

プラズマエレクトロニクス分科会会報 No. 72

2020年（令和2年）6月発行

兒玉、永井、岡田、白岩

目次

幹事長交代の挨拶

幹事長退任挨拶	幹事長退任にあたって	名城大学	平松 美根男	1
幹事長就任挨拶	幹事長就任にあたって	大阪大学	節原 裕一	2

寄稿

プラズマエレクトロニクス分科会への期待	東京工業大学	波多野 睦子	3
産業の発展における熱プラズマの役割と 今後の課題	九州大学	渡辺 隆行	7

第18回プラズマエレクトロニクス賞

第18回プラズマエレクトロニクス賞について	名城大学	平松 美根男	11
プラズマエレクトロニクス賞を受賞して	ソニーセミコンダクタ ソリューションズ(株)	久保井 信行	12
プラズマエレクトロニクス賞を受賞して	キオクシア(株)	大村 光広 橋本 淳一 足立 昴拓 近藤 祐介 石川 勝郎 阿部 淳子 酒井 伊都子 林 久貴	15
	名古屋大学	関根 誠 堀 勝	

応用物理学会講演奨励賞

フェムト秒レーザー誘起液中プラズマ反応場における水和電子挙動の時空間分解計測	東京大学, 産総研オペランド OIL	榎原 教貴	19
--	-----------------------	-------	----

研究室紹介

東北大学 大学院工学研究科 電子工学専攻 プラズマ理工学分野 金子・加藤研究室	東北大学	金子 俊郎 加藤 俊顕 高島 圭介 佐々木 渉太	21
--	------	-----------------------------------	----

学生のためのページ

プラズマの流体シミュレーション入門	東京農工大学	西田 浩之	26
-------------------	--------	-------	----

海外の研究事情

カリフォルニア大学 バークレー校 滞在記	東京工業大学	竹内 希	33
----------------------	--------	------	----

紹介記事

プラズマ若手チャプター	北海道大学	白井 直機	36
-------------	-------	-------	----

国際会議報告

The 11 th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-11)	金沢大学	田中 康規	37
--	------	-------	----

国内会議報告

第 30 回プラズマエレクトロニクス講習会 報告	三菱電機 (株)	友久 伸吾	39
第 33 回プラズマ新領域研究会 『非平衡プラズマ による機能性窒素の生成と応用』	東京大学	伊藤 剛仁	40

行事案内

2020 年第 81 回応用物理学会秋期学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会企画	九州大学	古閑 一憲	41
The 73rd Annual Gaseous Electronics Conference (GEC2020)	滋賀県立大学	酒井 道	43
AVS 67th International Symposium & Exhibition (AVS2020)	(株)日立ハイテク ノロジーズ	前田 賢治	44

掲示板

第 19 回プラズマエレクトロニクス賞 受賞候補論文の募集	大阪大学	節原 裕一	45
2020 年度(令和 2 年度)プラズマエレクトロ ニクス分科会幹事名簿			46

2020 年度(令和 2 年度)分科会幹事役割分担	48
2020 年度(令和 2 年度)分科会関連の 各種世話人・委員	49
活動報告	51
プラズマエレクトロニクス関連会議日程	52
当会報への広告掲載について	54
編集後記	55

幹事長退任にあたって

名城大学 平松美根男

2020年3月末をもって幹事長の任期満了となりました。本分科会会員の皆様には、2年間ご支援いただきまして誠に有り難うございました。この2年間の業務を遂行するにあたり、赤塚副幹事長、古閑副幹事長、友久副幹事長、本分科会幹事の皆様、ならびに講演会企画運営等で本部業務に直接携わった皆様には、忙しい本業・本務の傍ら本分科会関連事業の企画・運営にご尽力いただきましたし、小田様をはじめとする本部事務局関係者の皆様にも親身にご協力をいただき、あらためて御礼申し上げます。

2年間の活動を振り返ると、幹事長としての最初の仕事は、財務担当理事からの分科会事務費見直し要請に関する対応でした。応用物理学会では、会員の減少を主因に将来的な財務状況の悪化が予想されるため、長期的な財務基盤の安定に向けて、2017年度から事業毎に経営状況を見える化し、諸事業の収支改善や人件費の削減が行われています。その一環として、分科会については、分科会事業に関連する本部事務局の人件費の実費負担を徐々に受け入れることになりました。幸いにして本分科会では、経理以外はほぼ幹事のボランティアによる尽力で諸事業を実施してきた歴史があり、無駄な支出を抑えれば、当面は活動への支障は無さそうです。活動ができなくなると大騒ぎした分科会もあるなかで、講習会で収益をあげ、国際学会・研究会の開催や若手の育成などに還元することでほぼ自立できている当分科会の運営は、理事会では高く評価されています。

2020年春季学術講演会（上智大学）は新型コロナウイルスの影響で中止になりましたが、それ以

外の春秋の学術講演会における分科会企画、プラズマプロセッシング研究会（SPP）、プラズマエレクトロニクス講習会、インキュベーションホール、プラズマ新領域研究会などの事業は予定通り実施することができました。SPPについては、高知工科大・八田先生をはじめとする現地実行委員の皆様のご尽力により、36回目で初めて四国での開催となりました。そのSPPは3年毎に国際化（反応性プラズマ国際会議：ICRP）されており、2019年7月に札幌でICPIGとの共同開催が実現し、北海道大・佐々木先生をはじめとするICRP組織委員会・実行委員会の皆様のご尽力により大成功を収めることができました。プラズマエレクトロニクス講習会は、本分科会の収入源ではありますが、本来は重要な会員サービスの柱です。新幹事の皆様には、今後も多くの企業技術者や大学の若手研究者に受講していただき、かつ満足いただけるよう、更なる工夫をお願いします。

2020年は本分科会発足30周年の節目の年です。さらに2022年には仙台でICRPとGECの合同会議開催が予定されています。今後、節原新幹事長の指揮の下、本分科会が、国内外でのプレゼンスを益々高め継続的な発展を遂げることを心より願っており、私も微力ながら本分野の発展に尽くすことができればと思っています。

新型コロナウイルス感染拡大に伴って、我々の研究活動のみならず学会の活動も制限される状況がしばらく続くと思われます。これまでの恵まれた環境に感謝するとともに、我々一人一人の責任ある行動でこの未曾有の難局を乗り切って、再び社会に活気が戻ることを願っています

幹事長就任にあたって

大阪大学 節原 裕一

このたび、2020、2021年度の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。本年で発足30周年を迎える伝統を有し、500名近い多数の会員（本年3月で484名）を擁する本分科会の幹事長の大役を仰せつかり、その重責を肝に銘じております。微力ながら、本分科会と会員の皆様のため精一杯尽力して参る所存ですので、何卒宜しくお願い申し上げます。

冒頭ではございますが、昨年末に中国武漢での集団感染が初めに報じられた新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）による感染症（COVID-19）は、アジアに留まらず、年明けの数ヶ月という短期間の内に、甚大な被害の欧州各国そして米国、さらには南半球の国々を含め、現下、世界的大流行に至っており、被害に遭われた方々に心からのお悔やみとお見舞いを申し上げたく存じます。思い起こしますと、人から人への感染の可能性の有無について報じられていた年始早々から世界的な大流行までは文字通り瞬く間であり、高速・大容量の情報処理デバイスによる技術革新が進展し、5Gへと移行しつつある高速情報通信網の恩恵に浴するハイテク社会も、サイズが数10～数100nmと言われるウイルスによる感染症に脅かされる脆い存在であることを強く思い知らされました。さらに、講演会、国際会議、懇親会、会食、講義、商談、交通機関での移動といった、かつては当たり前であった「人と人との交流」ひいては従来の社会的な活動そのものが感染拡大防止の観点から忌避される新たな時代に、全世界があっという間にそして否応なく巻き込まれてしまいました。

さて、本分科会の活動と運営におきましては、

これまでの誇り高い良い伝統を受け継ぎつつ、この新たな時代においても更なる進展を期すべく、プラズマの基礎学理と技術的な応用に関する研究で、世界をリードする存在であり続けられるよう努めて参ります。一方、今年度の分科会行事については、当該感染症の影響で困難に直面しておりますが、田中副幹事長、古閑副幹事長、栗原副幹事長、幹事の皆様、学会事務局のご協力のもと、一丸となって乗り越えて参りたく存じます。さらに、本年は本分科会の発足30周年を迎えます。これまでの時代を俯瞰しつつ、新たな時代への方向性に繋げて行ければと願っております。

感染症の終息まで、そして終息後も、これまでの平穏な時代とは異なる新たな活動様式が求められますが、会員の皆様の優れた研究と学会講演・論文を通じた活発な議論が当分科会の活力の源泉であることは、今後も揺るぎなく、変わることはございません。また、感染症克服に向けて、プラズマ-生物相互作用の基礎学理を活用した技術開発が渴望されます。会員の皆様のお知恵とご協力を拝借しながら、当分科会の発展に向けて参りますので、何卒宜しくお願い申し上げます。さらに、コロナ後の新たな時代に向け、会員の皆様のためになる活動を模索し提供すべく努力して参りますので、分科会の発展に資する御提案や御意見等ございましたら、私または幹事各位に、お知らせを戴けましたら幸いです。

末筆ながら、当該感染症に対する有効な治療薬そしてワクチン開発の進展による早期の終息を心から願うと共に、皆様そしてご関係の方々お一人お一人のご健康を心よりお祈り申し上げます。

寄稿

プラズマエレクトロニクス分科会への期待

東京工業大学工学院電気電子系
波多野 睦子

プラエレ分科会(通の呼び方!)が発足 30 周年を迎えるという節目で、応用物理学会の会長に就任し大変光栄に思います。応物は、産官学の連携も強く、活発な活動を拡大されているプラエレ分科会の皆さまのご協力を頂いておりますことを改めて感謝申し上げます。これからもお力とご支援を頂戴しながら、本分科会の活動、さらには応用物理学会の一層の活性化に努めていきます。

現在のコロナ禍（掲載時には終息していることを祈りつつ）において、本会の多くの活動が停滞しています。しかし旧弊の固定観念や価値観がリセットされる機会になったのは、唯一のメリットであり、「アフターコロナの学会あり方を見直すチャンス！」と捉えています。秋季学術講演会のオンライン開催、本分科会にもご協力いただいている特別企画（お楽しみに！）など、アフターコロナをも見据えた応物全体の横断的な活動を開始しました。総合力を発揮するための組織間の融合推進を、分科会、支部、チャプターなどの連携により、応物の総力を挙げて取り組みたいと思います。今後も新たな相互コミュニケーション型の情報共有や発信の場の提供を検討しております。新しい学会運営の創出にお知恵をいただき、この困難を乗り越えていきたいと思っています。皆様のご協力をお願いします。

プラエレは、学術的としてはサイエンスが深く、かつ現象が複雑で多岐に渡っており、さらに応用は環境・エネルギー、



医療・ヘルスケア、IoT、農業など広範囲です。それゆえに、プラエレ分科会のメンバーも時・空間の境界のないダイバーシティな組織であると認識しています。社会環境や世界的な課題が変化しても、今後も 50 年、100 年と、さらに大きく発展されることを期待します。

私は 10 年前に企業から大学に移りました。私事で大変僭越ですが、私自身が経験してきたプラエレの重要性、現在取り組んでいるダイヤ量子センサの研究についてご紹介したいと思います。

<1>プラズマエレクトロニクスの重要性

入社した最初の研究テーマは「超電導コンピュータ」。NbN 超電導体と Si 半導体の界面で生じる量子現象を用いるハイブリッドデバイスでした。最先端 LSI のドライエッチング技術を用いてサブ μm に微細化したゲートを形成し、そのゲートに自己整合的に NbN 超電導体膜を反応性スパッタ法で成膜するデバイスです。いずれもプラズマプロセスがキー技術でした。しかし、超電導デバイスは微細化が進む CMOS にとっても勝てない、研究テーマも中断されました。その後は液晶ディスプレイとそのバックボーンであるポリシリコン薄膜トランジスタの研究と研究所側の事業化のリーダー役に尽力しました。よって製造ラインのプラズマプロセスの歩留まりや信頼性の問題など、直接関わりました。ガラスやプラスチック基板上の大面积で低温の成膜や加工など、多くのプラズマプロセスからなります。しかしプラズマプロセスは経験に頼っており、現象論的なアプローチしかしてきませんでした。プラズマの反応はその生成から材料表面での物理・化学反応の制御に至るまで複数の非常に複雑な過程を経て起こっているため、ブラックボックスとして扱うしかなかったとも言えます。もしあの時サイエンスを重視し、「何がプロセス特性の本質を決めるか？」を明らかにするというユーザの域を超えた研究開発ができていたなら、その基礎や計測方法などの知識があったら、超電導デバイスは量子コンピュータへの確実な道筋を描くことができたであろうし、ディスプレイは特徴ある研究や事業展開ができたか、と悔やまれます。ところで、液晶 TV の

ライバルであったプラズマ TV が淘汰されていったのは？当時私は液晶側でベンチマークしましたが、プラズマ発光の省電力化と寿命の問題があったと記憶しています。

<2>ダイヤモンドエレクトロニクスにおけるプラエレの重要性、そしてアフターコロナでは

企業から大学に移った 10 年前、研究テーマもリセットし、電話も机もない状態でさて何をしようか、と真っ白なキャンパスに未来を描く機会を得ました。そうだ究極の物性をもつダイヤモンドだ！でもダイヤの成膜には特殊な装置が必要では？宝石の天然ダイヤは地中深くで生成され、ダイヤの合成技術も大型プレスを使った高圧高温下での合成。ところがプラズマ CVD での合成を NIMS が発明し、ダイヤモンドの本質である炭素原子間の堅固な結合がプラズマで合成されていることに感銘を受けました。さらにプラズマでの合成により、堅固な結合のみでなく、結晶方位、カラーセンタや pn 接合の制御も可能となり、パワーデバイスや量子センサ・量子コンピュータのコア技術として、多くの革新を創生することができます。また半導体プロセスとの整合性もよく社会実装につなげやすい、原料も地球に大量に存在するメタンと水素のみで、学生の安全性も確保しながら実験できる、と開始しました。

ダイヤ中の窒素-空孔(NV)センタを量子ビット用いた量子センサにおいて、高感度化に最適なセンサ膜の合成を可能にしているのがプラズマの技術です。NV センタは、室温・大気中においてもスピ

ン緩和時間が長く（単一で ms）、光によるスピン状態の初期化、制御、検出が可能な量子ビットであり、磁場、温度、電場、歪などの量子センサとして新たな応用の可能性があります（図 1）。計測対象はタンパク質などの構造解析に必要なナノスケール、細胞計測に必要なマイクロスケール、医用・食品・構造物の非侵襲計測に必要なミリメートル以上の領域まで、スケーラブルな高感度センサとして期待されています。プラズマ CVD 法の合成技術は、これらのスケーラブルな計測対象に合わせ、ダイヤモンド中の NV センタの最適な構造を実現できる特長があります。具体的には、NV センタの数の制御（単一からアンサンブルまで）、膜厚の制御（表面数 nm からバルクまで）、大面積化が必要です（図 2）。これまで NV センタの配向性を制御する、高密度化する、重ね合わせ状態を長時間保持可能にするなどのプラズマ CVD の合成技術が研究されてきました（[1-3]）。特に、ダイヤモンドデバイスに共通の課題は基板の大面積化です。こちらでは、先端放電プラズマを用いて、Si 基板上のヘテロエピタキシャル成長にチャレンジしています（図 3, [4,5]）。バイアス電圧を行いながらのプラズマ中の核形成のメカニズムを明らかにする、などが特に重要な課題です。

さてアフターコロナでは、ダイヤモンドの世界はどう変わるかしら？ジュエリーはオンライン販売でのファッションダイヤモンドが中心となり、プラズマ CVD で合成したダイヤモンドの市場は拡大することでしょう。『婚約指輪は給料 3 か月分』は私が幼いころから CM で流れていて広く認知さ

れていましたが（ちなみに私は 1.5 か月。）、ゼクシィ結婚トレンド調査 2019（全国推計値）」によれば、婚約指輪の平均価格は 35.5 万円で給料 1.4 か月分であり、また価格よりもデザインを重視する女性が多いとのこと。「合成ダイヤモンドはお得感あるけど、婚約指輪でセコイと思われたくない」という葛藤も激しいと想像されるが、これは意外な調査結果で、女性の指向の多様性の現れといえるでしょう。

量子センサも、アフターコロナでは人間が特に重視され、人間の行動の変化が、技術革新をリードする時代になっていくでしょう。テレワーク普及の背景にある移動制限が、仮想現実や拡張現実の進化を促すでしょう。視覚と聴覚だけでなく、触覚や臭覚、味覚にまで広がり、さらにはそれを司る脳や心臓の状態をモニターできるようになるでしょう。特にオンライン医療、テレヘルスなどの診断においては、心身の状態を計測する高度なセンサが必要となるでしょう。プラズマで合成されたダイヤモンド量子センサが、これらの応用を加速させると考えています。そのためには、より精度の高いプラズマプロセス開発のために、原子レベルでの反応の理解や制御プロセス向上が求められています。是非、プラエレ分科会の皆様にご指導いただきたいと思います。1 年前に春季講演会のシンポでお話させていただき、プラエレ分科会は、ダイヤモンドのように固く、NV センタのように欠陥（変わった研究）も重視される多様性も考慮されたソサイエティであると感じました。応用物理学会もダイヤモンドの研究も、と

もどうぞよろしくご指導、ご支援お願いいたします。

参考文献

- [1] K.Tahara, MH et al., APL107, 193110 (2015)
- [2] H. Ozawa, TI et al., APEX 10, 045501 (2017)
- [3] Ishiwata, MH et al., APL 111 043103 (2017)
- [4] T. Suto, MH et al., APL 110, 062102 (2017)
- [5] J. Yaita, TI et al., APEX 11 045501 (2018)

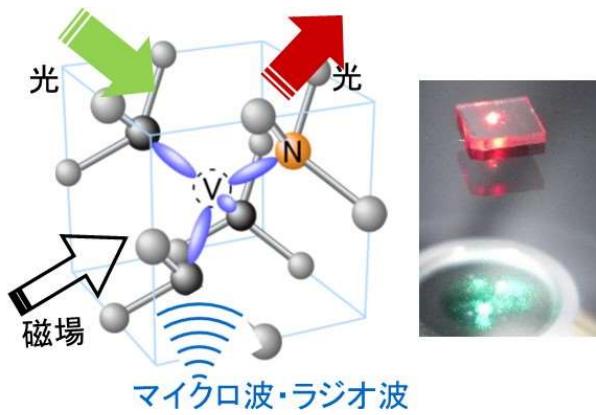


図1 室温で動作するダイヤモンド内の量子ビット NV センタ

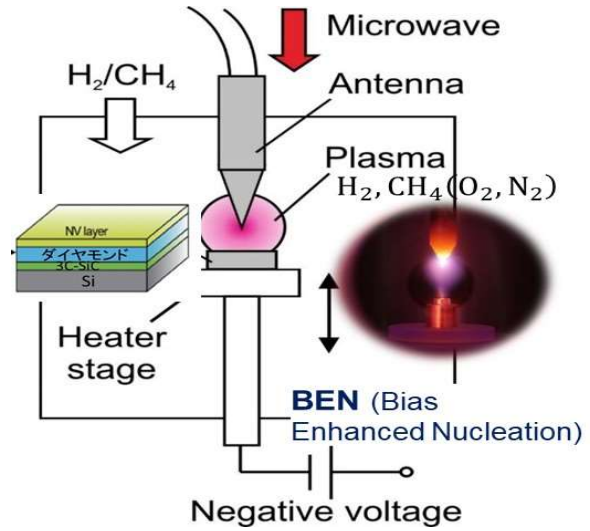


図3 先端放電プラズマCVDによるSi板上のダイヤモンドの合成

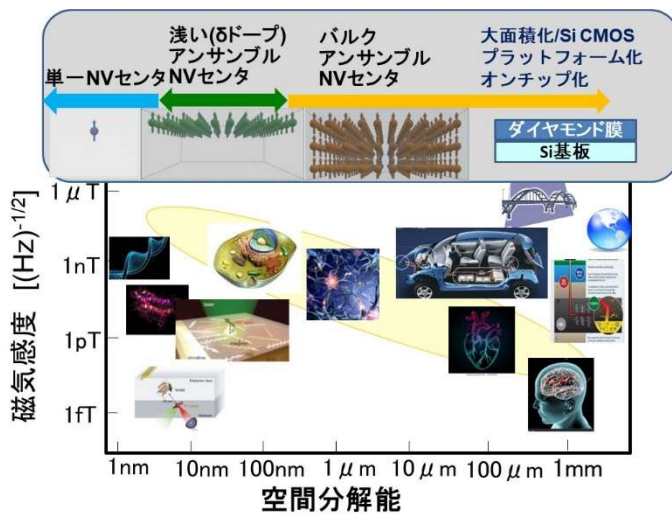


図2 スケーラブルな応用に向けたプラズマ CVD技術

産業の発展における熱プラズマの役割と今後の課題

九州大学 工学工学研究院 渡辺隆行

1. はじめに

熱プラズマは大気圧においてほぼ熱平衡状態のプラズマであり、高温を利用するという観点からプラズマ溶射や溶接として産業的に用いられてきた。最近では熱プラズマの高温という特長だけではなく、プラズマ中に存在するラジカルを活用したプロセッシングも実用化されている。

本稿では熱プラズマの産業応用におけるマイルストーンを振り返りながら、熱プラズマが産業的に重要な役割を担ってきた歴史を紹介する。過去の研究成果を知らずに研究をすることは無駄である。その意味において研究のマイルストーンを整理する意味は大きいと思う。

なお、熱プラズマの基礎と応用については本会報[1]に掲載されているので、そちらを参考していただきたい。また、放電を含めたプラズマプロセス全体の発展史については明石の解説が参考になるので一読を薦める[2]。

2. 直流アーク放電のマイルストーン

直流(DC)放電におけるマイルストーンは 1808 年の Davy による炭素電極を用いたアーク灯の実験である。工業的なアークの起源は 112 年前にさかのぼり、その後に溶接が熱プラズマとしての産業応用として発展した。Benardos による炭素電極を用いたアーク溶接の 1887 年の特許[3]、Kjellberg による被覆アーク溶接の 1907 年の特許[4]によって現在実用されているアーク溶接の原形が完成している。

つぎに産業応用として完成した分野は DC アークを用いた溶射である。Scoop による 1915 年の

特許[5]には現在のワイヤーアーク溶射とほぼ同じものが描かれている。Gage らによる 1959 年の特許[6]ではほぼ完成したプラズマ溶射を見ることが出来る。

DC アークは産業応用が先行したが、アーク物理に関する基礎的研究が続いて発展した。重要な電極現象であるリストライク現象が Eckert によって 1967 年に解明された[7]。Pfender はアークの陽極現象[8]、陰極現象[9]などを解明し、これらの研究成果は大型 DC トーチの開発に寄与した。

3. 高周波熱プラズマのマイルストーン

高周波(RF)熱プラズマにおけるマイルストーンは 1961 年に Reed によるトーチ開発である[10]。RF 熱プラズマのすべてはここから始まった。

RF 熱プラズマが外的擾乱に敏感であるという欠点を克服するために、吉田らは 1980 年代にハイブリッド型トーチ[11]や二段式トーチ[12]を開発した。前者は RF 熱プラズマの上部に DC プラズマジェットを設置し、後者は異なる周波数の RF 熱プラズマを縦に二段設置したトーチである。2つのプラズマを単に組み合わせるだけではなく、従来にはない特徴を持つ新規なプラズマシステムであり、プラズマ溶射、高速 CVD、ナノ粒子合成における新たな展開を可能とした。

RF熱プラズマの制御性は高電力高周波インバータ電源の開発によって向上した。1997年のパルス変調誘導熱プラズマ[13]は、高周波電流を数ミリ秒周期でパルス的に変調させることにより、高温反応場と低温場の遷移過程を含んだ新しい反応システムである。

田中らによって平板型誘導熱プラズマ[14,15]とループ型誘導熱プラズマ[16,17]が開発された。従来の誘導結合型の RF 熱プラズマは円柱形状のトーチに限られていたが、このシステムによって材料の大面积処理が可能になった。

RF 熱プラズマの数値解析は、Boulos の 1976 年の数値解析モデル[18] が先駆けとなった。その後、Boulos らは 1987 年に 2 温度モデル[19]、1989 年に 2 次元の RF 電磁場モデル[20]を発表し、ほぼ数値解析モデルが完成した。RF 熱プラズマの熱流動特性が解明され、プラズマ中のプロセスの定量化が可能となった。

プラズマプロセッシングの定量化は、熱流動解析だけではなく、熱プラズマと粒子の熱移動現象などが重要である。プラズマ伝熱に関する研究のパイオニアは Pfender であり、1992 年に神沢が成書として出版した[21]。

4. 交流アーク放電のマイルストーン

交流放電による熱プラズマは、電流値の変化によるアーク変動や交流周期毎のアーク消弧などが原因で産業応用が限定的であった。しかし、電源効率が高くプラズマシステムの大型化が容易であることに注目し、渡辺らにより多相交流アークが 2009 年に開発された[22,23]。

多相交流アークは、電極を放射状に配置し各々の電極に位相の異なる交流電圧を印加することにより、電極間に電源周波数によって回転するプラズマを発生させる新しいプラズマ発生法である。

ガラス製造を目的としたインフライト溶融のために多相交流アークが開発され[24]、溶融炉の大幅な小型化と消費エネルギーの削減が可能となった。熱プラズマの高温を利用する技術には限界があると考えられていたが、高温を活かすだけのプロセッシングでも、インフライト処理中の粒子内の物質移動、反応、熱移動を制御することによっ

て、新しい工業的技術への展開が可能であることが示された。

5. 新規なプラズマシステム

電源の観点では、マイクロ波を使った熱プラズマシステムの開発が重要である。ダイヤモンド合成を目的としたマイクロ波プラズマジェットが 1989 年に開発された[25]。大気圧で純水素プラズマを発生できるようになり、反応性プラズマの展開が可能となった。

圧力の観点では、数 torr 程度の圧力領域のプラズマ生成が注目されている。この圧力領域では熱プラズマと低圧プラズマの両方の特徴を有するプラズマとなり、神沢らはこのプラズマを中圧プラズマと名付け、1970 代に基礎的な研究を行った[26]。神原らはこれをメゾプラズマと名付けて CVD への応用を行っている[27]。

反応性流体としての観点では、水を用いた熱プラズマが廃棄物処理へ応用が進んでいることから注目されている。Hrabovsky は水プラズマ溶射を開発し[28]、渡辺は廃棄物処理用の水プラズマシステムを開発した[29]。これは大型トラックに直流発電機を搭載した車載型プラズマシステムへの開発につながった[30]。

6. ナノ粒子合成プロセス

1981 年から 1986 年に新技術事業団（当時）を推進母体とした創造科学技術推進事業テーマとして林超微粒子プロジェクトが行われた。このプロジェクトでは超微粒子の基礎的物性を解明するとともに、超微粒子による新しい工業素材の創出を目標としていた。

ここで熱プラズマが果たした役割は大きく、宇田らによる DC アークによる活性プラズマ溶融金属反応法[31]と吉田らによる RF 熱プラズマによる超微粒子合成は、現在でも用いられているプ

ロセッシングである。

RF 熱プラズマによって合成する合金や金属間化合物のナノ粒子の組成は高温金属蒸気の核生成温度が重要であることは 1980 年代に吉田らによって明らかにされている[32]。その後、茂田と渡辺による精緻なナノ粒子生成に関するモデリングが開発された[33]。これらの成果は RF 熱プラズマによるリチウムイオン電池の電極材料などの高機能性材料合成に役立っている。

DC アークによるニッケルナノ粒子の製造は産業応用として成功したプロセッシングである。これはコンデンサの電極として用いられている。

7. 材料合成プロセッシング

1980 年代はプラズマ材料合成プロセッシングにとっての黄金時代であった。1987 年に第 8 回プラズマ化学国際シンポジウムが東京で開催され、そのときの中心メンバーが 1988 年に日本学術振興会プラズマ材料学第 153 委員会を発足した。このような時代に筆者は熱プラズマプロセッシングの研究を始めることができたことは幸運であった。

明石と吉田による熱プラズマによる材料プロセッシングの体系的研究の学術的な貢献は大きい。1986 年には熱プラズマフラッシュ蒸発法によって超電導膜が合成された[34]。ホットクラスターを堆積する手法は SiC 厚膜などの超高速コーティングを可能とした[35]。

1980 年代には無機材質研究所(当時)を中心としたダイヤモンド合成のブームがあった。当初は熱フィラメントや低圧グロー放電が用いられていたが、1987 年には松本らによって RF 熱プラズマでダイヤモンドが合成された[36]。1988 年には富士通研究所が DC プラズマジェットによってダイヤモンド合成に成功した[37]。プラズマと基板間の境界層での非平衡反応が重要で、 CH_3 などの分子が堆積してダイヤモンドが合成されることを明

らかにしている。

炭素系ナノ材料の合成において熱プラズマの重要性が示されたのは、1991 年に飯島によって発見されたナノチューブ[38]である。フラーレンが 1996 年のノーベル化学賞のテーマ、グラフェンが 2010 年のノーベル物理学賞のテーマとなった。優れた電氣的、機械的特性を発現するこれらの材料は産業応用が期待できる材料であり、同時に材料合成において熱プラズマが不可欠であることが示されている。

8. 今後に期待すること

Langmuir が plasma という用語を使ったのは 92 年前の 1928 年のことである。その後、上述したような熱プラズマのマイルストーンとなる研究が行われた。

今回は記述することができなかったが、熱プラズマは材料プロセッシングだけではなく、廃棄物処理でも重要な役割を担っている。市川市と北九州市に設置された水蒸気 RF 熱プラズマによるフロン分解プラント、室蘭市と北九州市に設置されている PCB 汚染物質処理プラントは熱プラズマの実用化としての成功例である。他にもプラズマ溶解やプラズマ製錬として世界的な実用化が展開されている。

最近ではプラズマ現象の可視化によって、ナノ粒子の生成過程、有機物の分解過程、放電現象・電極に関連する物理・化学現象を明らかにすることができるようになった。熱プラズマを単なるツールと扱い、ブラックボックスとして中身を診ない研究は意味がない。今後は熱プラズマの高温効果に加えて、非平衡効果を定量的に理解して、工業生産技術につながる材料プロセッシングの展開を拓くことが課題であり、期待することでもある。

参考文献

- [1] 渡辺隆行; 応物プラエレ分科会会報 70 (2019) 16.
- [2] 明石和夫; 表面技術 61 (2010) 120.
- [3] N.De Benardos, S. Olszewski; US Patent 363320 (1987).
- [4] O. Kjellberg; Swedish Patent 27152 (1907).
- [5] M.U. Schoop; US Patent 1133507 (1915).
- [6] R.M. Gage, et al.; US Patent 3016447 (1959).
- [7] S.A. Wutzke, et al.; AIAA J. 5 (1967) 708.
- [8] H.A. Dinulescu, E. Pfender; J. Appl. Phys. 51 (1980) 3149.
- [9] K.C. Hsu, et al.; J. Appl. Phys. 54 (1983) 1293.
- [10] T.B. Reed; J. Appl. Phys. 32 (1961) 821.
- [11] T. Yoshida, et al.; J. Appl. Phys. 54 (1983) 640.
- [12] T. Uesugi, et al.; J. Appl. Phys. 64 (1988) 3874.
- [13] T. Ishigaki, et al.; Appl. Phys. Lett. 71 (1997) 3787.
- [14] M.K. Suan Tial, et al.; Jpn. J. Appl. Phys. 55 (2016) 07LB03.
- [15] M.K. Suan Tial, et al.; J. Phys. D: Appl. Phys. 49 (2016) 385204.
- [16] Y. Maruyama et al., IEEE Trans. Plasma Sci. 44 (2016) 3164.
- [17] M.K. Suan Tial et al.; Plasma Chem. Plasma Process. 37 (2017) 857.
- [18] M.I. Boulos; IEEE Trans. Plasma Sci. PS-4 (1976) 28.
- [19] J. Mostaghimi, et al.; J. Appl. Phys. 61 (1987) 1753.
- [20] J. Mostaghimi, M.I. Boulos; Plasma Chem. Plasma Process. 9 (1989) 25.
- [21] 神沢淳; ”プラズマ伝熱” (信山社サイテック, 1992).
- [22] M. Tanaka, et al.; IEEE Trans. Plasma Sci. 39 (2011) 2904.
- [23] T. Watanabe, et al.; Plasma Chem. Plasma Process. 34 (2014) 443.
- [24] T. Watanabe, et al.; Pure Appl. Chem. 82 (2010) 1337.
- [25] Y. Mitsuda, et al.; Rev. Sci. Instrum. 60 (1989) 249.
- [26] 本多卓也, 神沢淳; 化工論文集 2 (1976) 182.
- [27] M. Kambara, et al.; J. Appl. Phys. 99 (2006) 074901.
- [28] M. Hrabovsky; Pure Appl. Chem. 74 (2002) 429.
- [29] T. Watanabe, et al.; Plasma Chem. Plasma Process. 32 (2012) 123.
- [30] 渡辺隆行; プラズマ・核融合学会誌 95 (2019) 27.
- [31] 宇田雅広, 日本金属学会会報 22 (1983) 412.
- [32] 原田俊哉, et al.; 日本金属学会誌 45 (1981) 1138.
- [33] M. Shigeta, T. Watanabe; J. Phys. D 40 (2007) 2407.
- [34] K. Terashima, et al.; Appl. Phys. Lett. 52 (1986) 1274.
- [35] H. Murakami, et al.; Adv. Ceram. Mater. 3 (1988) 423.
- [36] S. Matsumoto, et al.; Appl. Phys. Lett. 51 (1987) 737.
- [37] K. Kurihara, et al.; Appl. Phys. Lett. 52 (1988) 437.
- [38] S. Iijima; Nature 354 (1991) 56

第 18 回プラズマエレクトロニクス賞

第 18 回プラズマエレクトロニクス賞について

名城大学 平松美根男

2019 年 12 月 20 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って、6 件の応募の中から 2 件を選出しました。

一次選考では、応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、二次選考では特に評価の高かった 4 件に絞って、改めて慎重に検討を行い、全員一致で以下の 2 件を第 18 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: Insights into different etching properties of continuous wave and atomic layer etching processes for SiO₂ and Si₃N₄ films using voxel-slab mode

著者: N. Kuboi, T. Tatsumi, J. Komachi, S. Yamakawa

雑誌名: J. Vac. Sci. Technol. A **37**, 051004 (2019)

受賞者: 久保井信行、辰巳哲也、小町 潤、山川真弥
(ソニーセミコンダクタソリューションズ)

受賞理由:

著者らが構築してきた絶縁膜の表面反応モデルに、デポジッションステップ時の残留 F やポリマー層中の F の影響を加味して現実的な ALE 反応をモデル化し、SiO₂ 膜と Si₃N₄ 膜上でのポリマー膜厚の違いのメカニズム、ポリマー層と絶縁膜の界面でのイオンエネルギーの制御、低ダメージ化にはイオンエネルギーの単色化が重要であることを、従来の CW エッチングと対比しつつ定量的に示した。さらに、SiO₂/Si₃N₄ 高選択比な ALE の SAC 加工を実証した。本論文の知見は、ALE の本質的

な課題に対してブレイクスルーをもたらすものであり、学術的にも工業的にも大きな価値がある。

受賞論文 (2)

論文: Formation mechanism of sidewall striation in high-aspect-ratio hole etching

著者: M. Omura, J. Hashimoto, T. Adachi, Y. Kondo, M. Ishikawa, J. Abe, I. Sakai, H. Hayashi, M. Sekine, M. Hori

雑誌名: Jpn. J. Appl. Phys. **58**, SEEB02 (2019)

受賞者: 大村光広、橋本惇一、足立昂拓、近藤祐介、石川勝朗、阿部淳子、酒井伊都子、林 久貴 (キオクシア)、関根 誠、堀 勝 (名古屋大学)

受賞理由:

3D フラッシュメモリには、絶縁膜のエッチングで形成される多数のメモリホールが存在し、高アスペクト比 (HAR) エッチングプロセスは重要な技術である。HAR ホール側壁に発生する striation (縦筋) 形成メカニズムを論じており、ラジカル及びイオンの表面反応を区別して解析し、フルオロカーボン膜の堆積と高角度入射イオンの照射が striation 形成に大きく寄与することを見出し、その転写メカニズムも明らかにした。この知見は学術的のみならず産業応用として重要である。

第 18 回プラズマエレクトロニクス賞選考委員会

朽久保文嘉 (委員長・首都大学東京)

赤塚 洋 (東京工業大学)

伊澤 勝 (日立ハイテクノロジーズ)

木下啓藏 (アイオーコア)

古閑一憲 (九州大学)

豊田浩孝 (名古屋大学)

平松美根男 (名城大学)

第 18 回プラズマエレクトロニクス賞

プラズマエレクトロニクス賞を受賞して

ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社 久保井 信行

【はじめに】

第 18 回プラズマエレクトロニクス賞を論文「Insights into different etching properties of continuous wave and atomic layer etching processes for SiO_2 and Si_3N_4 films using voxel-slab model」[1]に賜りましたこと、共著者共々、大変光栄に存じます。ご推薦・ご選考していただいた委員の先生方に対しましては、深く感謝申し上げます。今後も応用物理の発展に貢献できればと考えております。本論文の内容は、DPS2018 口頭発表、ALE2019 招待講演として報告したものです。以下に、本受賞論文の研究背景と概要について紹介させていただきます。

【論文概要】

近年、微細加工技術として、Atomic Layer Etching(ALE)が注目されています。ハロゲン系ガスを用いる Si 膜の ALE 反応は Self-limited (反応が自己停止する)であることが知られていますが、CF 系ガスを用いたポリマー層が形成される絶縁膜の ALE では必ずしも Self-limited でないために、半導体製造の実用においては、加工メカニズムの理解と緻密な制御が非常に重要です。しかしながら、これまで、加工特性の定性的な理解はされてきましたが、定量的な議論には十分踏み込んでいませんでした。

本論文では、著者らがこれまで構築してきた絶縁膜の表面反応モデル[2][3][4]に、デポジションステップ時の残留 F やポリマー層中の F の影

響を加味して現実的な ALE 反応をモデル化しました(図 1)。

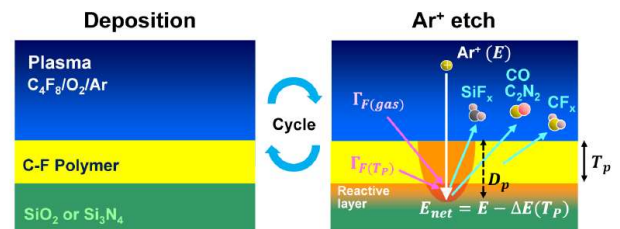


図 1: ALE の表面反応モデルの概念図

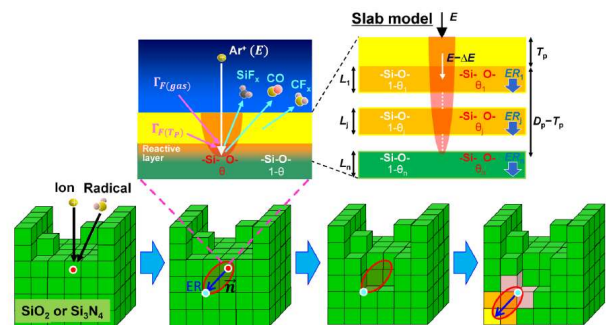


図 2: Voxel-slab モデルの概念図

この ALE 表面反応モデルの数値計算の際には、1 原子層程度の厚さを Slab の厚さとした Slab モデルを用いて、各深さに位置する Slab でのイオンエネルギーの減衰効果を反映させました。また、加工形状へのインパクトを評価するために、形状進展アルゴリズムである Voxel モデルに上記の Slab モデルをカップリングしたソニーオリジナルの Voxel-slab モデルを用いました(図 2)。

まず、通常の CW(Continuous Wave)エッチングと ALE でのイオンエネルギー分布 IEDF の違い

を考慮することにします。CW の場合は、エッチャントの制御はプラズマからの CF_x フラックスとして供給され、またエネルギーを与えるイオンは Ar^+ と CF_x が混在し、さらに周波数や質量に応じた分布 (IEDF は図 3(a)) となると仮定します。一方、ALE の場合は、表面のポリマー層中に含まれる F がエッチャントとなり、また残留ガスやポリマーから生成される脱離物を無視できる場合には Ar^+ イオンのみがエネルギーを与えると仮定できます(図 3(b))。低ダメージ化を行う目的でバイアスのパワーを下げると、IEDF のグラフは低エネルギー側へシフトすると考えられますが(図 3(c))、エッチングイールドの閾値より低いエネルギーを持つイオンは実質的にエッチングには寄与しません。したがって、理想的な ALE はイオンのエネルギーを単色化し、かつ、エッチイールドの閾値よりもわずかに高いエネルギーに制御されるべきであると言えます(図 3(d))。

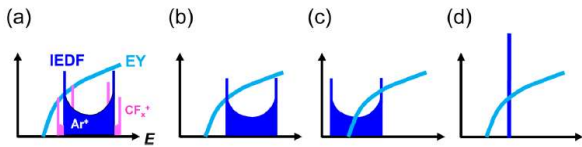


図 3: IEDF の違いの概念図

次に、図 3(a)を CW、図 3(b)を実際の ALE、図 3(d)を理想的な ALE(mALE)として、これらの特性差をシミュレーションで定量的に見ていきます。図 4(a)(b)はそれぞれ、mALE による SiO_2 と Si_3N_4 膜およびポリマー膜の膜厚変化を示しています。25s 付近で SiO_2 膜上ではポリマー膜がなくなり SiO_2 膜自体がエッチングされ始めますが、酸素を含まない Si_3N_4 膜の場合には、入射イオンがポリマー下部まで侵入し始めた場合の C の除去が SiO_2 膜の場合ほど進まないため、結果として厚膜化したポリマーによりエッチングが抑制されます。

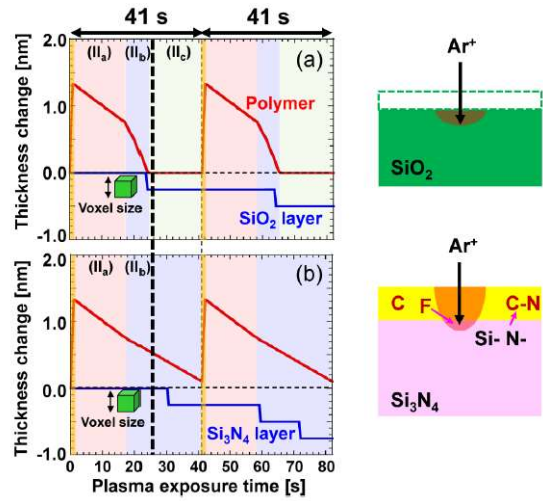


図 4: mALE での SiO_2 と Si_3N_4 膜の特性差

ダメージの観点から、CW、ALE、mALE の違いを見た結果が図 5 になります。同じバイアス 500V では CW が最も悪く、mALE が良いことが分かります。mALE でさらに 80V と低バイアス化することで、ダメージはより改善することが分かります。

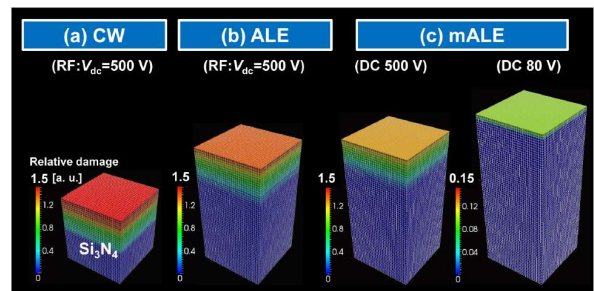


図 5: 各条件でのダメージ分布の違い

さらに、加工形状へのインパクトを調べるため、SAC(Self Aligned Contact)をモチーフに CW、ALE、mALE(低バイアス)の 3 条件でデモンストレーションした結果が図 6 です。低バイアス ALE を用いた場合には Si_3N_4 サイドウォールの肩部の削れ量が少なく、こうした繊細な制御が加工特性の向上につながることを示すことができました。

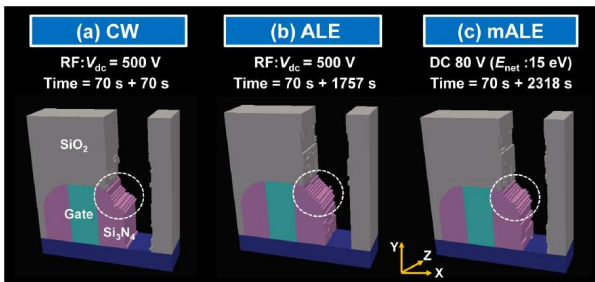


図 6: 各条件での加工形状の違い

ただ、mALE は ALE 同様、低エッチレートのためかなりの加工時間(図 6 中の Time)を要してしまいます。これを改善する方法を次に検討しました。

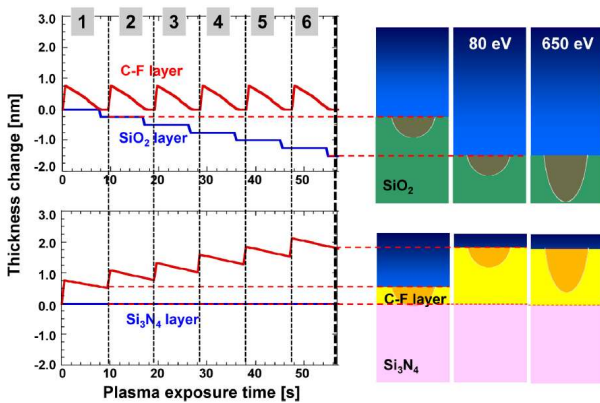


図 7: ポリマー膜厚とエッチング量の違い

図 4 で示したように、 SiO_2 と Si_3N_4 膜で、ポリマー残膜と自身のエッチング量に違いがありました。エッチステップの時間を短くしてサイクル数を重ねることで、図 7 のように、 SiO_2 膜のみが削れる ALE サイクルを実現することができ、この時、 Si_3N_4 膜上にはポリマー膜がサイクル毎に厚くなっていくことが分かります。このようにポリマー厚膜化したタイミングでエッチングステップ時にイオンエネルギーを上げることにより、 Si_3N_4 膜との選択比を 100 以上に保ったままエッチレートを 40nm/min 程度までであれば向上させ

ることができることが分かりました(図 8)。

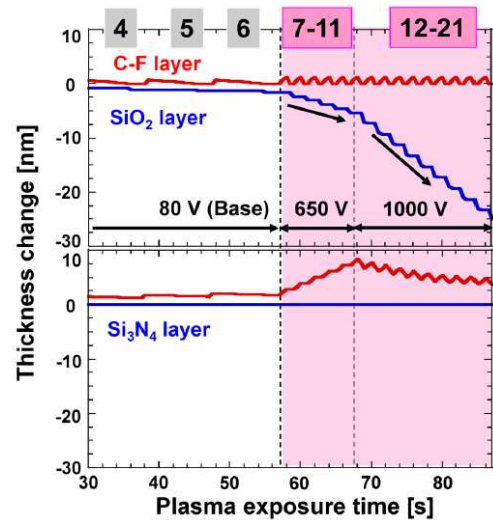


図 8: SiO_2 エッチレートの向上

本検討により、実プロセス中にポリマーの厚さを予測しつつイオンエネルギーを厳密に制御すること、イオンの質量及びエネルギーの単色化さらにはエッチステップに用いる Ar プラズマ中への F の混入の抑制等の影響を抑えることが実現できれば、ALE の処理速度を現実的な値にまで向上させられることを示すことができました。

【おわりに】

2020 年は、DPS2020 プログラム出版委員に加え、JJAP 特集号編集委員と応用物理学会の機関誌の企画・編集委員にも携わっております。諸先生方には色々とお世話になることがあるかと存じますが、引き続き、どうぞよろしく願いいたします。

参考文献

- [1] N. Kuboi et al., JVST A37 (2019) 051002.
- [2] N. Kuboi et al., JJAP 50 (2011) 116501.
- [3] N. Kuboi et al., JVST A33 (2015) 061308.
- [4] N. Kuboi et al., JVST A35 (2017) 061306.

第 18 回プラズマエレクトロニクス賞

プラズマエレクトロニクス賞を受賞して

キオクシア株式会社
名古屋大学

大村 光広、橋本 惇一、足立 昂拓、近藤 祐介、
石川 勝朗、阿部 淳子、酒井 伊都子、林 久貴
関根 誠、堀 勝

はじめに

この度は、第 18 回プラズマエレクトロニクス賞という大変栄誉ある賞を賜りまして、誠に光栄に存じます。ご指導頂きました先生方、ご支援いただきました皆様、ならびに選考に関係されました諸先生方に厚く御礼申し上げます。今回、受賞対象となりました論文「Formation mechanism of sidewall striation in high-aspect-ratio hole etching」[1] に関しまして、その研究背景と内容の一部を簡単にご紹介させていただきます。

論文内容

【背景】

IoT 時代を迎え、ビッグデータの効率的利用に応えるため、高記憶密度を実現する 3 次元フラッシュメモリの開発が必須となっています。3 次元フラッシュメモリはコントロールゲートを貫く多数のピラーを有しており、メモリーアレイはピラー(本稿ではメモリーホールと呼称します)に沿って形成されます。メモリーホールは積層膜のドライエッチングプロセスによって形成され、そのアスペクト比(深さと穴径の比)は 40 を超えます。よって 3 次元フラッシュメモリのキーテクノロジーはエッチングプロセスであると言えます。しかし高アスペクトホールのドライエッチングプロセスは、ボーイング、ディストーション、ツイスティング、ストライエーションといった多くの形状異常に関する問題を抱えています。ストライエーションはパターン側壁に生じる縦筋状の形状異常で

寸法バラツキの要因となるため、過去にも研究されています。例えばライン&スペースパターンのストライエーションは AFM によって解析されており、レジスト側壁のラフネスがエッチング中にストライエーションに変化し、被加工膜に転写されると報告されています[2]。本研究では、高アスペクトホール側壁に生じるストライエーションの形成メカニズムを詳細に検討致しました。

【実験方法】

パターンサンプルを用いた実験には 60/2MHz の 2 周波重畳容量結合型エッチング装置、ブランケット膜の実験にはイオンビームエッチング装置を用い、断面形状は SEM 及び TEM によって解析しました。

【結果と考察】

フルオロカーボンガスを含む混合ガスプラズマを用いてエッチングした、高アスペクトホールの断面 SEM 像を図 1 に示します。マスク材料はカーボン膜です。図 1(a)のようにストライエーションはボーイング形状の上部に観察され、右側に示すホールを輪切りにして観察した TEM 像でも内壁の薄い堆積膜と共に確認されました(図中の protection film は TEM 用サンプルを FIB で加工する際に保護膜として形成した金属含有膜です)。この原因を探るべく、既往の研究に倣ってマスク側壁を詳細に観察しましたが、その表面は平滑でした(図 1(b))。よって、本実験で観察されたストライエーションはマスクのモフォロジーが転写されたものでは無いと言えます。

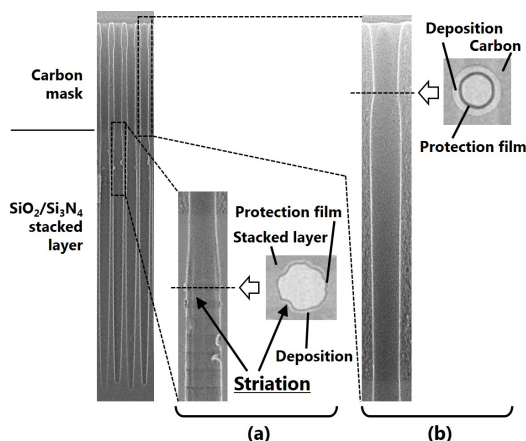


図 1 : 高アスペクトホール断面形状 (a) ストライエーション部、(b) マスク側壁

今回ストライエーションが観察されたような高アスペクト領域では、等方的なラジカルのフラックスは減少し、イオンやホットニュートラルなど、高エネルギーを有する粒子が反応を支配していると予想されます。この様な領域における高エネルギー粒子と絶縁膜表面の反応を詳細に調べるため、 SiO_2 、 Si_3N_4 及びフルオロカーボンのブランケット膜に、浅い角度(垂直より 85 度)で 800eV の Ar イオンビームを照射する実験を行いました。つまり、高アスペクトホール側壁に高エネルギー粒子が入射する状況を模擬した訳です。ここでフルオロカーボン膜を用いたのは TEM 観察時、内壁に堆積膜が見られたからです(図 1(a))。イオンビーム照射前後のブランケット膜表面を SEM 観察した結果を図 2 に示します。 SiO_2 及び Si_3N_4 では若干の表面荒れが観察される程度でした。一方、フルオロカーボン堆積膜にはストライエーションと類似した構造が観察され、その方向はビームの入射方向と平行でした。この様にストライエーションはフルオロカーボン膜上で形成されやすいと考えられます。

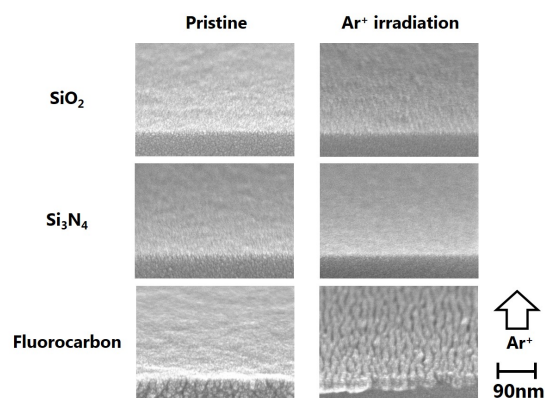


図 2 : Ar イオンビーム照射前後の SiO_2 、 Si_3N_4 、フルオロカーボン膜 SEM 像(鳥瞰図)

続いて、ストライエーション形成部のフルオロカーボン膜を調べました。図 3 は高アスペクトホール内壁に形成されたフルオロカーボン膜の膜厚を、絶縁膜加工深さに対してプロットしたのですが、ストライエーションが観察された領域のフルオロカーボン膜は約 3 nm と、側壁が平滑であった深い領域よりも厚いことがわかります。よって、この厚いフルオロカーボン膜がストライエーションの発生に関与したと考察しています。

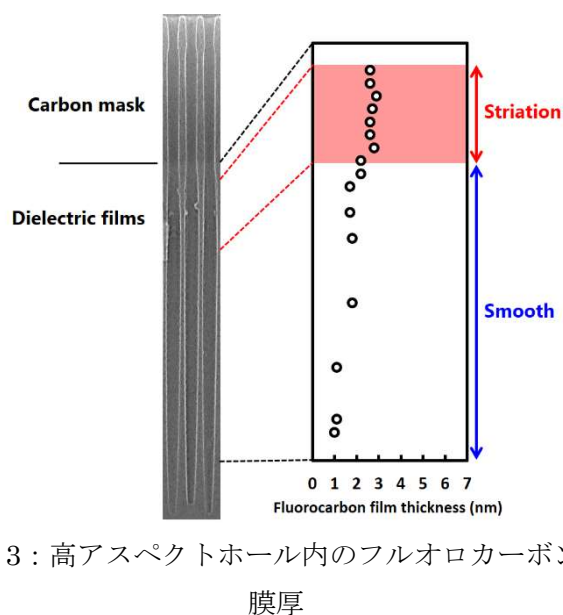


図 3 : 高アスペクトホール内のフルオロカーボン膜厚

最後にストライエーションの時間進展を調査しました。図4は50及び150 sec加工した高アスペクトホール断面SEM像を示しています。50 sec後、ホール上部に僅かながらストライエーションが観察されますが、酸素アッシングプロセス後には消失しました。一方、150 sec後はアッシング後もストライエーションが確認されます。これはエッチング初期にストライエーションがフルオロカーボン膜上に形成され、処理時間の経過と共に絶縁膜に転写された事を示しています。また穴径も徐々に拡大していく事がわかります。

ここでストライエーションの形成領域を確認してみます。まずアスペクト比を(カーボンマスク膜厚とエッチング深さの和) / (カーボンマスクのネック部寸法)と定義します。ネック部とはマスク上部でホール径が局所的に縮小している箇所の事です。図5は処理時間50から700 secの断面SEM像で、ストライエーション形成部を拡大すると共にアスペクト比が23にあたる箇所を図示してあります。これよりストライエーション下端のアスペクト比が全て約23になっている事がわかります。つまりストライエーションの形成領域はアスペクト比に強く依存していると言えます。

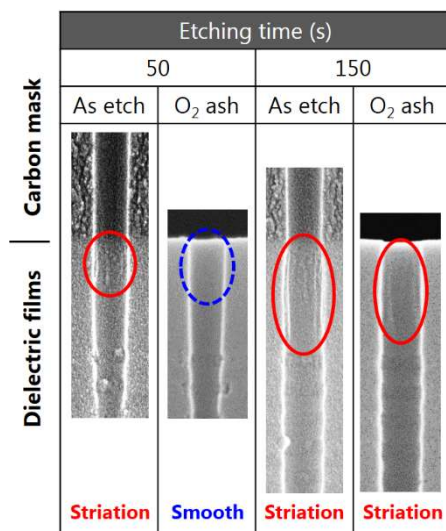


図4：50及び150 sec加工後の高アスペクトホール断面SEM像

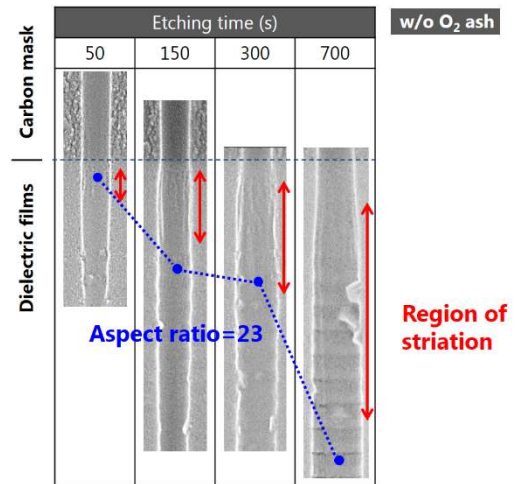


図5：ストライエーション形成部の時間進展

【まとめ】

高アスペクトホール側壁のストライエーション形成メカニズムを図6にまとめます。まずエッチング初期、ホール側壁のフルオロカーボン膜にストライエーションが発生します(a)。更にエッチングが進行すると、ストライエーションはホール径の拡大を伴いながらフルオロカーボン膜からシリコン絶縁膜に転写されます(b)。つまり、ストライエーションは水平方向に転写されると考えられ、これは既往の研究で報告されている垂直な転写[3]とは全く異なるメカニズムです。更にエッチングが進行するとマスク材料の減少に伴い、ストライエーションがアスペクト比に依存して、より深い領域に形成されます(c)。

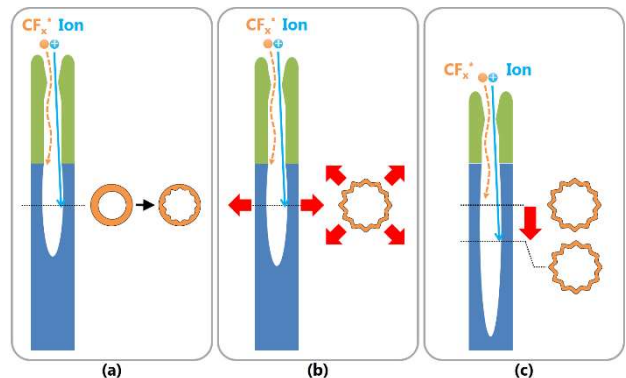


図6：高アスペクトホールにおけるストライエーションの形成モデル

終わりに

ドライエッチングを用いた絶縁膜の高アスペクトホール加工技術に関する研究は、2000年頃から報告件数が減少していますが、メモリメーカー各社では以前に増して開発に力を入れています。それは前にも述べた通り、エッチングプロセスがデバイスの構造、デザインを決める最大の要素になっているからです。今後、産学官が一体となった研究開発が推進され、本分野が学術的にもより一層深く理解され、発展し、限界を打破する新技術が創出される事を強く願っています。

参考文献

- [1] M. Omura et al., Jpn. J. Appl. Phys. **58**, SEEB02 (2019).
- [2] D. L. Goldfarb et al., J. Vac. Sci. Technol. B **22**, 647 (2004).

フェムト秒レーザー誘起液中プラズマ反応場における 水和電子挙動の時空間分解計測

東京大学, 産総研オペランドOIL 榊原教貴

はじめに

近年、液相を介したプラズマプロセスが大きな注目を集めており、ナノ材料合成や改質をはじめとして、環境、農業、医療に至るまで、幅広い分野でその応用展開が急速に進められている[1]。液相を介したプラズマプロセスは、熱プラズマによるアーク溶射や誘導結合プラズマ (ICP) による化学分析手法等と、従来から広く用いられてきた。近年になり、プラズマ中のガス温度を室温付近に抑えた大気圧非平衡プラズマ技術が進展したことで、液相内部でのプラズマ誘起液相反応場の重要性が高く認識されるようになってきている。

プラズマと接した液相では、プラズマ由来の反応活性種によって反応が誘起される。水和電子 (e_{aq}^-) や OH ラジカル等をはじめとする多種の短寿命活性種が生成されると同時に、長寿命活性種の生成、帯電、熱輸送、光化学反応等が並行して進行するため、極めて特異的な反応場となる。しかしながら、短寿命活性種を中心として、反応活性種の挙動計測は反応場の複雑さゆえに困難を極める。特に、プラズマ誘起液相反応に大きく関与する水和電子に関しての報告例は数少ない[2]。

本研究では、プラズマ反応場における水和電子挙動の解明を目的に、ポンプ-プローブ計測システムを構築し、フェムト秒レーザーで誘起した液中プラズマ反応場における水和電子挙動の時空間分解計測を行った[3]。

実験方法

チャープパルス増幅により出力されたフェムト

秒レーザーパルスを用いたポンプ光、および時間分解計測用のプローブ光として用いた。超短パルス光を用いることで、高密度なプラズマ生成および高い時間分解能が可能となる。本研究では、1 ps 以下の時間分解能を確認している。図 1(a)に示すように、ポンプ光 (800 nm, 50 fs, 5 mJ) を集光することで液中プラズマを生成し、水和電子の吸収ピーク波長に近い 800 nm のプローブ光 (50 fs, < 0.1 mJ) をポンプ光と垂直な方向から入射させることで、シャドウグラフ像および吸光度の経時変化を取得した。同時に、レーザー干渉法により自由電子の密度を推算した。

実験結果および考察

図 1(b)のシャドウグラフ像に示すように、液中プラズマ生成に伴う水和電子の時空間分解挙動が

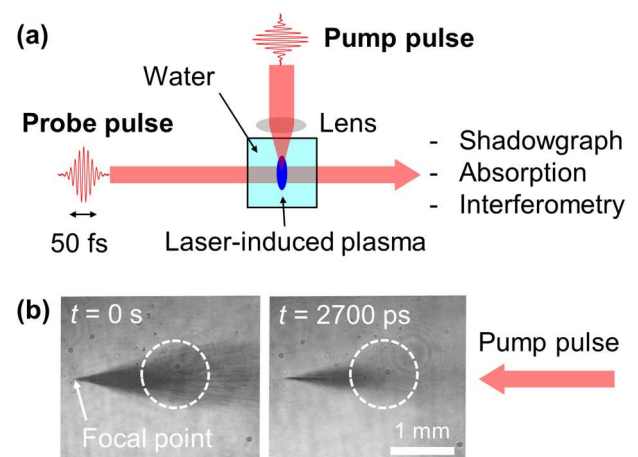


図 1 (a)フェムト秒レーザーを用いたポンプ-プローブ計測システム, (b)純水中におけるレーザー生成プラズマの時間分解シャドウグラフ像。

観測された。なお、ポンプ光が集光点に到達した時刻を $t=0$ s とする。本挙動を図 1(b)の白い点線枠内にて吸収計測により定量的に計測した、吸光度の経時変化を図 2 に示す。まず、電子捕捉剤である NO_3^- を添加した溶液中においては、純水中に比べて水和電子の生成量および寿命が著しく低下した。本消滅挙動は、赤色の実線で示すように、 NO_3^- による水和電子捕捉 ($e_{\text{aq}}^- + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_3^{2-}$) の反応速度式を用いて、既往の報告[4]の範囲内にある速度定数 ($k_1 = (1.8\text{--}2.0) \times 10^{10} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$) にてフィッティングされた。これより、水和電子挙動を観測できていると確認された。

一方で、純水中においては、水和電子密度は消滅初期において 500–1000 ps 程度の寿命で減衰した。一般に、消滅過程の初期においては、水和電子は親カチオンとのクーロン力によるジェミネート再結合により消滅し、その寿命は 10–100 ps 程度であることが知られている[5]。しかし、本結果では、水和電子は 1 桁程度長い時間ジェミネート過程にある。この特異的な挙動は、水和電子の消滅と生成のバランスによって説明され得る。実際、ポンプ光がプラズマ領域を通過した後 ($t > 0$ s) においても、衝突電離や励起種の脱励起光による光励起等によって自由電子が生成されていることを、干渉法による自由電子密度の計測から確認している。すなわち、自由電子の生成に伴うさらなる水和によって水和電子の生成が生じ、ジェミネート再結合過程が長寿命化したと考えられる。

他方、時間の経過に伴い水和電子の減衰が著しく遅くなっている。本挙動は、ジェミネート再結合過程から逃れた水和電子が、マイクロ秒前後の遅い時定数を持つ、周囲の水分子を介した自己再結合 ($2e_{\text{aq}}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$) による消滅過程に徐々に移行したためと考えられる。詳細については、論文[3]を参照いただきたい。

以上、本研究ではフェムト秒レーザーを用いた

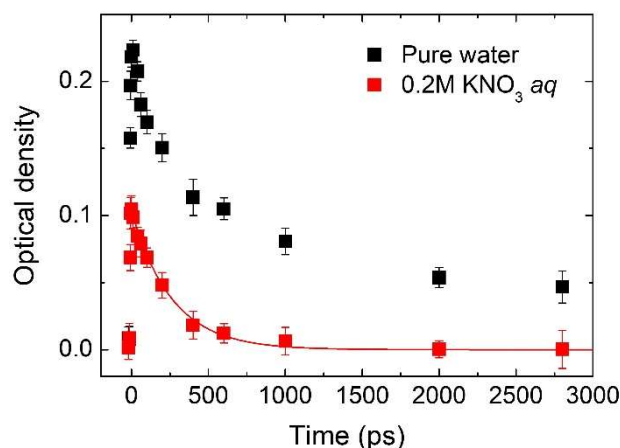


図 2 純水中および KNO_3 溶液中における吸光度の経時変化。

ポンププローブ法により水和電子の時空間分解計測を行い、レーザー誘起の液中プラズマ反応場における特異的な水和電子挙動を明らかにした。

謝辞

この度、第 47 回応用物理学会講演奨励賞という大変名誉ある賞を賜りまして、大変光栄に存じます。審査委員の先生方をはじめ関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。また、本研究を進めるにあたり、多くのご指導とご助言を賜りました寺嶋和夫教授、伊藤剛仁准教授（東京大学）、三浦永祐 上級主任研究員、伯田幸也チーム長（産総研）にこの場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- [1] P. J. Bruggeman et al., *Plasma Sources Sci. Technol.* **25** (2015) 053002.
- [2] P. Rumbach et al., *Nat. Commun.* **6** (2015) 7248.
- [3] N. Sakakibara et al., submitted.
- [4] H. Zhang et al., *J. Phys. Chem. A* **111** (2007) 11584.
- [5] H. Liu et al., *J. Phys. Chem.* **93** (1989) 27–28.

研究室紹介

東北大学 大学院工学研究科 電子工学専攻 プラズマ理工学分野 金子・加藤研究室

東北大学 金子俊郎, 加藤俊顕, 高島圭介, 佐々木渉太

1. はじめに

本研究室は平成 24 年（2012 年）4 月に、八田吉典先生、佐藤徳芳先生、畠山力三先生が歴代の教授を務められた伝統ある研究室を引き継ぐ格好でスタートし、現在は教授 金子俊郎、准教授 加藤俊顕、特任准教授 穂坂紀子、助教 高島圭介、助教 佐々木渉太の教員と、事務補佐員 1 名、研究補佐員 2 名の職員、博士後期課程 3 名、博士前期課程 8 名、学部 4 年生 5 名の学生で構成されています（図 1）。

本研究室の源は、昭和 34 年から八田吉典教授が担当された「電子工学科気体電子工学講座」であります。昭和 54 年に佐藤徳芳教授が本講座を担当され、プラズマ非線形現象・自己組織化現象の研究や次世代材料・デバイス作製プロセスに必要とされる大面積プラズマ生成に関する研究等を展開されました。本講座は平成 6 年に「電子工学専攻・物性工学講座・プラズマ基礎理工学分野」に振り替えられ、平成 9 年に畠山力三教授が担当されてからは、独自のプラズマ装置を用いたカーボ

ンベースの新規ナノ構造物質創製、プラズマ波動・不安定性、プラズマ構造形成等の実験的研究を展開されました。平成 24 年に分野名が「プラズマ理工学分野」に変更され、同年に金子が本分野を担当することになり、現在に至っています。

2. 研究内容

本研究室では、未知の領域・未来科学技術開拓の担い手である非平衡プラズマの基礎的挙動を解明することにより、新しい工学的応用を切り拓くことを目的とした研究を行っています。特に、非平衡プラズマにより過渡的に高効率生成される、物質合成前段階の「前駆体」、安定化学物質生成前の「短寿命活性種」が、未来の材料プロセス、生体・植物機能制御に極めて重要となると考えて、本研究室では、①非平衡プラズマを生成・精密制御する手法を開発し、その物性を明らかにするプラズマ基礎物理・化学研究、②大気圧非平衡プラズマを生体や植物に作用させ、生体細胞への遺伝子・薬剤導入促進や植物免疫の活性化等を目指し



図 1：研究室構成メンバー。

たプラズマ生命科学研究, ③短寿命活性種のプラズマ制御生成と化学薬品を使わない殺菌・消毒へ応用するプラズマ衛生化学研究, ④非平衡プラズマを用いて新規ナノ物質を創製することで, 高性能太陽電池, 量子コンピュータ等への先端的应用を目指したプラズマ材料科学研究, 等を行っています. 今回の研究室紹介では, これらのトピックに関連した幾つかの研究について, 内容を紹介します.

(1) 非平衡プラズマ基礎物理・化学研究

●磁化プラズマ電子温度勾配不安定性の機構解明

未来の新エネルギー源として期待される核融合発電の実現には, 高温・高密度の非平衡プラズマの閉じ込めが不可欠ですが, プラズマ中に存在する空間勾配由来の不安定性により閉じ込めが妨げられています. プラズマ不安定性には様々なものがありますが, 我々は電子スケールの不安定性である電子温度勾配 (ETG) モードに注目しています. 本研究では非平衡磁化プラズマ生成装置である『Q_T-Upgrade 装置』(図 1) を用いて ETG を制御し, ETG モードの励起機構や ETG モードに伴うエネルギー移送機構等の解明を目指しています[1].

●プラズマ生成短寿命活性種の計測

大気圧非平衡プラズマを用いた応用が盛んに研究されており, 多くの場合, 液体と直接接触する気液界面プラズマが使用され, 液体表面に局在す

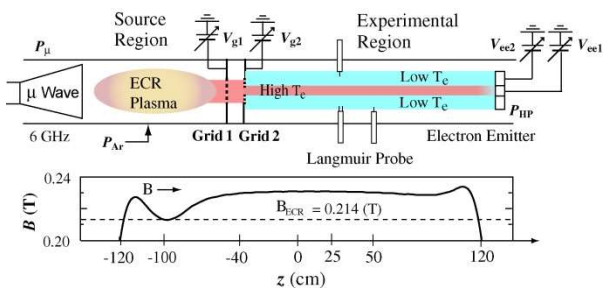


図 1 : Q_T-Upgrade 装置.

る短寿命活性種が重要な役割を果たすと考えられています. しかし, 1 秒以下で消失する短寿命活性種の計測は大変難しく, 測定された例がほとんどありません. 本研究では, 10 m/s を超える高速液流をプラズマ中に導入できる『高速液流導入大気圧プラズマ生成装置』を開発することで, プラズマ生成短寿命活性種の減衰を, 50 μs 程度の時間精度で測定することに成功しました(図 2(a)). さらに, この実験的観測を説明する理論モデルを構築することで, プラズマ生成短寿命活性種の挙動解明を目指しています.

●非自己維持直流放電による窒素振動励起

本研究では, 非平衡プラズマを用いた空気中の窒素固定技術の開発を行っています. プラズマ中では窒素の解離は容易に引き起こされますが, 反応活性化エネルギーが高く, プラズマ窒素固定の高効率化の実現は一般的に難しいとされています. 我々は, プラズマ中の大部分を占める低エネルギー電子が窒素分子を振動励起できることに着目し, 振動励起状態の窒素分子を酸素原子と反応させる (Zel'dovich 機構) ことで, 窒素の解離に必要な活性化エネルギーが低下させ, 効率的な窒素固定が可能になると考えています. この高効率な窒素振動励起実現のため, 放電電力の大部分を振動励起に利用できる放電プラズマ生成を目的として, 高電圧繰り返しナノ秒パルス電圧に振動励起に適

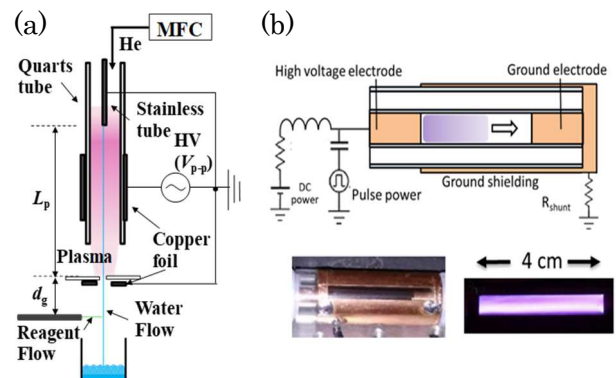


図 2 : (a)高速液流導入大気圧プラズマ生成装置, (b)非自己維持直流放電装置.

した直流電界を重畳印加した『非自己維持直流放電装置』を開発しています(図 2(b)) [2].

(2) 非平衡プラズマ生命科学研究

●低侵襲・高効率プラズマ遺伝子導入法

本研究では、プラズマを医療に応用する研究の中で遺伝子や薬剤を細胞内に低侵襲・高効率で導入するプラズマ遺伝子・薬剤導入技術の開発を行っています。遺伝子導入は、医学・生物学の中心テーマである遺伝子機能解析や iPS 細胞作製等に欠かせない必須の技術であります。また、癌やエイズ等の治療法として期待される遺伝子治療実現において、低侵襲・高効率遺伝子導入法の開発が急務の課題となっています。そこで本研究では、大気圧下で非常に低いガス温度(40°C以下)を有する『大気圧非平衡ヘリウムプラズマジェット』を用いて、プラズマの生成条件を精密に制御して生細胞に直接照射することで、薬剤模擬蛍光分子(YOYO-1), RNA, DNA を細胞内に導入することに成功しています(図 3) [3].

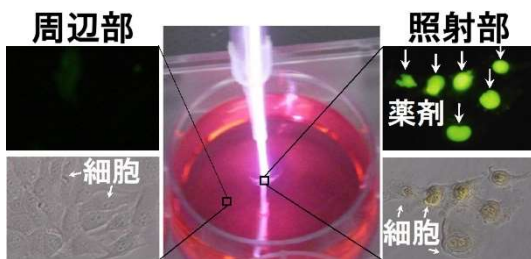


図 3: 大気圧非平衡ヘリウムプラズマジェットによる局所的な薬剤(YOYO-1)導入。

さらに、新たに溶液中でプラズマを生成する『液相中プラズマ生成装置』を開発し、プラズマが誘起する物理的・化学的な刺激を細胞に作用させることで、高効率・低侵襲な薬剤・遺伝子導入を実現しようと試みています。本研究で開発した液相中放電システム(図 4)を使用することで、生理食塩水中の任意の場所で mm スケールの微小な

プラズマの安定生成に成功し、細胞への照射を通して薬剤模擬蛍光分子の局所的な細胞内導入が可能であることを実証しています[4].

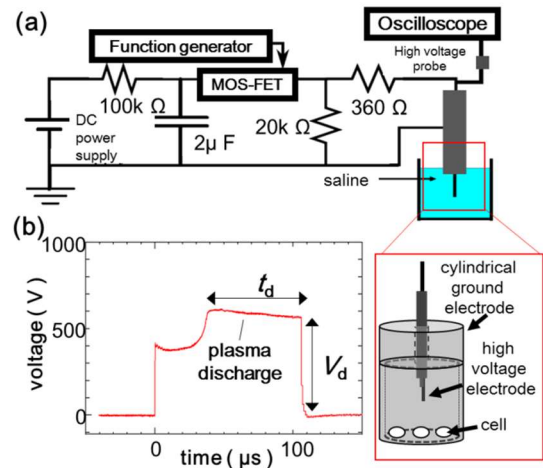


図 4: (a)液相中プラズマ生成装置, (b)典型的な液相中プラズマ放電波形。

これらの分子輸送が惹起される詳細な機序を解明するために、細胞を生きたまま観察するライブイメージング技術を採用し、一般的にシグナル伝達の上流に位置する Ca^{2+} シグナルと YOYO-1 導入量の時間推移を測定しました。その結果、プラズマ照射による分子輸送は、数分程度以下の寿命を持つ活性種によって引き起こされた、TRP チャンネルが介在する細胞膜輸送であることを明らかにしています[5].

(3) 非平衡プラズマ衛生化学研究

●植物病原菌のプラズマ殺菌システム

植物に感染する病原菌に対して、プラズマの殺菌作用を利用して、化学農薬に依存せず、残留性や健康、環境への影響が少ない効率的な殺菌方法が求められています。プラズマ照射による殺菌効果については多くの先行研究がありますが、支配的な活性種の特定や菌特性を考慮した照射法の確立などに関しては未解明な部分が多いのが現状です。本研究では、原料ガスとして空気と水を用い

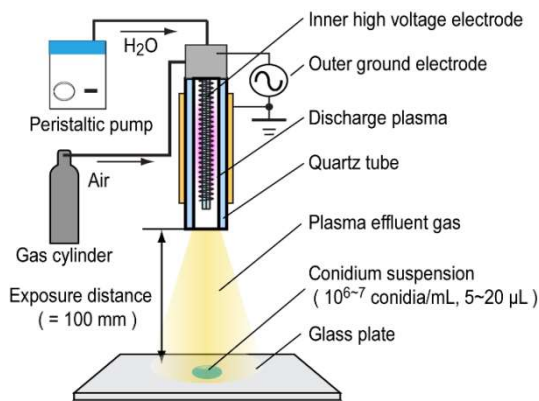


図 5：水添加空気プラズマ噴霧装置。

た『水添加空気プラズマ噴霧装置』(図 5) を作製し、個々の病原体の菌特性を考慮した最適のプラズマ照射条件を明らかにする[6]と共に、イチゴ苗育成中の殺菌システムの開発を目指しています。

さらには、プラズマ中に液体肥料の成分である硝酸カリウムを高速で射出し、電気伝導性の液体であることから電極として用い、プラズマと液体の接触を誘導する、新たな『プラズマ照射溶液直接噴霧装置』や空気プラズマ活性ガス (air plasma effluent gas: air PEG) を精製水に溶かすと同時に噴霧する『空気プラズマ活性ガス溶解液 (air PEG dissolved solution: air PEGDS) 噴霧装置』(図 6) を新たに作製し、液相に生成された短寿命活性種を照射対象へ短時間で輸送し、処理時間の短縮を目指した研究も展開しています[7]。

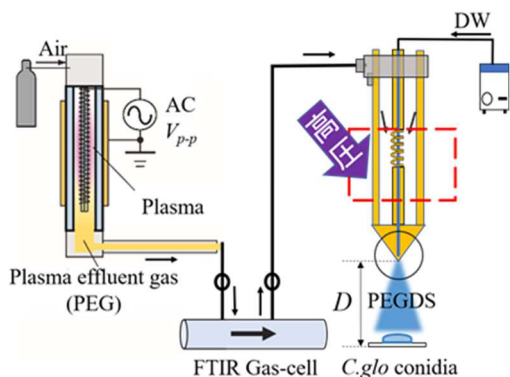


図 6：空気プラズマ活性ガス溶解液噴霧装置。

(4) 非平衡プラズマ材料科学研究

●カーボンナノチューブのカイラリティ制御合成

炭素 1 次元物質である単層カーボンナノチューブ (SWNTs) の物性は、“カイラリティ”と呼ばれる原子構造によって決定され、さらに原子 1 個分のずれによって物性が金属から半導体へ変化してしまう特長をもつため、産業応用に向け原子レベルで構造制御する手法確立が世界中で大きな課題となっています。本研究では、我々が開発した『拡散プラズマ化学気相堆積 (CVD) 装置』を用いて、プラズマが持つ特異な反応場制御性を最大限活用したカイラリティ制御合成を目指しています。気相中の成長前駆体や触媒表面状態等を積極的に制御した全く新しいカイラリティ制御合成手法の開発を展開し、実際これまでに、ナノスケール触媒の表面酸化度を精密に制御し (6,4) SWNTs の優先成長に世界で初めて成功しています[8]。

また第一原理計算や理論の専門家と共に、詳細な合成機構解明にも取り組み、カイラリティ決定における普遍的モデルの構築を行っています。さらに、近年では情報科学との融合にも力を入れ、機械学習を活用した新たなカイラリティ制御手法の開発にも挑戦しています。

●グラフェンナノリボンの構造制御合成

炭素 2 次元シート物質であるグラフェンは、様々な優れた物性を持つことから、次世代の電子材料として大きく期待されています。しかしグラフェンは、一般的に金属的な振る舞いを示すため、半導体デバイスに応用することが困難です。これに対し近年、グラフェンの幅をナノメートルオーダーまで微細化したグラフェンナノリボン (GNR) が半導体的特性を示すことが明らかになりました。これにより、GNR 合成に関する研究が世界中で盛んに行われています。特にナノスケール幅の GNR の構造を原子レベルで制御して合成する手法と、電子デバイス応用を見据え GNR を集積化

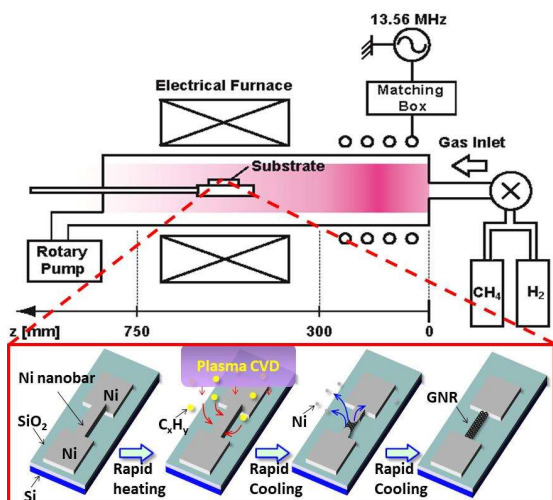


図 7：急速加熱拡散プラズマ CVD 装置。

する手法に関しては、世界中で効果的な手法が確立されていないのが現状です。そこで本研究では、現在の半導体デバイスの大規模集積化技術を支えているプラズマプロセスを活用することで、GNRの大規模集積化合成手法の開発を目指して研究を行っています。

実際これまで、ニッケルの微小構造と非平衡場におけるプラズマ CVD を組み合わせた『急速加熱拡散プラズマ CVD』（図 7）を開発し、GNRの大規模集積化合成に世界で初めて成功しています[9,10]。さらに本研究では、GNR が持つ従来半導体材料には無い特徴的な物性を活用したデバイス応用を目指し、透明太陽電池、光メモリ、及び量子コンピュータ等の革新的応用開拓にも挑戦しています。

3. おわりに

本研究室では「非平衡プラズマ科学」の新局面を切り拓くことを目標として、これまで紹介しました様々な装置を自分達で設計・製作して、地道な基礎物理・化学研究を積み上げるとともに、医療科学、植物科学、衛生化学、材料科学、電子デバイス工学との異分野融合研究を推進しています。

このようなプラズマ学際研究を推進するため、

2020 年 4 月に東北大学大学院工学研究科に『非平衡プラズマ学際研究センター』を設置していただきました。金子がセンター長を務めさせていただき、学内の 50 名を超える先生方に参画し協力していただくことで、非平衡プラズマを活用した新しい異分野融合研究に果敢に挑戦していきたいと思っております。プラズマエレクトロニクス分科会の皆様方におかれましては、今後ともご指導とご鞭撻をいただきますよう、よろしくお願い申し上げます。

参考文献

- [1] C. Moon, T. Kaneko, K. Itoh, K. Ida, T. Kobayashi, S. Inagaki, S. I. Itoh, and R. Hatakeyama; *Plasma Phys. Control. Fusion*, **58**, (2016) 105007-1-6.
- [2] Y. Kunishima, K. Takashima, and T. Kaneko; *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, (2019) 060908-1-5.
- [3] T. Kaneko, S. Sasaki, K. Takashima, and M. Kanzaki; *J. Clin. Biochem. Nutr.*, **60**, (2017) 3-11.
- [4] R. Honda, S. Sasaki, K. Takashima, M. Kanzaki, T. Sato, and T. Kaneko; *Jpn. J. Appl. Phys.*, **59**, (2020) 040904-1-4.
- [5] S. Sasaki, M. Kanzaki, and T. Kaneko; *Sci. Rep.*, **6**, (2016) 25728-1-5.
- [6] K. Shimada, K. Takashima, Y. Kimura, K. Nihei, H. Konishi, and T. Kaneko; *Plasma Process. Polym.*, **17**, (2020) e1900004-1-15.
- [7] K. Takashima, Y. Hu, T. Goto, S. Sasaki, and T. Kaneko; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, (2020) in press (DOI: 10.1088/1361-6463/ab87bd).
- [8] B. Xu, T. Kaneko, Y. Shibuta, T. Kato; *Sci. Rep.*, **7**, (2017) 11149-1-9.
- [9] T. Kato and R. Hatakeyama; *Nat. Nanotechnol.*, **7**, (2012) 651-656.
- [10] H. Suzuki, T. Kaneko, Y. Shibuta, M. Ohno, Y. Maekawa, and T. Kato; *Nat. Commun.* **7** (2016) 11797-1-10.

プラズマの流体シミュレーション入門

東京農工大学 西田浩之

1. はじめに

昨今、工学分野において数値シミュレーションは実験と並び必要不可欠な研究開発ツールであり、プラズマ工学も例に漏れない。実験的計測技術は日々進歩しているが、それぞれの手法には一長一短あり、必要なプラズマ状態を得ることは容易ではない。数値シミュレーションは、「好きな物理量を好きな時間と空間の分解能」で得ることができる強力なツールと言える。しかし当然のことながら、数値シミュレーションは万能ではない。正しい計算手法とセッティングでなければ計算は発散し解は得られないし、計算が発散しなくとも、現実的な計算機パワーに見合った計算コストでなければやはり解は得られない。そしてなにより、シミュレーションにはモデリングや計算手法などに起因した誤差が必ず含まれ、得られた解がいつも正しいとは限らないのである。

近年、無償や商用のシミュレーションソフトが数多く利用できるようになりシミュレーションのハードルは大きく下がったが、「結果の妥当性」の判断はユーザーに委ねられる。分野によって現象の空間と時間スケールが大きく異なり、また化学反応と電磁場との干渉を含むプラズマの数値モデリングは極めて多岐に渡る。適切な数値モデルを選択し、結果の妥当性を判断する高い専門知識が必要とされる。

本稿では、プラズマを連続体近似した流体シミュレーションに特に焦点をあて、その基礎について述べる。また、筆者のこれまでの研究実績に基づき、数例ではあるがプラズマの数値モデルとシミュレーション例について紹介する。

2. プラズマのモデリングと適用範囲

多岐に渡るプラズマの数値モデルを分類する観点はいくつか考えられるが、プラズマを構成する粒子同士の空間的・時間的干渉スケールによって分類すると、図1のようになる。

一番右側のモデル (Particle-in-Cell : PIC) は、粒子の運動論に基づく最も第1原理に近い (ある制限内では) 厳密なモデルと言える[1]。しかしながら計算コストが高く、比較的低压力なプラズマに主に適用される。一方で、中・高压力なプラズマを扱う場合には、粒子についてアンサンブル平均をとることで得られる流体近似 (連続体近似) モデル[2]を用いることが一般的である。図1において左へ進むほど近似の度合いは大きくなり計算コストは低い。一方で、考慮されない現象が増えるため、その適用可能範囲には注意が必要である (複雑な現象が取り除かれた解釈しやすい解が得られるとも言え、メリットでもある)。図1は大まかな分類であり、近似の度合いに応じた多様なモデルが存在し、また考慮するプラズマ化学反応や電磁場とのカップリング手法によっても変化する。

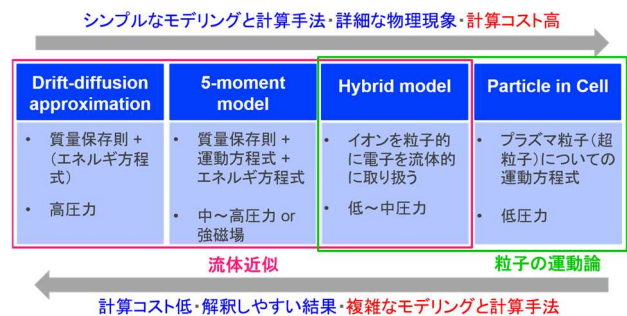


図1 プラズマのモデリングと適用範囲

流体近似とは、粒子群を連続体として近似するものであり、粒子の速度分布関数が Maxwell-Boltzmann 分布（局所熱平衡状態）であることが適用条件である。つまり、系の特性時間が局所熱平衡状態に緩和する特性時間より十分に長い必要がある。通常、粒子間衝突により速度分布関数は局所熱平衡状態に緩和するため、以下の Knudsen 数が判断の指標に用いられる。

$$K_n = \frac{\lambda}{L} \ll 1 \quad (1)$$

ここで、 λ は粒子の平均自由行程、 L は系の代表長さである。ただプラズマの場合、必ずしも粒子間衝突のみが局所熱平衡状態への緩和を担うわけではない。電磁場を介しても粒子同士がエネルギーをやり取りするためであり、このことから以下のラーマ半径 - 代表長比も良く用いられる。

$$\frac{R_L}{L} \ll 1 \quad (2)$$

ここで、 R_L はラーマ半径である。(2)式は、プラズマと磁場が強く干渉している状態であることを意味している。Knudsen 数かラーマ半径 - 代表長比、どちらかが条件を満たせば流体近似可と判断する。

3. プラズマの多流体方程式

イオンと電子の双方を流体近似可能な条件における最も完全な支配方程式系として多流体方程式を以下に記す（図1の 5-moment model）[2]。

$$\frac{\partial}{\partial t}(m_s n_s) + \nabla \cdot (m_s n_s v_s) = S_s \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(m_s n_s v_s) + \nabla \cdot (m_s n_s v_s v_s + p_s I) \\ = \nabla \cdot \tau_s + q_s (E + v_s \times B) \\ + A_s \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left(m_s n_s \left(e_s + \frac{1}{2} v_s^2 \right) \right) + \nabla \cdot \left(m_s n_s \left(e_s + \frac{1}{2} v_s^2 \right) v_s \right) \\ = \nabla \cdot (\tau_s \cdot v_s - Q_s) + q_s n_s v_s \cdot E \\ + M_s \quad (5) \end{aligned}$$

ここで、添字 s は粒子種を表し、それぞれの粒子種について式がたてられるため、多流体方程式と呼ばれる。 m, n, v, p, q, E, B はそれぞれ粒子質量、粒子密度、流速ベクトル、圧力、粒子の電荷、電場ベクトル、磁束密度ベクトルを表し、 τ, Q は粘性テンソルと熱流束ベクトルである。また、 S, A, M は他粒子種との衝突に起因したソース項で、考慮する粒子種や化学反応モデルにより変化する。

(3)式は質量保存の式であり、ソース項の S は放電によるプラズマ生成と再結合による消失を表す。(4)式は運動量保存の式である。右辺第1項は流体粘性による運動量損失を、第2項はクーロン力、第3項はローレンツ力の寄与を表す。ソース項の A は他粒子との衝突による運動量交換及び粒子の生成・消失に伴う運動量変化である。(5)式はエネルギー保存を表す。右辺第3項がジュール加熱を、ソース項 M は他粒子とのエネルギー交換及び粒子の生成・消失に起因した影響を表している。

(3)~(5)式はこのままでは解くことができない。電磁場の項が決まらないからである。電磁場の Maxwell 方程式と連立することで方程式系を閉じることができ、解くことが可能になる。

4. 数値シミュレーション方法

流体方程式系を数値的に解く手法について説明する。ただし、方程式のタイプと必要な精度に対応して数多くの数値解法が存在するため、網羅することは難しい。ここでは代表的な解法を取り上げ、基礎的なエッセンスのみを説明する。

4-1 離散化

前章で述べた方程式系は、時空間方向に離散化

を施すことで時間発展的に解くことができる。その概要を図2に示す。

実世界において、プラズマ密度や電場などの物理量は時間と空間に対し連続的に分布するが、その情報を計算機上に保持し計算するために必要な手続きが離散化である。図2示すように空間を格子状に分割し(空間の離散化)、各格子上における物理量を計算機が保持する。必ずしも直交格子である必要はない。まず初期状態を設定し、その初期状態から微小な時間 Δt 後の状態(格子点上の物理量)を求める。そして、その Δt 後の状態をもとにして更に Δt だけ時間を進めた状態を計算する。このように離散的な時間進行計算を繰り返すことで、任意の時刻 t の状態を求めることができる。

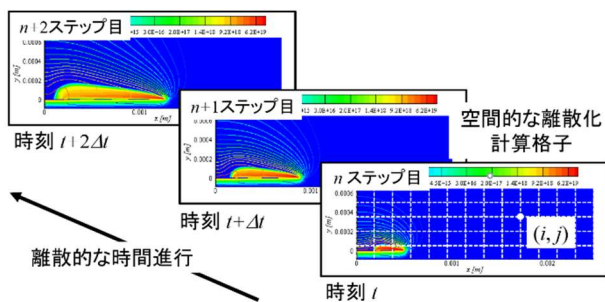


図2 時空間の離散化(誘電体表面と伝播するストリーマ放電のシミュレーション結果)

時空間の離散化方法は計算結果を左右する重要な要素である。空間の離散化で言うと、流れ場の構造や境界層、プラズマシースを十分に分解できるだけの解像度がないと正しい解は得られない。また、プラズマの流れ方向と格子は沿っていることが望ましく、流れの形状が複雑だと格子生成に研究時間の大部分を割くことになることも珍しくない。時間方向についても、現象を十分時間分解できるだけ小さくとる必要があるし、計算の安定性にも関わってくる(後述)。

4-2 差分法

微分方程式の数値解法の基礎として差分法がある。流体方程式の時間方向微分を例に、差分法の基本的な考え方を説明する。

(3)~(5)式の流体方程式は、それぞれ微分方程式として以下の様な形で書き表されている(保存系で書き表された流体方程式)。 Q は密度や運動量などの物理量、 F は各物理量の流束である。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \nabla \cdot F = R \quad (6)$$

既知である時刻 t における物理量 $Q(t)$ から Δt 後の物理量 $Q(t+\Delta t)$ を求めることを考える。 $Q(t+\Delta t)$ を時刻 t の周りでテイラー展開すると、

$$Q(t+\Delta t) = Q(t) + \frac{\partial Q}{\partial t} \Delta t + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} \Delta t^2 + \dots \quad (7)$$

$$\therefore \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{Q(t+\Delta t) - Q(t)}{\Delta t} + O(\Delta t^2) \quad (8)$$

を得ることができる。(8)式右辺の第1項が Q の時間微分の差分近似を表しており、第2項は第1項の差分近似に Δt^2 のオーダーの近似誤差が含まれていることを示している。差分近似を(6)式に適用し、時刻 t を n 時間ステップ目、時刻 $t+\Delta t$ を $n+1$ ステップ目と表記すると、以下の式により($\nabla \cdot F$ の項が計算できれば)各格子点上において近似的に時間進行計算できることが分かる。

$$Q^{n+1} = Q^n - \Delta t (\nabla \cdot F^n - R^n) \quad (9)$$

このように、既知である n ステップ目の物理量のみから $n+1$ ステップ目を求めることができる解法を陽解法と呼ぶ。(9)式の時間進行計算は、(8)式から1ステップ当たり Δt^2 のオーダーの誤差を含み、時刻0から t まで計算を進めたとすると Δt のオーダーの誤差となる。時間1次精度のEuler陽解法と呼ばれる数値解法である。2次精度以上の解を得る方法としては、Runge-Kutta法などの有名な解法がある[3]。

陽解法には Δt に対し安定に計算する為の制約

があることに注意が必要である。これは CFL 条件と呼ばれ、計算格子が細かいほど、流れの特性速度が速いほど、 Δt を小さく設定する必要がある[4]。この制約は陰解法を用いることで外すことができるが、いずれの手法を用いる場合でも、現象を解像できるだけ Δt 小さくすることは必要となる。

4-3 有限体積法

次に、 $\nabla \cdot \mathbf{F}$ の項を数値的に近似計算する手法として、有限体積法を紹介する[4]。有限体積法では、空間（計算領域）が格子によりコントロールボリュームと呼ばれる微小体積のセルに分割されていると考え（図3）、物理量はセル中心において保持される。図3において、添字の i と j はセルの番号（空間2次元）であり、 V_{ij} はセル体積である。

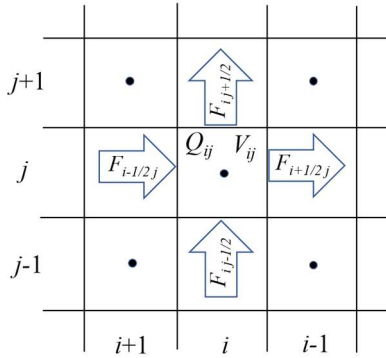


図3 有限体積法におけるセルと数値流束の定義

(i, j) のセルについて(9)式を体積分し、Gaussの積分定理を利用して変形すると下記の式が得られる。

$$\int Q^{n+1} dV = \int Q^n dV - \Delta t \int (\nabla \cdot \mathbf{F}^n - R^n) dV \quad (10)$$

$$\therefore Q_{ij}^{n+1} V_{ij} = Q_{ij}^n V_{ij} - \Delta t \oint \mathbf{F}^n \cdot d\mathbf{s} + \Delta t R_{ij}^n V_{ij} \quad (11)$$

ここで、右辺第2項はセルを囲む境界面における面積分であり、下記のように離散的に書きなおすことができる。

$$\begin{aligned} \therefore Q_{ij}^{n+1} V_{ij} = & Q_{ij}^n V_{ij} - \Delta t (\mathbf{F}_{i+\frac{1}{2}j}^n S_{i+\frac{1}{2}j} - \mathbf{F}_{i-\frac{1}{2}j}^n S_{i-\frac{1}{2}j} \\ & + \mathbf{F}_{ij+\frac{1}{2}}^n S_{ij+\frac{1}{2}} - \mathbf{F}_{ij-\frac{1}{2}}^n S_{ij-\frac{1}{2}}) \\ & + \Delta t R_{ij}^n V_{ij} \end{aligned} \quad (12)$$

セル番号につく $\pm 1/2$ はセル境界面の位置を表し、 S はセル境界面積である（図3）。物理量はセル中心において値を持つが、 Q_{ij} と R_{ij} のそれぞれはセル内の平均値を表し、(12)式は保存則に従って値を更新することを意味している（質量や運動量、エネルギーの保存は計算を通して保たれる）。セル境界面において定義される \mathbf{F} は数値流束と呼ばれ、様々な数値流束の評価方法（スキーム）が存在し、問題に応じて適切に選択する必要がある。

4-3 シミュレーションにおける注意点

プラズマシミュレーションにおいては電磁場の Maxwell 方程式を連立して解く必要があるが、これは FDTD 法などの良く知られた方法で解けば良い。ただ、(3)~(5)式で表される流体方程式と電磁場の Maxwell 方程式から成るフルセットの方程式系がそのまま解かれることはあまり一般的でないと言える。その理由は、プラズマシースを解像するための細かい計算格子と電磁波を捉えるための小さい Δt が必要となり計算コストが高いことに加え、プラズマ振動等の高周波振動により計算が不安定になりがちなためである。様々な物理的仮定に基づき簡略された流体モデルが用いられることが多く、プラズマの流体シミュレーションにおいて、プラズマをどうモデル化するかは重要であり、高度な専門知識を有する作業である。

5. シミュレーションの事例紹介

前章で述べた通り、問題に応じた物理的仮定に基づき様々な流体モデルが存在する。本章では、筆者の研究実績に基づき、流体モデルとシミュレ

ーション例について数例を紹介する

5-1 Drift-Diffusion モデル

コロナ放電やバリア放電などの大気圧放電で多くのシミュレーション実績があるのが Drift-Diffusion モデルである (図 2 の一番左側のモデル). 背景の中性粒子との頻繁な衝突がプラズマ運動に支配的な力を及ぼすと考えられるときに適用可能なモデルである[5]. 運動量保存の式 ((4)式) において左辺第 1 項と第 2 項, 及び粘性と誘導磁場の影響を無視し, またプラズマを等温と仮定すると下記のように簡略される.

$$p_s \mathbf{I} = q_s \mathbf{E} - m_s n_s \mathbf{v}_s v_{sn} \quad (13)$$

$$\therefore \mathbf{v}_s = \text{sgn}(q_s) \mu_s \mathbf{E} - \frac{D_s \nabla n_s}{n_s} \quad (14)$$

ここで, v_{sn} はプラズマ粒子と中性粒子の運動量移行衝突周波数であり, 式変形において理想気体の状態方程式を用いている. $\text{sgn}(q_s)$ は電荷の符号を表し, μ_s と D_s はそれぞれ移動度と拡散係数と呼ばれるパラメータで, 下記のように定義される.

$$\mu_s = \frac{|q_s|}{m_s v_{sn}}, D_s = \mu_s T_s \quad (15)$$

T_s はプラズマの温度である. すなわち, この近似において, プラズマ流速は移動度と拡散係数を用いて電場と密度勾配から決定される. 加えて, 電子のエネルギー分布関数が速やかに平衡状態に達すると仮定し, 移動度や拡散係数, 電離周波数などのパラメータ (スウォームパラメータ) が換算電界 ($|E|/p$) の関数として表す (局所電界近似) [5]. これにより, エネルギー保存の式は必要がなくなる. 結果として, 静電場のポアソン方程式を加え, 支配方程式は以下のように具体的に書ける.

$$\begin{aligned} \frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla \cdot (-n_e \mu_e \mathbf{E} - D_e \nabla n_e) \\ = (v_i - v_a) n_e - r_{ep} n_e n_p \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial n_p}{\partial t} + \nabla \cdot (n_p \mu_p \mathbf{E} - D_p \nabla n_p) \\ = v_i n_e - r_{ep} n_e n_p - r_{pn} n_p n_n \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial n_n}{\partial t} + \nabla \cdot (-n_n \mu_n \mathbf{E} - D_n \nabla n_n) \\ = v_a n_e - r_{pn} n_p n_n \end{aligned} \quad (18)$$

$$\nabla \cdot (\epsilon_0 \nabla \phi) = \sum_s q_s n_s \quad (19)$$

添字の e は電子, p は正イオン, n は負イオンを表す. ϕ は静電ポテンシャルである. プラズマ化学反応として, 正イオンを作る電子衝突電離と負イオンを作る電子付着, 正負の電荷を持った粒子間の再結合を考慮しており, v_i, v_a が電離周波数と電子付着周波数, r が再結合係数である. これらの反応周波数や移動度, 拡散係数などのスウォームパラメータは, BOLSIG 等のソフトウェア[6]で計算するか, 文献から引用することができる.

例として, 誘電体で分かれた 2 枚の電極の間に生じるバリア放電 (図 4) のシミュレーション結果を示す. これはプラズマアクチュエータと呼ばれる流体制御デバイスであり, 空気中に露出した AC 電極端から誘電体表面に沿うようにバリア放電が進展する[7]. シミュレーションでは, 誘電体表面における帯電とイオン衝突による 2 次電子放出を考慮している.

図 5(a) と (b) に正極放電と負極放電のそれぞれについて, 電子密度分布の 3 次元シミュレーション結果を示す. 図のように, 分枝構造を伴ったストリーマ型の正極性放電を, 負極性においてはグロー型の拡散的なマイクロ放電構造を再現するこ

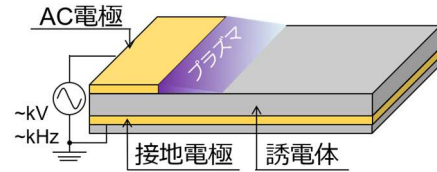


図 4 プラズマアクチュエータ (バリア放電を利用した流体制御デバイス)

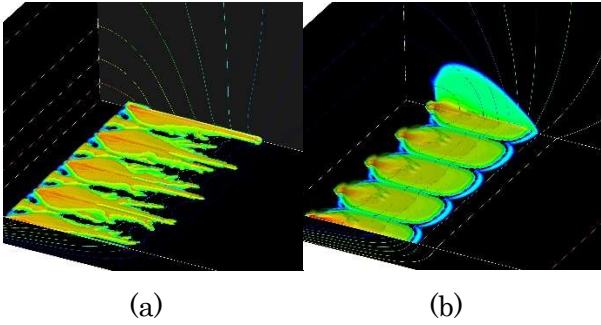


図 5 プラズマアクチュエータにおけるバリア放電の数値シミュレーション結果. (a) ストリーマ型の正極性放電, (b) グロー型放電

とが可能である.

5-2 理想電磁流体モデル

磁場が存在する場合の巨視的なプラズマ現象 (長い時間・空間スケールの現象) を扱うことが可能なプラズマの流体モデルが, 電磁流体モデルである[8]. 地球磁気圏や太陽コロナなど, 天体プラズマの数値シミュレーションに良く用いられる.

電磁流体モデルでは, ゆっくりした時間変化とデバイ長よりも十分大きい空間スケールを考え, 電荷中性 ($n_e = n_i$) を仮定する. そして, 電子とイオン, それぞれの流体方程式を足し合わせることで1流体方程式とする. 電磁場についてはアンペールの法則における変位電流項を無視し, またオームの法則を用いることで方程式系を閉じる. レイノルズ数と磁気レイノルズ数が十分に大きい (流体粘性の効果が無視でき, プラズマの電気抵抗がゼロ) と仮定できる場合に, 以下の理想電磁流体方程式系を得ることができる.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \mathbf{v} + p \mathbf{I}) = \mathbf{j} \times \mathbf{B} \quad (21)$$

$$\frac{\partial E_n}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\left(E_n + p + \frac{B^2}{2\mu_0} \right) \mathbf{v} - \frac{\mathbf{B}(\mathbf{B} \cdot \mathbf{v})}{\mu_0} \right) = 0 \quad (22)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} - \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = 0 \quad (23)$$

$$\mu_0 \mathbf{j} = \nabla \times \mathbf{B} \quad (24)$$

$$\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B} = 0 \quad (25)$$

ここで, \mathbf{j} は電流密度, μ_0 は真空の透磁率である. E_n はエネルギー密度であり, 以下のように定義される.

$$E_n = \frac{\rho v^2}{2} + \frac{p}{\gamma - 1} + \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (26)$$

理想電磁流体方程式はプラズマの電気抵抗がゼロの極限を仮定しており, これは高温の完全電離プラズマを意味している. よって, プラズマの生成など, 背景中性粒子との衝突に起因したソース項は上記の方程式系に含まれていない.

例として, 超音速プラズマ流とコイル磁場の干渉をシミュレーションした結果を図6に示す. これは, 宇宙空間において太陽から吹くプラズマ流である太陽風を, 磁場を帆として受け止めることで推力を得る宇宙推進システム (磁気セイル) を想定して行ったシミュレーションである[9].

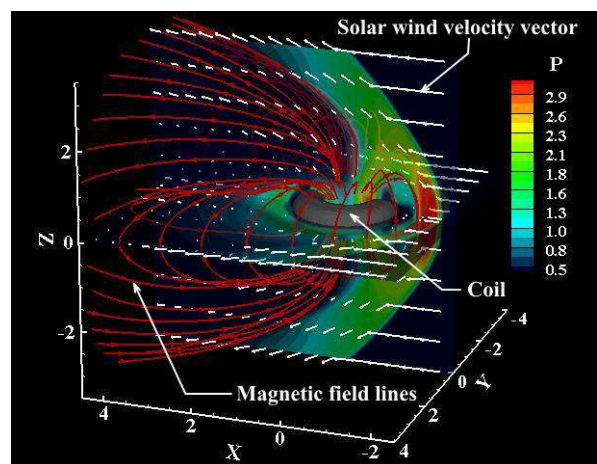


図 6 磁気セイル周りのプラズマ流れの数値シミュレーション結果

図 6 には、太陽風流速ベクトル、磁力線、プラズマ圧力分布がプロットされている。コイル磁場は太陽風との干渉により吹き流され変形し、コイルの周りに磁場の閉じ込められた領域「磁気圏」を形成する。太陽風は磁気圏の内部には侵入せず、磁気圏の風上側には磁気圏との衝突により衝撃波を形成している。磁気セイルの推進原理は、磁気圏を帆として太陽風圧力を受け止め、それにより推力を得るというものであり、数十 km の磁気圏を形成できれば、推進剤を必要としない宇宙探査機を実現できる可能性を秘めている。

6. 終わりに

本稿では、プラズマの流体シミュレーションについて、その基礎を説明した。プラズマには、採用する物理的な仮定や近似に応じて極めて多様な数値モデル（支配方程式）が存在する。研究対象に対し、解析したい現象を踏まえ適切な物理的仮定に基づいた数値モデルと計算手法を選択することが大切である。また、得られたシミュレーション結果が必ずしも正しいとは限らないことをよく認識しておくべきである。可能なら実験結果との比較を行いつつ、得られた結果の妥当性（物理的

な正しさ）を吟味することが必要である。

参考文献

- [1] C.K. Birdsall, C.K. Langdon; “*Plasma Physics via Computer Simulation*”, (MacGraw-Hill, New York, 1985)
- [2] 田中基彦, 西川恭治; “*高温プラズマの物理学*”, (丸善, 1991)
- [3] S. Gottlieb, C.W. Shu; *Math. of Comp.* (1998) 73.
- [4] 藤井孝蔵; “*流体力学の数値計算法*”, (東京大学出版会, 1994)
- [5] 日本学術振興会プラズマ材料科学第 153 委員会; “*大気圧プラズマ基礎と応用*”, (オーム社, 2009)
- [6] BOLSIG+; <http://www.bolsig.laplace.univ-tlse.fr/>.
- [7] H. Nishida, T. Nonomura, T. Abe; *J. Appl. Phys.* (2014) 133301.
- [8] 富阪幸治, 花輪知幸, 牧野淳一郎; “*シミュレーション天文学*”, (日本評論社, 2007)
- [9] 西田浩之, 小川博之, 船木一幸, 稲谷芳文; 日本航空宇宙学会論文集 (2007) 43.

カリフォルニア大学バークレー校 滞在記

東京工業大学 竹内 希

はじめに

2019年の7月～9月の3ヶ月間、カリフォルニア大学バークレー校（UC Berkeley）の David Graves 先生の研究室に滞在しました。UC Berkeley 滞在は4回目になりますので、過去の滞在時の思い出・情報も含めつつ、滞在記を書かせていただきます。

UC Berkeley を初めて訪れたのは2009年9月、学振特別研究員 PD のときで、当時 Graves 研究室に所属されていた崎山幸紀博士に師事し、シミュレーション技法について学ぶべく2週間滞在しました。なお、崎山さんの UC Berkeley 滞在記はプラズマエレクトロニクス分科会会報 No.49 に掲載されています。2回目は2012年10月～12月、東工大の助教のとき（12月から講師）で、JSPS 組織的な若手研究者等海外派遣プログラム「東工大グローバルネットワークを活用した先導的国際工学研究者養成プログラム」というプログラムで派遣され、当時 Graves 先生が活発に研究されていたプラズマバイオ応用の研究に従事しました。3回目は2013年の6月で、当時の研究室の博士課程学生が Graves 研究室に留学していたため、同時期にサンフランシスコで開催された IEEE ICOPS に参加しつつ、1週間滞在しました。そして今回の4回目は、東工大の「海外大学重点校への教員派遣」というプログラムで滞在しました。東工大がこのプログラムを利用する教員に期待するものは、「大学及び各部局等が戦略的に連携強化を図る重点校との橋渡し役を担う」ことだと思います。ただし、「新しい研究領域の開拓や挑戦、国際共同研究の推進、海外機関において自己研鑽を

行う」という目的も選択肢にあったため、Graves 先生との共同研究を主目的として、端的に言えばタスクフリーで、3ヶ月間好きなように実験をする時間をいただきました。考えれば、2017度～2018年度の2年間も、東工大から産業技術総合研究所に転籍出向し、自ら実験できる環境を満喫していたのですが、大学に帰ってきて早々にまた数ヶ月いなくなるという暴挙を許してくれた同僚の先生方、秘書さん、および迷惑をかけた研究室の指導学生に感謝です。

UC Berkeley

UC Berkeley は、カリフォルニア州の州立大学であるカリフォルニア大学の発祥地であり、1868年に設立されました。愛称は Cal です。アメリカ名門公立大学の集まりである「パブリック・アイビー」の一角で、様々な大学ランキングで上位に位置する名門校です。

学生数は26,000人程度で、男女比率はおおよそ半々、学内を歩いても女子学生が多いな、という印象を受けます（比較対象は東工大）。また、半分くらいの学生はアジア系の印象です。正確なデータは確認していませんが、ガイダンスで聞いた英語が正しく理解できていれば100を超える学部・専攻があり、理工系、文系ともに有名です。学内にあるセイザータワー（写真1）という時計塔がシンボルで、鐘楼としては世界で3番目に高いそうです（94 m）。観光客も入場料を払えば登ることができ（エレベータ付き）、サンフランシスコの町並みやサンフランシスコ湾が見渡せます。

UC Berkeley のキャンパスがあるバークレーは

サンフランシスコベイエリア内、サンフランシスコ湾の東岸に位置し、サンフランシスコまでは電車 (BART) で 25 分くらいとアクセスしやすい好立地です。UC Berkeley の正門 (写真 2) までは BART の Downtown Berkeley 駅から徒歩 5 分くらいですが、大学は丘陵地帯 (山?) に広がっているので、キャンパス内の大部分に行くには結構な傾斜の坂を登っていく必要があります。なお、私の名前とバークレーでググると単行本の情報が出てきますが、私とは一切関係ございません。

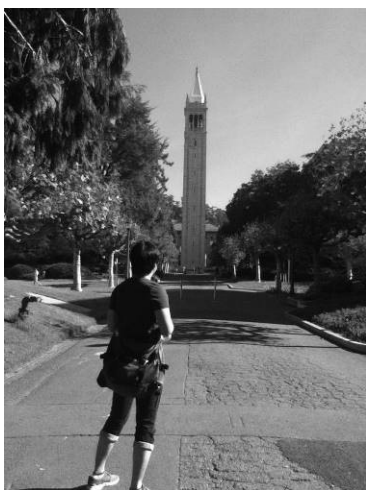


写真 1 : セイザータワーと若かりし頃の僕



写真 2 : UC Berkeley 正門

スタンフォード大学など、ベイエリア近辺の他の大学や研究所、企業に長期滞在する方にも共通の悩みと思いますが、サンフランシスコ界隈は現在、アメリカで一番家賃が高いエリアになってい

ます。今回私は、UC Berkeley まで徒歩 8 分くらいの 1LDK の家具付きアパートに滞在しましたが、家賃は月額約 30 万円でした。2012 年と比べて 2 倍以上相場が上がっています。学生さんをベイエリアの大学に留学させたい、というような先生がいらっしゃいましたら、その辺りも考慮していただけると良いかと思います。

Graves 研究室

Graves 先生は化学工学専攻の所属で、研究室の学生を含め、多くの人から親しみを込めて Dave と呼ばれています。Graves 研究室は、Dave が UC Berkeley に着任した 1986 年頃にスタートしたものと思われます。プラズマ研究者の皆さんならば誰でも目にしたことがあるプラズマのテキストを執筆された、Lieberman 先生の流れを汲む研究室です。私の 1 回目～3 回目の滞在の頃は、お忙しい不在も多い Dave を崎山さんが支え、学生の実験指導も担って研究室が回っていましたが、3 回目の滞在中に突然、「来月から Lam Research に行くから、あと頑張ってください！」と崎山さんが旅立たれてしまいました。この後、研究室の全てが分かっている常駐のスタッフがなくなったので、研究室運営が少し大変になったかもしれません。

数年前までは半導体プロセス研究とバイオ応用研究の二本柱で、5 人程度の学生と、各国の研究機関・大学・企業からの短長期滞在者で賑わっていました。ただし、今回私が滞在した期間は、研究テーマの転換期 (バイオ→農業応用) で、また、博士学生が卒業してしまった直後だったこともあり、常駐しているのがポスドク 1 人だけという少し寂しいタイミングになってしまいました (写真 3)。Dave は今年の 5 月頃で授業負担がなくなるそうで、その後は研究の時間が取れる、と嬉しそうでした。大学院生を 5 人くらい雇って、新たなテーマを精力的に進めていくものと思います。

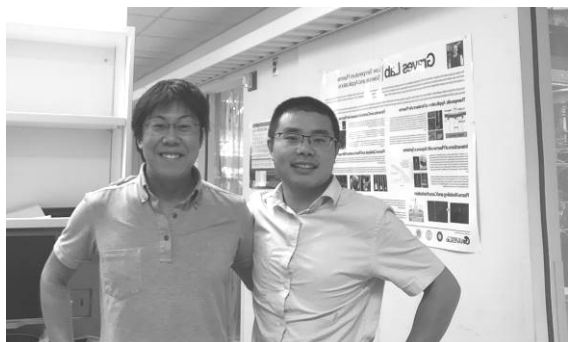


写真 3 : ポスドク Kai と僕

UC Berkeley では大学院生 1 人当たり、年間 \$9,000 くらいのお給料を払っています。5 人いたらそれだけで年間 500 万円。日本であれば、高い装置を買わなければ研究室を運営できるくらいです。さらにポスドクは年間 \$50,000 弱くらい（このくらいあげないとバークレーで生きていけない）。アメリカの研究室運営はお金がかかります。

Graves 研での研究生活

今回は 90 日弱の滞在だったので、VISA が必ずしも必要ではないのかもしれませんが、多くのプログラムでは VISA 取得が必須であると思われ、かつ、持っていないとアメリカの入管で不審に思われます。ということで、きちんと UC Berkeley 側に手続きを依頼して、家族分も VISA をとって滞在しました。アメリカ入国前から色々と学内の手続きを進めてもらい、身分証 (Cal ID) も取得できました（実は 2 回目の滞在のときは取らなかった）。それでも、ID の取得や各種オリエンテーションへの出席、e ラーニングによる安全教育の受講など、実験を正式に始められるまでに 2 週間はかかりました。

滞在中は、日本から持っていったプラズマリアクタを Graves 研にあったパルス電源で駆動して、活性種の計測を行っていました。必要な物品の購入は Dave の予算を使わせてもらって、ポスドク Kai の手を借りて買っていました。色々と援助い

ただいた Dave と Kai に感謝です。実験が軌道に乗ってからは、週に 1 回、Dave と Kai と 3 人のミーティングで研究進捗を報告しました。東工大にいては基本的に指導側なので、こちらが発表して意見をもらえる機会は貴重なものです。

私は以前に長期滞在していて、学内外の地理や事情が分かっていたため、比較的すぐに研究を始められました。それでも少し時間切れで、研究成果をまとめるには至りませんでした。皆さんが海外で研究を行う場合は、初めての滞在では 1 ヶ月くらいあつという間に過ぎてしまうかと思います。なので、環境が許せば最低 6 ヶ月、できれば 1 年間滞在できると、研究をかなり進められるのではないかと思います。UC Berkeley でやっていた研究の続きを東工大に戻ってやろうと思っていたのですが、まだできる時間がとれていません。アメリカでの 3 ヶ月よりも、日本での半年の方があつという間です。ということで、研究に進捗がありましたら応物でも発表したいと思います。

おわりに

博士課程のときにはカナダに留学していたので、学生、ポスドク、助教（途中から講師）、准教授と、様々な立場で海外での研究生生活を体験できました。学生のときは、ありきたりな表現ですが、人生観が変わるような経験で、そのときのラボメイトとは国際共同研究を行うような関係に発展できました。大学教員になると、学内の会議だけでなく、学会関係の仕事でも多くの時間をとられると思います。海外に逃げると物理的な拘束時間が圧倒的に減りますので、実験もたくさんできるし、色々深く考える時間もとれます。これは、先数年間の研究の展開を考える貴重な機会であると感じます。皆様、色々立場やご事情は異なるかと思いますが、海外で研究を行うチャンスがあったら迷わずに手を挙げることをオススメします。

プラズマ若手チャプター

北海道大学 白井直機

応用物理学会には若手チャプターという制度がありますが、この度プラズマ若手チャプターを発足させていただきました。主たるメンバーは応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会に所属する若手研究者で構成されております。

機関誌「応用物理」(Vol.89、No.6、2020)でも紹介の記事を書かせていただきましたので、重複する内容もございますが、そちらも参考にいただければと思います。これまでも若手研究者間での交流の場はありましたが、今回、応用物理学会の若手チャプターの制度を利用して、より“密な”交流ができればと思っております。現在、新規のメンバーも絶賛募集中であります。

昨年度の活動を紹介しますと、2回ほど会合を開催しました。1回目は秋季講演会の期間に実施し、20名(大学12、高専1、独立行政法人1、企業6)の参加がありました。このときは参加者の自己紹介と今後の企画について意見交換を行い、終了後には懇親会を行いました。2回目は12月に名古屋大学で実施し、参加者は11名(大学10、企業1)で2019年に名古屋大学に完成した低温プラズマ研究センターの見学を行った後、参加者それぞれの研究を紹介する研究会を行いました。この研究会では、気心の知れた若手メンバーの議論ということで、普段学会等ではなかなか聞けない裏話があり、思いのほか議論が白熱し、予定していた時間を超過するほど続きました。この研究紹介が好評だったことから、次回の会合(2020年秋頃開催予定)でも引き続き実施することとなりました。ぜひ学生さんや多くの企業関係者の方にも参加いただければと思います。・・・と、ここまで当たり障

りのない話を書いた本稿を執筆中の2020年5月の原稿締め切り直前の現在は、コロナ禍による緊急事態宣言の延長が決定し、多くの方々が外出自粛を余儀なくされている時期かと思えます。まさか自分が生きている間にこんな事態が起きるとは夢にも思いませんでした。一般的な会社でもテレワークの推奨、大学でもオンラインでの講義や会議が始まり、これからの大学での講義の在り方、研究方法、学会運営も大きく変わってくるのではないかと思います。若手チャプターでもこのような状況を想定していませんでしたが、新しい研究交流方法を模索中です。現状はZoom等を使った勉強会や飲み会といった既に世の中で当たり前のよう实施方式を考えていますが、若手間でアイデアを出し合って、まったく新しい交流の場(物理的な“密”は避けつつ、交流の“密”を高めるといった)を作ることができればと考えています。新しいアイデアをお持ちの方がいらっしゃれば、ぜひ参画していただきたいと思えます。なお、プラズマ若手チャプターにおいては、年齢制限は設けておらず、自称若手とされる方で(これは易)、且つ現メンバーの承認が得られれば(こちらは難?)、入会可能ということにしています。かくいう私も一般的にはもはや若手とは言えない年齢となりましたので、近いうちに次世代の若手の皆様に運営をお譲りしたいと思います。学生さんやポストドクの方たちが気軽に参加いただけるように今後も企画を考えたいと思えますので、ぜひご参加ください。また企画の提案もお待ちしております。

国際会議報告

The 11th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-11)

金沢大学 田中康規

APSPT-11 が 2019 年 12 月 11 日～12 月 14 日の 4 日間にわたり石川県金沢市の金沢商工会議所において開催された。APSPT (Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology)は、当初は台湾のプラズマ科学技術者と日本のプラズマ科学技術者との交流を意図して作られた国際シンポジウムであり、隔年で台湾にて開催されてきた。日本側の受け入れ主団体は電気学会プラズマ技術委員会（電気学会プラズマ技術委員会は、放電技術委員会とパルスパワー技術委員会と統合して、2019 年 1 月 1 日付で電気学会放電・プラズマ・パルスパワー技術委員会となった）、今回は日本学術振興会 153 委員会にも人的協力をいただいている。これまでに APSPT は 10 回開催されており、第 9 回には、初めて台湾を出て日本・長崎で開催された。これ以降は、日本と台湾の交互開催が予定されており、APSPT-11 は日本での 2 回目の開催となった。

APSPT-11 会議のトピックは、昨今の日本・台湾、さらには世界のプラズマ研究動向も踏まえ、以下の 13 個が設定された：

1. Fundamentals of plasmas
2. Plasma diagnostics and modeling
3. Thermal plasmas
4. Low pressure plasmas
5. High-pressure and multiphase plasmas
6. Space plasmas
7. Plasmas in biomedical and agricultural applications
8. Plasmas in energy and environmental

applications

9. Plasmas in materials processing, coating and surface modifications
10. Plasmas in nano-materials processing
11. Plasmas in aerospace/space applications
12. Advanced and novel plasma technologies and sources
13. Other plasmas

基調招待講演(Plenary Invited Lecture) は日本から 2 名、台湾から 2 名の講演となった。日本からは、九州大学・渡辺隆行先生に”Thermal Plasma Characterization and Process Control Diagnostics for Innovative Material Processing”と題して熱プラズマを用いた材料プロセス・診断の最新動向とその結果について、産業界からの講演として日立製作所の栗原優様には”Single Reaction Control for Atomic Layer Etching”と題して最新の ALE 研究についてご講演頂いた。一方台湾側からは、国立台湾大学の Prof. I-Chun Cheng に、"Application of Atmospheric Pressure Plasma in Organo-Metal Halide Perovskite-Based Photovoltaic Devices"の題目で有機無機ハイブリッド構造のペロブスカイト結晶を用いた太陽電池材料への大気圧非平衡プラズマプロセスの応用をご講演頂いた。さらに国立台湾科技大学の Prof. Meng-Jiy Wang からは”Plasma Modified Surfaces: Tailoring of Properties for Biomedical Devices and Applications”との題目で大気圧非平衡プラズマのバイオ医療応用の最新研究が報告された。

Keynote Invited Lecture は各セッションに配置

し計 15 件とした。これら Keynote の招待講演者として日本側と台湾側とからそれぞれ 7 および 8 件ずつとした。会期中に Special workshop も開催し、今回は ”International Workshop on Plasma Technology for Diamond Growth and Diamond Device Fabrication” のタイトルで国内外からの研究者がダイヤモンドプロセスに関する講演を行った。Special workshop に並列に、Oral competition for young scientists を、独立した 2 セッションで開催し、あらかじめ選ばれた候補者がそれぞれのセッションで講演した。さらにポスターセッションを 2 セッション開催した。最終的に Oral competition で 2 名の若手研究者が、Poster competition で 2 名の若手研究者がそれぞれ awardees として選ばれ、閉会式で表彰された。

最終的な講演件数は、Plenary 講演 4 件、Keynote 講演 15 件、一般口頭発表 54 件、Oral competition 発表 16 件、ポスター発表 88 件(Poster competition for young scientists を含む)、Special workshop での口頭発表 4 件である。以上、講演件数は合計 201 件であった。

参加登録者数は国内一般+学生が 154 名（招待講演を含む）、台湾一般+学生が 43 名（招待講演を含む）、その他の地域 13 名の計 210 名であった。APSPT は元来、日本と台湾との交流を目的としたものであるため、国外からの参加者は台湾からの方がほとんどであるが、特に国内からの参加者の比率が多くなった。各セッションにおいて活発に質疑がなされた。

次回の APSPT-10 は、台湾・台北の国立台湾科技大学 (National Taiwan University of Science & Technology) にて、2021 年 12 月に開催予定である。

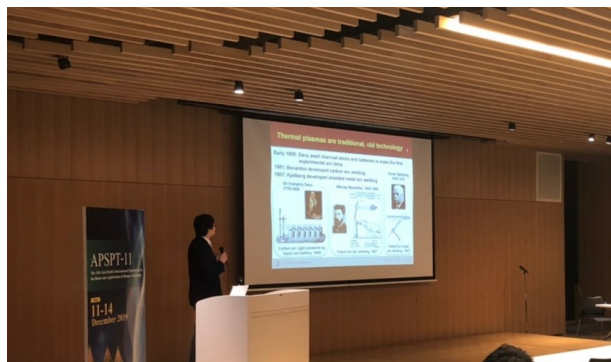


図 1. 九州大学・渡辺隆行教授の基調講演の様子

第 30 回プラズマエレクトロニクス講習会 報告

三菱電機株式会社 友久 伸吾

第 30 回プラズマエレクトロニクス講習会が 2019 年 11 月 12 日(火)に、田町グランパークカンファレンスホールにて開催されましたので、以下に報告します。

当講習会では、下記に示すように産業応用で必要とされるプロセスプラズマの生成・診断・制御の基礎と、その先端応用技術について、各分野において第一線でご活躍の 5 名の先生方からご講義いただきました。学生 8 名を含む 64 名が参加し、基礎から応用まで幅広い内容の講義を受けました。

プログラムと概要 (終了後、懇親会を開催)

1. 『反応性スパッタリングの基礎と応用展開』
青山学院大学 重里 有三 先生
2. 『プラズマの基礎と計測技術』
埼玉大学 稲田 優貴 先生
3. 『非平衡プラズマ生成制御とプロセス』
大阪大学 節原 裕一 先生
4. 『産業応用に向けたプラズマ装置開発の現状』
魁半導体(株) 登尾 一幸 先生
5. 『プラズマエッチングにおける
プラズマダメージ制御の最前線』
(株) ソニーセミコンダクタソリューションズ
深沢 正永 先生

各先生から、①反応性スパッタリングの発展に関する話題に始まり、大面積プロセスの実現に向けたターゲットやプラズマ制御に関するこれまでの知見、②プラズマプロセスを高度に制御するために重要な計測法として、各種プローブ法や光学的測定に関する原理や注意点、③幅広いプラズマ生成に関する生成過程や現象に関するご説明に加

え、医療や接合等への応用に関する話題、④プラズマの表面処理技術活用例として、撥水及び親水化処理を目指した装置開発に関するご紹介、⑤プラズマプロセスダメージのメカニズム解析ならびにその低減に向けた様々な取り組みのご紹介、についてご講義頂きました。

参加者アンケートでは 9 割近くの参加者から有意義であったとの回答が得られたように、多くの質疑応答に加え、講習会後の懇親会を含め活発な議論や情報交換が行われました。

ご多忙の中、ご講義頂いた講師の皆様、講習会の企画・運営にご尽力頂いた平松幹事長をはじめとする担当幹事の皆様、事務手続き全般をサポート頂いた応物分科会担当の小田様にお礼申し上げます。

今回の参加者アンケート結果を参考に、講義時間や内容を検討し、2020 年度も同時期に開催を予定しておりますので、多くの参加をお願いいたします。

第 30 回担当幹事 (敬称略)

飯野大輝(キオクシア)、占部継一郎(京都大学)、江藤宗一郎(日立製作所)、生沼学(三菱電機)、大島啓示(ソニーセミコンダクターソリューションズ)、鈴木歩太(東京エレクトロンテクノロジーソリューションズ)、永井久雄(パナソニック)、山田英明(産業技術総合研究所)、山羽隆(SanDisk)

第33回プラズマ新領域研究会 非平衡プラズマによる機能性窒素の生成と応用

東京大学 伊藤 剛仁

第33回プラズマ新領域研究会「非平衡プラズマによる機能性窒素の生成と応用」は、2020年2月21日に東京大学本郷キャンパスにおいて開催された。窒素分子は大気中の約78%を占め、人類にとって最も馴染みの深い物質の一つであるものの、その高い安定性ゆえに直接的に利用することは難しい。しかしながら、非平衡プラズマを用いることにより、窒素分子から反応性の高い励起状態や窒素原子、窒素化合物を生成し、多様な機能性を付与することができる。そこで、窒素含有非平衡プラズマがもたらす新領域について議論をするために本研究会を開催した。

研究会では、はじめに金子先生(東北大学)より「機能性窒素：非平衡プラズマで創る新奇反応性窒素とその応用」という題目で、窒素の持つ機能性と、それを引き出すために不安定な中間状態である不安定窒素や不安定窒素化合物の理解と制御が望まれている点について講演を頂いた。続いて、野崎先生(東京工業大学)より「プラズマ触媒反応における振動励起分子の役割」という題目で、触媒反応に振動励起がどのような影響を与えるかに関して講演を頂いた。江利口先生(京都大学)からは、「窒素系プラズマを用いた絶縁膜材料の構造・組成制御と今後の課題」の題目のもと、電子デバイスにおける窒素原子の重要性や、二次元物質の層間結合性に窒素が果たす役割などに関する講演を頂いた。

後半最初の講演では、石川先生(名古屋大学)より、「プラズマ生成機能性窒素ラジカル誘起の連鎖反応の統合解析に向けて」の題目のもと、不安定

窒素や不安定窒素化合物の理解・制御に向けて行うべき計測や解析に関して講演を頂いた。続いて、「極限環境プラズマを用いた材料開拓：新奇窒素化合物の合成へ」の題目にて、クライオプラズマや超臨界窒素プラズマを用いた不安定窒素・窒素化合物合成への展望を私から発表させて頂いた。最後の講演者は伊藤先生(核融合研)で、「炭素ナノ物質表面における窒素プラズマ相互作用の分子シミュレーション」の題目のもと、窒素内包フラーレンに関する計算結果の紹介とともに、計算科学が不安定窒素・窒素化合物の理解・制御にどのように貢献できるのか講演を頂いた。最後に金子先生より研究会のまとめを頂き、閉会となった。

私の理解では、新領域研究会は自由な討論を通じ新たな研究の芽を生み出す場としての役割を持つ。本研究会は、総勢23名と小規模ではあったが、時間を超過する活発な議論が行われ、新領域研究会として相応しいものとなった。COVID-19が猛威を振るい始めた時期であり消毒用エタノールとマスクを用意しての開催となった。その様なか、足をお運びいただき活発な議論を頂いた参加者の皆様に、この場を借りて御礼申し上げます。



金子先生によるご講演

行事案内

2020 年第 81 回応用物理学会秋期学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会企画

九州大学 古閑 一憲

■ はじめに

2020 年 9 月 8～11 日にオンライン（現地開催の場合は同支社大学今出川校地（京都府京都市）にて第 81 回応用物理学会秋期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。なお、脱稿時点で未定の部分も含まれるため、詳細については応用物理学会の HP 等で確認をお願いいたします。例年大会 2 日目に開催されていた分科会企画ですが、今年は大会 3 日目に行われることを注意喚起のため、あらかじめお知らせいたします。

■（第 3 日）プラズマエレクトロニクス賞受賞記念講演

第 18 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。残念ながら、2020 年春季の講演奨励賞は、大会キャンセルのため選考がありませんでした。

[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 10 日（木）9:45～10:45（予定）

受賞者（敬称略）：*久保井信行（ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社）、辰巳哲也（ソニー

セミコンダクタソリューションズ株式会社）、小町潤、山川真弥（ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社）（*ご講演予定者）

選考の対象となった業績：“Insights into different etching properties of continuous wave and atomic layer etching processes for SiO₂ and Si₃N₄ films using voxel-slab mode”, Nobuyuki Kuboi, Tetsuya Tatsumi, Jun Komachi, and Shinya Yamakawa, Journal of Vacuum Science & Technology A 37 (2019) 051004.

受賞者（敬称略）：*大村光広（キオクシア株式会社）、橋本惇一（キオクシア株式会社）、足立昂拓（キオクシア株式会社）、近藤祐介（キオクシア株式会社）、石川勝朗（キオクシア株式会社）、阿部淳子（キオクシア株式会社）、酒井伊都子（キオクシア株式会社）、林久貴（キオクシア株式会社）、関根誠（名古屋大学）、堀勝（名古屋大学）（*ご講演予定者）

選考の対象となった業績：“Formation mechanism of sidewall striation in high-aspect-ratio hole etching”, Mitsuhiro Omura, Junichi Hashimoto, Takahiro Adachi, Yusuke Kondo, Masao Ishikawa, Junko Abe, Itsuko Sakai, Hisataka Hayashi, Makoto Sekine, and Masaru Hori, Japanese Journal of Applied Physics 58 (2019) SEEB02.

■（第 3 日）分科内招待講演

日程：9 月 10 日（木）11:00～11:30（予定）

第 25 回目となる分科内招待講演では、前回残念ながら中止となり実現できなかった日立ハイテクソ

リューションズ 事業開発本部 本部長付 今井伸一先生をお招きしてご講演を賜ります。今井先生は、半導体関連業務とともに AI 関連業務にも携わられており、これまでの知見を基に、デバイス製造プロセスにおける機械学習を用いたスマート化について語っていただきたいと思ひます。皆様には是非ともご参加頂きますよう、お願い申し上げます。

[ご講演者] 今井 伸一先生 (日立ハイテクソリューションズ)

[講演題目] 「(仮題) プラズマプロセスを含むデバイス製造プロセスにおける機械学習を用いたスマート化」

■ (第3日) シンポジウム(Technical)

日程:9月10日(木) 13:30~17:30(予定)

シンポジウム(Technical)についても、中止となった前回のシンポジウムを引継ぎ、「プラズマ誘起生体反応の機構解明研究のフロンティア」を学会3日目に開催します。近年著しい発展を遂げているプラズマのバイオ応用研究ですが、最近、自然科学研究機構・名古屋大学・九州大学によるプラズマバイオコンソーシアムの設立をはじめ、名古屋大学堀教授を代表者とした特別推進研究「プラズマ誘起生体活性物質による超バイオ機能の展開」、岩手大学高木教授を代表者とした基盤(S)「パルスパワーによる植物・水産物の革新的機能性制御とその学理深化」が開始され、学理探求の動きが活発になっています。本シンポジウムでは、これらのプラズマのバイオ応用の学理構築に関する最新の研究成果を紹介していただきつつ、さらなる発展に向けた将来展望について議論していただく予定です。以下に招待講演の先生のリストとテーマを記載します。一般講演も募集いたしておりますので皆様のご参加をお待ちしております。

1. 池原譲先生(千葉大学)

(仮題) 大気圧非平衡プラズマを用いた踏査機能理解の深化とその利用

2. 田中智弘先生(自然科学研究機構)

(仮題) プラズマ照射による新規レドックスシグナル形成と心筋恒常性制御

3. 田中宏昌先生(名古屋大学)

(仮題) 様々なプラズマ活性養液による細胞死の作用機序

4. 福原秀雄先生(高知大学)

(仮題) 低温大気圧プラズマを用いた膀胱癌に対する抗腫瘍効果の検討

5. 北野勝久先生(大阪大学)

(仮題) プラズマ誘起液中化学反応場における生体高分子の化学就職

6. 神野雅文先生(愛媛大学)

(仮題) プラズマ複合刺激によるゲノムインテグレーションフリーで自発的な細胞の外部分子/遺伝子取り込み

7. 高木浩一先生(岩手大学)

(仮題) ポストハーベストでのパルスパワー利用とその作用機序

■ おわりに

新型コロナウイルスの影響により、現地での開催が危ぶまれている状態です。このため海外招待講演は今回中止となり残念です。しかしながら、他の分科会企画は興味深いものばかりです。3日目の昼には大分類意見交換会やインフォーマルミーティングが開催される予定です。皆様のご参加をお待ちしております。7月末には現地開催の可否が決定されることですが、もし開催の暁となれば PE 分科会懇親会も期待できます。皆様とお会いできることを楽しみにしております。

連絡先: 古閑 一憲 (九州大学)

koga@ed.kyushu-u.ac.jp

行事案内

The 73rd Annual Gaseous Electronics Conference (GEC2020)

滋賀県立大学 酒井道

開催案内

The 73rd Annual Gaseous Electronics Conference (GEC2020) は、APS (American Physical Society) が主催する国際会議で、低温プラズマの基礎過程から応用までを主たるテーマに掲げ、これまでに ICRP との合同会議を 3 回行うなど、当分科会と関連の深い国際会議です。

今年の GEC は、10 月 5 日 - 9 日の日程で、アメリカ合衆国カリフォルニア州サンディエゴでの開催へむけて準備を行ってきました。ところが、皆様もご存じの通り、新型コロナウイルスの感染拡大抑止の政策等により、学会を含む大人数で行われる大型のイベントの開催、そして国境をまたぐ人の移動が今のところ(2020 年 5 月 7 日現在)ほとんど不可能となっています。それに対する GEC の対策については、次章で説明します。

以下の詳細についても、今後変更される可能性があります。現在のところ発表されている内容について、お知らせします。

- ・アブストラクト投稿締切：2020 年 5 月 22 日 (金) (米国東部夏時間)
- ・会議会期：2020 年 10 月 5 日 (月) - 9 日 (金)
- ・会場：DoubleTree Hotel, Mission Valley
- ・ホームページ：<http://www.apsgec.org/gec2020/>
- ・Student Award for Excellence (Oral Talk) Award の申込締切：2020 年 5 月 24 日
- ・旅費補助の申込締切：2020 年 5 月 24 日

開催方法を鋭意検討中

大人数が集まる大型イベントの開催が軒並み中

止・延期される中で、国内外の学会開催についても同様の状態となっています。我々の分野の近々の国際会議についても、現状では延期を中心とした処置がとられておりますが、いつまで延期すればよいのか、といった大変予測が困難な状態にあります。

小職が委員を務めている GEC executive committee においても、この 10 月開催の可否判断に迫られているところです。大きくは、まず、『GEC としての活動を継続し、我々のコミュニティの活性度を絶やさない』というところを基本線として、予定通り開催 (一部を virtual conference 開催) か、延期か、10 月に virtual conference 開催か、あるいは延期しつつ一部を virtual conference 開催するか、という微妙な判断を行っているところです。参考事例として、APS は 4 月 18 日 - 21 日の日程で、完全にオンラインのみの Virtual April Meeting を開催し、小職もこれに日本から“参加”してみました。発表者に直接質問はできませんが、サイドバーに現れるチャットで示されるコメントはなかなか新鮮で、また参加者の数も通常の国際会議より多め (Plenary talk で千数百人) でした。考慮すべき点は多々あるのですが、個人的には現状での学会開催の有り方のベターな様態と感じております。

開催様式の決定がなされましたら、またプラズマエレクトロニクス分科会のホームページ等を通して広報させていただきますが、引き続きご参加いただける環境整備をしていきますので、どうぞよろしくお願いいたします。

行事案内

AVS 67th International Symposium & Exhibition (AVS2020)

(株) 日立ハイテク 前田 賢治



真空関連の幅広い技術発表を集めた国際学会である AVS2020 が、今年は 10 月下旬にコロラド州デンバーで開催されます。プラズマエレクトロニクス分科会とも非常に縁の深い Plasma Science and Technology Division (PSTD) は、AVS の中でも最大の分科会で、例年 100 件以上の非常に多くの Paper が集まります。大気圧プラズマ、プラズマのプロセス応用、プラズマ医療、表面反応、ALE、装置、モデリングなどの幅広いトピックについての議論が行われますので皆様のご参加をお待ちしております。概要を以下に示します。

●日時：2020 年 10 月 25～30 日

●場所：Colorado Convention Center
(Denver, Colorado)

●トピックス：

- Advanced BEOL: Interconnect Etching
- Advanced FEOL
- EUV and Multi patterning
- Atmospheric-Pressure Plasmas
- Plasma-Assisted Atomic Layer Etching

- Modeling of Plasmas, Plasma-Driven Processes, and Machine Learning
- Plasma Deposition and ALD Processes for Coatings and Thin Films
- Plasma Diagnostics, Sensors and Control
- Plasma Sources
- Plasma-Surface Interactions
- Plasma Chemistry and Catalysis
- Plasmas for Environment
- Plasma-engineered Materials and Interfaces for the Environment
- Plasma and Plasma-engineered Materials for Energy Savings
- Plasma Processing for Advanced Emerging Memory Technologies
- Plasma for Medicine and Biointerfaces
- Plasma Science and Technology Poster Session

AVS2020 への参加申し込み、宿泊予約、及びその他詳細につきましては下記から手続きをお願い致します。<https://www.avs.org/Symposium>
尚、昨年 AVS プログラムは下記より参照できます。<https://www2.avs.org/symposium2019/>

第 19 回プラズマエレクトロニクス賞受賞候補論文の募集

大阪大学 節原裕一

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 2018 年、2019 年、2020 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等のコピー、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

2021 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 2021 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

2020 年 12 月 18 日（金）当日消印有効

■ 書類提出先

〒113-0031 東京都文京区根津1-21-5
応物会館

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

（封筒表に「プラズマエレクトロニクス賞応募」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。

2020 年度(令和 2 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	節原 裕一	大阪大学 接合科学研究所	〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 1 1 - 1 TEL: 06-6879-8641	setsuhara@jwri.osaka-u.ac.jp
副幹事長	田中 康規	金沢大学 理工研究域電子情報通信学系	〒920-1192 石川県金沢市角間町 TEL: 076-234-4846	tanaka@ec.t.kanazawa-u.ac.jp
副幹事長	古閑 一憲	九州大学 システム情報科学研究院 情報エレクトロニクス部門 電子デバイス工学	〒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	栗原 一彰	キオクシア(株) メモリ技術研究所 プロセス技術研究センター プロセス開発第一部	〒512-8550 三重県四日市市山之一色町 800 番地 TEL: 059-390-8733	kazuaki.kurihara@kioxia.com
幹事 任期 2021 年 3 月	佐藤 直幸	茨城大学大学院 理工学研究科 量子線科学専攻	〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL: 0294-38-5109	naoyuki.sato.ele@vc.ibaraki.ac.jp
"	田中 康規	金沢大学 理工研究域電子情報通信学系	〒920-1192 石川県金沢市角間町 TEL: 076-234-4846	tanaka@ec.t.kanazawa-u.ac.jp
"	竹田 圭吾	名城大学 理工学部 電気電子工学科	〒468-8502 名古屋市中天白区塩釜口 1-501 TEL: 052-838-2312	ktakeda@meijo-u.ac.jp
"	猪原 武士	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: 0956-34-8476	ihara@sasebo.ac.jp
"	西山 修輔	日本医療大学 保健医療学部 診療放射線学科	〒004-0839 札幌市清田区真栄434-1	s-nishiyama@nihoniryō-c.ac.jp
"	奥村 賢直	九州大学 システム情報科学研究院 情報エレクトロニクス部門	〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 TEL: 092-802-3717	t.okumura@plasma.ed.kyushu-u.ac.jp
"	兒玉 直人	名古屋大学 大学院 工学研究科 電気電子工学専攻 横水研究室	〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 TEL: 052-789-3635	kodama@nuee.nagoya-u.ac.jp
"	占部 継一郎	京都大学 大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻 推進工学研究室	〒615-8540 京都市西京区京都大学 桂C3-b3S18 TEL: 075-383-3788	urabe.keiichiro.3x@kyoto-u.ac.jp
"	田上 英人	北九州工業高等専門学校 生産デザイン学科 電気電子コース	〒802-0985 福岡県北九州市小倉南区 志井 5-20-1	tanoue@kct.ac.jp
"	佐藤 哲也	山梨大学 工学部 先端材料理工学科	〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 TEL&FAX: 055-220-8627	tetsu-sato@yamanashi.ac.jp
"	山羽 隆	サンディスク	〒512-8550 三重県四日市市山之一色町 800 番地	Takashi.Yamaha@sandisk.com
"	生沼 学	三菱電機(株) 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 尼崎市塚口本町8-1-1 TEL: 06-6497-7069	Oinuma.Gaku@dw.MitsubishiEletric.co.jp
"	永井 久雄	パナソニック株式会社 マニュファクチャリングソリューションセンター	〒571-8502 大阪府門真市松葉町 2 番 7 号 TEL: 080-9940-7267	nagai.hisao@jp.panasonic.com

幹事 任期 2022年3月	明石 治朗	防衛大学校 理工学研究科 境界科学専攻		akashi@nda.ac.jp
"	阿部 知央	キオクシア株式会社 先端メモリ開発センター 先端メモリプロセス開発部	〒512-8550 三重県四日市市山之一色町 800 番地 TEL: 059-390-4305	chihiro.abe@kioxia.com
"	市来 龍大	大分大学工学部 電気電子コース	〒870-1192 大分市旦野原 700 TEL: 097-554-7826	ryu-ichiki@oita-u.ac.jp
"	川那辺 哲雄			tetsuo.kawanabe.wd@hitachi- hightech.com
"	梅澤 義弘	東京エレクトロン宮城株式会社 APAC 設計開発部 共通要素技術 Gr	〒981-3629 宮城県黒川郡大和町 テクノヒルズ1番 TEL: 022-346-3158	yoshihiro.umezawa@tel.com
"	大久保 雄司	大阪大学 大学院工学研究科 附属超精密科学研究センター	〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 M1 棟 423 号室 TEL: 06-6879-7294	okubo@upst.eng.osaka-u.ac.jp
"	岡田 健	東北大学 大学院工学研究科 電子工学専攻	〒980-7579 宮城県仙台市青葉区荒巻字 青葉6-6-05 TEL: 022-795-7122	takeru.okada@tohoku.ac.jp
"	金 載浩	産業技術総合研究所 電子光技術研究部門 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 TEL: 029-861-4889	jaeho.kim@aist.go.jp
"	栗原 一彰	キオクシア (株) メモリ技術研究所 プロセス技術研究 センター プロセス開発第一部	〒512-8550 三重県四日市市山之一色町 800 番地 TEL: 059-390-8733	kazuaki.kurihara@kioxia.com
"	桑畑 周司	東海大学 工学部 電気電子工学科	〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 TEL: 0463-58-1211 (内線 6242)	kuwahata@tokai-u.jp
"	古閑 一憲	九州大学 システム情報科学研究院 情報エレクトロニクス部門 電子デバイス工学	〒819-0395 福岡県西区元岡 744 TEL: 092-802-3716	koga@ed.kyushu-u.ac.jp
"	白岩 利章	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 2 部 2 課		Toshiaki.Shiraiwa@sony.com
"	神野 雅文	愛媛大学大学院理工学研究科 電子情報工学専攻	〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3 TEL: 089-927-9769	mjin@mayu.ee.ehime-u.ac.jp
"	中村 圭二	中部大学 工学部 電気電子システム工学科	〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 TEL: 0568-51-9301	nakamura@isc.chubu.ac.jp
"	松井 信	静岡大学 工学部 機械工学科	〒432-8561 静岡県浜松市中区城北 3-5-1 総合研究棟 R503 TEL: 053-478-1064	matsui.makoto@shizuoka.ac.jp

2020年度(令和2年度)分科会幹事役割分担

役割分担	新任		留任	
幹事長	節原 裕一	大阪大学		
副幹事長	古閑 一憲	九州大学	田中 康規	金沢大学
	栗原 一彰	キオクシア		
1. 庶務・分科会ミーティング	市來 龍太	大分大学	竹田 圭吾	名城大学
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	古閑 一憲	九州大学		
	栗原 一彰	キオクシア	田中 康規	金沢大学
	神野 雅文	愛媛大学	佐藤 直幸	茨城大学
	金 載浩	産業技術総合研究所	猪原 武士	佐世保工業高等専門学校
	中村 圭二	中部大学	山羽 隆	SanDisk
3. プラズマプロセス研究会 2019年度：ICRP/ICPIG 2020年度：SPP(2021年1月)	古閑 一憲	九州大学		
	栗原 一彰	キオクシア	田中 康規	金沢大学
	中村 圭二	中部大学	佐藤 直幸	茨城大学
	市來 龍太	大分大学	奥村 賢直	九州大学
	明石 治朗	防衛大学校	田上 英人	北九州工業高等専門学校
	大久保 雄司	大阪大学	竹田 圭吾	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			西山 修輔	日本医療大学
			佐藤 哲也	山梨大学
			猪原 武士	佐世保工業高等専門学校
6. インキュベーションホール	古閑 一憲	九州大学		
	松井 信	静岡大学	佐藤 哲也	山梨大学
	梅澤 義弘	東京エレクトロン宮城	奥村 賢直	九州大学
	桑畑 周司	東海大学	竹田 圭吾	名城大学
	明石 治朗	防衛大学校	兒玉 直人	名古屋大学
7. プラズマエレクトロニクス講習会	栗原 一彰	キオクシア		
	金 載浩	産業技術総合研究所	占部 継一郎	京都大学
	阿部 知央	キオクシア	永井 久雄	パナソニック
	白岩 利章	ソニーセミコンダクタソリューションズ	生沼 学	三菱電機
	梅澤 義弘	東京エレクトロン宮城	山羽 隆	SanDisk
	川那辺 哲雄	日立製作所		
8. 会誌編集・書記	岡田 健	東北大学	兒玉 直人	名古屋大学
	白岩 利章	ソニーセミコンダクタソリューションズ	永井 久雄	パナソニック
9. ホームページ	市來 龍太	大分大学	西山 修輔	日本医療大学
10. 会計	桑畑 周司	東海大学	田上 英人	北九州工業高等専門学校
11. プラズマエレクトロニクス賞	節原 裕一	大阪大学		
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		
	節原 裕一	大阪大学		
13. PE 懇親会 2020年度 秋：同志社大、春：青学 GEC 委員 (オブザーバー)	川那辺 哲雄	日立製作所	生沼 学	三菱電機
	大久保 雄司	大阪大学	占部 継一郎	京都大学
			酒井 道	滋賀県立大学

2020年度（令和2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 神野 雅文 (愛媛大)
 - 8.1 プラズマ生成・診断 富田 健太郎 (九大)
 - 8.2 プラズマ成膜・エッチング・表面処理 竹中 弘祐 (阪大)
 - 木村 光広 (キオクシア)
 - 8.3 プラズマナノテクノロジー 古閑 一憲 (九大)
 - 8.4 プラズマライフサイエンス 栗田弘史 (豊橋技科大)
 - 8.5 プラズマ現象・新応用・融合分野 白井 直機 (北大)
 - 石島達夫 (金沢大)
 - 8.6 Plasma Electronics English Session 神野 雅文 (愛媛大)
2. 応用物理学会理事 木下 啓蔵 (アイオーコア)
- 柘久保 文嘉 (都立大)
- 一木 隆範 (東大)
3. 応用物理学会代議員 (分科会推薦, 各支部推薦等) 石島 達夫 (金沢大)
- 一木 隆範 (東大)
- 伊藤 昌文 (名城大)
- 木下 啓蔵 (アイオーコア)
- 古閑 一憲 (九大)
- 佐藤 考紀 (室蘭工大)
- 柘久保 文嘉 (都立大)
- 酒井 道 (滋賀県立大)
4. GEC 組織委員会委員
5. 応用物理学会本部委員会
 - 機関誌企画・編集委員会 赤塚 洋 (東工大)
 - 久保井 信行 (ソニセミコンダクタソリューションズ)
 - 論文誌企画・編集委員会 斧 高一 (阪大)
 - 栗原 一彰 (キオクシア)
 - 太田 貴之 (名城大)
 - 布村 正太 (産総研)
 - 一木 隆範 (東大)
 - 神野 雅文 (愛媛大)
 - 講演会企画・運営委員会 辰巳 哲也 (ソニセミコンダクタソリューションズ)
6. 代議員推薦委員会
7. 応用物理学会将来基金委員会 木下 啓蔵 (アイオーコア)
8. フェロー Uwe Reinhard Czarnetzki (Ruhr University Bochum)
- (受賞時の所属で記載。元分科会会員を含む。)
- 大森 達夫 (三菱電機)
- 岡本 幸雄 (東洋大)
- 小田 俊理 (東工大)
- 斧 高一 (京大)
- 河野 明廣 (名大)
- 木下 啓蔵 (PETRA)
- 近藤 道雄 (産総研)
- 寒川 誠二 (東北大)
- 白谷 正治 (九大)
- 菅井 秀郎 (名大)

高井 まどか	(東京大学)
橘 邦英	(京大)
辰巳 哲也	(ソニセミコンダクタソリューションズ)
寺嶋 和夫	(東大)
斗内 政吉	(阪大)
永津 雅章	(静大)
中山 喜萬	(阪大)
庭野 道夫	(東北大)
畠山 力三	(東北大)
林 久貴	(東芝メモリ)
平松 美根男	(名城大)
藤山 寛	(長崎大)
堀 勝	(名大)
真壁 利明	(慶大)
渡辺 征夫	(九州電気専門学校)

本リストは、応用物理学会の各種委員会等で活躍されている PE 分科会会員を記したのですが、一部を除き、分科会が直接に委員推薦等に関与しているわけではないため、記載漏れがあるかもしれません。記載漏れにお気付きの場合は、会誌担当幹事までお知らせ頂けると幸いです。

活動報告

コロナウイルスの影響により 2019 年度第 3 回プラズマエレクトロニクス分科会幹事会および 2020 年度第 1 回プラズマエレクトロニクス分科会幹事会は中止となった。同幹事会にて審議予定であった事項のメール審議(2020 年 4 月および 5 月に実施)結果を下記にまとめる。

1. PE 分科会副幹事長の選出について
節原幹事長から副幹事長が提案され、承認された。
2. 応用物理学会(同志社大・2020.9) シンポジウム企画案の提案
担当幹事取りまとめの田中先生(金沢大)からシンポジウム企画が提案され、承認された。
3. 応用物理学会(同志社大・2020.9) 海外招聘などについて。
担当幹事取りまとめの古閑先生(九大)から分科会招待講演および海外招待講演について下記の提案がされ、承認された。
 - ・ 分科会招待講演については春季応物で公演予定であった今井様を同様のテーマでもう一度呼びする(内諾済み)。
 - ・ 海外招待講演については中止する。
4. 第 14 回インキュベーションホール(2020.9)
古閑先生(九大, IH 校長) および担当幹事取りまとめの佐藤先生(山梨大)らから、第 14 回 PEIH については COVID-19 感染症の影響により web セミナー形式での開催も含め開催中止とする提案がされ、承認された。また、PEIH の代わりに 2021 年春応物の際の PE 分科会 30 周年記念行事にて PEIH 幹事も協力したスクール企画等を実施する方針が提案され、承認された。
5. 第 37 回プラズマプロセッシング研究会(ICRP 含む)
担当の田中幹事(金沢大)らから、SPP38 は場所および日程について既に決定済み、応物 PE 側の招待講演者および 153 委員会側の招待講演者のリスト化が完了していることが報告された。
6. プラズマ新領域研究会
担当幹事取りまとめの古閑先生(九大)らから、新領域研究会については現在企画の検討中であり、企画が揃い次第審議を進めることが報告された。
7. 第 31 回プラズマエレクトロニクス講習会
担当幹事取りまとめの栗原幹事らから、講習会については現在企画の検討中であり、企画が揃い次第審議を進めることが報告された。
8. 分科会企画『設立 30 周年記念シンポジウムについて』
担当幹事取りまとめの古閑先生(九大)らから、現在はタスクフォースを組織したところであり企画を現在進めていることが報告された。
9. 会報について
担当幹事取りまとめの兒玉先生(名古屋大)らから No.72 会報のとりまとめ状況について報告があった。

(記：兒玉 直人 (名古屋大学))

プラズマエレクトロニクス関連会議日程

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多いです。詳細は各会議の web ページを参照してください。

【 2020 年度内の開催が見込まれる国際会議 】

2020. 10. 5 - 10.9

The 73rd Annual Gaseous Electronics Conference
San Diego, California, USA
<http://www.apsgec.org/gec2020/index.php>

2020. 10. 25 - 10.30

AVS 67th International Symposium & Exhibition
Denver, Colorado, USA
<https://s19.a2zinc.net/clients/avs/avs20/Public/MainHall.aspx>

2020. 10. 26 - 10.31

4th Asia Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPS-DPP2020)
オンライン開催
<http://aappsdpp.org/DPP2020/index.html>

2020. 11.28 - 12.4

20th International Congress on Plasma Physics (ICPP2020)
Gyeongju, Korea
<https://icpp2020.kr/>

2020. 12.6 - 10

The IEEE 47th International Conference on Plasma Sciences (ICOPS 2020) and 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma and Terahertz Science (APCOPTS2020)
Marina Bay Sands, Singapore
<http://www.icops2020.org/public.asp?page=home.html>

2020. 11.28 - 12.4

2019 Material Research Society (MRS) Spring and Fall Meeting and Exhibit
Boston, USA
<https://www.mrs.org/meetings-events/fall-meetings-exhibits/2020-mrs-spring-and-fall-meeting>

2021. 1.31 - 2.5

European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (EWCP2021)
Ljubljana, Slovenia
<https://ewcps2021.si/>

2020. 3.28 - 4.2

The 12th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing (JSPP-12) and The 15th Asia-Pacific Conference on Plasma Science and Technology (APCPST-15)
OIST, Okinawa, Japan
<http://www.camt.eng.osaka-u.ac.jp/JSPP2020/>

【 2021年度以降への延期が確定した国際会議 】

2021. 1.17 - 21

8th International Conference on Microelectronics and Plasma Technology (ICMAP2020)

Jeju, Korea

<http://www.icmap2020.org/>

2021. 8.22 - 27

17th International Symposium on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry (HAKONE XVII)

Kerkrade, Netherlands

<https://www.hakone2020.com/home/>

2021. 8.29 - 9.3

XXIIIth International Conference on Gas Discharges and Their Applications (GD2020)

Greifswald, Germany

<https://www.gd2020.org/>

2021. 11.19 - 20

The 42nd International Symposium on Dry Process (DPS2020)

Tokyo, Japan

<http://www.dry-process.org/2020/index.html>

2021. 6.21 - 25

47th European Physical Society Conference on Plasma Physics (EPS 2020)

Sitges, Spain

<https://epsplasma2020.eu/>

2022. 7

25th European Conference on Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases (ESCAMPIG)

Paris, France

<https://escampig2020.sciencesconf.org/>

2022.

Gordon Research Conference on Plasma Processing Science

New Hampshire, US

<https://www.grc.org/plasma-processing-science-conference/2020/>

【 国内会議・会合 】

2020. 9.1 - 3

電気学会 令和2年 基礎・材料・共通部門大会

朱鷺メッセ, 新潟県 (現地開催不可の場合はオンライン開催)

https://www.iee.jp/fms/a_event/r2/

2020. 9.8 - 11

2020年日本物理学会秋季大会 (物性)

熊本大学, 熊本県 (オンライン開催)

https://www.jps.or.jp/activities/meetings/autumn/autumn_index.php

2019. 9.8 - 11

第81回応用物理学会秋季学術講演会

同志社大学 今出川校地, 京都府 (オンライン開催を予定)

<https://meeting.jsap.or.jp/>

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い申し上げます。

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す。

(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頂く場合があります。

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.72 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にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

本号は二年に一度の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平松前幹事長と就任されました節原幹事長からそれぞれご挨拶を頂きました。

寄稿は本年度から応用物理学会会長に就任されました東工大の波多野睦子先生および九州大学の渡辺隆行先生から頂きました。波多野会長からは「プラズマエレクトロニクス分科会への期待」という題目で、応用物理学会会長として分科会にかける期待やこれまでのご経験を踏まえてのプラズマエレクトロニクス分野の多様性や社会的重要性をご紹介頂きました。渡辺隆行先生からは「産業の発展における熱プラズマの役割と今後の課題」という題目で、これまで産業発展の要として多用されてきた熱プラズマの歴史や今後の役割・課題についてご紹介頂きました。

第 18 回プラズマエレクトロニクス賞を受賞されたソニーセミコンダクターソリューションズの久保井様およびキオクシア 大村様に原稿をお寄せいただき、受賞論文を明快にご紹介頂きました。

優れた研究を紹介する欄では、応用物理学会講演奨励賞を受賞された東京大学の榊原教貴様に受賞対象の研究を解説頂きました。

研究室紹介コーナーでは、東北大学の金子俊郎先生に金子・加藤研究室の様子をご紹介頂きました。数々の研究内容について分かりやすくご紹介頂きました。

学生のためのページでは東京農工大学の西田浩之先生から、『プラズマの流体シミュレーション入門』と題して、プラズマプロセスの解析には欠かせない流体シミュレーション技法について解説頂きました。計算手法の適用範囲やモデル化時の注意点など、実際の事例を踏まえて非常に分かりやすく解説頂き、これからシミュレーションをやり始めたい学生の方々にとってはかなり勉強になったのではないのでしょうか。

海外の研究事情では、東工大の竹内希先生から、University of California Berkely の David Graves 先生の研究室滞在の記録についてご紹介頂きました。渡航期間の目安や金銭面の事情など、留学を試みる誰しもが気になることが紹介されていたのではと思います。

北大の白井直機先生からは、プラズマ若手チャプターの活動についてご紹介頂きました。若手であればどなたでも参加可能な制度ですので、特に学生の方には積極的に参加していただければと思います。

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小田様にこの場を借り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お願いいたします。

(令和 2 年度会報編集担当：

兒玉、永井、岡田、白岩)

プラズマエレクトロニクス分科会会報 No.72
2020年 6月20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 節原 裕一
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
(©2020 無断転載を禁ず)