

小特集

材料プロセス用フルオロカーボンプラズマ —現状と展望—

Fluorocarbon Plasmas Used for Materials Processing
Current Status and Issues

1. はじめに

堀 勝

名古屋大学大学院工学研究科, 名古屋大学プラズマナノ工学研究センター

(原稿受付: 2007年1月7日)

フルオロカーボンガスを用いたプラズマエッチング技術が見出されて30年近くが経つ。当時は、シリコン膜に対してシリコン酸化膜を選択的かつ垂直形状でエッチングする画期的な技術として注目を集め、半導体の製造プロセスに急速に導入された。現在でも、最先端の大規模集積回路(ULSI)製造を実現するためのナノ寸法の超微細エッチング技術として使用され、活発に研究開発が行われている。また、この30年の間に、フルオロカーボンガスを用いたプラズマプロセスの応用は多岐に亘り、大規模集積回路の製造技術からバイオの表面改質技術に至るまで種々の産業において極めて重要な技術として発展してきた。しかしながら、いまだにそのプラズマ化学の全容は明らかになっていない。プラズマプロセスの学術面が十分に確立されない理由は、その化学反応の複雑さに起因している。フルオロカーボンガスからは、C, CF, CF₂, CF₃, Fなどのラジカルやイオンが同時に発生し、その組成や密度は、原料ガスの構造やプラズマの電子温度によって大きく変動する。さらに、これらのラジカルは、プラズマ中で再結合し、高次のラジカル(C_xF_y)や分子を生成する。プラズマ中には、ラジカルのみならずイオンが存在し、電気的に負性であるフルオロカーボンガスプラズマ中には、多量の負イオンが生成され、プラズマ構造に大きな影響を与えている。これらのフロン系ラジカルの固体表面での反応特性は、各々のラジカルの構造や反応する固体表面の化学組成や形状によって大きく異なっている。プラズマプロセスは、各々のラジカルの反応のみならず、ラジカルとエネルギーの高いイオンなどの複数の粒子が同時に固体表界面やサブサーフェスで引き起こす化学反応場であり、その反応場を高精度に設計して、高度なプロセス技術を確立するためには、ラジカルやイオンの密度、組成およびエネルギーを時空間で制御

することが必要である。しかし、これらの反応はプロセス装置の構造のみならず、反応容器の壁の材質、基板温度、反応容器内におけるプラズマ生成部と基板との距離、滞在時間によって大きな影響を受けるため、反応過程とプロセス特性とを関係づけることが非常に困難になっている。

このようなプラズマプロセスにメスを入れるべく、フルオロカーボンガスプラズマ中の活性種の計測が活発に行われ、多くの計測技術の進化をもたらした。特に、赤外半導体レーザー吸収分光法やレーザー誘起蛍光法などの高度なレーザー分光法や閾値出現質量分析法がフルオロカーボンガスプラズマプロセスの解析のために用いられ、その気相反応や表面反応の一端が解明されてきた。「フルオロカーボンプラズマ国際ワークショップ」が2年に1度、フランスで開催され、2006年3月で第6回を数え、フルオロカーボンプラズマにおける基礎過程と応用について非常に活発な議論が交されてきたが、学術面で体系化するまでには未だに至っていない。

この過程の中で、フルオロカーボンガスプラズマプロセスにおいて、深刻な課題が顕在化してきた。すなわち、1997年にフルオロカーボンガスの高い地球温暖化係数を鑑み、京都議定書が採決され、地球環境保全のためにその使用に対して規制を加えることが決定された。最近多発する地球規模での異常気象から推測されるように、工業的に排出される温暖化係数の高いフルオロカーボンガスの製造、その使用や取り扱いに規制を加えることは適切な政策である。一方、このような政策とともに科学技術は絶えず大きな進化を遂げてきており、新たな科学技術や産業に対する要求やニーズを生み出す絶好の機会が今訪れている。また、炭素とフッ素が結合したフルオロカーボンガスを用いたプラズマには、他のガスでは代替することのできない

優れた材料プロセス特性を醸し出すことが可能であり、学術的にも工業的にも末永く人類が付き合っていくことが必要な領域である。

本小特集は、フルオロカーボンガスの基礎から応用に至るまで国際的に本分野の一線で活躍されている方々によって執筆されており、1)素過程やデータベース、2)プラズマモニタリング、3)プラズマモデリング、4)エッチングプロセスへの応用、5)堆積・コーティングプロセスへの応用、および6)生体表面への応用プロセスについて現状と展望がまとめられている。その分野やプラズマ技術科学へのアプローチが核融合プラズマとは大きく異なっているが、フルオロカーボンプラズマプロセスを制御して「地球にやさしい環境」を構築するという視点では共通の目的を有している。フルオロカーボンガスの複雑なプラズマ化学に挑戦し、新たな産業の創成や学術的な刺激を求めて核融合研究からプロセス研究へ一歩踏み出すのであれば、最もタイムリーで魅力的な分野である。このような方々にとっ

て、本小特集は短期間で本分野の現状を知る上で非常に役に立つと思われる。また、フルオロカーボンガスを用いたプラズマプロセスに携わってきた方々にとっては、体系的に基礎から応用を知り、さらに現在の研究や開発にフィードバックする上で重要な指針が提示されていると考えられる。

材料プロセス用フルオロカーボンガスプラズマは、半導体のみならず環境、バイオ分野においても応用面が拡大しており、工業的にはますますその重要性が広がっていると同時に環境問題を解決し、人類を救うグローバルな科学技術の確立という側面を有しており、今後多くの研究者や技術者を巻き込んで発展する学際領域になろう。

本小特集が、多くの研究者や技術の座右の書として、また新たに研究を始めてみたいとする方々の指南書になることを期待している。若い研究者や学生諸君が「面白い、やってみよう!」という気持ちになっていただけたら、この上ない喜びである。