

Generation and Control of Large Area High Density Low  
Temperature Plasma and Its Industrial Applications

低温プラズマの大面積・高密度化生成と  
制御、及びその工業化への応用

プロジェクトリ-ダ- 堀池 靖 浩

東洋大学 大学院工学研究科  
客員教授



## 1. 研究の目的

プラズマは、固体、液体、気体に続く第4の状態と呼ばれ、気体の一部または大部分が正イオンと負の電子に分かれ（イオン化という）さらに原子・分子を含む電気的には中性の気体です。太陽を始め宇宙の99.9%はプラズマ状態にあります。身近には稲妻や蛍光灯の中やロウソクの高温部もプラズマ状態です。蛍光灯を手で触っても暖かい程度ですが、それはイオンの温度が低いからです。一方、電子は電界で加速されて原子・分子をイオン化するため電子のエネルギー、即ち電子の温度は約2万度と高いのですが、電子の質量は小さいので我々には熱いとは感じられません。このようなプラズマを低温プラズマと云います。

この高温の電子はイオン化のみならず、分子を分解し、例えば酸素ガスから酸素原子を創りだし、有機物と反応して除去して表面を洗浄します。また、 $CF_4$ プラズマから生じたフッ素原子はシリコン（Si）と反応してフッ化Siとして気化させ、つまりエッチングを行います。 $SiH_4$ プラズマからは非晶質Siを堆積させ、太陽電池や液晶パネルのトランジスタが作られています。例えばプラズマの使用は集積回路製造プロセスの30%以上にも達しています。このように、低温プラズマは多くの産業に重要な役割を果たしています。さらに、すばらしい機能を持った新物質の創製も期待できます。しかし、大面積基板を高速に深い孔や溝を掘り、堆積するなどの次世代応用に対しては高密度のプラズマを生成し、基板表面で起こる化学反応を制御するなど課題は山積しています。

本研究プロジェクトは、大面積・高密度低温プラズマを生成し、その制御法を確立し、表面反応研究を基にプラズマプロセスを高度化し、工業化への展開を促進することを目的としています。

## 2. 研究の内容

大面積・高密度低温プラズマの生成のために電波を使用しますが、電波がプラズマの中に侵入してその電力を消費させてプラズマを生成するICP（誘導結合プラズマ）や、ゼロ磁界に電子が集まり、その電子を効率良く加速する平板型永久磁石使用中性磁気ループ（NLD）プラズマや、絶縁板上に伝搬する表面波の電界によって生じるプラズマなどを大面積化する時の問題を研究します。また、低温プラズマの電子やイオン密度、温度、電位、ラジカル密度などの時間的や3次元的な分布を測定し、これらをパルス変調やプラズマの下流（ダウンストリーム）などにより制御します。さらに、基板表面ではラジカルが吸着し、イオンが衝撃して化学反応を起こしますが、これを「その場」で測定し、ダメージの無い極微細な加工を実現します。また、プラズマ中の正イオンや負の電子が偏って表面に分布して起こる静電破壊を無くするため、正と負イオンを照射したり、有機系プラズマ重合による新機能性膜なども研究します。

### (1) 大面積・高密度低温プラズマの生成

大面積で均一にプラズマを生成するためには、ICPやNLDではアンテナ構造の設計が重要であり、同軸的にマイクロ波導入する表面波プラズマでは管径の増大とその導入法の検討が必要とされます。また、電波は石英板などの絶縁板を介して導入するので、石英板が電波の電界でスパッタされて酸素を放出してプロセスに悪影響を与えます。従って、内部アンテナ構造や平行平板型で高密度化する方策を研究します。

### (2) 低温プラズマパラメータ計測と制御

高密度低温プラズマを種々プロセスに適用する際、各プロセスに適合するように特に電子温度を制御しなければなりません。そのためには計測法の確立が不可欠です。パルスや下流で生成したプラズマの種々のパラメータをプローブや瞬間分光により測定すると共に、ラジカルをレーザ誘起蛍光法（LIF）、赤外吸収分光、出現電圧質量分析などにより測り、プラズマをどのように制御するかを研究します。

### (3) 表面反応研究と低温プラズマプロセス応用

超大規模集積回路（ULSI）プロセスでは、間口が狭く深い孔や溝の加工が必要です。その中に入るイオンとラジカル、及び反応生成物の振舞をXPS（X線光電子分光）などにより実際の孔の状態を観察し、マルチチャンネルキャピラリ板などの模擬的な方法と対応しながら明らかにします。また、孔の中は正イオンによる電荷が蓄積するのでその中和に負イオンの導入を研究します。負イオンは反応性が高く、正と負のイオンの交互照射による高速の新エッチング技術も開発します。白金や強誘電体の加工は材料の気化が難しく、有機金属化なども試みます。

### (4) 極微細加工技術の応用

ナノデバイスには、原子層毎を最小の反応エネルギーによる無損傷加工が不可欠であり、フッ素や塩素とSiとのXPSや赤外分光などによる表面反応の研究を通して実現を図ります。その結果を基に、非対称障壁型の単電子トランジスタ（SET）の作製に応用し、小規模集積化を目指します。また、微細なキャピラリを作製し、電気泳動による生体物質の濾過や検出器を作り病状診断チップの基礎研究も行います。

### (5) 新機能有機膜の作製

有機物のプラズマ重合薄膜には新しい機能性が期待できます。本研究の一貫として、ニコチンアミド誘導体薄膜によって有機分子デバイスへの応用や、金属含有の有機薄膜の電子的挙動を調べ、さらに、ナノオーダで規則正しく並んだ樹状突起の制御によって触媒や光起電力などについて検討します。またポリフィリンのプラズマ重合膜を積層し、光応答機能や触媒機能などについて検討し、有機分子デバイスへの応用を研究します。

## 3. 研究の体制

期 間: 1996年10月～2001年3月

構 成: プロジェクト・リ・ダ - 1名、コアメンバー3名、研究協力者20名  
(内日本学術振興会特別研究員3名)で構成されています。

実施場所: 東洋大学工学部

