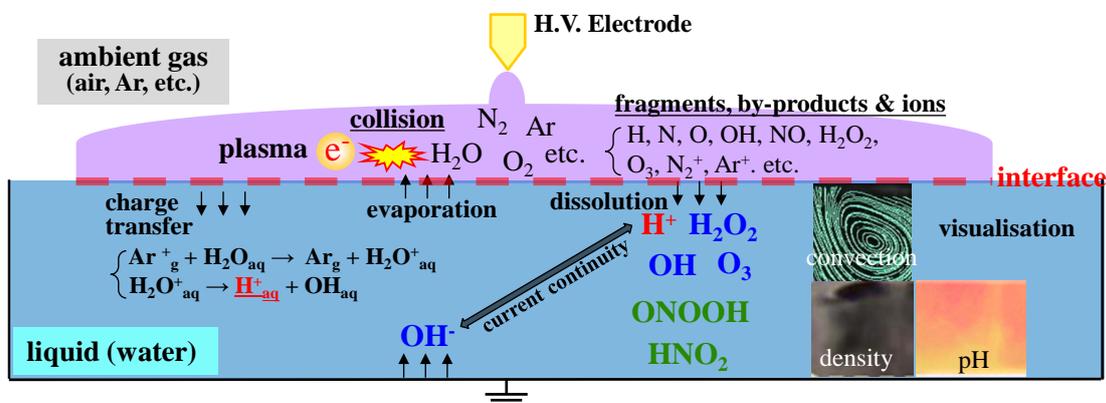
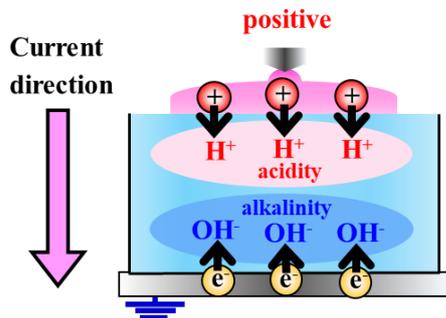
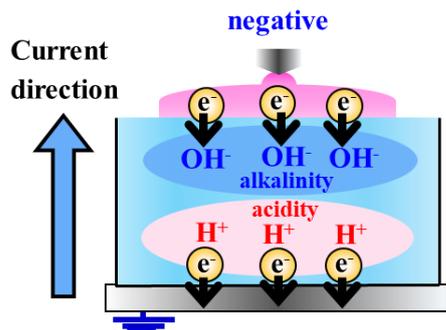


図1 水上放電プラズマ生成に伴う気相/液相の種と反応 (佐藤孝紀先生提供)



(a) 正極性放電照射時



(b) 負極性放電照射時

図2 放電照射に伴う pH 変化機序

水温もまた、解離平衡定数や反応速度定数に関わり、pH と同じく重要なパラメータの一つといえます。我々は、感温液晶カプセルとシート光を用いて、正極性パルス放電を水に照射したときの水温を位置分解測定し、放電進展部の先端付近から温度が上昇することを観測するとともに、 H^+ 生成領域と比較することで放電に伴う水温上昇領域が H^+ 生成領域と一致することを明らかにしました。また、液中の流動については、シュリーレン法による密度分布の可視化や粒子画像流速計測法 (Particle Image Velocimetry: PIV) を用いた時空間分解測定により可視化【図3】を行っており、放電の極性や液体の性質 (pH 指示薬の種類や界面活性剤の有無) によって水中の流速および流動形成に違いが生じることがわかっています。これには、極性によるストリーマ進展機構の差異、活性種生成 (および界面活性剤の濃度) による表面張力の変化に起因するマランゴニ対流などが関わって

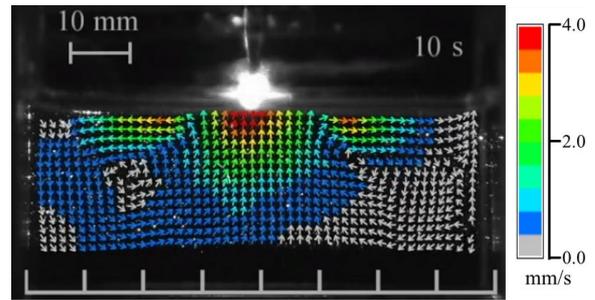


図3 正極性パルス放電照射時の液中の流動

ると考えられ、今後より一層の検討を行う予定です。さらに、これらの実験と併せて、水中に生成される活性種の生成シミュレーションも進めており、酸解離平衡と反応速度論に基づく0次元モデルで H_2O_2 や NO_3^- などの RONS の生成レートの予測[6]を行っております。今後は、実験結果を元に、モデルの詳細化や次元の拡張を行う予定です。

2.2 電子-分子相互作用データベース (電子輸送係数および電子衝突断面積セット) の整備

近年の環境意識の更なる高まりにより、プラズマ応用技術における地球環境への負荷軽減の必要性が求められ、半導体製造におけるプロセス開発の最適化や SF_6 代替ガスの利用ならびに探索などの取り組みが進んでいます。これらのプラズマ応用技術の効率向上や評価においては、時間とコストの面からもプラズマシミュレーション (電子輸送解析) が活用されています。その際、電子やイオンの輸送係数が不可欠であり、使用する係数の値が計算結果に直結するため、正確な係数を使用することが必要です。特に、プラズマ中では、電子と気体分子との衝突反応がイオンや化学種を生成する起点となるため、正確な電子輸送係数が求められ、電子スオーム実験による測定が進められてきました。ただし、すべてのガス、すべての換算電界について測定するのは現実的ではないため、実測値が報告されていないものについては、電子衝突断面積を用いた電子輸送解析による導出

が用いられます。そのため、放電プラズマ応用において利用されるさまざまな気体材料に関して、詳細かつ正確な電子衝突断面積を整備することも求められています。

当研究室では、これまでに電子スオーム法により、さまざまなガスの正確かつ詳細な電子衝突断面積セットの整備を進めてきました。また、最近ではフルオロカーボン類、ハイドロフルオロカーボン類などをターゲットとし、二重シャッタードリフトチューブ装置を用いた電子到着時間分布の測定による実効電離係数、平均到着時間ドリフト速度および縦方向拡散係数の導出、および定常タウンゼント実験による電離係数と付着係数の測定に取りかかっており、実測データの整備も進めております。

2.3 Physics-informed neural networks の応用【川口】

微分方程式の新たな数値計算法として、近年、Physics-informed neural networks (PINNs) が注目を集めています[7]。PINNs では、ニューラルネットワーク (Neural Network: NN) を用いて、微分方程式の解となる関数を表現します。NN の学習において、物理現象の支配方程式を利用する点が、通常の教師あり学習と異なります。NN によって関数を表現すると、関数の偏導関数を解析的に計算

できるため (自動微分)、計算領域の離散化が不要となります。すなわち、メッシュフリーで微分方程式を満たす関数が得られ、高次元の計算空間の考慮が必要なシミュレーションにおいて、PINNs は有効な方法になると考えています。また、PINNs を用いると、支配方程式をデータから発見でき、測定データから有益な情報を得るための新たな方法として着目しています。当研究室では、プラズマシミュレーションや電子輸送係数測定への PINNs の応用について検討しています。

① ボルツマン方程式の直接数値計算

ボルツマン方程式は、プラズマ中の電子速度分布関数 (Electron Velocity Distribution Function: EVDF) を求める上で、最も基礎的な方程式ですが、7次元の非線形偏微分方程式であるため、解くことが必ずしも容易であるとは限りません。PINNs によって、この方程式に対するメッシュフリーな解法を提案できれば、正確なプラズマシミュレーションに寄与できると考えており、検討を行っています。これまでに、時間 (周期) 的に定常な解に絞り、DC 電界下[8]、DC 電界×DC 磁界下[9]および AC 電界下[10]における EVDF を PINNs によって正確に得る方法を提案しました【図 4】。現在では、時間依存、空間依存の EVDF 計算への PINNs の応用を進めています。

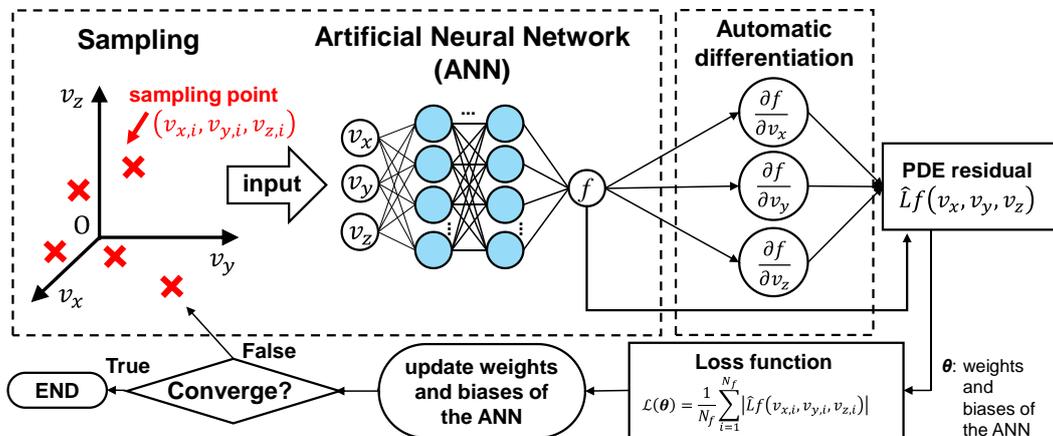


図 4 PINNs によるボルツマン方程式の解法

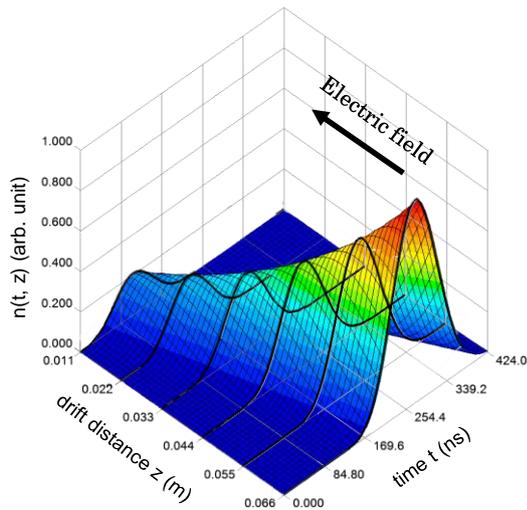


図5 電子数密度の測定値（太線）とNNによって表現された関数（コンター図）

② 電子輸送係数測定への応用

当研究室およびZ. Donko先生らのグループ[11]では、直流電界を形成したdrift tube中の電子数密度の相対値を測定しています。電界方向を-z方向とすると、電子数密度 $n(t, z)$ の時空間進展は、次の電子数連続の式に従います。

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - \bar{R}_i + W_r \frac{\partial}{\partial z} - D_L \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \dots \right) n(t, z) = 0 \dots\dots(3)$$

ここで、 \bar{R}_i は実効電離衝突周波数、 W_r は重心の位置のドリフト速度、 D_L は縦方向拡散係数です。NNによって、(3)式および $n(t, z)$ の測定値を満たす関数を表現【図5】するとともに、(3)式の \bar{R}_i, W_r, D_L を調整可能なパラメータとして扱い、 $n(t, z)$ の測定値の時空間進展が(3)式を満たすように各係数を調整することで、一連の電子輸送係数を決定する新たな方法を提案しました[12]。この方法によって、Arガスの電子輸送係数を広範囲の換算電界にわたって決定しております。今後、他の気体の電子輸送係数測定においても、この方法を活用して電子輸送係数を決定したいと考えております。

3. おわりに

本学のある室蘭市は、北海道の玄関口「新千歳

空港」から特急列車や高速バスで60~90分と（道民視点では）アクセス良好となっており、市内には地球岬や夜景などの観光スポット、室蘭やきとり、カレーラーメンなどのグルメがごございます。また、登別温泉や洞爺湖にも1時間弱でアクセスできます。本学へは、JR 東室蘭駅からバスで20分程のアクセス[13]となりますので、仕事や観光などで近場に来られましたら、お気軽にお立ち寄り頂ければ幸いです。

参考文献

- [1] 生駒 他：電気学会論文誌 A, Vol.129, No.4, (2009), pp.237-244
- [2] K. Satoh *et al.*; Trans. Mat. Res. Soc. Jpn., Vol.37, No.2, (2012), pp.151-155
- [3] S. Hosoi *et al.*; Electron. Commun. Jpn., Vol.101, No.5, (2018), pp.58-64
- [4] S. Wakisaka *et al.*; IEEE Trans. Plasma Sci. Vol.47, No.2, (2019), pp.1083-1088
- [5] K. Tsuda *et al.*; IEEE Trans. Plasma Sci. Vol.49, No.5, (2021), pp.1739-1744
- [6] K. Takahashi *et al.*; Jpn. J. Appl. Phys. Vol.58, No.2, (2019), 026001
- [7] M. Raissi *et al.*; J. Compt. Phys. Vol.378, (2019), pp.686-707
- [8] S. Kawaguchi *et al.*; Plasma Sources Sci. Technol. Vol.29, No.2, (2020), 025021
- [9] S. Kawaguchi and T. Murakami; Jpn. J. Appl. Phys. Vol.61, No.8, (2022), 086002
- [10] S. Kawaguchi *et al.*; Proc. 44th Int. Symp. Dry Proc. (2023), pp.103-104
- [11] I. Korolov *et al.*; J. Phys. D: Appl. Phys. Vol.49, No.41, (2016), 415203
- [12] S. Kawaguchi *et al.*; J. Phys. D: Appl. Phys. Vol.56, No.24, (2023), 244003
- [13] <https://muroran-it.ac.jp/guidance/about/access/>

発光・吸収分光法によるプラズマ内活性粒子の診断技術

名城大学理工学部 竹田圭吾

1. はじめに

非平衡プラズマは、電子衝突にともなう原料ガス分子の解離により比較的低温下で化学的に活性な原子やラジカルを生成することができる。それら粒子の表面反応は、半導体デバイスや機械・電気部品の製造、新材料の合成など広く利用されており、近年では医療や農水産業など新たな分野への応用も期待されている。この非平衡プラズマを用いた各種技術を改善し、新しいプロセス技術を継続的に開発していくには、使用するプラズマ装置およびプロセスの特性(反応メカニズム)を理解し、モデル化することが重要である。これらモデル構築はプラズマ物理学、流体力学、表面反応物理・化学などに基づき、実験を通じた分析(プラズマ診断)により得られる物理的および化学的データの集積を必要とする。また、構築したモデルが実験的にプラズマやプロセスの診断により検証されることも重要であり、プロセスの再現性はプラズマ診断により得られる粒子パラメータの制御に大きく依存する[1]。そのためプラズマ内の粒子挙動を診断する技術は極めて重要であるといえる。プラズマにより生成される原子やラジカルの診断、特に分光的手法を用いた技術には、発光分光法をベースとした Actinometry 法をはじめ、各種光源を利用した吸収分光法、およびレーザー診断技術が開発されてきた[2]。本稿ではこれらのうち発光分光法、吸収分光法のうち比較的簡便な計測技術について、簡単な原理や注意点について紹介する。

2. 発光分光法を用いた粒子計測

発光分光法をベースとした Actinometry 法は古

くから知られる非平衡プラズマ内の活性原子やラジカルの診断手法の一つである。この手法は希ガス混合プラズマ、もしくはプラズマの放電条件が変化しない程度に希ガス(一般的にはアルゴン(Ar))を数%微量添加し観測される測定対象粒子(原子やラジカル)と希ガス原子の発光強度比から、測定対象粒子の密度計測を可能とする。プラズマから放出される発光の分析を基本とする手法であり、プラズマに擾乱を与えない非侵襲性に優れる。また、診断の実施には図1に示すように、プラズマ装置に計測したい光波長域を透過する光学窓を備える必要があるものの、分析システムにはプラズマから放出される発光を集光する光学素子とスペクトル分解を行う分光機器、そして得られたデータの表示・集積・解析を行う PC のみで実施可能であり、機器・システムが低コストで実現できる利点がある。このように比較的簡易的な装置構成で実現可能な Actinometry 法についてはこれまでに多くの研究結果が報告されている[3-30]。様々な原子・ラジカル種、放電条件に対する Actinometry 法の応用[3-23]からはじまり、測定される原子・ラジカル種の相対密度変化の結果を通じた、それら粒子の反応や挙動に関する研究へ広く応用されている[4,24-29]。エッチングプラズマ内の フッ素(F)原子[18]の分析や、酸素(O) [4-11,24-28] および窒素(N)原子 [12-16]などの報告が多数ある。これらの原子に対する Actinometry 法の適用性の検証は文献[30]にいくつか紹介されているので参照頂きたい。

Actinometry 法を使用する際の注意点としては、実験的に特定の条件下での選択された原子・ラジ

カル種すべての電子衝突励起断面積、準位間の寿命など、励起および脱励起率に関する発光状態の知識が必要であるとともに、測定されるプラズマ内のプラズマ内の電子エネルギー分布関数 (Electron energy distribution function: EEDF) が既知であるか、状態を表すモデルを高い信頼性をもって推定することが求められる点にある。一部の原子では、Actinometry 法で必要となる電子衝撃励起断面積のデータが依然として不足しており、それらの定量的な測定に使用されない大きな理由となっている。しかし、これらの原子の定性的な分析に関する研究は積極的に行われている。

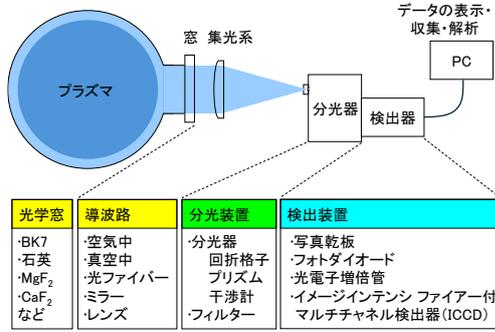


図1 発光分光システムの基本構成

以下に簡単に Actinometry 法の原理を示す。まず定常状態のプラズマ中の粒子 X の $i \rightarrow j$ 準位間の遷移に伴う発光強度は、 i 準位に存在する粒子 X の密度 $[X_i]$ のレート方程式から以下と求められる。

$$I_X \propto [X_i] h\nu_{ij}^X A_{ij}^X$$

$$= \frac{h\nu_{ij}^X A_{ij}^X}{\sum_k A_{ik}^X + k_{q,M}^X [M]} (k_e^X [X] n_e + k_{de}^X [M] n_e). \quad (1)$$

ここで、 h はプランク定数、 ν は振動数、 A はアインシュタイン A 係数、 k は反応定数、 n_e は電子密度、 $[X]$ および $[M]$ は基底状態の粒子 X および原料ガス分子 M の密度を表す。右辺括弧内の第一項は電子衝突による基底状態からの励起項 (反応定数 k_e) であり、第二項は電子衝突による原料ガス M からの直接的な生成 (反応定数 k_{de}) を示す。また、右辺の分母は、 i 準位から j 準位を含む他準位への遷移、原料ガス分子との衝突によるクエンチング

反応による消失を考慮している。また同様に、プラズマ内に添加もしくは混合された希ガス (ここでは Ar と表示) の発光強度は以下となる。

$$I_{Ar} \propto [Ar_n] h\nu_{nm}^{Ar} A_{nm}^{Ar} = \frac{1}{A_{nm}^{Ar} + k_{q,M}^{Ar} [M]} (k_e^{Ar} [Ar] n_e) h\nu_{nm}^{Ar} A_{nm}^{Ar}. \quad (2)$$

上記の(1)および(2)のより、発光強度の比 I_X/I_{Ar} は希ガス原子と測定粒子の密度比で表せる。

$$\frac{I_X}{I_{Ar}} \propto C \left(\frac{[X]}{[Ar]} + \frac{k_{de}^X [M]}{k_e^X [Ar]} \right), \quad (3)$$

$$ここで、C = \frac{A_{nm}^{Ar} + k_{q,M}^{Ar} [M]}{\sum_k A_{ik}^X + k_{q,M}^X [M]} \frac{h\nu_{ij}^X A_{ij}^X}{h\nu_{nm}^{Ar} A_{nm}^{Ar}} \frac{k_e^X}{k_e^{Ar}}.$$

また、上記の電子衝突反応における反応定数 k は以下ようになる。

$$k_e = \int_{E_{th}}^{\infty} \sigma_e(\varepsilon) f(\varepsilon) \varepsilon \sqrt{\frac{2e}{m_e}} d\varepsilon, \quad (4)$$

$$ここで、\int_0^{\infty} f(\varepsilon) \sqrt{\varepsilon} d\varepsilon = 1.$$

(4)式において、 $\sigma_e(\varepsilon)$ は、電子エネルギー ε における電子衝突反応の断面積であり、 E_{th} はその閾値エネルギー、 e と m_e は電子の電荷量および質量である。 $f(\varepsilon)$ は電子エネルギー確率関数である。

Actinometry 法で正しい診断結果が得るには、計測対象となるプラズマが基底状態のみからの遷移を考えるコロナモデルが成立することが前提であり、これより準安定状態からの励起や、上記の(2)と(3)式に含まれる解離性励起((3)式の右辺第二項)が無視できる状態であることが条件となる。また、(3)式の比例定数となる C が放電条件の変化に対して不変であることも重要であり、これにはプラズマ内の EEDF が放電条件の変化に対して全く変化しないことや、添加する希ガス原子と測定粒子の各励起断面積 $\sigma_e(\varepsilon)$ のエネルギー依存性が同じであることが求められる。そのため、より正確な測定を行うためには、プラズマ内の EEDF の推定(測定)や励起断面積のエネルギー依存性など発光過程(状態)を十分理解すべきである。また、励

起断面積のエネルギー依存性が似た発光線の選択や、電子衝突励起の励起閾値エネルギーが粒子間で近いことも重要である。更には、プラズマ内部のガス分子の温度についても、放電条件で変化しないか、別途測定されることも、少しでも良い測定のためには重要視するべきである。

3. 吸収分光法を用いた粒子計測

吸収分光法では、活性粒子が存在するプラズマ内に光を入射し、透過した光強度の相対的变化から活性粒子の絶対密度を求める。測定プラズマの放電状態に影響しない程度の比較的低強度の入射光でも透過光さえ検出できれば、基本的に測定は可能であるため、非侵襲な手法として有用である。この吸収分光法では、レーザー光源を用いた手法から、プラズマ光源から放出される原子線などを用いた手法、比較的広帯域な発光スペクトル光を放出するランプや LED を光源とした手法など、使用する波長域や光源の種類により特徴付けられ、光源や光学系の取り扱いや注意する点も異なる。

吸収分光を用いたプラズマ中の粒子計測は古く、プロセスプラズマの診断という点において、中赤外領域 (2.5~15 μm) 付近に遷移線を有する分子状ラジカルに対して、赤外半導体レーザー吸収分光法を適用し、 SiH_3 [31]、 CH_3 [32]、 $\text{CF}_x(x=1\sim 3)$ [33]ラジカルの定量測定がなされた。本手法が開発された当時は、冷媒を用いて半導体レーザー素子を極低温度に冷却する必要があったが、近年では室温近くで連続発振が可能な量子カスケードレーザーが使用でき、比較的簡便なシステムとして市販化もなされている。近赤外から紫外領域(波長 $>200\text{nm}$ 付近)においては、パラメトリック発振器レーザーや色素レーザーなど広範囲で発振波長を走査できる光源が使用でき、さらに半導体レーザーも一般的に利用されるようになったことで、上記の波長域に遷移線を有する、希ガス原子や金属原子をはじめとする各粒子の計測に応用されて

いる。また、上記レーザー光源を利用したキャビティリングダウン吸収分光法を用いて、準安定窒素分子や OH ラジカル[34]、 SiH_3 ラジカル[35,36]などの分子状ラジカルの測定の報告例もある。一方、波長 200nm 以下の波長帯は真空紫外領域と呼ばれ、酸素分子など大気ガスにより光が吸収されるため、光が伝搬する経路を真空排気や真空紫外光を吸収しないガスに置換するなど工夫が必要となるため、取り扱いは非常に面倒である。しかし、この真空紫外領域には、H、N、O 原子など、プラズマプロセスにおいて重要とされる原子の基底から第一励起準位への遷移線が存在するため、これらの定量的な測定を目的とした研究に利用される。しかし、この波長領域におけるレーザー発振にはガス状物質を非線形媒質とする高調波や和・差周波発生技術が必要となるため光源装置が極めて大規模なものとなり、様々なプラズマプロセス装置への適用は非常に困難である。そこで、微小なマイクロプラズマを光源とする共鳴発光線を利用した真空紫外吸収分光法が提案され、実用的なシステムとしてプラズマプロセス中の原子の計測実現されており、これまでに H[37]、N[38]、O[11]、C[39]、F 原子[40]の定量測定が成されている。しかし、インコヒーレントなプラズマ光源による共鳴遷移線を用いた手法は、光源から放出される光スペクトル形状の同定や計測対象側の原子の温度状態を仮定する必要があるなど、注意すべき点がいくつかある。そこで、ここでは原子の計測のためのプラズマを光源に用いた真空紫外吸収分光法について紹介する。

プラズマ内の原子発光線を光源として用いる場合、原子はある温度で運動しているため、その発光線はある周波数広がりを含んだスペクトル形状となる。この発光スペクトルの周波数広がりには原子の吸収スペクトルの形状に比べてほぼ同程度となるため無視することはできず、光吸収率 α は

ランベルト・ベールの法則に従いつつ、それぞれのスペクトル形状を考慮した次式で表される。

$$\alpha = 1 - \frac{I_0}{I_T} = 1 - \frac{\int f_1(\nu) \exp[-k_0 f_a(\nu) L] d\nu}{\int f_1(\nu) d\nu} \quad (5)$$

ここで、 I_0 は入射光強度、 I_T は透過光強度を示し、 $f_1(\nu)$ は光源の発光スペクトル形状を表す関数であり、 $f_a(\nu)$ はプラズマ内に存在する原子の遷移線の吸収スペクトル形状を表す関数を表す。そして、 k_0 は吸収スペクトルの中心周波数における吸収係数である。光吸収遷移線の上準位からの誘導放出は無視できる場合、(5)式の $k_0 f_a(\nu)$ を周波数領域で積分することで、光吸収遷移線の下準位に存在する吸収体の密度 N が次式から求まる[41]。

$$N = \frac{8\pi\nu_0^2 g_u}{c^2 g_l A} \int k_0 f_a(\nu) d\nu \quad (6)$$

ここで、 ν_0 は発光・吸収スペクトルの中心周波数、 c は光速、 g_u 、 g_l は遷移線の上下準位の統計重率、 A はアインシュタイン A 係数を示す。しかし、測定された吸収率 α から(5)式を用いてより正確に原子の密度 N を求めるためには、 $f_1(\nu)$ 、 $f_a(\nu)$ の各スペクトル形状を表す関数を同定する必要がある。両関数が同定できれば、(5)式より吸収係数 k_0 が求まり、(6)式から密度 N が求まる。計測対象が低圧プラズマ内の粒子(原子やラジカル)であれば、その吸収スペクトル形状 $f_a(\nu)$ は粒子温度で決まるドップラー広がりを表すガウス関数と推測できる。光源の発光スペクトル形状 $f_1(\nu)$ は、使用するプラズマ光源の放電条件によりドップラー広がり以外の要因を含む場合もあり、正確な吸収分光計測を行うためには、発光スペクトルの形状を正しく推定・把握することが求められる。

発光スペクトルの形状をより正しく同定するうえで、プラズマ光源には二つの特徴を有することが重要である。まず一つ目は、高速移動する励起原子の脱励起発光を含まないことである。水素原子の Lyman α ($L\alpha$, 波長 121.6 nm)線を例とする

と、光源のプラズマ内での $L\alpha$ 線の発生過程には、(i) 励起水素原子による脱励起発光 ($H + e \rightarrow H^* + e \rightarrow H + e + h\nu$)、(ii) 水素分子の解離発光 ($H_2 + e \rightarrow H_2^* + e \rightarrow H^* + H + e \rightarrow H + H + e + h\nu$) の二つが考えられる。(i)は、粒子間衝突により十分にエネルギー緩和された比較的低温の水素原子(基底状態)が電子衝突により励起され、その脱励起による発光過程である。そのためスペクトル形状は比較的低温のドップラー広がりとなるが、(ii)の解離発光の場合、励起原子 H^* は解離余剰エネルギーをもとに高速に運動しており、脱励起時に放出される発光スペクトルのドップラー広がりが大きくなる。そのため光源から放出される発光スペクトルの形状は、二つの温度で決定されるドップラー広がり重ね合わせとなるため、その同定は困難となる。

プラズマ光源に求める二つ目の特徴は、高解離率プラズマであることが必要である点である。プラズマ光源では計測対象となる原子か成る分子性ガスを放電ガスとし、プラズマ内の解離反応で生成した原子の発光を利用する。このとき、導入した分子の解離度が低い場合、その分子自体の励起・脱励起による分子発光が原子の発光スペクトルに重なるため、光源から放出されるの発光スペクトルの形状の同定は容易ではない。そのため光源に用いるプラズマには導入ガス分子の高解離度を達成する高密度なプラズマが望ましい。

また、プラズマ光源の場合、光源プラズマ内で発生した原子線が光源から放たれる前に同プラズマ内に存在する他の基底準位の原子により吸収される自己吸収現象が生じることに注意すべきである。この自己吸収現象は、プラズマ光源から出射される発光スペクトルの形状に歪みを与え、単純な関数として $f_1(\nu)$ を同定することは困難となる。そのためプラズマ光源を用いた吸収分光計測では、光源内の自己吸収現象を無視できる程度に低減することが求められる。この自己吸収の影響の確認

やその低減に関しては、文献[39]を参照頂きたい。

我々のグループでは、上記の二つの特徴を有し、さらに自己吸収現象の影響も無視できる、大気圧下の高密度プラズマを利用したマイクロ放電ホロカソード光源(Micro-discharge hollow cathode lamp: MHCL)[37]を吸収分光計測に使用している[42]。大気圧放電のように高圧力下におけるプラズマを光源とする場合、発光スペクトルの形状は単純なドップラー広がり(ν_D)だけでなく、圧力(ローレンツ)広がり(ν_L)の影響が大きくなり、発光スペクトルの形状はガウス型およびローレンツ型の各広がりを考慮したみフォークト関数で与えられる[41]。この MHCL 光源から放出される H 原子の発光スペクトル(L α 線)については、真空紫外レーザーを用いた真空紫外レーザー吸収分光法により同定がなされており、室温程度の水素原子温度のドップラー広がりとその 1.5 倍 (ν_L/ν_D 比)のローレンツ広がりて構成されるフォークト型である[43]。ここでは、この MHCL 光源を用いた吸収分光を例に光源の発光スペクトルや測定対象プラズマ内の原子温度が、計測結果にどのような影響を与えるかを紹介する。図 2 は、MHCL 光源から放出された光が測定対象プラズマ内を伝搬する距離(吸収長)に対して計測される光吸収率を理論計算のもとに求めたグラフとなっている。

この計算では、測定対象プラズマ内の水素原子密度を $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ で固定し、その温度を 400、600 K、MHCL 内の H 原子の発光スペクトル形状を表すフォークト関数の ν_L/ν_D 比を 1, 1.5, 2.0 のそれぞれに設定し実施した。得られた計算結果である図 1 から分かるように吸収長の増大に伴って吸収率が大きくなるものの、各温度・発光スペクトル形状の条件下における吸収率の差も大きくなる事が分かる。このことは、光源内の発光スペクトル形状や測定粒子の温度の推定の見誤りによる影響は、低い吸収率の条件下では小さいこと

を示す。そのため吸収分光を実施する場合、計測対象のプラズマ装置に擾乱を与えない程度で吸収長を調整し、誤差を小さくする必要がある。

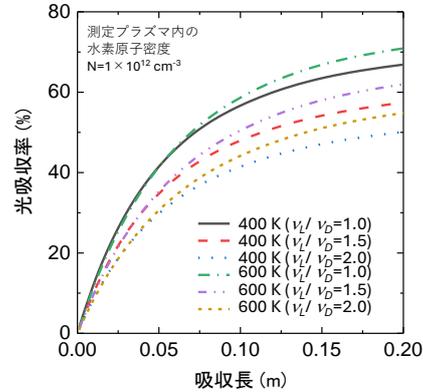


図 2 吸収分光における吸収長に対する光吸収率の理論計算値(測定プラズマ内原子温度および光源の発光スペクトル形状の依存性)

4. まとめ

本稿では分光技術を用いたプラズマ内の活性粒子計測のうち、発光・吸収分光法の一部について説明した。それらはレーザーを用いた手法に比べ、比較的簡便な手法であるが、各診断法で知り得るプラズマパラメータは断片的であり、使用するプラズマを完全に特徴付けることは難しく、研究の目的に応じて、さまざまな診断法を使用する必要がある。そのため複数の手法を組み合わせた、使いやすさと十分な精度を併せもつプラズマモニタリング技術の構築が今後も重要な研究課題といえる。

参考文献

- [1] 堀勝, 後藤俊夫; 応用物理, 68 (1999) 1252.
- [2] M. Hori, T. Goto; Appl. Sur. Sci., 253 (2007) 6657.
- [3] M. V. Malyshev, V. M. Donnelly; J. Vac. Sci. Technol. A 15 (1997) 550.
- [4] D. Pagnon, et al.; J. Phys. D: Appl. Phys. 28 (1995) 1856.
- [5] J.-P. Booth, et al.; J. Appl. Phys., 69 (1991) 618.
- [6] J. Conway, et al.; Plasma Sources Sci. Technol.,

- 22 (2013) 045004.
- [7] A. E. Walkup, K. L. Saenger and G. S. Selwyn; *J. Chem. Phys.* 84 (1986) 2668.
- [8] H. M. Katsch, et al.; *J. Appl. Phys.* 88 (2000) 6232.
- [9] A. Ershov, J. Borysow; *Plasma Sources Sci. Technol.*, 16 (2007) 798.
- [10] A. Granier, et al.; *J. Appl. Phys.*, 75 (1994) 104.
- [11] H. Nagai, et al.; *Rev. Sci. Instrum.*, 74 (2003) 3453.
- [12] J. C. Thomaz, et al.; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 32 (1999) 3208.
- [13] J. Levaton, et al.; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 39 (2006) 3285.
- [14] T. Czerwiec, et al.; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 38 (2005) 4278.
- [15] C. Biloiu, et al.; *J. Appl. Phys.*, 102 (2007) 053303.
- [16] T. H. Chung, et al.; *AIP Adv.* 1 (2011) 032136.
- [17] R. A. Gottscho, et al.; *J. Appl. Phys.*, 56 (1984) 245.
- [18] J.-P. Booth, N. Sadeghi; *J. Appl. Phys.*, 70 (1991) 611.
- [19] J.-S. Jenqt, et al.; *Plasma Sources Sci. Technol.*, 3 (1994) 154.
- [20] R. d'Agostino, et al.; *Plasma Chem. Plasma Process.* 1 (1981) 365.
- [21] Y. Kawai, et al.; *Jpn. J. Appl. Phys.* 36 (1997) L1261.
- [22] T. Kimura, K. Hanaki; *Jpn. J. Appl. Phys.*, 47 (2008) 8546.
- [23] T. Kimura, M. Noto; *J. Appl. Phys.*, 100 (2006) 063303.
- [24] P. Macko, et al.; *Plasma Sources Sci. Technol.*, 13 (2004) 251.
- [25] G. Cartry, et al.; *Plasma Sources Sci. Technol.*, 15 (2006) 479.
- [26] A. Bousquet, et al.; *Plasma Sources Sci. Technol.*, 16 (2007) 597.
- [27] B. Gordiets, et al.; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 29 (1996) 1021.
- [28] J. Kristof, et al.; *Vacuum*, 86 (2012) 614.
- [29] D. V. Lopaev, et al.; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 44 (2011) 015201.
- [30] D V Lopaev, et al.; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 50 (2017) 075202.
- [31] Y. Yamamoto, et al.; *Jpn. J. Appl. Phys.* 33 (1994) 4320.
- [32] M. Ikeda, et al.; *J. Appl. Phys.*, 82 (1997) 4055.
- [33] K. Miyata, et al.; *Jpn. J. Appl. Phys.* 36 (1997) 5340.
- [34] 佐々木浩一; *Plasma Fusion Res.*, 91(2015)2.
- [35] T. Nagai et al.; *Jpn. J. Appl. Phys.* 45 (2006) 8095.
- [36] Y. Abe, et al.; *Appl. Phys. Lett.*; 110 (2017) 043902.
- [37] S. Takashima, et al.; *Appl. Phys. Lett.* 75, (1999) 3929.
- [38] S. Takashima, et al.; *J. Vac. Sci. Technol. A* 19 (2001) 599.
- [39] W. Takeuchi, et al.; *J. Appl. Phys.*, 105 (2009) 113305.
- [40] K. Sasaki. et al.; *Appl. Phys. Lett.*, 70 (1997) 1375.
- [41] A. C. G. Michell, M. W. Zemansky, *Resonance Radiation and Excited Atoms* (Cambridge Univ. Press, 1961).
- [42] K. Takeda, et al.; *Reviews of Modern Plasma Physics*, 6 (2022) 13.
- [43] 竹田圭吾 他; *J. Plasma Fusion Res.*, 95, (2019) 180.

第 22 回プラズマエレクトロニクス賞

第 22 回「プラズマエレクトロニクス賞」について

大阪公立大学 白藤 立

2024 年 1 月 9 日を締切りとして受賞候補論文を募集し、後述するプラズマエレクトロニクス賞選考委員会を発足して選考を行い、7 件の応募の中から 2 件を選出しました。

一次選考では、用物理学会論文賞の選考に倣った項目による評価シートを全ての論文に対して作成しました。一次選考の集計結果と各論文に対する委員のコメントを無記名で開示した上で、二次選考で改めて慎重に検討を行い、全員一致で以下の 2 件を第 22 回プラズマエレクトロニクス賞の論文として選出しました。

受賞論文 (1)

論文: Modeling and simulation of coverage and film properties in deposition process on large-scale pattern using statistical ensemble method

著者 : Nobuyuki Kuboi, Hiroyasu Matsugai, Tetsuya Tatsumi, Shoji Kobayashi, Yoshiya Hagimoto, and Hayato Iwamoto

雑誌名: Jpn. J. Appl. Phys. 62, S11006 (2023)

受賞者: 久保井信行、松谷弘康、辰巳哲也、小林正治、萩本賢哉、岩元勇人

(ソニーセミコンダクタソリューションズ(株))

受賞理由:

本論文では、プラズマエッチングのモデル化の知見を応用して堆積プロセスをモデル化し、大規模パターン上の被覆率と膜特性の双方を予測する方法を初めて開発した。本手法は、今後の PVD/ALD/ASALD へのモデルの広い応用性を有し、産業的に有用で今後のプラズマ材料加工プロセス設計の発展に寄与しうるものであ

り、応用物理学会プラズマエレクトロニクス賞を授与するに相応しい論文である。

受賞論文 (2)

論文: Single-step fabrication of fibrous Si/Sn composite nanowire anodes by high-pressure He plasma sputtering for high-capacity Li-ion batteries

著者: Giichiro Uchida, Kodai Masumoto, Mikito Sakakibara, Yumiko Ikebe, Shinjiro Ono, Kazunori Koga, Takahiro Kozawa

雑誌名: Sci. Rep. 13, 14280 (2023)

受賞者: 内田儀一郎、益本幸泰、榊原幹人、池邊由美子 (名城大学)、小野晋次郎、古閑一憲 (九州大学)、小澤隆弘 (大阪大学)

受賞理由:

本論文では、中低融点金属 Sn を含有した Si ターゲットを用い中圧領域 0.3 Torr の He プラズマを用いたスパッタリングで、1 次元 Si ナノワイヤー膜を単一ステップで作製できる方法を開発し、負極に用いることで Li イオン電池の高容量化を実証している。本手法は、学術的・産業的にプラズマ材料合成法の発展に寄与しうるものであり、応用物理学会プラズマエレクトロニクス賞を授与するに相応しい論文である。

第 22 回プラズマエレクトロニクス賞選考委員会

伊藤昌文 (委員長・名城大学)、石川健治 (名古屋大学)、伊藤剛仁 (東京大学)、小川大輔 (中部大学)、木下啓藏 (アイオーコア) 上坂裕之 (岐阜大学)、布村正太 (産業技術総合研究所)

高容量 Li イオン電池のための 高圧 2 元スパッタリングを用いた Ge/C 複合負極の開発

名城大学 大前 知輝、内田 儀一郎

1. はじめに

この度は第 55 回(2023 秋季)応用物理学会講演奨励賞をプラズマエレクトロニクス分野で賜り、光栄に存じます。講演の運営と選考に関わりました先生方にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。本稿では受賞対象となりました高圧 2 元スパッタリングを用いた Ge/C 複合負極の堆積と高容量 Li イオン電池の実証に関してご紹介させていただきます。

2. 研究背景

現在のリチウムイオン電池(LIB)では、数百回と繰り返される充放電サイクルで安定性に優れたグラファイト(C)を負極材料として使用しているが、その理論的な Li 貯蔵容量は 372 mAh/g に制限されている。電気自動車の航続距離の増大を目的とした LIB の更なる高性能化に向け、シリコン(Si)やゲルマニウム(Ge)などの高容量負極材料が注目されている。これらはそれぞれ 4,200 mAh/g、1,624 mAh/g の理論 Li 貯蔵容量を持っているが、充電時に Li と合金化すると体積が約 400 %にも膨張し、負極材料の粉砕や Cu 集電体からの剥離が起こり、急速に容量は低下する。そこで我々は、Si よりも高い Li イオン拡散性と電子導電性を持ち、高容量な Ge 材料に着目した[1,2]。本研究の新規性は高圧力下での低温プラズマスパッタリングプロセスを開発し、Ge 材料と C 材料を組み合わせた新規ナノ構造複合負極膜を考案した点にある。高圧力下でのスパッタリングでは、材料をナノ粒子化して堆積させることが可

能となる。ナノ粒子は比表面積が大きいため、表面から反応する Li との合金化の過程で比較的均一に膨張する。そのため物理的ストレスを軽減させ、材料の粉砕を抑制する効果が期待できる。本研究は低温プラズマを用いたボトムアッププロセスにより有機バインダーフリーのナノ構造 C/Ge/C 多層負極を作製し、Li イオン電池の高容量かつ安定駆動を実証した[3]。

3. 実験方法

図 1 に本研究で使用した実験装置の概要図および右下に実際のプラズマ生成写真を示す。RF マグネトロン 2 元スパッタリング装置を用いて、Ge 薄膜および C/Ge/C 多層膜を基板加熱することなく Cu 基板上に成膜した。スパッタリングターゲットは左側を多結晶 Ge、右側をグラファイト(C)とした。ターゲットと基板中心との間の距離はそれぞれ 40 mm、30 mm で固定した。放電プラズマは両方のスパッタリングカソードに 11.8 W/cm²、13.56 MHz の RF 電力を供給することで生成し、ガス圧力は通常のスパッタリングで用いる圧力より 2 桁程高い 500 mTorr、Ar ガス流量は 100 sccm とした。作製した Ge 薄膜および C/Ge/C 多層膜はコインサイズの LIB フラットセルに負極として組み込み、Li 箔を対極としたハーフセル構造とした。電池の性能は、充放電試験装置を用いて室温下ですべての充放電サイクルについて分析した。充電時の電流量は 1-2 サイクルで 32 mA/g(0.02-C)、3-90 サイクルで 160 mA/g(0.1-C)とした。

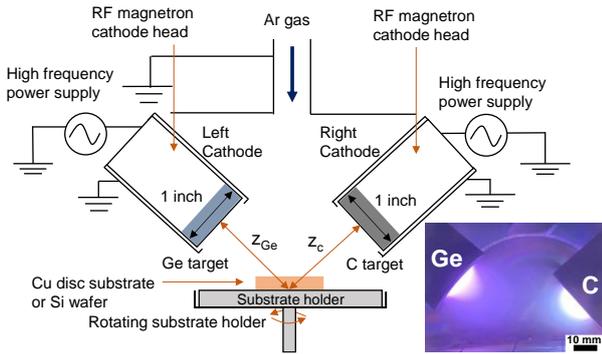


図1 実験装置図 (写真：成膜の様子)[3]

4. 実験結果

4-1. 膜物性評価

図2(a)(b)に Ge 薄膜および C 薄膜表面 SEM 像を示す。高圧力下で成膜することにより、Ge 薄膜の平均粒径は 20 nm となり、充電時の体積膨張に効果的なナノ粒子膜を単一ステップで作製できた。この膜の多孔度は 19 %と高くナノポーラス膜となった。C 薄膜も平均粒径 13 nm の凹凸が表面に観測され、ナノ構造を示した。

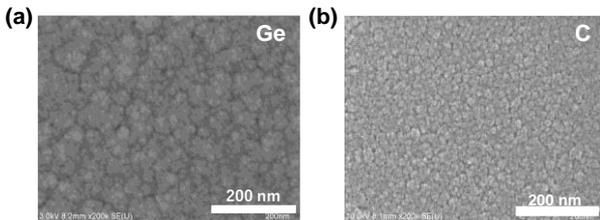


図2 (a) Ge 薄膜 (b) C 薄膜表面 SEM 像[3]

図3(a)(b)に Ge 薄膜および C 薄膜のラマンスペクトルを示す。Ge 薄膜のスペクトルでは約 270 cm^{-1} にブロードなピークが観測されたため、アモルファス構造(a-Ge)と同定された。一般にアモルファス構造は Li イオンが結晶面に依存することなく Ge ナノ粒子に等方的に拡散できるため、Ge のリチウム化(充電反応)に有利である。C 薄膜のスペクトルでは 1342 cm^{-1} (D-band)と 1591 cm^{-1} (G-band)付近に二つのピークが観測され、導電材として広く利用されているカーボンブラックと類似したアモルファス構造のスペクトルが得られた。

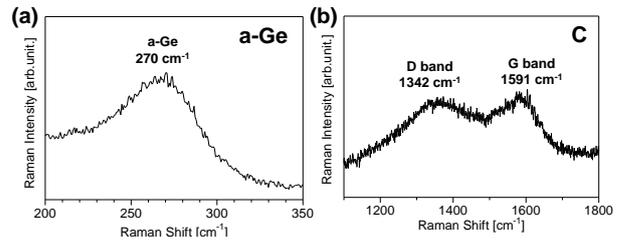


図3 (a) Ge 薄膜 (b) C 膜のラマンスペクトル[3]

4-2. 電池性能評価

図4(a)に作製した a-Ge 薄膜のみを負極とした Li イオン電池の充放電サイクル特性を示す。初期サイクルは、放電容量 864 mAh/g と比較的高い値が得られたが、90 サイクル後には放電容量が 304 mAh/g まで低下し、容量維持率は 50 % (4-90 サイクル)と大きく劣化した。この容量劣化を抑止するため、Ge 薄膜の上下に C 薄膜を導入した。図4(b)に作製した C/a-Ge/C 多層膜を負極とする Li イオン電池の充放電サイクル特性を示す。初期サイクルは放電容量 976 mAh/g と、Ge 薄膜を負極とする電池と比べて向上した。さらに 90 サイクル後の放電容量は 910 mAh/g と高い値を維持し、3 サイクルから 90 サイクルの間で容量の低下は見られなかった。このように今回考案した C/a-Ge/C のサンドイッチ構造により、高容量かつ低劣化の両特性を備えた負極を実現した。

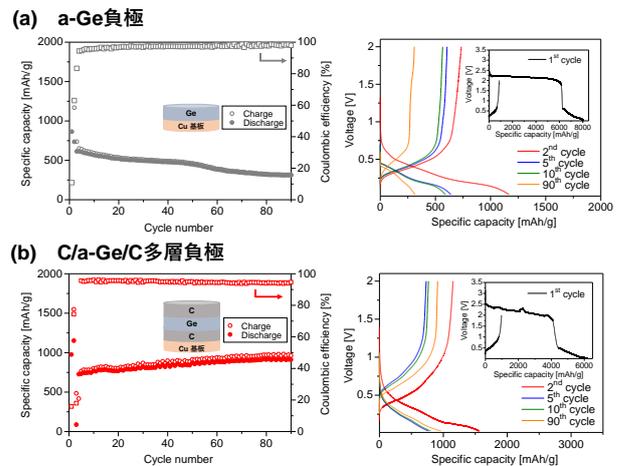


図4(a) a-Ge 薄膜負極電池 (b) C/a-Ge/C 多層膜負極電池のサイクル特性および容量電圧特性[3]

5. 考察

5-1. 下部 C 薄膜層の効果

図5に充放電サイクル前に電気化学交流インピーダンス法(EIS)によって得られた a-Ge 負極、C/a-Ge/C 多層膜負極電池のナイキストプロットを示す。EIS では高周波領域では半円、低周波領域では直線が得られ、高周波領域の半半径は主に膜の電子抵抗値に対応する。開発した C/a-Ge/C 多層膜負極電池の電子抵抗は a-Ge 薄膜負極の電子抵抗よりも大幅に低くなった。下部に挿入した C 薄膜層により、Cu 集電体と a-Ge 活物質との密着性が強化され、集電体から a-Ge 材料への電子の移動度が向上したと考えられる。電子抵抗値が低いほど、実際の電池の放電容量も高くなった。下記の式(1)に示すように充電反応には電子の供給が必要不可欠であり、下側の C 膜層による低抵抗化が電池の高容量化の一因と考えられる。

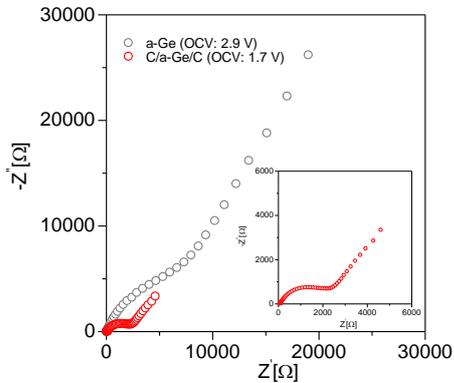
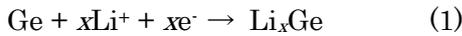


図5 作製した負極のナイキストプロット[3]

5-2. 上部 C 薄膜層の効果

実験では a-Ge 材料の上面に C 薄膜を配置すると容量維持率が著しく向上した。この結果は、C/a-Ge/C 多層膜負極内に形成される安定した SEI(Solid Electrolyte Interface)層に起因するものと考えられる。図6にそのイメージ図を示す。SEI は充電時に LIB の負極と電解液の界面に形成される皮膜であり、Ge 活物質上での SEI 層は、充放電サイクル中の体積変化により破壊と再形

成を繰り返す。このプロセスによって、Ge 表面の SEI 領域の厚さが増加し界面抵抗が増大する。また、SEI 形成では充電と関係なく、Li を消費するため不可逆容量も増加する。これらが一因となり、a-Ge 負極電池では急速に容量が低下したものと考えられる。一方、C 薄膜は体積膨張しないため、その上に形成される SEI 層は極めて安定である。a-Ge 活物質材料の表面を C 薄膜層でキャッピングすることで、Ge 層の機械的破壊を抑止するとともに、化学的に安定な SEI 層の形成を実現している。これらの効果により C/a-Ge/C 構造で高い容量維持率が実現したのと考えている。

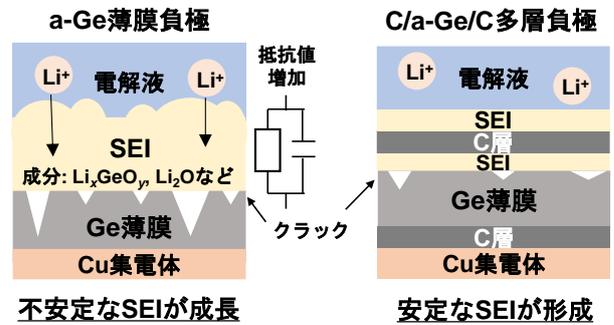


図6 上部 C 薄膜層の効果イメージ

6. まとめ

本研究では、高圧力下での低温プラズマスパッタリングプロセスにて有機バインダーフリーのナノ構造 C/a-Ge/C 多層膜負極を作製した。この負極を用いた Li イオン電池は、Ge 薄膜のみよりもはるかに優れた安定性を示し、90 サイクル後も容量が劣化することなく 910 mAh/g の高い放電容量を維持した。次世代高容量 LIB の高いサイクル安定性の実現するために、C/Ge/C サンドイッチ構造が有効であることを実証した。

参考文献

- [1] J. Hayashi et al., Jpn. J. Appl. Phys., **61** (2021) SA1002.
- [2] G. Uchida et al., Sci. Rep., **12** (2022) 1742.
- [3] T. Omae et al., Appl. Phys. Express, **17** (2024) 026001.

交流電圧を印加した金属板上に形成されるイオンシースの 時間分解レーザー誘起蛍光計測

京都大学 占部 継一郎
(受賞者： 京都大学 高橋 良輔)

はじめに

この度は、著者所属研究室に 2024 年 3 月まで所属していた高橋 良輔さんに対し、第 55 回 応用物理学会講演奨励賞という大変名誉ある賞を授与していただき、応用物理学会、特にプラズマエレクトロニクス分科会関係者の皆様に心より御礼申し上げます。本稿では、受賞対象となった表題の研究内容について、これまでに得られた成果を中心に説明させていただきます。

研究背景・目的

エッチングや薄膜堆積などのプラズマ材料プロセスでは、基板（基材）に交流バイアス電圧を印加し、材料へ照射するイオンのエネルギーを制御する。近年では、正弦波以外の電圧波形印加により、イオンエネルギー分布の形状を制御し、プロセス性能を向上させる試みが活発化している[1]。この電圧波形を活用したイオンエネルギー高精度制御の実用化には、バイアス電圧 1 周期中に発生するイオン速度分布変化を捉える計測技術の確立が重要である。そこで、本研究ではレーザー誘起蛍光（Laser-induced fluorescence spectroscopy: LIF）法を用いた時間分解イオン速度計測に取り組んでいる。正弦波バイアス電圧印加時の報告例があるパルス（色素）レーザーを用いた時間分解 LIF 計測[2]では、電圧波形を任意に変化させた場合に測定タイミング設定が困難になると考え、連続光を発振する半導体レーザーを用いた時間分解 LIF 計測システムを構築することにした。

時間分解レーザー誘起蛍光計測

本研究で構築した時間分解 LIF 計測システムを図 1 に示す。LIF 対象粒子は準安定励起アルゴンイオン (Ar^{tm}) であり、半導体レーザーから発振した波長 668.6 nm ($3d^4F_{7/2} \rightarrow 4p^4D_{5/2}$) の励起レーザー光を EOM (Electro-optic modulator) で強度変調 (20 MHz) した。波長 442.6 nm ($4p^4D_{5/2} \rightarrow 4s^4P_{3/2}$) の光帯域フィルタを通過した蛍光信号は、PMT (Photomultiplier tube) により検出した。RF フィルタ及び PSD (Phase sensitive detector) でノイズを低減し、交流バイアス電圧と同期したオシロスコープで平均化して蛍光強度の時間変化を取得する。PSD 出力帯域は 2 MHz であり、kHz オーダーの信号強度変化に対して十分な時間分解能を有するアナログ信号検出系を構築した。

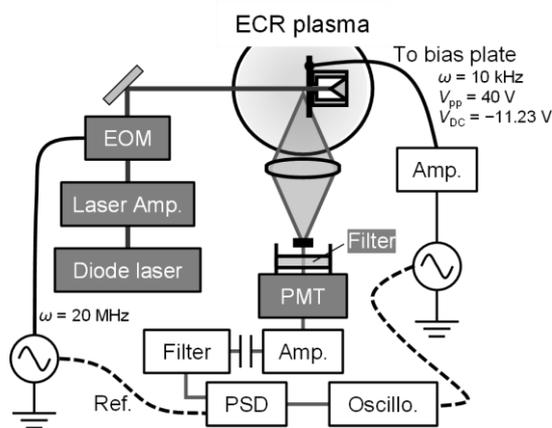


図 1. 時間分解 LIF 計測システムの概略図 [3]

本研究では ECR (Electron cyclotron resonance) プラズマ (Ar ガス 0.05 Pa) 中に設置した金属板

近傍に形成されるイオンシース領域を測定対象とした．金属板に周波数 10 kHz の正弦波及び三角波，矩形波の交流バイアス電圧を印加し，金属板から 1 mm 離れた位置から放出される蛍光の強度変化を取得した．複数波長の計測結果をまとめてプロットし，バイアス電圧波形と同期したイオン速度分布の時間変化を解析した．

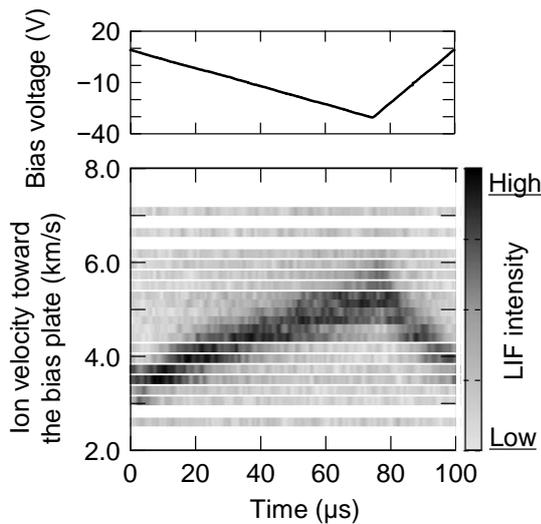


図 2. 10 kHz 三角波を金属板に印加した場合に得られるイオン速度分布の時間変化 [3,4]

図 2 に金属板に印加した三角波の波形，及びイオン速度分布の時間変化を示す．印加電圧の低下に伴いイオンが金属板方向に加速され，速度が最大になるタイミングが三角波の頂点と一致した．以上をはじめとした各種印加電圧波形に対する計測結果から，本研究で構築した時間分解 LIF システムは kHz オーダーの交流バイアス電圧印加によるイオン挙動変化を適切に捉えていると結論づけた．[4]

これらの基礎実験データを基にして，高周波数 (100~400 kHz) の交流バイアス電圧を印加して時間分解 LIF 計測実験を行い，イオン速度分布の時間変化を得た．LIF 計測結果をバイアス電圧波形と比較すると，イオン速度変化が電圧波形から遅

れ，さらにその遅れ時間はバイアス 1 周期の中で変化することが分かった．この結果を基にして，イオンシースのポテンシャル構造変化を記述する物理モデルの考察を行っている．[5]

おわりに

連続光を発振する半導体レーザーを用いた時間分解レーザー誘起蛍光計測システムを構築し，交流バイアス電圧を印加した金属板近傍のイオン速度分布，そしてその速度を決定する要因であるイオンシース構造の研究を進めている．本稿では，その計測システムの概要と，プラズマ材料プロセスにおいて重要性が高まっている正弦波以外のバイアス電圧波形印加時の計測結果について紹介した．その他にも，電子シース形成やプラズマ電位変化に関する研究 [6] を進めており，プラズマエレクトロニクス分野の発展に資する研究成果を得られるよう，著者を中心にこれからも取り組む予定である．

参考文献

- [1] T. Faraz, Y. G. P. Verstappen, M. A. Verheijen, N. J. Chittock, J. E. Lopez, E. Heijdra, W. J. H. van Gennip, W. M. M. Kessels, and A. J. M. Mackus; *J. Appl. Phys.*, **128** (2020) 213301.
- [2] B. Jacobs, W. Gekelman, P. Pribyl, and M. Barnes; *Phys. Rev. Lett.*, **105** (2010) 075001.
- [3] 高橋，鬼頭，江利口，占部；第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 23p-A301-4 (熊本, 2023)．
- [4] R. Takahashi, S. Kito, K. Eriguchi, and K. Urabe; *Rev. Sci. Instrum.*, (2024) in press.
- [5] 高橋，鬼頭，江利口，占部；第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 22a-12G-6 (東京, 2024)．〔講演奨励賞受賞記念講演〕
- [6] 野田，高橋，江利口，占部；第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 22a-12G-7 (東京, 2024)．

国際会議報告

44th International Symposium on Dry Process (DPS2023) 第 44 回ドライプロセスシンポジウム国際会議

中部大学 小川大輔
(DPS2023 実行委員長)

はじめに

本会議は毎年秋に開催されており、国内外のプラズマプロセスなどのドライプロセスに関連する分野を調査・研究されている方が一同に会する国際会議である。会議の回数は今回で 44 回目を数え、毎年この会議が国内からだけではなく、多くの国際的な注目を集めている。近年は 250 から 300 名程度の参加者が見込まれており、この会議の特徴としては、大学などの研究機関からの参加者だけではなく、半導体関連の企業から多くの参加者があるということである。

今回の会議は、愛知県名古屋市中村区にあるウインクあいち(愛知県産業労働センター)で、2023 年 11 月 21 日(火)・22 日(水)の 2 日間にわたって開催された。この会場は JR 名古屋駅や名鉄名古屋駅から徒歩 5 分程度の場所に位置し、国内外に問わず、利便性が絶好のロケーションであった。今回の参加者は最終的に 333 名となり、5 階小ホール 1 をメイン会場として、通例通り 1 セッションのみのプログラム構成で会議が進行した。さらに、今回は当初の参加予想人数を大幅に上回る盛況となったため、メイン会場のすぐ横に予め用意してあったサテライト会場さえも活用しながら開催した。本記事ではこの会議の開催模様について報告する。

発表の概要

今回の会議では合計 97 件の発表件数があった。そのうち、受賞者による講演や招待講演などを含

む特別講演が 8 件、一般口頭発表講演が 21 件、ポスター発表が 68 件であった。

本会議の目玉である招待講演者は、高アスペクト比加工について Mark J. Kushner 氏(ミシガン大)、Jaeho Min 氏(サムソン電子)の 2 名、原子層エッチングについて、浜口智志氏(大阪大)、人口知能の利用について Richard A. Gottscho 氏(ラムリサーチ)、Jun Haeng Lee 氏(サムソン電子)の 2 名、そして近年の半導体事情で折井靖光氏(ラピダス)にご講演いただき、いずれの講演において大変盛況であった。また、今回の会議でも質の高い一般口頭発表講演やポスター講演が多数あり、こちらも招待講演者による講演など同様に会議を盛り上げた。



図 1 DPS 2023 の会場の様子

DPS における受賞について

今回開催された会議の 1 日目では、DPS Nishizawa Award に、プラズマプロセス中での光学計測による物理・化学反応の業績などを讃えて Jean-Paul Booth 氏 (CNRS/Ecole

Polytechnique)、電子サイクロトロン共鳴のプラズマ装置の開発への多大なる貢献などを讃えて藤原伸夫氏(三菱電機)の2名の受賞が発表された。また、DPS Achievement Award に、これまでの誘電体の物性調査や応用への貢献などを讃えて大木義路氏(早稲田大)の受賞が発表された。さらに Best Presentation Award と DPS Paper Award に久保井信行氏(ソニーセミコンダクターソリューションズ)らの2つの受賞が発表された。最後に DPS 2022 Award for the Young Researcher に、濱野誉氏(京都大)と市川景太氏(名古屋大)の2名の受賞が発表された。

DPSにおける初めての企画

今回の DPS では、受付横に半導体企業に関心のある若手を対象した DPS Career Board を設置し、就職マッチング企画を開催した。この企画は、会議として半導体企業における若手人材を確保するためのサポートを目的とするだけでなく、大学などの研究機関から発表する学生や若手研究者のために会議への参加意欲を高めることを目的として、本会議で初めて開催するに至った(図2)。この企画では会議に参加する方であれば、誰でもA4サイズ程度の求人票を掲載できることとし、その結果、今回は主に半導体企業から合計12団体による掲示があった。今後は大学などの研究機関からの求人掲載など別な角度で企画を盛り上げるような掲示を募るなど、より一層ドライプロセスに関する分野の研究や企業活動の活性化の助けになることを期待している。

最後に

本会議は2019年のCOVID-19パンデミック以来初めての現地オンリーでの開催となった(2020年は中止、2021年はオンライン開催のみ、2022

年は現地・オンラインのハイブリッド開催)。また、COVID-19パンデミック前は恒例であった懇親会の開催も4年ぶりに再開させることができた。久々のDPSフル開催に加えて、かつてのような現地での熱心な成果報告やそれに対する議論の賑わいを目の当たりにすることができ、現地実行委員長として、この上ない喜びとやりがいを感じることができた。これも本会議の組織委員、国際諮問委員、プログラム委員、現地実行委員、さらに関係者の方の多大なるご協力と多岐にわたるサポートによるものであり、簡単ながらここで謝意を申し上げたい。

次回DPSは、近年話題のラピダス社の千歳工場がある北海道千歳市の千歳市民文化センターで2024年11月14日(木)・15日(金)の2日間にわたって開催される。今回のDPS2023以上の盛況を期待して、本会議報告を閉じることとする。



図2 今回の会議で初めて実施された DPS Career Assistant Board における主に企業による求人票の掲示の様子

国際会議報告

16th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, 17th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science 13th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (ISPlasma2024 / IC-PLANTS2024 / APSPT-13)

名古屋大学 田中宏昌

本会議は2024年3月3日(日)~3月7日(木)に名古屋大学で開催された。会場は新しく築かれたばかりのEI創発館とIB館大講義室で、EI創発館では初の国際会議開催となった。300人以上収容可能なIB館大講義室でチュートリアル、プレナリーなどのセッションを行い、EI創発館2階の3つの講義室、FUJIホールでプラズマ、窒化物、ナノ、バイオの4つのパラレルセッションを行い、約400人(日本約200人、台湾約100人)が参加した。

今回は、国際会議 ISPlasma2024 / IC-PLANTS2024 と国際会議 APSPT-13 を合同で開催することになり、ISPlasma2024 / IC-PLANTS2024 の組織委員長を名古屋大学梅原徳次先生、APSPT-13 の組織委員長を名古屋大学小島寛樹先生、プログラム委員長を金沢大学田中康規先生、実行委員長を著者が仰せつかった。

1日目には、各分野のチュートリアルセッションが設けられ、CEA-Grenoble の Bruno Daudin 先生、National University of Singapore の Daniel Chua 先生、Princeton University の David B. Graves 先生にご講演をいただいた。夕方より Welcome Reception を北部生協食堂にて開催した。

2日目には、開会式が行われ、名古屋大学笠原次郎先生のプレナリー講演、University of Bari Aldo Moro の Pietro Favia 先生の ISPlasma Prize 受賞講演、Jozef Stefan Institute の Uros Cvelbar 先生のキーノート講演などが行われた。

3日目には、Drexel University の Vandana Miller 先生によるキーノート講演、The Hong Kong University of Science and Technology の Kevin Chen 先生によるキーノート講演などが行われ、南部生協食堂でバンケットを開催した。

4日目には、Applied Materials Taiwan の Samuel Chiu 先生、National Tsing Hua University の Jenq-Gong Duh 先生によるトピカルセッションでの講演が行われ、Ruhr University Bochum の uwe Czarnetzki 先生、東京大学寺嶋和夫先生による Hall of Fame Award Ceremony 受賞講演が行われ、今回から新設された Masaru Hori Prize Award Ceremony (初代受賞者：東北大学加藤俊顕先生)が行われた。

5日目には閉会式が行われ、The Best Oral / Poster Presentation Award の受賞者が発表された。

国内会議報告

第 41 回プラズマプロセッシング研究会 (SPP-41)

東京工業大学 赤塚 洋

応物 PE 分科会主催の第 41 回プラズマプロセッシング研究会(SPP-41)を、令和 6 年 1 月 23 日(火)～25 日(木)に東京工業大学 大岡山キャンパスで開催しました。これまでの数回、国内の単独開催となる場合には日本学術振興会 153 委員会主催のプラズマ材料科学シンポジウム(SPSM)との共催としましたが、153 委員会のリニューアルを受け、SPSM とは切り離し SPP の単独運営としました。コロナ禍が一段落したのでフル対面形式とし、立食形式の懇親会も復活させました。本開催に対し、プラズマ・核融合学会、静電気学会、日本表面真空学会、電気学会、日本物理学会、表面技術協会から協賛を頂きました。

参加人数は 115 名、内訳は一般 66 名、学生 33 名、招待 14 名、リモート招待 2 名でした。講演件数は 64 件、内訳はプレナリー 1 件、プラズマ材料科学賞 2023 受賞記念講演 1 件、招待講演 5 件(うち 1 件は 2022 年プラズマ材料科学賞受賞記念講演)、シンポジウム講演 10 件、一般講演 47 件(口頭 23 件、ポスター 24 件)でした。

SPP41 プログラム委員会委員長 岐阜大学 上坂裕之先生からのオープニングで開始し、初日午後には、特別企画シンポジウムとして、「半導体プラズマ人材育成の緊急性と大学への要望(全 10 講演)」を開催いたしました。最先端の半導体デバイス製造には、プラズマエッチングやデポジション技術はもちろん、技術を担う即戦力・若手の技術者育成も喫緊の課題で、この分野の意識共有のため企画されました。キオクシア様からの基調講演に続き、経済産業省、文部科学省、国内外の産業界から提言をいただき、大学における社会人再教

育や人材育成の取組みが紹介されました。その後ポスターセッションに引き続いて懇親会が開催され(参加 35 名)、意見交換がなされました。2 日目午前には「プラズマ材料科学賞 2023 授賞式」および受賞記念講演を実施、最終日 3 日目クロージングで SPP 講演奨励賞が発表され(赤塚勇大さん(名古屋大学)「On-Off および High-Low 変調 VHF プラズマにおけるキャピラリープレート底部の電荷蓄積挙動比較」、石健太さん(東京工業大学)「誘導結合窒素プラズマ中の励起状態数密度と電子温度の関係性に関する議論」)、PE 分科会幹事長 白藤立先生のお言葉にて閉幕しました。

事務的なコメントですが、インボイス制度への対応のため、現地委員会は領収書を発行し難くなりました。そこで WEB サイト管理運営に併せて会計関係も田中昭文堂印刷に委託し、現地委員会は現金にタッチしない方式を採用し、上手く運営できました。関係企業への広告出稿依頼が功を奏し、合計 11 社の企業様から広告を頂戴でき、十分な黒字をもって終了することもできました。

一方、講演件数の少なさ・縮小規模感が問題でした。今回、講演件数や参加者数がかなり少なく、3 日間シングルトラックとして開催しました。リモートを排したことが一因であったかもしれません。今後も SPSM とは離れた運営となりますし、昨今関連会議が多数存在することもあり、単独開催時の SPP のあり方などは、ぜひとも、皆様にて、ご議論下さい。本報告の最後に、プログラム委員会および現地実行委員会の先生方の献身的なご協力に、心より感謝申し上げます。ありがとうございました。

2024 年第 71 回応用物理学会春季学術講演会 チュートリアル講演開催報告 ウェスタンデジタル 平松 亮

2024 年 3 月 22 日の春季応用物理学会において、「プラズマプロセスにおけるチャージングダメージ～発生メカニズムから対策まで～」と題したチュートリアル講義がナノテクリサーチ野尻一男先生により行われた。今年は現地のみでの開催で参加申込者は 54 名であった。今回は実用に近い題名であった事から、学生のみならず、多くの企業の方にご参加頂いた。

本講義では、初めに半導体の微細化や装置開発の歴史、チャージングダメージ研究の流れおよびドライエッチングの基礎について説明頂いた。その後、チャージングダメージの評価手法、発生メカニズム、チャージングダメージ抑制の手法、不良発生事例について講義頂き、最後に若い研究者へのメッセージを述べて頂いた。

1. イントロダクション

ドライエッチング装置は最初アッシング装置が半導体製造に導入され、その後平行平板型プラズマエッチャーや、サイクロトロン型や TCP 型などの高密度プラズマエッチャーが登場した。装置の基本構造はこの頃にほぼ完成し、その後解離状態の制御や ESC の温度制御、パルス化、原子層エッチングなどの技術が発展した。1985 年から 2000 年頃にかけて微細化に伴うチャージングダメージが大きな問題となり、当時最先端を走っていた日本の企業を中心として精力的に研究が行われてきた。チャージングダメージの発生メカニズムはこの時期にほぼ解明されたが、未だに微細化に伴うチャージングダメージが問題となっており、また、当時一線で活躍していた研究員が少なくな

ってきたことから改めて当時の知見を振り返る事は今後のプロセス開発に重要である。

2. チャージングダメージの評価方法および発生メカニズムと低減法

プラズマ処理におけるチャージング量の計測手法として、NMOS デバイスでの C-V 測定を用いた ΔV_{FB} 計測、アンテナ MOS を用いたゲート酸化膜の絶縁破壊率のアンテナ比依存性測定、電圧ランピング法による MOS キャパシタの電流電圧特性変化計測での素子劣化評価が用いられる。まず、これらの評価手法を用いた各種エッチング装置(マグネトロン RIE, 平行平板型プラズマエッチャー、ECR プラズマエッチャー、TCP プラズマエッチャー)および各種アッシング装置(バレル型アッシャー、同軸バレル型アッシャー、ダウンフロー型アッシャー)におけるチャージングダメージについて説明して頂き、その後プラズマ処理におけるゲート酸化膜破壊のメカニズムとして、電荷のチャージングにおけるゲート酸化膜破壊や電子シェーディングダメージモデルの詳細、その対策としてパルス化およびウェハ温度の低温化、アンテナ比軽減などの絶縁破壊率の低減方法について説明頂いた。

今回のチャージングダメージに関する講義内容は 20~30 年前と少し過去に研究された話題でありながらも今でも起こりうる問題であり、学生のみならず若いエンジニアにもとても有益なものとなった。今後の半導体開発においても設計やプロセス開発で今回の知見が活かされて、よりより製品開発につながっていくことが期待される。

2024年 第71回応用物理学会春季学術講演会
プラズマエレクトロニクス分科会主催シンポジウム
T13 「プラズマが拓くナノ粒子・量子ドットの新展開」

九州大学 鎌滝晋礼, 高知工科大学 八田章光, 名城大学 伊藤昌文

プラズマによるナノ粒子・量子ドットに関する研究は古くからあり、ダストプラズマ物理分野からはじまり、現在は、熱プラズマや低圧プラズマなどを用いた材料合成等への応用が大きく進展しています。その中で、2024年3月23日に行われた本シンポジウムでは、ナノ粒子・量子ドットの研究に関して、基礎から種々の応用まで俯瞰できる内容のシンポジウムになるよう、第一線で活躍されている学术界および産業界からの研究者をお呼びし、今後の材料開発の方向性について、包括的な理解とヒントが得られる機会を目指しました。

最初のセッションは、産総研の布村正太先生より「プラズマ反応場とナノ粒子生成：成長制御と応用展開」というタイトルで講演して頂いた。プラズマ反応場におけるナノ粒子研究の概要についてわかりやすく説明することから始まり、量子ドット太陽電池や発光デバイス用途のシリコンナノ粒子、low-k 絶縁膜用途の絶縁体粒子、触媒用途の金属系粒子、リチウムイオン電池用途の合金系粒子などの応用研究についても言及された。また、合成過程でのプラズマの役割についての解説及び、プラズマ中のナノ粒子の帯電現状について実験結果とともに説明された。

次に、横浜市立大の橋勝先生が「加熱やプラズマ処理による天然物からのカーボン量子ドットの合成とその応用」というタイトルで講演を行った。環境調和性や資源有効活用の観点から、天然物からのカーボン量子ドット(CQD)の合成が注

目されている中、橋先生の研究グループは、植物の種子(フェヌグreek種子など)を用いて、加熱処理または、マイクロ波水素プラズマ処理によって、均一でグラファイト性の高い高品質な CQD が生成させることが説明された。プラズマ処理の方が、合成時間が大幅に短縮されるというメリットがあることが示された。

次は、企業からの講演で、株式会社日清製粉グループ本社の中村圭太郎様から「熱プラズマ法によるナノ粒子合成とその応用に向けて」というタイトルで、熱プラズマにおけるナノ粒子合成とその産業応用の開発研究について講演して頂いた。ナノ粒子合成だけでなく、合成後の乾式の遠心分級法を用いたサブミクロン領域での高精度分級技術開発も重要であることが述べられた。

後半のセッションとして、ナノ粒子合成の数値シミュレーションの講演で、東北大学の茂田正哉先生が「数値解析的研究を拓く：合金ナノ粒子雲のエアロゾルの集団生長を表現する数理モデルと計算アルゴリズム」について講演して頂いた。熱プラズマによって金属-金属系や金属-非金属系の合金ナノ粒子を高速大量創製するプロセスを対象とし、特にそれらのナノ粒子がプラズマ下流において雲を形成しながら集団的に生長する過程をエアロゾル動力学に基づいて数学的に記述し、数値計算を行うためのアルゴリズムも併せて構築することで、数値解析的な研究法を開拓する壮大な取り組みについて、非常にわかりやすく説明いた

だいた。

次に、リチウムイオンバッテリー(LiB)デバイスへの応用として、**大阪大学の神原淳先生**が「**ナノ粒子構造制御と LiB デバイスへの実装**」というタイトルで講演を行った。安価粉体原料から高スループットで Si ナノ粒子を生成することができるプラズマスプレー技術及びナノ粒子生成後の除酸化処理を組み合わせることで、ナノ粒子のサイズを小さくしたまま、酸化度を抑えたナノ粒子形成が可能となり、これらの粒子を用いた LiB 用電極は、初期効率低下を抑えつつ、安定したサイクル特性が得られることが示された。

さらに、ナノ粒子を活用した産業応用として、**東芝インフラシステムズ(株)の今井隆浩様**が「**ナノ粒子の応用 ー電気絶縁材料の高性能化ー**」というタイトルで講演を行った。電気絶縁性能の向上したナノ粒子とポリマーを複合化したポリマーナノコンポジット絶縁材料の研究開発について、そして、直流高電圧押出ケーブルやマグネットワイヤーへの実用化などについて説明された。

招待講演の最後に、クーロン結晶研究から国際宇宙ステーション(ISS)における微粒子研究にも携わられている**京都工芸繊維大学の高橋和生先生**が「**微粒子プラズマの物理とその応用 ークーロン結晶から微粒子間相互作用、微小重力科学まで**」という内容で講演を行った。微粒子プラズマにおける微粒子の帯電と微粒子の空間的に分布することにより電離への影響など、荷電粒子集団の物理についても詳しく説明いただいた。また、菌なども微粒子同様にプラズマ中に浮遊させ帯電できることも示された。

このナノ粒子・量子ドットのシンポジウムの一般公演として、**田中康規先生(金沢大学)**が「**SiO 原料間歇導入+タンデム変調誘導熱プラズマによる**

Si/SiO_x ナノ粒子/ナノワイヤ大量生成とその LIB 負極電池特性」及び**北嶋武先生(防衛大)**が「**プラズマモニックプラズマプロセスによるシリコンのラジカル窒化での波長作用**」というタイトルで講演された。

口頭セッションに引き続き、招待講演の先生方に再度登壇頂き、**八田章光先生(高知工科大)**を司会として**パネルディスカッション**が開催された(図1)。パネラーに大学の研究者と企業の技術者が混在する中、ナノ粒子・量子ドット研究において、社会実装・実用化する上で大事なことは何か、これからのナノ粒子において重要なことは何かなど、積極的な意見交換がなされた。

プラズマエレクトロニクス分科会として、プラズマ中のナノ粒子の研究は歴史が長く、1980年代からダストプラズマとして研究が行われている。しかし、応用物理学会内におけるシンポジウムのテーマとしては、取り上げることがあまりなかったことから、今回このように開催できたことを大変有り難く感じており、本シンポジウムをきっかけとして、ナノ粒子・量子ドットに関する研究者の裾野が広がり、プラズマが拓くナノ粒子・量子ドットの更なる新展開に多いに期待したい。

謝辞 ご多忙の中、ご講演を頂いた講師の方々、最後まで会場ならびにオンラインで聴講頂いた参加者の方々に、感謝を申し上げます。また、準備の段階からご助言を頂いた**辻 享志様(産総研)**、**上坂 裕之先生(岐阜大学)** 及び**プラズマエレクトロニクス分科会幹事の先生方**に感謝申し上げます。



パネルディスカッションの様子

2024 年 第 71 回応用物理学会春季学術講演会
分科内招待講演 キオクシア(株) 宮島秀史
「高積層 3 次元フラッシュメモリにおけるプロセス開発
とその対策」

産業技術総合研究所 辻 享志

2024 年 3 月 23 日にプラズマエレクトロニクス分科会分科内招待講演のセッション前半に、キオクシア技術統括責任者 (CTO) の宮島秀史先生にご登壇いただき「高積層 3 次元フラッシュメモリにおけるプロセス開発とその対策」と題したご講演をいただいた。講演会場には多くの聴講者が集い、活発な質疑応答や講演終了後の質問のための長い列が印象的であった。

講演の前半ではフラッシュメモリ開発の歴史をご紹介され、2 次元フラッシュメモリがリソグラフィの進歩とデバイス構造の変化で小型化を達成してきたこと、2007 年頃よりメモリ構造を 3 次元化し、その後積層数を増やす縦スケーリング、横を圧縮する横スケーリング、セル容量を増やすロジカルスケーリングにより、年率 30% の記憶容量の増加、15% のコストダウンという世の中の厳しい要請にこたえ続けてきたことを述べられた。

続いて最新の第 8 世代がどのように作られているのかご紹介があった。重要技術の一つは、CMOS とセルアレイの表面同士を接合する CBA 構造 (CMOS directly bonded to array) である。これにより CMOS とセルアレイを別々に作ることができ、配線に W ではなく電気抵抗の低い Cu が使える、配線を短くできるといった様々なメリットが生まれた。また、高密度化を支えているのは極めて高度化された孔を開ける技術と孔を埋め

る技術である。300mm のウエハに 100 nm の孔を 2 兆個の孔を開け、その孔に 2-3 nm の膜の多層構造で埋め込む。5 μm , 10 μm といった深い孔穴をまっすぐにあけるために、エッチングガスに CF 系ではなく HF 系の使用し、また低温でのエッチングを行うことで深い領域でもエッチングレートを低下させない技術開発が行われている。最先端のフラッシュメモリ作製がどれだけ難しいか私のような専門外の聴衆にもイメージできるようにわかりやすく解説頂いた。

最後に、今キオクシアはサステナビリティを一番重要視していると述べられた。ストレージ自体の容量あたりのエネルギー使用量は下がっているものの、半導体工場では大量のエネルギー、ガス、水を消費しており、例えば TSMC の電気使用量は台湾の 1/6 を占めるといわれるような状況である。地球温暖化に対してどう取り組むか、どう地球を守っていくかが我々の命題である。質疑応答では具体的な消費電力量が多いプロセスとしてエッチングとチラーによる冷却を上げられ、エッチングでの消費量の低減やサーマルマネジメントの重要性を語られた。

謝辞 ご講演をいただいた宮島先生に御礼申し上げます。また、開催にあたり、準備いただいたプラズマエレクトロニクス分科会幹事各位に感謝申し上げます。

2024年 第71回応用物理学会春季学術講演会
分科内招待講演 九州大学 小菅佑輔
「核融合プラズマ研究の最新の動向」

産業技術総合研究所 辻 享志

2024年3月23日にプラズマエレクトロニクス分科会分科内招待講演のセッション後半に、九州大学応用力学研究所の小菅佑輔先生にご登壇いただいた。ご講演では「核融合プラズマ研究の最新の動向」と題し、最近テレビなどのマスメディアでも報道されるようになった核融合研究に関して多くの聴衆の前でご講演をいただいた。

ご講演では、①核融合研究の潮流、②台頭するスタートアップと新しい研究体制、③プラズマ・核融合研究の今後の展望と大きく3つの内容をお話された。まず、核融合の原理や方法などにも触れつつ、60-70年代から現在までの核融合炉の発展を、核融合炉の性能を計る指標となる核融合三重積（「中心イオン温度」「閉じ込め時間」「中心イオン密度」の積）やエネルギー増倍率 Q を使って紹介された。現在は $Q=20-30$ の実証を目指した国際核融合実験炉イータがフランスに建設中で、2025年にファーストプラズマ、2035年に本格運用開始という予定で進められている。日本でもJT60-SAの建設が終わり、2023年10月23日にはファーストプラズマの発生が成功、12月1日には運転開始記念式典でのプラズマ電流1MAのダイバータプラズマの実演がなされた。

イータやJT60-SAが進んでいる一方、従来のプロジェクトは2兆円規模と大きくなり、各国の協力やコンセンサスを取る必要があり、スピード感を上げる必要性が言及され始めた。高温超電導磁石のブレークスルーにより約2mサイズの小さ

イトカマクが作れるようになってきた背景もあり、最近では核融合ベンチャーが台頭し始め、核融合研究を支える資金の割合も公的なものから民間へと移り変わり始めている。誰が収益化するかを争うか、核融合研究の潮流が協調から競争へと変化した。日本でも核融合産業協議会が設立され、50社を超える企業が参加している。

今後の展望のパートでは、中嶋貞雄著”超伝導”[1]を引用し、半導体研究や超伝導研究で見られた、技術開発の結果のみが強調されバラ色の未来像が描かれる傾向が核融合研究でもみられており、基礎研究が軽視されがちな風潮に対し警鐘を鳴らされた。プラズマの理解やプラズマ閉じ込め制御といった基礎を軸足とした研究を進めるのが大事ではないかと述べられた。小菅先生の最近の研究成果として、“適度”の乱流が核融合反応の際に副生するヘリウム灰などの”燃えカス”を除去し核融合反応を継続させる重要な役割を担う可能性に言及され、プラズマの閉じ込めとの両立を図るための研究の重要性を語られた。

謝辞 大変明解で興味深いご講演をいただいた小菅先生に御礼申し上げます。また、開催にあたり準備いただいたプラズマエレクトロニクス分科会幹事各位に感謝申し上げます。

参考文献

[1] 中嶋貞雄; “超伝導”, (岩波書店, 1988)

国内会議報告

第 42 回プラズマ新領域研究会 『気液界面および液体中の放電現象』

金沢工業大学 大澤直樹

第 42 回プラズマ新領域研究会は、3 月 19 日（火）13:30~16:30、オンラインにて開催された。参加者は、講演者 4 名と聴講者 25 名（企業:6 名、大学・研究機関:6 名、学生:13 名）であった。

近年、気液界面ならびに液体中の放電現象に関する応用研究が環境保全、医療、農業などの分野で幅広く行われており、放電・プラズマによって生成される活性種の計測技術の開発や活性種の生成・輸送現象の解明などが盛んに研究されている。また、液体誘電体中の電気伝導特性や絶縁破壊現象に関する研究が電力・エネルギー分野で行われており、環境負荷の小さい液体誘電体を採用した電力用変圧器の開発が盛んに研究されている。前者の研究領域では、放電・プラズマを安定して発生させる技術が求められ、後者の研究領域では、放電・プラズマを発生させない技術が求められる。この研究会では、相反する機能が求められる 2 つの研究領域の交流により、多面的な視点から、「気液界面および液体中の放電現象」について、今後の展開を考えることを目的とした。

上坂副幹事長の開催挨拶に続いて、西日本工業大学の川崎敏之先生から「気液界面プラズマによる液中活性種輸送のメカニズム解明と制御」という題目で、ゲル状にした KI-デンプン水溶液や PIV 法を用いて、大気圧プラズマジェットによって生成される活性酸素種が液体を介してターゲットに輸送されるメカニズムの解明とその制御方法の結果を講演いただいた。また、大阪工業大学の見市知昭先生からは、「直流コロナ放電照射による液中の酢酸分解と pH 変化のメカニズム」という題

目で、直流コロナ放電を用いて液中の酢酸を分解し、そのメカニズムを BTB 溶液の pH 変化から推定する方法を講演いただいた。金沢工業大学の宮城克徳先生からは、「環境対応型変圧器油の最新動向」という題目で、GX（グリーントランスフォーマーメーション）に不可欠な環境対応型変圧器油の最新動向について、特に生分解性電気絶縁油（エステル系絶縁油）の種類、特徴、絶縁破壊特性を中心に講演いただいた。また、九州工業大学の小迫雅裕先生からは、「液体誘電体中の部分放電および絶縁破壊現象の解明に向けて」という題目で、ガス分析による電力用変圧器の絶縁診断法、液体誘電体の部分放電や全路破壊特性、パワーデバイスに使用される高耐熱の封止材の電気絶縁、量子化学計算による絶縁破壊現象の理論的解明などの研究を講演いただいた。総合討論では、各講演で紹介された先進的な評価手法について、適用先拡大の可能性が議論された。

講演いただいた先生方、ご協力いただいたプラズマエレクトロニクス分科会の皆様、活発な議論を頂いた参加者の皆様に御礼申し上げます。



第43回 プラズマ新領域研究会 「ナノ粒子・微粒子の分散技術」

名古屋大学 鈴木 陽香

第43回プラズマ新領域研究会「ナノ粒子・微粒子の分散技術」は2024年3月29日(金)にZoomによるオンライン形式で開催され、32名の参加登録(幹事2名、講演者4名、聴講者26名(大学・国研17名、企業9名))があった。

ナノ粒子はその特性から、医薬品、触媒、光学材料、電子デバイスなどの分野において、多岐にわたる応用が期待されている。しかしながら、ナノ粒子は凝集しやすい傾向があり、その特性を發揮するためには溶媒中で均一に分散させることが重要となる。分散方法として、分散剤の選択や、機械的な分散法の利用、温度やpHの調整、適切な攪拌などが挙げられるが、近年ではプラズマを用いたナノ粒子合成や粒子分散に関する報告もなされている。本研究会ではナノ粒子の分散と凝集の制御、及び計測方法に関する最新の研究動向について、4名の講演者にご紹介いただき、展望について議論を行った。

始めに、プラズマエレクトロニクス分科会 副幹事長の上坂裕之先生(岐阜大学)から開催の挨拶をいただき、幹事の鈴木(名古屋大学)から本会の趣旨説明を行った。

最初の講演では、岡田 洋平 先生(東京農工大学)から『ナノ粒子の分散凝集制御—塩を油に溶かすためには?—』という題目で、ナノ粒子の定義から、DLVO理論が適用できない有機溶媒において、ナノ粒子を分散させる際のリガンド(分散材)についてご講演いただいた。リガンドは炭素鎖が長いほど分散に効果的であると考えられていたが、TiO₂粒子に対して結合力が強いホスホン酸

を修飾した上でリガンドを付けて比較実験を行うことにより、実際にはナノ粒子の材質やサイズに依存して、最適ナリガンド(炭素鎖の長さや構造)が存在することを明らかにした研究成果についてご紹介いただいた。

続いて、井上 健一 先生(名古屋大学)から、『液中プラズマを用いた六方晶窒化ホウ素粒子の表面改質』という題目でご講演いただいた。ESR計測を用いて、プラズマ照射により、ホウ素にダングリングボンドが発生すること、また、液中へのヒドロキノン添加によりBN粒子表面へ堆積させたa-C:Hにもダングリングボンドが形成されること、これによって極性溶媒への分散性の改善があることをご紹介いただいた。また、極性溶媒への分散評価の場合にはゼータ電位測定が有効であることをご紹介いただいた。

小川 大輔 先生(中部大学)からは『多層カーボンナノチューブを含む有機複合材のための分散技術』という題目でご講演いただいた。MWCNT表面にN₂/O₂またはN₂/CO₂プラズマを照射した



研究会の様子

際、粒子の表面分析（蛍光発光法, Raman 分光, XPS）およびプラズマの気相計測（アクチノメトリー法）によって, MWCNT 表面へのイソシアネート基修飾と, N, O のラジカル密度との関係性, ウレタン材料への分散性の改善についてご紹介いただいた。また, ウレタン合成の際に MWCNT 混合の方法と機能性改善の違いについてご紹介いただいた。

岡田 孝夫 先生（(株) 生体分子計測研究所）からは『ナノ粒子動画計測システム (NP-NEX)』という題目で, 高速 AFM を応用したナノ粒子の動的評価システムについてご講演いただいた。ウ

ルトラファインバブルを例として, 計測対象物を乱すことなく 1 frame/sec の速度でリアルタイム観測が可能であることをご紹介いただいた。この計測システムは他のナノ粒子の計測への応用も可能であり, ナノ構造の変化の過程や, 表面への作用のその場観察が期待できる。

予定時間を超過することとなったため, 研究会の最後には各講演を振り返り, 簡単なまとめをおこなった。本研究会では, プラズマ分野外からも講演者をお招きして研究会を実施したが, いずれの講演でも聴講者との活発なご議論をいただき, 大変有益な会となった。

行事案内

2024 年 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会企画

名城大学 伊藤 昌文
名古屋大学 石川 健治

■ はじめに

2024 年 9 月 16 日 (月) ~20 日 (金) に朱鷺メッセほか 2 会場 (新潟県新潟市) とオンラインのハイブリッドで第 85 回応用物理学会秋季学術講演会が開催されます。本稿では、プラズマエレクトロニクス分科会企画の概要とスケジュールを紹介いたします。脱稿時点で未定の部分も含まれるため、詳細につきましては応用物理学会の HP でご確認をお願い致します。

■ (第 2 日) プラズマエレクトロニクス賞受賞記念講演

第 22 回プラズマエレクトロニクス賞受賞者による受賞記念講演が行われます。この場を借りてお祝い申し上げます。プログラムを御確認の上、受賞記念講演会場までは是非とも足をお運び下さい。

[関連サイト] プラズマエレクトロニクス賞 :
https://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/pe_award2.html

□ プラズマエレクトロニクス賞受賞記念講演

日程 : 9 月 17 日 (火) 午前 (予定)

1 件目の受賞者 (敬称略) :

久保井信行*、松谷弘康、辰巳哲也、小林正治、萩本賢哉、岩元勇人 (ソニーセミコンダクタソリューションズ (株)) (*ご講演予定者)

選考の対象となった業績 :

“Modeling and simulation of coverage and film properties in deposition process on large-scale

pattern using statistical ensemble method”, Jpn. J. Appl. Phys. 62, S11006 (2023).

2 件目の受賞者 (敬称略) :

内田儀一郎^{1*}、益本幸泰¹、榊原幹人¹、池邊由美子¹、小野晋次郎²、古閑一憲²、小澤隆弘³ (1名城大学、²九州大学、³大阪大学) (*ご講演予定者)

選考の対象となった業績 :

“Single-step fabrication of fibrous Si/Sn composite nanowire anodes by high-pressure He plasma sputtering for high-capacity Li-ion batteries”, Sci. Rep. 13, 14280 (2023).

■ (第 2 日) 分科内招待講演

今回の PE 分科会企画の分科内招待講演を 1 件企画いたしました。プラズマのシミュレーションの発展に大きな寄与をされてきました大阪大学の浜口智志先生をお招きして「オングストロームノード世代における半導体製造プラズマプロセスの物理」と題して半導体プロセス分野での最新の研究や今後の挑戦的課題などについて次世代研究者に向けて話していただく予定です。

日程 : 9 月 17 日 (火) 午前

会場 : 未定

ご講演者 : 浜口 智志 先生 (大阪大学)

講演題目 : 「オングストロームノード世代における半導体製造プラズマプロセスの物理」

■（第2日）分科会企画シンポジウム(Technical)

学会2日目の17日（火）に、分科会企画シンポジウム「次世代半導体・新デバイス製造に向けたプラズマ直接接合技術」を開催いたします。

二つの基板の表面をプラズマ照射による表面活性化し、それらを低温・低圧下で直接接合する技術が実現しています。将来、次世代半導体製造や新デバイス創生のため、異種材料基板をプラズマ照射による表面活性化により低温・低圧下で直接接合する技術が強く求められています。その実現には、プラズマ照射時の材料表面状態を原子レベルで把握し、また精密にコントロールする必要があります。

本シンポジウムでは、プラズマを用いた基板接合技術の全体像を俯瞰しつつ、今後解決すべき課題を議論し明確にすることを目的と第一線で活躍する研究者から最新動向を紹介していただき、現状および将来展望を議論します。是非とも奮ってご参加ください。

日程:9月17日（火）13:30～17:55(予定)

会場：未定

講演者（順不同）：

1. 高橋 健司（産総研）「プラズマ表面活性化による基板接合技術の動向」
2. 須賀 唯知（東大）「表面活性化接合のメカニズム」
3. 秦 誠一（名大）「大口径基板接合に向けた高速原子ビーム源」
4. 竹中 弘祐（阪大）「大気圧プラズマジェットによる異種基板の直接接合」
5. 梁 剣波（大阪公立大）「パワーデバイスの接合技術」
6. 高桑 聖仁（東大）「フレキシブルエレクトロニクスのための柔軟実装技術」
7. 日暮 栄治（東北大）「表面活性化接合のフォトニクスデバイスへの展開」

■（第4日）大分類合同企画シンポジウム(Technical)

学会4日目の19日（木）に、PE分科会と大分類1「応用物理一般・学際領域」との合同企画シンポジウム「地球の限界？プラネタリバウンダリにおけるプラズマとエネルギーシステムによる危機回避」を開催いたします。

地球は、複雑な物質循環システムを絶妙なバランスで運用し生存環境を維持しています。人類の活動は、物質循環のバランスを崩し、環境変動に影響を与えています。特にCO₂排出や窒素循環の破綻が顕著であり、これを改善する様々な革新的技術が検討されています。

本シンポジウムでは、CO₂排出や窒素循環に着目し、これらの改善に資する応用物理学分野の技術を紹介し、課題解決に向けた応用物理学分野研究の進むべき道について議論します。是非とも奮ってご参加ください。

日程:9月19日（木）13:00～17:00(予定)

会場：未定

講演者（順不同）：

1. 濱田 耕佑（国際農研）「窒素循環のアセスメントに資する窒素フットプリント」
2. 田中 学（九州大）「空気プラズマを用いたCO₂排出のない窒素肥料生成」
3. 野崎 智洋（東工大）「大プラズマ触媒を用いたCO₂変換」
4. 河野智謙（北九大）「海産性光合成生物を利用したアクアポニクスと物質循環」
5. 平良東紀（琉球大）「フード・トランスフォーメーション(FoodX)に関する話題提供」
6. 柳川勝紀（北九大）「地下圏微生物による炭素循環とエネルギーとしての利用」
7. 羽賀史浩（琉球大）「サステイナブル陸上養殖に関する最新動向」

■（第3日以降予定）海外招待講演

現地開催で開催を予定しておりますが、講演者の都合でオンライン講演となる場合があります。時間枠は現在検討中です。皆様奮ってご参加下さい。

[ご講演者 1] Prof. Eun Ha Choi

Kwangwoon University, Korea

[講演題目] Nonthermal atmospheric pressure plasma NO (nitric oxide) water and its application to biomedicine, agriculture and environmentals

[ご講演者 2] Prof. Magdaleno Vasquez,

University of the Philippines, Philippines

[講演題目] Utilizing Custom-built Plasma Sources for Natural Materials Processing

■ English Session

今回もプラズマエレクトロニクス分野を横断するトピックスで「Plasma Electronics English Session」と題した

English Session を予定しています。留学生の方に限らず、日本人学生の方も是非とも奮って参加頂ければと思います。

■ おわりに

上記案内いたしました行事の他に9月17日(火)の昼には、大分類意見交換会、PE分科会のインフォーマルミーティング、同日夕刻には恒例となっておりましたPE分科会懇親会も企画される予定です。詳細は担当幹事から改めて案内があると思いますので、是非、スケジュールに加えておいて下さい。他分類とのよい交流の機会だと思いますので、奮ってご発表いただければ幸いです。不明な点がございましたら、お気軽にお問合せください。

連絡先：伊藤 昌文（名城大学）

ito@meijo-u.ac.jp

行事案内

第 45 回ドライプロセス国際シンポジウム 45th International Symposium on Dry Process (DPS2024)

キオクシア(株)
室蘭工業大学
東京エレクトロン宮城(株)

大村 光広 (プログラム委員長)
佐藤 孝紀 (実行委員長)
本田 昌伸 (組織委員長)

今年のドライプロセス国際シンポジウム (DPS2024) は、2024 年 11 月 14 日 (木) から 15 日 (金) にかけて、北海道の千歳市民文化センターにて開催されます。最寄りの JR 千歳駅は新千歳空港から 10 分以内、札幌駅も快速電車で 30 分程度とアクセス良好です。後に述べます様に、著名な方々の講演も多数予定しております。つきましては、皆様の最新の研究成果を是非ご投稿頂きたく、お願い申し上げます。会議後には JJAP 特集号の発刊も予定しております。

ドライプロセスシンポジウムはプラズマエッチング、CVD など半導体製造プロセスと非常に深い関わりを持っていますが、ドライ(気相)に関連した物理現象は全て議論の対象と言える程、非常にオープンな国際学会です。参加者は例年 300 人を超えており、また産学官のバランスが取れていることも特徴の一つと言えるでしょう。

最近のトピックスとしては、先端ロジックデバイスやメモリデバイスの 3 次元化に沿った、高アスペクト比対応プロセスの報告が多くなされています。昨年は、低温下で新しいガスケミストリを用いた高速ドライエッチング技術について多くの報告があり、議論が白熱しました。等方性の化学的エッチングも大きな注目を集めていますし、ALE、ALD などの原子層プロセス、プロセスのモデリングや AI の活用、新規プラズマ計測手法についても多数の報告がありました。プラズマダメージ制御に関しては実験、シミュレーションの両

面から常に新しい切り口の報告がなされています。加えて、大気圧プラズマ技術や表面改質へのプラズマ応用、バイオや医療、環境保全分野への応用など、急速に発展するドライプロセスにかかわるすべての分野につきまして、幅広く投稿を募集しております。

今年も注目テーマとして 3 つの Arranged Session を設定しました。1 つ目はデバイスの 3 次元化に向けた「Understanding the mechanisms for future high-aspect-ratio etching technology」、2 つ目は原子層プロセスに対応した「Atomic layer processes (ALE/ALD/ASD) for ultimate control of surface reaction」、3 つ目は世界的な関心を集めるロジックデバイスの発展に着目した「Breakthrough process technology for advanced logic device fabrication」です。各セッションにおきまして、当該分野で著しい成果を挙げられている研究者をお招きし、ご講演頂く予定です。また今回は千歳開催に因んでラピダス(株)の小池社長にもご登壇頂き、基調講演として、2nm ロジックデバイス製造に向けたチャレンジについてお話し頂きます。

本シンポジウムは、ドライプロセス分野の世界最先端の研究に触れる機会であるとともに、業界、世代を越えたネットワークが形成できる場でもあります。関連した研究内容の多い PE 分科会会員の皆様の、積極的な論文投稿とご参加を心よりお待ちしております。

【会期】

2024年11月14日(木) - 15日(金)

【会場】

千歳市民文化センター 北ガス文化ホール

【テーマ】

ドライプロセスおよびその関連技術

【トピックス】

ホームページをご参照ください

【西澤アワード記念講演】

(西澤アワードはドライプロセスの進展に多大な貢献を頂いた研究者に贈られる賞です)

・ Steven M. George

University of Colorado Boulder

・ Tetsuya Tatsumi

Sony Semiconductor Solutions Corporation

【基調講演・アレンジセッション】

Keynote speaker

Atsuyoshi Koike (Rapidus Corporation)

AS1. Understanding the mechanisms for future high-aspect-ratio etching technology

◆招待講演者

Julian Schulze (Ruhr University Bochum)

Kukhan Yoon (Samsung Electronics Co., Ltd.)

AS2. Atomic layer processes (ALE/ALD/ASD) for ultimate control of surface reaction

◆招待講演者

Christophe Vallee (University at Albany)

AS3. Breakthrough process technology for advanced logic device fabrication

◆招待講演者

Ilgyo Koo (imec)

【投稿受付】

開始: 2024年5月8日(水)

締切: 2024年7月15日(月)

【参加申し込み】

早期参加登録締切日: 2024年9月30日(月)

参加登録締切日: 2024年10月25日(金)

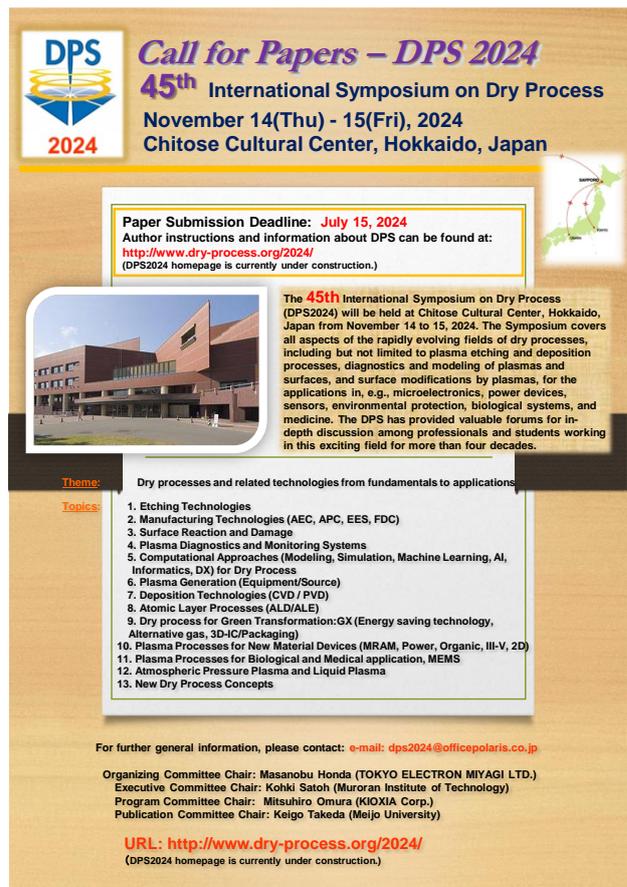
*当日の受付も可能です。早期参加登録の場合、参加費の割引があります。また、協賛学会会員につきましても割引があります。

【会議ホームページ・連絡先】

<http://www.dry-process.org/2024/>

事務局: [dps2024\[at\]officepolaris.co.jp](mailto:dps2024[at]officepolaris.co.jp)

※最新の情報は上記ホームページをご覧ください



DPS 2024
Call for Papers – DPS 2024
45th International Symposium on Dry Process
November 14(Thu) - 15(Fri), 2024
Chitose Cultural Center, Hokkaido, Japan

Paper Submission Deadline: July 15, 2024
Author instructions and information about DPS can be found at:
<http://www.dry-process.org/2024/>
(DPS2024 homepage is currently under construction.)

The **45th** International Symposium on Dry Process (DPS2024) will be held at Chitose Cultural Center, Hokkaido, Japan from November 14 to 15, 2024. The Symposium covers all aspects of the rapidly evolving fields of dry processes, including but not limited to plasma etching and deposition processes, diagnostics and modeling of plasmas and surfaces, and surface modifications by plasmas, for the applications in, e.g., microelectronics, power devices, sensors, environmental protection, biological systems, and medicine. The DPS has provided valuable forums for in-depth discussion among professionals and students working in this exciting field for more than four decades.

Theme: Dry processes and related technologies from fundamentals to applications

Topics:

1. Etching Technologies
2. Manufacturing Technologies (AEC, APC, EES, FDC)
3. Surface Reaction and Damage
4. Plasma Diagnostics and Monitoring Systems
5. Computational Approaches (Modeling, Simulation, Machine Learning, AI, Informatics, DX) for Dry Process
6. Plasma Generation (Equipment/Source)
7. Deposition Technologies (CVD / PVD)
8. Atomic Layer Processes (ALD/ALE)
9. Dry process for Green Transformation:GX (Energy saving technology, Alternative gas, 3D-IC/Packaging)
10. Plasma Processes for New Material Devices (MRAM, Power, Organic, III-V, 2D)
11. Plasma Processes for Biological and Medical application, MEMS
12. Atmospheric Pressure Plasma and Liquid Plasma
13. New Dry Process Concepts

For further general information, please contact: e-mail: dps2024@officepolaris.co.jp

Organizing Committee Chair: Masanobu Honda (TOKYO ELECTRON MIYAGI LTD.)
Executive Committee Chair: Kohki Satoh (Muroran Institute of Technology)
Program Committee Chair: Mitsuhiro Omura (KIOXIA Corp.)
Publication Committee Chair: Keigo Takeda (Meijo University)

URL: <http://www.dry-process.org/2024/>
(DPS2024 homepage is currently under construction.)

行事案内

第 18 回 インキュベーションホール

名古屋大学 石川 健治
北海道大学 富田 健太郎

応用物理学会プラズマエレクトロニクス (PE) 分科会が主催するサマースクール (名称: インキュベーションホール) を本年度も開講いたします。この行事は、プラズマの応用や研究を始めたばかりの方 (学生・若手研究者・社会人技術者) を対象としており、一流の講師陣を招き、プラズマエレクトロニクスへの理解を深めて頂くための短期集中型の講習会です。

このインキュベーションホールでは、プラズマ生成・制御、大気圧プラズマ応用、プラズマエッチングなどの、幅広い分野に関する専門講座を開講します。講述内容は、初学者が基礎学理をしっかり理解したうえで、当該分野における最新科学の話題にも触れられるように構成されており、海外経験、産学連携経験などの豊富な講師陣からは、留学・在外研究経験、産学連携のエピソードなどを適時交えた講義を頂き、受講生のプラズマプロセス研究への興味を喚起します。

また、新しい研究分野を切り拓かれてきた講師を招き、当該分野の最新動向や指導者に必要とされる資質について学ぶ機会を提供する特別講座を行いますので、学生の皆様を初め若手研究者および技術者の皆様お誘い合わせのうえ、奮ってご参加申込をいただけますようお願いしております。

記

【会期】2024年9月4日(水)～9月6日(金)

【会場】国立オリンピック記念青少年総合センター

〒151-0052 東京都渋谷区代々木神園町 3-1

【交通】JR 中央線 新宿駅乗り換え、小田急線 参宮橋駅下車 徒歩約 7 分

【参加費】(宿泊費, 食費, テキスト代, 懇親会費等を含む. 消費税込み.) (予定)

[1] PE 分科会正会員

一般 40,000 円 大学院生・学生 14,000 円

[2] 応物学会会員 (ただし PE 分科会に所属なし)

一般 43,000 円 大学院生・学生 17,000 円

[3] 協賛学協会会員および PE 分科会準会員

一般 50,000 円 大学院生・学生 22,000 円

[4] その他

一般 60,000 円 大学院生・学生 27,000 円

* 1 応物学会賛助会員および PE 分科会賛助会員所属の方はそれぞれの個人会員扱いとします。

* 2 応物学会企業若手会員は大学院生・学生と同じ扱いとします

* 3 本分科会会員 (年会費 3,000 円) に同時入会頂くと、会員価格で参加できます。さらに会員には、年 2 回の会報、PE 分科会主催の講習会への会員料金での参加など会員だけの特典があります。応物学会及び PE 分科会への入会手続きについては、応物学会公式ウェブサイト (<https://www.jsap.or.jp/>) より行って下さい。

【協賛学協会 (予定)】プラズマ・核融合学会, 電気学会, 日本表面真空学会, 静電気学会, 表面技術協会, IEEE-NPS05

【講義内容（暫定）】

- ・ 大野 哲靖 先生（名古屋大）
特別講義
- ・ 高橋 克幸 先生（岩手大）
プラズマ生成・制御
- ・ 大矢 欣伸 先生（東京エレクトロン宮城（株））
プラズマエッチング
- ・ 栗田 弘史 先生（豊橋技術科学大）
プラズマバイオ応用
- ・ 市来 龍大 先生（大分大）
大気圧プラズマ応用
- ・ 田中 宏昌 先生（名古屋大）
英語講座

【ポスターセッション】

参加者間の交流が深まるよう、ポスターセッションを中心とする談話会を行います。なお、優秀なポスター発表者には表彰を行います。発表内容は参加者自身のバックグラウンドに関連したもの（プラズマに関係しないものも歓迎します）、例えば、

- 学生の場合：現在の研究テーマにまつわるもの、学部での卒業研究など（4年生の場合これから行う研究など）
- 社会人の場合：仕事にまつわるもの、企業・自社製品のPR、入社前の大学での研究などであれば、内容・分量は一切問いません。幅 0.9 m×高さ 1 m 程度のボードが用意されますので、あらかじめポスターのご準備をお願いします。本ポスターセッションは全員の方の発表を原則としますが、発表に支障がある場合は事前参加登録時にその旨をご記入下さい。

【その他】懇親会、レクレーションを予定しています。本企画 HP に当日の詳細スケジュールを記載しておりますので参考にして下さい。

【参加申込】 本企画ホームページにある参加フォームからお申込みおよび参加費振り込みをお願いいたします。ポスター内容を示すキーワードを3つ程度記入いただきます。一旦支払われた参加費は、原則として返金いたしません。

【定員】 60名（予定）

【参加申込方法】 下記のウェブページに参加フォームを設置しておりますので、ご覧ください。

【参加申込締切】 7月5日（金）

【参加費支払期間】 参加申込後～8月19日（月）

【問合せ先】 富田 健太郎

〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目
北海道大学 大学院工学研究院 応用量子科学部門

TEL : 011-706-5594

e-mail: tomita.kentaro@eng.hokudai.ac.jp

【担当幹事】

校長： 石川 健治（名古屋大）

幹事： 大下 辰郎（東京エレクトロン宮城（株））

大島 多美子（長崎大）

川崎 仁晴（佐世保高専）

田中 文章（石川高専）

清水 鉄司（産総研）

富田 健太郎（北海道大）

村上 朝之（成蹊大）

【ウェブページ】

http://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/PE_SS_2024

第 23 回プラズマエレクトロニクス賞受賞候補論文の募集

九州大学 古閑一憲

応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会では、毎年、プラズマエレクトロニクスに関する学術的あるいは工業的に価値のある優秀な論文を対象とし、その著者に「プラズマエレクトロニクス賞」を贈り表彰を行っています。候補論文は自薦・他薦を問いません。下記の要領により奮ってご応募下さい。

授賞対象論文

プラズマエレクトロニクス分科会が主催する研究会、国際会議などで発表され、かつ 2022 年、2023 年、2024 年に発行の国際的な学術刊行物（JJAP など）に掲載された原著論文。受賞者は、表彰の時点においてプラズマエレクトロニクス分科会会員あるいは応用物理学会会員とする。

プラズマエレクトロニクス賞はプラズマエレクトロニクス分野の優秀な論文の著者に授与される論文賞ですが、プラズマエレクトロニクス分科会が強く関与する会議等（直接に主催する会議、応物学会学術講演会の大分類 8、プラズマエレクトロニクス等）での発表や議論を通じて生み出された優れた論文を表彰したいという考えに基づき、賞規定に「プラズマエレクトロニクス分科会が主催する研究会、国際会議などで発表され」という要件が付与されています。

提出書類

以下の書類各 1 部、およびそれらの電子ファイル(PDF ファイル)一式

- **候補論文別刷**（原著論文 1 件、コピーでも可、第 1 ページに候補論文と朱書する。関連論文があれば 2 件以内の別刷またはコピーを添付）

- 当該論文の内容が発表されたプラズマエレクトロニクス分科会が主催する研究会、国際会議等の会議録（Program book や Abstract 集、Proceedings 等の会議に関する記載箇所[会議名、日付、場所等]ならびに当該発表が記されたプログラムの箇所）のコピー、2 件以内。
- 著者全員について和文で以下を記入した書類。氏名、会員番号、勤務先（連絡先）
- 推薦書（自薦、他薦を問わず、論文の特徴、優れた点などを 400 字程度でわかりやすく記述）

表彰

2025 年春季応用物理学関係連合講演会期間中に行います。受賞者には賞状および記念品を贈呈いたします。また 2025 年秋季応用物理学会学術講演会期間中に記念講演を依頼する予定です。

書類提出期限

2024 年 12 月 13 日（金）当日消印有効

書類提出先

〒819-0395 福岡市西区元岡744
九州大学システム情報科学研究院
古閑 一憲

（プラズマエレクトロニクス分科会幹事長）

※ 封筒表に「プラズマエレクトロニクス賞応募書類在中」と朱書のこと

なお、プラズマエレクトロニクス賞規定他、詳細な情報については、プラズマエレクトロニクス分科会のホームページ

<http://annex.jsap.or.jp/plasma/>
をご覧ください。

2024 年度(令和 6 年度) プラズマエレクトロニクス分科会幹事名簿

	氏名	所属	住所・電話	メールアドレス
幹事長	古閑 一憲	九州大学 システム情報科学研究院	〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744 TEL: 092-802-3734	koga@ed.kyushu-u.ac.jp
副幹事長	石川 健治	名古屋大学 低温プラズマ科学研究センター (工学研究科 電子工学専攻)	〒464-8601 愛知県名古屋千種区不老町 NIC 4 階 TEL: 052-788-6077	ishikawa@plasma.engg.nagoya-u.ac.jp
副幹事長	竹内 希	東京工業大学 工学院 電気電子系	〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1-S3-4 TEL: 03-5734-2566	takeuchi@ee.e.titech.ac.jp
副幹事長	松井 都	株式会社日立製作所 計測イノベーションセンタ ナノプロセス研究部	〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280 TEL: 080-8709-9778	miyako.matsui.sh@hitachi.com
幹事 任期 2025 年 3 月	天野 智貴	パナソニックホールディングス株式会社 マニファクチャリングイノベーション 本部	〒571-8502 大阪府門真市松葉町2番7号 TEL: 080-9940-7737	amano.tomoki@jp.panasonic.com
"	伊藤 智子	大阪大学 工学研究科 マテリアル生産科学専攻 生産科学コース 浜口研究室	〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 アトミックデザイン研究センター TEL: 06-6879-7917	ito@ppl.eng.osaka-u.ac.jp
"	川崎 仁晴	佐世保工業高等専門学校 電気電子工学科	〒857-1193 長崎県佐世保市沖新町 1-1 TEL: 0956-34-8468	h-kawasa@sasebo.ac.jp
"	佐々木 渉太	東北大学 大学院工学研究科 電子工学専攻 金子・加藤研究室	〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05 TEL: 022-795-7046	s.sasaki@tohoku.ac.jp
"	塩田 有波	三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 環境システム技術部 放電応用グループ	〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1 TEL: 06-6497-3545	Shiota.Arufa@dp.MitsubishiElectric.co.jp
"	清水 鉄司	産業技術総合研究所 電子光基礎技術研究部門 先進プラズマプロセスグループ	〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2	tetsuji.shimizu@aist.go.jp
"	全 俊豪	青山学院大学 理工学部 電気電子工学科	〒252-5258 神奈川県相模原市中央区 淵野辺5-10-1 TEL: 042-759-6253	zen@ee.aoyama.ac.jp
"	田中 宏昌	名古屋大学 低温プラズマ科学研究センター	〒465-8603 愛知県名古屋千種区不老町 ES 館 425 号室 TEL: 052-788-6230	htanaka@plasma.engg.nagoya-u.ac.jp
"	谷出 敦	株式会社 SCREEN ホールディングス イノベーション推進室 推進 2 課	〒520-2323 滋賀県野洲市三上 2426-1 TEL: 080-2509-4207	tanide@screen.co.jp
"	富田 健太郎	北海道大学 大学院工学研究院 応用量子理工学部	〒060-8628 北海道札幌市北区 13 条西 8 丁目 北海道大学工学部 A 棟 4 階 4-28 室 TEL: 011-706-5594	tomita.kentaro@eng.hokudai.ac.jp
"	平松 亮	ウェスタンデジタル合同会社	〒512-8550 三重県四日市市山之一色町 800 番地 TEL: 059-330-1402	ryo.hiramatsu@wdc.com
"	宗岡 均	東京大学 新領域創成科学研究科 物質系専攻 寺嶋・伊藤研究室	〒277-8561 千葉県柏市柏の葉5-1-5-504 基盤棟5階5A1 TEL: 070-1557-6046	muneoka@plasma.k.u-tokyo.ac.jp

幹事 任期 2026年3月	岩井 貴弘	株式会社日立製作所	〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280 TEL: 042-323-1111	takahiro.iwai.qw@hitachi.com
"	内田 儀一郎	名城大学 理工学部 電気電子工学科	〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1丁目501 TEL: 052-838-2579	uchidagi@meijo-u.ac.jp
"	吳 準席	大阪公立大学 大学院工学研究科 電子物理系専攻	〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1-1 TEL: 072-274-6191	jsoh@omu.ac.jp
"	大下 辰郎	東京エレクトロン宮城株式会社 アドバンステクノロジーソリューション開発本部	〒981-3629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番 TEL: 022-346-3083	tatsuro.ohshita@tel.com
"	大島 多美子	長崎大学 大学院工学研究科 電気・情報科学部門	〒852-8521 長崎市文教町1-14 TEL: 095-819-2538	ohshima@nagasaki-u.ac.jp
"	片岡 淳司	キオクシア株式会社 先端技術研究所 コアテクノロジー研究開発センター	〒221-0022 神奈川県横浜市神奈川区守屋町 3丁目13-1 4F TEL: 045-394-7260	junji.kataoka@kioxia.com
"	田中 文章	石川工業高等専門学校 電気工学科	〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条タ1 TEL: 072-274-6191	f_tanaka@ishikawa-nct.ac.jp
"	田中 学	九州大学 工学研究院 化学工学部門	〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744 TEL: 092-802-2755	mtanaka@chem-eng.kyushu-u.ac.jp
"	堤 隆嘉	名古屋大学 低温プラズマ科学研究センター	〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 IB 電子情報館北棟 223 号室 TEL: 052-788-6230	tsutsumi@plasma.engg.nagoya-u.ac.jp
"	長澤 寛規	広島大学 大学院先進理工系科学研究科	〒739-8527 広島県東広島市鏡山1丁目4-1 工学部 A4 棟 222 TEL: 082-424-7719	nagasawa@hiroshima-u.ac.jp
"	新田 魁洲	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター	〒563-8577 大阪府池田市緑丘1-8-31 TEL: 050-3522-7130	kaishu.nitta@aist.go.jp
"	村上 朝之	成蹊大学 理工学部 理工学科	〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町3-3-1	tomo- murakami@st.seikei.ac.jp
"	財前 義史	ソニーセミコンダクタソリューションズ 株式会社 第2研究部門	〒243-0014 神奈川県厚木市旭町4-14-1 TEL: 050-3141-4363	Yoshifumi.Zaizen@sony.com

2024 年度(令和 6 年度)分科会幹事役割分担

役割分担	留任		新任	
幹事長			古閑 一憲	九州大学
副幹事長			石川 健治	名古屋大学
			松井 都	日立製作所
			竹内 希	東京工業大学
1. 庶務・分科会ミーティング	宗岡 均	東京大学	堤 隆嘉	名古屋大学
2. 春秋講演会シンポジウム シンポジウム・海外招待講演 分科内招待講演 チュートリアル講義			石川 健治	名古屋大学
			松井 都	日立製作所
			竹内 希	東京工業大学
	谷出 敦	SCREEN ホールディングス	長澤 寛規	広島大学
	平松 亮	ウェスタンデジタル	新田 魁洲	産業技術総合研究所
	田中 宏昌	名古屋大学	呉 準席	大阪公立大学
3. プラズマプロセッシング研究会			竹内 希	東京工業大学
			松井 都	日立製作所
	全 俊豪	青山学院大学	呉 準席	大阪公立大学
	田中 宏昌	名古屋大学	田中 学	九州大学
	谷出 敦	SCREEN ホールディングス	村上 朝之	成蹊大学
	伊藤 智子	大阪大学	内田 儀一郎	名城大学
4. 光源物性とその応用研究会				
5. プラズマ新領域研究会			竹内 希	東京工業大学
	清水 鉄司	産業技術総合研究所	長澤 寛規	広島大学
	伊藤 智子	大阪大学	田中 文章	石川工業高等専門学校
	富田 健太郎	北海道大学	田中 学	九州大学
6. インキュベーションホール			石川 健治	名古屋大学
	清水 鉄司	産業技術総合研究所	田中 文章	石川工業高等専門学校
	川崎 仁晴	佐世保工業高等専門学校	大下 辰郎	東京エレクトロン宮城
	富田 健太郎	北海道大学	大島 多美子	長崎大学
			村上 朝之	成蹊大学
7. プラズマエレクトロニクス講習会			松井 都	日立製作所
	佐々木 渉太	東北大学	新田 魁洲	産業技術総合研究所
	天野 智貴	パナソニックホールディングス	片岡 淳司	キオクシア
	平松 亮	ウェスタンデジタル	財前 義史	ユニセック・カタリゼーション
	塩田 有波	三菱電機	大下 辰郎	東京エレクトロン宮城
	谷出 敦	SCREEN ホールディングス	岩井 貴弘	日立製作所
8. 会誌編集・書記	佐々木 渉太	東北大学	田中 学	九州大学
	天野 智貴	パナソニックホールディングス	財前 義史	ユニセック・カタリゼーション
9. ホームページ	宗岡 均	東京大学	堤 隆嘉	名古屋大学
10. 会計	川崎 仁晴	佐世保工業高等専門学校	大島 多美子	長崎大学
11. プラズマエレクトロニクス賞			古閑 一憲	九州大学
12. アカデミックロードマップ (戦略企画室)			古閑 一憲	九州大学
			石川 健治	名古屋大学
			松井 都	日立製作所
	(白谷 正治)	九州大学	(白藤 立)	大阪公立大
13. PE 懇親会	塩田 有波	三菱電機	岩井 貴弘	日立製作所
	全 俊豪	青山学院大学	内田 儀一郎	名城大学
ICRP 委員 (オブザーバー)	柘久保 文嘉	東京都立大学		
	金子 俊郎	東北大学		

2024年度（令和6年度）分科会関連の各種世話人・委員

1. 応用物理学会講演会プログラム編集委員

8	大分類代表	林 信哉	(九州大学)
8.1	プラズマ生成・診断	竹田 圭吾	(名城大学)
8.2	プラズマ成膜・エッチング	荻野 明久 篠田 和典	(静岡大学) (日立ハイテク)
8.3	プラズマナノテクノロジー	小川 大輔	(中部大学)
8.4	プラズマライフサイエンス	栗田 弘史 橋爪 博司	(豊橋技術科学大学) (名古屋大学)
8.5	プラズマ現象・新応用・融合分野	呉 準席	(大阪公立大学)
8.6	Plasma Electronics English Session	小野 亮 北崎 訓	(東京大学) (福岡工業大学)
8.7	プラズマエレクトロニクス分科内招待講演	石川 健治	(名古屋大学)
8.8	PE 賞受賞記念講演	石川 健治	(名古屋大学)

2. 応用物理学会理事

木下 啓藏 (副会長)	(アイオーコア)
伊藤 昌文	(名城大学)
伊藤 貴司	(岐阜大学)
栗原 一彰	(キオクシア)

3. フェロー

応用物理学会フェロー名簿

<https://www.jsap.or.jp/jsap-fellow/fellow-members>

をご参照下さい。

このほか、応用物理学会の代議員、本部委員会などにおきましても、多くの分科会会員の方にご活躍頂いておりますが、誤った掲載でご迷惑をおかけしてしまうリスクを考慮して、掲載を取りやめております。

活動報告

プラズマエレクトロニクス分科会幹事会は2024年3月23日に、東京都市大学世田谷キャンパス及びTeamsを用いたハイブリッド形式においてインフォーマルミーティングとして開催された。

1. 秋季講演会における分科会の企画

伊藤副幹事長（名城大）から説明がなされた。

・分科内招待講演

浜口先生（大阪大学）、Prof. James Walsh（英国、ヨーク大学）、Prof. Magdaleno Vasquez（フィリピン、フィリピン大学）が提案され、承認された。

・シンポジウム

「プラズマ直接接合技術」および講演候補者の提案がされ、承認された。

次々回以降は「プラズマロードマップ」で検討予定。また、中分類1.4との合同シンポジウムとしてエネルギー・環境・プラズマ農業の開催をPE分科会シンポジウムとは別日で検討。

2. プラズマ新領域研究会開催報告

上坂副幹事長（岐阜大）から、第41回（会報No.79に開催報告を掲載済み）、第42回（3月19日開催済、会報No.80で報告掲載予定）、及び第43回（3月29日開催予定）の報告があった。

3. PE講習会報告

深沢副幹事長（産総研）、天野幹事（パナソニック）から、PE講習会の開催報告があった。ハイブリッド開催で95名の参加者があった。アンケート結果はおおむね好評であり、次年度もハイブリッド開催の要望が高いが、今後については審議予定。

4. SPP-41開催報告

上坂副幹事長（岐阜大）、赤塚幹事（東工大）からSPP-41の開催報告があった。講演奨励賞2件の授賞が報告された。講演件数が減少しており、関連会議も多くあることから、開催方法や時期などは分科会内での審議が必要である意見があった。

5. 第22回PE賞選考について

選考結果は後日メール配信予定。

6. 2023年度会計報告

白藤幹事長（大阪公大）から、会計報告がなされた。収支についてはほぼ例年通りであるが、今年度はICPIG国際会議の学生渡航費支援、およびIPCSプラズマスクール開催支援が計上された。

7. 2024年度分科会幹事について

白藤幹事長（大阪公大）から、2年目幹事の退任に伴う改選の報告があった。4月の新旧合同幹事会において役割分担案を提示予定。なお、新規に選任された幹事が1名減の可能性はあるが、補充する場合は改めて選挙が必要となるため、追加は行わない方針。

8. 会報について

天野幹事（パナソニック）から会報No.80の目次案について説明があった。

9. プラズマ科学ロードマップについて

白藤幹事長（大阪公大）からロードマップおよび説明文案が提示された。

10. その他

応用物理学会理事について、平松先生（名城大学）が退任され、2024年度から栗原様（キオクシア）が就任する旨、報告があった。

白藤幹事長（大阪公大）から幹事長退任の挨拶があった。

記：鈴木（名大）

プラズマエレクトロニクス関連会議日程

新型コロナウイルスの影響で、開催日程および開催形態が不確定なものがあります。詳細は各会議の web ページをご参照ください。

【 国際会議 】

2024.8.12 - 16

5th International Conference on Data-Driven Plasma Science (ICDDPS-5)

Univeristy of California, Berkeley, CA, USA

<https://na.eventscloud.com/website/63026/>

2024.9.8 - 13

10th International Conference on Plasma Medicine (ICPM10), together with 9th International Workshop on Plasma for Cancer Treatment (IWPCT)

LifeClass Hotels & Spa Portorož, Slovenia

2024. 9.30 – 10.4

77th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC)

Double Tree by Hilton San Diego Mission Valley, San Diego, CA, USA

<https://www.apsgcc.org/gcc2024/>

2024. 11.14 - 15

45th International symposium on dry process (DPS)

Chitose, Hokkaido, Japan

<http://www.dry-process.org/2024/index.html>

【 国内会議・会合 】

2024. 9.16 – 20

第 85 回 応用物理学会 秋季学術講演会

朱鷺メッセほか 2 会場，新潟県新潟市

<https://www.jsap.or.jp/jsap-meeting/future>

2025. 3.14 – 17

第 72 回 応用物理学会 春季学術講演会

東京理科大学 野田キャンパス，千葉県野田市

<https://www.jsap.or.jp/jsap-meeting/future>

2025. 9.7 – 10

第 86 回 応用物理学会 春季学術講演会

場所未定，愛知県名古屋市

<https://www.jsap.or.jp/jsap-meeting/future>

2026. 9.8 – 11

第 72 回 応用物理学会 春季学術講演会

北海道大学 札幌キャンパス，北海道札幌市

<https://www.jsap.or.jp/jsap-meeting/future>

当会報への広告掲載について

応用物理学会 プラズマエレクトロニクス分科会では、分科会会員への情報提供を旨とし、会報への広告出展を募集しております。広告の掲載にあたっては下記のような条件としておりますので、是非ご検討の程よろしくお願ひ申し上げます。

1. 契約の種類

(A) 年間契約コース

1年間にわたる掲載。通常は6月、12月に発行される2号にわたって掲載されます。掲載号ごとに新規原稿に差替えできません。

(B) 単号契約コース

特定の号のみの掲載。

2. 掲載位置

掲載位置は編集後記の後になります。基本五十音順の掲載になりますが、レイアウト等の都合で適宜変更になる可能性があります。何卒ご了承ください。また裏表紙への依頼がない場合には年間契約の中からまわす場合があります。不都合がある場合にはご相談ください。

3. 入稿

原稿はA4版ネガ、もしくは電子ファイル(pdf)とします。これ以外の場合、かかる費用を別途請求させていただきます。

4. 広告掲載料

掲載料は下表の通りとします。なお、年間契約の場合も申し込み時点で一括請求とさせていただきます。

	(A) 年間契約 コース	(B) 単号契約 コース
半ページ	5万円 (4万円)	4万円 (3万円)
1ページ	8万円 (6万円)	5万円 (4万円)
2ページ (見開き指定可)	12万円 (9万円)	8万円 (6万円)
裏表紙	12万円 (9万円)	8万円 (6万円)

※カッコ内は賛助会員企業

5. 問い合わせ先

〒113-0031 東京都文区根津 1-21-5

応物会館 2階

公益社団法人 応用物理学会

TEL: 03-3828-7723

FAX: 03-3823-1810

Email: divisions@jsap.or.jp

HP: <http://annex.jsap.or.jp/plasma/>

編集後記

この度、プラズマエレクトロニクス分科会会報 No.80 を発行することが出来ました。ご多忙の中、原稿をご執筆いただいた方々、多くのご助言をいただいた方々にこの場を借りて心から御礼申し上げます。

本号は幹事長交代のタイミングでの発行となりましたので、通常の巻頭言に代えて退任されました大阪公立大学の白藤立前幹事長と就任されました九州大学の古閑一憲幹事長からそれぞれご挨拶頂きました。

また、名古屋大学の堀勝先生からは、「応用物理学会業績賞をいただいて～40年を経て見つけたもの～」と題したご寄稿で、プラズマと物質との相互作用から端を発する科学領域とその体系化について、ご提起いただきました。

研究室紹介のコーナーにおきましては、室蘭工業大学の高橋先生及び川口先生に研究室の様子をご紹介いただきました。近年、資源循環型社会の構築が社会課題となっている中で、水処理や汚染物質の分解、未利用エネルギー活用といった環境応用から取り組まれた放電プラズマの現象解明や放電基礎課程について分かりやすくご解説いただき、大変興味深く拝読しました。

学生のためのページでは、名城大学の竹田圭吾先生より発光・吸収分光法によるプラズマ内活性粒子の診断技術についてご解説頂きました。プラズマプロセスをモデル化していく中で、実際に分光計測を行う際に注意すべき点や計算手法について非常に分かりやすくご解説頂き、初学者の方に

とっても理解しやすい内容になっていると感じました。

第22回プラズマエレクトロニクス賞について受賞論文が選考委員会の先生方より発表があり、2件の発表がございました。

応用物理学会講演奨励賞を受賞された名城大学の大前智輝様と京都大学の占部継一郎先生に受賞対象の研究を分かりやすくご解説いただきました。

国内外の会議報告を各実行委員より頂いております。多くの会議がコロナ前のような以前の形を取り戻してきているのではないかと思います。

今後予定されている応用物理学会秋季学術講演会、DPS2024、インキュベーションホール、第23回プラズマエレクトロニクス賞についてもご案内いただきました。案内記事をご一読いただき、奮ってご参加くださいますようお願い申し上げます。

最後に、本号の原稿執筆を快く引き受けてくださいました著者の皆様、幹事長、副幹事長を始めとする分科会会員の皆様および応用物理学会事務局分科会担当の白石様にこの場を借りて、改めて感謝を申し上げます。尚、分科会会報では、各種報告や行事案内を随時募集しております。今後ともプラズマエレクトロニクス分科会会報をどうぞ宜しく願いいたします。皆様のお手元に届く頃には、梅雨冷えの肌寒い日もございますが、くれぐれもご自愛ください。

記：天野（パナソニックホールディングス）
（令和6年度会報編集担当）

佐々木、天野、田中、財前）

プラズマエレクトロニクス分科会会報 No.80
2024年 6月15日 発行
編集:公益社団法人応用物理学会
プラズマエレクトロニクス分科会
幹事長 古閑 一憲
発行:公益社団法人応用物理学会
〒113-0031 東京都文京区根津一丁目 21 番 5 号
応物会館
(©2024 無断転載を禁ず)