

「ナノ科学を基盤とした革新的製造技術の創成」
平成19年度採択研究代表者

堀 勝

名古屋大学大学院工学研究科・教授

プラズマナノ科学創成によるプロセスナビゲーション構築とソフト材料加工

§ 1. 研究実施の概要

本研究は、「プラズマナノ科学創成によるプロセスナビゲーション構築とソフト材料加工」の研究課題のもと、平成 21 年度において各大学グループに分かれ以下の研究を実施した。

名大グループは、昨年度導入することに成功した低インダクタンス誘導結合型プラズマ源を応用したコンビナトリアルプラズマ解析装置を用いて、有機 Low-k 材料のエッチングプロセスにおけるラジカル、イオン、電子密度・温度、光など数多く存在する内部パラメーターに基づいたナノプロセスマップの作成に着手した。その結果、本コンビナトリアルプラズマ解析装置を用いることにより H₂/N₂ プラズマを用いた有機 Low-k 材料エッチングプロセスにおいて、従来法での 10 条件のプロセスを 1 回のプロセスで行えるなど、開発した本装置の有用性を十分に示すことに成功するとともに内部パラメーターに基づいたエッチング速度・形状などの加工特性に関するナノプロセスマップの構築に成功した。さらに、MgF₂ 窓(115nm 以上の波長を有する光を透過)と Si 単結晶窓をサンプルから数mm浮かした位置に設置したサンプルを作成し、コンビナトリアルプラズマ解析装置を用いて、コンビナトリアル式に真空紫外光とラジカルによる相互反応を評価し、その影響を調査した。また、前年度から引き続き行っているラジカルの表面反応に関する研究においては、H₂/N₂ 混合プラズマにおける調査を行い、各材料部材表面における反応を定量的に分析することに成功している。来年度以降は、ユビキタスマニターの更なる高度化を進めるとともに、有機膜エッチングプロセスの内部パラメーターおよび特性の取得を継続して行う。さらに革新的プラズマナノエッチング基盤技術の確立のための実験を開始し、プラズマナノ科学の創成およびそれを基盤とするプロセスナビゲーションシステムの構築を目指す。

阪大グループでは、有機材料上での無機材料薄膜形成のための、有機材料の分子構造を破壊することない、最表面層での官能機付与と有機・無機界面制御の技術を確立するため、本年度はまずプラズマとポリマーとの相互作用を解明することを目的に、初年度に試作したコンビナトリ

ルプラズマ解析装置を用いて、複数のプラズマ照射条件における、ポリマーのエッチング特性と表面モルフォロジー変化、プラズマ照射がポリマー材料ナノ表面領域の化学結合状態に及ぼす影響を調べ、データ蓄積を進めた。当該データは、阪大グループで目指している有機・無機ハイブリッド製膜技術の開発のみならず、ナノ精度のソフト材料加工プロセスの確立を目指している本研究課題の全体にわたる共通の基盤でもある。また、真空紫外ないし紫外領域におけるプラズマ発光がポリマー表面から50nm程度の内部における分子構造ならびに化学結合状態に及ぼす影響について調べるため、MgF₂窓(真空紫外領域まで透過)、合成石英窓(紫外領域まで透過)ならびにSi単結晶(プラズマからの光を遮断)で覆った試料を同時に基板ホルダー上に配置し、硬X線光電子分光法を併用した解析を行った。さらに、内部アンテナ型誘導結合放電を重畳したスパッタ製膜系を開発し、有機材料上での機能性無機薄膜合成に関する研究にも着手した。

九大グループでは、有機基板上へのカーボン自己組織化パターン形成の実現のため、有機基板上への選択的カーボン膜形成の基礎検討を行い、今年度は以下の成果を得た。1)水素原子フラックスの効果を明らかにするため、トレンチ側壁・底面に対する製膜速度のアスペクト比依存性を測定して、水素原子フラックスが大きい条件では側面・底面の製膜速度が減少することを明らかにした。2)コンビナトリアルプラズマ解析装置開発の一環として、水素原子源による水素原子フラックスの独立制御を目指して、水素原子源の水素発光強度と主放電の電子密度を測定した。水素発光強度が水素原子源電力とともに増加するのに対し、主放電電子密度は電力に対し一定となることを明らかにした。この結果は主放電電極による炭化水素系ラジカル・イオンの生成と水素原子源電極による水素原子生成の独立制御が可能であることを示す。3)水素・アルゴン流量比とアスペクト比について、また、水素・アルゴンガス流量比とイオンエネルギーについて製膜形状制御のプロセスマップを作成した。4)EDXによる堆積膜の組成分析を行った。その結果、炭素膜の堆積を確認した。今後は、当該技術の構築を自己組織化コンビナトリアル解析装置にて遂行し、異方性製膜で作製した膜の膜質評価(ラマン、XPS等)、カーボン膜のエッチング耐性、選択比の評価を行って、革新的自己組織化パターン形成基盤技術を確立する。

§ 2. 研究実施体制

(1) 名大グループ

① 研究分担グループ長:堀 勝(名古屋大学 教授)

② 研究項目

- (1) ラジカル・イオン粒子時空間分布計測系の構築
- (2) 有機膜の超高選択比・超精密 10nm±5%ナノ加工プロセス技術の構築
- (3) デスクトップ型コンビナトリアルプラズマ解析装置用粒子計測技術の構築
- (4) プラズマプロセスデータベースおよびプラズマ科学ネットの構築

(2) 阪大グループ

① 研究分担グループ長: 節原 裕一 (大阪大学 教授)

② 研究項目

- (1) プラズマ・ポリマー相互作用の解析
- (2) 無機/有機ナノ界面構造の制御
- (3) 無機/有機ハイブリッド製膜技術の開発

(3) 九大グループ

① 研究分担グループ長: 白谷 正治 (九州大学 教授)

② 研究項目

- (1) 水素フラックスの効果
- (2) 製膜形状制御プロセスマップ構築
- (3) 堆積膜の組成分析

§ 3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

(1) 有機 Low-k 材料エッチングプロセス用小型コンビナトリアルプラズマ解析装置の開発

本研究においては、プラズマナノ科学の構築を実現するために必要不可欠なコンビナトリアルプラズマ解析装置及び時空間ラジカル・イオンモニタリング技術の開発を目的としている。昨年度までにシミュレーションおよび実験的に検証することによりコンビナトリアルプラズマ解析装置を構築するとともに、試験機を導入することに成功している。平成 21 年度においては、図 1-1 に示すコンビナトリアルプラズマ解析装置の試験機の更なる高度化および最適化を行うとともに、本装置を用いて有機 Low-k 材料エッチングプロセスのナノプロセスマップの構築のためのデータ収集を開始した。

本装置は、阪大グループが開発に成功している低インダクタンス誘導結合型プラズマ源を 2 機用いるとともにチャンバ内壁の位置をコントロールすることにより、高範囲な密度分布を有する傾斜プラズマを実現することが可能である。本装置を用いて H₂/N₂ プラズマを用いた有機 low-k 膜のエッチングプロセスにおける加工速度およびトレンチ基板のエッチング形状などの特性

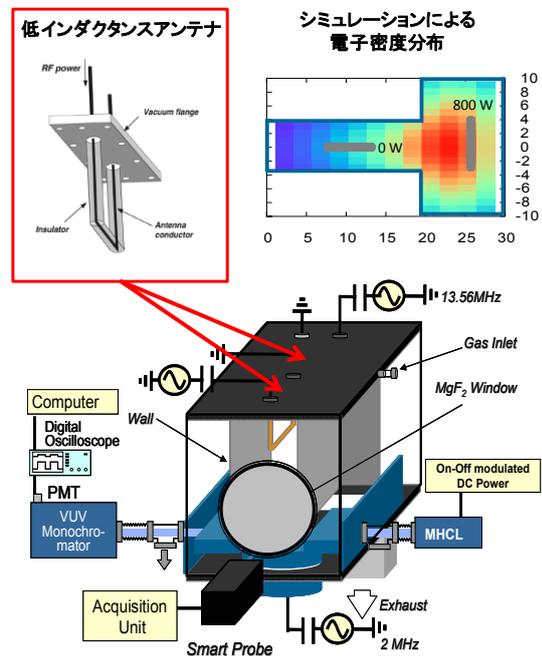


図 1-1 新規コンビナトリアルプラズマ解析装置

をラジカル密度、プラズマパラメーターなど内部パラメーターをもとに評価を行い、ナノプロセスマップの作成に着手した。

図 1-2 に実験で定量的に計測された内部パラメーターを関数として、2 条件の

$H_2/(H_2+N_2)$ 流量比で評価さ

れたエッチング速度の特性を

示す。●でプロットされた点は、

コンビナトリアルプラズマ解析

装置を用いて得られたデータ(一回のプロセスで得られた結果)であり、▲で示されるプロットは従来プラズマ装置を用いて得られたデータ(七回のプロセスで得られた結果)である。この結果からわかるように H_2/N_2 プラズマにおけるエッチング特性は横軸に示す内部パラメーターに対し、従来法およびコンビナトリアル法での結果は同一の線形的な特性を示すことが確認できる。この実験においては、従来法では計 7 回のプロセス実験を行ったのに対し、コンビナトリアル法ではプロットされる 10 点は一回のプロセスで得られた結果であり、コンビナトリアル法を用いることにより、極めて迅速にプロセス条件の探索および科学的に反応メカニズムの解明が可能であることがわかる。また上記エッチング速度の内部パラメーター評価と同時にトレンチ基板のエッチング形状を評価した結果においても、従来法とコンビナトリアル法と内部パラメーターに基づいて考えた場合において、同じ傾向を示したことから、エッチング速度のみならず形状においても十分に評価可能であることを確認した。このことから本コンビナトリアルプラズマ解析装置の構築により、有機 Low-k 材料エッチングプロセスのナノプロセスマップの作成に大きく前進したといえる。

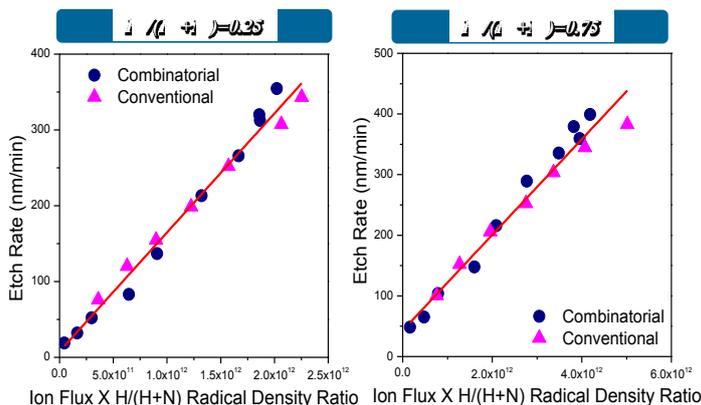


図 1-2 内部パラメーターに基づいた有機 Low-k エッチング

速度 (●コンビナトリアル解析装置、▲従来プラズマ装置)

(2) 有機・無機ハイブリッド製膜技術の開発

本研究プロジェクトの遂行に必要不可欠なデスクトップ型コンビナトリアルプラズマ解析装置の開発を目指し、数値シミュレーションと予備実験に基づいて、A4 サイズの傾斜分布プラズマを具備するコンビナトリアルプラズマ解析装置の初号機(図 2-1)を初年度の後半に試作した^{7, 12)}。そこで、本年度は特に、プラズマとポリマーとの相互作用を解明するため、初年度に試作したコンビナトリアルプラズマ解析装置を用いて、プラズマ密度が連続的に傾斜分布した基板ホルダー上にポリマー試料を多数配置することにより、複数のプラズマ照射条件において、ポリマーのエッチング特性と表面モルフォロジー変化、プラズマ照射がポリマー材料ナノ表面領域の化学結合状態に及ぼす影響を調べ、データ蓄積を進めた。当該データは、阪大グループで目指している有機・無機ハイブリッド製膜技術の開発のみならず、ナノ精度のソフト材料加工プロセスの確立を目指している本研究課題の全体にわたる共通の基盤でもある。また、真空紫外域ならびに紫外域におけるプラズ

マ発光が、ポリマー表面から50nm程度の内部領域における分子構造ならびに化学結合状態に及ぼす影響について調べるため、MgF₂窓(真空紫外領域まで透過)ならびに合成石英窓(紫外領域まで透過)で覆った試料を同時に基板ホルダー上に配置し、硬X線光電子分光法を併用した解析を行った。

試作したコンビナトリアルプラズマ解析装置の主要部である傾斜分布プラズマ生成室のアンテナ配置と側壁の形状を図2-1に示す。当該装置では、A4サイズに収まる領域の長手方向(図2-1のX軸方向)において軸上の右から左方向(-X方向)に密度が減少する傾斜分布プラズマを生成するため、右端の壁から40mmの位置に阪大独自の誘導結合型低インダクタンス内部アンテナを主アンテナ(RF antenna 1)として配置し、生成室の中央部付近には密度勾配を制御するための副アンテナ(RF antenna 2)を配置している。これらの誘導結合アンテナは、幅70mm高さ100mmの水冷ホロー・コンダクタであり、プラズマに曝される全ての面が厚さ2mmの合成石英製で被覆したものを採用し、高周波電源には周波数13.56MHz、定格電力1kWのものを採用した。傾斜プラズマの生成においては、壁への拡散フラックスの差異(イオン:両極性拡散、ラジカル:密度勾配による自由拡散[Fick's law])と容器壁での損失過程(イオンの中性化、ラジカルの脱励起、吸着、分子生成)を積極的に利用し、上記の主アンテナ(RF antenna 1)から左方向に向かって側壁が狭まる構造を採用している。

圧力20mTorrのAr/O₂混合気体中(O₂分圧20%)で生成した傾斜プラズマについて、基板付近の軸上でのプラズマ密度分布をシングルプローブで計測した結果を、図2-2に示す。主アンテナ(図2-1のRF antenna 1)のみに高周波電力を供給して生成した傾斜プラズマの密度分布は、アンテナよりも若干下流側にピークがあり、

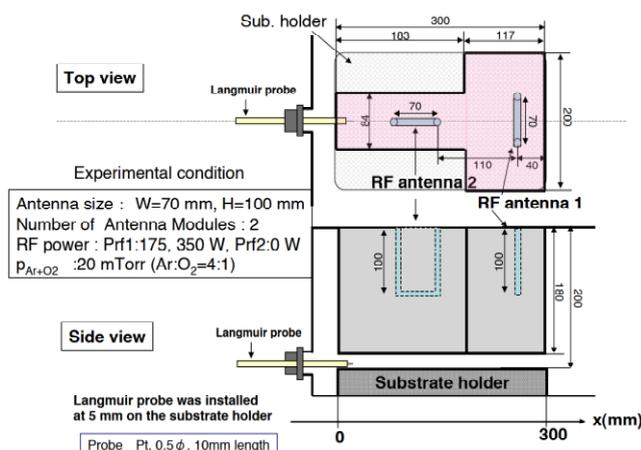


図2-1 試作したコンビナトリアルプラズマ解析装置における傾斜プラズマ生成室の形状と低インダクタンス内部アンテナの配置。

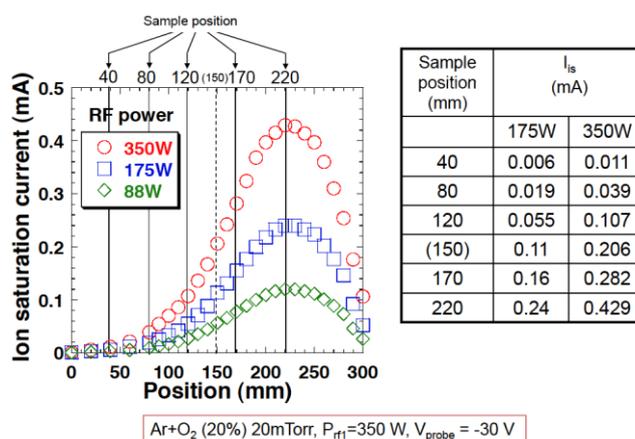


図2-2 Ar/O₂混合プラズマにおける基板上でのイオン飽和電流の軸方向分布。主アンテナのみに高周波電力を供給して生成。

概ね設計通りに下流側に傾斜した分布となっている。複数のテスト試料を基板上に配置することにより、イオン照射束が連続的に変化する条件でのプラズマ照射実験を、同一の壁の状態のもとで行うことが可能である。さらに、図 2-2 に示すように、基板ホルダーの端部から 40mm と 220mm に設置した試料では、イオン照射束として 40 倍のダイナミックレンジでのプラズマ照射実験を同時に行うことが可能であることがわかる。

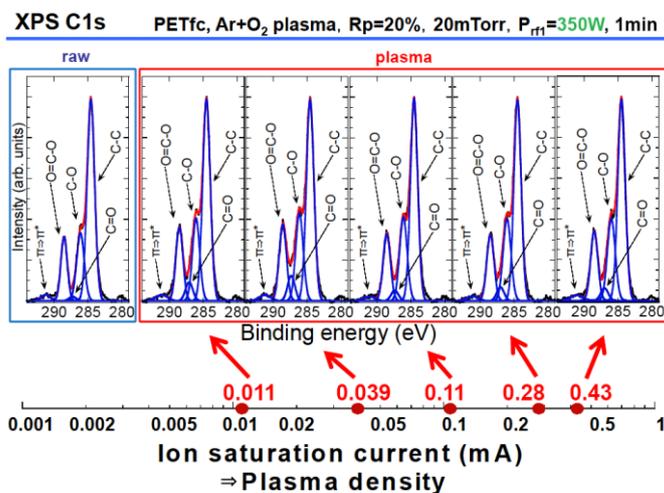


図 2-3 コンビナトリアルプラズマ解析装置で生成した Ar/O₂ 混合プラズマのイオン飽和電流分布と PET 表面の化学結合状態 (XPS C1s スペクトル) の相関。

上述の傾斜分布を有する Ar/O₂ プラズマを、軸上の 5カ所に設置した水冷基板ホルダーにポリエチレンテレフタレート (PET) フィルムに 1 分間照射した際の、ポリマー表面の化学結合状態 (XPS C1s スペクトル) の差異を図 2-3 および図 2-4 に示す。イオン飽和電流 (イオン照射束) の上昇に伴って、PET の O=C-O

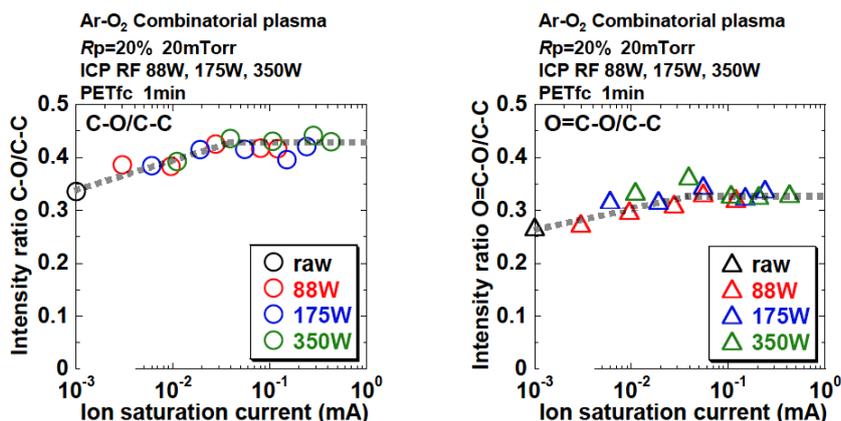


図 2-4 Ar/O₂ 混合プラズマのイオン飽和電流分布に対する PET 表面の化学結合状態 (XPS C1s スペクトル) の相関。

結合ならびに C-O 結合の割合が増加する傾向にあることが分かる。⁸⁻¹¹⁾

さらに真空紫外域 (VUV) ならびに紫外域 (UV) におけるプラズマ発光が、ポリマー表面から 50 nm 程度の内部領域における分子構造ならびに化学結合状態に及ぼす影響について調べるため、MgF₂ 窓 (真空紫外領域まで透過: VUV+UV)、合成石英窓 (紫外領域まで透過: UV) で覆った試料を同時に基板ホルダー上に配置した PET 試料について、通常の X 線光電子分光法 (XPS) と共に硬 X 線光電子分光法 (HXPES) を併用して化学結合状態の解析を行った。Ar/O₂ 混合プラズマ (20mTorr, O₂ 分圧 20%) を照射した PET 表面、MgF₂ 窓を通して VUV+UV 領域のプラズマからの発光を照射した PET 表面、合成石英窓を通して UV 領域のプラズマからの発光を照射した PET 表面の化学結合状態 (C1s 光電子スペクトル) を HXPES ならびに XPS を用いて測定した結果を図 2-5 に示す (これらの C1s 光電子スペクトルは、いずれも 284.6eV 付近の C-C 結

合のピーク強度で規格化して示している)。まず、深さ 10nm 程度までの領域からの光電子を観測している XPS スペクトルでは、プラズマを直接照射した試料、UV 光のみを照射した試料、VUV 領域までの光を照射した試料のいずれにおいても、C-C 結合の強度に対して、酸素官能基(C-O, C=O, O=C-O 結合)の割合が増加しており、特に、UV 光ならびに UV+VUV 光を照射した試料での C=O 結合の増加が顕著となっている。これは、結合解離エネルギーが比較的低い直鎖の C-C 結合あるいはフェニル基の C-C および C=C 結合の解離が顕著となり、相対的に酸素官能基が増加しているものと考えられる。特に、光照射に伴う C-C 結合あるいは C=C 結合の解離により生じた炭素終端に O₂ 分子あるいは O 原子が結合することにより、本来の PET の構成分子には存在しない C=O 結合が形成されているものと考えられる。また、プラズマを直接照射した試料に比べて光照射のみの試料の方が顕著である理由として、プラズマを直接照射した試料では、酸素イオンならびに原子状酸素ラジカルによるエッチングが同時進行しているため、プラズマプロセスに伴うダメージ(結合の解離)の蓄積が軽減されるのに対し、プラズマからの発光(UV 光ならびに UV+VUV 光)のみを照射した試料では、表面の光エッチングはプラズマを直接照射した場合に比べて顕著ではなかった(表面粗さ計測で確かめている)ことが挙げられる。一方、HX-PES でのより深い領域からの光電子スペクトルでは、検出深さをより深い領域まで拡張することにより、UV+VUV 光を照射した試料において C-O 結合の割合が減少していることを除いて、光電子スペクトルは本来の PET の分子構造に対応するスペクトルに遷移している。

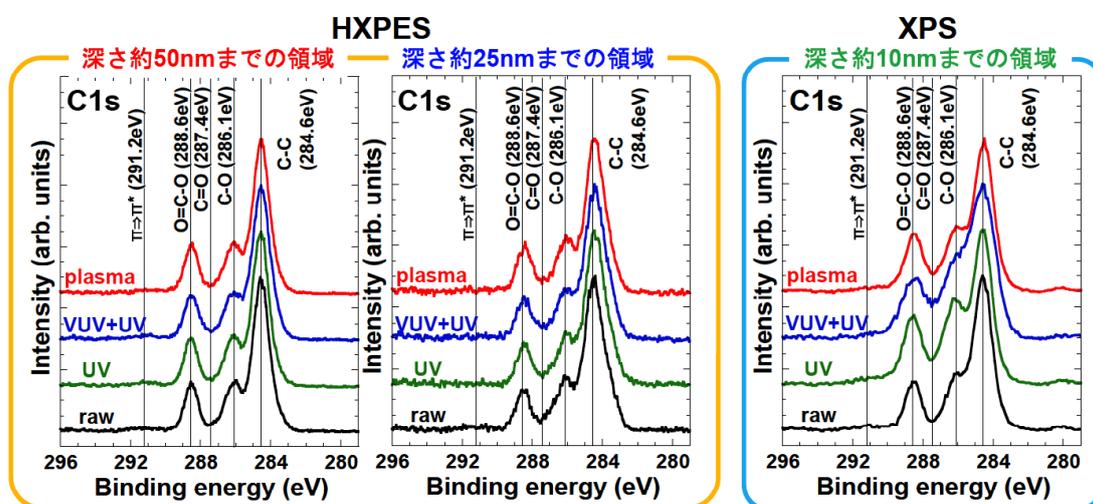


図 2-5 Ar/O₂ 混合プラズマ (20mTorr, O₂ 分圧 20%) を照射した PET 表面、MgF₂ 窓を通して VUV+UV 領域のプラズマからの発光を照射した PET 表面、合成石英窓を通して UV 領域のプラズマからの発光を照射した PET 表面の C1s 光電子スペクトル。

これらの結果を整理すると、以下のような反応モデルを考えることができる。1) プラズマからの発光による UV 光ならびに UV+VUV 光の照射により結合解離エネルギーが比較的低い直鎖の C-C 結合あるいはフェニル基の C-C および C=C 結合の解離を生じ、2) このため、C-C あるいは C=C 結合に対する酸素官能基の割合が増加する傾向にある。3) 特に、表面付近に高い密度で存在

する酸素分子あるいは原子状酸素ラジカルとの2次反応あるいはシナジェティックな反応により表面付近での酸素官能基(特に、本来の PET の分子構造には無い単独の C=O 結合)の増加割合は深い領域に比べて顕著となる。以上の反応モデルを確かめるため、今後、光選択フィルターに用いている MgF2 ならびに合成石英の形状として楔状の窓を用いることにより、光照射強度を傾斜化して実験を行い、同一条件のプラズマにおいて光照射強度に対する化学結合状態の変化について調べていく計画である。

(3) 「自己組織化成長技術による極限ナノ加工プロセスの確立」

本提案課題における重要な応用研究である次々世代ナノ加工を実現するための自己組織化パターン形成の実現を目的とする。具体的には、カーボン自己組織化マスクを用いたナノ加工技術の開発のため、有機膜上へのカーボン膜選択成長技術を確立する。

本技術の確立には、九大グループが提唱している異方性プラズマ CVD の製膜機構の理解が必要不可欠である。そこで今年度は、1. 製膜形状制御に対する水素フラックスの効果および、2. 製膜形状制御プロセスマップ構築、3. 堆積膜の組成分析を行った。実験で使用した異方性プラズマ CVD 装置を図 3-1 に示す。実験装置では製膜寄与ラジカル生成のための主放電プラズマ、H 原子フラックス制御のための H 原子源プラズマという2つの独立したプラズマと、イオンエネルギー制御のための 400kHz の基板バイアスにより、製膜形状制御を行う。

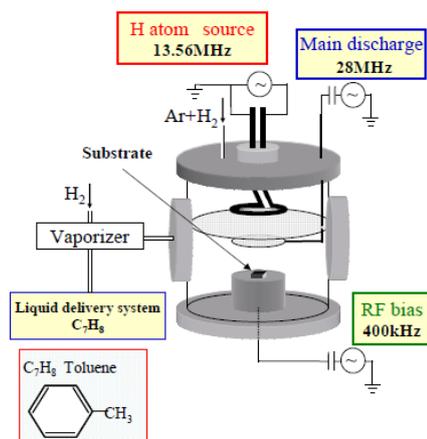


図 3-1. 異方性プラズマ CVD 装置

1. 製膜形状制御に対する H フラックスの効果

1) H 原子フラックスの効果을明らかにするため、トレンチ側壁・底面に対する製膜速度のアスペクト比依存性を測定した。結果を図 3-2 に示す。アスペクト比が大きくなるにつれて製膜速度は減少し、その減少率は側壁よりも底面が小さい。また原子源電力 P_H が 500W の場合、0W の場合に比べて、側面・底面の製膜速度が減少することを明らかにした。

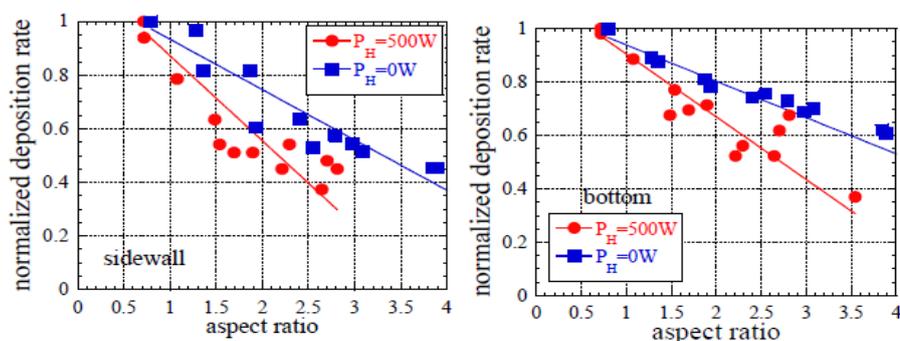


図 3-2. 規格化した製膜速度のアスペクト比依存性

2) コンビナトリアルプラズマ解析装置開発の一環として、H 原子源による H 原子フラックスの独立制御を目指して、H 原子源の H α 発光強度と主放電の電子密度の H 原子源電力依存性を測定した結果を図 3-3 に示す。H α 発光強度が H 原子源電力とともに増加するのに対し、主放電電子密度は電力に対し一定となることを明らかにした。この結果は主放電電極による炭化水素系ラジカル・イオンの生成と H 原子源電極による H 原子生成の独立制御が可能であることを示す。

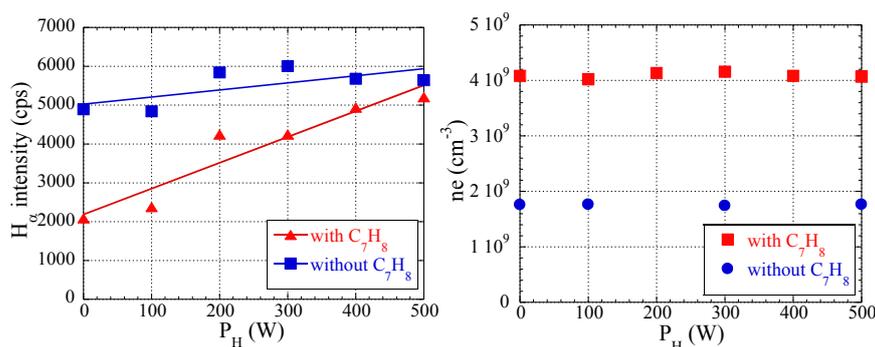


図 3-3. H α 発光強度・主放電電子密度の H 原子源電力依存性

3) 結論

有機基板上への選択的カーボン膜形成の基礎検討を行い製膜形状に対する水素フラックスの効果을明らかにするとともに、製膜形状制御プロセスマップ構築に着手した。今後は、当該技術の構築を自己組織化コンビナトリアル解析装置にて遂行し、異方性製膜で作製した膜の膜質評価(ラマン、XPS 等)、カーボン膜のエッチング耐性、選択比の評価を行って、革新的自己組織化パターン形成基盤技術を確立する。

§ 4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

- 論文詳細情報

1. 堀 勝, ラジカル制御プラズマとその応用, JOURNAL OF THE VACUUM SOCIETY OF JAPAN, Vol.52 NO.9, pp.491-497, 2009 年 9 月.
2. S. Takahashi, S. Takashima, K. Yamakawa, S. Den, H. Kano, K. Takeda, and M. Hori, "Development of atomic monitoring probe and its application to spatial distribution measurements of H and O atomic radical densities in radical-based plasma processing", J. Appl. Phys., Vol.106, pp.053306-1-4, (2009) [DOI: 10.1063/1.3212990].

3. Malinowski A., Sekine M., Hori M., Jakubowski A., Lukasiak L., Tomaszewski D.,
“Analysis of dispersion of electrical parameters and characteristics of FinFET
device”, *Journal of Telecommunications and Information Technology (JTIT)* issue No
4, pp.45-50 (2009). DOI コードなし
4. Chang S. Moon, K. Takeda, M. Sekine, Y. Setsuhara, M. Shiratani, and M. Hori,
“Combinatorial Plasma Etching Process”, *Applied Physics Express* 2 (2009) [DOI:
10.1143/APEX.2.096001].
5. Chang S. Moon, K. Takeda, S. Takashima, M. Sekine, Y. Setsuhara, M. Shiratani,
and M. Hori “High performance of compact radical monitoring probe in H₂/N₂
mixture plasma”, *J. Vac. Sci. Technol. B* **28**, L17 (2010) [DOI: 10.1116/1.3327926]
6. Jun Umetsu, Kazuhiko Inoue, Takuya Nomura, Hidefumi Matsuzaki, Kazunori
Koga, Masaharu Shiratani, Yuichi Setsuhara, Makoto Sekine, and Masaru Hori,
“Substrate temperature dependence of deposition profile of plasma CVD carbon
films in trenches”, *Journal of Plasma and Fusion Research Series*, Vol.8
pp.1443-1446 (2009). DOI コードなし
7. Y. Setsuhara, K. Nagao, M. Shiratani, M. Sekine, M. Hori, “Development of
density-inclination plasmas for analysis of plasma nano-processes via combinatorial
method”, *Thin Solid Films*, Vol.518, pp.1020-1023 (2009)
[DOI:10.1016/j.tsf.2009.07.162].
8. Y. Setsuhara, K. Takenaka, K. Cho and J. G Han, “Large-area and low-damage
processes for hybrid flexible device fabrications with reactive high-density plasmas
driven by multiple low-inductance antenna modules”, *Journal of Physics: Conference
Series*, **165**, 012042 (2009) [DOI:10.1088/1742-6596/165/1/012042].
9. Y. Setsuhara, K. Cho, K. Takenaka, A. Ebe, M. Shiratani, M. Sekine, M. Hori, E.
Ikeitaga, H. Kondo, O. Nakatsuka and S. Zaima “Plasma Surface Treatment of
Polymers with Inductivity Coupled RF Plasmas Driven by Low inductance Antenna
Units”, *Thin Solid Films*, **518**, pp.1006-1011 (2009) [DOI:10.1016/j.tsf.2009.07.161].
10. Y. Setsuhara, K. Cho, K. Takenaka, M. Shiratani, M. Sekine, M. Hori, E. Ikeitaga
and S. Zaima “Low-Damage Surface Modification of Polymethylmethacrylate with
Argon-Oxygen Mixture Plasmas Driven by Multiple Low-Inductance Antenna Units”,
Thin Solid Films **518** , pp. 3561-3565 (2010) [DOI:10.1016/j.tsf.2009.11.045]
11. Y. Setsuhara, K. Cho, M. Shiratani, M. Sekine and M., Hori, E. Ikeitaga and S.
Zaima, “X-Ray Photoelectron Spectroscopy for Analysis of Plasma-Polymer
Interactions in Ar Plasmas Sustained via RF Inductive-Coupling with
Low-Inductance Antenna Units”, *Thin Solid Films* **518**, pp. 3555-3560 (2010)
[DOI:10.1016/j.tsf.2009.11.038].

12. K. Takenaka, K. Cho, Y. Setsuhara, M. Shiratani, M. Sekine, M. Hori
“DEVELOPMENT OF COMBINATORIAL PLASMA PROCESS ANALYZER FOR
ADVANCED R&D OF NEXT GENERATION NANODEVICE FABRICATIONS”,
Cramics Transactions, (Accepted for publication).
13. Ken Cho, Kosuke Takenaka and Yuichi Setsuhara, Masaharu Shiratani, Makoto
Sekine, Masaru Hori, Eiji Ikenaga, Hiroki Kondo, Osamu Nakatsuka, and Shigeaki
Zaima “HARD X-RAY PHOTOELECTRON SPECTROSCOPY ANALYSIS FOR
ORGANIC-INORGANIC HYBRID MATERIALS FORMATION”, Ceramics
Transactions, (Accepted for publication).
14. Yuichi Setsuhara, Ken Cho, Masaharu Shiratani, Makoto Sekine and Masaru Hori
“X-Ray Photoelectron Spectroscopy Analysis of Plasma-Polymer Interactions for
Development of Low-Damage Plasma Processing of Soft Materials”, Thin Solid Films
(Accepted for publication).
15. Yuichi Setsuhara, Ken Cho, Kosuke Takenaka, Masaharu Shiratani, Makoto
Sekine and Masaru Hori “Advanced Research and Development for Plasma
Processing of Polymers with Combinatorial Plasma-Process Analyzer”, Thin Solid
Films (Accepted for publication).

(4-2) 知財出願

- ① 平成21年度特許出願件数(国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 1 件)