

プラズマエレクトロニクス分科会会報 No. 62

2015年(平成27年)6月発行

岡田、赤松、島田、松本

目次

巻頭言

「ライン川沿いの美しき街で見つけた宝物」 東京大学 寺嶋和夫 1

寄稿

「プラズマバイオ科学技術の発展を目指して」 名城大学 伊藤昌文 4

第13回プラズマエレクトロニクス賞

第13回プラズマエレクトロニクス賞について 名古屋大学 豊田浩孝 6

プラズマエレクトロニクス賞を受賞して 東京大学 本間啓一郎 8

プラズマエレクトロニクス賞を受賞して ソニー(株) 久保井信行 10

研究室紹介(その57)

金沢大学 理工研究域 環境電力工学研究室 金沢大学 石島達夫 13

研究紹介(その11)

「高電圧・プラズマの農水利用」 岩手大学 高木浩一 18

海外の研究事情(その39)

「YORKTOWNHEIGHTS滞在記」 IBM TJ Watson Research Center 宮副裕之 24

学生のためのページすぐに役立つプラズマエレクトロニクス

「炭素系薄膜・構造体の合成に用いられるプラズマプロセス」 名城大学 平松美根男 31

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 佐々木渉太 41

国際会議報告

ISPlasma2015/IC-PLANTS2015 名古屋大学 齋藤永宏 43

国内会議報告

2015年 第62回応用物理学会春季学術講演会

第14回分科内招待講演報告 (株)日立製作所 前田賢治 45

分科会企画シンポジウム報告 名城大学 伊藤昌文 46

チュートリアル講演報告 首都大学東京 白井直機 48

プラズマ制御科学研究センター2014年度第2回研究会 京都工芸繊維大学 林康明 49

行事案内

第9回インキュベーションホール 大阪大学 節原裕一 50

2015年第76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 首都大学東京 枳久保文嘉 52

第10回アジアヨーロッパプラズマ表面工学国際会議 大阪大学 節原裕一 54

第9回反応性プラズマ国際会議/第68回気体電子会議合同会議/

第33回プラズマプロセス研究会 名古屋大学 豊田浩孝 55

第37回ドライプロセス国際シンポジウム 大阪大学 浜口智志 56

米国真空学会第62回国際シンポジウム&展示会 大阪大学 浜口智志 57

第26回プラズマエレクトロニクス講習会 日立ハイテク 伊澤勝 58

IEEE第16回ナノテクノロジー国際会議 東北大学 寒川誠二 59

掲示板

平成 27 年度プラズマエレクトロニクス分科会幹事名簿	61
平成 27 年度分科会幹事役割分担	63
平成 27 年度分科会関連の各種世話人・委員	64
平成 26 年度後期および平成 27 年度前期活動報告	65
プラズマエレクトロニクス関連会議日程	68
広告掲載企業一覧	70
編集後記	71

巻頭言

ライン川沿いの美しき街で見つけた宝物

東京大学 寺嶋和夫

IT 技術の飛躍的な発展により、世界が時空間ともに加速度的に一つのものとなりつつある現代。国家、企業、大学、などの全ての組織の永続的な発展にとって、“Diversity（多様性）”、“そして、“Diversity（多様性）を通じた Innovation（変革）”が強く切望され、それぞれの組織の存亡を賭けた取り組みが日夜進められている。この“Diversity（多様性）”という言葉は、私にとっては、ヨーロッパの小国（スイス）の美しき街（バーゼル）で過ごした日々の数々の風景を思い出させてくれる珠玉の言葉となっている。

バーゼルはスイスの北西部スイス・ドイツ・フランスの3つの国が隣接する国境の人口が僅か20万人ほどの小さな町である。4つの公用語（ドイツ語・フランス語・イタリア語・ロマンシュ語）を操る“Diversity（多様性）の国”スイスの中ではドイツ語圏に属する地域である。毎年春に開催される世界最大の時計・宝飾品の見本市・バーゼルワールドや製薬・生命科学会社のノバルティスやロッシェの本社のある街としても有名である。後にノーベル生理学・医学賞を受ける当時は無名の若き研究者に過ぎなかった利根川進博士（現MIT教授）による、“免疫系（抗体）の Diversity（多様性）の発現機構の解明”の研究は、この地にあるロッシェのバーゼル免疫学研究所で成し遂げられたことでも知られる。

パリのシャルル・ドゴール空港からの乗り継ぎ便が大幅に遅れて、バーゼル・ミュールーズ空港

に私が降り立ったのは、1993年3月31日に日付が変わろうとしている時刻であった。早春の深夜の空気はまだまだ冷たかったが、タクシーから見える真夜中の通りには街路樹が茂り、うっすらとした灯りに浮かび上がる古い街並みはこの上なく魅力的なものであった。中世の面影が色濃く残るこの街で、私は、30代半ばの2年間を過ごした。

毎日リュックサックを背負ってバーゼル大学の物理研究所に通勤するかたわら、私はこの街で国境の町ならではの様々な風景や光景に出くわした。私が最初に降り立ったバーゼル・ミュールーズ空



写真1 バーゼル大聖堂

港はフランス領内に存在し、その建物は両国に分断されている。ヨーロッパ最大の国境駅であるバーゼル SBB 駅から徒歩で約 15 分(トラムで3つ目)の私の住むアパートからはドイツのシュバルツヴァルト(黒い森)の眺めを楽しむことができた。毎日人々が国境を越えて通学・通勤する光景はごく当たり前のものであった。ドイツ国境近くにあるチバガイギー(現在のノバルティスの前身)の建物の中にはパスポートコントロールが設けられているという噂がまことしやかに囁かれていた。私自身、週末になるとトラムで国境付近まで行き、徒歩でパスポートコントロールを通過して、スイスよりも物価の安いフランスやドイツのスーパーマーケットに買い物に出かけたものである。外国語をお得な学費で学べるミグロシューレ(スーパーマーケットチェーンのミグロス経営の語学学校)のドイツ語クラスには、フランス人・イタリア人・インド人・韓国人・ブラジル人・クロアチア人等々、多数の国籍の人々が通っていて、サッカーワールドカップ開催の時期の休み時間(カフェパウゼ)は、一触即発の不穏な空気に支配されて、サッカーにあまり興味のない日本人の私は凍りついたものである。自宅アパート前の緩やかなスロープで運悪く転倒して骨折した肘の手術をバーゼル大学病院で受けた際の執刀医はイタリア人、手術スタッフはアメリカ人、看護師はスイス人、スウェーデン人、そして患者は日本人の多国籍軍?であり、手術室内公用語は英語であった。2名在籍する日本人の看護師さんの1人の話に拠ると、病院内に勤めるスタッフの方々の国籍は全部で40カ国以上にわたり、病院の地下には、同じ作りの病院設備(核シェルター)を有しており、万が一の時に円滑に治療ができるように、年一度は模擬手術が行われるということだった。アップルの故ステーブジョブズ氏が一縷の望みをかけ放射線がん治療を受けた病院でも知られる。

我々、プラズマエレクトロニクス分科会は、電気・電子工学を核として、プラズマ物理を中心にした物理、基礎化学、複合化学、そして、材料化学にわたる化学、機械工学、材料工学、プロセス・化学工学、宇宙工学などの多種の工学、また最近では、医学、農学などの生命科学を基盤学問として分科会組織に取り込み、学問の多様性をはかることで順調な発展を遂げている。ここで注目すべきは、本分科会では、単に、組織に新たな分野を構成学術として取り込み各種の多様な研究課題に取り組むに止まらず、取り込んだ学術自身にも他の構成する学術との良い意味での緊張関係に根ざした“切磋琢磨による向上”、“時代環境に応じた継続的な変革”を促し、分科会としての永続的な発展を長期的な戦略として見据えている点である。このような卓越した戦略を生み、大きく育てる、本分科会の素晴らしい文化、伝統を築かれた歴代そして現在の会員の皆様に感服の念を禁じえない。

この“時代環境に応じた継続的な変革を伴う多様性”による国家や企業などの組織の永続的な発展を語る際に、前述した利根川進博士による“免疫系(抗体)の Diversity (多様性)の発現機構の解明”の研究はたいへん示唆的なものである。博士が生命の本質にかかわる本課題をクリアにされる以前は、生命体の免疫系を司る抗体の多様性の根源に関して、“生殖細胞系列説”と“体細胞変異説”の2つの仮説が語られていた。前者の“生殖細胞系列説”は、生殖細胞から生殖細胞へと受け継がれる遺伝子のセットの中に、もろもろの多様な抗体を作るために必要となる遺伝子が全て含まれているというものである。一方、後者の“体細胞変異説”は、一世代の間に遺伝子の突然の変異や遺伝子情報の再構成が起こるといふ説であり、抗体の膨大な多様性を可能にするためには各々の個体の一生の間に急速な変化を起こすといふものだった。利根川博士は当時の最先端技術であった

分子生物学的手法で免疫学におけるこの大きな課題に取り組み、後者（“体細胞変異説”）の正しさを証明された。“遺伝子は生涯不変”という基本的な考えを否定する真に革新的な発見であった。より大きなスケールの組織（国家、企業など）の発展も、この小さな細胞レベルで起こっている永続的な発展に必要な変異・変革と全く同じものが必須であると再認識させられる。

バーゼルの風景はライン川を挟んで全く異なる。薬品工業などの工業地区であるライン川の右岸と違って変わって、その左岸は、いわゆるスイス銀行と称せられる UBS 本店を始めとする銀行などが並ぶ金融地区となる。その中で、SBB バーゼル駅前のひとときわ目を引く一風変わった建物(写真2)が、第一次世界大戦敗戦国ドイツに対する賠償金の取り扱い機関として設立され、現在は G20 諸国を中心とする中央銀行などで構成されるバーゼル委員会事務局が入る国際決済銀行（BIS：Bank for International Settlements）の本部である。人口 800 万人ほどの小国のさらに 20 万人程度の小さな小さな街に毎月主要国の中央銀行の総裁が集い、世界の経済を決めている事実には驚かされた。駅構内にあった日本料理店にてパリッとした仕立ての良いスーツの日本人達に交じって当時の日銀総裁の故三重野康氏の姿もお見受けした。ここで決まったバーゼル規制により、結果として、貸し渋り・貸し剥がしに伴う、我が日本国の 20 年続く景気低迷（いわゆる日本の失われた 20 年）が始まったと言われている。

我々、プラズマエレクトロニクス分科会は、会員数およそ五百数十名程度の、応用物理学会の中では真ん中ぐらいの規模のソサイエティーであり、さらにグローバルな視点からはたいへん小さな集まりである。しかしながら、分科会として培われ

た良き文化、伝統に根ざした運営上の戦略、そして具体的な戦術をもって、小さいながらも、プラズマ工学、そして、エレクトロニクス、材料、デバイス、ケミカル、バイオなどの各種のプロセス分野の継続的な発展に大きな貢献をする、グローバルスケールでプレゼンスのある集団となることを祈っている。私自身も微力ながらお役にたてれば幸いです。

魅力たっぷりの国境の街から戻って今年で丸 20 年、ライン川にかかるミットレー橋から見たミュンスター(大聖堂)の荘厳な眺めは、今なお私の脳裏に鮮やかに焼き付いている。



写真2 国際決済銀行（B I S）

プラズマバイオ科学技術の発展を目指して

名城大学 理工学部、プラズマバイオ科学技術センター
伊藤 昌文

プラズマのバイオ応用は古くは水のオゾン殺菌などから始まり既に実用化されているものもあるが、近年、非平衡大気圧プラズマの技術的な進歩に伴い、プラズマを熱的に弱い人体などに直接又は間接的に作用させ、医療や農業応用に用いることができることから非常に注目を集めている。

医療分野ではアメリカ、ヨーロッパなどに日本は遅れを取っていたが、プラズマ医療の新学術領域研究が医学関連の研究者も半数以上入る形ではじめられ、今や世界をリードするほどの勢いとなっている。

一方、農学分野においても、殺菌・殺虫だけではなく、その発芽促進や成長促進に効果があることが示され、それらの応用が期待されている。プラズマの農業応用に関しては、韓国でプラズマファーマーミングと称して、韓国の核融合研究所が期限なしの大型国家プロジェクトを始め、2年ほど前から研究を加速した。その他、欧米諸国、日本でも各研究機関で研究が推進されている。しかしながら、国を挙げての研究として大型プロジェクトとしているところは少ない。

これらの研究では効果の実証研究が先行し、それらのほとんどのメカニズムが定量的には解明されていない。特に今後の医療分野での治療応用と同様に、植物などの発芽促進や成長促進への適用においても、プラズマ中のどの因子の効果が高いか個別の効果及び相乗効果を定量的に評価し、それらのメカニズムを理解して制御することがさらに重要となるであろう。さらにこれらの技術を実用的なものとするためには処理した細胞や青果物

や食肉などの安全評価法の確立も重要性が増すと考えられる。

以上の研究の遂行には理工学だけでなく医学、農学、薬学などの研究者との共同研究が必要不可欠である。我々は10年以上前からプラズマによるカビの殺菌の研究をはじめたが、なかなか異分野の研究者との共同研究体制を作ることができなかった。ようやく昨年の2014年4月に、農学部と薬学部の教員の協力を得て、主に農学、薬学分野との融合を目指した学際的なプラズマバイオ科学技術研究センターを設立することができた。

このセンターは大型プロジェクト予算を獲得するための主に組織作りや実績作りを目的とする名城大学内の総合研究所が助成する予算で運営されている。最初の3年間だけは学内から助成があるが、4年目以降は学外からの予算獲得が求められる。昨年ノーベル物理学賞を受賞された赤崎先生代表の窒化物半導体基盤技術研究センターもこのようなセンターとして設立され、現在では大学を代表する別格のセンターとなっている。将来はこのようなセンターに発展するよう努力をしていきたいと考えている。

プラズマバイオ科学技術研究センターの具体的な構成としては、農学部教授3名、薬学部准教授2名、理工学部教員4名の9名が学内メンバーであり、名古屋大学、豊田工業大学、企業数社が学外メンバーとして参画している。

本研究センターでは、バイオ分野で進展が目覚ましい低温プラズマと我々が強みとする活性反応種（ラジカル）のモニタリング技術を駆使し、プ

ラズマとバイオ試料との相互作用を明らかとすることで学問の基礎（サイエンス）を構築することを第一の目標とし、その知見を基にプラズマを農学、薬学などに応用する基盤技術（テクノロジー）の確立することも目的している。この目的は、本センターだけでは実現が難しい大きなものである。そのため、本センターでは、上記学内・学外メンバーはもちろん、国内外の研究者とも力を合わせて、共同研究の推進、国際ワークショップの開催、分野間融合セミナーの開催等などを通して、この分野の研究を盛り上げ、上記目的を達成するために努力していきたいと考えている。

以上のように、プラズマバイオ分野は今後の可

能性に満ちた分野であると考えられるが、今はこれを少しでも学問とする努力が大切な時期に来ている。

最後に繰り返しとなりますが、プラズマバイオ科学技術のさらなる発展を目指して、異分野との融合を实のあるものとし、次世代に繋いでいけるよう努力していく所存ですので、プラズマエレクトロニクス分科会の皆様のご支援・ご指導の程お願いいたします。

センターにご興味のある方は下記のアドレスをご参照いただければ幸いです。

<http://www.meijo-u.ac.jp/research/institute/plasmabio/>

第13回プラズマエレクトロニクス賞

第13回プラズマエレクトロニクス賞について

名古屋大学 豊田 浩孝

本年度の受賞として次の優れた2件の論文を選考しましたので、報告いたします。

受賞論文(1) :

論文名 : High throughput production of nanocomposite SiO_x powders by plasma spray physical vapor deposition for negative electrode of lithium ion batteries

著者名 : Keiichiro Homma, Makoto Kambara, and Toyonobu Yoshida

雑誌名 : Sci. Technol. Adv. Mater. 15, 025006 (2014)

受賞者(現所属) :

本間 啓一郎(本田技研工業)
神原 淳(東京大学)

受賞理由

著者らは、応用分野の拡大が著しいリチウムイオン電池の電極材料のナノ構造化に取り組んだ。オリジナリティーの高い熱プラズマスプレーPVD法を用い、不均化反応を利用した複合構造ナノ粒子の高速形成というプロセス性能と、高電池容量化や充放電サイクル安定性といった電池特性の向上を報告しており、工業的に重要な成果が得られている。学術的にも、熱力学的な背景からプロセス素過程に基づいた成膜速度向上の議論を含め完成度の高い内容となっている。このような基礎的理解から実用的な性能を実証した研究成果は他の材料系への波及効果が期待され、プラズマエレクトロニクス賞を授与するに相応しい論文である。

受賞論文(2) :

論文名 : Effect of open area ratio and pattern structure on fluctuations in critical dimension and Si recess

著者名 : Nobuyuki Kuboi, Tetsuya Tatsumi, Masanaga Fukasawa, Takashi Kinoshita, Jun Komachi, Hisahiro Ansai, and Hiroyuki Miwa

雑誌名 : J. Vac. Sci. Technol. A 31, 061304 (2013)

受賞者(現所属) :

久保井 信行(ソニー(株))
辰巳 哲也(ソニー(株))
深沢 正永(ソニー(株))
木下 隆(ソニー(株))
小町 潤(ソニー(株))
安齋 久浩(ソニー(株))

受賞理由

著者らは、先端CMOSデバイス製造のためのSiエッチングプロセスにおける長年の課題である「パターン変換差」と「下地Siリセス」に対する「ウェハー上のパターン密度(開口率)依存性」に関する研究に取り組んだ。実際にパターンレイアウトを系統的に変化させることで設定したグローバル/セミローカル/ローカルの3つの変動要因を分離可能なパターンを実測し、エッチング反応生成物の挙動でパターン変換差と下地Siリセスを統一的にモデル化した。このようなアプローチはデバイスメーカーにおける研究開発ならではの工夫された手法である。さらにこれらの結果を数値シミュレーションによるパターン変換差と下地Siリセスの予測技術にまで高めた。これらの統合的な知見は次世代のプロセス・装置開発への応用が可能

で、学術的にも工業的にも非常に大きな価値がある。審査では、評価項目とした、独創性、発展性、インパクト、完成度、総合評価の全ての項目において高い評価を得ており、プラズマエレクトロニクス賞に値する。

第13回プラズマエレクトロニクス賞 選考委員会

木下 啓藏（委員長・光電子融合基盤技術研究所）

関根 誠（名古屋大学）

節原 裕一（大阪大学）

朽久保 文嘉（首都大学東京）

永津 雅章（静岡大学）

平松 美根男（名城大学）

毎年、12月25日にプラズマエレクトロニクス賞への応募の締め切りがございます。本分野では、大学および企業から多数の優れたご発表がなされていますので、皆様方の奮ってのご応募を心よりお願い申し上げます。

本賞の応募規約については、分科会のホームページに記載していますので、熟読して戴きますようお願いいたします。詳細な応募要項につきましては、会員メーリングリストによる電子メール並びに応物学会誌に掲載されます。

プラズマエレクトロニクス賞を受賞して

東京大学 本間 啓一郎 神原 淳

この度は、大変栄誉あるプラズマエレクトロニクス賞を賜りましたこと、ご支援頂きました関係者の皆様、選考の諸先生方に心より感謝申し上げます。今回の受賞対象論文「High throughput production of nanocomposite SiOx powders by plasma spray physical vapor deposition for negative electrode of lithium ion batteries」(本間啓一郎, 神原淳, 吉田豊信) [1] に関して、その研究背景と内容の一部を以下に簡単にご紹介させていただきます。

小型携帯用電池として幅広く利用されているリチウムイオン電池は、大型移動体の蓄電システムに向けて、更なる電池容量増加と充放電サイクル効率向上の特性両立が求められています。負極材料に注目すれば、シリコンは現行グラファイトに対して10倍の理想容量を有する有力な材料ですが、充放電時のLi-Si合金化・脱合金化反応で400%近い体積変化を生じるため、Si負極粒子が粉砕し電気伝導パスを失う結果、数サイクルで電池容量が著しく低下する課題が指摘されています。これに対して、150 nm以下のナノ粒子化[2]、多孔体構造による体積膨張が吸収[3]、Siナノ粒子へのCコーティング[4]、Si/SiO₂等コアシェル構造による粒子補強[5]など、活物質Siのナノ複合構造化が有効であることが20年近い研究成果として判明してきました。しかし、産業レベルでの生産を考えた場合、これらナノ複合化技術の多くは多段・低速プロセスでありLiイオン電池の巨大市場の要請に応える低コスト・高スループット技術に止揚するためには、高い技術の壁もあると言わざるを得ない状況にもあります。

ここにプラズマスプレーPVD (PS-PVD) 法に着目すると、原理的に安価な粉末を原料にナ

ノ粒子を高速で製造することが可能であることから電池産業が求める基本的な技術要件を満たします。更に、本手法の根幹となる高温蒸気の共凝縮過程での核生成並びに続く種々反応を巧みに利用すれば、求める複合構造化も期待されます。実際、冶金級金属Si粉末を原料にPS-PVDを行う際にCH₄ガスを同時に添加すると、数nmのカーボンコーティングが施された20~40nm程度のSiナノ複合粒子が連続的に形成され、これを負極材としたリチウムイオン電池は原料そのものの場合と比較して飛躍的なサイクル容量の増加が確認されました [6]。

そこで本論文では、SiOの種々の特徴的な熱特性を利用したナノ複合構造粒子の高速製造を期待してPS-PVDを試みました。アモルファス構造のSiOは1000°C程度の熱処理により不均化反応を生じて結晶Siが析出します。この特徴を本PS-PVDプロセスにて利用すると、SiO蒸気の凝縮に伴うSiOナノ粒子生成後に不均化反応を生じさせることが可能と有り、~20nm程度のSiO粒子中に平均5nm程度の微結晶c-SiをSiOxで含包したコアシェル複合構造を瞬間的かつ自発的に形成することが可能となりました(図1(a))。更に、PS-PVD時にCH₄を同時に添加した場合、1500K以上の高温ではCO生成が優勢となりSiOの還元が促進される高温プロセスの利点の結果、シェル部の厚みが減少して結晶Siの体積分率が増加したコアシェル構造へと変調されました(図1(b))。

これらナノ粒子を負極にLi金属を対局に用いたハーフセルを作製して電池サイクル試験を行いました。結果を図2に示す通り、ナノ粒子に含有されるOが低減される特徴から、Li-O合金化に伴う不可逆容量を低減させることが

可能となり、従来SiO₂負極の課題とされていた初期効率の低さが効果的に改善される様子が確認されました。更に、コアシェル構造が維持されていることから、原料SiO₂のみよりもプラズマ処理することによりサイクル容量が増加する効果も確認され、特に、添加CH₄量がC/Siモル比=0.25の場合では、50回サイクル時に1000 mAh/gを超える容量をクーロン効率約99.5%で安定的に維持することが可能となりました。

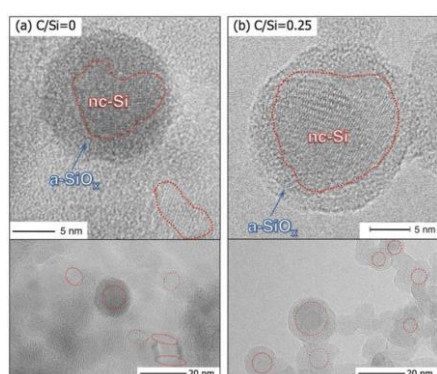


図1 PS-PVD処理を施したSiO₂粉末のHR-TEMの明視野像。(a) CH₄添加無し、(b) CH₄添加有り[1]。

今回使用したハイブリッドプラズマトーチを有する実験室系プラズマスプレー装置では、20 μ m程度のSi原料粉末から20~40nm程度のナノ粒子を、少なくとも400g/h近い速度で製造しうる事が確認されています[6]。一方、SiO₂の場合、その昇華の特徴を反映して、粉体から気相SiO₂生成に要するエネルギーがSiの蒸発に要するエネルギーの半分程度で済むことが期待されます。実際、同一プラズマスプレー条件下においても、165 μ m程度のSiO₂原料粉末から~500g/h程度の高スループットで図1に示すナノ粒子が製造可能である事が実証されました。

以上の通り、原理的に高スループットが期待されるプラズマスプレープロセスにおいて、ナノ粒子化とコアシェル構造化、更に還元促進による電池活物質Siの体積分率増加も同時に達成しうる事が確認されました。その結果として、

リチウムイオン電池の高容量化とサイクル特性の安定性向上を両立する可能性も示されました。これは他手法には無いプラズマプロセスのユニークな特徴であり、更なる負極材料の構造化並びに電池特性向上に向けたプロセスの高度化が期待されます。

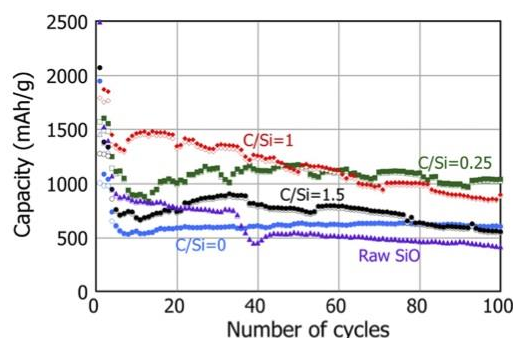


図2 種々CH₄添加量のPS-PVD処理SiO₂粉末を用いたLiコインセルのサイクル特性[1]。

最後になりましたが、この栄誉ある賞を励みに、今後もプラズマエレクトロニクス発展に尽力する所存でおります。どうかご指導ご鞭撻の程、よろしくお願い申し上げます。

参考文献

- [1] K. Homma, M. Kambara, T. Yoshida, *Sci. Technol. Adv. Mater.* 15 (2014) 025006.
- [2] X.H. Liu, L. Zhong, S. Huang, S.S. Mao, T. Zhu, J.Y. Huang, *ACS Nano*, 6 (2012) 1522.
- [3] A. Magasinski, P. Dixon, B. Hetzberg, A. Kvit, J. Ayala, G. Yushin, *Nat. Nanotechnol.* 9 (2010) 353.
- [4] S.H. Ng, J. Wang, D. Wexler, S.Y. Chew, H.K. Liu, *Angew. Chem. Int. Ed.* 45 (2006) 6896.
- [5] J.H. Kim, H.J. Sohn, H. Kim, G. Jeong, W. Choi, *J. Power Sources*, 170 (2007) 456.
- [6] M. Kambara, A. Kitayama, K. Homma, T. Hideshima, M. Kaga, K.Y. Sheem, S. Ishida, T. Yoshida, *J. Appl. Phys.* 115 (2014) 143302.

プラズマエレクトロニクス賞を受賞して

ソニー（株） 久保井 信行

辰巳 哲也、深沢 正永、木下 隆、小町 潤、安斎 久浩

【はじめに】

第 13 回プラズマエレクトロニクス賞を論文「Effect of open area ratio and pattern structure on fluctuations in critical dimension and Si recess」[1]に賜りましたこと、共著者共々、大変光栄に存じます。また、ご推薦・ご選考していただいた先生方に対しまして、心より感謝申し上げます。昨年 2013 年に、同賞を String-slab モデルというソニーオリジナルの計算アルゴリズムおよびそれを用いた SiO_2/Si コンタクトホール の 2 次元形状・ダメージシミュレーションで賜りましたが[2]、それに続く今回の連続受賞ということで、ソニーのプラズマエッチングシミュレーション技術の応用物理としての有用性を高く評価していただいていると認識し、今後も応用物理の発展に少しでも貢献できればと考えております。以下に、本受賞論文の研究背景と内容について紹介させていただきます。

【論文内容説明】

本論文は、開口率やローカルパターン構造がプラズマエッチングによる加工変換差 ΔCD や Si リセスへの影響を予測するシミュレーション技術に関するものです。トランジスタの微細化によって、ゲートの加工変換差および Si リセスのデバイス特性や生産歩留まりへのインパクトは増大し、これらの予測・制御は、半導体製造において、ますます重要となっています。その課題解決のために社内で開発したシミュレーション技術

の一部が、本論文の内容となっております。

これまで、ゲート加工の開口率依存に関しては、エッチングされた反応生成物の再堆積量に着目した Tuda *et al.*(2001)[3]や Tachi *et al.*(1998)[4]による報告がありましたが、本技術では、開口率依存を、cm オーダーのウェハレベルの開口率(Global: R_G)、mm オーダーのチップレベルの開口率(Semi-local: R_S)、さらに、 μm オーダーのローカルパターンレベル(Local: Ω_L)の 3 つのスケールの異なる効果に分け、下記に述べる実測データを用いてそれらを詳細にモデル化しました(図 1)。

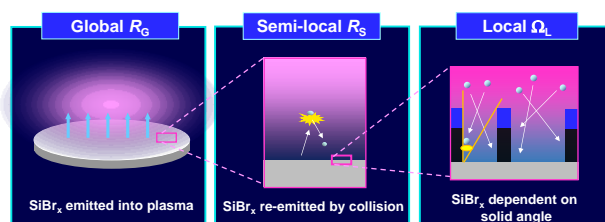


図 1: 開口率依存モデルの概念図[1]

モデル化に際しては、開口率やローカルパターンの異なる複数のウェハを社内で作成(図 2)・CCP エッチング装置を用いて加工し、得られた加工変換差、加工形状、Si リセス深さ、OES データを詳細に解析しました。装置、一連のプロセスを必要とするこのような実験は、半導体メーカーであるソニーならではの検討評価と思っております。

その結果、Global に関しては、 ΔCD はウェハ開口率と正の相関を持ち、Semi-local に関しては、

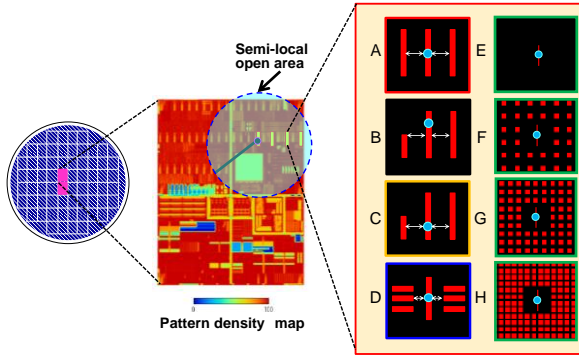


図 2: 作成した実測用サンプルの例[1]

パターン周囲 10 mm 程度内(平均自由行程の数倍)の開口率に依存することがわかりました。さらに、Local に関しては、パターンのライン/スペースではなく、パターンの間口を見込む3次元立体角と正の相関を持つことがわかりました。以上の結果を定式化することで ΔCD は、

$$\Delta CD \propto \Gamma_{SiBr} \propto ER \times (R_G + R_S) \Omega_L$$

という関係があることが新たにわかりました (Γ_{SiBr} は、パターンへ再堆積する反応生成物量、 ER はエッチレート)。この式の意味するところは、これまでは、エッチングプロセス条件の最適化で変換差の制御がなされてきましたが、それだけではなく、ウェハ、チップ、パターンレベルのレイアウト設計の最適化によっても、うまく制御できることを示しています。そのため、この指標を用いることで、これまでよりも、より自由度を有した加工変換差の制御を実現できる可能性があると考えられます。

この反応生成物フラックス Γ_{SiBr} の定式を Si エッチングの表面反応モデルに組み込むことで、実測形状をトレースできる2次元形状シミュレーション技術を開発することができました(図 3)。

さらに、Eriguchi *et al.* (2010)[5]の Si リセスと入射イオンエネルギーの関係式、先ほどの Γ_{SiBr}

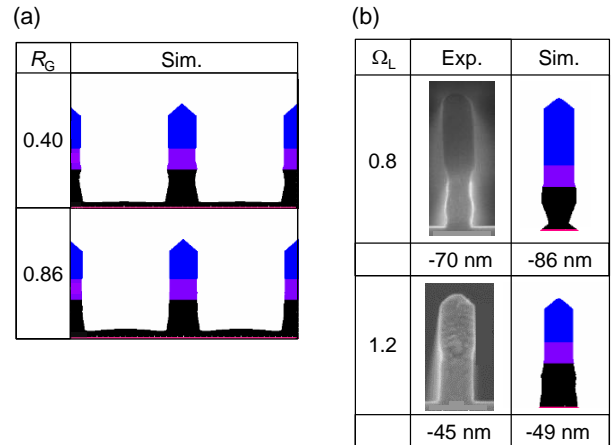


図 3:シミュレーション結果と実測形状[1]

の式によるイオンエネルギーの減衰効果、形状シミュレーションで得られる ER を結びつけることで、Si 基板に形成される Si リセス深さ d_R を定式化しました(γ の項に、 ER が含まれている)。

$$d_R(t) \sim \alpha \sqrt{\beta - \gamma \times (R_G + R_S) \Omega_L + \delta}$$

変換差と同様に、同じ指標で Si リセス深さを表現することができるわかりました。実測結果と比較したところ(図 4)、実測の Si リセス深さ d_R を再現できていることがわかります。

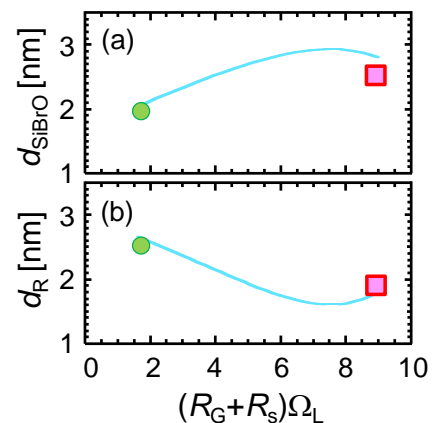


図 4:(a)反応生成物量と(b)Si リセス深さ[1]
(実線が計算結果、マークが実測値)

以上示してきたように、我々の開発したシミュ

レーション技術から、 $ER \times (R_G + R_S) \Omega_L$ を指標としたエッチングの新しい予測・制御のあり方を提案することができました。

【今後】

今後は、本技術がより実用的に、EES (Equipment Engineering System) といった、加工装置内のモニタリング・制御応用に進展していくことを期待しています。また、提案した $ER \times (R_G + R_S) \Omega_L$ の指標の中で、 Ω_L は、3次元空間としてのパラメータですので、3次元形状シミュレーションと接続することで、より予測精度をあげていく必要があると考えています。2014年のAVS[6]とDPS[7]では、新しい概念を導入したVoxelモデルを考案し、ソニー独自の表面反応モデル[8]と接続した3次元形状・ダメージシミュレーション技術を開発し、そのモデル内容とMOSFETとFinFETのサイドウォール加工に関するシミュレーション結果を発表しました(図5)(図6)。

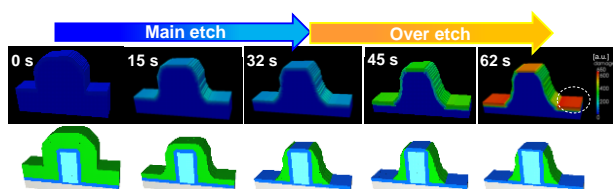


図5: MOSFET シミュレーション結果[6][7]
(上段:ダメージ分布、下段:形状)

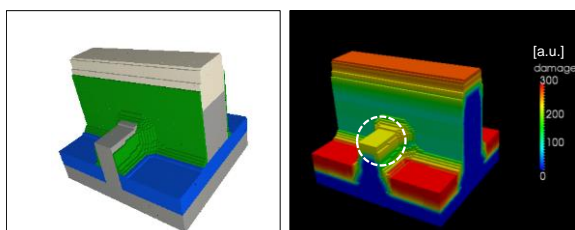


図6: FinFET シミュレーション結果[6][7]
(左:形状、右:ダメージ分布)

先端のMOSFETやFinFETの計算も可能な技術ですので、これに、今回の新しい指標知見を導入し、デバイス試作開発さらには生産応用に活用できる加工特性変動予測・制御という技術のブレークスルー達成をめざし、引き続き、応用物理に貢献していければと考えております。

【おわりに】

2014年は、本分科会の幹事として、プラズマエレクトロニクス講習会、懇親会で活動をさせていただきました。2015年度も引き続き、よろしくお願いいたします。

【謝辞】

ソニーセミコンダクタ(株)の佐藤・伊勢田両氏には、実測データ取得に関して、大変お世話になりました。紙面を借りて、深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] N. Kuboi et al; J. Vac. Sci. Technol. A31 (2013) 061304.
- [2] N. Kuboi et al; Appl. Phys. Express 5 (2012) 126201.
- [3] M. Tuda et al; Appl. Phys. Lett. 79 (2001) 2535.
- [4] S. Tachi et al; J. Vac. Sci. Technol. A16 (1998) 250
- [5] K. Eriguchi et al; Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 08JC02
- [6] N. Kuboi et al; AVS2014 PS2 ThM4.
- [7] N. Kuboi et al; DPS2014 C-4.
- [8] N. Kuboi et al; Appl. Phys. Express 5 (2012) 126201.

研究室紹介

金沢大学 理工研究域

環境電力工学研究室 上杉喜彦、田中康規

サステナブルエネルギー研究センター・エネルギー環境材料部門 石島達夫

1. はじめに

金沢大学の環境電力工学研究室は、2000年4月に学科改組とともに改名・発足しました。現時点では、学部は理工研究域電子情報学類、大学院は自然科学研究科電子情報科学専攻に属しています。環境電力工学研究室では、「ハイパワー」・「環境」・「核融合プラズマ」・「熱プラズマ」・「プラズマ-固体相互作用」・「非平衡」をキーワードに研究を行っています。この技術により、「材料」、「エネルギー」、「環境」への貢献を目指しています。

環境電力工学研究室は、平成23年4月に理工研究域に附属する形で発足したサステナブルエネルギー研究センター（Research center for Sustainable Energy and Technology：略称RSET）の一員となりました。RSETは、1)有機薄膜太陽電池部門、2)自然エネルギー活用部門、3)炭素循環技術部門、4)エネルギー・環境材料部門、5)バイオマス利用部門の5部門から構成され、専任教員5名、兼任教員13名、協力教員22名の総勢40名の研究集団でスタートしました[1]。なおRSET設立に尽力された初代RSET運営会議長の山崎光悦氏は、2014年4月より学長に就任されています。

RSETは「地産地消対応型エネルギーに関わる研究開発により、グリーンイノベーションの核となる研究拠点の形成」を目標としています。実現に向けて、5つの部門がそれぞれ独自に研究活動を活発に進めるだけでなく、公開シンポジウム、市民セミナー、アドバイザーボード会合等々、毎年多数行われる様々な交流の機会を通し、共同

研究の可能性について、相互に話題提供や情報交換を継続的に行う中で、共同研究へと発展するテーマも出てきています。

環境電力工学研究室は、RSETのエネルギー・環境材料部門に属しています。本部門は、高エネルギー密度プラズマと材料界面に形成される「重相構造プラズマ」の制御手法の開発を目標に、プラズマ工学、機能性材料工学、半導体デバイス工学、ナノ粒子制御プロセス工学を専門とする4つのグループから構成されています。ここで「重相構造プラズマ」とは固体・液体・気体・プラズマの四相が時間的・空間的に近接して存在する状態を概念として捉えたものです[2]。極めて高い反応場である重相構造プラズマの基礎現象を解明し、エネルギー・環境・材料分野における応用を目標としています。本部門は九州大学極限プラズマ研究連携センターが主導する非平衡極限プラズマ全国共同連携ネットワークに参画し、国内拠点形成を目指した活動にも取り組んでいます。

本研究室の構成を述べます。教員は、上杉喜彦教授、田中康規教授と石島達夫准教授の3名です。



図1: 卒業生も交えた集合写真

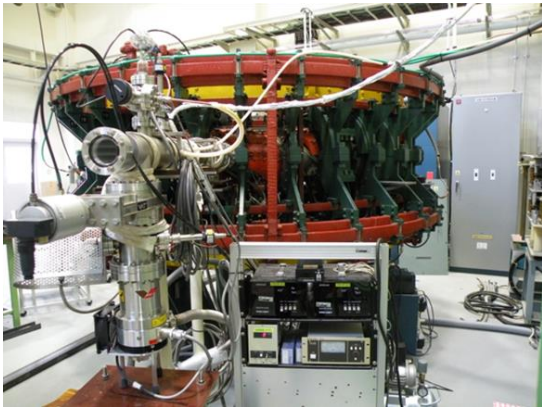


図 2: 核融合プラズマ実験装置
Heliotron-DR

2011年11月にはRSET エネルギー・環境材料部門の専任教員として石島准教授が着任し、環境電力工学研究室の一員となりました。上杉教授はRSET 部門長、田中教授はRSET 兼任教員として参画しています。2015年5月時点で本研究室には、研究員1名、博士後期課程5名、博士前期課程15名、学部4年生11名が所属しています。研究室の卒業生も交えた懇親会は年に2回程度、賑やかに行われます(図1)。大所帯の本研究室では、核融合プラズマ(図2)、高気圧高熱流熱プラズマ、非平衡プラズマのそれぞれに関して基礎から先端的应用まで、広い温度領域のプラズマが関与する研究分野を取り扱ってわたるため、相互の研究内容に対する理解を深めつつ切磋琢磨し合いながら研究活動を行っています。

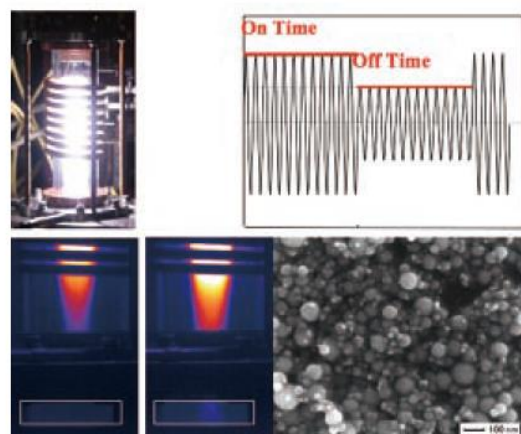
2. 最近の主な研究内容

先に述べたように、本研究室で研究対象としているプラズマは、密度・温度領域幅広いことが特徴です。特に、固相・気相・プラズマの3相が関与する反応場を用いる従来のプラズマプロセスに対して、液体を加え、固体・液体・気体・プラズマと4相が時間的・空間的に近接し相互に影響を及ぼし作用する重相構造のプラズマに注目してい

ます。ガス温度の領域は異なりますが、熱プラズマを用いたナノ粒子の大量生成技術[3], 厚い金属鋼板を高速切断するアークプラズマジェット技術[4], 核融合実験炉内に生成される高温プラズマが接触する壁近傍などにおいて重相構造が現れると考えられます。極めて複雑な反応場であるがゆえに、様々な産業応用分野におけるグリーンイノベーション技術の創出につながる可能性があるとも捉えることができ、学術的にも新しい領域を拓く可能性がある可能性に魅せられるものがあると感じています。それぞれのテーマにおける最近の研究について以下に述べます。

(1) 変調熱プラズマによるナノ粒子の大量高効率生成

近年、ナノ粒子の応用領域の拡大に伴い、粒子の品質向上や高効率・低コストの製造法が重要になっています。ナノ粒子を作製するプラズマプロセスの一つに、熱プラズマを用いる方法があります。プラズマの高温・大熱容量によって原料を完全蒸発させ、急冷却してナノ粒子を得るという方法です。本研究室では超高密度変調型熱プラズマ



パルス変調誘導熱プラズマによる
機能的ナノ粒子の高速生成

図 3

によるナノ粒子の高速・大量生成技術の開発を進めています。本研究で用いる高周波誘導熱プラズマは、無電極で熱プラズマ空間を作り出すため、アーク放電によるプラズマのように電極物質が不純物となるリスクを回避でき、クリーンなプラズマ媒体を形成します。媒体種（不活性雰囲気・酸化雰囲気・還元雰囲気）の依存性もなく、原料生成プロセスにおいて非常に有利です。超高密度変調型熱プラズマは、本学が開発した独自技術です。コイル電流の振幅を変調させて熱プラズマの高温状態と低温状態を高速で繰り返すことにより、ナノ粒子の粒径の制御や粒度分布の制御が可能です。図3にパルス変調誘導熱プラズマの生成装置の概観写真、変調コイル波形、生成した酸化チタンナノ粒子の走査型電子顕微鏡の写真を示します。コイル変調によりトーチ型の熱プラズマの伸長量に変化させることが可能です。さらに原料を電力変調に同期させる技術により、生成速度・生成効率は従来の約20倍というナノ粒子の高効率・大量生産が可能となりました。

(2) ポリマー溶発を用いた大電流直流アーク遮断技術

再生可能エネルギーの効率活用やスマートグリッドに向け、直流送電の研究が活発に行われています。信頼性の高い直流送電システムには、直流大電流の遮断技術が不可欠です。電力用遮断器は、異常電流から電力システムを保護するための電力回路のスイッチ素子です。事故時、大電流が発生すると、スイッチ素子を開放しても、素子の電極間に生じるアーク放電を介して電流が流れ続けます。遮断器は、このプラズマを消す機能を備えています。本研究室では、ポリマーアブレーションによる大電流直流アーク遮断技術に取り組んでいます。ポリマー材料をプラズマに接触させて高速溶発を誘発し、プラズマを消滅させる技術です。また、

現在、電力遮断に主に用いられている六フッ化硫黄は二酸化炭素の23900倍もの温室効果を有するガスであり、環境問題の観点からもポリマーアブレーションは有望です。

ポリマー溶発現象を解明すべく、ポリマーアブレーションがプラズマに与える影響を基礎実験と数値解析手法から検討しています。ナイロン66、ポリアセタール樹脂、テフロンと比較において、ポリアセタールを使用した場合に最もアーク電圧が高くなるという知見を得ました。

(3) 内燃機関の燃焼促進のための非平衡大気圧プラズマ支援技術

非平衡プラズマは、放電で生成される活性種を利用して、環境汚染物質除去、オゾン生成、表面加工、燃焼支援、バイオ技術など多分野で応用されています。内燃機関分野では燃費の向上や高効率燃焼技術が希求されています。本研究室では燃焼場にプラズマを重畳させて燃焼反応を促進・制御するプラズマ支援燃焼に関する研究を行っています。高エネルギー電子と反応場のガス分子との衝突による解離や励起により、燃焼場(3000 K以下)において反応性化学種の密度を増加させます。燃料ガスにバリア放電を印加して燃焼活性種(CH、C、OH)を増加させ、着火を促進させる

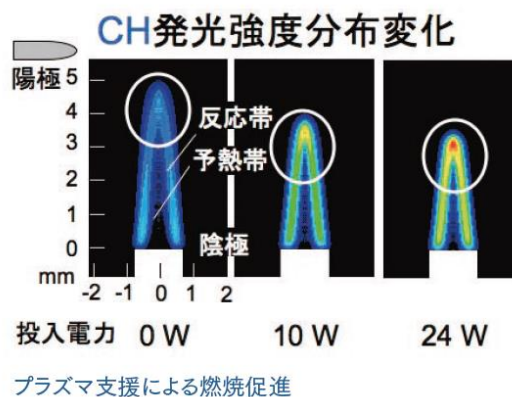
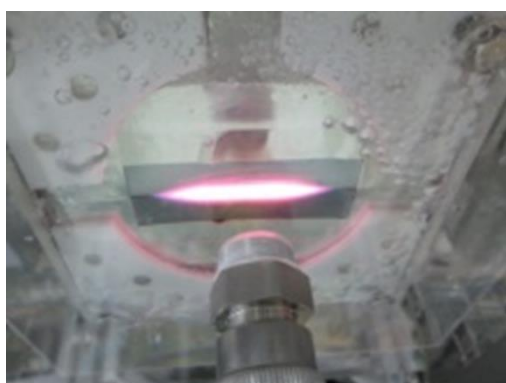


図4

技術に取り組んでいます。図4にプラズマにより生成した燃焼場におけるCH発光強度の投入電力依存性を示します。実験では、放電印加により燃焼速度が約1.4倍向上することを確認しました。

(4) 新規プラズマ源としてのマイクロ波励起液中プラズマ生成法の開発と応用

近年、このような非熱平衡プラズマを液中または液表面から作用させ、溶液との化学反応を低温で促進させるプロセスへと応用することを目指した研究が様々な分野で行われています[5, 6]。これは、新規のプラズマ生成法が発展してきたことに加えて、液体を用いる工業プロセスの適用分野の多様性とその波及効果の拡がり期待されます。例えば、水が関与する液体-プラズマ相互作用においては、強い酸化力を有するOHラジカルの生成とその高い反応性による相互作用を期待できます。しかし、OHラジカルは、大気中の寿命が極めて短く、ラジカル生成領域と作用領域を近接させる必要があります。こうした活性種の有効利用という観点から、液体中でプラズマを発生させるプロセス、液中プラズマへの注目が高まっています。本研究室では、液中気泡内にプラズマを発生させるマイクロ波励起液中プラズマ源の開発を進めて



マイクロ波励起液中気泡内プラズマの生成の様子 図5

います。マイクロ波で液体を加熱して気泡を発生させ、さらにマイクロ波の電界によってプラズマを生成させる技術です。多くの従来型の液中プラズマは、液体中に設置した電極に直流や交流の高電圧を印加して発生させます。プラズマ生成のために印加される高電圧は電極への高エネルギーイオンの衝突をもたらします。電極ダメージ抑制のため、液体の導電率を高くし電流加熱による気泡生成を利用し、絶縁破壊電圧を下げる工夫がなされています。一方、マイクロ波励起のプラズマ生成法は、液体中に存在する水などの極性分子の加熱による気泡生成ができるため、液体の導電率が小さい超純水を原料とするプラズマ生成も容易に実現できます。マイクロ波による電磁界を放射させるためにスロットアンテナを用いることにより、扁平なプラズマを生成することができます(図5)。半導体製造プロセス工程の1つであるレジスト除去への適用に向けた研究開発を進めています。[2]

3. おわりに

環境電力工学研究室&サステナブルエネルギー研究センターのエネルギー・環境材料部門は、同じプラズマでも温度領域が全く異なる多彩な研究を共同して進めていることが特徴です。プラズマ中では様々な原子や分子が励起状態として存在し全体として高い反応性があるように、環境電力工学研究室を中心に、個々のメンバーが内部エネルギーを常日頃から高くすることを志向し、全体として高い活性が維持される環境となるように日々尽力しているように感じています。この場をお借りして、環境電力工学研究室の皆さん、さらに、過去から現在にわたり研究推進に様々な形で協力して頂いている内外の共同・連携研究者の皆さん全員に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 高橋光信、他、H23 年度 RSET 研究活動報告 (2011), p.1.
- [2] 石島達夫、ケミカルエンジニアリング 12 (2013)pp. 47-53.
- [3] Y. Tanaka, T. Tsuke, W. Guo, Y. Uesugi, T. Ishijima, S. Watanabe, K. Nakamura, J. Phys. Conf. Ser. 406 (2012) 012001.
- [4] 山口義博, 片田優介, 伊藤 毅, 上杉喜彦, 田中康規, 石島達夫, 溶接学会論文集, 第 31 卷 第 3 号 (2013) pp.193-200.
- [5] プラズマによる水処理・水高機能化と水界面における反応過程調査専門委員会, 電気学会技術報告 1224 (2011) pp.1-122.
- [6] 白藤 立, 齋藤永広, 高井 治, 柄久保文嘉, 安岡康一, 金子俊郎, 石島達夫, 高橋憲司, 竹内希, 白井直樹, 表面科学 34 (2013) pp.547-552.

研究紹介



高電圧・プラズマの農水利用

高木浩一（岩手大学）



1. はじめに

電磁場や放電プラズマが動植物に及ぼす影響については科学技術が発達する以前から経験的に知られている。例えば 1746 年には Mainbray がモモ科の低木に電流を流し、成長の促進や、開花が早まることを報告しており、また 1748 年には Nellet が帯電した電極上に植物を置き、発芽や生育が早まることを報告している [1,2]。近年では、系統的に調べた報告もなされており [3,4]、すでに技術が確立している電気泳動や細胞融合による品種改良や電気穿孔法 DNA 注入 [5]、農薬の静電散布 [6-8] などに加え、植物種子の発芽や生長促進 [9,10]、担子菌（きのこなど）での子実体形成促進 [11]、液肥や固定培地の雑菌不活性化 [12]、長期鮮度保持 [13,14] の研究が進められている。本記事では、高電圧・プラズマの農水系応用として、水中放電による植物の生育促進、電気刺激によるキノコの収量改善、青果物や魚介類の鮮度保持について述べる。

2. プラズマ照射による発芽制御

電気刺激に対する植物の反応は、1) 電流の方向と無関係に植物固有の運動をする傾電性、2) 電流に対して一定方向に屈曲が起こる屈電性や、3) 電界や荷電粒子により発芽時期や生育速度が変わるなどがある [2]。

一例として、図 1 に、水を含ませた脱脂綿上のカイワレ大根（アブラナ科）種子に、数秒程度放電印加による刺激を行い、1 日放置した後の発芽の様子を、刺激なしのものと比較したものを示す。

電気刺激により、発芽が早まっている様子が写真からもわかる。図 2 に、シロイヌナズナ（アブラナ科）種子に対するパルス放電印加による発芽率の変化を示す [15]。電極間隔を 2 mm として 5 kV で充電したケーブルで放電を生成し、空気雰囲気湿度状態で 12、28、60 分処理したときの栽培時間と発芽率を調べている。ここで control は放電処理をしていない種子を示している。75 時間の結果を見ると、control に比べて放電時間 12 分の発芽率は高く、放電時間 28 分の発芽率は低くなっている。また、放電時間 60 分では種子が発芽することはなかった。このことから、植物種子に

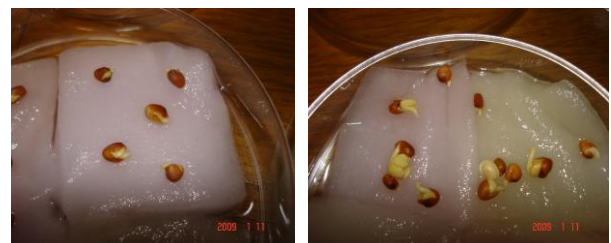


図 1 電気刺激の有無によるカイワレ大根の発芽の比較（左：プラズマ照射なし、右：あり）

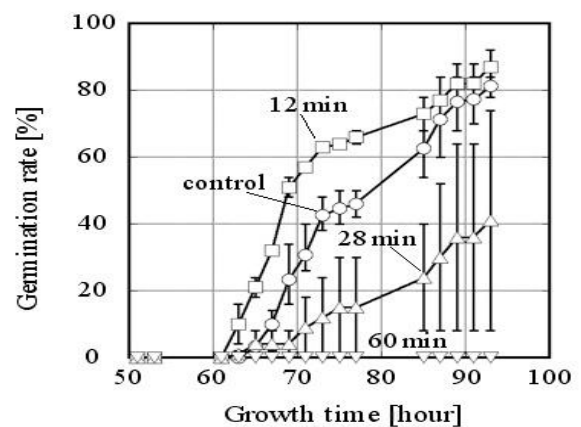


図 2 パルス放電処理時間を変化させたときの栽培時間と発芽率の関係 [15]

放電を適度な時間曝露すれば発芽は促進され、放電を過度な時間曝露すれば発芽は抑制されることがわかる。これらの効果は、グラジオラスなど、多くの種類での報告がある[16]。メカニズムとしては、雰囲気ガスを変えると効果に大きな開きが出ることから、放電で生じた硝酸系イオン(NO_2^- , NO_3^-)や活性酸素種により植物性ホルモンであるアブシジン酸の分解や、細胞内での転写の活性化誘導され、発芽が促進されると考えられる[17]。

3. 植物の生育速度の制御

植物の成長促進へのパルスパワーおよび放電プラズマの利用は、1)植物生育場の大気環境改善、2)土壌や液肥などの培地の環境改善、3)植物への直接による活性化に分けられる。パルスパワーおよび放電プラズマの効果として、培地やハウス内の病原菌や成長阻害菌の不活性化や、植物そのものに作用して成長速度を変えるものがある。成長阻害菌や植物に作用するものも、電界や電流、高電圧によって生じたイオン(O_2^- , NO_2^- , NO_3^- など)や化学的活性な粒子(OH , O , N , O_3 , H_2O_2 など)などがある[2]。

植物が伸びている環境に高電圧を印加すると、植物の先端などにコロナ放電が発生し、電流が流れる。これらは電流の大きさによって、植物の成長に異なる影響を与える。一般に、 $10\ \mu\text{A}$ 以上では植物体および葉の破壊が起こる。 $10\ \text{nA}\sim 1\ \mu\text{A}$ では、イオンによる乾燥等の影響で、葉の障害や生育の抑制などの負の効果が表れる。 $10^{-15}\ \text{A}\sim 1\ \text{nA}$ では、成長促進や青果物の収量増加などの正の効果が表れ、 $10^{-16}\ \text{A}$ 以下では効果は表れない[1]。日本でも、澁澤らによって1920年頃、トウモロコシ、ソバ、えんどう、小麦、ごぼう、大豆、ネギ、大根などに、 $21\ \text{kV}$ の交流電圧を、植物の先端から $25\ \text{cm}$ 離して、1日4時間程度印加して、1~8割程度の増収を報告している[18]。電気栽培

に関する様々な試みがなされ、適度な電界で成長が促進されることなどが報告されている。白らは、トマトの成長点付近に、 $+18\ \text{kV}$ の直流高電圧を印加し、イオン濃度を $14\times 10^6\ \text{cm}^{-3}$ とすることで、比較区の収量 $49\ \text{kg}$ に対して、 $139.4\ \text{kg}$ と、 285% の増収となることを報告している[19]。

液肥や土壌などの培地にプラズマを照射することで、イオン(O_2^- , NO_2^- , NO_3^- など)や化学的活性種(OH , O , N , O_3 , H_2O_2 など)が発生し、培地に入りこむ。これらの一部は、植物の生育を促進または抑制する働きがある。一例として、図3に、コマツナの栽培のために循環させる水(蒸留水)に、磁気圧縮型のパルス電源を用いて、毎日10もしくは20分ほど水中プラズマを発生させ、コマツナの生育を比較したものを示す[10]。栽培期間は28日である。栽培は赤玉土壌で行い、肥料は鶏糞である。図より、水中放電により、生育が促進されていることがわかる。28日間の栽培後収の乾燥重量を比較した結果、比較区の $0.011\ \text{g}$ に対して、10および20分間のプラズマ照射で、それぞれ 0.044 および $0.076\ \text{g}$ となる。これらは比較区の3.9および6.6倍の収量増加に相当する。放電で水中に発生する硝酸イオンは、10および20分間の照射に対して 0.65 および $1.6\ \text{ppm}$ であった。

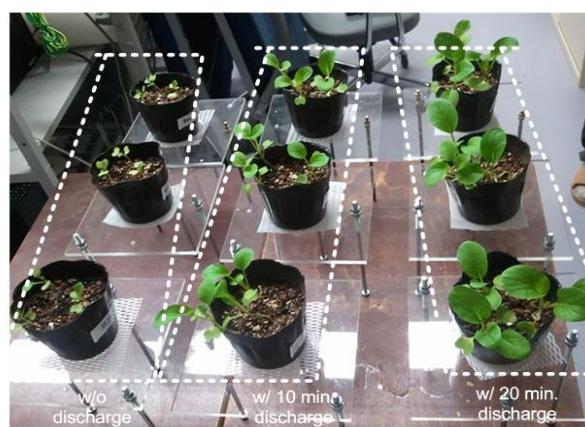


図3 プラズマ照射時間を変えた時のコマツナの生長の変化(左から、照射なし、10分照射、20分照射)[10]

図4に、コマツナを28日間栽培した後の葉の葉緑素の窒素濃度を、葉緑素の色素計を用いてSPAD (Soil and Plant Analyzer Development) 値として評価したものを示す。葉に含まれる窒素量は、プラズマ照射により増加する様子が確認できる。硝酸イオンは、一般に窒素系肥料として、植物の根より吸収される。吸収された窒素イオンは葉まで移動して葉緑素の働きを強め、その結果、光合成が活発になり、生育が促進されることがわかる。図5に、硝酸イオンを放電で発生する量と等量の濃度で水に混ぜ込み、プラズマを印加したものと同様に栽培したときの成長の様子を示す。プラズマにより生成される硝酸イオンと等量の硝酸を与えることで、成長が、プラズマ照射時とほぼ等しくなる。このことより、プラズマで生成された硝酸イオンが成長促進に寄与したことがわかる。またプラズマを印加することで、水中の一般

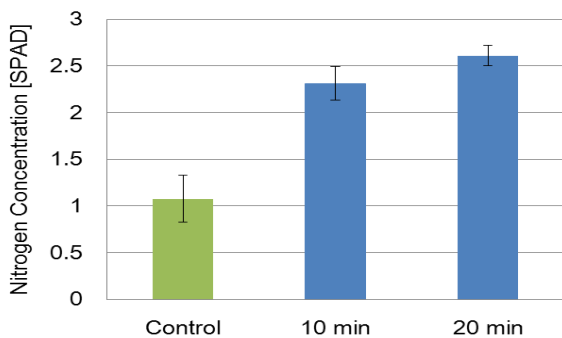


図4 プラズマ照射時間を変えた時のコマツナの葉緑素中の窒素含有量の変化[10]

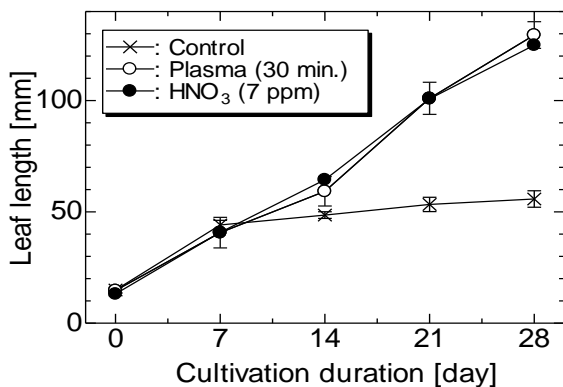


図5 硝酸を添加時のコマツナの生長の時間変化[10]

生菌数も、対数値で 5.72 CFU/mL から、1.85 CFU/mL と大きく減少した。これは植物の病気のリスクを軽減することにつながる。

4. 担子菌の子実体形成；キノコ生産性向上

きのこの増産に高電圧を用いる技術開発も、古くから研究開発が行われている。図6に、電圧印加前後の、きのこ菌糸の変化の様子を示す。菌糸に電界が加わると、菌糸の内部が負電位を持つためクーロン力や、誘電分極等による力がかかる。このため、菌糸が動き、その一部は木の繊維との間のせん断応力等により、断裂など損傷を受ける(矢印部)。これらはキノコへの刺激として働き、膜状菌糸やキノコ原基の形成などを引き起こす。このメカニズムについては、菌糸が分泌する疎水性たんぱく質(ハイドロホビン)の、ポリメラーゼ連鎖反応(PCR)を用いた解析などで確認できる[11]。

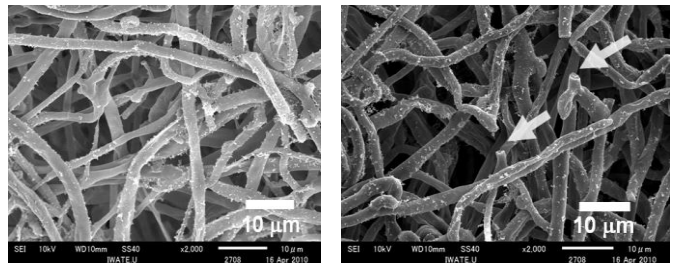


図6 電圧印加前後の菌糸の電子顕微鏡写真[11] (左：高電圧印加なし，右：あり)

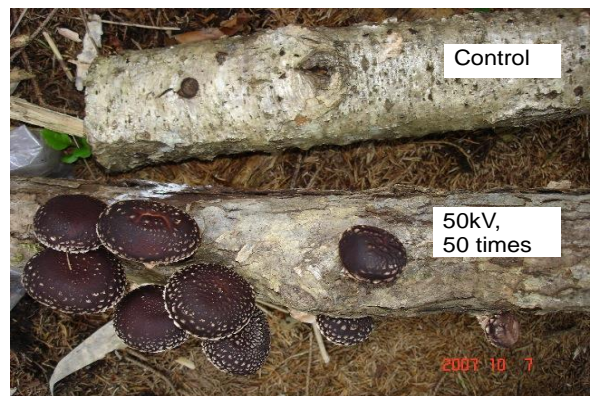


図7 電気刺激の有無によるシイタケ生育の比較 (上：高電圧印加なし，下：あり)

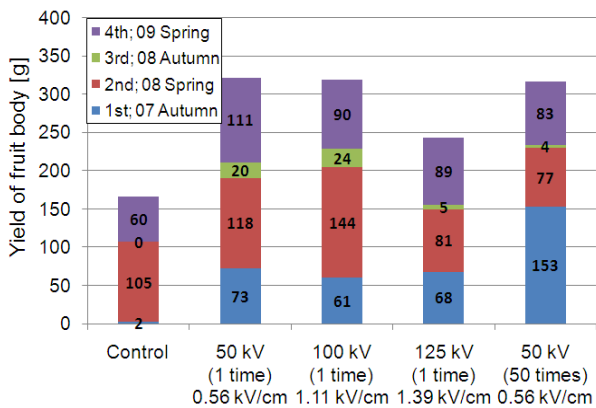


図8 印加電圧条件によるシイタケ収量の変化

キノコ菌糸が十分に成長したホダ木や菌床（おが粉を固めたもの）にパルス電圧を印加することで、上記のメカニズムで子実体（キノコのかさ）形成を促進できる。図7に、シイタケのホダ木にパルス高電圧を加え、子実体形成の違いを観察した結果を示す。写真より、電気刺激を施したホダ木に、数多くのシイタケが確認できる。図8に、ホダ木一本当たりのシイタケの収穫量の比較を示す。ホダ木は長さ90 cmであり、ホダ木の木口面に釘を約7 cm打ち込み、一方をパルス電源の出力に接続して、一方を接地した。パルス電圧の印加条件は、電圧印加なし（図中 control と表示）、50, 90, 125 kV×1回, 50 kV×50回印加とした。縦軸は各条件におけるホダ木一本あたりの収穫量を表し、4シーズン分の収量の合計である。全体をみると50 kV×50回印加条件において最も収穫量が多く、印加なしの条件の約1.9倍となる。電圧印加の条件中では125 kVで収穫量が最も少なく、電気刺激に適した電圧の大きさがあることがわかる。

図9に、4シーズン目の子実体収穫の時間変化を示す。0日は収穫開始日を示す。縦軸は、図8に示す4シーズン目の総収量を100%として、各日数における収量の総収量に対する割合になる。4シーズン目の総収量は、印加なし、50, 100, 125 kVの条件でホダ木1本当たり60, 111, 90, 89gで

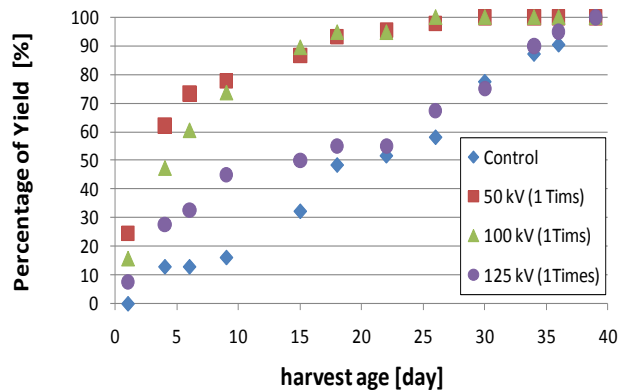


図9 印加電圧条件による総収量の時間変化

ある。図より、50 kVおよび100 kVの電圧を印加したホダ木は、電圧を印加しないものより早い時期で多くの割合を収穫できていることがわかる。15日目の収穫は、controlで50%に対して50 kV印加では86%となっている。その他、ナメコ、クリタケ、タモギダケ、マンネンタケ、はたけシメジなど、いろんなキノコで効果がみられること、浸水刺激など別の刺激との組み合わせで、さらに大きな効果が得られることなども、明らかになっている[20]。

5. 高電圧を用いた鮮度保持

青果物や食品を長時間放置すると、腐敗細菌、真菌、酵母など微生物によって、有機物が分解される、腐敗が起こる。このため、青果物や食品の鮮度を長時間にわたり保つためには、腐敗菌の不活性化および殺菌が必要になる。一般的な保存法に、冷蔵・冷凍保存や、凍結乾燥（レトルト処理）、煮沸殺菌、薬剤殺菌、燻製・発酵処理などがある。高電圧を用いた腐敗菌の不活性化や殺菌の場合、一般には、パルス高電界により、腐食菌の細胞膜に穴をあける（電気穿孔法）などを利用する。例えば、果汁など液状食品では、数十 kV/cmの電界を、パルス幅は数十～数百μsのパルス幅で、数千Hzの繰り返し周波数で印加することで、一般生菌数は減少する[21]。これらは、加熱など他の手



図 10 電場の有無によるいちごの保存状態の差異

法との併用で、格段に殺菌効果が高まる（ハードル効果）。

食品加工時のみではなく、一般生鮮食品の冷蔵保存時でも、交流電場による鮮度保持技術が用いられている。図 10 に、いちごの保存状態を交流電場の有無で比較した結果を示す。保存温度は、電場なしは 5℃，ありは 9℃である。実験では、交流 50Hz, 10kV 出力のトランスを組んでいる市販品の保存庫（氷感庫；(株)フィールテクノロジー）を用いた。図より、電場なしのいちごは、5日後よりカビが発生し、写真のように 10 日後だと、かなりカビが広がっている。交流電場ありでは、カビの発生は確認できない[22]。

電場を用いた鮮度保持は動物細胞に対しても適用が可能である。図 11 に、ウニのチルド保存（-2℃）時における電場の有無で比較したものである[14]。電場なしでは腐食に伴い生じるドロップが見られる。官能評価を行ったところ、平均して 0.5 ポイントほど、電圧印加時のものが高くなる。



図 11 電場の有無によるウニの保存状態の差異（保存期間：7日間，左：電場あり，右：なし）

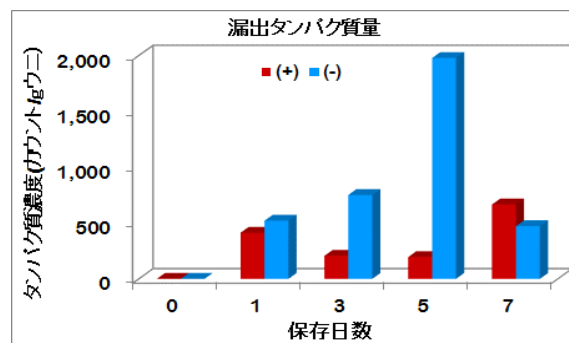


図 12 ウニの保存期間とドロップタンパク量の変化（+：電場あり，-：なし）

またウニの細胞膜からの漏えいタンパク量を、電場の有無で比較したものを図 12 に示す。漏えいタンパク量は、紫外線吸収により測定した。図より、電圧を印加することで漏えいタンパク量が減少している様子がわかる。詳しいメカニズムは、まだ明らかにされていないが、細胞膜のタンパク質の二次構造の変化、LDH 酵素活性計測を通して、メカニズムの解明が進められている。

6. パルス電界によるポリフェノール抽出

パルス電圧は、食品加工時の果汁抽出効率の改善や、抽出時の成分制御にも利用される[23]。一例として、ワイン醸造過程を模擬してブドウ表皮にパルス電界をかけた場合のポリフェノール抽出量の変化を図 13 に示す。印加電圧は 10, 20kV であり、電極間隔は 1cm, ブドウ品種は山梨県産の巨峰である[23]。総投入エネルギーを 5kJ 一定と

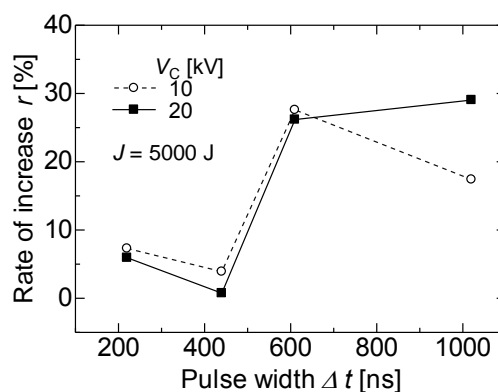


図 13 パルス幅とブドウ表皮からのポリフェノール抽出量の増加率との関係

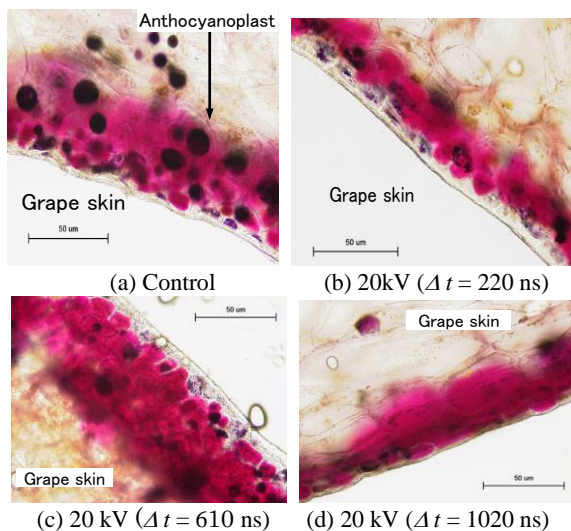


図 14 印加電圧のパルス幅とブドウ表皮細胞の状態変化の様子

して、パルス幅を変化させた。パルスの繰り返しは 20 pps (pulses per second) としている。いずれの印加電圧においても、ポリフェノールの抽出量は増加しており、同じエネルギーの場合、パルス幅を増加させることで抽出量を増やせることがわかる。図 14 に、各パルス幅におけるブドウ表皮の細胞内写真を示す。電圧印加で細胞内のポリフェノールを含む色素が外へ流出し、その割合はパルス幅の増加に対して増えていることが確認できる。メカニズムは電気穿孔が主となる。

7. おわりに

農業・水産分野への高電圧・プラズマの利用として、植物の発芽・成長への直接刺激による制御、植物の生育を取り巻く環境制御による生育改善、また得られた農産物や水産物の鮮度保持についてまとめた。各応用とも、多くの研究報告がなされており、また近年の半導体素子技術の進歩から、電源もコンパクトになり、適用事例も増えている。データは蓄積されているが、バイオメカニズムに対するパルス電界の関わりについては、不明な点が多い。今後、分野を超えた連携により、メカニズムの解明が望まれる。

参考文献

- [1] L.E. Murr; Nature, 207 (1969), 1177.
- [2] 重光司; プラズマ・核融合学会誌, 75 (1999), 659.
- [3] 高木浩一; 電学論 A, 130 (2010), 963.
- [4] 岩元睦夫他; “生物・環境産業のための非熱プロセス事典”, (サイエンスフォーラム, 1997)
- [5] U. Zimmerman; Biochemica et Biophysica Acta, 64 (1982), 227.
- [6] 内野敏剛; プラズマ・核融合学会誌, 75 (1999), 678.
- [7] 浅野和俊; 静電学誌, 8 (1984), 182.
- [8] S.E. Law; J. Electrostatics, 25 (2001), 25.
- [9] C. Eing et al; IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.16 (2009), 1322.
- [10] K. Takaki et al; J. Phys. Conf. Series, 418 (2013), 012140.
- [11] K. Takaki et al; Microorganisms, 2 (2014), 58.
- [12] 大嶋孝之 他; 静電学誌, 30 (2006), 236.
- [13] 植村邦彦; 静電学誌, 31 (2007), 57.
- [14] T. Ito et al; J. Adv. Oxid. Technol. 17 (2014), 249.
- [15] 神子沢隆志 他; 電気学会パルスパワー研究会資料, PPT-09-31 (2009), 53.
- [16] 猪原哲 他; 電学論 A, 133 (2013), 64.
- [17] 林信哉, 米須章; 電学誌, 132 (2012), 702.
- [18] 白希堯 他; 静電学誌, 8 (1984), 339.
- [19] 澁澤元治 他; 植物の生長に対する電気の影響に関する研究, 47 (1927) 1259.
- [20] K. Takaki et al.; Acta Physica Polonica A, 115 (2009), 1062.
- [21] S. Min, et al.; IEEE Trans. Plasma Sci., 35 (2007), 59.
- [22] 高木浩一; ケミカルエンジニアリング, 58 (2013), 897.
- [23] 畑山仁他; 農業機械学会誌, 73 (2011), 135.

YORKTOWN HEIGHTS 滞在記

IBM TJ Watson Research Center, Research Staff Member 宮副裕之

<http://researcher.watson.ibm.com/researcher/view.php?person=us-miyazoe>

はじめに

筆者は 2010 年 9 月から米国 New York 州 Yorktown Heights にある International Business Machines Corporation (IBM Co.) の Thomas J Watson Research Center にてプラズマエッチングの研究開発に従事しています。本稿では渡米後これまでの生活と研究内容を簡単に紹介させていただきます。

研究概要

当研究所は世界 6 大陸に 12 箇所ある IBM の基礎研究所の本部であり、1945 年に Manhattan にあるコロンビア大学内に Watson Scientific Computing Laboratory として設立され、1957 年には New York 市から 60km ほどに北に位置する Yorktown Heights に移転されました。研究内容は物理学や半導体技術など Computer Hardware に関するもの、Business Model や Consulting、Management など Service 業に関する研究、Programing 言語や Security、Data 管理などといった Software に関連するもの、OS や Server、Cloud Computing といった System 関連の研究と、多岐にわたっています [1]。2011 年に人気クイズ番組 "Jeopardy!" で 2 人の歴代クイズ王 (連続優勝記録保持者と最多賞金獲得者) に勝利し、人工知能として多くの耳目を集める質疑応答システム "WATSON" も当研究所を中心として開発されました [2]。現在、Hardware 関連分野では 4-5 名の日本人が、常勤研究者として当研究所に勤務しています。

当研究所内には従来の半導体材料に加え、さまざまな材料に対応可能な Prototype Device の作製を可能とする Microelectronic Laboratory (MRL) [3] と呼ばれる実験室 (含 Clean Room) があり、他の IBM の研究所や Albany Nanotech [4]、Business Partner と綿密に連携して次世代 Device の研究・開発を行っています。

近年 CMOS の微細化によりトランジスタのオフ電流を抑制することがますます困難になってきています。HfO₂ といった従来の SiO₂ 絶縁膜より高い誘電率を持つ絶縁膜を導入したり、ゲート電極に金属を用いたり、あるいはトランジスタを立体的に作製することによりこのオフ電流を抑制することに成功してきました [5,6]。新規材料や Geometry、従来とはまったく異なる発想の Device の導入に伴い、Etching Process は常に改良・改善が求められます。私が籍を置く Advanced Plasma Physics and Process Group では、Eric Joseph 博士を Manager として 6 名の研究者が以下のような研究に携わっています。

- (A) 低損傷・高精度の Patterning を具現化する Atomic Layer Etching (ALE) Process [7,8]
- (B) Directed Self-Assembly (DSA) や Multiple Patterning などの 7 nm、5 nm 世代に向けた最先端高密度 Patterning 用 Etching Process [9]
- (C) Phase Change Memory (PCM) や Magnetic Random Access Memory (MRAM) といった不揮発性メモリ用 Etching Process
- (D) Post Si 世代や Cognitive Computing を見据えた Prototype Device 用 Etching Process

本稿では、私がこれまで携わってきた、(1) DSA を用いた最先端 Plasma Etching Process の開発、および、Post Si 時代を見据えた、(2) Carbon Nanotube を使った Gate All Around の MOSFET の作製や(3) PIEZO Materials を用いたトランジスタ (Piezoelectronic Transistor: PET) 開発に関して簡単に紹介します。

(1) Sub 30 nm pitch line-space patterning for CMOS applications

Sublithographic patterning techniques, such as DSA based patterning or SIT based patterning have been realized as critical feature definition method in logic and memory circuits. We have demonstrated line space patterning for all most all the front end of line CMOS compatible materials such as Si, SiO₂, SiN and high-k metal gate at sub-30nm pitch (Fig. 1 and Fig. 2, [10,11]). More recently, we demonstrated the capability of customization of the patterns using advanced pattern customization method [12]. These results further establish the viability of DSA pattern generation as a potential method for Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) integrated circuit patterning beyond the 10-nm node.

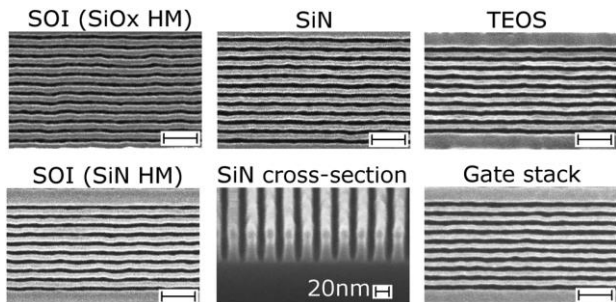


Fig. 1 SEM images of various etched materials using DSA. Cross-sectional SEM image of the 40-nm-thick

SiN pattern is also shown. (Taken from ref [10].)

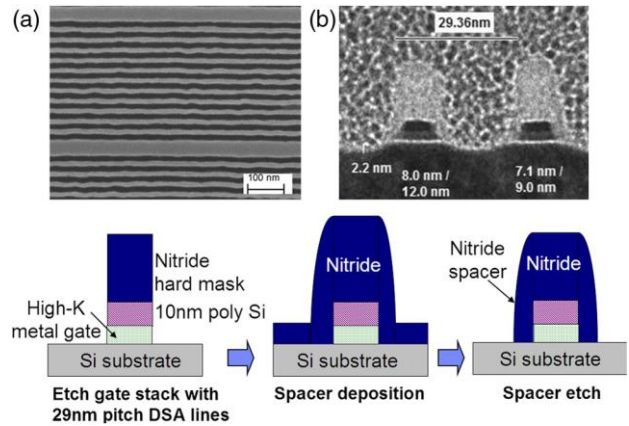


Fig. 2 (a) Top down SEM image of DSA lines etch transferred through a metal gate/high-k gate stack. (b) TEM cross-section image of the gates after SiN spacer etch. (c) Schematic of a planar gate formation processing using DSA etched gate lines. (Taken from ref [11].)

(2) Gate All Around (GAA) CNT Transistor

The optimal MOSFET geometry with the reduced dimension surrounds a cylindrical channel with the gate electrode [13]. This geometry, called “Gate All- Around” (GAA) potentially overcomes a lot of challenges for the short channel effects such as a leakage current at the off state. Among the challenges hindering the integration of CNT transistors in digital technology are the lack of a scalable self-aligned gate and complementary n- and p-type devices. CNT transistors with self-aligned gates scaled down to 20 nm in the ideal gate-all-around geometry was demonstrated. Uniformity of the gate wrapping the nanotube channels is confirmed, and the process is shown not to damage the CNTs. Further, both n- and p-type transistors were realized by using the appropriate gate dielectric— Hafnium dioxide (HfO₂) yielded n-type and Aluminum oxide (Al₂O₃) yielded p-type-with quantum simulations used to

explore the impact of important device parameters on performance. These discoveries not only provide a promising platform for further research into GAA CNT devices but also demonstrate that scalable digital switches with realistic technological potential can be achieved with carbon nanotubes [14].

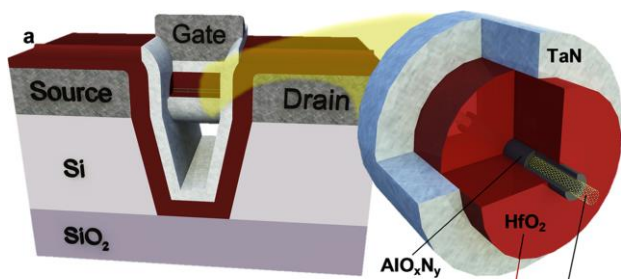


Fig. 3 Cross-sectional schematic of the device illustrating how the GAACNT channel is suspended across the Si trench and contacted on either side by Pd source/drain (the Pd gate contact on top would also be present on either side of the GAA in the trench but is not shown here for greater clarity). Inset cutaway diagram illustrates the GAA materials in greater detail, including ~1 nm AlO_xN_y , 8 nm HfO_2 , and 5 nm TaN. Taken from ref [14].

(3) PIEZO Electric Transistor (PET)

One of the post Si-CMOS devices candidates is a Piezo Electronic Transistor (PET). We have proven the concept of PET, in which mechanical stress induced by the electrical field in Piezo electrical (PE) pillar triggers an insulator-metal transition on piezo resistive (PR) materials (Fig. 4 [15,16]). We used 1 μm thick $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ (PZT) layer on Pt electrode on the 8 inch wafer as PE layer and ~50nm thick SmSe as PR for the first proof of concept. The results demonstrate the realization of a stress-based transduction principle, representing the early steps on a developmental pathway to PET technology with potential to contribute to the IT industry.

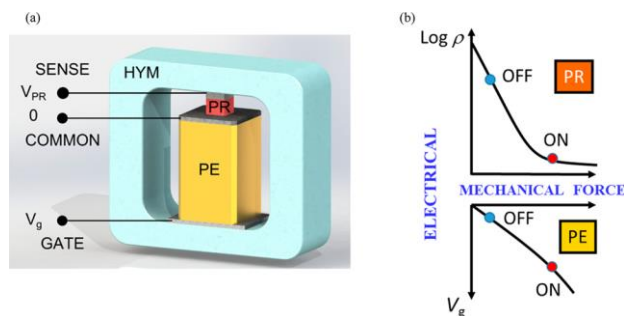


Fig. 4 PET concept. (a) The fully integrated transductive stack consists of a piezoresistive (PR) element on top of a piezoelectric (PE) element confined by a high Young's modulus (HYM) yoke. The three metal contacts (gray) are termed gate, common, and sense. The large PE/PR cross-sectional area ratio of ~25:1 serves to amplify the stress in the PR relative to that in the PE. (b) Transduction switching principle. Taken from [15].

研究所での生活

所内ではさまざまな国の人が働いています。ちゃんとした統計をみたわけではありませんが、生まれたときから米国籍の人は半分以下なのではないかと思います。ここでは初対面で出身国や家族構成、年齢などが話題に上がることは少ない分、これまでのキャリアや学歴、出身研究室などはとても良く聞かれます。一方で、ほとんどが米国の大学院の出身者で、私のように外国（日本）の大学院を出た人間は少数派です。自由の国とはいいますが、ところどころでは日本より学歴や職籍のヒエラルキーがはっきりしているように思います。

新しいアイデアが出たときの動き出しは非常に早く、その日のうちに検証実験用のウェハが実験室のラインに流れ出したり、当社特許部門への proposal の提出が完了することも珍しくありません。今まで経験したことのないものでしたので最初はこのスピードについていくのに苦労しました。今でも laptop を持ち歩くのを忘れて半日実験室にこもっていたりするとその間にメールでのやり取りが交わされ、プロジェクトの方向性が変わっていることもあります。

勤務形態は完全 Flex 制をとっており、ミーティ

ングや急ぎの実験さえなければ在宅勤務も可能です。我々のような hardware 関連の研究者は実験室に行ったり、他の Unit Process チームや Integrator とのミーティングがほぼ毎日あるので、実質在宅勤務は不可能ですが、software 関連の研究者は在宅勤務をする人もいます。裁量労働制なので残業代はありませんが、私の印象としては皆さんよく働きます。

仕事以外の excursion としては、年に 1 回程度は MRL で働く全 group で日帰り旅行に出かけ、Hudson 川の cruising や、写真のように hiking に出かけたりします。また、私は趣味でサッカーを続けているのですが、毎年夏になり日が長くなると Watson Summer Soccer League が開かれ、平日の夕方 6 時半ごろから週 1 回程度汗を流します。このリーグの参加者は全員 IBM 関係者（社員とその家族）で、なかには 25 年以上も参加してる人もいて、よくよく話を聞いてみるとかなり上のレベルの Manager だったりします。また、当研究所がある Westchester 郡は当社(Armonk, NY) や PepciCo (Purchase, NY) などの企業の本社があることもあり、各社の選抜チームによる Corporate League も活発に行われています。



Fig. 5 MRL の日帰り旅行で Plasma Etching Group と (筆者は前列中央, 2012 年, NY)



Fig. 6 Watson Summer Soccer League でのチーム写真 (筆者は GK) 会社が国際的なのか、サッカーがマイナーなのか、アメリカ人はあまりいません。

就職～ビザ取得～渡米～永住権取得まで

私は 2010 年 9 月に当研究所にてポスドクとして採用され、2011 年 10 月から正規雇用で採用されました。ここでは当社への就職活動から今までの経緯について少し書きます。私が博士課程を卒業したのは 2009 年の 3 月でした。当初から企業への就職にも興味がありましたが、博士課程 3 年の夏まで留学していたため、日本のいわゆる“就活”の波にうまく乗ることはありませんでした。当社のポスドクの募集をホームページ上 [17] で知り、応募したのは 2009 年の年末ごろだったと思います。既卒でしたので当時はリクナビネクストに登録したり、大学、企業を問わず世界中の研究機関のホームページをみて求人 Apply していました。なかなか返事が来なかったのが当社で働く知り合いに相談した結果、2010 年の 4 月末ごろに当時の Etching Group の Manager から 1 時間ほどの電話面接を受け、6 月上旬に研究所での面接に招待されました。採用ポストによって多少差はありますが、私の場合、面接は一日で終わりました。面接では午前中に私のこれまでの研究に関するプレゼンテーションを 1 時間 30 分ほど行い、午後からは自分の上司になる人、同じグループに

なる人合わせて 10-15 人ほどと個別に 30 分ずつ面接でした。この個人面接では、半導体研究とプロセス開発の現状に関するレクチャーをうけるとともに、IBM が直面する技術的な課題にどう対処していくかをおもに Discussion しました。夕方、すべての面接が終わるとグループの皆さんとディナーに行き、NY での生活やプライベートの話もたくさんしました。時差ぼけもあったので、飲み過ぎないように注意したことを覚えています。休憩もほとんどなく、これまでに経験したことがないほど密度の濃い一日でへとへとになりましたが、一日が終わるころにはこの研究所でこの人たちと働きたいと強く思うようになっていました。応用物理の本年 2 月号に村上正紀先生（現（学）立命館 副総長、京都大学名誉教授）が当研究所で私と似たような採用面接を受けたと書かれている [18] ので、採用プロセスは伝統的に大きく変わっていないようです。ちなみに村上先生が当社を退職されたときに京都に装置を立ち上げに行ったテクニシャンは今でも当研究所で働いています。その後、Offer Letter（内定通知）をもらったのは 7 月のはじめごろでした。

最初は 2 年契約のポスドクだったので、J-1 ビザと呼ばれる、Exchange Visitor ビザで就職し、2011 年に正規で雇用された際に H1-B と呼ばれる専門職ビザに変更しました。正規雇用になったことでいわゆる “契約期間” がなくなったので会社から永住権（Green Card）の申請をするようにといわれました。永住権の申請にはさまざまなカテゴリがあり、優先順位が違うのですが、私は比較的優先順位の高い ‘研究者’ のカテゴリで申請しました。このカテゴリでは研究者としてのこれまでの経歴・成果や 10 通近くの推薦書等を準備する必要があり、書類の準備におよそ 2 年間、最終的に私が準備した書類は片面印刷で厚さ 10cm ほどになりました。アメリカのビザシステムに関

しては、Sekiguchi Law Office の HP [19] に日本語で説明してあるのでこれから渡米を考えている方は参考にしていただければと思います。

NY 近郊での生活

私は Office のある Yorktown Heights から 20km ほど南にある White Plains 市に住み、毎日車で 20-30 分ほどかけて通勤しています。White Plains は近所に日立や富士フィルムの米州本社があったり、また Manhattan まで急行で一駅（35 分程度）ということもあり、日本人家族も多くいて、望めば日本と変わらない生活ができます。最初契約のために電気会社に電話し、少し話した後“お前の母国語は何語だ?” と聞かれ、はからずも日本語の通訳サービスにつながれたのは苦い思い出です。

また、東京同様に NY City は世界中から様々な文化が集ってくるところですので、毎日多くの文化的なイベントも行われています。日本の文化的イベントも例外ではなく、たとえば、Manhattan にある Japan Society では様々な著名人の講演会や日本映画の鑑賞会が開かれています。2012 年に開かれた根岸英一教授（2010 年ノーベル化学賞）の講演会 [20] には私も参加し、楽しそうに錯体化学の話をする先生の姿に大変励まされました。

また、毎年 5 月にセントラルパークで開かれる Japan Day では毎年日本の有名芸能人が参加し、今年は AKB48 が参加したそうです。いろいろな国の料理が食べられるのも NY の特徴のひとつです。特にラーメンは非常に人気で、人気店では 1 時間以上待つ場合もあるようです。多くの Diversity がある一方で物価は非常に高く、最近の為替（\$1.00 ~ ¥120）で考えると、日本と同レベルの生活をしようとする和生活費は日本の 1.5~2 倍くらいではないかと思います。



Fig. 7 Japan Society での講演 [20] 後の懇親会にて、根岸英一教授と (写真中央, 左は当社, 安藤博士).



Fig. 8 NYC で豚骨ラーメン: 2012 年サッカー女子 W 杯決勝後 (Japan vs USA, 左は R. Martin 博士, 現 Lam Research)

さいごに

ここまでだらだらと書いてきましたが、私自身ここには書けないような失敗や苦労も経験し、その都度多くの方々に助けられてきました。また、どこの会社にも大学にもあてはまると思うのですが、知り合いを通じて入社したり、共同研究が始まることは非常に多く、いわゆる“コネ”も案外大事なんだなと感じています。私も Customer との会議や、学会などで気になっている教授、人を

見つけたらお酒の力を借りてでも人脈を広げ、仕事の幅を広げていけたらと思っています。

謝辞

筆者は大学院時代にスイス連邦 Thun にあるスイス連邦材料研究所 (Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology: EMPA) に留学させていただき、米国は 2 カ国目の海外になります。苦労の多い大学院時代に海外経験をさせてもらったことが今の生活に大きく生かされているのは間違いありません。そのような第一歩を踏み出させてくれた東京大学の寺嶋和夫教授には感謝の言葉もありません。また、永住権の申請に当たり、申請書類作成のサポートをしていただいた多くの皆様に再度お礼申し上げます。最後に日本での仕事をやめて今の生活を支えてくれる、妻に感謝の念が絶えません。

[1] <http://www.research.ibm.com/?lnk=fai-ires-usen>

[2] S. Baker (著), 土屋政雄 (訳); *“IBM 奇跡の “ワトソン” プロジェクト”*; (早川書房, 2011 年)

[3] IBM's Microelectronics Research Laboratory, <https://www.youtube.com/watch?v=VsyzZaEWTgM>

[4] 平山誠, 応用物理, **81**, (2012), 420.

[5] 内田建, 応用物理, **83**, (2015), 262.

[6] 川崎博久, 応用物理, **79**, (2010), 1103.

[7] D. Metzler, R.L. Bruce, S. Engelmann, E.A. Joseph, G.S. Oehrlein, J. Vac. Sci. Technol. A **32**, (2014) 020603.

[8] S.U. Engelmann, R.L. Bruce, M. Nakamura, D. Metzler, S.G. Walton, E. A. Joseph, ECS J. Solid State Sci. Technol., **4** (2015) N5054.

[9] E.A. Joseph, S.U. Engelmann, H. Miyazoe, R.L. Bruce, M. Nakamura, T. Suzuki, M. Hoinkis, Proc. SPIE, Advanced Etch Technology for Nanopatterning II, **8685**, (2012) 86850A.

[10] H. Tsai, H. Miyazoe, S.U. Engelmann, B. To, E. Sikorski, J. Bucchignano, D. Kraus, C. Liu, J. Cheng, D. Sanders, N.C.M. Fuller and M.A. Guillorn, J. Vac. Sci. Technol. **30** (2012) 06F205.

[11] H. Tsai, H. Miyazoe, S.U. Engelmann, C. Liu, L. Gignac, J. Bucchignano, D. Klaus, C. Breslin, E.A. Joseph, J. Cheng, D. Sanders, M.A. Guillorn, J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS **12** (2013) 041305.

[12] H. Tsai, J. Pitera, H. Miyazoe, Sarunya Bangsaruntip, S.U. Engelmann, C.-C. Liu, J.Y. Cheng, J.J. Bucchignano, D.P. Klaus, E.A. Joseph, D.P.

-
- Sanders, M.E. Colburn, and M.A. Guillorn, ACS Nano 8 (2014) 5227.
- [13] C.D. Cress and S. Datta, Science, 2013 vol. 341 pp. 140-141.
- [14] A.D. Franklin, S.O. Koswatta, D.B. Farmer, J.T. Smith, L. Gignac, C.M. Breslin, S.-J. Han, G.S. Tulevski, H. Miyazoe, W. Haensch, and J. Tersoff, Nanoletter 13 (2013) 2490.
- [15] P. M. Solomon, B. A. Bryce, M. A. Kuroda, R. Keech, S. Shetty, T. M. Shaw, M. Copel, L.-W. Hung, A. G. Schrott, C. Armstrong, M. S. Gordon, K. B. Reuter, T. N. Theis, W. Haensch, S. M. Rossnagel, H. Miyazoe, B. G. Elmegreen, X.-H. Liu, S. Trolier-McKinstry, G. J. Martyna, and D. M. Newns, Nano Lett, 15 (2015) 2391.
- [16] J. Chang, H. Miyazoe, M. Copel, P.M. Solomon, X.H. Liu, T.M. Shaw, A.G. Schrott, L.M. Gignac, G.J. Martyna, D.M. Newns, submitted to Nanotechnology (2015).
- [17] https://jobs3.netmedia1.com/cp/faces/job_search
- [18] 須田淳, 村上正紀, 応用物理, 84, (2015), 102.
- [19] 米国弁護士による米国ビザ相談室,
<http://www.bengoshiusa.com/index.html>
- [20] E. Negishi, "The Pursuit of Dreams over 50 Years" Japan Society, New York, 2012.
<http://www.japansociety.org/webcast/the-pursuit-of-dreams-over-50-years-dr-ei-ichi-negishi>

すぐに役立つプラズマエレクトロニクス -プラズマ CVD- 炭素系薄膜・構造体の合成に用いられるプラズマプロセス

平松 美根男 名城大学理工学部

1. はじめに

プラズマ CVD (Chemical Vapor Deposition : 化学気相堆積) 法は、作製したい薄膜や構造体材料の構成元素を含む化合物 (原料ガス) を真空容器に供給し、プラズマを用いてこれら原料ガスを励起・解離させて薄膜の形成に有効な活性種を生成し、基板上に輸送して堆積させる手法である。原料分子がプラズマ中の高エネルギー電子により分解される非平衡 (電子系とガス系で温度が2桁程度異なる) プロセスであるため、基板を低温に保ったまま膜堆積が可能である。シラン系ガス (SiH_4 、 Si_2H_6)、炭化水素ガス (CH_4 、 C_2H_2)、フロロカーボンガス (CF_4 、 C_2F_6 、 C_4F_8) 等を原料とし、水素、酸素、窒素ガス等を混合して、様々な機能を有する薄膜を形成することができる。しかしながら、プラズマ中での原料ガス分子の解離から始まって、生成された活性種と親ガスの気相反応、基板への輸送、さらには膜成長表面での反応までを考えると大変複雑な過程である。

種々のプラズマ CVD プロセスのうち、モノシラン (SiH_4) /水素 (H_2) の混合ガスを用いた水素化アモルファスシリコン (a-Si:H) 膜の形成機構は精力的に研究がなされている。作製された膜の構造や堆積速度などの実験事実がかなりのレベルで説明可能となっており、この分野を牽引された松田彰久先生による解説書[1-3]に大変分かり易くまとめられている。ここでは、モノシランを用いたプラズマ CVD を例に挙げながら成膜プロセスの基礎について概説した後、少し異なる切り

口で、ダイヤモンドやカーボンナノチューブ、グラフェンなど炭素系薄膜・構造体の合成に用いられるプラズマプロセスを中心に紹介する。基板温度が高くなると、膜「堆積」よりも時として「成長」や「合成」が相応しく、depositionのほか、growth、synthesis、formation、fabrication、preparation 等が英語表記として用いられる。

2. 成膜プロセスの基礎

プラズマ CVD 法を用いた薄膜形成には、図 1 に示すような容量結合型 (capacitively coupled plasma: CCP) 装置や誘導結合型 (inductively coupled plasma: ICP) 装置がよく用いられる。CCP のプラズマ密度は 10^{10} cm^{-3} と高くないが、大面積成膜に向いている。一方、ICP は 10^{12} cm^{-3} 程度の高密度プラズマである。

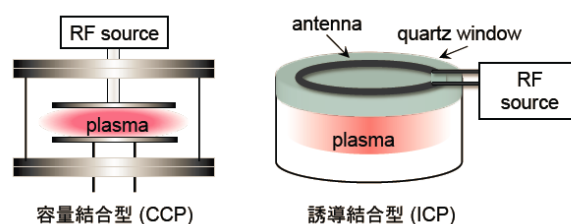


図 1 容量結合型および誘導結合型プラズマ CVD 装置の概略図

プラズマの生成方式等を含む装置の構造に加え、使用するガスの種類・圧力・流量、投入する電力・周波数により、プラズマ中の電子エネルギー分布関数や電子密度が決まる。図 2 はプラズマ CVD

法による膜堆積過程の流れの概略を示している。一次反応過程では SiH_4 や H_2 等の親ガス（原料分子）から電子衝突解離により SiH_3 ラジカルや H 原子といった各種反応種が生成される。

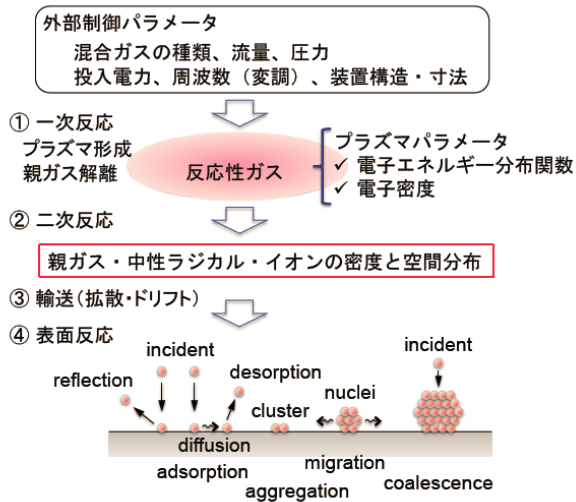


図 2 プラズマ CVD による膜堆積過程の流れ

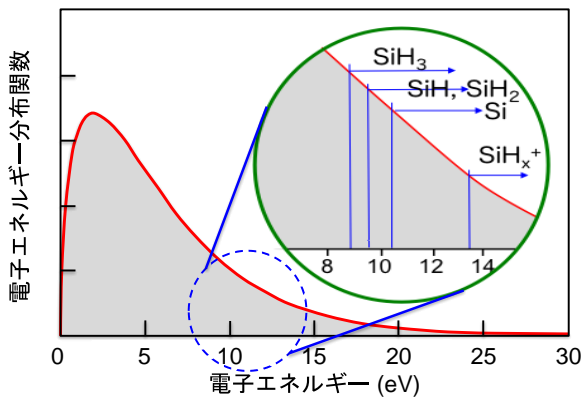


図 3 電子エネルギー分布関数(マックスウェル分布)と、主な化学種が電子衝突解離によって SiH_4 から生成されるために必要な電子のエネルギーの関係[2]

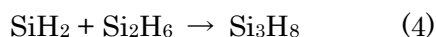
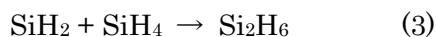
例えば、図 3 のような電子エネルギー分布関数を仮定したとき、 SiH_4 分子から H 原子がとれて SiH_3 ラジカルが生成されるためには 8.75 eV 以上のエネルギーを持った電子との衝突が必要であり、

更に高い 9.47 eV 以上のエネルギーを持った電子との衝突により SiH_2 ラジカルが生成される[1-3]。また H_2 分子の解離に必要なエネルギーは 4.5 eV である。電子エネルギー分布関数が異なれば、生成される反応種の組成が変わる。圧力の高いプラズマ CVD 条件では、平均自由行程が短いため、一次反応で生成された化学種は二次反応を経験する。化学種の衝突相手は主に親ガスまたは希釈ガスである。定常状態での反応種の密度や空間分布は、一次反応による生成と二次反応による消滅やプラズマ外への拡散がバランスしたところで決定される。

化学的に活性な化学種（活性種）のうち、輸送過程を経て、電極（基板）や壁などの固体表面に到達したものが堆積に寄与することができる。中性の活性種の密度は、一般的に電子衝突の盛んなプラズマ中で高く、周辺領域に向かって減少する。この密度勾配による拡散過程が原動力となって、中性活性種は密度の高い生成領域から基板へと輸送されていく。反応性の低い長寿命のラジカルは拡散で基板表面に到達するが、反応性の高い短寿命の活性種は、親ガス等との二次反応で消滅することが多いため、膜堆積への直接の影響は少ない。ドリフトの影響を受けるイオン種は、膜堆積前駆体の主役になるには絶対密度が低い。

成長表面に到達した膜堆積前駆体は、物理吸着を起こし、表面拡散・凝集・マイグレーション・クラスター形成といった核発生プロセスを経て膜形成に至る。基板表面に飛来しても、反射するものや表面拡散の後離脱するものも多く、さらには揮発性 (volatile) 分子を形成してエッチングを引き起こす場合もある。飛来するイオン種は、スパッタリングを起こしたり化学エッチングを支援するほか、逆に、表面にダングリングボンドを形成することにより中性ラジカルの付着係数を高め、核発生に寄与する場合もある[4]。

以下はシランプラズマ中の二次反応の例である。



例えば SiH_3 は、(1)式の反応で親分子である SiH_4 と反応して H 原子を引き抜くが、生成物は再び SiH_4 と SiH_3 になるため、実際は気相中において非常に長寿命であり、プラズマ外への拡散が消滅速度を決定する。一方、短寿命反応種の代表である SiH_2 は、親分子である SiH_4 と反応して(3)式のように速いレートで消滅していく。親ガスであるシラン分圧が高い場合、二次反応が盛んになり、短寿命ラジカルの膜成長への直接寄与率は低下するが、 SiH_2 と親ガスとの反応で Si_2H_6 を生成しやすくなる。この Si_2H_6 と別の SiH_2 との反応から(4)式のように Si_3H_8 を生成し、さらに Si_4H_{10} へと太っていく、ダスト（微粒子）へと成長していく。また、これら高次シラン分子から電子衝突により生成される高次の反応種（たとえば Si_4H_9 ）は膜成長に寄与するが、表面マイグレーションし難く、さらに主役である SiH_3 のマイグレーションを阻害するため、膜中のダングリングボンド密度は増加する（膜質は劣化する）。

他方、シラン分圧の低い条件や、あるいは高速堆積を狙って電子密度を上げていくと、親ガスの解離度が高くなる。このような場合では、通常は親ガスとの二次反応で消滅して基板に到達する量は無視できるような反応性の高い SiH_2 や Si のような短寿命反応種も、親ガスの解離が進んで(3)式の反応相手が枯渇し、消滅せずに基板にまで到達する。これらの基板への付着係数は高く、表面拡散を起こさないため、ダングリングボンド密度が増加する結果となる。

プラズマ CVD による $\alpha\text{-Si:H}$ 膜の形成においては、 SiH_3 ラジカルが重要な膜の前駆体となってい

る。他方、 SiH_2 や Si は反応性が高く、気相中で密度が高くなるとダスト発生の原因を作る。また基板に達すると付着係数が高いため欠陥が多くなって膜質を悪くする要因となり、大量に存在しては困る化学種である。これらの事実が明らかになったのは、吸収分光法など種々の計測手段で化学種の絶対密度が求められ、様々な反応が明らかになったことに寄るところが大きい。並行して、 SiH_3 ラジカルが選択的に生成されるように原料ガスの種類や流量比、圧力、励起方法の最適化を行い、時には高周波放電をオン-オフさせて反応性の高い短寿命のラジカルのみを積極的に減少させる工夫がなされたりしてきた。

気相反応だけでなく、表面反応の制御も大変重要である。後述するメタン等の炭化水素ガスを用いたプラズマでは、ダイヤモンド・カーボンナノチューブ・グラフェンといった特徴的な炭素構造体が形成されるが、そのためには、基板加熱のほか、基板にダイヤモンド傷付け処理を施す、予め鉄 (Fe) やコバルト (Co) 等の触媒金属を基板にばらまいておく、ニッケル (Ni) や銅 (Cu) 基板を用いる、など目的に合わせた表面処理(前処理)が不可欠となっている。

3. 炭素系薄膜やナノ構造体の合成に用いられるプラズマプロセス

炭素繊維やグラファイト、ダイヤモンド、ダイヤモンド状炭素 (diamond-like carbon: DLC) などの種々の同素体が存在する炭素材料は、幅広い電氣的・機械的・熱的・光学的性質を有している。これらの特性を活かして、電子デバイスから工具、摺動材料、構造材料など期待される応用も多岐にわたる。フラーレン、カーボンナノチューブ、カーボンナノホーンやグラフェンといった炭素ナノ構造体は、従来の炭素材料には現れない特異な性質を有する比較的新しい炭素材料であり、環境・

エネルギーやバイオテクノロジーなどの新規分野を支える基盤材料として重要視されている。

ダイヤモンドに代表される sp^3 混成軌道からなる炭素材料、カーボンナノチューブやグラフェンといった sp^2 混成軌道からなるナノ炭素材料、これらの結合が混在した炭素材料 (DLC やアモルファスカーボン) など、保護膜や新規デバイスへの応用が期待される炭素系薄膜・構造体の多くはプラズマ CVD 法を利用して合成することができる。一般的に、メタン等の炭化水素と水素の混合ガスが用いられ、圧力は数 Pa から大気圧まで広範囲にわたる。カーボンナノチューブ等の製造はもはや堆積とは言い難く、ここで扱う CVD は、原料ガスを解離・分解して炭素の様々な構造体を合成する方法と解釈している。励起方式やガスの種類・混合比といったプラズマの外部パラメータだけでなく、基板温度、基板処理などの表面反応によっても構造が大きく左右される。基板上に輸送される重要なラジカルやイオンのフラックスならびに核発生を含む表面反応を制御することにより、様々な炭素系薄膜・構造体を合成することが可能である。これらの炭素材料を合成するうえで、プラズマプロセスのエッセンスはどこにあるかという観点から整理すると、ダイヤモンド薄膜のように①製造過程において大量の水素原子を必要とする、あるいは水素原子が重要な役割を担うもの、カーボンナノチューブやグラフェンのように②成長初期段階で金属触媒を必要とするもの、DLC 膜のように③200°C以下の低温成長であり、イオンが重要な役割を担うもの、の3つのグループに大別することができる。

3.1 ダイヤモンド薄膜の合成には大量の水素原子が必要

ダイヤモンド薄膜の気相合成は、おもに図4(a)および4(b)に示すような2.45 GHzのマイクロ波

プラズマを用いて行われてきた。図4(a)は無機材研型と呼ばれる。マイクロ波矩形導波管を石英管が貫く構造をしており、大面積合成には向かないが、装置構成が比較的簡単で、プラズマに対して基板の位置を自由に設定することができる。図4(b)はASTeX型と呼ばれる。マイクロ波をTE₀₁モードからTM₀₁モードへ変換し、石英窓を通して真空容器に導入するもので、真空容器自身が空洞共振器となり、基板上部でプラズマボールと呼ばれる球状のプラズマが形成される。これらは高密度プラズマであり、H₂を効率よく分解するのに適している。フランスのGicquelらは、ASTeX型の装置を用いて単結晶ダイヤモンド薄膜の高速合成を行っており、投入するマイクロ波電力密度に応じて水素原子密度は増加し、40 μm/hというダイヤモンド膜の合成速度が得られる条件では、プラズマ中の水素原子密度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ で、H₂の解離度は実に50%に達する[5]。

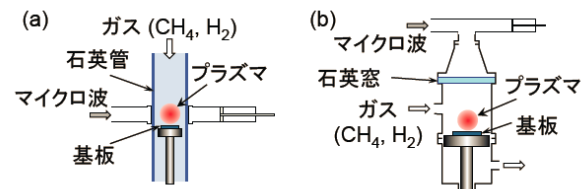


図4 ダイヤモンド合成に一般的に用いられるマイクロ波プラズマ CVD 装置の概略図：(a)無機材研型、(b)ASTeX型

通常、プラズマ CVD 法を用いたダイヤモンド薄膜の合成は、メタンやアルコールを水素で 50～100 倍程度に希釈した混合ガスを用い、数 kPa～10kPa の圧力で、2.45 GHz のマイクロ波電力を数 100～数 kW として、700～900 °C に加熱されたダイヤモンド基板や Si 基板に行われる。Si 等の異種基板上にダイヤモンドを合成するには、ダイヤモンド微粒子を用いて傷つけ処理を施

す、ナノダイヤモンド粒子を基板に塗布する、成膜初期段階に基板に負バイアスを印加してイオン衝撃により核発生を促進させるなど、基板の前処理が必要である。

プラズマ中の電子衝突解離によって、メタン等の炭化水素ガスから CH_3 ラジカル等の炭素前駆体が、また水素分子やメタン等から水素原子が生成され、二次反応を経て基板上に輸送される。基板表面では、炭素前駆体の堆積と、水素原子によるエッチングの競合反応が起こっているが、アモルファスカーボン、グラファイト、ダイヤモンド成分の順に水素原子によりエッチングされ易い。成長表面へのこれらのラジカルの供給量の比により結晶性や構造が左右される。例えばダイヤモンド薄膜の成長では、大量の水素原子でアモルファスカーボンやグラファイト等の非ダイヤモンド成分を除去しながら（堆積しないようにしながら）、ダイヤモンド成分を選択的に残す反応で成り立っている。当然のことながら、成長速度は小さい（一般的には $1 \mu\text{m}/\text{h}$ 程度）。大量の水素原子が必要であるため、プラズマ密度の低い CCP はダイヤモンドの合成には向かない。

メタンの割合を増加させるとダイヤモンドの結晶サイズが小さくなる。5~30%程度のメタン濃度では、結晶粒界にグラファイト層を含むナノ結晶ダイヤモンドが成長する。メタン濃度を 20~50%に増やした条件では、Fe や Co を堆積させた触媒基板上にカーボンナノチューブ膜を製造することができる。数 kPa 以上の圧力で、メタンの割合が比較的大きい場合には、気相中の二次反応により C_2 ラジカルも大量に生成される。このときプラズマからは 517 nm 付近に C_2 スワンバンドの発光（バンドスペクトル）が観測される。ナノ結晶ダイヤモンドやカーボンナノチューブの製造条件では、図5の発光スペクトルのように、 C_2 からの強い発光が観測され、更に C_2 ラジカル ($\text{a}^3\Pi_u$

状態) の密度計測などから、 C_2 ラジカルの寄与も重要視されている[6,7]。

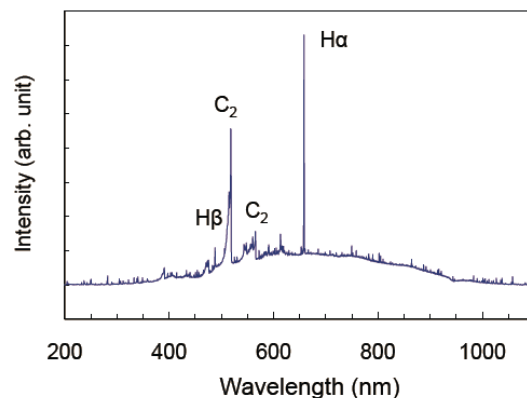


図5 ナノ結晶ダイヤモンド合成中のマイクロ波プラズマからの発光スペクトルの例

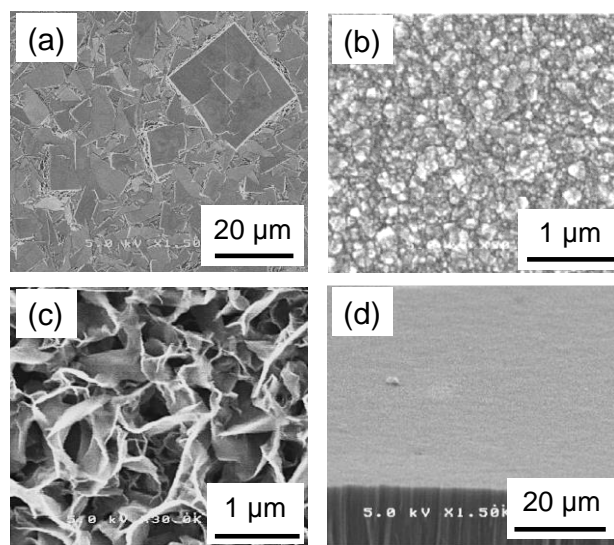


図6 マイクロ波プラズマを用いて製造される種々の炭素構造体のSEM像：(a)ダイヤモンド薄膜、(b)ナノ結晶ダイヤモンド薄膜、(c)カーボンナノウォール、(d)カーボンナノチューブ膜

図6 (a)および6 (b)は、それぞれ、多結晶ダイヤモンド薄膜およびナノ結晶ダイヤモンド薄膜の電子顕微鏡像である。いずれも同一の ASTeX 型のマイクロ波プラズマ CVD 装置を用いて、ダイヤ

モンド傷付け処理が施された Si 基板上に製造されたものである。メタン濃度は、(a)では 2%、また(b)では 10%と高くなっている。傷付け処理などが施されていない Si 基板を用いた場合、高メタン濃度では図 6 (c)のようにカーボンナノウォールが形成される。カーボンナノシートやナノフレークなどとも呼ばれ、比較的欠陥の多い多層グラフェンが基板にほぼ垂直に成長している。カーボンナノウォールは、マイクロ波プラズマのほか、ICP や水素ラジカル支援 CCP など種々の方法を用いた製造が報告されている[8]。

一方、メタン濃度を 20~50%に増やした条件では、触媒基板上にカーボンナノチューブ膜を製造することができる。後述するように、Co や Fe、Ni 等の触媒金属のナノ粒子を基板上に予め堆積させておく必要がある。図 6 (d)は、メタン濃度 40%で Co 触媒を用いて製造した 2 層カーボンナノチューブ膜の電子顕微鏡像であり、数 100 nm/s の高速で合成される。

図 6 (a)のような多結晶ダイヤモンド薄膜の応用は、保護膜やヒートシンク、窓材、電気化学用電極等に限られる。5.5 eV のバンドギャップを有するダイヤモンドをパワーデバイス等に应用するには、ドーピング技術の確立はもとより、高品質単結晶ダイヤモンドの大面积合成が不可欠である。実用化に向けて、Si 等の異種基板上へのヘテロエピタキシャル成長を実現するための新規技術や、大面积ダイヤモンド単結晶基板を安価に製造する技術の開発が望まれている。ダイヤモンド薄膜のキャリア制御とデバイス応用の最近の研究開発の現状については、産業技術総合研究所の山崎聡氏による解説[9]をご覧ください。ダイヤモンド薄膜のデバイス応用の難しさと可能性が分かり易く紹介されている。

通常、多結晶ダイヤモンド薄膜の表面粗さが数 100 nm から数 μm であるのに対し、ナノ結晶ダ

イヤモンド薄膜は、表面粗さが数 nm から数 10nm 程度の平滑で緻密な膜であり、低摩擦・高硬度・高透明性・電界電子放出特性など優れた特徴を有している。原料ガスのメタンの割合を増やすとダイヤモンドの結晶サイズが小さくなるが、このほか、原料ガスに Ar を添加することにより数 nm から数 10nm の粒径のナノ結晶ダイヤモンド膜を得ることができる。耐摩擦用皮膜や光学的保護膜のほか、表面化学修飾を施してバイオセンサなど生体分野への応用も期待されている。

図 7 は表面波プラズマと呼ばれる。マイクロ波導波管の下面にスロットアンテナと呼ばれる細い間隙が設けられており、石英などの誘電体表面に沿って表面波が伝播し、誘電体直下に高密度プラズマが生成される。 $10^{11} - 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ のプラズマ密度に対し、2-3 eV と低い電子温度が特徴で、大面積化も可能である。産業技術総合研究所の金氏らは大面積の表面波プラズマ装置を開発し、基板温度 300 °C で、30 cm 四方の硼珪酸ガラス基板上に一樣なナノ結晶ダイヤモンドの合成に成功している[10]。

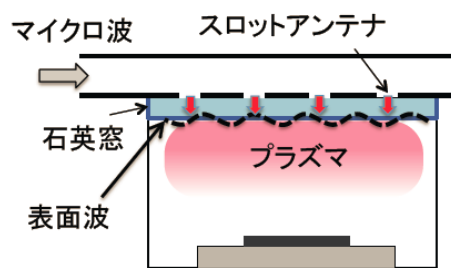


図 7 表面波プラズマ CVD 装置

3.2 カーボンナノチューブやグラフェンの製造には触媒金属が必要

アーク放電やレーザアブレーション、CVD など様々な方法を用いてカーボンナノチューブを合成することができる。いずれも、成長初期段階において、Fe や Co、Ni といった触媒金属が不可欠である。アーク放電やレーザアブレーションなど、

物理気相成長法に分類される成長法では、Co や Ni 等の触媒金属を混ぜた黒鉛棒や電極など固体材料を出発原料としている。空間に広がった生成物をかき集めるが、金属触媒等の不純物が含まれているため、精製作業が必要となる。これに対して、CVD 法では基板上に成長させるもので、予め触媒金属を堆積させた Si や SiO₂ 等の基板を用い、熱やプラズマを利用してメタンやアセチレン等の炭化水素ガスを分解して、加熱された触媒金属との炭素の表面反応（炭素の固溶→過飽和→析出）からカーボンナノチューブを得る。

プラズマ CVD 法を用いたカーボンナノチューブ合成では、初期の頃は Si や SiO₂ 基板上に真空蒸着やスパッタを用いて Ni や Fe、Co の薄膜を形成し、熱処理を施して（あるいは基板加熱を行う過程で）触媒金属をナノサイズ化したものを基板として用いていた。触媒粒子のサイズや密度の制御は困難であったため、カーボンナノチューブの直径や分布（チューブとチューブの間隔）のばらつきが大きく、そもそも単層カーボンナノチューブを得ることすら難しかった。触媒金属膜の厚さを薄くするとサイズの小さな触媒金属粒子を得ることができるが、Si との反応で容易にシリサイドを形成して姿を消してしまい、密度（面積当たりの触媒粒子の個数）が下がる。一方、厚い触媒金属膜では、サイズの大きな触媒金属島となってしまう。1 つの触媒金属島から複数本のカーボンナノチューブが成長し、また合成されるカーボンナノチューブの直径に大きなばらつきがあった。その後、ゼオライトなどのテンプレートを用いて強制的に触媒金属のサイズを 1-2 nm に揃える方法や、触媒金属薄膜を Al 膜でサンドイッチにする、Si 基板上に Al や Ti などのバッファ層を設け、レーザアブレーション等を用いて触媒金属をナノ粒子の形で直接基板上に降り積もらせる等の方法が提案され、単層や 2 層など細いカーボンナノチ

ューブを基板に垂直に配向させて高密度に合成することが容易になった。

図 6 (d)は、(a)~(c)と同一の ASTeX 型のマイクロ波プラズマ CVD 装置を用いて、Co 触媒付きの Si 基板上に合成した 2 層カーボンナノチューブ膜の電子顕微鏡像である。メタン（40%）と水素の混合ガスを用い、基板温度 700 °C で合成したもので、600 nm/s 程度の大きな成長速度が得られている[11]。ここでは、数 nm の厚さの TiN バッファ層を形成した Si 基板上に、Co を電極に用いたパルスアークプラズマ法により 1 nm 程度のサイズの Co ナノ粒子を TiN バッファ層上に直接降り積もらせている。基板加熱の過程で Co ナノ粒子が凝集して平均粒径が 4-5 nm 程度となり、そこから 2 層カーボンナノチューブが高密度で成長している。Co と Ti の合金を電極に用いたパルスアークプラズマ法により、1 nm 程度の Co と Ti のナノ粒子を Si 基板上に降り積もらせると、単層のカーボンナノチューブ膜を合成することができる[12]。Co に比べて Ti は Si と反応し易く、基板加熱過程で Co ナノ粒子の凝集や Si との反応を防ぐと考えられる。

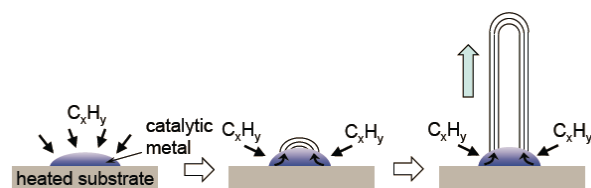


図 8 カーボンナノチューブの成長過程の模式図（根元成長モデル）

図 8 の根元成長モデルに示されるように、加熱された触媒金属には炭素が固溶し易く、粒子サイズが小さい場合には容易に過飽和状態となり、チューブの形で上に押し上げるように析出していく。1-2 nm 程度のサイズの触媒金属粒子からは単層カーボンナノチューブが成長する。単層や 2 層カ

ーボンナノチューブはファンデルワールス力でバンドルを形成し、相互に支え合って絨毯のように成長してカーボンナノチューブ膜となる。

基板上的触媒微粒子をリフトオフ等の方法でパターンニングすることにより、カーボンナノチューブの選択枝長が可能である。図9はカーボンナノチューブの選択成長の例である。Si基板上に形成したSiO₂に穴を開け、底に触媒ナノ粒子を堆積させた。単層カーボンナノチューブは、穴の底から、互いに支え合って直径1 μmの柱として束になって成長している。

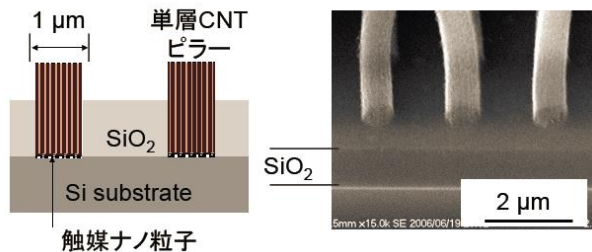


図9 穴の底から選択的に成長した単層カーボンナノチューブの柱[12]

カーボンナノチューブの成長の場合、シース電界による配向等の効果[13,14]を除けば、プラズマの主たる役割は炭素源ラジカルを触媒金属に供給することである。熱CVDと比較して低温成長が可能であるが、マイクロ波プラズマを用いることは本質ではない。触媒金属ナノ粒子が適切な密度で付着している基板を用いれば、直流プラズマ、高周波プラズマ (CCP および ICP)、大気圧プラズマなど、様々な励起方法・圧力下でカーボンナノチューブの合成が可能である。実用的な観点からは、個々のカーボンナノチューブの結晶性、直径や層数・カイラリティ、チューブの間隔、配向性、選択成長など、応用目的に応じて制御が望まれる項目が数多く存在し、さらに高速合成、大面積化、低温成長など産業面からの要請に応えるた

めに、メカニズムの解明と装置デザインが重要課題である。グラフェンシートを巻く方向によって定義されるカイラリティは金属/半導体特性を決定する。このため、単層カーボンナノチューブのカイラリティ制御は重要である。最近、東北大学の加藤氏らは、拡散プラズマ CVD を用いて、触媒の粒径によってカーボンナノチューブの成長開始時間が異なることを利用し、(6,5) というカイラリティを持つ単層カーボンナノチューブを優先的に成長させることに成功している[15]。

フレキシブル透明導電膜への応用に向けて、CVD法を用いた大面積グラフェンの製造が盛んに行われている。熱CVDの場合、NiやCu基板上への形成が報告されている。図10の模式図に示すように、Niは炭素を高濃度で固溶する性質があり、1000 °C程度に加熱されたNi表面で分解したメタンから炭素が一旦Ni中に固溶し、冷却過程でグラフェンの形で析出してくる。冷却速度の最適化が重要であり、層数の制御が難しい。

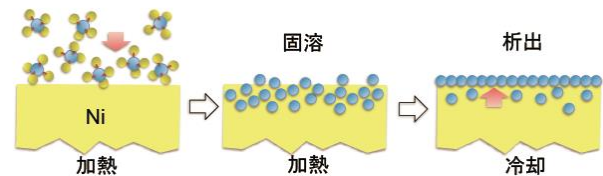


図10 熱CVD法によるグラフェンの製造過程の模式図 (Ni基板) [16]

一方、Cu基板を用いた場合には、図11の模式図に示すように、Cuには炭素はほとんど固溶しないため、1000 °C程度に加熱されたCuの触媒作用でメタンが分解し、単層グラフェンが形成されていく。Cu表面がこの単層グラフェンで覆われたところで触媒作用が消滅し、メタンの分解が停止して、単層グラフェンができあがる。NiやCu基板上的グラフェンのままでは応用が限られるため、いずれの場合も、表面を樹脂でコーティ

ングした後、下部金属を溶かすなどしてグラフェンを分離し、必要な基材に転写する。

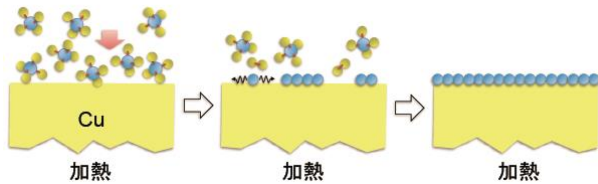


図 11 熱 CVD 法によるグラフェンの製造過程の模式図 (Cu 基板) [17]

プラズマを用いた場合には、 $500\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 程度の温度で、わずか数分という高速形成が可能である。Ni 基板を用いた場合には、プラズマの役割は Ni に固溶する炭素の供給であり、様々なプラズマを用いてグラフェンの製造が可能である。しかし、ICP 等を用いた場合、成長表面へのイオン衝撃によって基板に垂直なナノグラフェンが核発生し、カーボンナノウォールが成長し易い。従って、基板に水平な結晶性の良いグラフェンを得るためには、基板に正バイアスを印加して成長表面に入射するイオンのエネルギーを軽減する、リモートプラズマの構造を取り入れるといった工夫が必要になる。炭素源ラジカルの入射フラックスが Ni 中に炭素が固溶する速度を越えないように、炭素源の供給量（瞬間の量および積分量）を抑えることも重要である。

Si や SiO_2 基板上に Ni 触媒層を形成してグラフェンを作製する場合、炭素源供給中に Ni に固溶している炭素が飽和しないよう、Ni 層の厚さは数 100 nm 以上とされてきた。一方で、Ni 触媒層を 50 nm 以下程度に薄くすると、固溶した炭素は裏側（例えば SiO_2 基板と Ni の界面に）析出する。Ni 層を化学エッチングで除去すれば、転写作業を省略して直接絶縁基板上にグラフェンを形成することができる。さらに東北大学の加藤氏らは、プラズマ CVD とナノバー型 Ni 触媒を用いてグラ

フェンナノリボンの析出合成に成功している [18]。これらの手法は、グラフェンを用いた次世代大規模集積回路実現を期待させるものである。

Cu 箔を用いた場合、プラズマを利用して低温形成が可能である。しかし炭素源ラジカルの供給過多やイオン衝撃の影響により、形成されるグラフェンの結晶サイズが数 10 nm 以下と小さくなり、熱 CVD と比べて結晶性の劣る多層グラフェンに成り易い。やはりプラズマを基板から離し、イオン衝撃の影響を抑える工夫が必要であるとともに、チャンバ内壁に堆積している炭素膜もグラフェンの炭素源になるため、壁の状態にも注意を要する。産業技術総合研究所の金氏らは、大面積ナノ結晶ダイヤモンド膜を低温で形成した表面波プラズマ CVD 装置を用いて、 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下の基板温度で Cu 箔上にグラフェンの高速形成（30 秒）に成功している [19]。産業応用の観点からは、大気圧プラズマを用いた合成法も有望である。大気圧程度の圧力になれば、基板表面へのイオンの影響は無視できるため、直線状の一様なプラズマができれば、グラフェンのロール・トゥ・ロール方式を用いた量産化も実現可能と考えられる。

3.3 DLC 膜の作製にはイオン衝撃が重要

炭化水素と水素の混合ガスを用いて $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下の低基板温度で成膜を行うと、 sp^2 と sp^3 結合が混在する平坦なアモルファスカーボン膜が得られる。組成や結合状態の違いで硬さや光透過度、電気特性が大きく異なる。 sp^3 成分が多く存在し、硬くて透明な膜は特に DLC と呼ばれるが、通常のアモルファスカーボンとの境界は明確ではない。ガラスやプラスチック表面に DLC 成膜が可能であり、化学的に安定で、高硬度、高弾性、低摩擦、低摩耗、平滑性に優れているため、自動車用部品や機械部品、工具、ハードディスクなどの電子部品、医療器具のコーティングから PET ボトル内

壁のガスバリアコーティングまで、炭素系薄膜の中で最も幅広く応用されており実用性が高い。

DLC についてはケンブリッジ大の Robertson が多くの解説を記している[20]。実用的な DLC 膜は、プラズマ CVD 法のほか、スパッタリングやイオンプレーティングなどの物理気相堆積法により形成される。いずれの場合も、イオンが DLC 合成に大きく寄与している。プラズマ中で炭素を含む正イオンを効率よく生成し、電界で加速して基板を叩くように供給することが重要と考えられている。基板に到達する正イオンと中性ラジカルとの比が膜質や成長速度に影響を及ぼすため、応用目的に応じてこれらの最適化が必要である。

4. おわりに

薄膜・構造体の製造において、プラズマ中で生成される活性種の種類や量だけでなく、これらがどのように基板に輸送されるかが膜の出来を左右する。さらには成長表面の反応を理解し制御することが不可欠である。所望の堆積・構造を実現するためのポイントは以下の通りである。

①薄膜・構造体形成に重要な役割を果たす活性種の特定

②重要活性種の選択的生成と基板への輸送

③表面反応の制御

プラズマ CVD に関しては、プラズマエレクトロニクス分科会が主催するインキュベーションホールおよびその前身のプラズマエレクトロニクスサマースクールのテキストに分かり易く記述されており、是非バックナンバーを入手していただきたい。

参考文献

[1] 松田彰久, プラズマ・核融合学会誌, 76, (2000) 760.

[2] 松田彰久, プラズマ・核融合学会誌, 77, (2001) 674.

[3] A. Matsuda, Jpn. J. Appl. Phys., 43, (2004) 7909.

[4] T. Tatsumi, et al, J. Vac. Sci. Technol. A, 17, (1999) 1562.

[5] N. Derkaoui, C. Rond, K. Hassouni, A. Gicquel, J. Appl. Phys., 115, (2014) 233301.

[6] F. J. Gordillo-Vázquez, J. M. Albella, J. Appl. Phys., 94, (2003) 6085.

[7] M. Hiramatsu, K. Kato, C. H. Lau, J. S. Foord, M. Hori, Diamond Relat. Mater., 12, (2003) 365.

[8] M. Hiramatsu, M. Hori, *Carbon Nanowalls: Synthesis and Emerging Applications*, Springer Verlag, Wien, (2010).

[9] 山崎聡, 応用物理, 83, (2014) 912.

[10] J. Kim, et al, Plasma Sources Sci. Technol., 19, (2010) 015003.

[11] M. Hiramatsu, et al, Jpn. J. Appl. Phys., 44, (2005) L693.

[12] M. Hiramatsu, T. Deguchi, H. Nagao, M. Hori, Jpn. J. Appl. Phys., 46 (2007).L303.

[13] T. Kato, et al, Chem. Phys. Lett., 381, (2003) 422.

[14] T. Kato, R. Hatakeyama, Chem. Vap. Depos., 12, (2006) 345.

[15] T. Kato, R. Hatakeyama, ACS Nano, 4, (2010) 7395.

[16] Q. Yu, et al, Appl. Phys. Lett. 93, (2008) 113103.

[17] X. Li, et al, Science, 324, (2009) 1312.

[18] T. Kato, R. Hatakeyama, Nature Nanotechnol., 7, (2012) 651.

[19] J. Kim, et al, Appl. Phys. Lett., 98, (2011) 091502.

[20] J. Robertson, Materials Science Eng. R, 37, (2002) 129.

応用物理学会講演奨励賞を受賞して

東北大学 佐々木 渉太
(東北大学 金子 俊郎)

この度は、第 37 回応用物理学会講演奨励賞という大変栄誉ある賞を賜りまして、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まして、深く感謝申し上げます。今回、受賞の対象となりました研究「遺伝子細胞膜透過性に対するプラズマ照射起因電気的ストレスと酸化ストレスの効果」(佐々木渉太, 神崎展, 金子俊郎) に関しまして、研究背景と内容を、普段の研究生活と合わせまして、簡単にご紹介させていただきます。

近年、大気圧プラズマを医療応用に用いる「プラズマ医療」に関する研究が世界的に盛んになっています。特に、大気圧プラズマを直接あるいは間接的に照射した後に誘発される生細胞応答は不明な点が多く、非常に興味深い研究領域であると感じています。私は、研究室に配属されました学部 4 年から、現在の博士後期課程 1 年に至るまで、この「プラズマ医療」に関する研究を行っています。研究初期は、現在のように研究室内に細胞培養の環境や培養技術などはなかったため、東北大学大学院医工学研究科の神崎先生と共同研究させていただく形で開始することとなりました。それ以来、現在に至るまで、金子・加藤研究室と神崎研究室を往復する形で研究を行っています。

さて、本研究はプラズマ医療応用の中でも遺伝子等の高分子を細胞内に導入する技術に着目して行われています。一般的に水溶性高分子は細胞膜透過性が低いことが知られており、水溶性が高いことが望ましい薬剤でさえも、細胞内取り込みを可能にするためにある程度の脂溶性が付加されています。また、そのことが組織集中・蓄積等の様々

な問題をもたらしている現状があります。さらに、高分子の中でも特に遺伝子を細胞内に導入する遺伝子導入技術は、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として大変重要とされていますが、これまでに提案されてきました電気穿孔法を代表とする従来法において、効率・細胞毒性の面で改善が必要とされています。従いまして、細胞毒性がなく、水溶性高分子を細胞内に効率良く届ける技術の開発が急務となっております。これに対して、安価な設備を用いた画期的な遺伝子導入法としてプラズマ照射の利用が 2005 年に報告されていますが、その機構が不明であり、実用化には至っておりません。そこで我々は、高効率・低侵襲遺伝子導入技術開発に向けて、大気圧プラズマ照射に誘発される高分子の細胞内導入機構解明に取り組みました。

高分子の細胞内導入量を評価する上で、最も重要だったのが、「何」を導入し、「どのように」評価するのかという点です。最も良く用いられるのは、分子量の制御された生体に毒性のない物質に蛍光色素を修飾して、蛍光強度から細胞内導入量を定量するものです。我々もこの手法から試みましたが、二つの大きな問題がありました。一つは、プラズマ照射が蛍光色素の修飾を切断してしまうことであり、もう一つの問題は細胞膜の外側に物質が付着してしまうことです。このために、「細胞内導入量」を正確に定量することが困難でした。この問題を解決するために、我々は導入物質を非膜透過性蛍光物質である YOYO-1 を用いております。この物質は細胞内の DNA に結合して蛍光強度が 1000 倍以上になることから、蛍光強度が

細胞内導入量と強く相関します。

実験は、ヘリウムを原料ガスとした2種類の大気圧プラズマジェット（周波数 $f \approx 10$ kHz, 電圧 $V_{p-p} \approx 10$ kV）を用いて行いました（図1）。一方は細胞懸濁液を液体電極とする電極配置でのプラズマ生成を行うものです。蛍光物質 YOYO-1 をあらかじめ混合した細胞懸濁液に対して様々な条件下で照射を行い、細胞内導入効率及び細胞生存率を評価しております。

図2に示しますように、電界パルスのみを使用する電気穿孔法では低い生存率であるのに対して、プラズマ照射の場合は、生存率を高く保ちながら効率良く導入が可能となっていることがわかります。さらに、プラズマジェットの拡散距離（プラズマ生成領域から細胞懸濁液までの距離）を短くすることで、効率良く導入可能になったことから、細胞懸濁液の直上でプラズマを生成するように改良を加え、高効率化に成功しました。このことは、拡散中に損失する活性種・荷電粒子が導入に寄与していたことを示唆しています。

仮にプラズマ照射が誘発する細胞への電氣的ストレス及び酸化ストレスが細胞膜に小孔が形成したとすれば、電気穿孔法のように死細胞判別試薬も同様に細胞内に導入され、死細胞と判別されるはずですが、プラズマ照射は YOYO-1 のみを効率良く導入しています。従いまして、単なる物理的・化学的負荷だけでなく、生物学的応答がこの輸送に関与していると考え、現在、導入機構を明らかにしようと試みています。

このように、細胞損傷無く、高分子薬剤を高効率に導入できる装置として、大気圧プラズマ装置が持つ潜在性に期待しております。最後になりますが、この受賞を励みに今後も一層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。

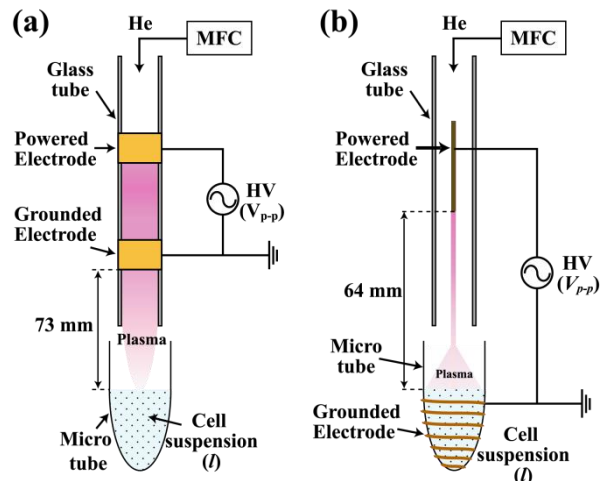


図1：(a) 拡散型プラズマジェット, (b) 改良型プラズマジェットの概略図。

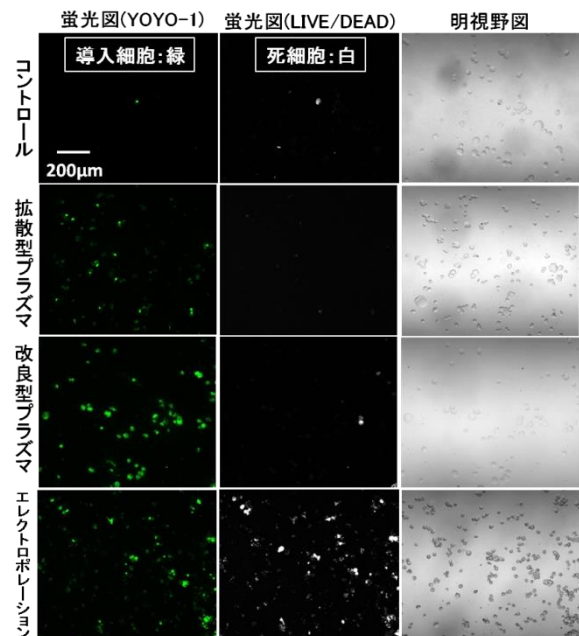


図2：導入効率・生存率におけるプラズマ照射とエレクトロポレーション（電気穿孔法）の比較。

参考文献

- [1] S. Sasaki, M. Kanzaki, and T. Kaneko : Appl. Phys. Express 7 (2014) 026202.

国際会議報告

7th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Application for Nitrides and Nanomaterials / 8th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma2015/IC-PLANTS2015)

名古屋大学 齋藤 永宏

本文

ISPlasma は、文部科学省の支援を受け、東海広域ナノテクものづくりクラスター事業の一環として、当地域に国際競争力を有する先進プラズマナノ科学研究拠点を形成するために 2009 年から毎年開催されている国際会議で、今回は 7 回目となる。一方、IC-PLANTS は、本邦唯一の産業応用プラズマセンターである名古屋大学工学研究科附属プラズマナノ工学研究センターの主催の国際会議として 2008 年から毎年開催されており、2014 年より、この 2 つの国際会議を合同で開催しており、合同会議として 2 回目となる今回は、先進プラズマナノ科学、およびナノ材料、窒化物半導体研究に加え、表面機能化研究までも包括的に対象分野として 2015 年 3 月 26 日～3 月 31 日の 6 日間にわたり名古屋大学にて開催された。本会議では、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世界中から優れた研究者が集い、先進プラズマ科学、機能性半導体とナノ材料/マイクロ加工、表面機能化への応用について広く議論するとともに、最新の研究成果を発表して、分野を超えた議論を行った。

プラズマを中心として、応用分野の窒化物半導体やナノ材料分野を一つの学会で議論できることから、プラズマを中心とする異分野交流の国際会議として認知されつつある。会議全体の参加者数は年々増加しており、今回は 850 名を超えた。海外からも東アジア、東南アジア地域を中心に、世界 23 ヶ国 251 名が参加し、世界に認知された国際学会としての地位を確立した。また、発表件数は、616 件ののぼり活発な議論がなされた。

本会議は 4 つのセッションに、18 のサブセッションを設けて、各サブセッションごとに招待講演・一般講演およびポスター発表を行った。各セッション・サブセッションは以下の通りである。

(1) プラズマ科学

A1: プラズマ工学、A2: プラズマ蒸着
A3: プラズマ医療、A4: プラズマ応用
A5: 大気圧プラズマ
A6: ソリューションプラズマ

(2) 機能性半導体

B1: 窒化物プロセス
B2: 窒化物応用および機能性半導体
B3: SiC・ダイヤモンド・その他

(3) ナノ材料・マイクロ加工

C1: ナノ構造・コンポジット材料
C2: 触媒/二次電池
C3: ソーラーセル
C4: 環境・エネルギー材料
C5: マイクロ・ナノ流体工学、マイクロ TAS

(4) 表面機能化

D1: ハードコート、D2: 化学プロセス
D3: 機能表面、D4: バイオ表面

今回は、会議に先立って、本会議では初めての試みである工場見学を行った。本地域を訪問する外国からの研究者および県内の研究者に対して、名古屋の産業および文化を理解してもらうことを目的に、トヨタ自動車株式会社を訪問した。愛知県は、自動車産業の世界的なメッカであり、東海エリアの大学とも強い結びつきをもちながら産学連携を推進している。35 名程の海外からの参加者が、自動車産業が有する技術を興味深く見学し、東海エリアの技術的な土壌への理解を深めていた。

会議初日午前は、名古屋大学坂田・平田ホールにて、組織委員長の齋藤教授が開会の挨拶を述べた後、University of Houston, Vincent M. Donnelly 教授による“Plasma Etching: Current Trends and Future Prospects”の講演、京都大学、松波弘之教授による“State-of-the-art Power Semiconductor

SiC”の基調講演が行われた。

午後からは、5つの会場に分かれて、プラズマ科学、機能性半導体、ナノ材料・マイクロ加工、表面機能化のセッションで、招待講演と一般講演による最新の話題に対して、専門性の高い活発な議論が繰り広げられ、その後ポスター発表が行われた。ポスター発表は、それぞれのセッションの発表が一同に介して行われ、分野の融合が図られた。

二日目午前は、東京大学 堂免一成教授による“Some (oxy)nitride photocatalysts for water splitting”の講演が行われた。引き続き、Linköping University の Ulf Helmersson 教授による“High Power Impulse Magnetron Sputtering - Physics and Applications”の講演が行われた。また、初日同様に2日目以降も、セッションごとにパラレルセッションが行われ、その後ポスター発表が行われた。

3日目には、東京大学 荒川泰彦教授による“Progress in III-Nitride Quantum Dots”、NTT 基礎研究所 住友浩二博士による“Nanobiodevice for mimicking synaptic connections”、University of Surrey、Ravi Silva 教授による“Developing Nano-Carbon Platform Technologies”が行われた。また、午後からは、2014年ノーベル物理学賞を受賞した天野浩教授による特別講演を実施し、“Beyond blue LED”のタイトルで御講演を頂いた。参加者は、本年度ノーベル賞受賞により大きな脚光を浴びた天野浩教授が成し遂げた技術について熱心に耳を傾けていた。

最終日は、九州大学白谷正治教授による“Plasma processes in 21st century”の基調講演が行われ、今後のプラズマプロセスの方向性が示された。本会議を通して、プラズマを中心とした応用先との連携が強化された。また、ナノ材料、表面機能化の研究者を中心に積極的に参加を呼びかけた結果、初めて本会議に参加する研究者も多く見られ、本会議の認知度を高めるとともに、プラズマ分野との融合も進展した。

前回に引き続き、今回もプラズマ科学、機能性半導体、ナノ材料、表面機能化のそれぞれの分野における優秀発表賞、優秀ポスター賞を選定し、表彰式が行われた。受賞者は以下の通りである。

Best Presentation Award (Oral)

Plasma Science :

Yasunori Tanaka, Kanazawa University, Japan
Chemical Non-Equilibrium Modelling of Induction Thermal Plasmas with CH₄/H₂ Gas Injection for Carbon Film Deposition

Functional Semiconductors

Shunta Harada, Nagoya University, Japan
"Correlation Between Grown Polytypes and Activity Ratio During Solution Growth of SiC with Multi-Component Solvent"

Nanomaterials and Nano/Micro Fabrication

Nobuyuki Matsuki, Gifu University, Japan
"Characterization of Nanometer-Size Void Structure in a-Si:H/c-Si Heterojunctions Based on a Correlation Between Optical and Positron Annihilation Parameters"

Surface Functionalization

Nasruddin, Kanazawa University, Japan
"Controlling the Effect of Cold Plasma Treatment on Mouse Skin Wound by Modifying Its Surface Using Water"

Best Poster Presentation Award (Poster)

Plasma Science

Mardiansyah Mardis, Nagoya University, Japan
"Synthesis of Composite Nanoparticles by Laser Ablation in Liquid CO₂"

Functional Semiconductors

Atsushi Saito, ULVAC, INC., Japan
"Radical Assisted Sputtering for GaN Seed Crystal of Na Flux LPE"

Nanomaterials and Nano/Micro Fabrication

Shu Saeki, TOYOTA Central Research and Development Laboratories, Inc., Japan
"Photocatalytic Activity and Improved Stability of Nitrogen Doped Titanium Oxide Loaded with Cu or Fe"

Surface Functionalization

Md. Suruz Mian, Tokai University, Japan
"Dependence of Out-of-plane Insulator-metal Transition Characteristics of VO₂ Films on Bottom Electrode in Layered Structure Device"

次回の ISPLasma2016/IC-PLATNS2016 は、名古屋大学にて、2016年3月6日(日)~10日(木)に開催の予定である。

国内会議報告

2015 年 第 62 回応用物理学会春季学術講演会 第 14 回分科内招待講演報告

(株)日立製作所 前田 賢治

2015 年 3 月 11 日から 14 日まで東海大学湘南キャンパスで開催された第 62 回応用物理学会春季学術講演会の第 2 日目に、プラズマエレクトロニクス分科会企画の招待講演が行われました。分科内招待講演ではこれまでに数多くの著名な先生方からお話をいただいてきましたが、第 14 回目にあたる今回は、東京工業大学の石井彰三先生をお招きし、「プラズマを学び科学・技術の最先端に挑戦する」というタイトルでご講演頂きました。

プラズマを学ぶことは、原子・分子レベルの視点から、材料・物質、エレクトロニクス、機械、エネルギー等の知見を総合的に得ることにほかならず、また近年では生体や医療にまでプラズマ応用の裾野が広がりつつあることをまず冒頭で述べられました。次に「非線形」「非定常」「界面」「微細化」のキーワードに基づき、ご自身の研究業績をご紹介頂きました。約 40 年前の学位取得時に研究なさった θ ピンチプラズマや、 Z ピンチプラズマに関して、当時、25000V でチャージしたコンデンサを用いて 20cm、1Turn のコイルにパルス大電流を流すことでプラズマ生成を行い、手作りの高速度カメラを用いて過渡現象を観測なさったとの事です。当時の計測機器の性能を考えると、高速な非定常状態の計測自体も、非常に先鋭的な研究であったと推察されます。

その後、先生は新たにマイクロプラズマの研究を立ち上げられました。プラズマの空間的尺度を 3 桁ほど「微細化」する事で質的变化が生じる、即ち、大気圧中で安定に DC グロー放電が生成で

き、気体に加えて液体や固体が介在するプラズマ技術が利用できるようになるとの事です。内径 190 μm の金属チューブ陽極とメッシュ状陰極間の微細ガス流を用いたマイクロ放電が、負グロー、ファラデー暗部、陽光柱といった低圧 DC グロー放電に対応した構造を有することや、液体電極とプラズマの「界面」に生じる発光の自己組織化パターンが放電電流によって様々に変化するという興味深い結果をご説明頂きました。これらマイクロプラズマの一連の成果が、ここ数年の大気圧プラズマの生体・医療応用の急速な発展の礎となっていることは明らかであります。講演の結びには、現役研究者へのエールとして、「人間としての哲学を持ちながら、プラズマの視点から挑戦する」という前向きなメッセージを頂戴いたしました。

最後に、ご講演いただきました石井先生及び、本招待講演にお集まり頂きました方々に、深く感謝の意を表します。



石井先生のご講演風景

2015 年第 62 回応用物理学会春季学術講演会 「微粒子合成法とその応用最前線」報告

名城大学 伊藤昌文

春季学術講演会の 2 日目の 3 月 12 日（木）に分科会企画のシンポジウムが開催された。微粒子は質量当たりの表面積の比が大きいことや量子効果などから次世代で重要となる燃料電池、二次電池、太陽電池などの電池材料やバイオ試料の蛍光修飾用の蛍光材料を始め多くの分野での応用で重要となってきた。この微粒子合成法としては化学的な合成法、プラズマを用いた合成法など多種多様な合成法がある。本シンポジウムでは、これらの合成法のメリットデメリットを明らかとし、相互の知見を利用することで現状の課題の解決法や今後の可能性について、普段プラズマとは無縁の微粒子合成を行っている先生方も講師として招き講演をしていただいた。

最初に九州大学の渡辺隆行先生から熱プラズマによるナノ粒子合成はまだ要求される粒径や物性をもつ微粒子を正確かつ大量に生産するまでには至っていない現状やその課題を解決するために開発されてきた熱プラズマの発生システムやプロセスの数値解析的なアプローチについて紹介していただいた。

日清製粉グループ本社の中村圭太郎先生からはその熱プラズマにより合成したナノ微粒子を光触媒や導電性ペーストなどに応用した例について紹介していただいた。

さらに、九州大学の白谷正治先生からは非平衡プラズマによる微粒子の合成・凝集・輸送制御に関する話を紹介していただき、プラズマによるナノ粒子の 3 次元的な輸送を用いて 3D ナノプリン

ティングの並列プロセスの可能性が示された。

一方、東京大学の佃達哉先生からはチラオートやフォスフィンなどの配位子で保護された金クラスターの科学的な合成法について紹介され、正二十面体構造の Au_{12} を基本構造として含む金クラスターは配位子への電子移動によって形式的に 8 個の価電子をもった電子的にも閉殻構造の安定な超原子 $Au_{13}^{5+} (8e)$ と見なせ、これを基本単位として新しい階層性の分子群（超原子分子）が構築できることなどを紹介していただいた。

静岡大学の永津雅章先生からは低圧プラズマにより磁性微粒子をカーボンで表面コーティングすることで酸化を防止し、そこへさらにアミノ基などを修飾することでウィルスを高感度で検出したり、セシウムイオンなどを除去したりするための応用に使えるという結果が紹介された。

次に、北陸先端大の前之園信也先生からはコロイド化学的手法によりナノ微粒子を合成する様々な手法を歴史的な展開も含めて詳しく紹介された。最近ではこれらの化学的な合成法で粒径のそろったヘテロ構造のナノ微粒子を大量合成できる手法も紹介された。これの手法はプラズマ表面修飾の種微粒子として使うなどの面白い新たな応用の可能性を感じる事ができた。

東京大学の寺島和夫先生からは超臨界プラズマでないと合成できない高次ダイヤモンドイドというダイヤモンド分子の合成法の話が紹介され。第 4 のカーボンマテリアルとしての期待を感じた。

北海道大学の米澤徹先生からはマイクロ波を用

いた液中プラズマで水の還元作用で白金ナノ粒子を効率よく合成したり、逆に Zn や W などは金属酸化物ナノ粒子として容易に合成されたりすることなどが紹介された。

物財機構の目 義雄先生からはセラミック微粒子と多層カーボンナノチューブやグラフェンとの緻密なナノコンポジット材料や MAX 相と呼ばれる炭窒化物粒子溶液を強磁場中でコロイド成形し、焼結することで強度・靱性に酔連れた材料を合成した例などが紹介された。

この他、高知工科大学の八田章光先生のグループからは間欠スパッタによる Fe 微粒子の形成、首都大学東京の白井先生からは液体電極を用いた大気圧プラズマに磁性ナノ微粒子生成に関する一般の発表があった。

最後に、東北大学の金子俊郎先生から、これらシンポジウムで発表された合成法を多角的な観点

から聴講者に大変わかりやすい形でまとめていただいた。

聴講者数は 100 名を超え、それぞれの話題に対して活発に質疑がなされた。またプラズマとは異なる分野の講演者を招くことにより、普段は分野が異なり、なかなか情報が入ってこない化学的な微粒子の合成法の話聞くことができ、プラズマによる微粒子合成のメリットとデメリットや化学的合成法との融合によるさらなる可能性を再認識できる大変有意義なシンポジウムとすることができた。

最後に、今回のシンポジウムの講師、参加して活発な議論をしていただいた方々、シンポジウムのアレンジに多大なご協力いただいたプラズマエレクトロニクス分科会幹事の皆様に感謝の意を表す。

国内会議報告

2015 年春季 第 62 回応用物理学会学術講演会 チュートリアル講演報告 首都大学東京 白井 直機

応用物理学会では「チュートリアル講演」として最新のトピックに繋がる基礎的な内容の講義を実施している。2015 年応用物理学会春季学術講演会では 3 月 11 日(水)9:00~12:10 に、東京工業大学の赤塚洋先生、産業総合技術研究所の布村正太先生をお迎えして、[発光分光計測法によるプロセスプラズマの実践的計測の基礎と応用]というトピックで開催された。分光計測はプラズマへの擾乱なく計測できる点、測定自体は比較的容易で強力な測定ツールである一方で、それらのデータを正しく解釈することは難しく、プロセスプラズマから大気圧プラズマの研究まで含めて、大学・産業界で誰もが聞いてみたかったトピックの 1 つであったと思われる。今回ご講演くださった赤塚先生、布村先生はプラズマの分光計測においてはプロフェッショナルの先生であり著者自身も勉強になる貴重な講演であった。

前半の赤塚先生の講演では分光と他の計測法の比較、分光の原理、分光器の校正、素過程、電子温度・密度診断、実際のプラズマ計測と基礎的なところから実践的なところまで、式を用いて丁寧に説明してくださり大変勉強になった。質疑では、当日先生が追加されたスライドでスペクトルの強度比から、電子密度電子温度の変化を示した図があったが、そういったデータをもっと提供してほしいといった要望・議論があった。その中でドイツの Czarnetzki 先生のグループが最近そういったデータで論文があったということを知り著者も早速調べてみたところたしかにあり参考になった[1]。ユーザーがすぐに計測できるデータは発光スペクトルの強度比くらいであり、そういったデータが今後公開されてくると現象のモニタリ



写真 1. 会場の様子

ングとして大変役立つと思われる著者も期待している。

後半の布村先生の発表では、実際の現場でのプロセスプラズマにおける計測例が示された。冒頭では、実際に小型分光器を用いてネオン管や蛍光灯の分光計測の実演をされ、聴講者の理解も膨らむものであった。実際の計測結果をあげながらの説明は大変有意義であった。最後のまとめとして、「発光分光は、勘弁・安価でプロセスのモニタリングツールとして非常に有効であるが、発光分光計測のみから、プロセス状態の多くを把握することは困難であり、他の手法との併用で、モニタリングの高度化が可能となる」という言葉は、分光計測の有効性と、それだけでは万能ではないということを理解しながら利用していく必要があるということに改めて認識させられた。

聴講者の反応は大変好評であり学生さんたちも「大変勉強になった」「こういった理論の話を今後もチュートリアルで聞いてみたい」という感想を直接聞いており今後もチュートリアルでこういった講演が聞けることを著者も楽しみにしている。

参加者数 49 名 (学生 21 名、一般 23 名、非会員 5 名)

参考文献

[1] S. Siepa et al. J. Phys D 47 (2014) 445201

国内会議報告

プラズマ制御科学研究センター2014年度 第2回研究会 “自己組織化・微粒子プラズマと複雑システム”

京都工芸繊維大学 林 康明

「プラズマ制御科学研究センター」は、京都工芸繊維大学のプロジェクトセンターとして2013年度より発足しました。センター長（林）の他、学内外からの12名のプロジェクト研究員と25名の研究協力者より構成されています。大学構内の総合研究棟内に拠点となる一室を借り受け、共同研究や研究交流を進めています。また、年2回の定期的な研究会や臨時セミナーを開催し、講演依頼や研究発表を行って、最前線の研究や基礎となる物理に関する討論・情報交換・調査を行うための場としています。

本センターの目的は、「計測技術を駆使してプラズマの特性を解析し固有の制御方法に関する理念を確立すると共に、材料・デバイス開発やエネルギー応用への展開を目指して新しい制御技術や材料作製技術を創出すること、およびプラズマ制御科学・技術を基盤とした国内および国際的共同研究を推進すること」としています。特に、微粒子プラズマ、非中性プラズマや逆磁場ピンチプラズマなど自己組織化現象を顕著に発現するプラズマを中心として、広く、相転移・臨界現象、非線形現象、複雑システムについての探究を行っています。研究会やセミナーでは、納得いくまで深く討論が行えるよう、質疑応答に十分な時間を設けています。さらに、研究員・研究協力者・招待講演者間の親睦と共に、情報交換や議論を行う場として一日目の夕方に懇談会を行っています。

2014年度第2回研究会は、3月27-28日に (<http://fpp.es.kit.ac.jp/projectworkshop2014-2.pdf>)、「自己組織化・微粒子プラズマと複雑システム」のテーマで実施しました。プログラムは下のとおりです。研究会は公開としています。

27日（金）午後

- 1:00~1:10 はじめに 林康明（京工織大）
- 1:10~2:10 「ソフトマター系における自己組織化現象のコンピュータ・シミュレーション」藤原進（京工織大）
- 2:30~3:50 「自己組織化の数理を俯瞰する」羽鳥尹承（核融合研 名誉教授）
- 4:00~5:00 「長距離相関に支配される点渦系の緩和と自己組織化の運動論的理解」八柳祐一（静大）
- 5:20~6:20 「大気中の放電による大気イオン生成および大気エアロゾルのイオン化機構の解明」伊藤智子（大阪大）

6:30~ 懇談会

28日（土）午前

- 9:30~10:00 「高周波放電プラズマ中に浮遊する異径微粒子集団の運動観察」三重野哲（静大）
- 10:00~10:30 「プラズマ中の微粒子流における渦形成の実験」齋藤和史（宇都宮大）
- 10:30~11:00 「微粒子プラズマにおけるボイドの形成とプラズマ計測」高橋和生（京工織大）
- 11:15~12:00 総合討論



講演（左）および懇談会（右）の様子

行事案内

第9回インキュベーションホール

大阪大学 節原裕一

プラズマエレクトロニクス研究を始めたばかりの初学者（学生・若手研究者・社会人技術者）を対象として、一流の講師陣を招きプラズマエレクトロニクスへの理解を深めて頂くための講習会・インキュベーションホールを開催いたしますので皆様にご案内申し上げます。

プラズマ生成・制御，プラズマ診断計測，プラズマ CVD，プラズマエッチングなどの、幅広い分野に関する専門講座を開講します。講述内容は、初学者が基礎学理をしっかりと理解したうえで、当該分野における最新科学の話題にも触れられるように構成されており、海外経験，企業経験，産学連携経験などの豊富な講師陣からは、留学・在外研究経験，企業で必要とされる資質，産学連携のエピソードなどを適時交えた講義を頂き，受講生のプラズマプロセス研究への興味を喚起します。

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

記

【会期】2015年(平成27年)9月1日～9月3日

【会場】国立中央青少年交流の家

〒412-0006 静岡県御殿場市中畑 2092-5

【交通】JR 御殿場駅より富士急行「青少年交流の家」行き路線バス（富士山口 1 番のりばより）（約 20 分）「青少年交流の家」下車

【参加費】(PE:プラエレ分科会)

一般 40,000 円 学生 14,000 円 (応物 PE 会員)

一般 43,000 円 学生 17,000 円 (応物会員)

一般 48,000 円 学生 22,000 円 (協賛団体員)

一般 53,000 円 学生 27,000 円 (その他)

※応用物理学会賛助会社および PE 分科会賛助会社所属の方はそれぞれの個人会員扱いとさせていただきます。 **遠方からの会員学生(含大学院生)に対して交通費の一部を補助する予定です。***本分科会会員（年会費 3,000 円）に同時入会頂くと，今回から会員価格で参加出来ます。会員には，年 2 回の会報（非売品），過去 26 回の研究会プロシーディングス Web 閲覧，各種スクールへの会員料金での参加などのメリットがあります。入会手続きは <https://www.jsap.or.jp/>より行って下さい。

【協賛団体（予定）】日本物理学会，電気学会，プラズマ・核融合学会，日本化学会，電子情報通信学会，高分子学会，日本セラミックス協会，放電学会，日本真空学会，日本学術振興会プラズマ材料科学第 153 委員会，静電気学会，日本金属学会，表面技術協会，日本鉄鋼協会，日本オゾン協会，電気化学会，日本表面科学会，原子衝突学会

【講義内容（暫定）】

・藤山寛先生（長崎大）特別講座『役に立つプラズマ技術をめざして～これまでとこれから～』

・酒井道先生（滋賀県立大）プラズマ生成

・中村圭二先生（中部大）プラズマ診断・計測

・布村正太先生（産総研）プラズマ CVD/PVD

・関根誠先生（名古屋大）プラズマエッチング

・山本直嗣先生（九州大）プラズマの宇宙応用

・小川大輔先生（中部大学）理科系のための英語講座

【ポスターセッション】

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

□ 学生の場合：現在の研究テーマにまつわるもの、学部での卒業研究など（４年生の場合これから行う研究など）

□ 社会人の場合：仕事まつわるもの、企業・自社製品のPR、入社前の大学での研究など

であれば、内容・分量は一切問いません。幅 0.9m×高さ 1 m 程度のボードが用意されますので、あらかじめポスターのご準備をお願いします。本ポスターセッションは全員の方の発表を原則としますが、発表に支障がある場合は事前参加申込書にその旨をご記入下さい。

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

【参加申込】

本企画ホームページからお申し込みください。ポスター内容を示すキーワードを3つ程度記入いただきます。参加登録の確認を通知しますので、参加費を銀行振込願います。なお、参加費の振込では必ず個人名と「PEIH」という4文字のアルファベットを記載してください（例：木村太郎さんの場合“キムラタロウ PEIH”など）。一旦振り込ま

れた参加費は、原則として返却いたしません。

【定員】 60名

【申込締切】 7月30日(木)、振込8月7日(金)迄

【参加申し込み】下記の会合URLに参加フォームを設置しておりますので、ご覧ください。

【振込先】 三井住友銀行 本店営業部(本店でも可) 口座(普通)3339808 (公社)応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会

【問合せ】松井信 (Makoto Matsui)

〒432-8561 静岡県浜松市中区城北3-5-1
静岡大学工学部 総合研究棟 R503

TEL : 053-478-1064

e-mail: matsui.makoto@shizuoka.ac.jp

【担当幹事】

校長： 節原 裕一（大阪大学）

幹事： 赤松 浩（神戸市立高専）

石島 達夫（金沢大学）

板垣 奈穂（九州大学）

井上 泰志（千葉工業大学）

大島 多美子（佐世保高専）

小川 大輔（中部大学）

上坂 裕之（名古屋大学）

松井 信（静岡大学）

【参考】

http://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/PE_S_S_2015/

行事案内

2015 年第 76 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

首都大学東京 朽久保文嘉

■ はじめに

2015 年 9 月 13～16 日に名古屋国際会議場にて第 76 回応用物理学会秋季学術講演会が開催されます。本稿では、関係する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、不確定な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。

■ 海外招待講演／English Session

以下の 2 件の海外招待講演を予定しております。

日程：9 月 13 日（日）を予定

□ Prof. Yi-Kang Pu (Tsinghua University, China)

“Evolution of electron parameters in the afterglow of low pressure capacitive discharges”

□ Dr. Peter L. G. Ventzek (Tokyo Electron America, Inc.)

(講演題目は現時点で照会中)

前回の講演会より、「8.0 Plasma Electronics English Session」として English Session の講演募集が行われております。今回も同様に、プラズマエレクトロニクス全体での English Session を構成し、その中に上述の海外招待講演 2 件を含める形で計画しております。今回は 10 月の ICRP/GEC@Hawaii の前哨戦でもありますので、学生さんを含め、ハワイで発表予定の皆様にも広く English Session を利用いただければと考えております。

■ 分科会企画シンポジウム

学会 2 日目の 14 日（月）に、分科会企画シンポジウム「プラズマ医療科学の最前線」を開催いたします。今回は、新学術領域研究「プラズマ医療科学の創成」（領域代表：堀 勝 先生（名大））で蓄積された知見を中心として様々な観点から講演いただきます。また、一般講演から 2 件が下記のプログラムに加わる予定です。最終確定版のプログラムは、後日に Web でご確認ください。

日程：9 月 14 日（月）

会場：未定

プログラム（タイトルは仮題、敬称略）：

1. 「プラズマ医療科学の現状と課題」

堀 勝（名大）

2. 「プラズマ医療装置に求められている要素と世界動向」

節原裕一（阪大）

3. 「プラズマと放射線との物理化学的作用の相違」

近藤 隆（富山大）

4. 「プラズマと生体との分子生物学的相互作用」

水野 彰（豊橋技科大）

5. 「プラズマによる癌治療」

吉川史隆（名大）

6. 「プラズマによる生体活性化」

平田孝道（東京都市大）

7. 「プラズマ遺伝子導入」

金子俊郎（東北大）

8. 「プラズマ止血とそのメカニズム」

池原讓（産総研）

9. 「酸化ストレスとプラズマ医療科学への期待」

豊國伸哉（名大）

■ プラズマエレクトロニクス賞受賞記念講演／ 講演奨励賞授業記念講演

第 13 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。また、2015 年春季の講演奨励賞は、岩井亮憲氏(京都大学大学院)が受賞されました。この場を借りてお祝いを申し上げます。プログラムを確認の上で、受賞記念講演会場まで足をお運びください。

プラズマエレクトロニクス賞受賞記念講演

日程：9 月 14 日 (月) (予定)
会場：未定

受賞者 (敬称略)：本間啓一郎 (東京大学), 神原淳 (東京大学), 吉田豊信 (東京大学)
選考の対象となった業績：High throughput production of nanocomposite SiO_x powders by plasma spray physical vapor deposition for negative electrode of lithium ion batteries, *Sci. Technol. Adv. Mater.* **15**, 025006 (2014).

受賞者 (敬称略)：久保井信行 (ソニー(株)), 辰巳哲也 (ソニー(株)), 深沢正永 (ソニー(株)), 木下隆 (ソニー(株)), 小町潤 (ソニー(株)), 安斎久浩 (ソニー(株)), 三輪浩之 (ソニー(株))
選考の対象となった業績：Effect of open area ratio and pattern structure on fluctuations in critical dimension and Si recess, *J. Vac. Sci. Technol. A*, **31**, 061304 (2013).

講演奨励賞受賞記念講演

日程・会場：未定

受賞者：岩井亮憲 (京都大学大学院)

選考対象の発表：メタマテリアル効果を用いたマ

イクロ波プラズマでの高調波生成の効率化(II)

■ 分科内招待講演

第 15 回目となる分科内招待講演では、豊橋技術科学大学の水野彰先生、ソニーの辰巳哲也様より講演いただきます。是非、会場まで足をお運び頂きますよう、お願い申し上げます。

日程：9 月 14 日 (月) (予定)

会場：未定

水野 彰 先生 (豊橋技術科学大学)

講演題目：「低温プラズマを用いる PM2.5・ガス状汚染物質対策」

辰巳 哲也 様 (ソニー)

講演題目：「プラズマプロセスの定量的な理解と制御に向けて」

■ おわりに

本案内を執筆している時点では、プログラムの詳細は未定ですが、English Session と海外招待講演は初日の 9 月 13 日に、シンポジウムを始めとする他の分科会企画は 2 日目の 9 月 14 日に実施される予定です。最終プログラムを確認の上で会場までお越しくください。

9 月 14 日の昼には、PE 分科会のインフォーマルミーティングが、同日夕刻には、恒例の PE 分科会懇親会が企画されます。詳細は担当幹事から改めて案内されますので、是非、スケジュールに加えておいて下さい。

その他、不明な点がございましたら、お気軽にお問合せください。

連絡先：朽久保 (首都大学東京) : tochi@tmu.ac.jp

行事案内

第 10 回アジアヨーロッパプラズマ表面工学国際会議 The 10th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2015)

大阪大学接合科学研究所 節原 裕一

この国際会議は、ドイツの Garmisch-Partenkirchen で隔年開催されているプラズマ表面工学国際会議 (Plasma Surface Engineering : PSE) の中間年に、アジアで開催されており、1997 年にソウルで開催された初回から、本邦での 2001 年に名古屋で開催された第 3 回 AEPSE (AEPSE 2001 : 委員長 高井 治 先生 ; The 6th Asian Surface Finishing Forum 6th との共同開催)、2007 年に長崎で開催された第 6 回 AEPSE (AEPSE 2007 : 委員長 藤山 寛 先生) を経て、今回で第 10 回を迎えます。

今回で第 10 回目の記念を迎える標記国際会議は、2015 年 9 月 20 日～24 日の 5 日間にわたって、韓国・済州島の Ramada Plaza Jeju Hotel で開催されます。

当該国際会議は、Asian Joint Committee for Applied Plasma Science and Engineering (AJC-APSE) が主催し、European Joint Committee on Plasma and Ion Surface Engineering (EJC / PISE) ならびに Korea Vacuum Society (KVS) の共催で、名古屋大学の堀勝先生が Conference Chairman を務められ、International Program Committee 委員長として九州大学の白谷正治先生、Advisory Board 委員として藤山 寛先生、General Managing Secretary として東京工業大学の野崎智洋先生、Executive Co-Chairman として下名が関わっています。

当該会議の開催要領は以下の通りであり、従来

の当該国際会議を引き継いだトピックスに加えて、第 10 回の記念すべき国際会議として新たに企画された Tutorial Session ならびに Topical Workshop、さらには表彰制度 (K-T Rie Award、Young Scientist Award、Student Award) の新設をはじめ盛り沢山であり、当分科会からも多数の御参加をお待ち申し上げ、本案内を差し上げます。

特に、Tutorial Session では、基礎講座に加えて、"HiPIMS"さらには、"Plasma Rejuvenation and Dermatology"をとりあげ、Topical Workshop では、"Green Technology"、"Life Science and Bio-Technology"、"Energy and Environment"、そして "Mobility" をテーマに、世界的に著名な研究者を招聘し、将来に向けた議論を深めます。

会議名 : The 10th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering (AEPSE 2015)

会期 : 2015 年 9 月 20 日～24 日

会場 : Ramada Plaza Jeju Hotel (韓国・済州島)

詳細は本会議の web サイトをご参照下さい。

<http://www.aepse2015.org/index.php>

Important Dates

Abstract Submission Deadline: May 15, 2015

Notification of Abstract Acceptance: Jun 15, 2015

Early Bird Registration Deadline: Jul 31, 2015

Deadline for exhibition application: Aug 07, 2015

Manuscript Submission Deadline: Oct 30, 2015

行事案内

第9回反応性プラズマ国際会議/第68回気体電子会議合同会議/ 第33回プラズマプロセッシング研究会 9th International Conference on Reactive Plasmas(ICRP-9)/ 68th Gaseous Electronics Conference(68th GEC)/ 33rd Symposium on Plasma Processing(SPP-33)

2015年10月12日～16日開催

名古屋大学 ICRP-9 組織委員長 豊田 浩孝

プラズマエレクトロニクス分科会では分科会国際会議として反応性プラズマ国際会議(International Conference on Reactive Plasmas: ICRP)を開催しており、これまでに第1回から第8回まで日本をはじめアメリカ、フランスにて開催してきました。前号の分科会報でご案内しましたとおり今回のICRP-9はGECと合同にて本年10月12日～16日の日程でハワイオアフ島のHawaii Convention Centerにて開催されます。

本会議はICRPからは京都大学斧高一先生の基調講演、GECからはGEC Foundation TalkとしてJ. Gay Timothy先生による講演が行われますとともに、プラズマの基礎から応用まで世界から50名を超える招待講演を予定しております。また、プラズマ医療に関するワークショップも開催されます。

今回の会議はアメリカ本土と日本の間に位置するハワイにおける会議開催であり、アメリカをはじめ世界各国からプラズマ科学とその応用に携わる研究者が一堂に会する素晴らしい会議になると存じます。また今回は大変魅力的な開催場所と思います。ぜひとも多くの方にご参加をいただきますようお願い申し上げます。

【主催】：応用物理学会/アメリカ物理学会

【会期】：2015年10月12日～16日

【会場】：Hawaii Convention Center

1801 Kalakaua Avenue, Honolulu,

HP: <http://jp.hawaiiiconvention.com/>

【会議トピックス】

(i) 反応性プラズマの発生・制御, (ii) 反応性プラズマの診断・計測, (iii) 反応性プラズマ内の輸送現象と原子分子素過程, (iv) モデリングとシミュレーション, (v) パーティクル・ダストの発生と挙動, (vi) プラズマ-固体相互作用と表面改質等への応用, (vii) エッチング, (viii) デポジション, (ix) マイクロ, 大気圧プラズマの応用, (x) ナノテクノロジー, バイオテクノロジーへの応用, (xi) プラズマの医療応用, (xii) 反応性プラズマの新展開

【参加費】

【会議論文集等】 発表論文の一部をJapanese Journal of Applied Physics Special Issueとして刊行予定です。

Conference Fee: USD	On & before August 31, 2015	On & after August 31, 2015
Regular	550	700
Students / Retirees	275	350
One-Day	350	400
Accompanying Person	160	200

【ICRP-9組織委員長】 豊田 浩孝 (名古屋大学)

【問合せ先】 ICRP-9 事務局 中村圭二(中部大学)

E-mail: icrp9_office@plasma.engg.nagoya-u.ac.jp

会議 HP :

<http://www.plasma.engg.nagoya-u.ac.jp/icrp-9/>

行事案内

37th International Symposium on Dry Process (DPS 2015) 第 37 回ドライプロセス国際シンポジウム

大阪大学 浜口智志

第 37 回ドライプロセス国際シンポジウム（以下、「DPS2015」と略記）が、2015 年 11 月 5 日（木）・6 日（金）の両日、兵庫県淡路島の淡路夢舞台国際会議場で開催される（下記）。今年で 37 回を迎える DPS は、プラズマエッチングやプラズマ CVD 等、半導体の微細化プロセス技術の分野において、世界をリードする国際会議であり、年に 1 回、主として、国内で開催されている。例年、国内外の大学や企業から、200 名程度の参加者を迎えて、当該分野における最先端の研究結果が発表される。近年は、半導体製造プロセス以外のプロセス技術も含む、幅広いドライプロセス技術に関する研究発表も、DPS の対象としている。

今年の DPS (DPS2015) では、上述の研究分野に加え、特に、近年、半導体プロセスで注目を集めている原子層エッチング (ALE) や原子層堆積 (ALD)、および、深堀エッチングの技術を対象として、“Atomic Layer Reactions” と “High Aspect Ratio Etching” という題目の特別セッション (Arranged Sessions) を計画している。

予定されている招待講演者は、S. Engelmann (IBM), E. Kessels (Eindhoven U.), C. Lee (Lam Res.), 上田博一 (東京エレクトロン), P. Ventzek (Tokyo Electron America), Y. Zhang (Applied Materials) の各氏 (敬称略) である。DPS では、例年、企業の研究者による招待講演が多い。

また、DPS の運営は、組織委員会が、会議の企画を中心となっており、実行委員会が、会議の具

体的な運営の責任をもつ。会議のプログラム作成は、プログラム委員会、予稿や論文の出版は出版委員会が担当して、それぞれ、多くの関係者の協力の下で本会議は運営されている。今回は、筆者が実行委員長を担当している。

尚、会場となる淡路夢舞台国際会議場は、複合文化リゾート施設「淡路夢舞台」にある国際会議場で、同施設内にあるウエスティン淡路ホテルと隣接している。「淡路夢舞台」は、敷地面積約 28 ha の広大な庭園型のリゾート施設で、設計は、著名な建築家安藤忠雄氏による。施設内には、「百段苑」とよばれる巨大な斜面の庭園や、国内第 2 の規模を誇る大きな温室植物園等、多くの娯楽設備を備えている。2000 年のジャパンフローラ 2000 (淡路花博) の開催にあわせて開業されたが、もともと、この土地は、湾の対岸にある関西国際空港の人工島を作るための土砂を削り出した後の荒地地であった。淡路花博の会場となったこともあり、季節ごとに、素晴らしい花や草木を楽しむことができるリゾートである。山陽新幹線からのアクセスも良い。

会議の学術的な素晴らしさはもとより、併せて、美しい淡路島を楽しむためにも、是非、多くの方々に DPS2015 にご参加頂けることを祈念している。

記

会議名：第 37 回ドライプロセスシンポジウム
日時：2015 年 10 月 5 日（木）・6 日（金）
場所：淡路夢舞台国際会議場（兵庫県淡路市）
主催：公益社団法人応用物理学会
詳細情報：<http://www.dry-process.org/2015/>

行事案内

American Vacuum Society (AVS) 62nd International Symposium & Exhibition 米国真空学会第 62 回国際シンポジウム&展示会

大阪大学 浜口智志

AVS (米国真空学会) 第 62 回国際シンポジウム&展示会 (以下、「AVS シンポジウム」と略記) が、2015 年 10 月 18 日(日)から 10 月 23 日(金)までの 6 日間、米国カリフォルニア州サンノゼの San Jose Convention Center にて開催される (下記)。これは、AVS の主催する会議の中で最大の国際会議で、例年、世界中から、1,400 件以上の発表、200 件以上の展示、3,000 人程度の参加者が集まる。AVS シンポジウムは、10 の分科会 (Division)、2 つの Technical Group とよばれる、分科会に準ずる組織、および、その時々のお話題に合わせて形成される 16 の Focus Topic とよばれる臨時的分科会的なグループが、それぞれ、自ら組んだプログラムからなり、AVS の本部組織が全体の整合性を取って運営している。

AVS シンポジウムは、「米国真空学会」の名の通り、古くは、真空の科学に関する学術会議として発展してきた。しかし、近年は、「真空」を扱わない分野も含め、物質表面の科学などを中心とした、ナノテクノロジー等の多彩な科学技術の国際会議となっている。

さて、本誌「応用物理学会プラズマエレクトロニクス (PE) 分科会」と、研究分野の重なる AVS の Division および Focus Topic として、Plasma Science and Technology Division (PSTD) と Surface Modification of Materials by Plasma for Medical Purposes Focus Topic (SM) がある。後

者の長い名前の Focus Topic は、昨年からはまったもので、プラズマによる医療材料プロセスを対象にしたものであり、PSTD ばかりでなく、Biointerfaces や Applied Surface Science 等の他の分科会との関連も深い。今年の PSTD で開催するセッションは、伝統的なテーマである Advanced FEOL/Gate Etching; Advanced BEOL/Interconnect Etching; Plasma Surface Interactions; Plasma Diagnostics, Sensors and Control, Plasma Modeling; Plasma Sources のほか、近年発展著しい Plasma Deposition and Plasma Assisted ALD; Atomic Layer Etching (ALE) and Low-Damage Processes; Advanced Ion Implantation and Plasma Doping; Atmospheric Pressure Plasma Processing; Plasma Synthesis of Novel Materials; Plasma Processing for 2D Materials; Plasmas for Medicine and Biological Applications; Plasmas in Green Technology をテーマとする。PSTD および SM の組織委員の一人として、本年も、多数の参加者のあることを心より願っている。

記

会議名 : AVS 62st International Symposium & Exhibition

日時 : 2015 年 10 月 18 日 (日) から 23 日 (金)

場所 : San Jose, California, USA

主催 : American Vacuum Society (AVS)

詳細情報 : <http://www.avso.org/Symposium>

行事案内

第26回プラズマエレクトロニクス講習会

～プラズマプロセスの基礎と先端分野への応用～

主催: 応用物理学会 プラズマエレクトロニクス分科会

協賛: 日本物理学会、電気学会、プラズマ・核融合学会、日本化学会、電子情報通信学会、放電学会、日本真空学会、ドライプロセスシンポジウム(一部打診中)

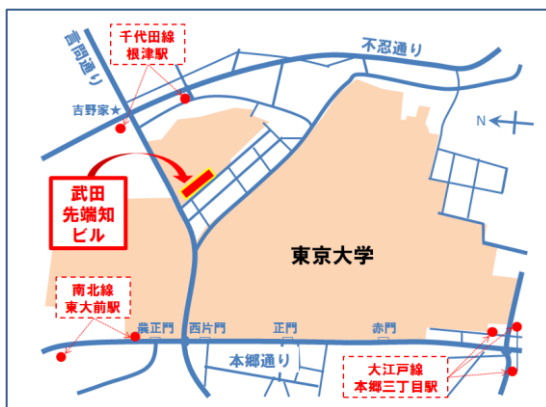
日時: 2015年11月20日(金) 9:30～19:00

場所: 東京大学 本郷(浅野)キャンパス 武田先端知ビル
「武田ホール」

東京都文京区弥生 2-11-16

千代田線根津駅 或いは 南北線東大前駅下車

http://www.u-tokyo.ac.jp/campusmap/cam01_04_16_j.html



内容/プログラム: プラズマプロセスは、エレクトロニクス分野では半導体デバイスの開発・製造を支える基盤技術であると共に、新しい応用として医療やバイオ分野への活用が期待されています。このような背景を踏まえ、本講習会では、産業応用で必要とされるプロセスプラズマの生成、制御、計測の基礎と、その先端応用技術について各分野にて第一線でご活躍の先生方よりご講義頂きます。今年は、応用技術として半導体デバイス製造におけるエッチング、及び成膜技術と、医療・バイオ応用にフォーカスしました。初學者から先端の研究開発者まで幅広い皆様のご参加をお待ち申し上げます。

■ 第1部:プラズマプロセスの基礎 9:30～11:50 ■

1. 『プロセスプラズマの基礎と計測』

中部大学 菅井 秀郎 先生

■ 第2部:プラズマ技術の最前線 13:10～17:20 ■

2. 『半導体エッチング技術』

(株)ソニー 辰巳 哲也 先生

3. 『プラズマ CVD 技術と ALD 応用』

東京大学 霜垣 幸浩 先生

4. 『医療・バイオ応用プラズマ技術』

名古屋大学 石川 健治 先生

終了後、懇親会(17:30～19:00)を予定しています。

(懇親会費・詳細は後日ご案内いたします)

参加費: (テキスト代を含む。かっこ内は学生)

- 応物・PE 分科会個人会員 18000 円(4000 円)
- 応物個人会員 ※ 21000 円(5000 円)
- 分科会のみ個人会員 22000 円(6000 円)
- 協賛学協会・応物法人賛助会員 22000 円(6000 円)
- その他 25000 円(9000 円)

※参加申込時に PE 分科会(年会費 3,000 円)に御入会頂ければ、分科会個人会員扱いとさせていただきます。

定員: 100 名

お申込み: プラズマエレクトロニクス分科会ホームページよりお申し込みの上、下記指定口座へ振込み願います。(申し込み専用 web ページは 8 月中旬開設予定)

三井住友銀行 本店営業部 普通預金 3339808
(公社) 応用物理学会 プラズマエレクトロニクス分科会

※Web 申し込み期限は 11 月上旬の予定です。

お問合せ:

小田 康代 (応物事務局) … 申し込み手続き関連

TEL 03-5802-0863 FAX 03-5802-6250

e-mail: oda@jsap.or.jp

伊澤 勝 (日立ハイテク、担当幹事代表) … 開催内容関連

e-mail: masaru.izawa.jj@hitachi-hightech.com

担当幹事

大村 光広 (東芝)、笠嶋 悠司 (産総研)、久保井 信行 (ソニー)、小林 浩之 (日立)、竹内 希 (東工大)、伝宝 一樹 (TEL)、中川 雄介 (三菱電機)、布村 正太 (産総研)

行事案内

IEEE 第 16 回ナノテクノロジー国際会議 (2016 年 8 月 22 日 (月) から 4 日間、仙台国際センターにて開催)

IEEE Nano 2016 組織委員長、東北大学 寒川誠二

ナノテクノロジーに関する世界最大の国際会議 IEEE 16th International Conference on Nanotechnology (組織委員長：寒川誠二) が日本で開催されることとなりました。2016 年 8 月 22 日より 4 日間、仙台国際センターで開催いたします。地下鉄東西線が本年 12 月に開通し、仙台駅から 5 分で行ける好立地ですので、皆様に奮ってご投稿、ご参加頂けましたら幸いです。

本国際会議は、IEEE Nanotechnology Council が直接主催するナノテクノロジーに関する世界最大の国際会議であり、電子材料・フォトニクス・バイオ・医療・代替エネルギー・環境・電子デバイス・ロボティクスなどの極めて広範囲なナノテクノロジーおよびその関連応用分野にとりくむ学生・教育者・研究者・科学者・技術者にとって最も重要な会議であります。2001 年にハワイ マウイ島で第 1 回会議が開催されて以来、北米・ヨーロッパ・アジア太平洋地域で順次毎年開催され、今回の会議で 16 回目となる。日本では、2005 年に名古屋 (組織委員長：新井史人) で開催され、今回 11 年ぶりに仙台で開催されることとなりました。

会議の概要

①会議の名称

2016 IEEE 16th International Conference on Nanotechnology

②主催団体名等

主催：IEEE Nanotechnology Council

共催：東北大学、応用物理学会

協賛：日本機械学会、ナノ学会、IEEE Sendai Section、IEEE Electron Device Society Japan Chapter、科学技術振興機構 (JST)

③開催期間

2016 年 8 月 22 日 (月) ～8 月 25 日 (木)

④開催場所

仙台国際センター (<http://www.aobayama.jp/>, 2015 年 4 月 1 日より仙台国際センターに「仙台国際センター展示棟」および「せんだい青葉山交流広場」が併設され、新生国際センターが開業いたしました。3 月に開催された国連防災会議の面会場となりました。)

⑤参加予定人数 (合計 500 名)

(海外) 300 名 (国内) 200 名

⑥本会議のテーマと構成

本会議の主テーマは杜の都仙台で開催することもあり、「持続可能な社会のためのグリーンナノテクノロジー」であります。サステイナブル (sustainable) な社会を構築するための環境に優しいナノテクノロジーについて議論致します。また、本会を通して、基礎からアプリケーションへの道筋の探索や、世界におけるナノテクノロジー関係者の交流を促進いたします。会議は基調講演、招待講演、一般講演、ポスターセッション、ショートコースで構成する予定です。

⑦採択論文数

プレナリー講演3、招待講演50、一般講演300

⑧アブストラクト投稿締め切り：2016 年 3 月 7 日

⑨セッション構成

- Nano/bio-medicine
- Nano-bio-systems
- Nanoelectronics: Devices – SET, RTD, QD, Molecular, Memoristors
- Nanoelectronics: Circuits and Architecture
- Nanoelectronics: Graphene, CNT, and NWs
- Green Nanotechnology-Nano-energy, Environmental sensor, Nano-materials safety, Piezo electric and

- Thermoelectric devices
- Nanofabrication
- Nanomanipulation
- Nanomaterials: Characterization and Applications
- Nanomaterials: Nanomaterial/nanoparticles synthesis
- Nanophotonics and Plasmonics
- Nanorobotics and Nanoassembly
- Nanosensors and Actuators
- NEMS and Micro-to-nano-scale Bridging
- Simulation and Modeling of Nanostructures and Nanodevices
- Spintronics
- Nanomaterials and Nanostructures, Nanoassemblies and Devices
- Nanopackaging
- 2D Atomic Crystal Materials
- Applications to Micro/Nano Manipulation
- Nanomanufacturing
- Rising Starts in Nanoelectronics and Microfluidics
- Flexure-Based Micro/nano Manipulators
- Neuromorphic Cognitive System based on Nanotechnology (Organized by IBM)
- Nanomanufacturing Process and System (Organized by TEL)

*今回は一般セッションに加えて、グリーンナノテクノロジーが目指す二つの特別セッション（アレンジセッション）を設けます。

A). IBM・特別セッション

IBMが目指すヒトの脳の動作原理を模した「ニューロシナプティック・コンピュータ・チップ」を実現するために必要不可欠なナノテクノロジーを徹底的に議論します。

B). 東京エレクトロン・特別セッション

将来のナノテクノロジーに不可欠な超最先端プロセスおよび装置に関して徹底的に議論します。

⑩会議日程表

8月22日 準備、ショートコース

8月23日～25日 プレナリー、本会議

⑪企業・団体展示

会議開催期間中に、企業や各種団体の展示コーナーを大々的に設け、企業の技術営業活動や団体の活動の広報に役立てて頂こうと思っております。（1ブースあたり10万円、30以上の企業および団体より展示を予定しています。）

⑫サテライトワークショップ

詳細は未定ですが、本会議前後に、産総研・福島再生可能エネルギー研究所及び東京エレクトロン宮城にて、テクニカルツアーとサテライトワークショップの開催を検討しています。また、期間中に東北大学主催のワークショップの企画も行う予定です。それ以外にもサテライトワークショップあるいはスクールなど積極的にご提案頂ければ幸いです。

運営組織・連絡先

組織委員長：東北大学・寒川誠二

実行委員長：東北大学・小野崇人

論文委員長：名古屋大学・新井史人

総務委員長：産総研・遠藤和彦

IEEE NANO 2016 事務局

(株)インターグループ仙台支社・手塚靖

E-mail: ieeenano2016@intergroup.co.jp

Web: <http://www.ieeenano2016.org/>

平成 27 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	豊田浩孝	名古屋大学 工学研究科 電子情報システム専攻	〒464-8603 名古屋市千種区不老町 Tel: 052-789-4698 Fax: 052-789-3150	toyoda@nuee.nagoya-u.ac.jp
副幹事長	節原裕一	大阪大学 接合科学研究所 加工システム研究部門 エネルギー変換機構学分野	〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 11 番 1 号 Tel: 06-6879-8641	setsuhara@jwri.osaka-u.ac.jp
副幹事長	柘久保文嘉	首都大学東京 理工学研究科 電気電子工学専攻	〒192-0397 八王子市南大沢 1-1 Tel: 042-677-2744 Fax: 042-677-2756	tochi@tmu.ac.jp
副幹事長	伊澤 勝	(株)日立ハイテクノロジーズ 笠戸地区プロセス研究開発部	〒744-0002 山口県下松市大字東豊井 794 Tel: 090-4535-9279	masaru.izawa.jj@hitachi-hightech.com
留任幹事 任期 2016年3月	赤松 浩	神戸市立工業高等専門学校 電気工学科	〒651-2194 神戸市西区学園東町8-3 Tel: 078-795-3311 内線:235 Fax: 078-795-3235	akamatsu@kobe-kosen.ac.jp
	井上 泰志	千葉工業大学 工学部 機械サイエンス学科	〒275-0016 習志野市津田沼2-17-1 Tel: 047-478-4308	inoue.yasushi@it-chiba.ac.jp
	大島 多美子	佐世保工業高等専門学校 電気電子工学科	〒857-1193 佐世保市沖新町1-1 Tel: 0956-34-8479	ohshima@sasebo.ac.jp
	大村 光広	東芝 S&S 社半導体研究開発センター ユニットプロセス技術開発部 UP2	〒512-8550 四日市市山之一色町800 (四日市工場) Tel: 059-390-7327	mitsuhiro.omura@toshiba.co.jp
	岡田 健	東北大学 流体科学研究所	〒980-8577 仙台市青葉区片平 2-1-1 Tel: 022-217-5318	okada@sammy.ifs.tohoku.ac.jp
	久保井 信行	ソニー(株)R&D プラットフォーム STDD デバイス設計部 シミュレーション設計 2 課	〒243-0014 厚木市旭町 4-14-1 Tel: 050-3141-4305	Nobuyuki.Kuboi@jp.sony.com
	小林 浩之	(株)日立製作所中央研究所 ナノプロセス研究部	〒185-8601 国分寺市東恋ヶ窪1-280 Tel: 042-323-1111 内線:2403	hiroyuki.kobayashi.sy@hitachi.com
	寺本 慶之	(独)産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門 環境負荷制御研究グループ	〒305-8569 茨城県つくば市小野川 16-1 Tel: 029-861-3084 Fax: 029-861-8866	yoshiyuki-teramoto@aist.go.jp
	伝宝 一樹	東京エレクトロン山梨(株) 技術開発センター プラズマ要素技術グループ	〒407-0192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 650 Tel: 0551-23-2327 Fax: 0551-23-4462	kazuki.denpoh@tel.com
	松井 信	静岡大学 大学院工学研究科 機械工学専攻	〒432-8561 浜松市中区城北3-5-1 総合研究棟 R503 Tel: 053-478-1064 Fax: 053-478-1064	matsui.makoto@shizuoka.ac.jp
	本村 英樹	愛媛大学 大学院理工学研究科 電子情報工学専攻	〒790-8577 松山市文京町3 Tel: 089-927-8577	hmoto@mayu.ee.ehime-u.ac.jp
	渡辺 隆行	九州大学 大学院工学研究院 化学工学部門	〒819-0395 福岡市西区元岡 744 Tel: 092-802-2745 Fax: 092-802-2745	watanabe@chem-eng.kyushu-u.ac.jp

	氏名	所属	住所・電話	メールアドレス
新任幹事 任期 2017年3月	石島 達夫	金沢大学 理工研究域電子情報学系 環境電力工学研究室	〒920-1192 金沢市角間町 Tel: 076-264-6336 Fax: 076-264-6336	ishijima@ec.t.kanazawa-u.ac.jp
	板垣 奈穂	九州大学 大学院システム情報科学研究所 情報エレクトロニクス部門	〒819-0395 福岡市西区元岡 744 Tel: 092-642-2111 Fax: 092-802-3723	itagaki@ed.kyushu-u.ac.jp
	小川 大輔	中部大学 電気システム工学科	〒487-850 愛知県春日井市松本町1200番地 1 Tel: 0568-51-9305	d_ogawa@isc.chubu.ac.jp
	笠嶋 悠司	(独)産業技術総合研究所 九州センター 生産計測技術研究センター プラズマ計測チーム	〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町 807-1 Tel: 0942-81-4062 Fax: 0942-81-3690	kasashima-yuji@aist.go.jp
	上坂 裕之	名古屋大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻	〒464-0814 名古屋市千種区不老町 Tel: 052-789-2787 Fax: 052-789-2787	kousaka@mech.nagoya-u.ac.jp
	島田 敏宏	北海道大学 大学院工学研究院 物質化学部門	〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 Tel: 011-706-6576 Fax: 011-706-6576	shimadat@eng.hokudai.ac.jp
	須田 善行	豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系	〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 Tel: 0532-44-6726 Fax: 0532-44-6757	suda@eee.tut.ac.jp
	高木 浩一	岩手大学 工学部(電気情報)	〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 Tel: 019-621-6941 Fax: 019-621-6941	takaki@iwate-u.ac.jp
	竹内 希	東京工業大学 大学院理工学研究科 電気電子工学専攻	〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-S3-4 Tel: 03-5734-2566	takeuchi@ee.titech.ac.jp
	中川 雄介	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 Fax: 06-6497-7285	Nakagawa.Yusuke@ak.MitsubishiElectric.co.jp
	布村 正太	(独)産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター	〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 Tel: 029-861-5075 Fax: 029-861-3367	s.nunomura@aist.go.jp
	藤野 貴康	筑波大学 システム情報系	〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 Tel: 029-853-4953 Fax: 029-853-4953	tfujino@kz.tsukuba.ac.jp
	松本 宇生	福岡大学 工学部 電気工学科	〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 Tel: 092-871-6631 Fax: 092-865-6031	mtakao@fukuoka-u.ac.jp

平成 27 年度分科会幹事役割分担

役割分担	留任		新任	
幹事長	豊田 浩孝	名古屋大学		
副幹事長	節原 裕一	大阪大学		
	朽久保 文嘉	首都大学東京		
	伊澤 勝	(株)日立ハイテクノロジーズ		
1. 庶務・分科会ミーティング	寺本 慶之	産業技術総合研究所	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	朽久保 文嘉	首都大学東京	高木 浩一	岩手大学
	渡辺隆行	九州大学	布村 正太	(独)産業技術総合研究所
	井上 泰志	千葉工業大学	中川 雄介	三菱電機(株)
	小林 浩之	(株)日立製作所	板垣 奈穂	九州大学
	伝宝 一樹	東京エレクトロン(株)		
3. プラズマプロセッシング研究会 H26 年度:プラズマコンファレンス H27 年度:ICRP/GEC	節原 裕一	大阪大学	小川 大輔	中部大学
	岡田 健	東北大学	石島 達夫	金沢大学
	松井 信	静岡大学	高木 浩一	岩手大学
	伝宝 一樹	東京エレクトロン(株)	笠嶋 悠司	(独)産業技術総合研究所
	大村 光広	(株)東芝	須田 善行	豊橋技術科学大学
	大島 多美子	佐世保高専		
4. 光源物性とその応用研究会	本村 英樹	愛媛大学	布村 正太	(独)産業技術総合研究所
5. プラズマ新領域研究会	節原 裕一	大阪大学	上坂 裕之	名古屋大学
	井上 泰志	千葉工業大学	島田 敏宏	北海道大学
	渡辺 隆行	九州大学	藤野 貴康	筑波大学
	本村 英樹	愛媛大学		
6. インキュベーションホール	節原 裕一	大阪大学	上坂 裕之	名古屋大学
	井上 泰志	千葉工業大学	石島 達夫	金沢大学
	松井 信	静岡大学	板垣 奈穂	九州大学
	大島 多美子	佐世保高専	小川 大輔	中部大学
	赤松 浩	神戸市立高専		
7. プラズマエレクトロニクス講習会	伊澤 勝	(株)日立ハイテクノロジーズ	中川 雄介	三菱電機(株)
	大村 光広	(株)東芝	笠嶋 悠司	(独)産業技術総合研究所
	久保井 信行	ソニー(株)	竹内 希	東京工業大学
	小林 浩之	(株)日立製作所	布村 正太	(独)産業技術総合研究所
	伝宝 一樹	東京エレクトロン(株)		
8. 会誌編集・書記	岡田 健	東北大学	島田 敏宏	北海道大学
	赤松 浩	神戸市立高専	松本 宇生	福岡大学
9. ホームページ	本村 英樹	愛媛大学	石島 達夫	金沢大学
10. 会計	大島 多美子	佐世保高専	須田 善行	豊橋技術科学大学
11. プラズマエレクトロニクス賞	豊田 浩孝	名古屋大学	豊田 浩孝	名古屋大学
12. アカデミックロードマップ (戦略企画室)	朽久保 文嘉	首都大学東京		
	豊田 浩孝	名古屋大学		
13. PE 懇親会	岡田 健	東北大学	松本 宇生	福岡大学
	久保井 信行	ソニー(株)	藤野 貴康	筑波大学

GEC 委員(オブザーバー) 豊田 浩孝 名古屋大学

平成 27 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
 - 8.1 プラズマ生成・制御 柳生 義人 (佐世保高専)
 - 8.2 プラズマ診断・計測 伊藤 剛仁 (大阪大)
 - 8.3 プラズマ成膜・表面処理 太田 貴之 (名城大)
 - 8.4 プラズマエッチング 前田 賢治 (日立中研)
 - 8.5 プラズマナノテクノロジー 酒井 道 (滋賀県立大),
(代表) 金子 俊郎 (東北大)
 - 8.5 プラズマナノテクノロジー
 - 8.6 プラズマライフサイエンス 山田 英明 (産総研)
 - 8.7 プラズマ現象・新応用・融合分野 小田 昭紀 (千葉工大)
2. 応用物理・編集委員 東 清一郎 (広大)
近藤博基 (名大)
3. 応用物理学会代議員 斧 高一 (京都大)
神原 淳 (東大)
酒井 道 (京都大)
白谷 正治 (九州大)
豊田 浩孝 (名古屋大)
野崎 智洋 (東工大)
平松 美根男 (名城大)
眞銅 雅子 (横国大)
4. GEC 組織委員会委員 豊田 浩孝 (名古屋大)
5. その他：本部理事 斧 高一 (京都大)
白谷 正治 (九州大)
6. 諮問委員 寺嶋 和夫 (東京大学)
7. フェロー 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 (京都大)
河野 明廣 (名古屋大)
近藤 道雄 (産総研)
寒川 誠二 (東北大)
白谷 正治 (九州大)
菅井 秀郎 (中部大)
高井 治 (名古屋大)
橘 邦英 (愛媛大)
寺嶋 和夫 (東大)
永津 雅章 (静岡大)
中山 喜萬 (大阪大)
畠山 力三 (東北大)
藤山 寛 (長崎大)
堀 勝 (名大)
渡辺 征夫 (九州電気専門学校)

活動報告

第 73 回プラズマエレクトロニクス分科会ミーティング/平成 26 年度第 3 回幹事会 (応用物理学会インフォーマルミーティング内) 議事録

日時：2015 年 3 月 12 日 (木) 12:15~13:15
場所：東海大学 湘南キャンパス 16 号館 D (D14)

●大分類意見交換会 (11:45~12:15)
佐藤先生 (室蘭工大) が司会進行を務められた。

1. 大分類と中分類の再編について
大分類を再編する必要はないと決まった。中分類については、「8.0 English Session」および「8.2 プラズマ診断・計測」について議論がなされた。

「8.0 English Session」については、投稿数を増やしてほしいと案内があった。「8.2 プラズマ診断・計測」については、投稿数が減少していけば再編を検討することになるが、現時点では検討しないことになった。8.2 については、いくつかの意見がでた。

藤山先生 (長崎大学) から、応用を研究テーマにすれば他の中分類に発表者が流れることになる。近年は計測のみでは発表しにくくなってきているが、この中分類をなくすと応用研究のみになってしまうので残してほしいという意見があった。

白谷先生 (九州大学) から、分科会として 8.2 の診断・計測の対象に表面や材料という表現を付け加える等の改変を試みている姿をアピールした方がいいという意見があった。

これらの意見を受け、8.2 については投稿数を増やす姿勢をアピールし、投稿をひろく募ることになった。

2. コードシェアセッションの実施の可能性について

コードシェアセッションの実施の可能性について案内があった。

3. プログラム編集委員と講演会企画運営委員の交代について

8.5 プラズマナノテクノロジーのプログラム編集員が伊藤孝紀先生 (室蘭工大) から酒井道先生 (滋賀県立大) へ、また講演会企画運営委員が伊藤孝紀先生 (室蘭工大) から金子俊郎先生 (東北

大) へ交代することが承認された。

4. 講演会参加費について

これまで講演会は大学キャンパスで開催してきたが、開催校の先生方の負担が大きく、会場代も値上がりしている。今後はスタッフを外注し、コンペティションセンターでの開催を検討するにあたり、講演会参加費を上げることにについて意見が募られた。

堀先生 (名古屋大学) から、次のような意見があった。コンベンションセンターの使用を検討するにあたり、メリット/デメリットを議論しているはずである。それを示してもらえなければ参加費の値上げを議論することができない。この点について、理事会はデータを示すべきである。

また、藤山先生 (長崎大学) からは、参加費が値上がりすると、地方からの参加数が減ることが予想されるという意見があった。

理事会から、コンベンションセンターでの開催にあたり講演会参加費の値上げを提案しているが、学生参加費の値上げはしたくないと考えていると回答があった。

●平成 26 年度プラエレ分科会ミーティング
豊田幹事長が司会進行を務められた。

1. 2015 年度春季学術講演会・シンポジウム、チュートリアルなどの状況について

朽久保副幹事長 (首都大学東京) より、2015 年春の応物の分科内招待講演、シンポジウム、チュートリアル、English Session などの報告・案内があった。チュートリアルについては、約 50 人の参加があった。

2. 2015 年度秋季学術講演会・シンポジウム企画など

朽久保副幹事長 (首都大学東京) より、2015 年秋季学術講演会について、分科内招待講演、海外研究者招待講演、English Session、およびシンポジウム・新学術領域研究「プラズマ医療科学の創成」について説明があった。シンポジウムについては、堀先生 (名古屋大学) より日程と講演予定の案が説明された。

3. 第 25 回プラズマエレクトロニクス講習

会報告

前田先生（日立）より、第 25 回プラズマエレクトロニクス講習会～プラズマエレクトロニクスの基礎とその応用・制御技術～の報告があった。2014 年 11 月 26 日に東京工業大学田町キャンパスにて開催され、65 名の参加者があった。次回は、2015 年 11 月 20 日に東京大学にて開催する予定である。

4. 第 29 回光源物性とその応用研究会報告

明石幹事（防大）より第 29 回光源物性とその応用研究会の報告があった。参加者は 15 名あり、発表件数は照明学会から 6 件、プラズマエレクトロニクス分科会から 1 件であった。分科会からもう少し参加数を増やしてほしいと要望があった。

5. 会報 No. 62 について

岡田幹事（東北大）より、会報 No.62 の進捗状況について報告があった。研究紹介について、プラズマ農業に関連して岩手大学の高木先生に依頼することになった。行事案内の追加の要請があった。

Q. 執筆者にベテランの先生方が多いように見受けられる。若手の先生が執筆できるような記事を増やしてはどうか。（堀先生・名古屋大）

A. 新項目を作成し、若手の先生が執筆できるように検討する。

6. 2014 年度 会計報告

大島幹事（佐世保高専）より、2014 年度の会計報告があった。

Q. ICRP については、毎年 60 万円の積み立てがあったのではないかと？（北野先生・大阪大）

A. 確認する。

7. 2015 年度 分科会新幹事について

豊田幹事長より、2015 年度の分科会新幹事が紹介された。また、出席している新幹事から自己紹介がなされた。

8. 研究会・関連会議について

① SPP-32/プラズマコンファレンス 2014 (2014.11.18-11.21)

豊田幹事長より、SPP-32/プラズマコンファレンス 2014 の報告があった。参加者は 995 名であった。次回のプラズマコンファレンス 2017 はプラズマエレクトロニクス分科会が主担を務めることになることと伝達があった。

② ICRP9・GEC (2015.10.11-10.16)

豊田幹事長より、ICRP9・GEC のアナウンスがなされた。日本からは 300 人の参加を目標としている。アブストラクトは GEC と ICRP の両方に投稿することになる（〆切 6 月 19 日）。なお、GEC は〆切の延長はいっさいしないので注意が必要である。

9. その他

辰巳様（ソニー）により、DPS2015 の案内がなされた。

（書記：赤松）

2015 年度 第 1 回プラズマエレクトロニクス分科会幹事会 新旧合同幹事会

日時：2015 年 4 月 4 日(土) 13:30～16:30

場所：産業技術総合研究所 臨海副都心センター
別館 11 階 第 1 会議室 (11205～6 室)

議題：

1. 幹事紹介・挨拶（豊田幹事長）

豊田幹事長の紹介で退任幹事、留任幹事、新任幹事の挨拶が行われた。諮問委員(歴代幹事長、企業選出副幹事長)の紹介があった。

2. 役割紹介（豊田幹事長）

各幹事の役割分担と担当職務内容・タイムテーブルが豊田幹事長から説明された。

3. 応用物理学会（東海大・2015.3）シンポジウムなど（柘久保副幹事長）

柘久保副幹事長から 2015 年春季学術講演会(東海大学)の分科会企画の結果が報告された。

4. 応用物理学会（名古屋国際会議場・2015.9） （柘久保副幹事長）

2015 年秋季学術講演会の分科会企画の進捗状況に関しての報告が行われた。

5. プラズマ新領域研究会（節原副幹事長）

節原副幹事長からプラズマ新領域研究会についての説明と本村幹事(愛媛大)から次回開催の「再生医療とプラズマ医療～プラズマと生体界面の反応～」について企画案が説明され承認された。

6. 第9回インキュベーションホール
(2014.8.31-9.2) (節原副幹事長)

場所の仮予約(青少年交流の家 9/1-3)を行った。
詳細は今後担当幹事間で詰めることとする。

7. 第26回プラズマエレクトロニクス講習
会について (伊澤副幹事長)

伊澤担当幹事より第26回プラズマエレクトロ
ニクス講習会開催案について説明された。

8. 関連会議

(1) ICRP-9/GEC-68/SPP-33 の準備状況
(2015.10.12-10.16) (豊田幹事長)

豊田幹事長から ICRP-9/ GEC-68/SPP-33 の準備
状況について説明がなされた。プラエレ分科会
の学生会員に関しては旅費サポートの予定。GEC
と ICRP のアブストラクトも出すことが条件。Q.
節原幹事 アブストラクトの受付開始時期は? A.
豊田幹事長 GEC と調整し4月中旬を予定してい
る。オープンしたらメール配信する。

(2) 光源物性とその応用研究会について
(本村 英樹幹事)

照明学会と応物の併催。前回の報告。講演6件
(両学会で半々)。放電基礎⇔素過程も入れた。
DBD(向川先生)、準安定状態の測定と計算(千葉工

大)。今年度も前回と同規模で準備中。時期は未定
だが年末の予定。

9. 会報について (岡田幹事)

岡田担当幹事から会報62号に関して進捗報告
が行われた。「奨励賞を受賞して」の記事化に関し
て進めることとなった。「研究室紹介」記事の執筆
依頼に関しては岡田幹事に一任することとなった。
締め切りは5月20日。行事案内にインキュベー
ションホール(本村幹事)、PE講習会(伊澤幹事)、
AEPSE(節原幹事)、新領域研究会(間に合えば)、
告知に第14回PE賞公募を追加

10. その他

なし。

11. 新旧幹事による引継ぎ

各担当ごとの業務内容の確認・引き継ぎが行わ
れた。

2015年度第2回目の幹事会は、9月の応用物
理学会(2015年9月13日(日)～16日(水)、名
古屋国際会議場)会期中にて実施のインフォーマ
ルミーティング内で執り行う。

(書記: 松隈)

プラズマエレクトロニクス関連会議日程

国際会議

2015. 7. 5-7. 10

22nd International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC 22)

Antwerp, Belgium

<https://www.uantwerpen.be/en/conferences-and-summer-schools/ispc22/>

2015. 9.2-9.24

The 10th Asian-European International Conference on Plasma Surface Engineering

第10回プラズマ表面工学に関するアジア-ヨーロッパ国際会議 (AEPSE2015)

ラムダプラザ済州ホテル(RAMADA PLAZA JEJU HOTEL) 韓国・済州島

<http://www.aepse2015.org/>

2015. 10. 12-10. 16

9th International Conference on Reactive Plasmas / 68th Gaseous Electronics Conference (ICRP-9/68th GEC)

Hawaii, USA

<http://www.plasma.engg.nagoya-u.ac.jp/icrp-9/>

2015.11.29-12.4

2015 MRS Fall Meeting (Symposium G: Plasma Processing and Diagnostics for Life Sciences)

Boston, MA, USA

<http://www.mrs.org/fall-2015-call-for-papers-g/>

国内会議・会合

2015. 6.11 13:00~17:30

プラズマ材料科学第153委員会 第121回一般公開研究会

「プラズマによる DLC コーティングの応用最前線」

於プラザエフ 地下2階「クラルテ」(東京都千代田区六番町15)

<http://www.plasma153.org/meetings/data/121.html>

2015. 9. 1-9.3

第9回プラズマエレクトロニクスインキュベーションホール

於国立中央青少年交流の家

http://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/PE_SS_2015/index.html

2015. 9. 13-9. 16

第76回応用物理学会秋季学術講演会

名古屋国際会議場

<http://www.jsap.or.jp/activities/annualmeetings/regularmeeting.html>

2015. 9. 16-9. 19

日本物理学会秋季大会 (主として物性)

関西大学千里山キャンパス

<http://www.jps.or.jp/activities/meetings/future.html>

2015. 9. 17-9. 18

平成27年度電気学会 基礎・材料・共通部門大会

金沢大学

http://www.iee.jp/fms/?post_type=custom_event&p=621

2015. 9. 25-9. 28

日本物理学会秋季大会（素粒子，核物理，宇宙線，宇宙物理）

大阪市立大学杉本キャンパス

<http://www.jps.or.jp/activities/meetings/future.html>

2016. 3. 19-3. 22

日本物理学会第 71 回年次大会

東北学院大学泉キャンパス

<http://www.jps.or.jp/activities/meetings/future.html>

2016. 9. 13-9. 16

日本物理学会秋季大会（主として物性）

金沢大学角間キャンパス

<http://www.jps.or.jp/activities/meetings/future.html>

2016. 9. 21-9. 24

日本物理学会秋季大会（素粒子，核物理，宇宙線，宇宙物理）

宮崎大学木花キャンパス

<http://www.jps.or.jp/activities/meetings/future.html>

2017. 3. 17-3. 20

日本物理学会第 72 回年次大会

大阪大学豊中キャンパス

<http://www.jps.or.jp/activities/meetings/future.html>

広告掲載企業一覧

本文

プラズマエレクトロニクス分科会会報 No. 62 への広告掲載を頂いた企業は下記の通りです。幣分科会会員への最新情報のご提供に厚く感謝の意を表します。

1. 株式会社 エナック

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、魁皇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の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)

5. 問い合わせ先

〒113-0034 東京都文京区湯島 2-31-2
湯島アーバンビル7階
公益社団法人 応用物理学会 分科会係
TEL: 03-5802-0862
FAX: 035802-6250
Email: division@jsap.or.jp
HP: <http://annex.jsap.or.jp/plasma/>

編集後記

プラズマエレクトロニクス分科会会報No. 62をお届け致します。お忙しい中、本誌にご寄稿頂きました皆様には心より御礼申し上げます。

本誌の「巻頭言」では、東京大学 寺嶋先生より「ライン川沿いの美しき街で見つけた宝物」という題目でご寄稿頂きました。“Diversity (多様性)”をキーワードに、本分科会の将来についてご提言を頂きました。

「寄稿」では、名城大学 伊藤先生より「プラズマバイオ科学技術の発展を目指して」と題して昨年名城大学に設立されましたプラズマバイオ科学センターのご紹介を頂きました。

「研究室紹介」では、金沢大学 石島先生より金沢大学 理工研究域 環境電力工学研究室のご紹介をして頂きました。

「研究紹介」では、「高電圧・プラズマの農水利用」と題して岩手大学 高木先生よりご寄稿頂きました。

「海外の研究事情」では IBM ワトソン研究所 宮副様より現地での生活、最近の研究についてご紹介頂きました。

「学生のためのページすぐに役立つプラズマエレクトロニクス」では「炭素系薄膜・構造体の合成に用いられるプラズマプロセス」と題して名城大学 平松先生に解説を頂きました。

また、今号から新たに“若手からの声”を会員の皆様に届ける目的で、応用物理学会講演奨励賞受賞者にご寄稿頂いております。本号では東北大学 佐々木渉太様に受賞対象論文の解説をして頂きました。

原稿の執筆を快くお引き受け頂きました著者の皆様、幹事長、副幹事長をはじめとする分科会会員の皆様、小田様にこの場をお借りしまして感謝の意を表します。今後も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よろしくお願いいたします。

平成 27 年度会報編集担当：赤松、岡田、島田、松本

(文責：東北大学 岡田健)

プラズマエレクトロニクス分科会会報 No.62

2015年 6月19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 豊田 浩孝

発行：公益社団法人 応用物理学会

〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-22

湯島アーバンビル7階

(©2015 無断転載を禁ず)