

高密度水素プラズマを利用した 機能材料創成プロセスの研究開発

物理学系専攻 精密工学コース
教授 大参 宏昌

1. はじめに

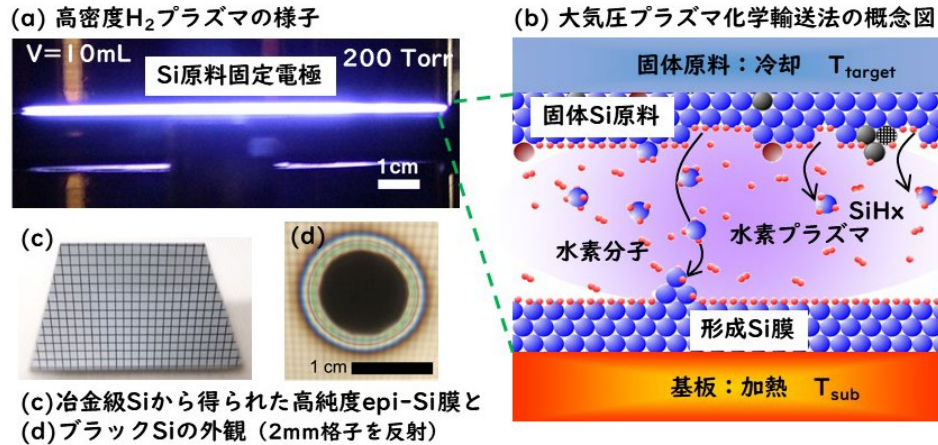
皆さま、初めまして。2025年10月1日付けて工学研究科物理学系専攻精密工学コースの教授を拝命しました大参（おおみ）宏昌と申します。究極の品位を追求した“ものづくり”を先導してきた精密工学教室の第一講座：機能材料領域を担当させていただくことになり、日々身が引き締まる思いです。

小生は、愛知県西三河の県立岡崎北高等学校を卒業後、当時数少ない情報源であった赤本や大学入試要項に記載された「大は宇宙ステーションから小はLSIまで」という標語に心惹かれ、1991年4月に大阪大学工学部精密工学科に入学しました。その後、一貫して精密工学教室でお世話になっております。学部4年から第一講座に所属し、安武潔先生のご指導のもと、「無転位単結晶Siシートの直接創成」を目標に、レーザー冷却や静磁場による磁力などを用いて、中性原子の運動を精密制御し、基材上に積層される原子を任意配置する技術の開発研究に取り組み、2001年3月に博士（工学）を取得しました。学位取得後、附属超精密科学研究センターの非常勤研究員を経て、大阪大学大学院工学研究科精密科学・応用物理学専攻の助手（助教）として採用いただきました。本誌の「フレッシュマン抱負を語る」に「一期一会」というタイトルで寄稿させていただいたのが、ちょうど20年前ですから、本稿の筆を進めつつ、つくづく時の流れは早いものと感じる次第です。大阪大学に奉職後は、Siを主体とした半導体や金属などを対象に、非平衡高密度プラズマを用いた成膜・表面処理技術を適用し、ありふれた材料に新たな機能を発現させることで産業課題の解決に役立てたいと、研究室の学生さん達と日々活動しています。本稿では、その日々の取り組みの一部をご紹介します。

2. 研究について

研究は、非平衡・高密度プラズマ、とりわけ高密度な水素プラズマ（図1(a)）を用い、成膜・エッチング・接合といった材料プロセスの研究・開発を行っています。水素は、エネルギーキャリアとして注目され、その高効率生成に向けた研究開発が精力的に進められてきており、極めて廉価な材料プロセスガスです。このユビキタス化が進む水素を用いて、有毒、稀少、高価な化学品を用いることなく、機能材料を創成する製造技術の研究開発を行っています。

再生可能エネルギーの筆頭として挙げられる太陽光発電ですが、発電の9割以上は結晶Si太陽電池が担っています。近年では、これら太陽電池パネルの設置に適した場所が不足するという国内問題に直面しており、既設の建物の低耐荷重の屋根、曲面屋根、壁面、車の屋根、電柱など、従来のパネルでは重量、形状的に設置困難な場所へも設置可能な高効率太陽電池が求められています。このため、製造コストが低く、軽量、フレキシブルな薄膜系のペロブスカイト系太陽電池への注目が集まり、精力的な研究が進められています。一方、私の研究では、結晶系Si太陽電池に軸足を据えたプラズマプロセスの開発を進めています。脆性材料で柔軟性がないとされる結晶Siも、厚さ数十 μm 程度のシート状単結晶Siにすることで、かなりの柔軟性が生まれます。また、ペロブスカイト太陽電池と組み合わせることで、柔軟性を失うことなく、変換効率を向上させることも可能です。しかしながら、従来からの機械加工や薄膜堆積法では、このような厚さのSiシートを、Si材料の無駄無しに製造できません。例えば前者では切削屑が、後者ではガス



水素プラズマを用いて開発した Si の成膜・加工技術の例

トや未反応ガスなどが発生します。大幅に低価格化が進んだ Si 材料ですが、多くのエネルギーと高度な精製プロセスを経て製造された高純度 Si の浪費は好ましくありません。また、薄膜堆積に化学気相蒸着 (CVD) 法を用いる場合、毒性の強い高圧特殊材料ガスを使用する必要があり、多大な設備・維持コストを伴います。一方、Si 膜 CVD 技術は、太陽電池のみならず Si 半導体デバイスの製造に不可欠の技術ですが、小規模な研究施設では、極めて導入しにくい技術となっています。この様な背景から、高密度水素プラズマを用いて、安定な固体 Si 原料からモノシラン (SiH_4) をオンサイト生成し、Si 原料の無駄なく Si 膜形成を可能にする大気圧プラズマ化学輸送法 (APECT 法) という手法 (図 1(b)) によって、単結晶 Si シートを形成する技術の開発を進めています。これまでに、本手法を発展させ、低純度 Si 原料から SiH_4 をオンサイト生成し、この SiH_4 を利用して高純度なエピタキシャル Si 膜の形成 (図 1(c)) に成功しています。また、同法で木炭やグラファイトを固体原料に用いると、精密加工用工具や半導体として期待されるダイヤモンドも合成でき、特に条件を整えることで厚さ 10 nm 以下のナノシート状ダイヤモンドが合成できることを見出しています。

さらに、高密度水素プラズマを用いると、Si のみならず Ag、Cu、Al、Ni 等の金属をハロゲンなどの毒性ガスに頼ることなく有意な反応速度でドライエッチング可能であり、水素に微量の空気、窒素、水蒸気などのガスを混ぜると、エッチング効果が増強され、W や Mo 等の高融点金属も加工可能になっていきます。一方、Si では、微量空気を混合した水素プラズマエッチングにより表面に特異なナノ構造が形成され、ブラック Si と呼ばれる光反射率が大きく低減された表面構造を持つ Si (図 1(d)) が形成できます。さらに、金属に対してごく短時間、高密度水素プラズマ処理をすることで、Al や Cu などの金属間の低温圧接が可能になることも明らかになっており、最も単純な構造の水素原子によって物質に惹起される挙動の発見、解明、応用に毎日心躍らせています。

3. おわりに

大阪大学に入学以来、35 年の月日がたちました。その間、流行り廃り、社会の価値観、大学・教員に求められる役割は、目まぐるしく変化しました。今後も社会のダイナミクスは、止まることなく突き進むと思います。私自身、変化すべきは順応し、守るべきものは守るという強い意志を持って、教育・研究に励む所存です。具体的には、これまでの水素プラズマ材料科学の研究をさらに極めていくと同時に、20 年前に本誌へ寄稿した「一期一会」の初心を忘れることなく日々の業務に取り組み、複雑化する種々の問題に対して柔軟に対応し、果敢に挑戦する技術者・研究者の育成を目指します。以上、末筆となりましたが、小生、若輩者ではございますが、本学、ならびに日本の発展にお役に立てるよう、教育・研究に精一杯で取り組んで参りますので、今後ともご指導・ご鞭撻を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

(精密 1995 年卒、1997 年前期、2000 年単位取得退学)