

プラズマエレクトロニクス分科会会報 No. 74

2021年（令和3年）6月発行

岡田、白岩、高橋、末次

目次

巻頭言

プラズマプロセスのこれから	ソニーセミコンダクタソリューションズ（株）	辰巳 哲也	1
---------------	-----------------------	-------	---

学生のためのページ

機械学習を利用したプラズマ材料プロセッシング	大阪大学	幾世 和将 浜口 智志	3
------------------------	------	----------------	---

研究センター紹介

非平衡プラズマ学際研究センターの設立 Interdisciplinary Research Center for Non-equilibrium Plasma	東北大学	金子 俊郎	8
--	------	-------	---

日本でのプラズマ研究

Plasma Research and life in Japan	東京エレクトロン宮城	Cedric Thomas	11
-----------------------------------	------------	---------------	----

研究紹介

プラズマオンチップ：マイクロデバイスで プラズマが細胞に及ぼす作用の解明に挑む	名城大学 大阪医科薬科大学 大阪市立大学 Gladstone Institutes 産業技術総合研究所 豊田工業大学	熊谷 慎也 小林 未明 呉 準席 友田 紀一郎 清水 鉄司 佐々木 実	15
--	---	--	----

プラズマエレクトロニクス賞

Low-Temperature Graphene Growth by Forced Convection of Plasma-Excited Radicals	産業技術総合研究所	金 載浩 板垣 宏知 榊田 創	21
--	-----------	-----------------------	----

Evaluation of residual defects created by plasma exposure of Si substrates using vertical and lateral pn junctions	パナソニック株式会社 京都大学	佐藤 好弘 柴田 聡 占部 継一郎 江利口 浩二	25
--	--------------------	-----------------------------------	----

応用物理学会講演奨励賞

応用物理学会講演奨励賞を受賞して	東北大学	本田 竜介	29
------------------	------	-------	----

国際会議報告

ISPlasma2021 / IC-PLANTS2021	名古屋大学	石川 健治	31
------------------------------	-------	-------	----

国内会議報告

第38回プラズマプロセッシング研究会(SPP-38) / 第 33回プラズマ材料科学シンポジウム(SPSM33)	金沢大学	田中 康規	35
---	------	-------	----

第68回応用物理学会春季学術講演 チュートリアル報告	キオクシア（株）	栗原 一彰	36
-------------------------------	----------	-------	----

2021年 第68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30周年記念行事 分科内招待講演	九州大学	古閑 一憲	37
第34回プラズマ新領域研究会 プラズマプロセスにおける欠陥形成に関する新生面	九州大学	古閑 一憲	40
第35回プラズマ新領域研究会 物理・化学混成系プラズマにおける情報系機能発現 ～プラズマによる分子修飾は 量子コンピューティングに応用可能か～	日本医療大学	西山 修輔	41
2020年度プラズマエレクトロニクス講習会	キオクシア(株)	栗原 一彰	42
行事案内			
2021年第82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	九州大学	古閑 一憲	44
8th International Conference on Plasma Medicine (ICPM-8) / 10th International Symposium on Plasma Bioscience (ISPB-10)	名古屋大学	田中 宏昌 堀 勝	46
第8回プラズマ医療国際会議 / 10回プラズマ生 命科学国際シンポジウム			
第42回ドライプロセス国際シンポジウム 42nd International Symposium on Dry Process (DPS2021)	ルネサスエレクトロニ クス(株) 早稲田大学 キオクシア(株)	丸山 隆弘 渡邊 孝信 林 久貴	48
掲示板			
第20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	50
2021年度(令和3年度) プラズマエレクトロニクス分科会幹事名簿			51
2021年度(令和3年度)分科会幹事役割分担			53
2021年度(令和3年度) 分科会関連の各種世話人・委員			54
活動報告			56
プラズマエレクトロニクス関連会議日程			58
当会報への広告掲載について			60
編集後記			61

プラズマプロセスのこれから

ソニーセミコンダクタソリューションズ（株） 辰巳 哲也

はじめに

プラズマエレクトロニクス分科会が 30 周年を迎え、先の春季講演会で記念のシンポジウムが開催されました。歴史ある本分野の研究開発を牽引されてきた諸先輩方をはじめ、本分科会に所属する全ての皆様に感謝いたします。こうした節目の年に応用物理学会の副会長という大役を仰せつかりましたが、応用物理の“応用”とは、単なる理論や基礎研究だけでなく、技術によって人の生活を良く変えてゆくことを常に考え続けることと思っています。そこで本稿ではプラズマを用いた技術の発展（特に筆者の専門の半導体デバイス加工を中心に）を振り返り、人々の生活とどう結びついてきたか？について述べてみたいと思います。

これまで

ムーアの法則に従い進展する半導体デバイスの高集積化・微細化に牽引され、ドライエッチング技術等のプラズマプロセスは発展し、1990 年代には加工処理のメカニズム探索や生産性や選択比を向上させるための高密度プラズマ源の開発が活発に行われました。高周波の CCP や ICP など現在でも活躍している多くのプラズマ装置が登場し、またイオンやラジカルといった活性種の制御についての理解が深まったのもこの頃で、今でも用いられている加工技術の基礎はこの頃にほぼ固まったと考えてよいでしょう。そして高速で信号処理を行うロジックデバイスや大容量のメモリーなどの実用化によって、我々の扱う種々の情報やデータは電子化され、皆が PC を通じて保存することができるようになり、さらにインターネットを通

じたやり取りが始まりました。

2000 年を過ぎると、半導体デバイスが求めるプラズマ技術への要求はより厳しくなり、微細化の進行と並行して Low-k、High-k などの新しい材料の加工や基板の大口径化への対応も必要とされるようになりました。微細なパターン寸法の僅かな揺らぎすら許容することが難しくなり、さらに形状や加工速度だけではなくプラズマから照射されるイオンや光によるダメージの抑制も強く求められるようになってきています。こうした課題に向き合いつつ加工表面の反応モデルが詳細に論され、どのような粒子をどのようなエネルギーで入射させるべきか、あるいはその変動要因はなにかという議論を繰り返す中で量産設備におけるプラズマ制御の質は格段に向上しました。こうした技術に支えられ、高速の信号処理を低電力で行うことができるデバイスが実用化され、大容量のグラフィックを自在に操るゲーム機やスマートフォンに代表されるモバイル機器が発展し、さらにこれらが無線 LAN でクラウドに繋がることで、いつでもどこでも必要な情報にアクセスできる便利な時代になりました。一方で、溢れる情報の海に漂い、休む間もなく機器を操作しながら検索や情報選択を行うことに意識やエネルギーを奪われている人も多いのではないのでしょうか？

これから

半導体技術のロードマップを示す IRDS¹⁾によればパターンを形成するリソグラフィ技術による微細化は 2028 年に停止するとされています。この微細化の終焉とともに半導体技術の発展が止

まるような誤解もあるようであるようですが、実際には半導体デバイスは3次元的にトランジスタを積層する技術等により更なる高集積化を実現し (More Moore、図1)、またメモリー、ロジックやセンサーなど複数の機能を持つデバイスをチップ上に複合する技術 (More than Moore)、さらに従来の電荷制御に囚われない新たなデバイス (Beyond CMOS) の研究も進んでいます。[1] そして原子レベルで定量的に制御されたプラズマプロセスが今後こうした新たなデバイス製造に必要とされ今後も発展し応用されてゆくことでしょう。

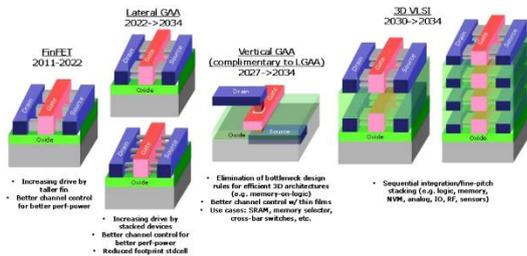


図1 トランジスタ構造の進展 (More Moore)

また半導体デバイスの応用先はデータセンターやモバイル機器から車や医療、農業に至るまで拡大の一途にあり、技術は微細化とともに終焉を迎えるどころか、今後更なる発展を遂げてゆくことに疑う余地はありません。そしてその発展は微細化のようなひとつの決まった方向ではなく、皆が何をしたいかという未来のアプリケーションや新たなニーズ、ライフスタイルの変化などに牽引され、多様な形に進化してゆくと言われています。過去に応用物理学会が作成したアカデミックロードマップ[2]では将来は「機器を感じさせない自然で豊かな時代」に至ると示されており (図2)、特別な操作を行うことなく必要な情報や環境の変化がその人の状況や感覚に合わせて供される世界のことを示していると読み取れます。これは過剰な情報に翻弄され少々疲弊している今の我々に対するアンチテーゼなのかもしれません。



図2 アカデミックロードマップ

おわりに

将来どのような世界が来ても、我々が長年培ってきた“プラズマを用いた緻密なモノづくり技術”は応用の幅を広げつつ、その質をさらに高めてゆくことでしょう。本稿を目にして頂いた皆さんが、将来の自分や家族にどのような世界を届けたいのかを考え、そこに至るために必要なサービスやデバイスは何か、さらにはそれを実現するためにどのようなプラズマ技術が必要となってくるか・・・と思考を広げ、研究開発と未来とを繋ぐイメージを持って頂きたいと思います。こうした議論の場としてのプラズマトロンクス分科会のさらなる発展に期待します。



図3 半導体技術が変えてゆく世界

[1] IRDS: International Roadmap for Devices and Systems, <https://irds.ieee.org/> .

[2] 応用物理分野のアカデミックロードマップの作成報告書 (2008) 応用物理学会, https://www.jsap.or.jp/archives/jsap75/academic_01.html .

機械学習を利用したプラズマ材料プロセッシング

大阪大学工学研究科 幾世和将 浜口智志

1 はじめに

自然科学では、「実験」と「理論」を組み合わせることによって仮説を検証する研究手法が確立されている。「観測」も含む幅広い意味での実験研究により、自然を観測し、その観測結果を、過去の知識と組み合わせて説明する論理、すなわち、「理論」を「仮説」として組み立てる。その「理論」から予測される結果が自然界で実際に観測されるか否かを、更に、「実験」を用いて検証し、つねに矛盾なくその理論で現象が説明できれば、「理論」が確立されたとして受け入れる、という手法で科学の発展が支えられている。

「理論」に基づいて、自然現象を予測するために用いられるのが「数値シミュレーション」である。典型的な「数値シミュレーション」は、「理論」が数式を用いて定式化できる場合、特定の条件下で、その「理論」から導かれる現象を具現化するためのツールである。近年の急速なコンピュータの計算機能力の向上により、「数値シミュレーション」が研究活動に必要不可欠で極めて強力なツールになった。

一方、「実験」→「理論」の方向の研究推進に、近年の計算機技術を最大限に活用する、という努力は、これまで、あまり行われてこなかった。努力ばかりの問題でなく、技術的に非常に難しい。

「実験」→「理論」における「仮説」の立案は、科学者が科学者たりえる最も重要な研究領域であり、この部分をコンピュータにとって替わらせるというのは、そもそも、科学者側に、大きな精神的抵抗がある。実際に、実験装置につながったコ

ンピュータが、観測した現象を説明する数式を導出して、論文まで投稿したという話は、筆者は、これまで聞いたことがない。

この「実験」→「理論」に向かう仮説の立案作業をはじめ、多量のデータから何らかの法則性を帰納的に導く技術を、本稿では、とりあえず、「データ駆動解析」とよぶことにしよう。「数値シミュレーション」の「逆問題」のような技術であるが、世間で広く受け入れられている適当な言葉がない。「インフォマティクス」というのが、日本語ではこの意味で用いられることも多いが、**Informatics**は、世界では、一般的な「情報科学」の同義語とし長らく用いられてきた。このデータ駆動解析に用いられる様々な手法、特に、その数学的原理を系統的に理解するための科学は、「データ駆動科学」「データ科学」とよばれ、情報科学の一分野である。

この「データ駆動解析」技術は、「実験」→「理論」における「仮説」の立案ばかりでなく、実際には、研究の様々な場面で使われる。データ量が少ない場合、人間がデータを見て解釈することが可能であったかもしれないが、データが膨大な場合、データから何らかの法則性を導くのに、コンピュータを活用する必要がある。解析するデータは、実験データばかりでなく、計算機シミュレーションから得られたデータを用いることもある。以下では、膨大なデータから、コンピュータ（機械）が何らかの規則性を見つける、「機械学習」のプラズマ分野、特に、プラズマ・プロセス分野への応用について議論する。[1-4]

2. プロセス開発への機械学習応用

材料科学の分野では、これまでの伝統的な研究手法である「実験」と（数値シミュレーションも含む）「理論」を用いた解析に、「データ駆動解析」の技術を導入することにより、新規機能性材料開発の大幅な効率化であることが示された。このような研究手法は、わが国では、マテリアルズ・インフォマティクス（MI）とよばれている。[5] 米国では、この分野の研究が、Materials Genome Initiative (MGI)とよばれる国家プロジェクトとして、2011年から始まった。MIの開発に伴い、単に既存のデータを活用するばかりでなく、high-throughput experiment (HTE)、あるいは high-throughput screening (HTS) 等のような、材料データを極めて効率的に取得する実験手法も開発された。[6] MI/MGIでは、材料を構成する元素種とその構造に対して、材料の機能を関連付け、その傾向から未知の物質の機能を予測し、所望の機能を持つと思われる材料候補を少数選び、実際に、候補材料を作成して、所望の機能が発現するか否かを実験的に確認する。試行錯誤による材料探索に比べ、こうした手法は、新規材料発見の効率化に大きく貢献する。

一方、所望の機能性材料の構成元素と構造が分かったからといって、そのような材料を合成する手法は、別途、合成プロセスとして、開発する必要がある。今後は、製造プロセスの探索分野にも、機械学習を含む人工知能（AI）技術の活用とその発展が期待される。

例えば、半導体製造過程に多用されるプラズマ・プロセスにおいて、エッチング・プロセスは、デバイスの微細構造を形成するうえで、極めて重要な技術である。新規デバイスの製造ラインを設計するにあたり、このデバイスを製造する個別プロセスも開発する必要がある。被エッチング材料は、種の組み合わせにおいても、そのスパッタリング・

デバイス側の要求から決まっても、マスク材料や、照射するプラズマの放電条件、プラズマ発生に用いるガス種の選択等、一つのプロセスを開発するための選択肢は、無数とっていいほど多い。現在のプロセス開発は、主として、過去の経験と試行錯誤によって行われているが、新規デバイスにおける新規材料や新規構造の導入、エッチングや堆積プロセスの制御が難しい極端な微細構造の導入等により、新規のプロセス開発は、ますます難しくなり、そのコストが莫大になっている。プロセス開発のコストを抑えるためには、過去のデータや、新たな研究により得られた知見に基づき、プラズマの条件とエッチング率（単位時間当たりエッチングにより掘れる穴や溝の深さ）の関係等、プロセスの基本情報が、実験的試行錯誤を行う前に、計算機上で速やかに予測できることが望ましい。

そのような解析の一例として、エッチング率、あるいは、スパッタリング・イールド（入射イオンあたりの平均的脱離原子数）の予測問題を考えよう。表面を構成する物質が単元素物質で、入射イオンも単原子イオンの場合、すでに多くの実験データが得られている。例えば、参考文献[7]から、周期表で、BeからUまでの各種基板材料、入射イオンはH⁺からPb⁺まで、イオン入射エネルギーは、10から10⁶ eVまでの範囲で、筆者らは、5548点の実験データ（データの各点は、特定のイールド値と、それを与えるイオン入射エネルギー、基板材料種、入射イオン種の情報の組み合わせ）を読み取った。もちろん、周期表でBeからUまでの間の元素でも、実験データのない基板材料もあれば、大量のデータのある基板材料もある。入射イオンに関しても同様である。これら全体をガウスプロセス過程回帰（GPR）によって回帰を行い、実験データが掲載されていない基板材料とイオンイールドの予測値を与えた。

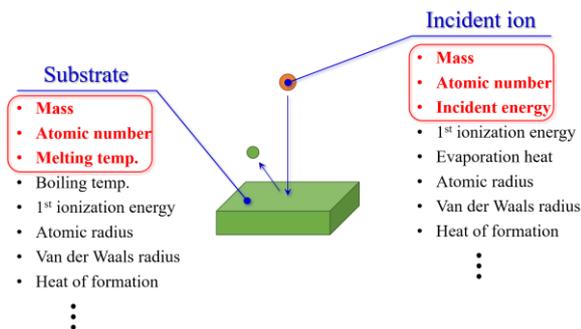


図 1 : スパッタリング・イールド予測に用いた記述子 (赤字) の例

この問題では、回帰を行うための目的関数はスパッタリング・イールドであるが、記述子、すなわち、スパッタリング・イールドが依存すると思われる物理量を、まずは、決める必要がある。常識的には、基板材料と入射イオンの種類は指定する必要があるため、これらの元素の原子番号は、必要な記述子であろう。基板材料に関しては、当該原子の質量や、当該原子間の結合エネルギーに深く関与している融点や沸点、それ以外にも、原子半径、生成熱、密度など、基板材料を特徴づける、様々な物理量が記述子の候補となる。入射イオンに関しても、同様である。どのような記述子を選ぶのが適当であるか、それはどのように判断できるかの議論は、例えば、文献 [8,9]にある。ここでは、まずは筆者らの直観に従って、基板材料側は、原子質量、原子番号、融点、入射イオンに対応する原子所法として、原子質量、原子番号、入射エネルギーの6つを、記述子として指定して、GPR を行った。(図1)

回帰においては、Grid Searchによってハイパーパラメータを探索し、過学習 (overfitting) を避けるため、交差検証 (10-fold Cross Validation) を用いて各ハイパーパラメータの評価を行った。これは、5548点の実験データを、ほぼ均等のデー

タ数を持つ10組のグループにランダムに振り分け、そのうち9組を使って特定のハイパーパラメータにおける回帰モデルを作成し、残りの一組を使ってその性能評価テストを行うという操作を、学習・テストデータを入れ替えながら10回繰り返すことで、そのハイパーパラメータにおける回帰モデルの全体的な性能を評価するものであり、最も良い回帰成績を与えるハイパーパラメータを選択して回帰モデルを作成し、回帰関数として採用した。本研究では、Python module のGPy [9]を用い、カーネルは、radial basis function (RBF)を用いた。

図2に、Cu 基板にAr⁺イオン入射した場合のGPRによる回帰曲線 (オレンジ色の曲線) とその不確かさ (標準偏差: オレンジ色の帯)、および、実験データ (+で表示) を入射イオンエネルギーの関数として示す。回帰は、基板材料と入射イオンの各種組み合わせ全体に対して行っているため、

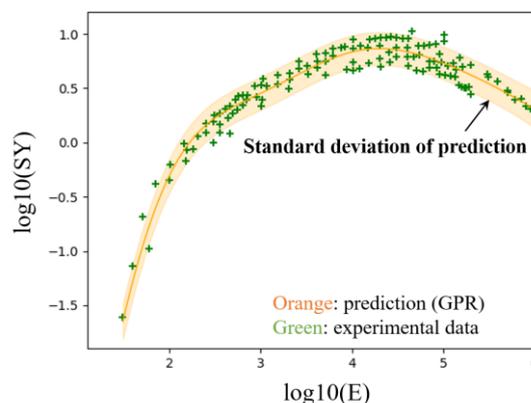


図 2 : Cu 基板に対する Ar⁺ イオンによるスパッタリング・イールド SY のイオン入射エネルギー依存性。GPR による予測値 (オレンジ色の曲線)、その不確かさ (標準偏差: オレンジ色の帯)、実験値 (+)。横軸はイオンの入射エネルギー (単位: eV)。縦軸、横軸とも、底 10 の対数表示。実験値は、文献[7]による。

データが存在しない基板材料と入射イオン種の組み合わせに対しても、似たような基板材料や入射イオン種の組み合わせに対するスパッタリング・イールド値から類推して、予測を行っている。

単一元素基板材料への単一原子イオン入射に関しては、実験データが多いので、回帰も比較的容易に行うことができた。一方、2元素以上の複合材料に対する反応性イオンエッチングに関する同種のデータは少なく、一般的な化合物（酸化物・窒化物等）材料に対するエッチング率の予測を行うためには、今後の更なる研究が必要である。

プラズマ・プロセス分野における他の応用例として、機械学習を使った、エッチング形状制御の研究例がある。[11] これは、機械学習を用いて、プラズマ条件と実験的に得られたエッチング形状の相関を求めることにより、エッチングの最適形状を与えるものである。また、エッチングばかりでなく、スパッタ堆積[12]、プラズマ支援化学蒸着（PECVD）や原子層堆積（ALD）プロセスのプリカーサ選択や堆積条件の決定等に関しても、機械学習を用いたプロセス開発の効率化が進むと考えられる。

3 仮想計測（VM）とプラズマ制御

プラズマ・プロセス装置が実用に供される際、研究用実験装置と異なり、装置の運転中に、装置内部のプラズマを計測する手段はほとんどない。装置から得られる少ない情報から、プラズマ内部の状態を、あたかも実際に計測したかのように予測する技術が「仮想計測」（virtual metrology: VM）である。プラズマ・プロセスの分野では、エッチングや PECVD 装置の入力パワーや電極間電圧、基板温度、入力ガス種やガス圧等、装置制御に直接関係するパラメータに加えて、装置につけられた小さなポートから観測されるプラズマ分光データを基に、プラズマの状態がどのように装置内の

基板処理に影響するかを、回帰分析等で明らかにする研究が進められている。[13] 現在までの研究では、大量の処理基板を観測することにより、処理で現れる欠陥と計測データの相関を求める手法が主流であるが、この手法は、あまりにも現象論的であり、異なるプロセスに対しては、改めて、再度、大量の処理基板データを解析する必要がある。将来的には、プラズマの数値シミュレーション等と組み合わせることにより、より広範囲で活用できる VM 技術が開発されるだろう。また、仮想計測の情報が、プラズマの実時間制御などにも活用されると期待されている。

4 数値シミュレーションの効率化

機械学習の活用が今後進むと考えられる他の分野が、数値シミュレーションの効率化である。数値シミュレーションは、理論を定式化した微分方程式等を、特定の初期境界条件等の元に、具体的な解を求めることが本来の目的であるが、理論が緻密で複雑になるほど、数値解を求めるのに時間がかかる。例えば、プラズマ・プロセス研究分野においては、プラズマ装置内の反応性プラズマの数値シミュレーション等がその例である。近年、大規模並列計算技術が進み、より高度なシミュレーションが可能となったが、その分、複雑なモデルを数値的に解くことが求められ、数値シミュレーションの精度向上に応じて、計算時間と計算コストは上昇している。

一方、プロセス開発研究の観点からは、現実には運転しているプラズマ装置内の様子を、近似的にでもよいので知りたいという需要があり、一定の精度の荒さを許容しても、極めて高速にプロセス装置の内部を予測するリアルタイム・シミュレーションの果たす役割は大きい。これは、計算時間のかかる高性能数値シミュレーションを大量に事前に行っておき、その結果のデータを整理・格納

して、必要な時にすぐに取り出せるようにすることで達成できる。このような多量なデータによる代理モデル (surrogate model) の開発が、理論と実験を結びつける有益なツールとして、今後進められると考えられる。

4 まとめ

データを活用して当該分野の研究の発展に貢献するという考え方は、「ビッグデータ」や AI 等が、一般社会で取り沙汰されるはるか以前からあった。その技術の基礎となる多変量解析等や情報処理の理論も、長年、研究されてきた。近年、この技術が再度脚光を浴びているのは、計算機の情報処理能力が大幅に向上し、また、センサー技術の発展や低コスト化で、大量のデータが集めやすくなったことで、いままでとは質的に異なる有益な結果が、データ駆動解析により、得られるようになったためである。

プラズマ・プロセスの分野においても、近年、研究で得られるデータの量があまりに膨大となり、人間の頭脳だけで解析できないようなデータ解析を、計算機の力をかりて行うことが必要不可欠となっている。機械学習をこれから学んで自分の研究に役立てたいと思っている読者には、一般の機械学習をゼロから勉強するのではなく、実際に、機械学習がプラズマ研究に応用されている例を見ながら、勉強していくことを強く薦める。というのも、データの種類や研究の目的によって、機械学習の使い方も、大きく異なるからである。一般的な機械学習や MI の教科書として文献[14, 15]の他、極めて多数の文献が存在するが、プラズマ分野へ機械学習の応用について広くまとめた文献は、まだ、存在しない。ここ数年でこの分野のレビュー論文が、いくつか、出版されるだろう。この分野の国際会議としては、「データ駆動プラズマ科学国際会議」 [16] が数年前から、毎年開催されており、次回は、来年 (2022 年) に米国プリンストン大学で開催される予定である。また、筆者らは、オンライン・セミナー [17] をほぼ毎週開催しており、希望者は、だれでも参加でき

る。ほかにも、国内で公開の研究会や、オンライン・セミナーが開催されているので、希望者は、それらから情報を得ることができる。

参考文献

- [1] 浜口智志 ; 静電気学会誌 **43**, 198 (2019).
- [2] 浜口智志 ; プラズマ・核融合学会誌 **95**, 535 (2019).
- [3] S. Benkadda, S. Hamaguchi, M. Muraglia, and D. O'Connell; Phys. Plasma **28**, 030401 (2021).
- [4] 今寺賢志 ; プラズマ・核融合学会誌 **97**, 64 (2021).
- [5] Juan J. de Pablo, *et al.*; npj Comput Mater **5**, 41 (pp.22) (2019).
- [6] M. L. Green, *et al.*; Appl. Phys. Rev. **4**, 011105 (2017).
- [7] Y. Yamamura and H. Tawara; At. Data Nucl. Data Tables **62**, 149 (1996).
- [8] 木野日織、幾世和将、DAM Hiue Chi、浜口智志; プラズマ・核融合学会誌 **95**, 542 (2019).
- [9] H. Kino, K. Ikuse, H.-C. Dam, and S. Hamaguchi; Phys. Plasmas **28**, 013504 (2021).
- [10] <https://sheffieldml.github.io/GPy/>
- [11] T. Ohmori, H. Nakada, M. Ishikawa, and M. Kurihara; Proc. Int. Symp. Dry Process, (Tokyo, Nov. 2017), 9.
- [12] F. Krüger, T. Gergs, and J. Trieschmann; Plasma Sources Sci. Technol. **28**, 035002 (2019).
- [13] S. Park, *et al.*, Phys. Plasmas **27**, 083507 (2020).
- [14] C. M. Bishop; "Pattern Recognition and Machine Learning" (Springer, 2006).
- [15] 木野日織、ダム ヒヨウ チ ; "Orange Data Mining ではじめるマテリアルズインフォマティクス" (近代科学社, 2021)
- [16] 3rd International Conference on Data Driven Plasma Science ; <http://www.ppl.eng.osaka-u.ac.jp/ICDDPS3/>
- [17] Physics informed Artificial Intelligence in Plasma Science (PiAI) Seminar Series; http://www.ppl.eng.osaka-u.ac.jp/JSPP_Core/seminars.html

研究センター紹介



非平衡プラズマ学際研究センターの設立 Interdisciplinary Research Center for Non-equilibrium Plasma

東北大学 大学院工学研究科 金子 俊郎

はじめに

非平衡プラズマは、電子、イオン、励起種、活性種、等で構成され、これらを制御して生成・活用することで、これまでに新機能性材料創製等への応用、また宇宙・航空分野での電気推進機等への応用等により、産業を根底から支えてきました。さらに近年では、大気圧非平衡プラズマの環境分野、医療分野、農業分野における応用研究が進展し、新たな学術領域が広がっています。このような非平衡プラズマの社会的・産業的な応用展開を加速させるべく、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』を設立いたしました(図1)[1]。

本研究センターでは、非平衡プラズマを活用する様々な領域の研究を、工学、医工学、農学、歯学、薬学、理学、生命科学の各研究科、電気通信、流体科学、加齢医学、材料科学高等の各研究所の先生方、さらには企業の皆様との連携システムを構築することで、非連続なイノベーションを創成



図1: 非平衡プラズマ学際研究センターの実験室がある教育研究実験棟。

するとともに、社会にインパクトのある研究へと進展させる「非平衡プラズマ学際研究拠点」を構築することを目的としています。

非平衡プラズマを基軸とした学際融合研究により、環境共生型・低消費電力・医療福祉・食の安全・未来社会を実現するために、「プラズマメディカル科学部門」、「プラズマアグリ科学部門」、「プラズマフロンティア科学部門」、「プラズママテリアル科学部門」の4つの研究部門(サブグループ)を設置し、非平衡プラズマによる、1.革新的細胞応答制御技術開発、2.革新的農業技術開発、3.次世代推進機開発、4.革新的ナノ材料創製、を目指して、独自のプラズマ装置の開発と各種計測システムの構築を行っています。

研究部門の紹介

非平衡プラズマ学際研究センターでは、上述しましたように4つの研究部門を設置し、部門に所属している研究者間で異分野連携の共同研究を行っています。それぞれの研究部門での主な研究内容についてご紹介します。

○プラズマメディカル科学部門(図2)

非平衡プラズマが気相・液相中で生成する電子、イオン、励起種、活性種の計測とその生成メカニズムを解明することを目的とした研究を行っています。さらに、大気圧非平衡プラズマを直接生体組織及び細胞に照射することで、細胞にダメージを与えずに遺伝子や薬剤を細胞内に効率良く輸送できる可能性が示唆されていることから、従来の



図 2：プラズマバイオ実験室 [医療応用低温大気圧プラズマ照射装置].

電界・電流やウイルスベクターを使う遺伝子導入装置に代わる、低侵襲高効率遺伝子導入装置の開発を目指しています。

これらの大気圧プラズマによる薬剤・遺伝子導入メカニズム解明や、より低侵襲高効率なプラズマ照射装置開発を目的として、異分野連携での共同研究を推進しています[2].

○プラズマアグリ科学部門 (図 3)

大気圧非平衡プラズマで生成される反応性が高く寿命の短いイオンやラジカルを利用することで、農作物に残留しない殺菌が期待できることから、化学農薬をできるだけ使わない、プラズマによる新しい農作物の病害防除法の開発を行っています。



図 3：プラズマアグリ実証実験設備 [プラズマ照射溶液噴霧殺菌装置].

イチゴやトマトなどの栽培ハウス向けのプラズマ殺菌システムの開発と殺菌メカニズム解明を目指し、学内の実証実験室や宮城県内外のイチゴ農園等で農業応用の実用化研究を進めています[3].

また、プラズマを精密制御することで活性酸素・窒素種を選択的に生成する装置を開発し[4]、一例として五酸化二窒素のような不安定活性窒素種が植物細胞を活性化させる可能性に着目した、プラズマによる植物免疫の亢進を目指した研究も行っています。

○プラズマフロンティア科学部門 (図 4)

高密度非平衡プラズマを用いた次世代大電力プラズマ推進機およびナノ秒パルス放電プラズマを用いたプラズマアクチュエータ等の次世代の航空・宇宙に関わる推進機の開発を行っています[5]. これまでに、通常は2台の推進機が必要とされるスペースデブリ除去動作を1台で実現する室内原理実証実験等に成功しています[6].

さらに、核融合プラズマや宇宙プラズマ等のフロンティア科学を推進する基礎プラズマ物理の研究も行っています。

○プラズママテリアル科学部門 (図 5)

独自の非平衡プラズマ生成・制御技術を駆使し

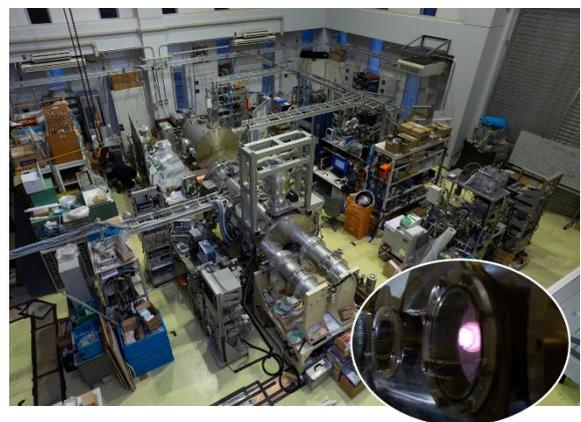


図 4：プラズマ推進機実験室 [推進機原理実証実験装置].



図 5：プラズマナノ材料実験室 [非平衡プラズマ新規ナノ材料合成装置].

て、ナノ粒子、ナノカーボン（フラーレン、カーボンナノチューブ、グラフェン）、二次元原子層材料等の革新的ナノ材料を創製すると共に、それらを使った新機能的ナノデバイスの開発を推進しています[7]。また、二次元原子層材料の遷移金属ダイカルコゲナイド（TMD）を用いて、透明かつフレキシブルな太陽電池の開発に成功するなど、光と電子デバイスを融合した次世代高機能光電子デバイスの開発に関する研究も行っています[8]。

おわりに

非平衡プラズマ学際研究センターでは、上述したような各研究部門での共同研究を基盤とし、今後は国内外の研究者の皆様とも連携させていただき、新たな共同研究を推進したいと考えております。そのひとつとして、2020年11月には、プラズマと生物学の異分野融合研究を行っているプラズマバイオコンソーシアム[9]に本研究センターも参画させていただき（図6）、医学分野、生物学分野、植物学分野での連携を深めています。さらには、大学、研究所、企業の皆様に自由に参加していただける国際シンポジウムの開催、非平衡プラズマの活用に関するセミナーの開催なども行っていきたいと考えております。



図 6：プラズマバイオコンソーシアムの概要。

応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会会員の皆様には、本研究センターの活動に対しまして、今後ともご支援、ご鞭撻を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

参考 URL

- [1] 非平衡プラズマ学際研究センター <https://www.ecei.tohoku.ac.jp/plasma/IRCNP/>
- [2] <https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2016/05/press20160513-01.html>
- [3] <https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2018/11/press20181126strawberry.html>
- [4] <https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2021/01/press20210105-02-n2o5.html>
- [5] <https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2020/10/press20201028-01-plasma.html>
- [6] <https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2018/09/press20180927-purazuma.html>
- [7] <https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2018/08/press20180808-01-ribon.html>
- [8] <https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2019/09/press20190911-01-atom.html>
- [9] <https://www.nins.jp/site/psc/>

Plasma Research and life in Japan

Tokyo Electron Miyagi Ltd Cedric Thomas

Introduction

I have been in Japan for over 10 years now, coming at the beginning of 2009 as a post-doctoral fellow. It has been a fruitful journey as I could extend my knowledge and work on different applications, from fusion science to advanced equipment for semiconductor industry. Allow me to tell you my story and my thoughts about the life and research in Japan.

From France to Japan: the beginning

I got my PhD in 2008 from Aix-Marseille University in France about the interactions of carbon surfaces with hydrogen beams (ions and atoms) and plasmas, as a model of chemical erosion occurring in tokamaks (thermonuclear fusion reactors) [1]. During my last year, I was able to have some contacts with Prof. Hamaguchi from Osaka University and prepared some application to the JSPS grant program. At the same period, an International Joint Laboratory was being created between my laboratory in France (laboratoire PIIM), CNRS, National Institute for Fusion Science, Kyushu University, and Osaka University to increase collaboration between France and Japan on thermonuclear fusion research.

After getting the JSPS grant, I moved to Japan in beginning of 2009 to join Prof. Hamaguchi's group at Osaka University. At that time, I was not able to speak or read Japanese. During the

first few months of my stay, I could find a place to live, study Japanese and discover Japanese (mostly Kansai) life and culture. The language barrier was obviously the most difficult hurdle to overcome but I have to say that the support given by lab members, Osaka University and the JSPS program was amazing. In a few month, I could master some basics of Japanese, so daily life became easier and I could get more into the Japanese culture. There are many differences between European and Japanese cultures that it would be too long to describe. But I remember when I was introduced to some of Japanese parties such like 花見(hanami) and 忘年会(bounenkai). In addition, I discovered so many interesting spots and festivals (まつり) in Kansai area that it made me fall in love with Japan.



Fig. 1 Osaka famous neighborhood

I totally spent 3 years at Osaka University, continuing some work on beam experiments with Prof. Karahashi and trying to build a new

experimental bench. Researching about fundamental interaction of hydrogen and materials for plasma application [2] also lead me to look more into industrial applications and semiconductor industry.

Moving to Tohoku University

Then, in 2012, I moved to a new position at Tohoku University, in Prof. Samukawa's laboratory. My role was to research about neutral beam etching and its application on nano-patterning for quantum dot fabrication (called nano-disks, ND). The process included patterning by bio-template and etching process of Si, III-V, and III-N materials. Quantum dots (QD) are nanoscale crystals that can transport electrons and can emit photons. QD properties are defined by their size which is typically in the range of a few nanometers. From this top-down approach, the point was to etch through a stack of different material of several nanometers-thickness. The main advantage was to reduce size of QD to less than 10nm in diameter and to avoid material stress, uniformity and lens shape issues happening in a bottom-up process.

In addition, etching damages were reduced thanks to the use of Neutral Beam technology, developed in the laboratory [3]. A plasma is generated in an ICP source separated from the process chamber by a biased carbon electrode with high aspect ratio aperture array. Charged particles coming from the plasma are effectively neutralized by colliding the inner walls of the aperture and UV irradiation from the plasma is eliminated.

We had several breakthrough about the III-V

nano-disk system and eventually, we were able to fabricate a ND light emitting diode which showed an intense and narrow photoluminescence (PL) emission [4].



Fig.2 Cherry tree blossoming at Katahira campus, Tohoku University

At the time I joined Prof. Samukawa laboratory, there were multiple on-going projects with several Japanese semiconductor companies. It was impressive to see so many collaborations compared to my experience in France. Of course, such collaboration with industry also exists in France but I felt that Japan has reached a higher level (which I could already experience in Osaka).

Moving to Sendai made me discover a different region of Japan too. Coming from Osaka, I found the difference quite appealing! My most precious discovery was about the people: while people can be loud and somehow short-tempered in Osaka, Sendai people are calmer and more distant (you might think cold to some extent). I realized that we had the same kind of differences in France. Indeed, Marseille, the city in South of France, is known for its loud and short-tempered population while North-East of

France (where I am from) is more similar to Sendai: people usually say that we are cold! Even if separated by thousands of kilometers and having different culture, still some aspects seem universal.

Academic to Industry

Overall, I stayed 4 years at Tohoku University and then decided to join a Japanese company when the opportunity happened. I already knew about it from my work in Tohoku University as we had some collaboration. We even visited the office in Sendai to present our research. So in April 2016, I became an employee of Tokyo Electron Miyagi Ltd, a subsidiary of Tokyo Electron.



Fig.3 View of Tokyo Electron Miyagi

Tokyo Electron is a semiconductor production equipment manufacturer and has more than 10000 employees in USA, Europe, and Asia. At Tokyo Electron Miyagi, in Sendai, we are specialized in etch tools. I have had the chance to join the R&D department for process and tool development. My current job consists in supporting our customers by developing etching processes that meet their criteria for their

advanced nodes. This is a quite exciting challenge as we are working on cutting edge technologies. Another challenging point was the environment: compared to academic world, it is more difficult to communicate inside company as not as much people are familiar with English. But since I joined, I can see the results from all the efforts made internally to increase English proficiency. This goes side by side with the company opportunities to work abroad of Japan. As a foreigner living in a different country, I can say that it is a great chance to be able to spend some time abroad of your home country.

Concluding remarks

Along these over 10 years living in Japan, I have realized how much I learnt from it. Facing a different culture is sometimes overwhelming but I was lucky to have the right persons around me: students, colleagues, co-workers, bosses, and friends. Reflecting on my career path so far, I believe that nothing is impossible as long as you work hard for it. And Japan is one of the great place to achieve your goals.

I think that plasma research in Japan is still one of the top. The synergies between academia and industry is strong (especially in semiconductor industry) and other fields are not too far behind (plasmas for medicine and bio-applications, fusion plasmas...). Hopefully, this can continue or even grow up.

Finally, I'd like to say that I have met really talented people in the Japanese plasma community and I am really thankful to the conversation we could have together. My wish is to meet even more people in the future, as it

seems I will continue my stay in Japan for a bit.

参考文献

[1] C. Thomas, PhD Thesis, Aix-Marseille University.

[2] C. Thomas, K. Karahashi, T. Angot, S. Hamaguchi, 64th Annual Gaseous Electronics Conference, 2011

[3] Wang et al.; J. Vac. Sci. Technol. B, 28, (2010), 1138.

[4] Higo et al; Sci. Reports, 5, (2015), 9371.

研究紹介

プラズマオンチップ： マイクロデバイスでプラズマが細胞に及ぼす作用の解明に挑む

¹熊谷慎也、²小林未明、³呉準席、⁴友田紀一郎、⁵清水鉄司、⁶佐々木実
¹名城大学、²大阪医科薬科大学、³大阪市立大学、⁴Gladstone Institutes、
⁵産業技術総合研究所、⁶豊田工業大学

1. 緒言

プラズマとは、固体、液体、気体に次ぐ、物質の第4の状態である。正の電荷を持った粒子と負の電荷を持った粒子を含み、系全体としては電氣的に中性な状態となっている。プラズマの中では様々な粒子が互いに衝突している。電子が原子・分子と衝突すれば、原子・分子種を高いエネルギー状態に励起したり、化学的に活性な粒子が生成したりする。原子・分子種が高いエネルギー状態から低いエネルギー状態に遷移する際に光が生成することもある。これらの諸反応の結果、プラズマは様々な反応性が備わる。プラズマ研究者は、その反応性に魅せられた故に、研究に従事しているといえよう。

プラズマは様々な分野に応用されてきたが、いま注目を集める応用分野の一つにライフサイエンスがある。生体は外部からの様々な刺激に対して応答を示すことは生物学において古くから知られている。そこで、プラズマが持つ反応性を生体に与える刺激として用い、生体の活動を制御することが考えられた[1]。皮膚疾患に対してプラズマを照射すると治りがよくなることや[2]、火傷の治療への適用も報告されている[3]。実験室レベルでは、腫瘍細胞を選択的に殺傷することも報告されている[4]。他にも数々の革新的な研究成果が報告されている。

プラズマを照射した際に生体内では何が起きているのだろうか？ メカニズム解明に向けて、プ

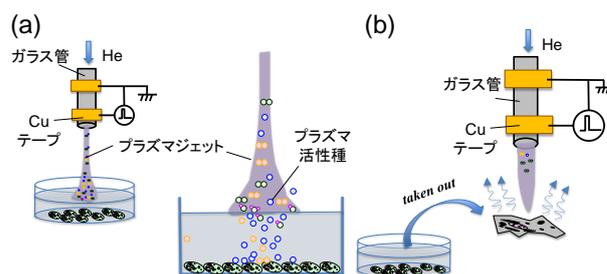


図 1 (a) 培養液中の細胞へのプラズマ照射。(b) 取り出した細胞へのプラズマ照射。

ラズマバイオの研究者は精力的に取り組んできた。

ポピュラーな例を挙げよう。ジェット型のプラズマ源を用いて、培養細胞のシャーレにプラズマを照射し、細胞の応答反応が評価されてきた[図 1(a)]。ここで、この実験の状況を詳しく考えてみたい。プラズマは、先ず、培養液と衝突する。その後、プラズマによって生成された活性種が培養液中を移動し、シャーレの底面に付着している細胞に到達する。プラズマの影響が細胞に及んでいることに違いはないが、細胞に対してどの活性種が到達しているのか、どれくらいの量の活性種が到達しているのか、これらを定量的に評価するのは容易ではなく、メカニズム解明に向けてのハードルは高い。細胞に対してプラズマ活性種を定量的に供給するのであれば、培養液中から細胞を取り出してプラズマを照射することも考えられる[図 1(b)]。プラズマを確実に当てるという点ではよいかもしれないが、培養液から取り出した時点から細胞が乾燥し始めるため、乾燥の影響をみて

いるのか、プラズマ照射の影響をみているのか、分かりにくい。以上のことから、プラズマが細胞に及ぼす作用を明らかにするには、液体中という細胞の培養環境を保ちながら、気体であるプラズマを細胞に対して確実に直接照射するという、矛盾ともいえる課題を解決しなければならない。

2. 細胞にプラズマを直接照射するアイデア

細胞に直接プラズマを照射するため、液体の表面張力を活用することを着想した。このアイデアを実現するマイクロデバイスの構造を図 2 に示す。著者らはこのマイクロデバイスを「プラズマオンチップ」と名付け、研究を進めている[5-7]。

プラズマオンチップは、細胞を培養するためのマイクロシャーレ（大きさ：100 μm × 100 μm 、深さ：200 μm ）とマイクロプラズマ源とで構成されている。マイクロシャーレの底面には、直径 10 μm の貫通孔がつけられている。この貫通孔を持つマイクロシャーレに対して細胞を含む培養液を注ぐと、貫通孔部では液体の表面張力によって、気相と液相を隔てる界面が生じる。その結果、液体培地はマイクロシャーレの中に保持されるため、細胞を培養することが可能になる。続いて、マイクロシャーレの背面に設置されたプラズマ源で、プラズマを発生させる。生成されたプラズマ活性種は、貫通孔部にできた気液界面を通り抜け、その近傍に位置する細胞に直接到達できる。その結果、これまで議論の進んでいなかった短寿命活性

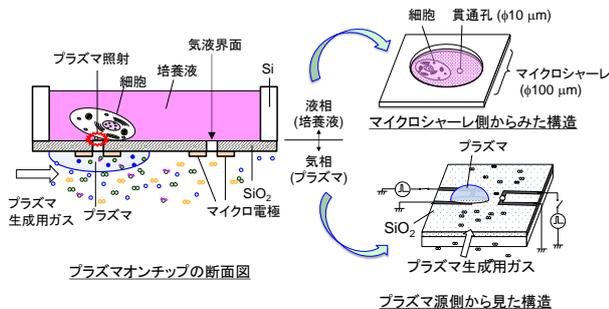


図 2 プラズマオンチップの模式図。

種の効果を解析できる可能性もある[8]。

一方で、液体中における活性種の拡散距離の違いを積極的に利用することも考えられる。細胞から離れた貫通孔よりプラズマ活性種を供給すれば（図 2 において、細胞より離れた貫通孔付近でプラズマを生成する）、細胞に供給するプラズマ活性種の種類を選択することも可能である。

3. プラズマオンチップの作製

プラズマオンチップを図 3 に示す微細加工プロセスのフローに沿って作製した。

厚さ 3 μm の酸化膜をつけた、厚さ 200 μm のシリコンウェハを切り出して基板をつくり、微細加工を進めた。フォトリソグラフィによって貫通孔とマイクロウェルのパターンを基板の両面に作製した後、バッファフッ酸を用いてシリコン酸化膜部をエッチングする。その後、深堀エッチング技術（Deep Reactive Ion Etching: DRIE）で、細胞を培養するためのマイクロシャーレを形成する。

続いて、マイクロシャーレの背面にマイクロプラズマ源を作製する。フォトレジストを剥離して

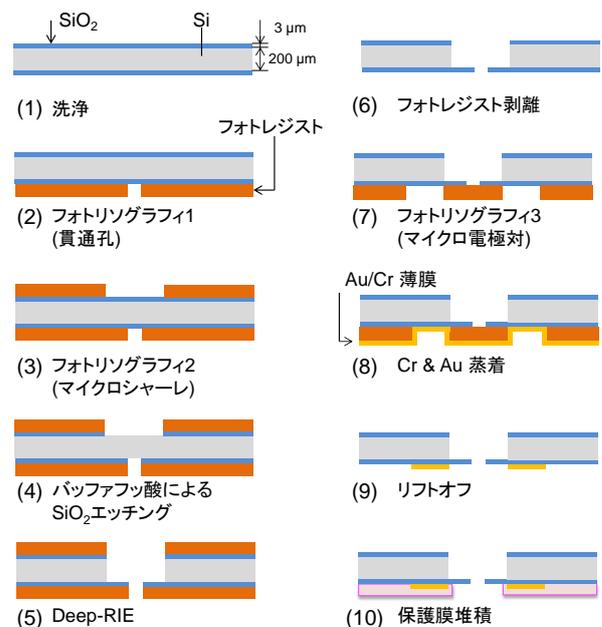


図 3 プラズマオンチップの作製プロセス。

レジストを再び塗布し、フォトリソグラフィでマイクロ電極対のパターンを作製する。続いて Au/Cr 薄膜を蒸着し、その基板をアセトンに浸漬する。レジスト上の Au/Cr 薄膜は、下地となっていたレジストが溶解するので基板から剥がれ、基板表面のシリコン酸化膜上に堆積した Au/Cr 薄膜の部分がマイクロ電極対の形となって現れる。その後、Au/Cr 薄膜電極対の表面に誘電体材料の保護膜を形成し、プラズマオンチップは完成する。

4. プラズマオンチップ上での細胞培養

プラズマオンチップのマイクロシャレで細胞を培養するために、プラズマオンチップをフッ素樹脂治具に固定する(図4)。その後、治具の液体リザーバー部に細胞を含む培養液を注入し、マイクロシャレ内へ細胞を導入する。細胞をインキュベーターの中には、この治具ごとインキュベーターの中に設置する。

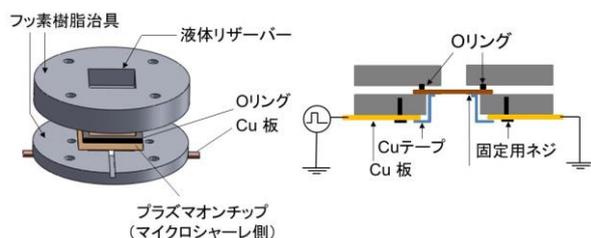


図4 プラズマオンチップのフッ素樹脂治具への組み込み。

5. プラズマオンチップでのプラズマ生成

マイクロ電極部にヘリウムガスを吹き付け(0.7 slm)、電極間に高電圧を印加すると(700 V, 10 kHz)、図5に示すように、マイクロ電極対のギャップ部でプラズマが生成する[6]。リサージュから計算される消費電力は200 μWであり[7]、マイクロプラズマ源の連続放電時間は10分である。

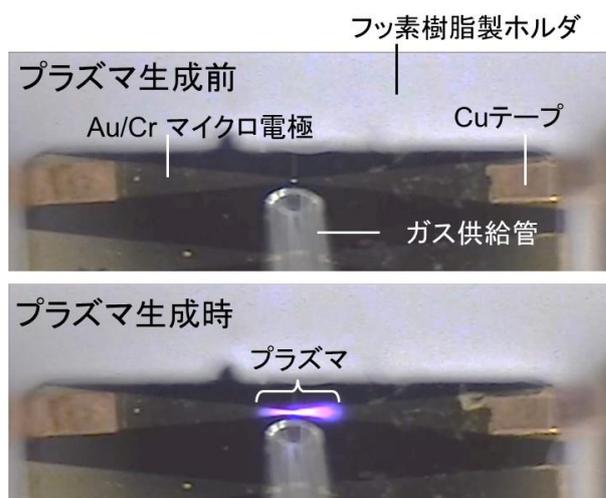


図5 プラズマオンチップでのプラズマ生成。

6. プラズマオンチップを用いた生体試料へのプラズマ照射

プラズマオンチップのマイクロシャレで緑色藻類である *Chlorella* を培養し、プラズマ照射の前後で活性の評価を行った[5,6]。*Chlorella* はバイオマスエネルギーの観点から注目されており、さらに工学研究者でも扱い易い点はメリットといえる。また、内部に持つクロロフィル由来の蛍光を発することから、蛍光顕微鏡で容易に観察できる。

プラズマ照射前後の *Chlorella* を図6に示す。*Chlorella* は赤い輝点として観察されるが、プラズマ照射後の顕微鏡写真では輝点の数が減少した。プラズマで生成された活性種が細胞の内部に届き、クロロフィルを失活させたことが考えられる。

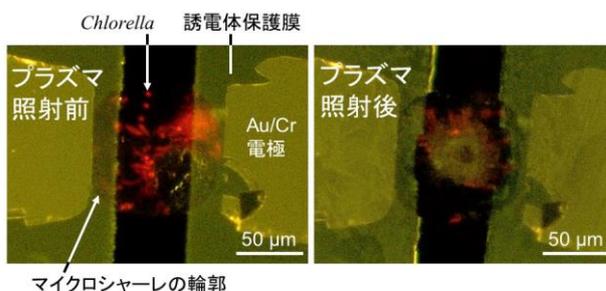


図6 *Chlorella* 細胞の顕微鏡像。

7. プラズマオンチップの改良

初期のプラズマオンチップでは、一つのシリコン基板上に細胞培養用マイクロシャーレとマイクロプラズマ源を作り込んでおり、作製プロセスは複雑であった。そこで、マイクロシャーレとプラズマ源とを別々に作製し、後に組み合わせることも行っている。様々なプラズマ源を試すことが容易になり、プラズマの作用を評価する際のバリエーションが大きく広がる。

マイクロシャーレで培養するマウス線維芽細胞 L929 に対して、貫通孔越しにプラズマジェットを照射した際の結果を図 7 に示す。プラズマを照射することで、マイクロシャーレの底面上で伸長していた細胞の糸状仮足 (filopodium) がなくなり、細胞の形状が大きく変化していることが分かる。プラズマの作用が細胞に及んでいることが分かる。

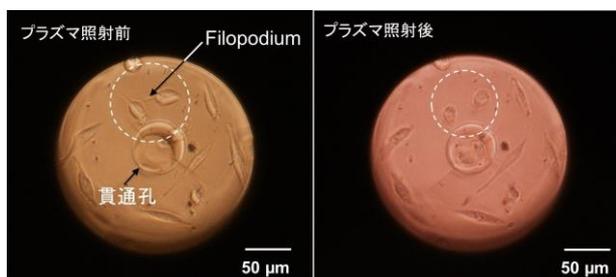


図 7 マイクロシャーレ内で培養される L929 細胞へのプラズマ照射。

8. プラズマが液体中に生成する活性種の計測

プラズマが液体に接すると、液体の中に活性種が輸送される。生体に影響を与える活性種として、活性酸素種、活性酸素種が注目され、液体中におけるそれらの定量解析が進められている。著者らは、プラズマオンチップで細胞にプラズマ照射を行っている際に液体中に輸送される活性の種類や濃度の計測を行っている [9]。

プラズマオンチップのマイクロウェルの寸法は縦横 100 μm \times 100 μm 、深さ 200 μm であり、そ

の容積を計算すると僅か 2 nL である。このような微量の液体の分析は、きわめて難しい。

思案を重ねる中で、図 8 に示す手法を着想した。分光用の合成石英キュベットの上に、プラズマオンチップを逆さにして置くのである。プラズマを生成すると、プラズマ由来の活性種はマイクロウェルの中に進入し、さらに分光用キュベットの脱イオン水中へと比較的安定な長寿命の活性種に変化しなから拡散する。そして、拡散してきた活

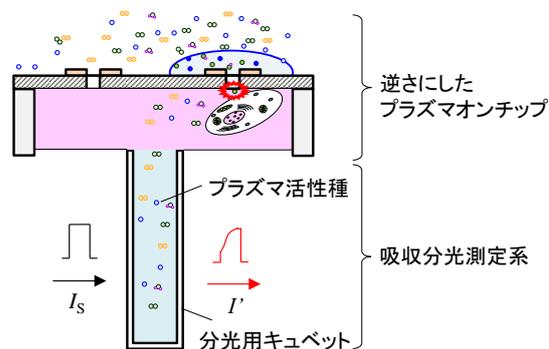


図 8 プラズマオンチップで液体中に輸送される活性種を測定するアイデア。

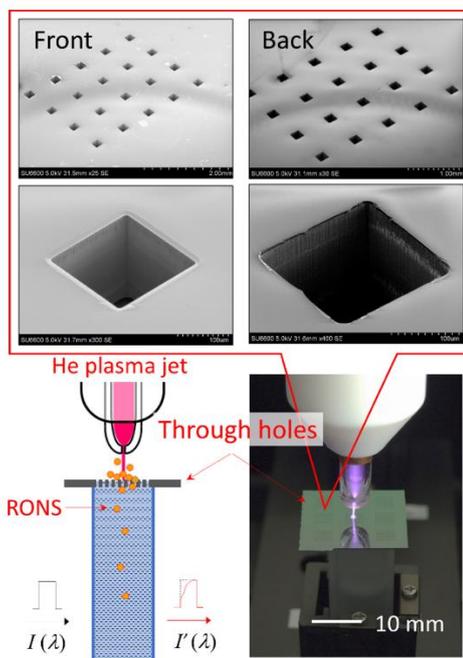


図 9 プラズマオンチップで液体中に輸送される活性種計測の実験系。

性種を高感度紫外吸収分光法でとらえる、というアイデアである。実際の実験では効率化を図るため、図9に示すように、プラズマオンチップを模擬し、貫通孔を設けたシリコン基板をキュベットの上に設置し、その貫通孔に対して上部からプラズマジェットを照射した[9]。プラズマを照射しながら、その場かつリアルタイムで、吸収スペクトルを90秒毎に40分間測定した。計測開始後15分経ったとき、プラズマ照射をオフにし、さらに25分間計測を続けた。実験から得られた吸収スペクトルに対して、既知の標準液の紫外吸収スペクトルのデータベースを基にフィッティングを行い、 H_2O_2 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 O_2 等の濃度を見積もった。フィッティングの結果から求められた活性種濃度の時間変化を図10に示す。 H_2O_2 、 NO_2^- 、 NO_3^- の濃度は貫通孔が大きいほど高く、プラズマ照射開始から15分までの間、プラズマの照射時間とともに増加した。一方、 O_2 の濃度は少し低下するものの、他

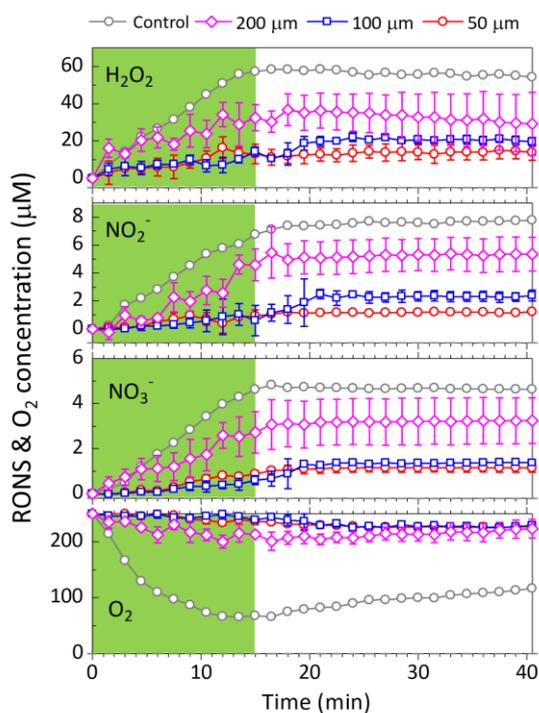


図10 活性種 (H_2O_2 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 O_2) 濃度のプラズマ照射時間依存性。

の活性種に比べて大きな変化は観測されなかった。

貫通孔の大きさや数、プラズマの照射面積を考慮し、各貫通孔一つあたりを通過する活性種の濃度を評価した。図11に示す結果から、直径50 μm の単一貫通孔を介してキュベットの中に H_2O_2 が10 μM 、 NO_2^- が1 μM 、 NO_3^- が1 μM 輸送されたことになる。 O_2 は、ヘリウムのパージ効果により、初期濃度250 μM から20 μM 程度減少した。

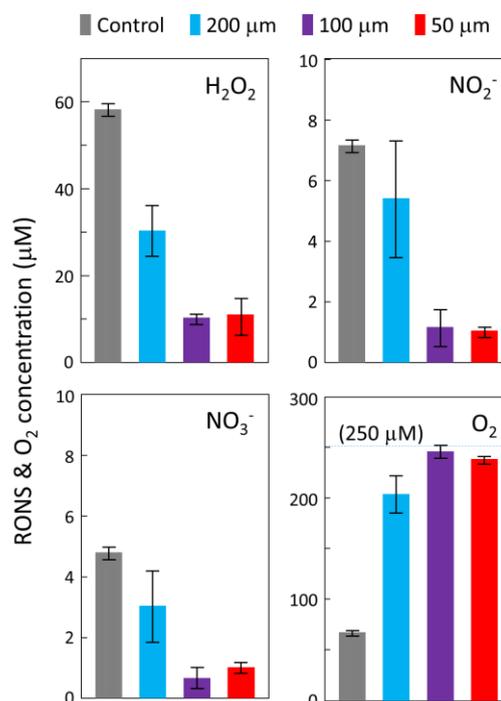


図11 貫通孔を介して生成される活性種(H_2O_2 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 O_2) 濃度。

9. 今後の展開

プラズマを照射した際に細胞で起こる反応の本質は何であろうか？ 細胞に何らかの変化が起きているのであれば、細胞の内部における遺伝子の発現に変化が起きているはずである。著者らの研究チームでは、ライフサイエンス研究者を中心として、プラズマ照射による遺伝子発現の変化をとらえている。マウス線維芽細胞を用いて、RNAアレイを用いた発現解析実験を行い、刺激応答に関

与する遺伝子の発現変化をとらえることに成功している[10]。

さらに著者らの研究チームでは、プラズマ照射による細胞の制御に向けて、ヒト iPS 細胞へのプラズマ照射にも着手している[11]。ヒト iPS 細胞は高い増殖性を示し、島状のコロニーを形成しながら増える (図 12)。一方で、iPS 細胞に様々な試薬で刺激を加えると、心筋、神経といった細胞に分化することから、近年の再生医療の主役といえる存在である。この iPS 細胞に対するプラズマの効果は、関連する分野の研究者を大いに惹きつけるものであろう。我々の研究チームでは、初期的な検討結果が出始めている。

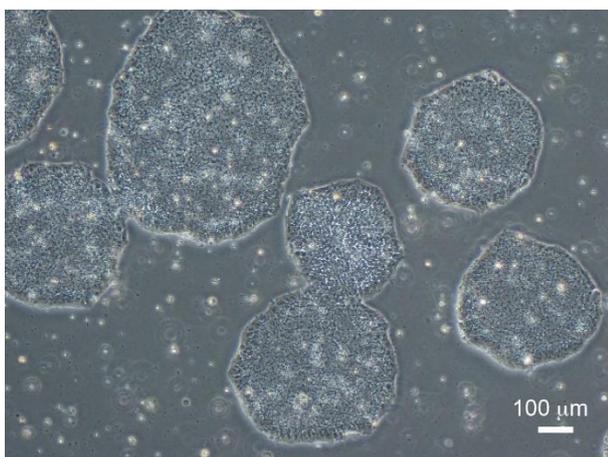


図 12 ヒト iPS 細胞。

10. まとめ

プラズマが細胞に及ぼす作用の解明には、細胞に対してプラズマを直接照射し、細胞の反応を明らかにすることが重要である。そこで、液体の表面張力に着目し、細胞に対して、プラズマを直接照射するマイクロデバイス「プラズマオンチップ」を開発した。プラズマオンチップに関連する実験系の改良は続いている。現在、研究はさらに進み、プラズマを照射した際に細胞で起こる反応の本質

に迫ろうとしている。今後の研究の進展にご期待いただきたい。

謝辞

本研究に関する一連のテーマの実施にあたり、科研費 (19H04457, 18K19942)、上原記念生命科学財団、日東財団、文部科学省 ナノテクプラットフォームの支援をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] E. Stoffels et al., *IEEE Trans. Plasma Sci.* **36**, (2008) pp. 1441-1457.
- [2] G. Isbary et al., *Br. J. Dermatol.* **163**, (2010) pp. 78-82.
- [3] G. Fridman et al., *Plasma Process. Polym.* **5**, (2008) pp. 503-533.
- [4] H. Tanaka et al., *Plasma Medicine* **2**, (2012) pp. 207-220.
- [5] S. Kumagai et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, (2016) 01AF01 (7 pages).
- [6] T. Okada et al., *Arch. Biochem. Biophys.* **605**, (2016) pp. 11-18.
- [7] S. Kumagai et al., *Electron Comm Jpn.* **103**, pp. 43-48 (2020); DOI: 10.1002/ecj.12263.
- [8] K. Ishikawa et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **59**, SAAC11 (2020).
- [9] J.-S. Oh et al., *Scientific Reports* **7**, (2017) 41953 (11 pages).
- [10] M. Kobayashi et al., *Applied Physics Express* **9**, (2016) 127001 (3 pages).
- [11] Kobayashi et al., 72nd Annual Gaseous Electronics Conference, MW1.00067, Oct. 28–Nov. 1, 2019; College Station, Texas, USA.

第 19 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

産業技術総合研究所

金 載浩、板垣 宏知、榊田 創

この度は、第 19 回プラズマエレクトロニクス賞を賜りましたこと、大変光栄に存じます。ご支援いただきました皆様、ならびにご推薦・ご選考に関係されました諸先生方に深く御礼申し上げます。今回、受賞対象となった論文「Low-temperature graphene growth by forced convection of plasma-excited radicals」[1] に関しまして、紹介させていただきます。

論文概要

【背景】

エレクトロニクス産業がシリコン物性の限界やレアメタル等の課題に直面している頃に発表された 2004 年の実験室におけるグラフェンの安定形成[2]は、世界の注目を浴びました。その発表から現在まで、グラフェンの産業化に向けた応用分野の開拓や大量生産の実現などについて研究・開発が盛んに行われています。

グラフェン膜は、熱 CVD (chemical vapor deposition) とプラズマ CVD により大面積合成が実現され、既に生産販売している会社も現れています。高品質グラフェン膜は、主に 1000 °C 近く加熱した銅 (Cu) 箔表面にカーボン系ラジカル (CH、CH₃、C、C₂ など) を導入することで合成されています。Cu 箔上に合成したグラフェン膜は、Si などの基板へ転写され、エレクトロニクス素子として応用されます。ところが、1000 °C に近い高温合成法は、電子デバイス生産ラインへ直接応用することが難しく、また高温合成中にグラフェンと Cu 基板の熱膨張係数の差に由来するしわ

(wrinkle) が生成するなどの問題を持っています。一方、プラズマを用いると基板を加熱せずに低温合成ができることから、プラズマ CVD 法に対する期待が大きくなり、過去 10 年の間に多くの研究グループがプラズマを用いてグラフェンの低温合成に挑戦してきました。しかし、低温合成したグラフェン膜は、期待した電気特性が得られない状況にあります。

次世代電子デバイスに適用させるグラフェンプロセス研究の現状は、いわゆる基礎研究から実用化過程にある「死の谷」を渡るための合成法を模索している段階にあると言えます。

低温合成したグラフェン膜の特性として、膜を構成しているドメイン (結晶) サイズがサブミクロンオーダーであり、ドメイン同士の境界を多く含んでいます。これらの境界は、電子の移動を妨げ、膜の電気特性を低下させます。例えば、表面波プラズマ CVD により合成したグラフェン膜は、10 nm 以下のドメインで構成されており、シート抵抗が 10⁵ Ω/sq と高くなっています[3]。高品質のグラフェン膜を得るには、膜を構成する各々のドメインサイズを大きく成長させる必要があります。そのためには、CVD プロセスにおいて、グラフェンの核生成とその成長過程を理解し、最適化することが重要です[4]。

そこで、本研究では、独自に開発したマイクロ波吹き出し形プラズマ源を用いて、ラジカルの強制対流式プラズマ CVD 手法を開発し、低温において高品質グラフェン膜の合成に成功しました。

【実験方法】

本研究では、筆者らが独自に開発した吹き出し形マイクロ波プラズマ生成技術[5]を用いて、ラジカル強制対流式プラズマ CVD (FC-PECVD: Forced-convection plasma-excited CVD) 法を開発しました。図 1 に、開発したマイクロ波プラズマ源の写真(a)と FC-PECVD システムの模式図(b)を示します。

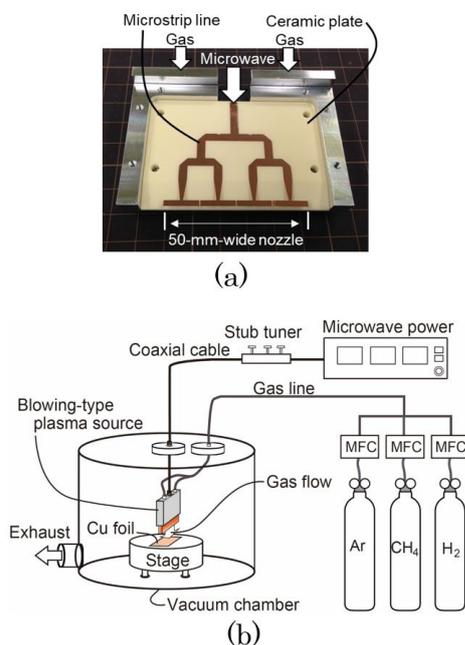


図 1: (a)吹き出し形プラズマ源の写真、(b)ラジカル強制対流式プラズマ CVD システムの模式図[1]

マイクロストリップ線路を用いて製作した吹き出し形プラズマ源を中間圧力 (0.13 kPa~1.3 kPa) の容器内に設置し、プラズマ源のノズルを通して原料ガスを基板表面に向かって流しています。すなわち、プラズマ生成領域にガス流を通して、ラジカル強制対流を引き起こしています。

グラフェン合成には、原料ガスとして $\text{CH}_4/\text{H}_2/\text{Ar}$ 混合ガス、基板として市販の圧延銅箔 (Cu) を用いました。CVD 中における基板の表

面温度は、400 °C以下となっております。

合成したグラフェン膜の評価は、ラマン分光法、走査電子顕微鏡 (SEM) と透過電子顕微鏡 (TEM) を用いて行いました。電気特性は、グラフェン膜を銅箔からガラス板及び SiO_2 基板へ転写した後、光透過率とシート抵抗を測定することで評価を行いました。

【結果と考察】

本研究では、FC-PECVD 法を用いて市販の圧延銅箔上に数ミクロンサイズ ($\sim 6 \mu\text{m}$) のドメインで構成された高品質単層グラフェン膜の低温合成を世界で初めて実現しました。

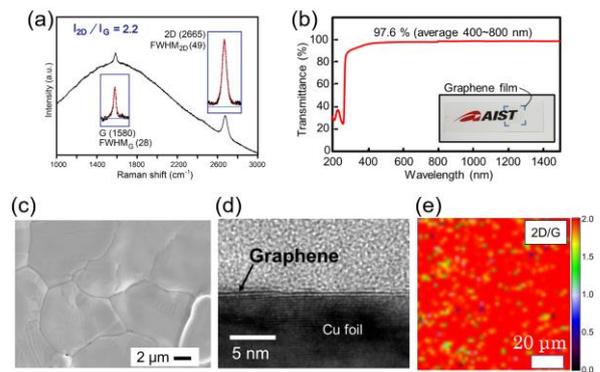


図 2: FC-PECVD 法により銅箔上に低温合成したグラフェン膜の (a) ラマンスペクトル、(b) 光透過率、(c) 銅箔上のグラフェン膜の SEM 画像、(d) グラフェン膜断面の TEM 画像、(e) ラマンマッピング像 (2D/G 強度比: 98%が 1.5 以上) [1]

図 2 に、FC-PECVD 法を用いて合成したグラフェン膜の主な測定データを示します。これらの結果から、数 μm のドメインで構成された高品質単層グラフェン膜が成長していることが明らかとなりました。なお、従来の高温 CVD 法で課題となっている Cu 基板表面の熱的損傷とグラフェン膜のしわは、生じてないことも確認されました。

かつ、 $660 \text{ } \Omega/\text{sq}$ の低いシート抵抗が得られ、通常のプラズマ CVD 法に比べて、グラフェン膜の電気特性が大幅に改善されました。

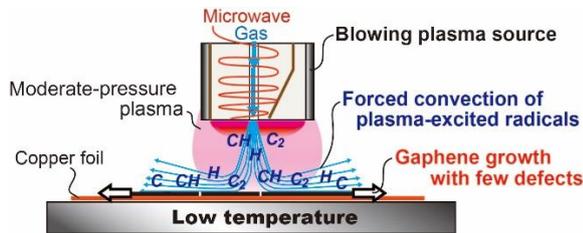


図 3 : FC-PECVD 法の概念図[1]

図 3 に、FC-PECVD 法の概念図を示します。この手法では、マイクロ波吹き出し形プラズマ源を中間圧力の容器内に設置して、プラズマ源のノズルを通して原料ガスを基板表面に向かって流しています。プラズマ生成領域にガス流を通して、ラジカルの強制対流を引き起こしています。これにより、ラジカル流とその分布の制御が可能となり、基板表面におけるグラフェン核の発生、及び成長過程を積極的に調整することができるようになります。かつ、中間圧力でプラズマを生成しているので、基板表面に衝突シーブが形成され、成長中のグラフェンへのイオン衝突エネルギーが激減されます。その結果、低温においても高品質のグラフェン膜が得られたと考えられます。しかし、基板表面における強制対流によるラジカルの挙動、及びその挙動が核発生と膜の成長へ及ぶ影響については、更なる研究が必要です。

通常の低温プラズマ CVD では、プラズマ中で生成した高密度ラジカルが基板表面に継続して供給されるため、グラフェン層が 2 層以上に増えて多層膜に成長します。ところが、本手法では、単層でグラフェン成長が止まる自己制限成長 (self-limiting growth) の現象が観察されました (図 4)。

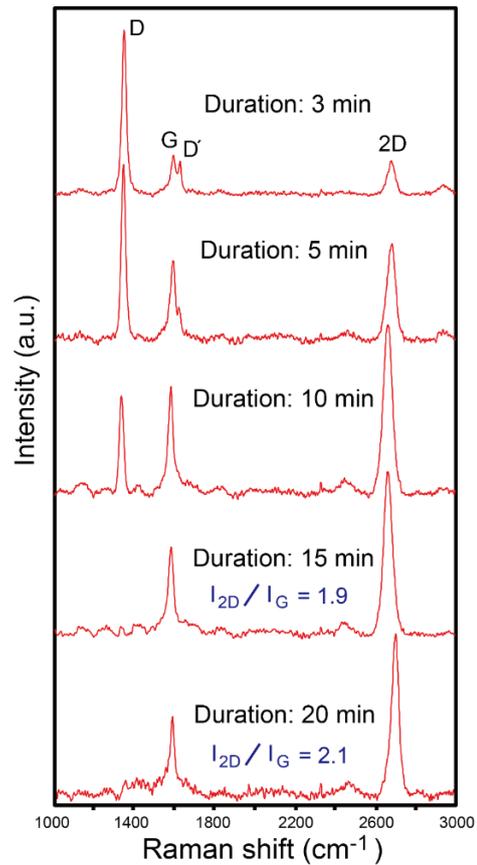


図 4 : 合成時間に対するグラフェン膜のラマンスペクトルの変化 (自己制限成長) [1]

Linear blowing-type plasma source

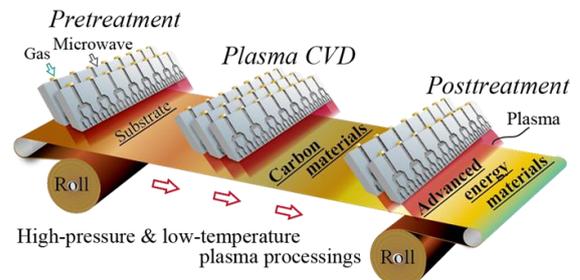
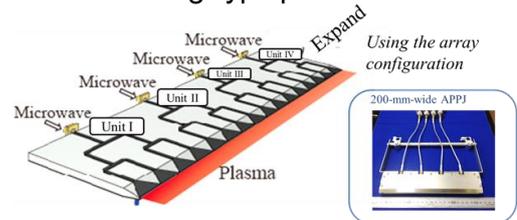


図 5 : アレイ構造を用いた FC-PECVD 法の連続量産システムイメージ

グラフェンの自己制限成長は、900 °C以上の高温に加熱した Cu 基板を用いて CVD を行う際に、Cu の触媒効果により生じる現象と考えられています。通常、基板温度が低い場合、金属の触媒効果を期待されません。本研究において自己制限成長がなぜ生じたのかは不明ですが、この現象の効果により低温においても空間的に一様な単層の連続グラフェン膜が得られたと考えられます。

さらに、本研究では、プラズマ源のノズル長軸方向 (50 mm 幅) に沿って、高品質の単層グラフェン膜が成長されることを確認しており、大面積化の可能性が実証されました。FC-PECVD 法は、図 5 に示すように、マイクロストリップ線路とノズルをアレイ化することでプロセス領域を拡大することができます。今後、大面積グラフェン膜の低温連続量産システム (図 5) への展開が期待されます。

本論文[1]は、アメリカ化学会会報 (C&EN) にも紹介され、エレクトロニクス応用に向けた高品質単層グラフェン膜の革新的な低温合成技術として注目を集めています[6]。

【おわりに】

グラフェンを用いた次世代エレクトロニクスデバイスの研究開発を進める上で、低温 CVD 技術だけではなく、エッチング、ドーピング、パターニング、表面改質などのプロセスにおいても従来の限界を克服する新技術が求められています。

今後、カーボンナノ材料を根幹としたエレクトロニクス産業においてもプラズマが大きく貢献することを強く願っています。

参考文献

- [1] J. Kim, H. Sakakita, H. Itagaki; *Nano Letters*, 19, (2019), 739-746.
- [2] K. S. Novoselov, *et al.*; *Science*, 306, (2004), 666-669.
- [3] T. Yamada, *et al.*; *Carbon*, 50, (2012), 2615-2619.
- [4] 金載浩, *et al.*; *電学誌*, 141, (2021), 219-222.
- [5] J. Kim, *et al.*; *Jpn. J. Appl. Phys.*, 54, (2015), 01AA02.
- [6] K. Bourzac; *C&EN*, 97, (2019), 8.

第 19 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

パナソニック株式会社 佐藤 好弘, 柴田 聡
京都大学 占部 継一郎, 江利口 浩二

【はじめに】

この度は、第 19 回プラズマエレクトロニクス賞を賜りまして、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厚く御礼申し上げます。受賞対象となりました論文「Evaluation of residual defects created by plasma exposure of Si substrates using vertical and lateral pn junctions」[1]に関しまして、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

【背景】

半導体デバイスサイズのスケージングの進展とともに、デバイス構造は従来の 2 次元平面型から 3 次元立体型に変化してきた。これらの半導体デバイスの製造工程には、プラズマエッチングが用いられ、原子スケールでのプロセス制御が必要とされる。プラズマエッチング中には、プラズマと被加工材料との相互作用により、“プラズマダメージ (PID)” が形成される[2]。特に、イメージセンサに代表される超低リーク電流デバイスを設計する上で、プラズマ処理による極微量欠陥の存在および分布がデバイス特性に及ぼす影響を理解することが非常に重要である。微細化が進展するにつれ、プラズマ処理中の入射イオンの「確率的な横方向への散乱 (ラテラル散乱)」[3]の影響は相対的に増大する。従来の電気的分析手法では極微量の欠陥を横方向と縦 (深さ) 方向に区別することは困難である。そこで我々は、横方向 pn 接合の接合距離を変化させたデバイス構造を設計した。

この構造を用いて、プラズマ誘起ダメージ形成に伴う接合リーク電流の変化を解析することで、シリコン基板内における横方向に分布する極微量欠陥の存在を明らかにした。

【実験方法】

プラズマエッチング (PE) によりシリコン (Si) 基板内に形成される欠陥を評価するため、ブランクウェハ (Type-A) のサンプルと、横方向に pn 接合間距離を変化させたデバイス構造 (Type-B) のサンプルの 2 種類を準備した。図 1 に Type-A のサンプル作製フローを示す。Si 基板表面を洗浄した後、Si 基板表面を ECR プラズマに暴露した。その後、ケミカルドライエッチング (CDE) および炉アニール (FA) 処理を行った。CDE および FA の各工程では、それぞれの処理無しサンプルも作製した。

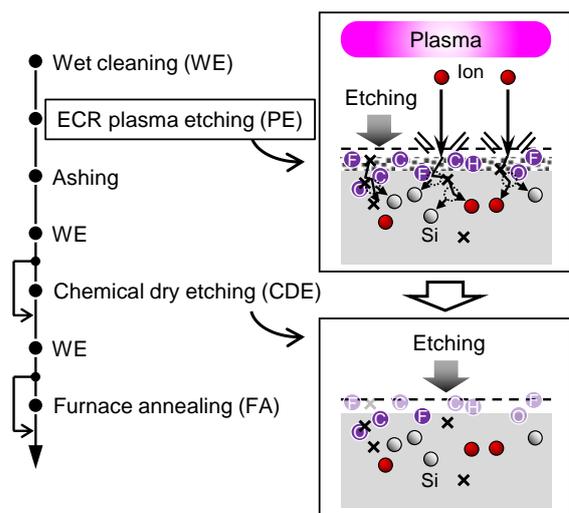


図 1 Type-A サンプル作製フロー

図 2(a)に示すように、Si 基板上に形成された絶縁膜中に、PE によりコンタクトホールを開口する際、Si 基板内には縦方向だけでなく横方向（直接プラズマに曝されていない領域）にも欠陥が形成される。コンタクトホール開口時に形成される PID 影響を評価するため、図 2(b)に示す横方向に pn 接合距離を変化させたサンプル（Type-B）を準備した。Type-B サンプルでは、p 型と n 型領域の横方向距離 (D_{pn}) を 0~210 nm に変化させた。PID 影響の指標には、接合リーク電流 (I_{leak}) を用いた。縦（深さ）方向のリーク電流 (I_V) よりも横方向のリーク電流 (I_L) が支配的になるように、縦と横方向の pn 接合構造を設計した。Type-B のサンプル作製フローを図 3 に示す。PE によるコンタクトホール開口時に、Si 基板内に欠陥が形成される。残留欠陥の接合リーク電流特性への影響を評価するため、CDE 処理無しのサンプルも作製した。

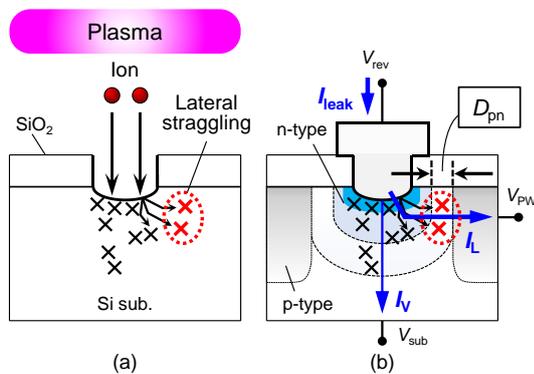


図 2 (a) コンタクトホール開口時に Si 基板内に形成される PID の模式図. (b) Type-B デバイスの断面模式図と主要パラメータ.

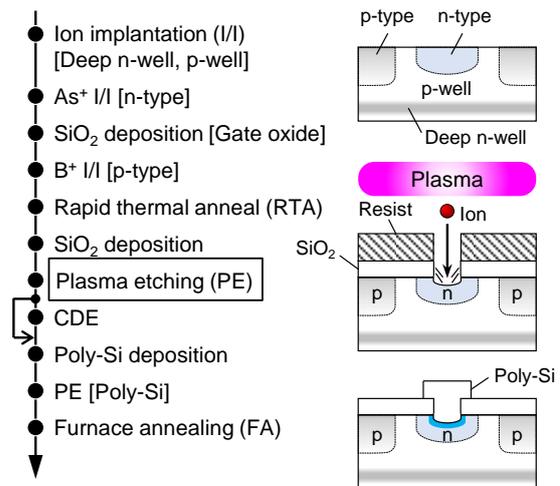


図 3 Type-B サンプル作製フロー

【実験結果】

Type-A サンプルについて、飛行時間型二次イオン質量分析 (ToF-SIMS) により得られた Si 基板内のカーボン (C) とフッ素 (F) の濃度分布をそれぞれ図 4(a)および 4(b)に示す。SIMS 分析結果には、Si 基板洗浄のみ (Ref.)、PE 処理、および PE 後に CDE 処理を行った 3 サンプルのみを代表例として示している。PE 後に、C および F 濃度の増加が見られた。CDE 処理後には、C 濃度は Ref. サンプルと同程度の濃度に低減するが、一方、F 濃度は、Ref. サンプルと同程度の濃度までには低減しないことが分かった。続いて、CDE 処理後に FA アニール処理を行うことで、F が拡散し、F 濃度が低減することが確認された (図示せず)。

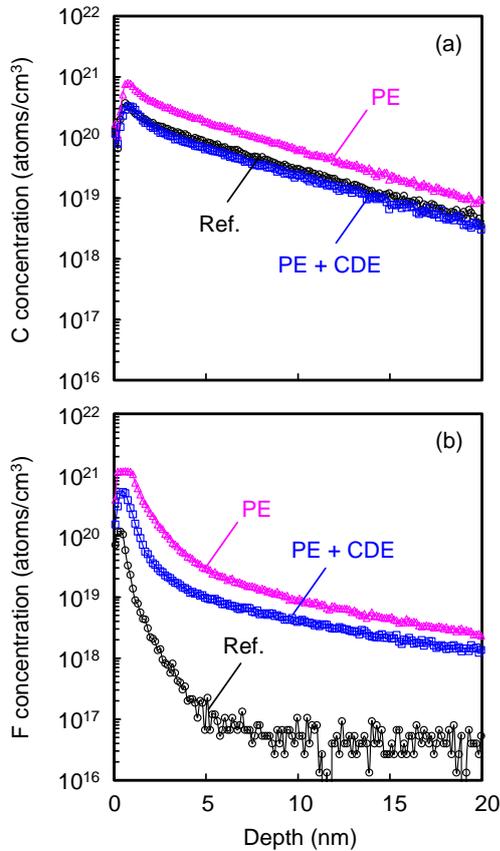


図4 PE処理およびCDE処理後のSi基板内の
(a)カーボンと(b)フッ素の濃度分布。

図5に、Type-Bサンプルのpn接合リーク電流 (I_{leak}) の逆バイアス電圧 (V_{rev}) 依存性を示す。評価したサンプルは、CDE処理無し ("PE"と記載) とCDE処理有り ("PE + CDE"と記載) である。両サンプルともにFA処理が実施されている (図3参照)。 D_{pn} の減少 ($D_{\text{pn}}=210 \rightarrow 0 \text{ nm}$) に伴い、両サンプルともに I_{leak} の増加が見られ、 $D_{\text{pn}}=0 \text{ nm}$ では、両サンプルの I_{leak} の差が拡大した。この結果は D_{pn} の減少、つまり、コンタクトホール開口部側に近づくにつれて、欠陥数が増加することを示唆していると考えられる。また、CDE処理有・無で、コンタクトホール開口部近傍領域の欠陥密度が変化していると考えられる。

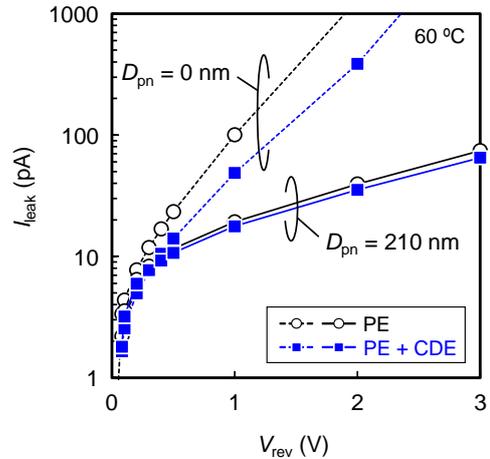


図5 Type-Bサンプルのpn接合リーク電流 (I_{leak}) の逆バイアス電圧 (V_{rev}) 依存性。

次に、pn接合電界のリーク電流特性への影響を排除するため、低 V_{rev} における I_{leak} の D_{pn} 依存性に着目した。図6に、 $V_{\text{rev}}=1 \text{ V}$ における I_{leak} の D_{pn} 依存性を示す。 D_{pn} が90 nmより小さくなると、 I_{leak} の急激な増加が見られた。 I_{leak} の D_{pn} 依存性は、横方向へのラテラル散乱によって形成された欠陥が存在し、さらにその欠陥が横方向に分布を持っていることを示唆している。

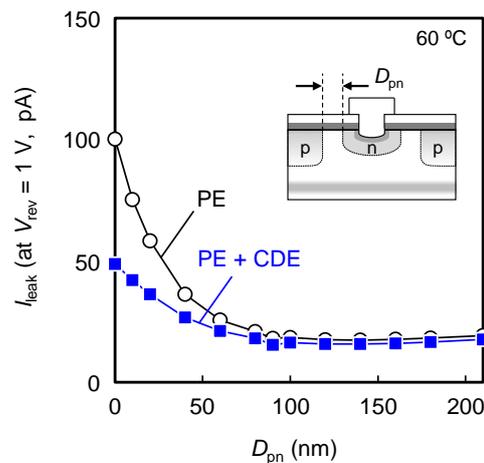


図6 Type-Bサンプルの I_{leak} の D_{pn} 依存性。

【まとめ】

プラズマエッチング中に Si 基板内に入射したイオンの確率的な横方向への散乱(ラテラル散乱)によって形成された欠陥の影響について、横方向の pn 接合を有するデバイス構造を用いて検証した。接合リーク電流の D_{pn} 依存性から、横方向に形成された欠陥の存在を明らかにした。ラテラル散乱影響を考慮したプロセス・デバイス設計は、将来の低密度欠陥・超低リーク電流デバイス開発に貢献する。

【終わりに】

本論文内容を進展させ、横方向に分布する極微量欠陥の密度およびプロファイルについて IEDM2020 [4]で報告しておりますので、ご参照いただければ幸いです。

参考文献

- [1] Y. Sato, S. Shibata, K. Urabe, and K. Eriguchi, *J. Vac. Sci. Technol. B*, vol. 38, p. 012205, 2019.
- [2] K. Eriguchi, *J. Phys. D*, vol. 50, no. 33, p. 333001, 2017.
- [3] K. Eriguchi, A. Matsuda, Y. Takao, and K. Ono, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 53, no. 3S2, p. 03DE02, 2014.
- [4] Y. Sato, et al., *IEEE Int. Electron Devices Meeting*, 2020, pp. 187–190.

応用物理学会講演奨励賞を受賞して

**東北大学 本田 竜介
(東北大学 金子 俊郎)**

この度は応用物理学会第 49 回講演奨励賞という大変栄誉ある賞を賜り、大変光栄に思っております。また、選考に関係されました先生方に対し、こころより感謝申し上げます。今回受賞の対象となりました研究「液相中プラズマを活用した中分子・遺伝子の高効率導入」(本田竜介, 佐々木渉太, 高島圭介, 神崎展, 佐藤岳彦, 金子俊郎) に関して, 研究背景と内容をご紹介させていただきます。

薬剤分子や遺伝子, たんぱく質などの細胞外分子を生細胞内に導入する分子導入技術は, 低侵襲がん治療や iPS 細胞作製, 遺伝子改変技術といった要請から, 医療分野を始めとする幅広い分野で重要性の高まりを見せております。様々な従来法が開発・運用されてきましたが, どの手法にも克服の難しい課題を抱えている現状があり, 最も一般的に用いられている分子導入法であるエレクトロポレーション (EP) 法においては, 高い導入効率 ($\eta \sim 80\%$) を有する一方で, 低い細胞生存率 (viability $< 50\%$) が課題とされております。このような背景から新規導入手法として大気圧プラズマを用いた分子導入法に注目が集まっております。

2005 年にプラズマによる遺伝子導入が報告されて以来, 様々な研究グループから大気圧プラズマによる細胞内分子導入が報告されております [1]。私が所属する研究室の先行研究では, 大気圧非平衡ヘリウムプラズマジェットを用い, プラズマを照射した局所領域の細胞への薬剤模擬蛍光分子(カチオン性, 分子量 1300 程度)の高効率導入を報告しております [2]。一方でその導入効果範囲は

液表層 ($< 1\text{mm}$) に制限されてしまうため, 培養液や組織液といった液相環境中にある培養細胞や生体臓器への導入処理が難しいという課題があります。また生体内組織への導入処理を考慮すると, 外部ガス供給無く液中のその場で直接プラズマを生成・照射処理することが望ましいと考えられます。そこで我々は液相中で生成したプラズマの活用を着想しました。生理食塩水中で微小なプラズマ放電 (液相中プラズマ) を生成し, これを細胞に照射することで細胞内薬剤模擬分子導入が観測されたため, これまで液相中プラズマを用いた分子導入法開発に向けた研究を進めてきました。

実験では先端曲率半径を制御したタングステン電極に対して, パルス電圧を印加することで液相中プラズマを生成しました。生理食塩水と薬剤模擬蛍光分子 YOYO-1 の混合溶液で細胞の周りを満たし, その中で生成した液相中プラズマを細胞に直接照射し, 処理 30 分後の細胞蛍光を観察し YOYO-1 導入を評価しました [3]。

図 1 に示しますように, 液相中プラズマの照射によってプラズマ生成部直下の局所領域で細胞生存を保ったまま高効率 YOYO-1 導入が観測されたことから, 液相中プラズマによる局所導入の実証に成功いたしました。

またこの導入作用機序解明を目的に, 2 種類の細胞活動阻害剤を加えた導入量測定をおこないました。結果を図 2 に示します。ルテニウムレッド (RR) の添加によって未処理程度まで YOYO-1 導入が抑制されたことから, RR によって阻害される細胞活動 (チャンネル) が導入に関与している

可能性が高いことがわかりました。そこで次に、RR によって阻害される各種チャネルの中でも、PIEZO1 チャネルを特異的に阻害する試薬 GsMTx-4 を使用し導入量測定を行ったところ、同様に導入抑制が起こることがわかりました。この結果はPIEZO1チャネルを介した細胞活動が導入に関与していること、特にPIEZO1チャネルは衝撃波や液流といった機械刺激によって活性化されることが報告されていることから、液相中プラズマ照射由来機械刺激が導入に関与している可能性が示唆されました。

最後に液相中プラズマによる遺伝子導入についてご紹介いたします。液相中プラズマ照射処理によるプラスミドベクター (GFP) の細胞内導入を、処理 24h 後の細胞内 GFP 蛍光をフローサイトメトリーによって測定・解析しました。結果を図 3 に示します。液相中プラズマで処理した細胞で GFP 蛍光が観察でき、導入効率が 30% と算出できました。これは本研究グループの気相プラズマジェットによる遺伝子導入効率 (1%未満) を大きく超える結果であります。

このように、細胞へのダメージを抑えたまま、液中細胞への高効率導入が可能な新規手法として強く期待を感じる液相中プラズマ法ですが、既存の EP 法での遺伝子導入効率にはまだ及んでいないという課題を有しております。そのため現在はさらなる高効率導入に向け最適条件探索や詳細な導入機序解明に向けた研究を進めております。

最後になりますが、研究を進めるにあたり多大なご指導、ご助言くださった、金子俊郎教授、佐藤岳彦教授、神崎展准教授、佐々木渉太助教、高島圭介助教に御礼申し上げます。この受賞を励みに一層研究に邁進していく所存でありますので、今後ともご指導ご鞭撻の程よろしくお願い申し上げます。

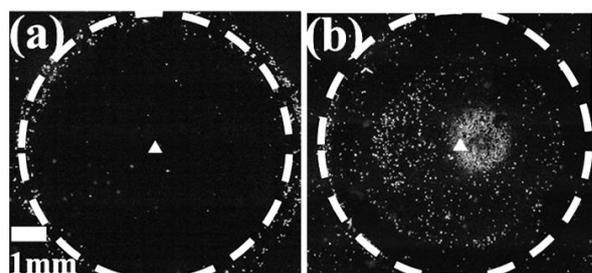


図 1. (a)未処理と(b)液相中プラズマ照射処理 30 分後の細胞の蛍光写真。(△はプラズマ生成部直下位置を示す.)

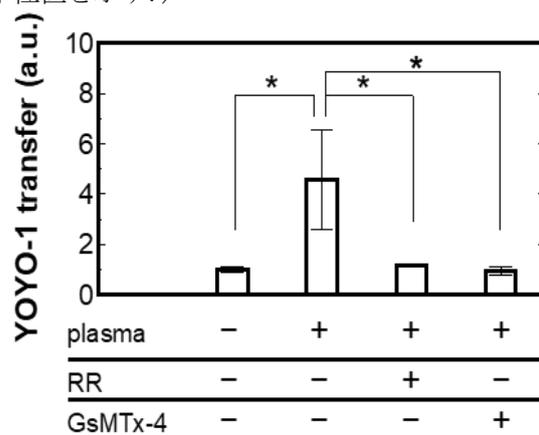


図 2. 阻害剤添加による YOYO-1 導入量の変化。

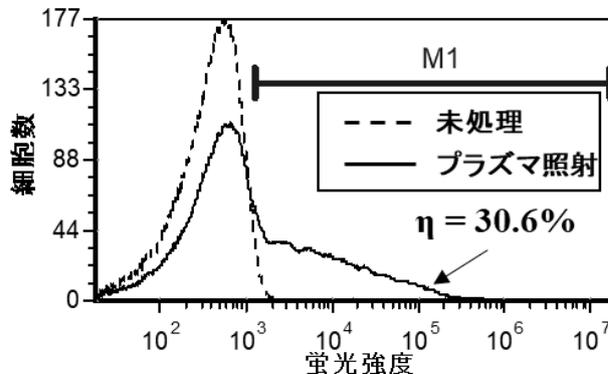


図 3. 液相中プラズマ照射処理によるプラスミド遺伝子導入のフローサイトメトリー解析結果。

参考文献

- [1] M. Jinno, Y. Ikeda, H. Motomura, et. al., *Plasma Sources Sci. Technol.* **26**, 065016 (2017).
- [2] S. Sasaki, R. Honda, Y. Hokari, et. al., *J. Phys. D: Appl. Phys.* **49**, 334002 (2016).
- [3] R. Honda, S. Sasaki, K. Takashima, et. al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **59**, 040904 (2020).

国際会議報告

13th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Application for Nitrides and Nanomaterials / 14th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma2021/IC-PLANTS2021)

名古屋大学 石川健治

ISPlasma /IC-PLANTS は、プラズマ分野で長い歴史と研究実績を有する東海地域に国内外から優れた研究者が集い、先進プラズマ科学、ならびに窒化物半導体、ナノ材料、プラズマのバイオ応用に関する最新の研究成果を発表して広く議論する場。また、産業界への技術移転の仕組み作りについて分野を超えて活発に情報交換の場となる国際会議として毎年開催されている。昨年第 12 回は、2020 年 3 月時点でコロナ禍の影響で世界的な移動制限から、名古屋大学での現地開催は果たせなかった。今回、投稿募集をおこなう昨夏にはコロナ禍の状況を鑑みて、オンライン会議形式の開催を決定した。2021 年 3 月時点で未だ移動制限を受けている時世であり、会議開催以降初めてのオンライン開催はやむをえない状況であった。とにかく本会議は 2021 年 3 月 8 日～11 日 4 日間のオンライン開催を無事に終えられたことに、(文中敬称略) 組織委員長・伊藤昌文 (名城大)、実行委員長・太田貴之 (名城大)、プログラム副委員長・プラズマ分野・白藤立 (大阪市立大)、窒化物分野・竹内哲也 (名城大)、ナノ分野・神原淳 (東京大)、バイオ分野・田中宏昌 (名古屋大) をはじめ、プログラム委員長を務めた著者、その他全て委員、感無量であった。会議参加者は、世界 19 ヶ国 334 名を数え、全発表 260 件であり、例年より減少したことは残念でならない。発表件数の分野別内訳は、プラズマ 98 件、バイオ 65 件、窒化物 46 件、

ナノ 46 件であり、通常の間頭講演とは別に、ポスター講演に相当する事前録画の 5 分間のショート講演によって 106 件おこなった。

本会議の前日(3 月 7 日)にチュートリアル四講義を、若手への基礎知識の供与に加えて、異分野の理解を深め、分野間融合による新たな価値創造を目的に開催した。チュートリアル講師は、プラズマ科学 : Uwe Czarnetzki (ドイツ・ルール大ボッホム校)、窒化物半導体 : T. Paul Chow (アメリカ・レンゼラー工科大)、ナノ材料 : Lei Miao (芝浦工大)、バイオ応用 : David Graves (アメリカ・プリンストン大) が務めた。Czarnetzki より、プラズマ結合について容量結合性 (CCP) と誘導結合性 (ICP) の基礎的な内容を取り上げ、それらの詳細な特性について解説された。Paul Chow より窒化ガリウムのパワーデバイスの現状と将来動向について、超高压の高電子移動度トランジスタ (HEMT) の実用性や金属-絶縁体-半導体 (MOS) 構造の研究進展、さらに自身の計算結果も交えて縦型スーパージャンクション (*ドリフト層にドーピング技術で厚い空乏層を形成しオン抵抗を下げたデバイス) MOS の可能性について講義された。Miao より熱電変換材料について、体温近傍の温度で高い熱電性能指数 $ZT=S^2\sigma/\kappa T$ (ここで T は絶対温度、ゼーベック係数 (熱電能) S 、電気伝導度 σ 、熱伝導率 κ) をもつ SiGeSn の混晶半導体の可能性などと、ウェアラブルデバイス

の開発の要点について講義された。Graves よりプラズマ医療を代表とするプラズマの生体作用についての基礎的な知識、電(磁)界の効果や化学的な効果、特に OH や NO ラジカルをはじめとする活性酸素窒素種 (Reactive oxygen nitrogen species: RONS) に由来する細胞応答や適応免疫に関しての生物知識を使ってプラズマ生体作用の理解について講義された。

3月7日夜には名古屋大学低温プラズマセンタの主催で顕著な功績を挙げた研究者へのプラズマ殿堂の表彰式が開催され、John Robertson (イギリス, ケンブリッジ大), 吉田豊信 (東京大名誉教授), Mark J Kushner (アメリカ, ミシガン大学) の3名に賞が授与された。Robertson よりカーボン系薄膜の作製手法と解析、また吉田より直流と高周波の混合させたハイブリッドプラズマ溶射について受賞講演され、今日のナノ材料の発展への多大な貢献のある功績が讃えられた。

初日3月8日には、組織委員長・伊藤昌文 (名城大) による開会挨拶で会議は幕を開けた。吉野彰 (旭化成/名城大) より "Brief History and Future of Lithium Ion Battery" と題して、2019年ノーベル化学賞を受賞した功績であるリチウムイオン電池の開発史と軽量大容量の二次電池がもたらす社会イノベーションの展望について特別基調講演された。引き続き、豊國伸哉 (名古屋大) よりヒトの疾病の病理について、がんや加齢、感染のいずれにも二価鉄が寄与しており、低温プラズマをもちいると、この二価鉄由来でがん細胞のフェロトシス細胞死を誘起するとの最新の研究内容について基調講演された。

プラズマ医療と農業の応用と産業展開と題したアレンジセッションにおいて、Greg Fridman (アメリカ, AAPlasma), Peter Friedman (同, コロンビア大学), Marc Jacofsky (同, NSF IUCRC), Emilia Kulaga (同, Plasmology 4), Alexander

Fridman (同, ドレクセル大) の5名から、プラズマ医療機器認証の法制度と承認状況、及びミスト状プラズマ、プラズマ生成窒化酸化物による植物栽培の効果など、幅広い内容が招待講演された。

3月8日の分野別セッションでは、Huantong Shi (中国, 西安大) より電線を通電起爆させて熱プラズマ形成してナノ粒子を得る方法; 佐藤真一郎 (量研機構) より GaN に希土類元素を添加して外部環境に応じて励起・発光の波長変化をモニターできる量子センサー; 式田光宏 (広島市大) よりマイクロ電気機械システム (MEMS) をつかった心拍や呼吸のバイタルサインを検出する手法; 辰巳哲也 (ソニーセミコンダクター) より半導体製造における絶縁膜のプラズマエッチング表面反応の制御手法; Grzegorz Muziol (ポーランド, UNIPRSS) より GaN の光源作製に量子井戸を組み込む手法; Xinqiang Wang (中国, 北京大) より高周波動作向けの AlGaIn/GaN ヘテロ構造の作製手法について招待講演された。他にも、小林篤 (東京大) より Nb と Al の窒化物の超伝導接合 (NbN/AlN) の作製手法; 高島祐介 (徳島大) より GaN のナノ構造により高光屈折コントラストを実現する手法; 金載浩 (産総研) よりマイクロ波励起窒素プラズマジェット; 高橋克幸 (岩手大) より水耕栽培液肥の液中バブル内放電によりアレロケミカルの分解; Zhijie Liu (中国, 西安大) より紫外線吸収分光による液中 RONS の動的観察結果が招待講演された。

なお各日19時~20時の1時間、事前録画済みのショート講演者全員への質疑時間を、Zoomのブレイクアウトセッションで取りもち、参加者同士の間で活発な討論が交わされた。

2日目の3月9日午後には、Jean-Paul Booth (フランス, CNRS/エコール・ポリテクニーク) より、酸素分子を例に二原子分子のプラズマでのイオンや原子について多彩な診断法を駆使し、実

験と計算モデルによるプラズマ化学の解析の最新成果について基調講演された。

3月9日の分野別セッションには、Michael Keidar (アメリカ, ジョージワシントン大) よりプラズマがん治療; 香野淳 (福岡大) よりビスマスとナノ粒子の強誘電体メモリ; 井手啓介 (東工大) よりアモルファス酸化物半導体の欠陥と欠陥制御; Antoine Rousseau (フランス, LPP/エコール・ポリテクニーク) よりCO₂の分解を例に挙げ、プラズマ中でCO₂の振動励起などの触媒表面の反応促進効果; Dheerawan Boonyawan (タイ, チェンマイ大学) よりプラズマジェットの植物組織への作用; M. R Vasquez Jr (フィリピン国立大学ディリマン校) よりCu₂O/TiO₂ ナノコンポジットの光触媒作用; 渡邊孝信 (早稲田大) よりSiベースの熱電変換材料; 佐々木渉太 (東北大) よりN₂O₅の選択生成とチロシン (C₉H₁₁NO₃) との反応について招待講演された。

また、機能性窒素科学のアレンジセッションにおいて、金子俊郎 (東北大) よりプラズマ生成される窒素の材料面ならびに生体への機能性付与効果; 伊藤剛仁 (東京大) より極低温などの極限環境のプラズマで見られる新奇の窒素含有分子の合成; 野崎智洋 (東工大) と永岡勝俊 (名古屋大) よりプラズマの触媒作用と空气中窒素からのアンモニア合成への寄与; 古閑一憲 (九州大) と Pankaj Attri 教授 (九州大) より窒素を含むプラズマで処理した肥料や種子の農業への応用; 村上朝之 (成蹊大) より細胞外から導入されるRONSが細胞内の代謝制御; 加藤宙光 (産総研) より量子スピン情報素子に利用されるプラズマ堆積ダイヤモンド中窒素-空孔 (NV) 中心の制御; 吉田朋子 (大阪市大) よりTiO₂への窒素導入が可視光での光触媒作用の発現について招待講演された。

反応性スパッタリングのアレンジセッションにおいて、Stephano Konstantinidis (ベルギー, モ

ンス大) より大電力瞬時パルスマグネトロンスパッタリング (HiPIMS) による機能性金属酸化膜; 清水徹英 (東京都立大) よりNi/NiOナノ粒子のHiPIMS作製; 木村高志 (名古屋工大) よりダイヤモンドライクカーボン (DLC) 膜のHiPIMS製膜; 黒岩雅英 (東京電子) よりHiPIMS用電源について招待講演された。

3日目の3月10日午後には、加地徹 (名古屋大) より、縦型GaNデバイスによる電力制御に関する基調講演がおこなわれた。ISPlasma に関する深い国内外の研究センタから成果紹介を集めたアレンジセッションにおいて、大川和宏 (サウジアラビア, アブドラ王立科学技術大) よりCO₂排出を減らす技術にアンモニア利用や窒化物成長に使われるアンモニアのマイクロフローチャンネル法、光源用の窒化物結晶の作製技術; 堀勝 (名古屋大) より国連サミット持続可能な開発目標 (SDGs) に掲げられている目標の達成に対する低温プラズマの取り組み、オープンサイエンスを目指したプラズマ処理のリアルタイムモニタリングと信頼性のあるデータセットを整える必要性; Eun Ha Choi (韓国, Kwangju 大) より韓国のプラズマ産業協会の状況やプラズマ処理水の殺菌能力やがん治療への可能性; Thomas von Woedtke (ドイツ, INP) より創傷治癒へのプラズマ治療応用での根拠に基づく医療の手法について招待講演された。パネルセッションを催し、講演者に松本功 (名古屋大)、古閑一憲 (九州大) と著者を加え、世界的に移動制限を受ける下での国際連携や国際共同研究の進め方について討論され、本会議の特徴である分野間融合を含め、忽然と新しい研究様式が姿を現すのではないかという期待感を高めた。

3月10日の分野別セッションには、Bruce Locke (フロリダ州大) よりプラズマと液体の界面; 竹延大志 (名古屋大) より二次元原子層材料

の物性と機能性素子の開発；Jae Sung Kwon（韓国，Yonsei 歯科大）よりプラズマ歯科治療；Huili Grace Xing（アメリカ，コーネル大）と Samuel Graham（アメリカ，ジョージア工科大）より窒化ガリウム半導体の物性とデバイス開発；Xin Zhao（アメリカ，Shenzhen Yick Xin Technology Development Ltd.）よりフレーク状のグラフェンやカーボンナノウォールの成長機構とスーパーキャパシタへのデバイス応用；Jong-Shinn Wu（台湾，台湾交通大）より液中のマイクロバブル内の放電により水処理技術；澤田一彰（豊橋技科大）より一細胞観察できる生化学的なイメージセンサについて招待講演された。

最終日 3 月 11 日には、藤井稔（神戸大）よりシリコン微粒子へのドーピングによる発光や光触媒、コロイド溶液について基調講演された。引き続き、**How does the ISPlasma technologies prevent infections** と題したアレンジセッションにおいて、Peter J Bruggeman（アメリカ，ミネソタ大）より大気をプラズマ化した時に HOONO_2 , HOONO によるウイルス不活性化作用をもち、エアロゾルのプラズマ処理；金子俊郎（東北大）より N_2O_5 短寿命種のコロナウイルス死滅効果；錦織千佳子（神戸大）より紫外線によるウイルス不活性化が波長依存的に Kr-Cl エキシマ波長 222nm より短波長で皮膚の表層のウイルスを不活性化できる有効性；小出康夫（物産機構）より、14 元素を混合する合金材料の開発例を取り上げ、現在物性を満足する合金組成を求める逆問題を解くためにデータ駆動型科学の有効性、その取組として材料研究のデータ収集／蓄積の実状；中里和郎（BioCMOS Co. Ltd.）より MOS 構造のゲート電極を使ってポテンシャル測定や電流測定、インピーダンス測定、フェリシアン修飾面のレドックス反応を活用したバイオセンサーによるヘルスマニタについて招待講演された。パネルセッションを催し、講演

者に神原淳（東大）を加え、司会を熊谷慎也（名城大）と著者が務め、ウイルス不活性化、感染の予防、感染の予知のそれぞれに寄与していく今後の研究の方向について討論された。

3 月 11 日午後には、名古屋大学窒化ガリウムデバイス研究センタ（C-TEF）と低温プラズマ科学研究センタ（clps）、名城大学理工学部へのバーチャルラボツアーが開催された。続いて、第二回 ISPlasma 賞を名西徳之（立命館大）に授与する授賞式、第一回受賞者の Uwe Czertnetzki（ドイツ、ルール大ボッホム校）の受賞講演があった。口頭講演賞の受賞者が発表され、田中康則（金沢大）、Thi-Thuy-Nga Nguyen（名古屋大）、末光哲也（東北大）、太田晃生（名古屋大）、Shiyu Zhang（名古屋大）、田中しおり（東京農工大）、岩田直幸（名古屋大）ら 7 名と、ショート講演賞の受賞者には、羽澄匡広（名古屋大）、内田儀一郎（名城大）、竹中弘祐（大阪大）、用正大地（九州大）、辻享志（産総研）、堀佑己（名城大）が選出された。

本会議のオンライン開催は、名城大学の学生実験室を借り切り、実行委員にサポートいただいた（写真）。ここに感謝の意を表す。



次回の ISPlasma2022/IC-PLATNS2022 は、大野哲靖（名古屋大）を組織委員長、豊田浩孝（名古屋大）を実行委員長に名古屋大学において、2022 年 3 月 6 日～11 日に開催される予定である。

また、毎年 Japan. J. Appl. Phys. 誌に **Advanced Plasma Science and Its Applications for Nitrides and Nanomaterials** 特集号（前回分は 60 巻 SA 号）を掲載している。講演者らには奮って投稿をいただくように御願いをしたい。

国内会議報告

第 38 回プラズマプロセッシング研究会(SPP-38) 第 33 回プラズマ材料科学シンポジウム(SPSM33)

金沢大学 田中 康規

応物 PE 分科会主催の第 38 回プラズマプロセッシング研究会(SPP-38)/第 33 回プラズマ材料科学シンポジウム(SPSM33)を、2021 年 1 月 27 日(水)～29 日(金)にオンラインにて開催した。SPP/SPSM の合同開催の形式はこれまでも行っていた。SPSM はこれまで日本学術委員会 153 委員会が主催となって開催されてきたシンポジウムである。しかし今年度から日本学術振興会内でのシンポジウム開催が難しくなった。そのため、今期の SPP/SPSM は、学振 153 委員会からは大きな人的な形で強力に協力いただき、「SPP-38/SPSM33」として応物 PE 主催で開催することとなった。本開催に対し、日本物理学会、プラズマ・核融合学会、電気学会、電子情報通信学会、電気化学会、日本表面真空学会、日本セラミックス協会、表面技術協会、静電気学会、日本化学会、高分子学会から協賛をいただいた。当初、この会議は名城大学での現地開催を予定していた。しかし、2019 年 1 月からの新型コロナウイルス感染症拡大に伴い、オンラインで開催することを 7 月に幹事団・実行委員会およびプログラム委員会で決定した。オンライン開催の実行は名城大学の方々に行っていただいた。

急遽のオンラインでの開催となったため、今回の講演においては一般講演の形式を通常の口頭講演(ロングオーラル: 15 分発表+7 分 Q&A)のほか、従前のポスター発表の代わりに短い口頭講演(ショートオーラル: 7 分発表+7 分 Q&A)の新形式にした。オンラインであることを鑑みて Q&A を従来よりも長くするとともに、講演切り替え時

間として 3 分とり便宜を図った。全講演件数は 87 件で、内訳はプレナリー講演 2 件、プラズマ材料科学賞受賞記念講演 1 件、招待講演 6 件、一般講演 78 件(うち通常口頭発表 56 件、ショートオーラル発表 22 件)であった。最終的な参加登録人数は 120 名で、内訳は一般 47 名、学生 57 名、招待 9 名、プラズマ材料科学賞表彰式への出席 3 名、広告関係 4 名であった。オンライン開催として Webex を用いた。

オープニングで、主催者を代表して PE 幹事長の節原裕一先生のご挨拶、金沢大学・田中実行委員長のご挨拶とオンライン開催にあたってのご説明のあと、プレナリー講演を開始した。各セッションにおける参加者は 32-33 名であり、比較的人数を確保できた。オンライン開催とすることで参加は比較的容易となったためと考えられる。

情報交流会(情報交換会)もオンライン開催とし、第一日目の夜に Zoom にて行った。参加者は 20 名程度で少なめであった。今後はオンライン開催の場合には、この点を改善する必要がある。

クロージングでは、SPP 講演奨励賞が発表された。榊原 教貴さん(東京大学大学院)「フェムト秒レーザー誘起液中プラズマの生成初期における水和電子生成過程」、および武田 一希さん(東北大学大学院)「高速液流導入大気圧プラズマと反応拡散モデルの併用による液相-OH 分布の解明」の 2 件が選ばれた。副幹事長・古閑一憲先生から応物春季学術講演会の案内があり、オンライン開催でのトラブルもなく、3 日間のプログラムを終了した。

第 68 回応用物理学会春季学術講演チュートリアル報告

キオクシア(株) 栗原 一彰

2021年3月16日の春季応用物理学会のチュートリアルにおいて“半導体製造プロセスにおけるAI技術適用と機械学習の基礎”と題したネット講義が東京エレクトロン(株)の守屋剛氏と狐塚正樹氏により行われた。参加申込者は73名と盛況であった。前半は守屋氏から機械学習の歴史から現在における適用状況が製膜やエッチングプロセスに対して説明があり、後半は狐塚氏から機械学習の進め方に関する詳細な解説が行われた。機械学習自体は1990年代から始まっているが2010年頃以降から予測を目的とした技術として開発が行われており材料提案やプラズマプロセスへの適用も検討されている。一般にデータが少ない場合は数値解析を中心とした機械学習でデータが多くなると画像解析や言語解析などのディープラーニングが適用される。最近ではVRを用いたモーションキャプチャーによりエンジニア自体が無意識にやっている動作がプロセスへ影響を与えていることが判明して改善につながった例もあるとの事である。機械学習では最適値を求めるのに繰り返し実験条件の設定が行われる。プラズマプロセスへの適用において内挿的手法を用いる場合は実験計画法のパラメータ選択の際に通常のプロセスエンジニアが選ぶ条件に対して、始めはかなり広範囲の条件設定をしてから始めることが有効との事。

プロセスエンジニアがなかなか条件出し出来なかったプロセスに対して機械学習を用いることで導出できるようになった例が紹介された。機械学習を適用するにあたって各種制御パラメータと最終目票値に対して物理描像が見えるように組み上げることが重要である。実例としてシリコン窒化膜の製膜プロセスにおいて該装置の設定パラメータ範囲内では解が得られないことが見出されて、装置の改造につながった例が紹介された。更には外挿的手法が必要な場合は特に物理モデルが重要となり、実験などによる実データがない場合には第一原理などの数値計算シミュレーションにより補完することも必要との事。最後の質疑応答ではAI技術を取り扱うデータサイエンティストはプロセスエンジニアと仕事を取り合う関係ではなく、プロセスエンジニアがAI技術を使ってプロセス開発することでより効率的効果的に結果を出すことができるようになるとの見解が示された。最近、装置は制御性を上げるために設定パラメータも煩雑になり、プロセス自体は物理現象の理解が重要であるが、そのプロセスに絡んでくるもろもろのパラメータの制御は人間だけでは管理できなくなっており、AI技術を使ったサポートは増々不可欠になってくるものと思われる。

国内会議報告

2021年 第68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企画報告 プラズマエレクトロニクス分科会30周年記念行事 分科内招待講演

九州大学 古閑一憲

2020年度、応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会は30周年を迎えた。前回20周年の際には、プラズマプロセッシング研究会の中で記念行事を開催したが、コロナの影響により、応用物理学会開催期間中に記念行事を行うこととし、1日目に特別セッション、2日目に記念シンポジウムを開催した。以下に各行事について報告する。

■プラズマエレクトロニクス分科会30周年記念特別セッション

プラズマエレクトロニクス分科会30周年記念特別セッションは、中分類8.8として、大会1日目午後に行われた。まず前半は招待講演として現在プラズマエレクトロニクス分科会で活躍する5名の若手～中堅研究者のキャリア体験を披露いただきプラズマ研究の楽しさを伝えていただいた。各講師の先生からお話いただいたテーマは以下の通りである。

1. 占部 継一郎先生（京大院工）

「マイクロプラズマ研究が創出した連携研究の機会と可能性」

大気圧低温プラズマをテーマに国内外との連携の重要性について、占部先生のご経験をもとにお話いただいた。

2. 小川 大輔先生（中部大工）

「プラズマ応用でチャレンジした米国での学生生活と現在の研究活動への影響」

アメリカへ大学院留学し学位を取得した経験を基に、海外に飛び出してみることの良さについて語っていただいた。

3. 茂田 正哉先生（阪大接合研）

「熱プラズマ流体・材料プロセス研究を主軸として歩み得てきたもの」

熱プラズマ流体の計算機モデリングの楽しさについて失敗談などを織り交ぜつつざっくばらんに、しかし研究者を目指すものにとって含蓄のあるお話をいただいた。

4. 清水 鉄司先生（産総研）

「ドイツの研究所・企業におけるプラズマ研究」

ドイツ マックスプランク研究所での研究生活、その後のドイツ企業での研究生活と豊富な海外経験から学んだことや感じたこと大気圧プラズマを中心テーマとしてお話いただいた。

5. 呉 準席先生（大阪市立大工）

「国際的な人になろう」

海外の研究者との連携を考えるうえで、外国人研究者とのコミュニケーションの構築で重要な点は英語のみでないことをわかりやすく語っていただいた。また途中、著名海外研究者からPE分科会30周年のお祝いメッセージをいただいたことは、大変うれしいイベントであった。

以上、いずれも現在のプラズマエレクトロニクス分科会の各分野で活躍されている研究者から生の声を聴ける良いチャンスとなったセッションであった。

後半は若手セッションとして講演5分、質疑応答10分の一般講演セッションを開催した。学会ではとかく質疑の時間が短く十分な質疑が行われないケースがみられる。研究者が一人で静かに検討するモノログも重要であるが、別視点との対話つまりダイアログにも重視したいという考えから、本セッションを企画した。加えて、優秀な発表に対して形となるものを残すため、プラズマエレクトロニクス講演奨励賞を設置して、審査も合わせて行われた。セッションの終了は20時近くとなったが100名を超える参加者が集まり、各講演に対して多くの質問が寄せられた。

今回受賞した3名を下記に記す。受賞おめでとうございます。

最優秀賞 (1件)

1. 名古屋大学 岩田 直幸様

「酸素ラジカル処理肥料溶液を用いた殺菌でのピロール化合物の重要性」

優秀賞 (2件)

2. 名城大学 酒井 勇佑様

「大気圧リモートプラズマ CVD を用いたグラフェンの成長過程」

3. 九州大学 佐々木 勇輔様

「ナノ粒子取り込みによる SiNx の低温プラズマ CVD 製膜」

■プラズマエレクトロニクス分科会30周年記念シンポジウム「ニューノーマル時代の躍進に資するプラズマエレクトロニクス」

プラズマエレクトロニクス分科会30周年記念シンポジウムは、開催第2日目の3月17日に開催された。プラズマエレクトロニクス分科会が3

0周年を迎えるにあたり、20周年からの10年間、応用物理学分野においても量子物理が本格的に応用され始めるとともに、生命活動の深みをとらえ応用されつつある。プラズマ分野においてもナノテクノロジー分野、バイオテクノロジー分野への新しい学術を開拓することに成功した。本シンポジウムではプラズマエレクトロニクスの30年を振り返りつつ、新たに興ったナノ・バイオ分野を代表する研究者や現在のプラズマエレクトロニクス研究を牽引する研究者たちから未来への提言を行っていただきつつニューノーマル時代におけるプラズマエレクトロニクスについて議論することを目的とした。以下に各講演についての概要を示す。

1. 応用物理学会会長 波多野 睦子先生

「会長挨拶」

応用物理学会会長のお立場から分科会30周年に対する温かいお祝いの言葉と、プラズマ技術に対する変わらぬ期待と励ましのお言葉をいただいた。

2. プラズマエレクトロニクス分科会幹事長 節原裕一先生

「オープニングリマークス」

分科会の歴史を簡単に振り返るとともに本シンポジウムの開催意図をご説明いただいた。

3. 名古屋大学 豊田浩孝先生

「プラズマエレクトロニクス分科会の国際展開-GECとの連携-」

当初からの分科会の国際連携推進を振り返り、計画的な海外連携戦略により、連携の輪が広がっていったことを、豊田先生も深くかかわられた GEC との連携を中心にお話いただいた。途中、GEC および当分科会に深く関わられているドイツ ルール大学のザネツキ先生からの親密かつ知性溢れるビデオ

メッセージをいただいた。

4. 慶応大学 真壁利明先生

「PE 分科会 30 年の歴史と背景を振り返る」分科会設立当初の中心人物の一人として、分科会 30 年を振り返りつつ、学問の基礎のないところに革新技術の発展なく、技術開発ターゲットなく基礎理論の発展も期待できない、他の研究者との友情の重要性など貴重なお話をいただいた。

5. 名古屋大学 堀勝先生

「低温プラズマバイオサイエンスの未来」

プラズマのバイオ応用を世界トップレベルにけん引したご経験から、未来科学技術としてのプラズマバイオの今後の発展には、プラズマ理工学分野の研究者がバイオ分野の研究者と伍して議論できるだけの学術的基盤が必要であるとの激励をいただいた。

6. 九州大学 白谷正治先生

「プラズマナノテクノロジーの学術変革」

今後も重要となる半導体業界において主流であるナノエレクトロニクスの基盤技術としてのプラズマプロセスにおけるブレークスルー技術の創成に関する議論と今後の期待についてお話いただいた。

7. ソニーセミコンダクターソリューションズ 辰巳哲也先生

「プラズマプロセスのこれまでとこれから」

プラズマプロセスの技術発展の今後を産業界の立場からお話いただいた。現在までに発展を遂げた高集積化・微細化技術は、新しいコンセプトの半導体デバイス作製技術にも生かされ、多様な構造や材料への対応することでさらなる発展を遂げることをお話いただいた。

8. 東北大学 金子敏郎先生

「非平衡プラズマ研究の過去・現在・未来

～プラズマ科学と物理学・化学・生物学・〇〇学～」

非平衡プラズマが新物質創成や生命科学分野などで急激な進展を見せるなかで推進してきた新規カーボンナノ物質の創成や励起活性粒子によるバイオ応用の最新の研究成果とその明るい未来について語っていただいた。

9. 金沢大学 田中康規先生

「高温プラズマ材料技術のこれまでの進展と展望」

200 年もの長い歴史を持ち、現在も基礎物理、応用研究が盛んな、熱プラズマ・アークの研究について、基礎学理から応用をお話いただくとともに現在注目を集めている研究テーマについてお話いただいた。

10. 九州大学 古閑一憲

「クロージングリマックス」

シンポジウムにおける議論をまとめるとともに、質疑において、プラズマエレクトロニクス分野の新しいロードマップ作成してはどうかとの議論となり、盛会のうちに閉会した。

■分科内招待講演

分科内招待講演は、3月17日(2日目)午前、中村守孝様(MAMO)をお招きして開催された。1970年代半ばに半導体メーカーに入社した中村先生が、AIエッチング装置の開発に取り組み世界で初めて量産用装置を開発された際の苦労話をお話いただきその後の寿命、熱伝導ともに優れた静電チャックの開発当時のお話をいただいた。半導体メーカーにおける装置開発の活気あふれるお話から、参加者からも当時を知る貴重な講演であったとの声が多数上がった。

第34回プラズマ新領域研究会 プラズマプロセスにおける欠陥形成に関する新生面

九州大学 古閑一憲

第34回プラズマ新領域研究会「プラズマプロセスにおける欠陥形成に関する新生面」は2020年10月21日オンラインにて開催された。

半導体プロセスに用いられているプラズマでは、イオン流入やラジカルの表面反応により欠陥が生成する。プラズマプロセスにおける欠陥抑制は電子温度制御とともに長年の課題である。近年の計測やモデリング研究の進展に伴い生成機構の理解が進むとともに、欠陥の活用についても検討され始めている。本研究では、以下2点の問いを中心に欠陥生成に関する新生面を掘り下げることが目的として研究会を開催した。

- 1) プラズマでどこまでダメージを低減したプロセスができるのか。
- 2) 欠陥生成を制御して、これを利用する技術の創成はありうるか。

はじめに九州大学の古閑から開催の挨拶と趣旨説明の説明を行ったのち各講演者にお話をうかがった。

最初の講演は、パナソニックの佐藤好弘先生から、プラズマと固体表面における欠陥生成機構の高感度解析について講演をいただいた。プラズマにさらされたSi基板のダメージ評価に関する話題を提供いただいた。

2番目の講演を、東北大学 黒田理人先生から講演していただいた。半導体デバイスのダメージ低減による高品質化について、イメージセンサを中心に話していただいた。プラズマエレクトロニクス分科会ではあまりお見掛けしておらず、高品質

イメージセンサの実現に向けた最先端の話を伺うことができ学ぶところの多いご講演であった。

3番目は産業技術総合研究所の布村正太先生から、プラズマ CVD における欠陥生成と消滅機構の解析に関するご講演をいただいた。製膜中の各入射粒子による欠陥生成と消滅機構を統合的にその場計測可能とされた布村先生のご研究は、プラズマ CVD における欠陥生成抑制に向けた重要な知見を与えるものであった。

休憩を挟んで4番目は、山梨大学の佐藤哲也先生から極低温プラズマを用いて作製した a-C:H 薄膜の欠陥抑制に関する研究成果を発表いただいた。気相中にできる分子水（凝縮層）の電子励起照射による製膜法という従来のプラズマ CVD とは異なる製膜法である、イオン衝撃の寄与が少ないため物理的なダメージが軽減することが期待される方法であり、興味深い発表であった。

最後に産業技術総合研究所の加藤宙光先生から、量子センシング応用に向けたプラズマ CVD 法によるダイヤモンド 窒素—空孔 (NV) センターの生成に関する発表をいただいた。Q-LEAP の産総研での窓口となって NV の研究を推進されている加藤先生から、NV 研究の最新の結果とともに、世界の動向についてご説明があり、大変有益であった。

プラズマプロセスにおける欠陥生成は、プロセスとしてのプラズマ研究が立ち上がって以来、研究が続けられている重要課題であり、研究会でも議論が交わされ盛況であった

第35回プラズマ新領域研究会
物理 化学混成系プラズマにおける情報系機能発現
～プラズマによる分子修飾は量子コンピューティングに応用可能か～

日本医療大学 西山 修輔

第35回プラズマ新領域研究会「物理 化学混成系プラズマにおける情報系機能発現」は、2021年3月5日にzoomによるオンライン形式で開催された。本研究会は、東北大学電気通信研究所が主催となる共同プロジェクト研究会との共催で行われ、副題に「プラズマによる分子修飾は量子コンピューティングに応用可能か」と付されたとおり、黎明期ともいえる量子コンピューティングに対しての低温プラズマによるアプローチや、量子コンピュータに限らずにプラズマを用いた知的活動について議論する新領域研究会らしい企画となった。

研究会では、冒頭に古閑一憲先生(九州大学)より研究会の趣旨説明がなされた後、特別講演として佐藤和信先生(大阪市立大学)より「分子スピコンピューター—パルス ESR 技術と量子状態制御—」の題目で、量子コンピューティングの基礎から分子スピンの制御技術や量子演算の実現についてご講演いただいた。量子コンピューティングの基礎についての解説から、分子スピンを利用した量子コンピュータの原理や実装の現状と課題まで、佐藤先生のご研究を平易にご紹介いただいた。

昼休みを挟んで、石川健治先生(名古屋大学)より、「プラズマによる有機ラジカルの生成」という題目で、プラズマ中で生成されたラジカルが気液界面でのラジカル反応を通して連鎖的な反応を誘起するという観点からご講演いただいた。続いて、Pankaj Attri 先生(九州大学)より「Effect of plasma irradiation to protein in co-solvents」と

いう題目で、大気圧プラズマの照射による共溶媒中のたんぱく質の高次構造への影響についてご講演いただいた。村上朝之先生(成蹊大学)からは「低温プラズマ化学解析のネットワーク理論的アプローチ」の題目で、低温プラズマの化学反応の膨大な素反応を反応粒子の関連性を情報数学のグラフ理論を用いて整理し、低温プラズマの化学反応の特徴をよく再現するシミュレーションとなる結果をご紹介いただいた。玉山泰宏先生(長岡技術科学大学)からは「メタマテリアル中でのプラズマ生成を利用した動的電磁波制御」のタイトルで、波長より小さい構造の集合体であるメタマテリアルを介して、低出力でのプラズマ生成やプラズマ生成による非線形な応答で発生する現象についてご紹介いただいた。続いて、佐々木渉太先生(東北大学)からは「大気圧空気プラズマにおける活性種選択生成」という題目で、農業への応用を念頭に置いたプラズマリアクターの開発とその構成、生成反応の解析についてご紹介いただいた。酒井道先生(滋賀県立大学)からは「プラズマで実現する知的活動」の題目で講演を頂き、プラズマ生成による迷路の解の探索やそのグラフ理論による表現、メタマテリアルを導入した非線形性による効果などをご講演いただいた。最後に古閑先生によるクロージングで閉会となった。

多い時で35名程度の参加者があり、参加者には多数の分科会会員の名前が見られ、活発な議論が展開された。身軽に参加できるオンライン会議の良い側面が生かされていた研究会となった。

2020 年度プラズマエレクトロニクス講習会開催報告

キオクシア(株) 栗原 一彰

第 31 回プラズマエレクトロニクス講習会が 11 月 20 日にネット会議という形で初めて開催されました。副題としてプラズマプロセスの制御のための基礎と先端応用技術として、制御のキーワードとプラズマプロセスとの連携を期待しました。今回、2020 年 2 月から感染が広がり始めた新型コロナウイルスの終息が見えないまま、第 3 波の兆しがある中での開催となりました。秋の応用物理学会がネット開催になりいくつもの国際会議や国内会議がネット開催や中止が検討されている 4 月に本講習会を WebEX によるネットで開催することを決定しました。従来の会場における講師からの直接の講義という形態からネット開催になることで受講者にとって講師への直接の質問や懇親会開催によるプラズマエレクトロニクス分野でのコミュニケーションづくりには課題が予想されました。講習会テキストに関しては広告掲載の都合もあり紙ベースでの発行を決定し、聴講者への事前の配布を行いました。この配布手続きの関係で以前であれば現地参加で対応できたものが出来なくなり、数名の締め切り後参加受付を断ることになり残念でした。今回の講義内容は以下の 5 件です。講師の先生方には丁寧な資料作りと講義を提供して下さり感謝いたします。

『プラズマ生成・制御技術の基礎と応用』

キオクシア 八木澤 卓 先生

『プラズマ診断技術の基礎と最新動向』

中部大学 小川 大輔 先生、中村 圭二 先生

『プラズマ CVD 技術の基礎と最新動向』

産業技術総合研究所 布村 正太 先生

『プラズマプロセスにより作製する MEMS デバ

イスの最近の動向』

京都大学 土屋 智由 先生

『プラズマプロセスと情報工学の融合』

滋賀県立大学 酒井 道 先生

各講義に関してはネット環境のトラブルを考慮してビデオ動画の提出を基本的には講師にお願いしましたが、結果として 3 名がビデオ動画、2 名が Live 配信となりました。アンケートではビデオ動画でも Live 配信と変わらなかったとの感想が寄せられました。結果的にはネット接続に関しては事前に幹事や講師のアクセス確認と講習会前日には参加者による接続確認など念入りな準備を行ったことが功を奏し、ネット配信に関するトラブルは発生しませんでした。

次にアンケートの結果から講習会の詳細状況をお知らせします。参加者 54 名の内、約 2 割が学生で、企業からはデバイスメーカーと装置メーカーで約 6 割を占めました。開催時期に関してはほぼ適切との評価で、基礎と応用の分量も適切との評価を得ました。今後はどのような形での開催が良いかに関しては 7 割がオンラインでの開催を希望されていました。一方で講義だけであればネット開催で十分であるが、懇親会などのコミュニケーションづくりの場も作ってもらえるのであれば、現地開催が良いとの意見が寄せられました。今後の開催体制に関しては十分な検討が必要と思われる。講義の内容に関してはプラズマの生成と制御の基礎技術への評価が一番高く、原理原則に基づく理解を提供する専門講習会としての役割を十分果たせたと感じています。今後に取り扱って欲

しいテーマとして参考のために列挙すると成膜技術 (ALD、PVD など)、ビッグデータ解析、プラズマシミュレーション手法、プラズマモニタリング手法、コンビナトリアル法による材料探索、大気圧プラズマの基礎と応用、高周波プラズマ応用、環境浄化技術、イメージセンサー技術、難エッチング材料加工技術が挙げられました。今後のテーマ選定に役立てます。

また、プラエレ分科会活動費獲得において専門講習会としての重要な任務である会計に関しましては昨年と同等の利益を上げることが出来ました。特に広告費の貢献が重要ということですので、掲

載企業の探索と依頼を今後も続ける必要性があります。

最後に今回はネット開催という慣れない環境の中で開催準備に多大なる貢献をしてくださった分科会幹事の岩瀬 拓氏 (日立製作所)、占部 継一郎氏 (京都大)、生沼 学氏 (三菱電機)、白岩 利章氏 (ソニー)、永井 久雄氏 (パナソニック)、阿部 知央氏 (キオクシア)、山羽 隆氏 (ウエスタンデジタル)、梅澤 義弘氏 (東京エレクトロン)、金 載浩氏 (産総研) の皆様に感謝いたします。

行事案内

2021 年第 82 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

九州大学 古閑 一憲

■ はじめに

コロナウィルスの影響により名城大学とオンラインのハイブリッドで開催されることとなった第 82 回応用物理学会秋季学術講演会は 2021 年 9 月 10 日から 13 日に口頭セッション、9 月 21 日～23 日にポスターセッションという変則的な日程で開催されます。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。

■ (第 1 日) プラズマエレクトロニクス賞受賞記念講演

第 19 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 10 日（木）午後（予定）

受賞者（敬称略）：*金 載浩（産業技術総合研究所）、板垣 宏知（産業技術総合研究所）、榎田 創（産業技術総合研究所）（*ご講演予定者）

選考の対象となった業績：“Low-Temperature Graphene Growth by Forced Convection of Plasma-

Excited Radicals”, Jaeho Kim, Hajime Sakakita, and Hiromoto Itagaki, Nano Letter 19 (2019) 739.

受賞者（敬称略）：*佐藤 好弘（京都大学、パナソニック）、柴田 聡（パナソニック）、占部 継一郎（京都大学）、江利口 浩二（京都大学）（*ご講演予定者）

選考の対象となった業績：“Evaluation of residual defects created by plasma exposure of Si substrates using vertical and lateral pn junctions”, Yoshihiro Sato, Satoshi Shibata, Keiichiro Urabe, and Koji Eriguchi, Journal of Vacuum Science & Technology B 38 (2020) 012205.

■ (第 2 日) シンポジウム(Technical)

日程：9 月 11 日（金）9:30～17:30(予定)

シンポジウム(Technical)は、今回プラズマエレクトロニクス分科会とシリコンテクノロジー分科会(大分類13)との合同シンポジウムとして、「未来デバイス製造のためのアトミックレイヤープロセス;表面反応ダイナミクスの理解と制御」を学会2日目に開催します。次世代半導体デバイスや量子デバイスなどのプロセスでは、原子スケールでの材料プロセスの重要性がこれまで以上に重要視されています。原子スケールプロセスでは、原子スケールでの表面反応ダイナミクスを精密に制御することが求められています。本シンポジウムでは、熱またはプラズマを用いた原子層プロセスの基礎から応用・展望までを、デバイスおよびプロセスの研究者が一堂に会して議論することで、原子層プロセスの全体像を俯瞰しつつ、課題を明確にす

ることを目的としています。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(すべて仮題です)。

1. 霜垣 幸浩先生(東京大学)「原子薄膜堆積における反応速度論」
2. 浦岡 行治先生(奈良先端大)「原子堆積を用いたデバイス形成」
3. 石川 健治先生(名古屋大)「原子層エッチングにおける表面反応」
4. 藤崎 寿美子先生(日立製作所)「高選択ThermalALE技術」
5. 倉橋 光紀先生(NIMS)「準安定励起種による表面反応」
6. 加藤 俊顕先生(東北大学)「ナノカーボンの構造制御合成と機械学習応用」
7. 笹川 崇男先生(東京工業大)「トポロジカル量子物質の開拓:原子層プロセスへの期待」
8. 野尻 一男先生(ナノテクリサーチ)「ドライエッチング技術の現状、およびALE法への期待」
9. 本田 昌伸先生(東京エレクトロン宮城)「ALE/ALD法の半導体デバイスプロセス応用と今後の展望」
10. 深沢 正永先生(ソニーセミコンダクタソリューションズ)「プラズマプロセスのALE応用と展望」

■ (第3日) 海外招待講演

昨年はコロナの影響によりキャンセルとした海外招待講演ですが、3日目午前英語セッションにおいて、開催することとしました。下記欧米とアジアの研究者にオンラインで講演いただく予定です。皆様奮ってご参加ください。

[ご講演者 1] Dr. Petr Lukes,

Institute of Plasma Physics, Czech Republic
[講演題目 (仮題)] Chemical and physical processes in non-thermal plasma in liquids and

gases.

[ご講演者 2] Prof. Dr. Heeyeop Chae,

Sungkyunkwan University, Republic of Korea
[講演題目 (仮題)] Advanced nanoscale processing with plasmas.

■ 分科内招待講演

従来 PE 分科会企画の分科内招待講演では、産業界もしくは大学等の研究者をお招きし講演をいただいていたのですが、新たな試みとして、他分野からの研究者との交流を深めるべく、各中分類プログラム編集委員から他分野からの分科内招待講演者を推薦いただき、各セッションにて招待講演を実施することにいたしました。今回は、九州工業大学 宇佐美 雄生先生をお招きしてナノ材料を用いた次世代コンピューティングデバイスについてお話いただく予定です。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] 宇佐美 雄生先生 (九州工業大学)
[講演題目] 「(仮題) ナノ材料集合体を記憶部に用いた時間遅延型リザーバーコンピューティング」
(講演セッション: 8.3)

■ おわりに

新型コロナウイルスの影響がまだ続きそうな状態ですが、開催時期にはワクチン接種もだいぶ進んでいることと思います。可能であれば現地にて、皆様と直接お会いして議論できることを期待しております。加えて、PE 分科会懇親会も企画が進んでおります。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

8th International Conference on Plasma Medicine (ICPM-8)/ 10th International Symposium on Plasma Bioscience (ISPB-10) 第 8 回プラズマ医療国際会議 /第 10 回プラズマ生命科学国際シンポジウムのお知らせ

名古屋大学 低温プラズマ科学研究センター 田中 宏昌、堀 勝

今年の ICPM-8/ISPB-10 は、新型コロナの状況を鑑みて、オンラインでの開催となります。最新の情報につきましては、下記ホームページをご確認下さい。

<http://icpm8.or.kr/index.php>

今回で 8 回を迎えるプラズマ医療国際会議 (ICPM) は、この 10 年～20 年の間に勃興して急速に発展しているプラズマ医療の分野を初めとして、プラズマ農業など、低温プラズマの生命科学への応用研究の分野で世界をリードする国際会議です。韓国 Kwangwoon University、Plasma Bioscience Research Center (PBRC) センター長の Eun Ha Choi 教授が主催者となり、今回はコロナ禍のため、2021 年 8 月 3 日 (火)～6 日 (金) の 4 日間、オンラインにて開催されることに決まりました。また、PBRC が毎年主催している国際会議 International Symposium on Plasma Bioscience (ISPB) と合同で開催されます。

本学会では、例年、世界中から 300 名程度の参加者を迎え、プラズマ計測、プラズマの医療応用、プラズマの農業応用など低温プラズマの生命科学への応用に関する幅広い分野で最先端の研究結果が発表されています。

第 1 回目と第 2 回目の ICPM はそれぞれ 2007 年と 2009 年に米国で Drexel University の

Alexander Fridman 教授により開催され、第 3 回目の ICPM は 2010 年にドイツにて INP Greifswald の K.D. Weltmann 教授により開催され、第 4 回目の ICPM は 2012 年にフランスにて Orleans University の Jean-Michel Pouveles 教授により開催されました。一方で我が国では 2012 年度～2017 年度に新学術領域「プラズマ医療科学の創成」(領域代表:名古屋大学堀勝教授)が立ち上がり、第 5 回目の ICPM は 2014 年に日本で大阪大学の浜口智志教授により開催され、第 6 回目の ICPM は 2016 年にスロバキアで Comenius University の Zdenko Machala 教授により開催されました。第 5 回目と第 6 回目では日本人の参加者数が世界一となりました。第 7 回目の ICPM は 2018 年に再び米国で Drexel University の Alexander Fridman 教授により開催されました。

本学会では、今回のトピックスとして、大気圧プラズマの基礎、医療応用のためのプラズマ源、プラズマ・溶液相互作用、プラズマ活性溶液、プラズマ・細胞、プラズマ・組織相互作用・生物学的、生化学的反応、プラズマ表面相互作用/医療応用のための修飾、プラズマに基づく除染及び滅菌、薬学応用のためのプラズマ、生化学的・分子生物学的応用、プラズマ医療応用・臨床応用と動物実験、プラズマの農業応用、プラズマモデリングと数値シミュレーション、COVID-19 を扱い、世界最先端の研究結果が発表されます。

【会期】

2021年 8月3日(木) – 6日(金)

【会場】

オンラインにて開催

【テーマ】

プラズマ医療およびその関連分野

【トピックス】

ホームページをご参照ください

【プレナリー招待講演】

◆ Dr. Eloisa Sardella,

National Council of Research-Institute of Nanotechnology (CNR-NANOTEC), Bari, Italy, "Generation and Control of Plasma Induced Reactive Oxygen/Nitrogen Species in Liquids: a Route Toward Selective Cell Responses"

◆ Dr. Augusto Stancampiano,

GREMI UMR7344 CNRS/Université d'Orléans "Unaccounted Bias in Plasma in vitro Experiments and the Translation to in vivo : Key Issues and Challenges"

◆ Prof. Annemie Bogaerts,

University of Antwerp, Belgium, "Modeling for Plasma Medicine: What Can We Learn from It?"

◆ Prof. Ana Sobota

Eindhoven University of Technology, The Netherlands

"The Behaviour of Non-thermal Plasmas in Interaction with Targets"

◆ Prof. Xinpei Lu,

Huazhong University of Science and Technology, China

"Transcutaneous Plasma Stresses: Fundamentals of Atmospheric Plasmas, Plasma-cell and Plasma-tissue Interactions"

◆ Prof. Sun Jung Kim,

Dongguk University, Republic of Korea

"Genetics and Epigenetics of Cold Atmospheric Plasma Acting on Breast Cancer Cells"

【投稿受付】

締切 2021年 5月 28日(金)

【参加申し込み】

早期参加登録締切 : 2021年 7月23日(金)

参加登録締切 : 2021年 8月6日(金)

【会議ホームページ・連絡先】

<http://icpm8.or.kr/index.php>

事務局: icpm8[at]icpm8.or.kr

※最新の情報は上記ホームページをご覧ください

The ICPM8 & ISPB10 will be held **online in August!**

The Local Organizing Committee of the ICPM8 & ISPB10 considers the health and safety of all participants as the top priority. Therefore after having a serious discussion, we have decided to hold the ICPM8 & ISPB10 online in August 2(Mon.) ~ 6(Fri.), 2021 (KST 09:00-18:00).

CALL FOR ABSTRACT

Abstract Submission Deadline : May 28 (Fri.), 2021

Conference Topics → Submission Guideline →

SPECIAL ISSUE

The ICPM8 presented topics would be published by Special issue "Plasma Medicine in ICPM8, 2021" under peer review processes.
Editor : Prof. Satoshi Hamaguchi, Prof. Eun Ha Choi, Prof. Gregory Fridman

The ICPM8 presented topics would be published by Special issue of "ASCT in ICPM8, 2021" under peer review processes.
Editor : Prof. Ilhn Han, Prof. Eun Ha Choi

KEY DATES

Abstract Submission Deadline	May 28(Fri.), 2021
Abstract Acceptance Notification	June 23(Wed.), 2021
Final Announcement	July 14(Wed.), 2021
Early Registration	June 23(Wed.) - July 23(Fri.), 2021

3RD SUMMER SCHOOL ON PLASMA MEDICINE
August 2(Mon.)~3(Tue.), 2021

The Summer School on Plasma Medicine is dedicated to Plasma Physicist "Beginners" in biology and for Biologist and Medical doctors "Beginners" in Plasma physics, as well as "Beginners" in Plasma Medicine related industry people. **MORE**

SUMMER School

行事案内

第 42 回ドライプロセス国際シンポジウム 42nd International Symposium on Dry Process (DPS2021)

ルネサスエレクトロニクス (株) 丸山 隆弘 (プログラム委員長)
早稲田大学 渡邊 孝信 (実行委員長)
キオクシア (株) 林 久貴 (組織委員長)

今年のドライプロセスは、新型コロナの状況を鑑みて、オンラインでの開催となります。最新の情報につきましては、下記ホームページをご確認下さい。

<http://www.dry-process.org/2021/index.html>

今回で 42 回目を迎えるドライプロセス国際シンポジウム(DPS)は、プラズマエッチングやプラズマ CVD など、半導体集積回路を中心とした微細加工プロセス技術や表面反応研究の分野で世界をリードする国際会議です。

昨年の DPS は新型コロナの状況を鑑み、残念ながら延期の判断となりました。先行きが不透明な状況の続く中、本年は 11 月 18 日(木)・19 日(金)の 2 日間、オンラインにて開催することに決定致しました。つきましては、是非とも最先端の研究に関し、投稿のご検討をお願い申し上げます。なお、本シンポジウムでの報告内容については 2022 年 6 月に JJAP の特集号の発刊を予定しております。

本学会では、例年、国内外の大学や企業から 300 名程度の参加者を迎え、当該分野について基礎から応用に至るまで最先端の研究結果が発表されております。近年では、デバイスの微細化に対応する新しいプロセス技術はもとより、計測技術や装置技術、そしてプラズマを用いるうえで避けては通れないダメージ等について、その現象から

メカニズム探求に至る各種の報告がなされております。また、これら解析やモデリングにおいてシミュレーションや AI の活用も盛んになっております。さらに大気圧プラズマ技術や表面改質へのプラズマ応用、バイオや医療分野への応用など、幅広く報告を募集しております。

DPS では今年の注目テーマとして、3 つの Arranged Session を設定しました。1 つ目は、「Applications and Researches of Atomic Layer Controlled Etching and Deposition (ALE/ALD /Area Selective-ALD)」と題し、近年富みに注目されている原子層レベルのプロセス制御に関するセッションです。2 つ目には、止まる所を知らないデバイスの高層化・3D 化に対応する「Challenges to Limits for High Aspect Ratio Etching」を、3 つ目には近年再び注目されている低温のエッチングプロセスに関し「Rethinking of Cryogenic Etching」と題するセッションを設定しました。何れのセッションにおきましても、各分野で著しい成果を挙げられている研究者をお招きして、ご講演頂く予定にしております。その他の新材料・新技術につきましても、招待講演を準備しております。

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ことができる機会であるとともに、世代を越えたネットワークを形成する絶好の機会でもあります。関連する研究内容の多い PE 分科会会員の皆様の、積極的な論文投稿とご参加をお待ちしております。

【会期】

2021年 11月18 日(木) - 19 日(金)

【会場】

オンラインにて開催

【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)

- Masaru Hori (Nagoya University)
- Olivier Joubert (LTM/CNRS)

【アレンジセッション・招待講演】

A1. Applications and Researches of Atomic Layer Controlled Etching and Deposition (ALE/ALD/Area Selective-ALD)

◆招待講演者

Sumit Agarwal (Colorado School of Mines)

A2. Challenges to Limits for High Aspect Ratio Etching

◆招待講演者

Yeon Ho Im (Chonbuk National University)
Thorsten Lill (Lam Research Corp.)

A3. Rethinking of Cryogenic Etching

◆招待講演者

Rémi Dussart (GREMI-Université d'Orléans)

一般テーマ

◆招待講演者

Luxherta Buzi (IBM Corp.)
Erwine Pargon (University Grenoble Alpes, CNRS, LTM)

【投稿受付】

開始 2021年 5月 10日(月)

締切 2021年 7月 16日(金)

【参加申し込み】

早期参加登録締切 : 2021年 10月8 日(金)

参加登録締切 : 2021年 10月31日(日)

*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/2021/index.html>

事務局: dps2021[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



Call for Papers - DPS 2021
42nd International Symposium on Dry Process
November 18(Thu) -19(Fri), 2021
ONLINE SYMPOSIUM

Paper Submission Deadline: July 16, 2021
Deadlines will be respected, hence early submission is encouraged.
Author instructions and information about DPS can be found at:
<http://www.dryprocess.org/2021/>

The 42nd International Symposium on Dry Process (DPS2021) will be held as an **ONLINE SYMPOSIUM** from November 18th to 19th, 2021. 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 and Machine Learning) for Dry Process
6. Plasma Generation (Equipment/Source)
7. Deposition Technologies (CVD / PVD)
8. Atomic Layer Processes (ALD/ALE)
9. Plasma Processes for 3D Device, FPD, Photovoltaic Devices
10. Plasma Processes for New Material Devices (MRAM, Power, Organic)
11. Plasma Processes for Biological and Medical application, MEMS
12. Atmospheric Pressure Plasma and Liquid Plasma
13. New Dry Process Concepts

Arranged session:

- A1 - Applications and Researches of Atomic Layer Controlled Etching and Deposition (ALE/ALD/Area Selective-ALD)
- A2 - Challenges to Limits for High Aspect Ratio Etching
- A3 - Rethinking of Cryogenic Etching

For further general information, please contact: e-mail: dps2021@officepolaris.co.jp

Organizing Committee Chair: Hisataka Hayashi (KIOXIA Corporation)
Executive Committee Chair: Takano Yu Watanabe (Waseda University)
Program Committee Chair: Takahiro Maruyama (Renesas Electronics Corp.)
Publication Committee Chair: Hiroshi Akutsuka (Tokyo Institute of Technology)

URL: <http://www.dry-process.org/2021/>

DPS2021 is co-sponsored by The Japan Society of Applied Physics. The Association of Applied Physics

第 20 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 2019 年、2020 年、2021 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

2022 年春季応用物理学関係連合講演会期間中に行う予定です。受賞者には賞状および記念品を贈呈いたします。また、2022 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

2021 年 12 月 10 日 (金) 当日消印有効

書類提出先

〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘11-1
大阪大学接合科学研究所
節原 裕一

(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。

2021 年度(令和 3 年度) プラズマエレクトロニクス分科会幹事名簿

任期	氏名	所属	所在地・電話	電子メールアドレス
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
留任 2020.4 ~ 2022.3	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/ 自然科学研究機構 新分野創成センター	〒819-0395 福岡県福岡市西区本岡 7 4 4 TEL: 092-802-3716	koga@ed.kyushu-u.ac.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
	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 理工学部 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	(株)日立製作所 ナノプロセス研究部	〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪 1 - 2 8 0 TEL: 042-323-1111	tetsuo.kawanabe.hq@hitachi.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 附属精密工学研究センター	〒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 TEL: 029-861-4889	jaeho.kim@aist.go.jp
	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
	白岩 利章	ソニーセミコンダクタソリューションズ(株) 第 2 研究部門 2 部	〒243-0014 神奈川県厚木市旭町 4-14-1 TEL: 050-3141-5288	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

新任 2021.4 ～ 2023.3	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 愛知県名古屋市千種区不老町 NIC4階 TEL: 052-788-6077	ishikawa@plasma.engg.nagoya-u.ac.jp
	奥山 由	苫小牧工業高等専門学校 創造工学科 電気電子系	〒059-1275 北海道苫小牧市錦岡 443 番地 TEL: 0144-67-8074	yokuyama@tomakomai.kosen-ac.jp
	加藤 俊顕	東北大学 大学院工学研究科 電子工学専攻	〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻青葉 6-6-05	kato12@ecei.tohoku.ac.jp
	熊谷慎也	名城大学理 工学部 電気電子工学科	〒468-8511 名古屋市天白区塩釜口一丁目 501 番地 TEL: 052-832-1151 (代表)	skumagai@meijo-u.ac.jp
	古免 久弥	熊本大学 先進マグネシウム国際研究センター	〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1 TEL: 096-342-3738	komen@mech.kumamoto-u.ac.jp
	末次 大輔	パナソニック株式会社 マニ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: 080-9940-4637	suetsugu.daisuke@jp.panasonic.com
	高橋和生	京都工芸繊維大学 電気電子工学系	〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町 TEL: 075-724-7418	takahash@kit.jp
	高橋 一弘	室蘭工業大学 大学院工学研究科 もの創造系領域 電気通信システムユニット	〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1 TEL: 0143-46-5560	ktakahashi@mmm.muroran-it.ac.jp
	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
	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
	中塚 滋	ウエ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: 059-390-9941	shigeru.nakatsuka@wdc.com
	古里友宏	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: 095-819-2560	t-furusato@nagasaki-u.ac.jp
	弓削 政郎	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: 06-6497-2745	Yuge.Seiro@ay.MitsubishiElectric.co.jp

2021年度(令和3年度)分科会幹事役割分担

役割分担	留任		新任	
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	竹内 希	東京工業大学
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	田中 康規	金沢大学
	栗原 一彰	キオクシア	石川 健治	名古屋大学
	神野 雅文	愛媛大学	中塚 滋	ウェスタンデジタル
	金 載浩	産業技術総合研究所	熊谷 慎也	名城大学
	中村 圭二	中部大学		
3. プラズマプロセッシング研究会 2021年度：SPP(2022年1月) 2022年度：ICRP/GEC	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	加藤 俊顕	東北大学
	市來 龍太	大分大学	熊谷 慎也	名城大学
	明石 治朗	防衛大学校	石川 健治	名古屋大学
	大久保 雄司	大阪大学	古免 久弥	熊本大学
4. 光源物性とその応用研究会				
5. プラズマ新領域研究会	古閑 一憲	九州大学	奥山 由	苫小牧工業高等専門学校
	神野 雅文	愛媛大学	古免 久弥	熊本大学
	松井 信	静岡大学	高橋 一弘	室蘭工業大学
	岡田 健	東北大学		
6. インキュベーションホール	古閑 一憲	九州大学	奥山 由	苫小牧工業高等専門学校
	松井 信	静岡大学	古里 友宏	長崎大学
	梅澤 義弘	東京エレクトロン宮城	高橋 一弘	室蘭工業大学
	桑畑 周司	東海大学		
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	高橋 和生	京都工芸繊維大学
	金 載浩	産業技術総合研究所	末次 大輔	パナソニック株式会社
	阿部 知央	キオクシア	中塚 滋	ウェスタンデジタル
	白岩 利章	ソニーセミコンダクタソリューションズ	弓削 政郎	三菱電機
	梅澤 義弘	東京エレクトロン宮城	石川 健治	名古屋大学
	川那辺 哲雄	日立製作所		
8. 会誌編集・書記	岡田 健	東北大学	高橋 和生	京都工芸繊維大学
	白岩 利章	ソニーセミコンダクタソリューションズ	末次 大輔	パナソニック株式会社
9. ホームページ	市來 龍太	大分大学	竹内 希	東京工業大学
10. 会計	桑畑 周司	東海大学	古里 友宏	長崎大学
11. プラズマエレクトロニクス賞	節原 裕一	大阪大学	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)	節原 裕一	大阪大学	田中 康規	金沢大学
	古閑 一憲	九州大学		
	栗原 一彰	キオクシア		
13. PE 懇親会 2021年度 秋：名城大、春：青学	川那辺 哲雄	日立製作所	弓削 政郎	三菱電機
	大久保 雄司	大阪大学	竹内 希	東京工業大学
GEC 委員 (オブザーバー)	酒井 道	滋賀県立大学		
	金子 俊郎	東北大学		

2021年度（令和3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 | 石島 達夫 | (金沢大) |
| 8.1 プラズマ生成・診断 | 富田 健太郎 | (北大) |
| 8.2 プラズマ成膜・エッチング・表面処理 | 竹中 弘祐
大村 光広 | (阪大)
(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 | 北嶋 武 | (防衛大) |
| 8.5 プラズマ現象・新応用・融合分野 | 栗田 弘史
呉 準席 | (豊橋技科大)
(大阪市大) |
| 8.6 Plasma Electronics English Session | 林 信哉
石島 達夫 | (九大)
(金沢大) |
| 2. 応用物理学会理事 | 辰巳 哲也 (副会長)
朽久保 文嘉 | (ソニーセミコンダクタソリューションズ)
(都立大) |
| 3. 応用物理学会代議員
(分科会推薦, 各支部推薦等) | 赤塚 洋
石島 達夫
王 斗艶
熊谷 慎也
佐々木 勇輔
佐藤 考紀
朽久保 文嘉 | (東工大)
(金沢大)
(熊本大)
(名城大)
(九大)
(室蘭工大)
(都立大) |
| 4. GEC 組織委員会委員 | 金子 俊郎
酒井 道 | (東北大)
(滋賀県立大) |
| 5. 応用物理学会本部委員会 | | |
| 機関誌企画・編集委員会 | 江利口 浩二
久保井 信行 | (京大)
(ソニー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
栗原 一彰
太田 貴之
布村 正太 | (阪大)
(キオクシア)
(名城大)
(産総研) |
| 講演会企画・運営委員会 | 石島 達夫
一木 隆範
熊谷 慎也 | (金沢大)
(東大)
(名城大) |
| 表彰委員会 | 辰巳 哲也 | (ソニーセミコンダクタソリューションズ) |
| 学術・社会連携委員会 | 辰巳 哲也 | (ソニーセミコンダクタソリューションズ) |
| 業績賞委員会 | 辰巳 哲也 | (ソニーセミコンダクタソリューションズ) |
| 6. 代議員推薦委員会 | 木下 啓蔵 | (アイオーコア) |
| 7. 応用物理学会将来基金委員会 | 朽久保 文嘉 | (都立大) |

8. フェロー

(受賞時の所属で記載。元分科会会員を含む。)

Uwe Reinhard Czarnetzki	(Ruhr University Bochum)
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 啓藏	(アイオーコア)
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)
関根 誠	(名大)
高井 治	(名大)
高井 まどか	(東大)
橘 邦英	(京大)
辰巳 哲也	(ソニー)
寺嶋 和夫	(東大)
斗内 政吉	(阪大)
豊田 浩孝	(名大)
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)
松田 彰久	(阪大)
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。記載漏れにお気づきの場合は、会誌担当幹事までお知らせ頂けると幸いです。

活動報告

本幹事会は ZOOM を用いたオンライン会議にて 2021 年 3 月 17 日（水）に開催され、大分類意見交換会に引き続き、インフォーマルミーティングとして実施された。下記にまとめる。

1. 第 19 回プラズマエレクトロニクス賞の規定と選考結果についての報告（節原幹事長）

- ・ 委員長の平松先生からの推薦で委員を選定した。
- ・ 2 件を選考し、受賞者から挨拶があった。
産総研 金先生ら
パナソニック 佐藤様ら
- ・ 2021 年秋の応用物理学会内で受賞記念講演を行う。
- ・ 分科会会報 2021 年 6 月号に解説記事を掲載する。
- ・ 第 20 回 PE 賞の応募は 2021 年 12 月 17 日（金）を締切とする。

2. プラズマエレクトロニクス分科会 30 周年記念事業（節原幹事長）

- ・ 30 周年記念アーカイブスの発刊を行う。
古閑先生を中心にインキュベーションホールや講習会テキストをまとめる。
- ・ 分科会会報 2021 年 12 月号を 30 周年記念特別号とする。
- ・ 3/17 に行われたチュートリアル参加者は予約 73 名、参加 60 名であった。
- ・ 分科会記念特別セッションでは参加者が 100 名を超えたとの報告があった。

3. プラズマエレクトロニクス講演奨励賞の規定について（節原幹事長）

- ・ 若手セッションの開催にあたって新たに設立した賞であり、応用物理学会理事会で承認を得た。
- ・ 対象は、分科会企画の講演会、研究会、シンポジウム（SPP を含む）とする。
- ・ 満 35 歳以下を対象とする。

4. 春季および秋季学術講演会における分科会の企画について（古閑先生）

- ・ 次回応物は 2021 年 9/10-13@名城大天白キャンパスを予定
- <シンポジウム企画案について>
- ・ 産総研の金先生から説明があり、「原子スケールプロセスに向けたプラズマ技術の展開」として準備を行う。

- ・ シンポジウムの企画内容や講演候補者についての意見を募集する。（古閑先生）
- ・ シリコンテクノロジー分科会の研究集会（2021 年 3 月 25 日）と講演者と重複があるため（近藤先生より）要再検討。今後幹事会で討論する。

<海外招待講演について>

- ・ 現地開催の場合の海外招待講演者の参加方法について検討中である。
- ・ 海外招待講演者を関連中分類の発表に入れるか検討中である。候補者も現在検討中。
- ・ 量子コンピューティングとプラズマプロセスの関係など、講演者候補や内容についての意見を募集する。

<分科会内招待講演について 9/10am>

- ・ 今回（2021 年春）からの試みとして、各中分類のプログラム委員の推薦により他分野からの研究者を招待して講演を依頼した。今後も継続したい。

5. プラズマ新領域研究会報告（古閑先生）

- ・ 予算削減のため年 3 回から 2 回にして実施しているが、オンライン開催の場合には年 3 回でも実施可能。
- ・ 第 34 回(10 月)、及び第 35 回(3/5)の開催内容に関する報告があった。

6. プラズマエレクトロニクス講習会報告(栗原様)

- ・ 参加規模、収支について報告があった。
- ・ 次回については未定。
- ・ オンライン開催時のツール使用料が高いため、分科会で契約するか検討をお願いしたい。

7. SPP38/SPSM33 開催報告（田中先生）

- ・ 2021/1/27-29 で開催(Webex を利用)。登録者数は 129 名。
- ・ 審査員 21 名による審査の結果、受賞者 2 名を決定した。

8. 2020 年度 会計報告（節原幹事長）

- ・ 会計報告があった。

9. 2020年度分科会幹事について（節原先生）

- ・ 新任幹事と退任幹事について報告があった。

10. 会報について（岡田）

- ・ 2021年6月号の準備状況について報告があった。
- ・ 次号（2021年12月号）は30周年特集号になることが報告された。

11. 関連会議について（竹田先生）

- ・ ICPIG2021の開催延期について報告があった。

12. その他

- ・ 分科会は6年に一度解散・継続の申請が必要なため継続することで申請修（節原先生）。
- ・ 次回の春季応用物理学会は青山学院大学（2022年3月15日～19日）で行われる。

記：兒玉（名古屋大学）、岡田（東北大学）

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 ページを参照ください。

【 国際会議 】

2021. 8.3 - 6

8th International Conference on Plasma Medicine (ICPM-8)/
10th International Symposium on Plasma Bioscience (ISPB-10)
オンライン

<http://icpm8.or.kr/index.php>

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 (GD2021)
Greifswald, Germany

<https://www.gd2021.org/>

2021. 10.24 - 29

AVS 67th International Symposium and Exhibition
North Carolina, USA

<https://avs67.avs.org/>

2021. 11.18 - 19

The 42nd International Symposium on Dry Process (DPS2021)
オンライン

<http://www.dry-process.org/2021/index.html>

2022.6.11 - 15

XXV Europhysics Conference on Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases
Paris, France

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

2022.7.24 - 29

Plasma Processing Science, Gordon Research Conference
Andover, NH, USA

<https://www.grc.org/plasma-processing-science-conference/2022/>

【 国内会議・会合 】

2021. 9.10 - 13

第 82 回応用物理学会秋季学術講演会
名城大学 天白キャンパス, 愛知県

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

2021. 9.20 - 23

2021 年日本物理学会秋季大会 (物性)
東京工業大学, 東京都

<https://www.jps.or.jp/activities/meetings/future.php>

2022. 3.22 - 26

第 68 回応用物理学会春季学術講演会
青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県相模原市

<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.74 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。

巻頭言ではソニーセミコンダクタソリューションズ（株）の辰巳様より「プラズマプロセスのこれから」と題して、プラズマを用いた技術発展とどのように人々の生活に結びついてきたかについて寄稿頂きました。研究開発と未来をつなぐイメージを持つことの重要性を再認識することができ大変参考になりました。

学生のためのページでは、大阪大学の幾世様、浜口先生より「機械学習を利用したプラズマ材料プロセッシング」と題して、プロセス開発への機会学習応用や数値シミュレーションの効率化など非常にわかりやすく解説頂きました。

本号の研究室紹介のコーナーは「研究センター紹介」として、東北大学に設置されました非平衡プラズマ学際研究センターについての紹介記事となっております。東北大学の金子先生に4つの研究部門からなるセンターの取り組みや成果についてご紹介頂いております。

コロナ禍の影響で海外渡航が制限されているため、「海外の研究事情」については本号では趣向を変え、「日本でのプラズマ研究」と題して、長年日本でプラズマ関連研究をされている東京エレクトロン宮城のトーマス様に海外出身者から見た日本のプラズマ研究についてご執筆頂きました。

研究紹介コーナーでは、名城大学の熊谷先生のご研究をご紹介頂きました。詳細な情報をご紹介頂いておりますので、関連研究をされている分科会会員の方には非常に有益な解説となっております。

第19回プラズマエレクトロニクス賞は産業技

術総合研究所の金先生とパナソニック株式会社の佐藤様を筆頭著者とする2報の論文が受賞されました。本号ではそれぞれの研究グループから解説記事をご執筆頂いております。

応用物理学会講演奨励賞を受賞された東北大学の本田様からは、受賞対象となってお講演の紹介を頂いております。

また、名古屋大学の石川先生、金沢大学の田中先生、九州大学の古閑先生、日本医療大学の西山先生、キオクシア（株）の栗原様からは国際、国内会議のご報告を頂いております。このような状況下での学会開催について参考になるのではないかと思います。

次回の応用物理学会や国際会議、第20回プラズマエレクトロニクス賞の案内がございます。是非ご一読頂き奮ってご参加頂ければと存じます。

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3年度会報編集担当：
岡田、白岩、高橋、末次

プラズマエレクトロニクス分科会会報 No.74
2021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)