

名古屋大学

プラズマイノベーションによる 学と産の世界拠点を目指して！

名古屋大学 プラズマナノ工学研究センター

副センター長、教授 堀 勝 ほり まさる

1. はじめに

名古屋大学大学院附属プラズマナノ工学研究センター (Plasma Nanotechnology Center: PLANT) は、名古屋大学における21世紀 COE プログラム「先端プラズマ科学が拓くナノ情報デバイス」と同プログラム「自然に学ぶ材料プロセッシング」および文部科学省知的クラスター創成事業の実績をベースに、平成18年10月1日付けで、工学研究科附属の研究センターとして発足しました。我が国には、核融合発電の実現のためにプラズマを研究する大型研究所や研究センターはいくつか存在していますが、我が国産業を基盤から支える低温プラズマ技術に関する研究センターはこれまでひとつも存在しませんでした。一方、海外に目を移すと、最近、低温プラズマ技術に関する研究拠点が次々に形成されています。名古屋大学プラズマナノ工学研究センターは、プラズマ技術の基盤研究を大学に求める産業界からの切実な声にこたえ、我が国初の低温プラズマ応用に関する研究センターとして発足したものです。

現在、プラズマは、超大規模集積回路 (ULSI) を中心とした「ナノテクノロジー」、「バイオテクノロジー」、「環境浄化技術」、「新機能性材料」など様々な分野で用いられています。特に、大規模集積回路プロセスの70%でプラ

ズマが使用されており、プラズマなしでエレクトロニクス産業等は成り立たなくなってきました。換言すれば、プラズマプロセスの進化が全産業のボトムアップを実現すると言っても過言ではありません。さて、プラズマプロセスは、これまで装置に起因する外部パラメーターである、圧力、パワー、流量などを変化させながら、できたものを評価するという試行錯誤的な手法で研究開発がなされてきました。このような手法では、開発までに膨大なエネルギー、資源、リソースが浪費され、今後その開発が困難になってきています。このような問題を解決するためには、従来の手法からの質的なパラダイムシフトが必要となっています。PLANTでは、「エッチング」「薄膜形成」「表面改質」などを直接決定している粒子の種類と密度とそのエネルギーで制御するという究極的なプラズマプロセスの研究開発とプラズマナノ科学の構築により、プラズマプロセスのパラダイムシフトの実現を目指しています。

本稿では、その一端を紹介したいと思います。

2. PLANTの体制

図1および図2に、PLANTにおける主要な研究テーマと組織を示す。プラズマ科学をベースとした「基礎研究」

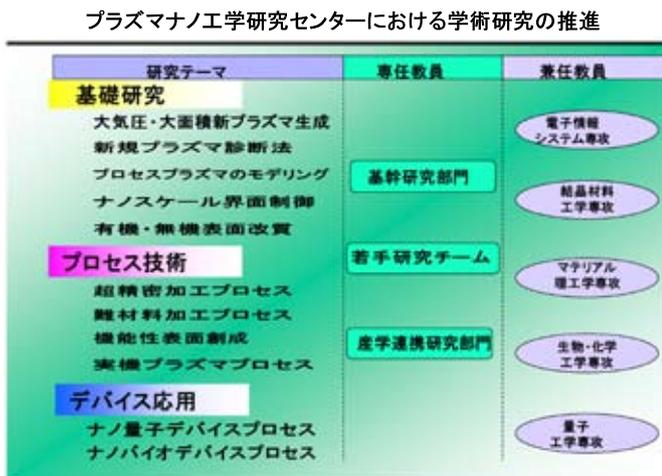


図1 プラズマナノ工学研究センターにおける主要な研究テーマ

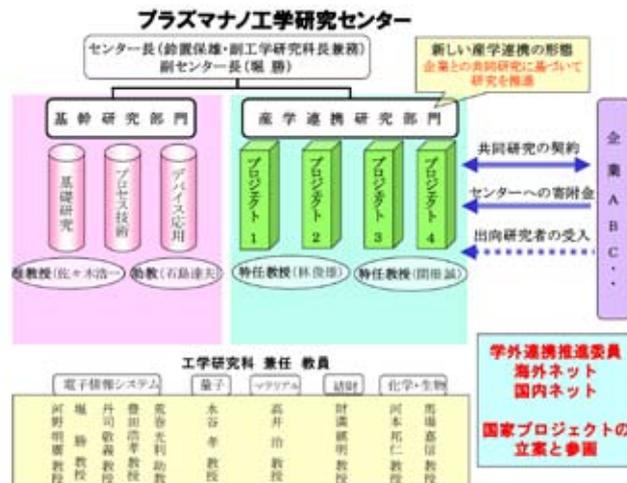


図2 プラズマナノ工学研究センター組織図

を柱として、「プロセス技術」と「デバイス技術」に関して、基礎研究部門、若手研究部門、産学連携部門が有機的に機能するように体制が構築されています。特に、プラズマは学際的な分野であるため、6つの専攻から教官が兼任で活動し、現在は、教授12名、准教授1名、助教1名の体制となっています。PLANTの大きな目玉は、産学連携研究部門であり、同部門には、民間経験者の林俊雄教授（ULVAC）および関根誠教授（元東芝）が特任教授として研究を推進しています。関根教授は、堀とともに研究室（堀・関根研）を構成し、林教授は、河野明廣教授と研究室（河野・林研）を構成し、学生の教育を行っています。さらに、顧問および学外連携推進委員を設定して、国家プロジェクトの立案、参画および国内外と研究機関との連携を進めています。

3. 研究内容

現在、多岐のテーマに渡って研究が推進されていますが、本稿ではSEAJに関係するULSIの製造プロセスに関わる「微細加工技術」について紹介します。微細加工技術の主干技術であるプラズマエッチングは、30年もの歴史があり、リソグラフィ技術とともにULSIの加工をリードしてきました。しかしながら、近い将来の加工には、10nmの超微細なパターンを±1nmの精度でエッチングする技術が必要になっています。林教授、関根教授並びに筆者は長年に渡って同分野に携わってきており、同技術のさらなる進展を目指して研究を行っています。±1nmの精度の加工は、水素原子4個程度の寸法ゆらぎしか許されていないため、エッチングに寄与するイオン、ラジカルおよびそのエネルギーを計測し、これらを完全に制御する技術や装置の開発が必要であると考えられます。堀、関根研究室では、プラズマエッチング中の粒子の密度とエネルギーをレーザー等の多くの手段を駆使して計測し、これらの粒子の表面反応過程を科学的に解明することに取り組んでいます。また、この研究には、SEAJをはじめ幾つかの企業の方々との共同研究を推進しています。下記に、堀・関根研におけるULSIエッチング関係のテーマを列挙いたします。

- 1) 次世代 low-k 膜エッチングにおけるプラズマ中の電子、ラジカル計測とその表面反応の解明
- 2) 新規エッチングガス化学（地球温暖化防止ガス）による low-k 膜の高精度・高速エッチング
- 3) Low-k 膜エッチングにおけるエッチングダメージの評価とダメージレスプロセスの構築
- 4) ダメージフリーレジスト剥離プロセスの開発
- 5) イオン・ラジカルビームを用いたエッチング表面反応の基礎研究
- 6) 次世代ゲート材料の超精密エッチングとその表面反応の解明
- 7) エッチングガスの衝突断面積等基礎反応定数データベースの構築

8) 種々の材料表面におけるラジカルの付着係数、反応定数の解明

9) 超コンパクトラジカルモニタリング技術の開発

10) 自律型ナノ製造装置の開発

以上の研究テーマは、企業では高いパフォーマンスを求めて試行錯誤的に研究開発が進められていますが、本研究室はプラズマ科学の構築を目指し、プラズマ中の粒子計測に基づいた情報を洞察し、科学に基づいた諸現象の解明、反応場の制御方法の開発、装置開発へフィードバックを推進していることが最大の特徴であり、世界でもこのようなアプローチを遂行できているところは数少なくなっています。また、研究室では、同様のアプローチで、低温多結晶シリコン、アモルファスシリコン膜の形成、グラフェンシートが垂直に成長したカーボンナノウォールの合成と応用、プラズマ酸化・窒化、大気圧プラズマプロセスと装置の開発、バイオ、農業へのプラズマ応用など多くの研究に取り組んでいます。

4. トピックス

最近、研究室では、「いつでも」「どこでも」「だれもが」簡単にプラズマ中のラジカルを計測できる超コンパクトラジカルモニタリング装置の開発と同装置を組み込み、ラジカル計測情報を基にしてエッチング速度、エッチング表面化学組成、表面温度をリアルタイムで計測し、ラジカル密度にフィードバックすることでエッチング特性を高精密に制御する新しい概念の装置「自律型ナノエッチング装置」の開発に成功しました。図3にラジカルモニタリング装置の概略を示します。先端の寸法は、1.8mmφであるため、この針のようなプローブをプラズマ装置に導入するだけで、従来計測が困難であったH、O、N、C、Fラジカルの絶対密度を計測することが可能になりました。これまで、プラズマ中のラジカルの挙動はブラックボックスでしたが、これによってラジカルの情報をリアルタイムで得ることができるようになるため、試行錯誤的な開発に終止符を打てるのではない



図3 ラジカルモニタリング装置

かとわくわくしております。また、自律型ナノエッチング装置は、ラジカル密度、エッチング速度、表面組成、表面温度をリアルタイムで計測し、最適なエッチング速度と形状になるように、装置が自ら「自己判断」「自己制御」「自己修復」するものであり、将来の量産ナノプロセス装置の姿を示すものであります。現在同装置を用いて、low-k 膜の超高精度加工を行っています。これらの装置制御を支える基盤は図4に示すようなエッチング特性をラジカルとイオンの密度とエネルギーで表わしたプラズマ科学情報にあります。このような現実の製造に直結するような役に立つプラズマ科学の創成を目指して、独立行政法人科学技術振興機構から戦略的創造研究推進事業（CREST）の支援をうけ、大阪大学（節原裕一教授）、九州大学（白谷正治教授）との共同研究を行っています。

5. 教育について

現在工学部を志願する学生は大幅に減少（20年間で半減！）、最先端テクノロジーを支える人材の教育が大問題になってきています。堀・関根研究室では、研究員4人、学生27人（ドクター8人、マスター12人、学部7人）が活動しています。図5および図6に河野・林研究室および堀・関根 研究室の写真を示します。これらの学生に対して、プラズマ研究を通して次世代の産業をリードできる人材として教育し、社会に送り出すことが我々の使命であります。自ら考え、新しい提案の立案とともに積極的な行動を起こすことができる自律型の人材の育成に努力し、学理や産業の進展に貢献したいと思っています。

6. おわりに

プラズマナノプロセスは、最先端の産業を切り開いている主幹技術であると同時に、未だプラズマナノ科学という学理が構築されていない未踏の科学領域です。プラズマプロセスの研究開発は、科学を創りながら最先端技術をリードできるという点では他の技術にない大きな魅力を秘めています。名古屋大学ナノ工学研究センターは、これらの科学を組織的に構築するための基盤として重要な役割を果たすことになることが期待されます。現在、海外の8つのプラズマセンターとも交流協定の締結を行い、名古屋市、愛知県との連携も進めています。プラズマ産業応用において世界をリードする学と産の世界拠点が本地域に形成されることを目指しています。

超最先端加工技術(ナノのピンポイントで勝負) 原子・分子を制御し、最適条件を狙い撃ちする科学技術

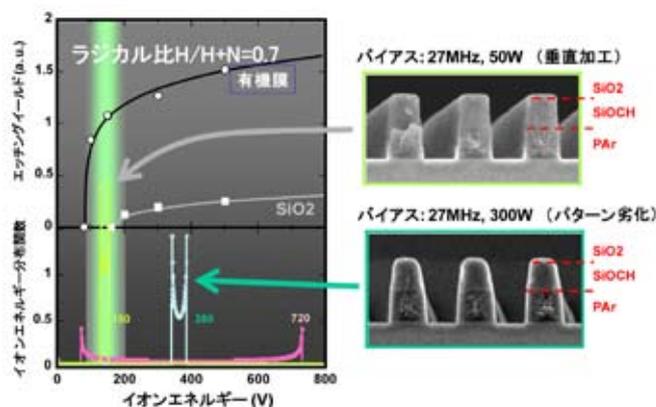


図4 有機 Low-k 膜エッチングプロセスにおけるプラズマ科学情報（ラジカルとイオンという粒子でエッチング特性を表わす）



図5 堀・関根研究室（中央左が関根教授、右が筆者）



図6 河野・林研究室（左端上段が林教授、右端上段から二番目が河野教授）