

一般セッション(ポスター講演) | 8 プラズマエレクトロニクス: 8.1 プラズマ生成・診断

2025年3月16日(日) 13:30 ~ 15:30 会場 P01 (森戸記念体育館)

[16p-P01-1~9] 8.1 プラズマ生成・診断

[16p-P01-1]

容量結合型RFテトラエトキシシランプラズマ
基礎特性の投入電力依存性の計測○滝口 達也¹、植松 優¹、小田 昭紀¹ (1.千葉工大)

[16p-P01-2]

大気圧プラズマジェットにおけるガス流挙動への荷電粒子の影響

○山田 大将¹ (1.長野高専)

[16p-P01-3]

スペクトルグラフ理論に基づく大気圧低温プラズマの化学反応ネットワーク簡約化手法の開発

○(M1)西 海翔¹、東 直樹¹、富岡 智¹ (1.北大院工)

[16p-P01-4]

深振動マグネトロンスパッタリングにおける放電・発光遅延時間計測を用いたガス密度分布診断法の検討

○横山 英佐¹、中川 悠幹¹、小林 宏輝¹、西宮 信夫¹、實方 真臣¹、戸名 正英²、山本 宏晃²、塚本 恵三²、富宅 喜代一³、大下 慶次郎⁴、美齊津 文典⁴ (1.東京工芸大工、2.(株)アヤボ、3.神戸大、4.東北大院理)

[16p-P01-5]

深振動マグネトロンスパッタリングの成膜領域における飛行時間質量分析法を用いた多成分同時検出エネルギー分布計測

○小林 宏輝¹、中川 悠幹¹、横山 英佐¹、西宮 信夫¹、實方 真臣¹、戸名 正英²、山本 宏晃²、塚本 恵三²、富宅 喜代一³、大下 慶次郎⁴、美齊津 文典⁴ (1.東京工芸大工、2.(株)アヤボ、3.神戸大、4.東北大院理)

[16p-P01-6]

低温プラズマから供給された水素原子の基材表面分布

○南谷 将平¹、竹田 圭吾¹、平松 美根男¹ (1.名城大理工)

[16p-P01-7]

プラズマ空間分布再構築における電極間方向の高分解能化

○泉 涼太¹、鈴木 陽香^{1,2}、豊田 浩孝^{1,2,3} (1.名大工、2.名大低温プラズマ、3.核融合研)

[16p-P01-8]

二周波重畳容量結合型プラズマの電極への正パルス電圧印加が高アスペクト比ホール底部の電荷蓄積に与える影響

○(M1)菊池 拓哉¹、赤塚 勇大¹、鈴木 陽香¹、森山 誠²、田村 晃汰²、久保井 宗一²、飯野 大輝²、福水 裕之²、栗原 一彰²、豊田 浩孝¹ (1.名大工、2.キオクシア)

[16p-P01-9]

ミニマルファブを活用したハイブリッドpMOSFET製造工程におけるマイクロ波励起水蒸気プラズマアッシングプロセスの組み込み評価

○谷口 博紀¹、石島 達夫¹、田中 康規¹、中野 祐介¹ (1.金沢大工)

容量結合型 RF テトラエトキシシランプラズマ 基礎特性の投入電力依存性の計測

Diagnostics of Input-power Dependence of Fundamental Properties of Capacitively-coupled RF Tetraethoxysilane Plasma

千葉工業大学¹

○(M1) 滝口 達也¹, (B) 植松 優¹, 小田 昭紀¹

Chiba Inst. Technol.¹

○Tatsuya Takiguchi¹, Yu Uematsu¹, Akinori Oda¹

E-mail: s20a4109gt@s.chibakoudai.jp

1. はじめに

層間絶縁膜は、半導体デバイスにおいて配線間を電氣的に絶縁する膜として重要な役割を果たしている^[1]。本膜は、一般的に SiO₂ 膜が広く使用されており、通常プラズマ CVD(Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition)法を用いて堆積される。その原料ガスはテトラエトキシシラン(Tetraethoxysilane, Si(OC₂H₅)₄, 以下 TEOS)ガスが広く使用されている^[2]。層間絶縁膜は、集積回路の高密度化に伴い、膜の均一性や性能向上がますます重要となっている。これを達成するためには、プラズマを高度に制御する必要があり、TEOS プラズマの数密度や電子温度などの基礎特性を理解する必要がある。

そこで、本研究では、TEOS プラズマの基礎特性理解のため、Ar/TEOS(0.1%)ガスを用いて容量結合型 RF 低圧プラズマを生成し、TEOS プラズマ内の電子数密度や電子温度の投入電力依存性を計測したのでその結果について報告する。

2. 実験装置および条件

本研究で用いた実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。円筒形のステンレス製チャンバ(直径 250 mm, 高さ 300 mm)内に直径 150 mm の金属平板電極を電極間距離 67 mm で平行に配置した。このチャンバ内に Ar/TEOS (0.1%)ガスをガス流量 20 sccm で導入し、ガス圧力が 13 Pa となるように排気した。その上で、両金属電極間に高周波電力 50 - 125 W を投入してプラズマを生成した。測定には、ラングミュアプローブ装置(英国 HIDEN ANALYTICAL 社製 ESPion)を用いた。

3. 結果および考察

ラングミュアプローブ法によって計測された電子数密度および電子温度を Fig. 2(a)および(b)にそれぞれ

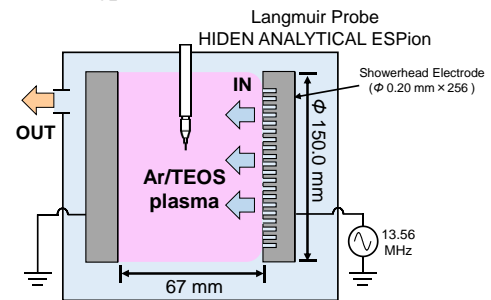


Fig. 1. Schematic diagram of the electrode configuration of capacitively-coupled RF plasmas in Ar/TEOS(0.1%) gas.

れ示す。なお、参考までに Ar プラズマの結果を付した。本図から、投入電力 50 - 125 W でのプラズマの電子数密度は 10^{10} cm^{-3} のオーダーであることがわかる。また、Ar/TEOS プラズマの電子温度は約 0.7~1.2 eV であり、Ar プラズマに比べ、最大 1 eV 低いことがわかる。これは、TEOS ガスにおける 0.2 eV あたりの低エネルギーに存在する振動励起などに基づく衝突反応のため、電子がエネルギーを失ったためである。その他、実験結果ならびにシミュレーション結果を比較した結果は、講演当日に報告する。

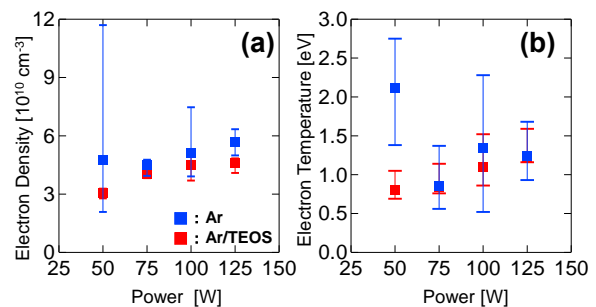


Fig. 2. Dependence of electron number density (a) and electron temperature (b) of Ar and Ar/TEOS(0.1%) on input power.

文 献

- [1] I. T. Emish *et al.*, *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 136, No. 11, pp. 3404-3408 (1989)
 [2] H. Li *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 58, No. SE, SEED06 (10pp) (2019)

大気圧プラズマジェットにおけるガス流挙動への荷電粒子の影響

Effect of Charged Particles on Gas Flow Behavior in Atmospheric Pressure Plasma Jet

長野高専¹, °山田 大将¹

NIT, Nagano College.¹, °Hiromasa Yamada¹

E-mail: h_yamada@nagano-nct.ac.jp

大気圧プラズマジェット (Atmospheric pressure plasma jet, “APPJ”) は、大気圧下で希ガスなどを作動ガスとして用いて生成される、直径約 10⁰ mm、長さ約 10¹ mm のプラズマであり、チャンバー内での制約もなく、安価な電源を使用して容易に生成可能である。APPJ は作動ガス流中で生成され、周囲の空気との混合により、多くの応用で重要とされる活性種を生成し、作動ガス流を通じて輸送している。加えて、プラズマ生成は作動ガス流 (噴流) の乱流化を促進することが報告されている^[1]。このようなプラズマ生成によるガス流への影響は、プラズマ生成経路にも影響を及ぼし、プラズマのサイズ (直径・長さ) や活性種の生成・輸送にも影響を与える。したがって、APPJ のサイズ制御や活性種の効率的な輸送を通じて、各応用を効果的に進めるためには、APPJ とガス流の関係性の理解が重要となる。

乱流化促進など、プラズマ生成によるガス流への影響は、電場加速された荷電粒子 (イオンや電子) がガス流を構成する中性粒子に作用することで生じるとされる。しかし、荷電粒子に作用する電場は、プラズマ自体やプラズマ生成のための高圧電極、周囲の機器などの中で形成されるため、空間的に複雑である。そこで本研究では、荷電粒子挙動を分かりやすくするために、Fig. 1 に示すように生成したプラズマを上下から挟むように外部電極を配置し、プラズマに時空間的に一定の外部電場を印加する手法を用いて、APPJ の作動ガス流及びプラズマ生成過程への電場の影響を分析した。この際、放電形式やプラズマ生成時の印加電圧極性を制御することで異なる特性のプラズマを生成した。実験ではガス流挙動をシュリーレン光学系により計測し、荷電粒子挙動を電流計測により評価した。

外部電場印加時のガス流挙動はプラズマ生成条件により異なり、正極性正弦波によりプラズマを生成した場合は電場方向に、負極性正弦波の場合は電場とは逆の方向に屈曲した。また、電流波形も条件により大きく異なる結果が得られた。講演では、その他の条件の結果や、ガス流と荷電粒子挙動の関係性について考察し、説明を行う。

[1] H. Yamada, et al., Jpn. J. Appl. Phys., Vo. 55, No. 1 (2016), pp. 01AB08-1 - 01AB08-5.

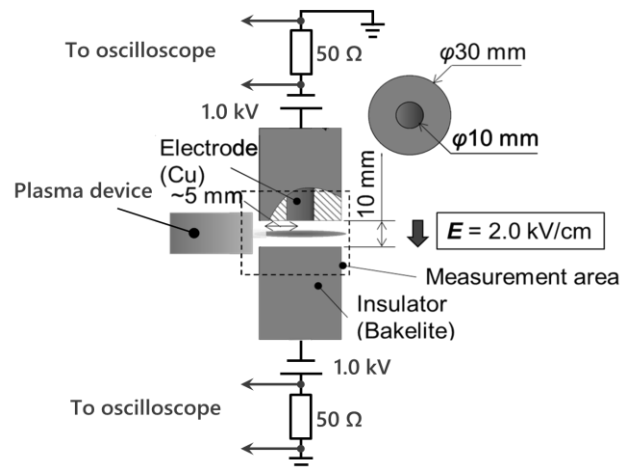


Fig. 1 実験系の概略図.

スペクトルグラフ理論に基づく大気圧低温プラズマの 化学反応ネットワーク簡約化手法の開発

Spectral Graph Theory-Based Reduction of Chemical Reaction Networks

in Atmospheric-Pressure Low-Temperature Plasmas

北大院工, ○(M1C)西 海翔, 東 直樹, 富岡 智



Hokkaido Univ., ○(M1C)Kaito Nishi, Naoki Higashi, Satoshi Tomioka

E-mail: nishi.kaito.t7@elms.hokudai.ac.jp

大気圧低温プラズマ中の複雑な化学反応ネットワーク (Chemical Reaction Network 以下 CRN) から重要な化学種や反応を明らかにすることは工学的応用のために重要である。大気圧低温プラズマの化学的高活性の応用例は、プラズマ医療、除菌、材料プロセスによる表面改質など多岐にわたる。これらの工学的応用においては、複雑な化学反応の中から重要性の高い化学種や化学反応を選択的に抽出することで、実験および数値シミュレーションの双方において本質的なパラメータを特定することが有効である。

しかしながら、既存の大気圧低温プラズマにおける CRN 簡約化手法の多くは反応速度係数に依存するため、新たな簡約化手法が求められている。この反応速度係数は、大気圧低温プラズマの計測の困難さに起因して不確かさを含むことが多く、これらの簡約化手法の信頼性は十分ではない場合が多い。一方、スペクトルグラフ理論と呼ばれる、グラフに結びついた行列の固有値や固有ベクトルに関係する研究がある。本研究では、CRN をグラフとして表現し、スペクトル疎化と呼ばれるスペクトルグラフ理論の分野で開発されたアルゴリズムを用いた新たな CRN 簡約化手法の開発を試みる。

スペクトル疎化[1]とは、密なグラフをその特徴を保ったまま重要な辺だけ残した疎なグラフに変形するアルゴリズムで、CRN の特徴を表す隣接行列を用いる。本手法では、隣接行列をもとにラプラシアン行列を作成し、その固有値を求める。この固有値はグラフの特徴を表しており、簡約化適用後の固有値と比較し、一定の閾値内に収まることを基準として簡約化を行う。

本研究では、大気圧低温プラズマの CRN に対して、スペクトルグラフ理論に基づく CRN の簡約化を行なった。その結果を先行研究[2][3]と比較して大気圧低温プラズマ系に対する本手法の効果を評価する。

参考文献

[1] D. Spielman and N. Srivastava, SIAM J. Comput. Vol. **40**, Iss. 6 (2011)

[2] M. Turner, Plasma Sources Sci. Technol. **24**, 035027 (2015)

[3] M. Turner, Plasma Sources Sci. Technol. **25**, 015003 (2016)

深振動マグネトロンスパッタリングにおける 放電・発光遅延時間計測を用いたガス密度分布診断法の検討

Study on diagnostic method of gas density distribution using discharge and optical
emission delay time measurement in deep oscillation magnetron sputtering

東京工芸大工¹, (株)アヤボ², 神戸大³, 東北大院理⁴ ◯横山 英佐¹, 中川 悠幹¹,
小林 宏輝¹, 西宮 信夫¹, 實方 真臣¹, 戸名 正英², 山本 宏晃², 塚本 恵三²,
富宅 喜代一³, 大下 慶次郎⁴, 美齊津 文典⁴

Tokyo Polytech. Univ.¹, Ayabo Corp.², Kobe Univ.³, Tohoku Univ.⁴, ◯E. Yokoyama¹, Y. Nakagawa¹,
H. Kobayashi¹, N. Nishimiya¹, M. Sanekata¹, M. Tona², H. Yamamoto², K. Tsukamoto²,
K. Fuke³, K. Ohshimo⁴, and F. Misaizu⁴

E-mail: sanekata@eng.t-kougei.ac.jp

1. 序論 数 μs の非常に短い On/Off 時間からなるマイクロパルス列によって構成される深振動マグネトロンスパッタリング (DOMS) は、成膜速度を補償し優れたアークフリー特性を有するスパッタリング成膜法として期待されている。本研究では異なるマイクロパルス Off 時間条件によって DOMS の制御パルスを設計し、生成した DOMS プラズマに対して発光分光分析 (OES) による時間発展計測を用いて、放電・発光遅延時間からガス密度分布の解析を行った。

2. 実験 変調パルス電源 (AXIA, Zpulsar) を用い、On 時間 $10 \mu\text{s}$ 、Off 時間 $30 \sim 150 \mu\text{s}$ 、マイクロパルス本数 $15 \sim 25$ 本からなる DOMS 制御パルスを設計し、動作圧力 $0.49 \sim 1.66 \text{ Pa}$ 間の Ar 雰囲気中で Ti ターゲットに対してスパッタリングを行った。ターゲット表面からの距離 $14 \sim 74 \text{ mm}$ 間で OES を実施した¹⁾。放電電圧ピークから放電電流ピークおよび発光ピークまでの時間差を遅延時間と定義し、動作圧力との相関を解析した。

3. 結果と考察 On 時間 $10 \mu\text{s}$ 、Off 時間 $150 \mu\text{s}$ で種々のガス圧力条件での放電電圧波形を Fig. 1 に示す。電圧印加から絶縁破壊に達して電流が流れ始めるまでの時間差はガス圧力の増加に伴って減少する。これはガス圧力によって変化する放電開始電圧が放電の形成遅れ時間に影響することに起因している。Off 時間を $50 \sim 150 \mu\text{s}$ 間で変化させた際の放電遅延時間のガス圧力特性を Fig. 2 に示す。パッシェンの法則によるフィッティングと良好な一致を示した。ガス圧力は放電遅延時間と一定の相関を有し、遅延時間解析がガス圧力を推算するための新たな診断法になる可能性を示唆する。発光遅延時間についても同様にガス圧力との相関を解析した。

参考文献 1) E. Yokoyama, et al. Jpn. J. Appl. Phys. 62 SL1008 (2023).

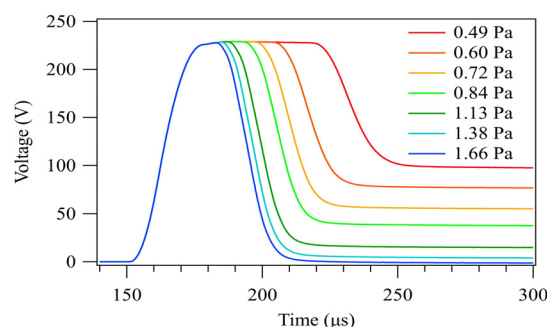


Fig. 1 Discharge voltage waveforms with different working pressures.

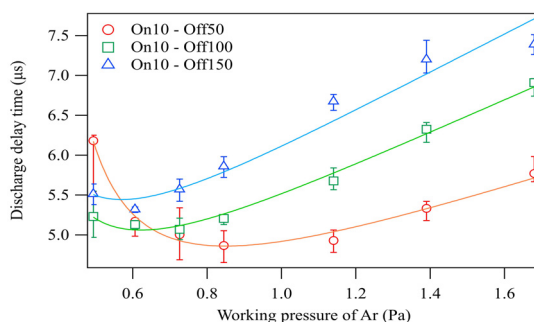


Fig. 2 Discharge current delay time for working pressures under various On/Off time conditions.

**深振動マグネトロンスパッタリングの成膜領域における
飛行時間質量分析法を用いた多成分同時検出エネルギー分布計測
Simultaneous multi-component detected energy distribution measurement using
time-of-flight mass spectrometer in the deposition region of
deep oscillation magnetron sputtering.**

東京工芸大工¹, (株)アヤボ², 神戸大³, 東北大院理⁴ ◦小林 宏輝¹, 中川 悠幹¹,
横山 英佐¹, 西宮 信夫¹, 實方 真臣¹, 戸名 正英², 山本 宏晃², 塚本 恵三²,
富宅 喜代一³, 大下 慶次郎⁴, 美齊津 文典⁴

Tokyo Polytech. Univ.¹, Ayabo Corp.², Kobe Univ.³, Tohoku Univ.⁴, ◦H. Kobayashi¹,
Y. Nakagawa¹, E. Yokoyama¹, N. Nishimiya¹, M. Sanekata¹, M. Tona², H. Yamamoto²,
K. Tsukamoto², K. Fuke³, K. Ohshimo⁴, and F. Misaizu⁴

E-mail: sanekata@eng.t-kougei.ac.jp

1. 序論 現在、深振動マグネトロンスパッタリング(DOMS)研究の対象は成膜特性に集中しており、DOMS プラズマ過程の詳細に関する検討は、これからの段階にある。本研究では、飛行時間型質量分析法 (TOF-MS) で測定される DOMS の生成イオンに対する多成分イオン同時計測システムを開発し、多成分イオン粒子に対し時間発展計測およびイオンエネルギー分布計測を行った。

2. 実験 DOMS および TOF-MS の詳細は、参考文献を参照されたい¹⁾。DOMS は Ti ターゲットに対し、Ar ガス(0.61 Pa)によって行った。多成分イオン検出は、TOF 質量スペクトルの質量成分ごとにボックスカー積分器(SRS/SR250) の計測ゲートを通じて行われ、イオン強度の時間発展計測は DOMS 放電開始時を時間 0 としてデジタル遅延パルス発生器(SRS/DG535)によりイオン加速引出し時間からの遅延時間を掃引し、行なった。イオンのエネルギー分布計測は、加速電極の前に阻止電極を設置し、阻止電圧の印加による検出イオンのフィルタリングにより行った。

3. 結果と考察 Fig. 1 に投入電圧 300V の DOMS で生成したイオン粒子(Ar^+ , Ar^{2+} , Ti^+ , Ti^{2+})に対し、遅延時間 0~800 μs (時間分解能 0.5 μs) で 4 成分同時検出された時間発展計測の結果を示す。Fig. 2 には、時間発展で測定された 4 本目のパルスにおける成分ごとのピーク時のエネルギー分布計測の結果を示す。 Ar^+ , Ti^+ においてのみ、10 eV 以下の低エネルギー成分は観測された。一方で、10 eV 以上の高エネルギー成分はイオン強度としては弱い、すべてのイオン種で観測された。

参考文献 1) M.Sanekata, *et. al.* J. Appl. Phys., 131, 243301 (2022).

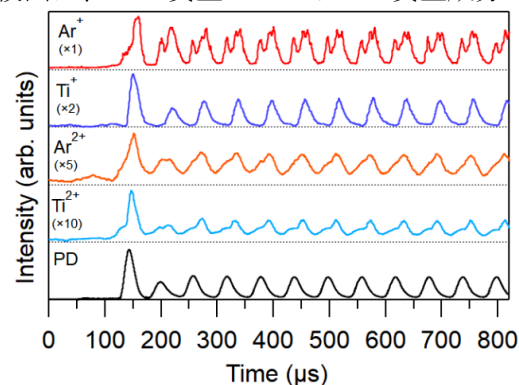


Fig. 1. Power density waveform and temporal profiles of ion particles formed in DOMS.

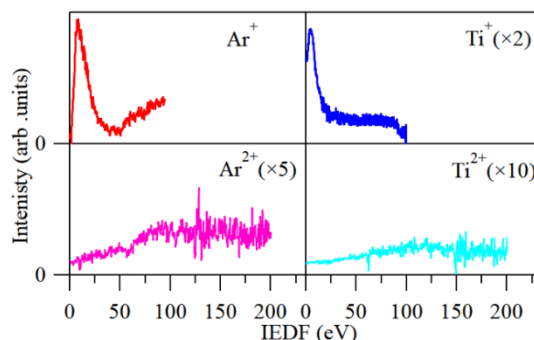


Fig. 2. Ion energy distribution function of ions produced in DOMS (IEDF).

低温プラズマから供給された水素原子の基材表面分布

H atom distribution over a substrate surface irradiated by low temperature plasma

名城大理工, °(M1)南谷 将平, 竹田 圭吾, 平松 美根男

Meijo Univ., °Shohei Nanya, Keigo Takeda, Mineo Hiramatsu

E-mail: 243427025@ccmailg.meijo-u.ac.jp

1. 緒言

半導体デバイス製造に多用される低温プラズマの生成をはじめ、基材表面で誘起されるエッチングや膜堆積などのプラズマプロセス反応を基礎から理解し、得られた知見を活用することは本分野の技術開発に必須である。本研究では、プラズマ内のラジカルの基材上における表面反応に着目し、基材表面近傍におけるラジカルの密度分布の実計測をもとにした、その定量的な分析をはじめ、シミュレーションによる基材表面上のラジカル密度分布の検証を行い、以上の研究を通じて、ラジカルの表面反応に関する知見を集積することを目的とする。

2. 実験・検証方法

本研究で用いる装置を Figure 1 に示す。誘導結合型プラズマ源(ICP)及びマイクロ放電ホローカソードランプ(MHCL)を光源とした真空紫外吸収分光(VUVAS)システム[1]で構成される。

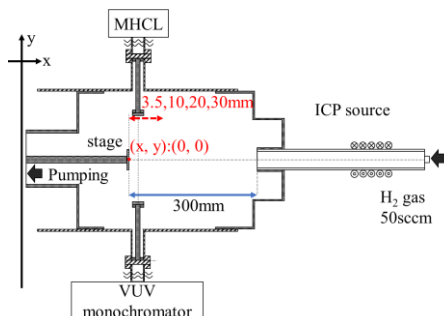


Fig.1 Schematic diagram of experimental set up.

実験条件として、ICP 源には水素ガスを 50 sccm の流量で導入し、チャンバー内を 5、7.5、10 Pa と各圧力に維持した条件のもと、アンテナに RF(13.56 MHz)電力 200 W を供給して水素プラズマを生成した。そして、VUVAS を用い

てステージ上(x 方向)の水素原子の絶対密度分布を計測した。また、実験装置を Particle-In-Cell(PIC)法[2]でモデル化し、実験条件同様の外部パラメータ及び、実測値より算出されたチャンパー壁面や基材表面の水素原子の反射係数(水素原子の表面損失確率)を計算モデルに入力することにより、基材表面近傍での水素原子の挙動を計算した。

3. 計測結果及び、計算結果

Figure 2 に基材近傍(Polyimide)での水素原子密度の実計測および計算結果を示す。

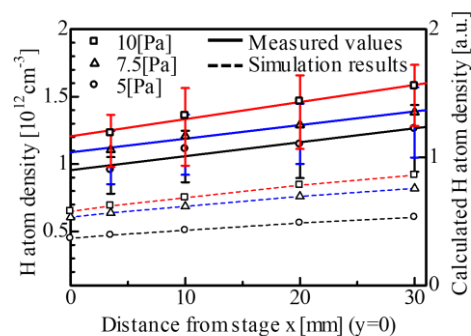


Fig.2 Measured and calculated spatial distribution of H atom density over a polyimide substrate (in the x-direction).

実測値と計算値を比較すると、ともにチャンパー圧力に対する水素原子密度の依存性と基材表面に近づくにつれて密度が減少する傾向が見える。実測値より得られた表面損失確率を計算モデルに入力することで、より高度なシミュレーションの検証が期待できる。

参考文献) [1] S. Takashima, et al., Appl. Phys. Lett., 20, 3939(1999). [2] Y. Miyagawa, et al., IEEJ Trans. FM, 123, 724-730(2003).

プラズマ空間分布再構築における電極間方向の高分解能化

Improvement of resolution in inter-electrode direction in plasma spatial profile reconstruction

名大工¹, 名大低温プラズマ², 核融合研³ ○(M1) 泉 涼太¹, 鈴木 陽香^{1,2}, 豊田 浩孝^{1,2,3}

Nagoya Univ.¹, cLPS Nagoya Univ.², NIFS³ ○Ryota Izumi¹, Haruka Suzuki^{1,2}, Hirotaka Toyoda^{1,2,3}

E-mail: izumi.ryota.i8@s.mail.nagoya-u.ac.jp

近年、半導体製造での歩留まり改善に向けてプロセスプラズマの面内均一性のさらなる向上が要求されている。我々は、プラズマ構造モニタリングの導入が重要であると考え、非接触計測でプラズマ発光の空間構造を評価する手法として、トモグラフィ手法を基にした3次元空間分布を再構築する手法の開発を行ってきた。これまでは、1 cm 立方の空間分解能で不均一プラズマの構造評価を行ってきたが[1]、シース部分の輝度変化を捉えることはできておらず、高分解能化においては計算量増加や情報量不足が課題であった。本研究では、プラズマを撮影するカメラの較正方法と、再構築の計算方法を見直すことで、電極間のより詳細な発光分布の取得を試みたので報告する。

真空容器（直径 300 mm）に Ar ガスを導入し、容器中央に設置された円形電極（直径 110 mm）に VHF 電力（40.68 MHz, 100 W）を印加してプラズマを発生させた。容器側面の石英観察窓から CMOS カメラを用いてプラズマ発光を撮影した。装置構造の制約により一方向からの撮影しか行えないため、プラズマの周方向対称性を仮定し、撮影方向以外の方向からも同様の画像が撮影されるとして、疑似的な8方向画像（45° 毎）を用いて発光の空間構造を再構築した。

再構築においては、半径 100 mm、高さ 40 mm の円筒空間を考える。高さ方向の分布をより詳細に評価するために、縦 10 mm × 横 10 mm × 高さ 1 mm の直方体（ボクセル）で空間を分割した。各ボクセルの輝度情報ベクトル \mathbf{f} 、撮影画像情報ベクトル \mathbf{g} 、これら2つを結びつける固有カメラパラメータ行列を \mathbf{H} とすると、関係式は $\mathbf{H}\mathbf{f} = \mathbf{g}$ となる。 \mathbf{H} が正方行列でなく、 \mathbf{g} がノイズを含むことから、Tikhonov-Philips 正則化を用いて、 \mathbf{f} は以下のように表すことができる。

$$\mathbf{f} = (\mathbf{H}^T \mathbf{H} + \alpha \mathbf{C}^T \mathbf{C} + \beta \mathbf{I})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{g}$$

ここで \mathbf{C} はラプラシアン行列、 \mathbf{I} は単位行列である。レンズに入る光線を実験的に導出し、ボクセルを通る視線の長さによって重み付けを行うとともに、カメラの周辺光量落ちの補正も行い、 \mathbf{H} 行列を作成した。

Fig.1 に容器圧力を 6.7 Pa, 13 Pa, 20 Pa としたときの、 y 軸中央におけるプラズマ発光 x - z 断面分布を示す。高さ z を細かく分割したことで、シース部分の輝度変化を捉えることができた。また、圧力増加とともにプラズマが電極に局在化し、シースが薄くなる傾向が再現された。

[1] 泉涼太 他, 第 41 回プラズマ・核融合学会 年会, 17Da03 (2024).

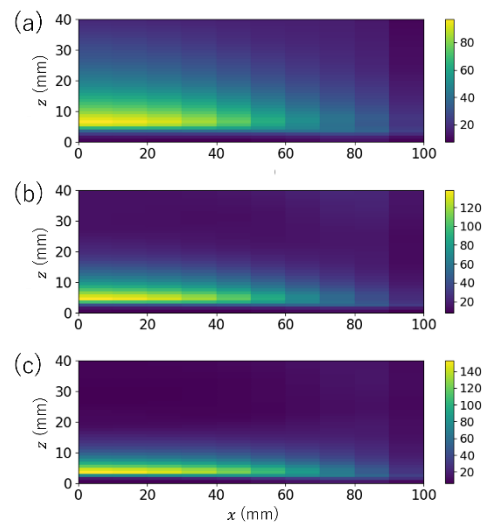


Fig.1 Reconstructed x - z plane profiles
(a) 6.7 Pa (b) 13.3 Pa (c) 20.0 Pa.

二周波重畳容量結合型プラズマの電極への正パルス電圧印加が高アスペクト比ホール底部の電荷蓄積に与える影響

Effect of Applying Positive Pulsed Voltage to the Electrode of a Capacitively Coupled Plasma on Charge Accumulation at the Bottom of High Aspect Ratio Holes

名大¹, キオクシア(株)² ◦(M1)菊池 拓哉¹, (M2)赤塚 勇大¹, 鈴木 陽香¹, 森山 誠²,
田村 晃汰², 久保井 宗一², 飯野 大輝², 福水 裕之², 栗原 一彰², 豊田 浩孝¹
Nagoya Univ.¹, KIOXIA Corp.², ◦Takuya Kikuchi¹, Yudai Akatsuka¹, Haruka Suzuki¹,
Makoto Moriyama², Kota Tamura², Shuichi Kuboi², Daiki Iino², Hiroyuki Fukumizu²,
Kazuaki Kurihara², and Hirotaka Toyoda¹

E-mail: kikuchi.takuya.f6@s.mail.nagoya-u.ac.jp

半導体メモリデバイス製造において、反応性イオンエッチング (RIE) による高アスペクト比 (HAR) ホール加工の重要性が増す中、ホール底部への正電荷蓄積による形状異常が課題となっている。我々はこれまでに、キャピラリープレート (CP) を HAR ホールのモデルとして用い、40 MHz 容量結合型プラズマ (CCP) 電極上の CP ホール底での時間依存チャージング挙動を報告してきた[1, 2]。本講演では、二周波重畳 CCP (DF-CCP) において、低周波の High-Low 変調時に、RF 電極に正パルス電圧を印加した際の CP 底部での電荷密度時分解計測について報告する。

実験装置概略を Fig.1 に示す。円筒真空容器 (直径 21 cm、高さ 8 cm) がターボ分子ポンプによって排気される。接地電極 (直径 21 cm) と RF 電極 (直径 10 cm) の間隔は 3 cm で、RF 電極には VHF (40 MHz) および LF (2 MHz) と DC パルス電源が接続され、VHF 電源は連続発振、LF 電源は周波数 1 kHz、High-Duty25% で High-Low 変調される。アスペクト比 100 の CP を用い、CP 上部に成膜した薄膜電極と底面に設置した電極の電圧を高電圧プローブを用いて測定する。

DC パルス電源を LF 変調周期と同期させ、High 時 (時刻 $t=100 \mu\text{s}$) に +1 kV の正パルス電圧 $50 \mu\text{s}$ 印加した際の、電圧の時分解測定から CP 底部の電荷密度を計算した結果を Fig.2 に示す。正パルス電圧印加の有無を比較すると、印加時には電荷密度は負となり、正電荷蓄積の緩和が確認できる。これは、正電圧印加によって CP の電圧が一時的に上昇し、定常時と比較して多量の電子がホールに流入するためだと考えられる。講演では Low 時の正パルス電圧の印加が CP 底部の電荷蓄積に及ぼす影響についても報告する。

- [1] M. Moriyama, et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **59**, SJJ03 (2020).
[2] M. Moriyama, et al. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **60**, 016001 (2021).

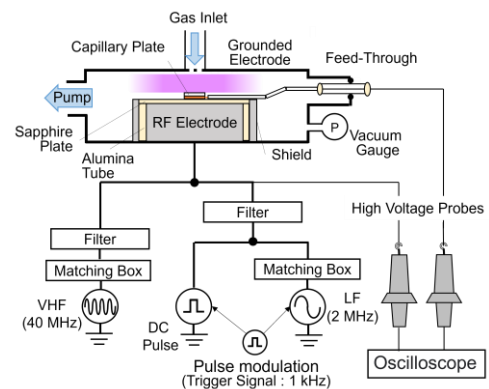


Fig.1 Experimental setup.

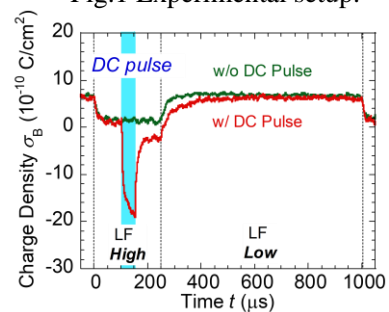


Fig.2 Time dependency of the charge density with or without positive pulse.

ミニマルファブを活用したハイブリッド pMOSFET 製造工程における マイクロ波励起水蒸気プラズマアッシングプロセスの組み込み評価 Evaluation of Incorporation of Microwave-Excited Water Vapor Plasma Ashing Process in Hybrid pMOSFET Manufacturing Process Utilizing Minimal Fab

金沢大学, °(B)谷口 博紀, 石島 達夫, 田中 康規, 中野 裕介

Kanazawa University, °Hiroki Taniguchi, Tatsuo Ishijima, Yasunori Tanaka, Yusuke Nakano,

E-mail: hirotani22@stu.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに：半導体は幅広い用途に使用され、私たちの生活に欠かせないものである。そして、その需要は今後も増加すると予想されている。そんな半導体の製造工程には重要な課題がある。半導体デバイスの製造工程において、レジスト塗布、露光、現像の工程が複数回行われる。また、マスク材として使用したフォトリソレジストを除去する工程（アッシング）も複数回行われる。私たちは水を原料ガスとする水蒸気プラズマアッシング法（WPA）を開発している。この方法は、原料ガスが超純水由来の水蒸気のみであるため、環境負荷が少なく低コストである。加えて、熱容量の大きい基板ホルダーを使用することで、硬化層のポッピング現象を起こすことなくレジスト除去が可能である。そのため、WPAはレジスト除去法の課題を一挙に解決する可能性を秘めている。しかし、これまでのダメージ評価はデバイス構造を持たないウェハのみで行われており、実際に半導体デバイスを用いたダメージ評価は行われていない。

一般に、プラズマ誘起損傷(PID)は発生メカニズムごとに物理損傷(PPD)、帯電損傷(PCD)、放射損傷(PRD)の3種類に分類される。PIDによる材料特性やMOSFETの性能劣化は、物理的なものと電気的なものの2種類に分類される。本研究では、WPAを組み込んで作製した半導体デバイスの電気的特性を取得することでWPAの半導体デバイスへの組み込み可能性を評価した。

2. 実験方法：WPAにおけるプラズマダメージを評価するために、複数の素子を単一パターン上に配置したデバイスを開発、作製した。Fig. 1(a)に1/2-inchウェハ内に作成したTest Elementary Group (TEG)のレイアウトを示す。TEGは、1区画で1.4 mm角とし、1/2-inch内に25個製作した。1つの区画上に4種類の素子(MOSキャパシタ、Al配線抵抗、pMOSFET、コンタクト抵抗)を配置した。全体の工程数を低減させるためTEGは、4-inchのSi基板上に作製した。コンタクトを開口する直前に、4 inchウェハから1/2-inchウェハを12枚分くりぬいた。くりぬかれた後の1/2-inch工程には2回のリソグラフィ工程が組み込まれた。1回目のリソグラフィではコンタクトホールを形成し、レジストはウェット洗浄とWPAによって除去した。2回目のリソグラフィでは電極を形成

し、レジストはウェット洗浄によって除去した。

3. 結果および考察：図1(b)に薬液を用いてレジスト除去を行った場合のpMOSFETのON電流 I_d を示す。 $V_g = -6$ V, $L = 10$ nm, $W = 100$ nmとした。1/2-inchウェハ面内で、ON電流の値はほぼ一定であった。このことから、くり抜きなどのハイブリッド工程を用いた作成方法が、半導体デバイスへの電気的な特性に及ぼす影響は、十分に小さいと考えられる。プラズマを用いて行ったレジスト除去工程における各デバイスの電気的特性の比較検討の結果については、講演で紹介する。

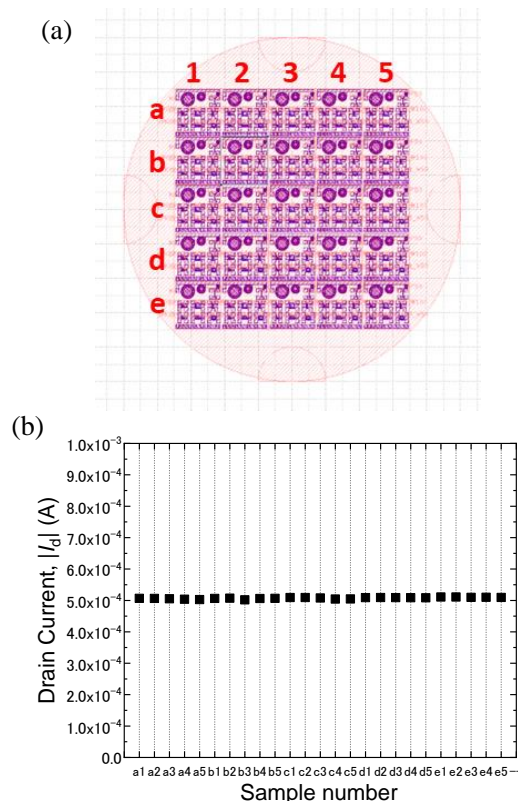


Fig 1. (a) Test elementary group layout (b) Drain current of pMOSFET ($L=10$ nm, $W=100$ nm) in a wafer in standard condition