

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25871191

研究課題名(和文)大気圧プラズマ由来ラジカル種の触媒等固体表面における反応機構解明

研究課題名(英文)Role of radical generated by plasma in reaction mechanism of solid surface

研究代表者

寺本 慶之(Teramoto, Yoshiyuki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・環境管理研究部門・研究員

研究者番号：00635328

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：二種法のレーザー誘起蛍光法を用いることで、放電直後の固体表面極近傍におけるOH計測に成功した。この結果OHは誘電体表面から数10 μ m離れた領域で最も生成されていることが分かった。また二次元二光子吸収レーザー誘起蛍光法を用いることでN原子及びO原子の詳細な挙動観測を行った。これにより放電直後のN原子の密度分布を10 μ mの分解で計測することに成功した。また上記手法を用いることで、これまで困難であった放電進展中におけるO原子の可視化に成功し、O原子が二次ストリーマで生成されていることを直接的に示した。

研究成果の概要(英文)：The validity of OH measurement in immediate vicinity of the dielectric surface was discussed using two geometries of laser-induced fluorescence (LIF) measurement, and surface distribution and temporal profiles of OH were examined. A comparison of parallel- and perpendicular-LIF techniques for OH measurement revealed that OH was mostly produced in a region several tens of μ m above the dielectric surface. Ground-level atomic nitrogen was observed using using two-dimensional two-photon absorption laser-induced fluorescence (TALIF) techniques under atmospheric pressure. Radial distribution of atomic nitrogen density just after discharge pulse was measured at high resolution. Ground-level atomic oxygen during the streamer propagation was measured 2D-TALIF. The atomic oxygen was produced 20-140 ns after beginning of streamer propagation. It directly indicated that atomic oxygen was mainly generated in secondary streamer.

研究分野：非熱平衡プラズマ

キーワード：プラズマ レーザー計測 ラジカル 誘電体

1. 研究開始当初の背景

大気圧非熱平衡プラズマによって生成される活性分子・原子・イオン（ラジカル種）は高い反応性を有するため、環境・産業・医療等の幅広いプロセスで注目されている。特に触媒や皮膚患部などのラジカル種表面反応は排ガス処理性能向上や早期治癒などにおいて重要な役割を果たしていることが分かってきた。しかし、その固体表面における詳細なメカニズムは未だ解明されていない。

2. 研究の目的

本研究ではこれまでに計測例がない、誘電体・触媒等の表面近傍における多岐にわたるラジカル種の挙動をレーザー計測を用い分解能 $10\mu\text{m}$ で観測する。本成果は、大気圧プラズマ技術の医療分野を始めとした新領域での実用化及び、既存技術の論理的アプローチによる最適化に大きく貢献する。

3. 研究の方法

レーザー誘起蛍光法（LIF 法）を用い、プラズマ由来ラジカル種を分解能 $10\mu\text{m}$ で計測するシステムを構築する。ラジカル生成にはパルス幅 $1\mu\text{s}$ 以下の大気圧パルス放電プラズマを用い、誘電体・触媒等の固体表面近傍ラジカル種の時間変化及び生成密度を計測する。本研究では OH、N 原子、O 原子の3種ラジカル種の LIF 計測を行う。背景ガス組成、触媒組成、プラズマパラメータ（エネルギー等）に注目し、各条件下におけるラジカル種の挙動を観測することでラジカル種の表面反応機構を解明する。さらに従来よりも高い精度の反応場ラジカル種密度計測を行う。

4. 研究成果

4.1 固体表面における OH 計測

本研究では大気圧正極性パルス沿面放電を用いた。電極構成を図1左に、ICCDカメラで撮影した典型的な放電の様子を図1右に示す。針電極は石英ガラス基板へ接触させ、針電極から 10mm ($y = 10\text{mm}$) の位置に背後電極を配置した。針電極と背後電極はそれぞれ高電圧パルス発生回路及びグランドへ接続した。電極は $90 \times 90 \times 90\text{mm}^3$ の箱型リアクタ中に設置し、加湿空気（相対湿度 100%、 24°C ）を流量 $3\text{L}/\text{min}$ (space) で流した。高電圧パルス発生回路にはスパークギャップ・スイッチを用いた。印加電圧は $22.5\text{--}30\text{ kV}$ 、放電繰り返し周波数は 1 pps とした。

OH は色素レーザー及び倍波素子により得た波長 282 nm のレーザー光で $\text{OH}(X, v=0)$ を $\text{OH}(A, v=1)$ へ励起し、 $\text{OH}(A, v=1) \rightarrow \text{OH}(X, v=1)$ 及び $\text{OH}(A, v=0) \rightarrow \text{OH}(X, v=0)$ の蛍光 ($309 \text{ \& } 315\text{ nm}$) をバンドパスフィルタ ($313 \pm 5\text{ nm}$) 透過後に光電子増倍管で計測した。図2は本研究で行った二通りの LIF 計測方法を示している。図2(a)の手法では誘電体極近傍に生成された活性種を正確に計測できるという長所を有するが、背後電極が無く、誘電体材料が石英ガラスでなければ計測不可能なため汎用性に欠ける。一方、計測手法(b)では誘電体極近傍に生成された活性種

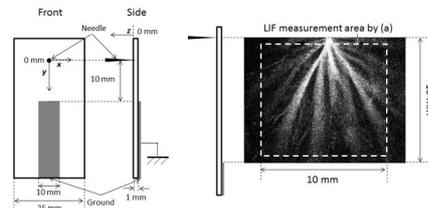


図1 左: 電極構成, 右: ICCD 写真

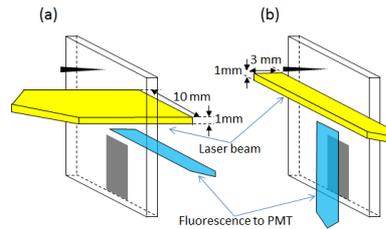


図2 LIF 計測方法

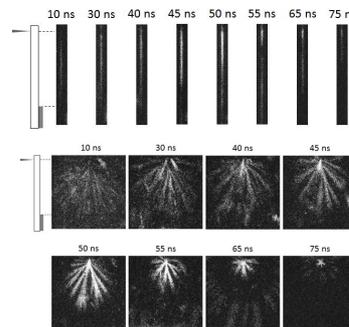


図3 沿面放電の進展 (側面&上面)

を正確に計測することは困難であるが、誘電体材料・背後電極の有無に影響されことなく計測可能であるため汎用性が高い。本研究ではこの二通りの計測結果を比較することで、今後の沿面放電中活性種計測に最適な計測手段を検討する。

(a), (b)の計測においてレーザー断面積はそれぞれ $1.0 \times 10\text{ mm}^2$ 及び $1.0 \times 3\text{ mm}^2$ とし、レーザーエネルギー密度は共に LIF 信号飽和がない $10\text{ mJ}/\text{cm}^2$ とした。またレーザー断面のエネルギー密度分布のパラつきは $\pm 10\%$ 以内であることを確認した。これにより、手法(a), (b)で計測した結果を定量的に比較可能である。手法(a)の計測領域を図1右に白波線で示した。図から LIF 計測領域は放電の横広がりをほぼカバーしていることが分かる。手法(b)ではレーザーを極力誘電体近傍へ平行に照射した。リアクタはマイクロメーターにより $1\text{ }\mu\text{m}$ 刻みで移動が可能な xyz ステージに固定した。これにより、誘電体の任意の位置でレーザー計測が可能である。放電およびレーザーエネルギーのパルスごとのばらつきを抑えるため測定値は 128 ショットの平均とした。

ICCDカメラにより撮影した、印加電圧 27.5 kV 時におけるパルス沿面放電の時間変化を図3に示す。カメラにはバンドパスフィルタ ($336 \pm 3\text{ nm} = \text{N}_2(C) \text{ N}_2(B)$) を装着し、ゲート時間は 3 ns とした。図から電圧印加直後は弱く細い発光が見られ、 50 ns あたりから強く太いストリーマへ転換し、その後 80 ns

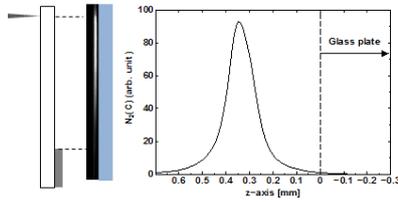


図4 $N_2(C)$ のz軸分布

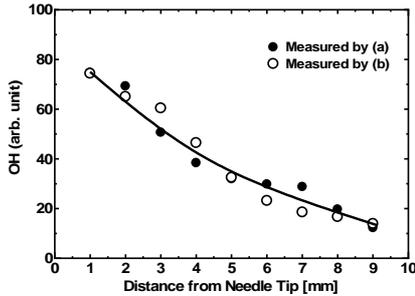


図5 計測法 (a) & (b) によるOHのy軸分布

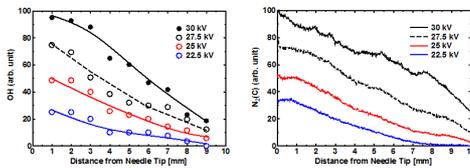


図6 OH & $N_2(C)$ のy軸分布

にかけて消滅していくことが見て取れる。図4は $y=2$ mmにおける放電発光強度 ($N_2(C)$ 生成量)のz軸方向1次元分布を示している。図から放電発光強度のピークは誘電体から300 μm 付近であることが分かる。これまでの研究によると、背後電極が針電極の真裏に配置されている場合、誘電体から数10 μm の距離に放電発光強度のピークが見られる。

図5は図2(a), (b)に示した二通りのLIF計測手法により計測した放電後6 μs におけるOHのy軸方向一次元分布を相対値で示している。図から(a), (b)の両手法において同様のOH分布傾向が得られて、その値はよく一致していることが分かる。これは、計測手法(b)においても(a)と同様に誘電体極近傍の活性種を正確に計測出来ることを示している。このクロスチェックの結果から、沿面放電中の活性種はいずれの計測手法においても、同様に観測できることが分かった。また、誘電体素材が石英以外の場合においても、手法(b)を用いることで沿面放電中活性種の挙動を正確に観測出来ることが分かった。

OH及び $N_2(C)$ のy軸方向一次元分布計測結果を図6示す。OHは放電後6 μs の計測値であり、 $N_2(C)$ はゲート時間200 nsで撮影した50平均である。図から印加電圧の上昇に伴いOH・ $N_2(C)$ が増加していること、OHと $N_2(C)$ の分布傾向は非常に良く一致しており、針電極近傍から離れるにつれて緩やかに減少していることが分かる。図7はレーザー断面を 1×1 mm^2 に形成し計測した、OH及び $N_2(C)$ の

$y = 2, 5, 8$ mmにおけるx軸方向一次元分布を示している。図6同様OHと $N_2(C)$ の分布傾向は非常に良く一致しており、針電極から離れるにつれ広がって分布していることが分かる。

これまでの研究から、放電中の電界強度・電子密度等のプラズマ特性が、活性種生成に大きく影響することが知られている。パルスコロナ放電では放電前半部(1次ストリーマ)と放電後半部(2次ストリーマ)でプラズマ特性が大きく異なるため、生成される活性種も異なる。例えば、OHは2次ストリーマで主に生成されるが、 $N_2(C)$ は1, 2次両ストリーマで生成される。このためパルスコロナ放電ではOHと $N_2(C)$ の分布傾向は異なる。一方、沿面放電を用いた本計測ではOHと $N_2(C)$ の分布傾向が良く一致した。これらの結果から、パルス沿面放電のOHと $N_2(C)$ が生成されるフェイズ中において、そのプラズマ特性に大きな変化が生じていないものと予測される。今後両放電において活性種生成量、生成効率等を定量的に比較することで、沿面放電のラジカル生成機構及びプラズマ特性を理解するための重要な知見が得られるものと考えられる。

図8のプロットは印加電圧27.5 kV時における $y = 2$ mmのOH時間変化を示している。放電直後から徐々に減衰していき、150 μs 時には初期密度の約1/10まで減少した。図中の曲線はOH初期密度を10, 40, 100 ppmと仮定した場合の計算結果を規格化したものである。計算時に考慮した反応式を表1に示す。O, Hの初期密度はOH密度の10倍、0.8倍と仮定した。OH初期密度40 ppmの計算結果が実験値と最も良く一致したことから、沿

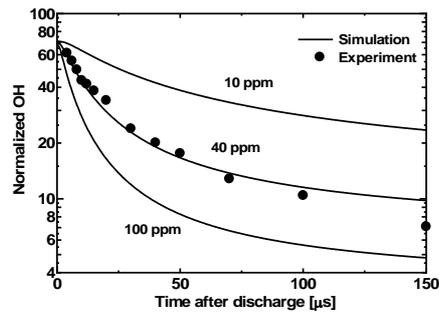


図8 OH密度時間変化

表1 計算に使用した反応式

Reactions	
R1	$\text{OH} + \text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}$
R2	$\text{OH} + \text{OH} + \text{M} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{M}$
R3	$\text{OH} + \text{O} \rightarrow \text{O}_2 + \text{H}$
R4	$\text{O} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$
R5	$\text{O} + \text{O} + \text{M} \rightarrow \text{O}_2 + \text{M}$
R6	$\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{OH}$
R7	$\text{O} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{O}_2$
R8	$\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{O}$
R9	$\text{H} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{HO}_2 + \text{M}$
R10	$\text{H} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH} + \text{H}_2$
R11	$\text{H} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}_2$
R12	$\text{H} + \text{HO}_2 \rightarrow 2\text{OH}$
R13	$\text{H} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}$
R14	$\text{OH} + \text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$

面ストリーマ中における OH 初期密度は 40 ppm ($1 \times 10^{15} \text{ cm}^3$)程度と推測される。この結果はパルスコロナ放電中の密度(数 10-100 ppm)と非常に近い値となった。

大気圧パルス沿面放電中の OH を二通りの LIF 計測方法により計測した。計測結果から今後の沿面放電中活性種計測に適した計測方法定量的に示した。誘電体表面上における OH 密度分布計測結果から、OH は針電極から扇状に分布していることが分かった。またこの分布傾向は $\text{N}_2(C)$ の分布傾向と非常に良い一致が見られた。放電 1 パルスにおける OH 生成量は放電エネルギーに対し線形に増加した。放電後の OH 時間変化から、沿面ストリーマ中における初期 OH 局所密度は約 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^3$ と推測された。

4.2 二次元二光子吸収レーザー誘起蛍光法による詳細な N 原子計測

世界初となる二次元二光子吸収レーザー誘起蛍光法を用いプラズマ中の詳細な N 原子計測を行った。半導体スイッチを用いパルスコロナ放電を発生させた。電極は針-平板電極を用い、針は 5 mm 間隔で直線状に 10 本配置し、ギャップ長は 8 mm とした。放電は $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ の箱型リアクタ内で発生させ、純窒素ガスを流量 2 L/min で流した。繰り返し周波数は 4 pps とした。

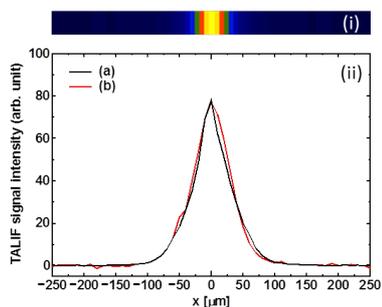


図 9 (i) 2D-TALIF 計測例
(ii) x 軸方向の TALIF 信号強度分布

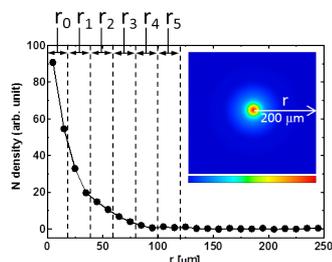


図 10 N 原子密度の径方向分布

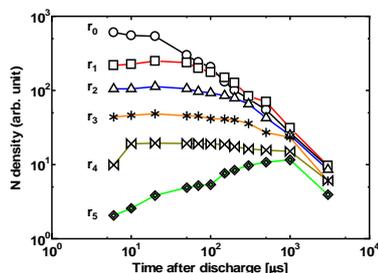
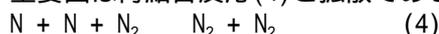


図 11 各領域における N 原子密度の時間変化

N 原子の主な励起波長として 207 nm と 211 nm が挙げられる。本研究のような大気圧中計測では、クエンチングの影響により、励起波長 207 nm の TALIF 信号強度は励起波長 211 nm の約 12 倍となる。加えて、励起波長 211 nm の蛍光 868 nm は一般的に光電子増倍管の量子効率が低く、励起波長 207 nm の蛍光 745 nm の方がより高感度な計測が可能であるため、本研究では励起波長 207 nm を使用した。励起光にはエキシマレーザー励起の色素レーザーを用いた。波長 414 nm のレーザー光を倍波素子を用い波長 207 nm へ変換し、シリンドリカルレンズ($f = 150 \text{ mm}$)を用いて放電電極間に照射した。励起後の蛍光はレーザーの垂直方向から $750 \pm 20 \text{ nm}$ のバンドパスフィルタを装着した ICCD カメラで計測した。計測分解能は 10 nm である。ビーム断面は $0.1 \times 2 \text{ mm}^2$ のシート状とし、2 方向から計測した。計測はストリーマが枝分かれしていない領域の針から 0.7 mm ($z = 0.7$)の位置で行った。レーザーエネルギーは TALIF 信号が飽和しない 0.1 mJ とした。計測値は 800 回平均とした。

図 9(i)に放電後 10 μs ($t = 10 \mu\text{s}$)における 2D-TALIF 計測結果の一例を示す。図 9(ii)はこれを数値化したものである。(a), (b)両計測方向からにおいても同様のプロファイルが得られたことから、ストリーマ中の N 原子密度は軸対象に分布していると推測される。

図 9(ii)の結果より、ストリーマ中の N 原子密度は軸対象に分布していると仮定できることから、軸対象系アーベル変換を用いてストリーマ中 N 原子の密度分布を見積もることが可能となる。図 10 は図 9(ii)(a)のデータをアーベル変換し見積もった径方向 N 原子密度分布である。r は中心軸からの距離を示している。結果から N 原子密度はストリーマ中心が最も高く $r = 100 \mu\text{m}$ にかけ急激に減少していることが分かった。図 11 は図 10 中 r_{0-5} における N 原子密度の時間変化を示したものである。 r_{0-4} において中心軸から離れるにつれ減衰速度が低下していることが見て取れる。また r_5 においては拡散の影響により 1 ms にかけて単調に増加していることが分かる。 N_2 中における N 原子減衰の主要因は再結合反応(4)と拡散である。また r_5 においては拡散の影響により 1 ms にかけて単調に増加していることが分かる。 N_2 中における N 原子減衰の主要因は再結合反応(4)と拡散である。



r_{1-4} の密度減衰は反応式(4)で説明可能であるが、 r_0 においては $t = 150 \mu\text{s}$ で r_1 より密度が低くなっていることから、上記要因以外の反応により減衰していることが推測されるが詳細は現在調査中である。

拡散の影響を無視した場合 N 原子減衰は以下の式に従う。

$$N_0/N = 2k_0 N_0 t + 1, \quad (5)$$

ここで N は N 原子密度、 N_0 は $t = 0 \mu\text{s}$ にお

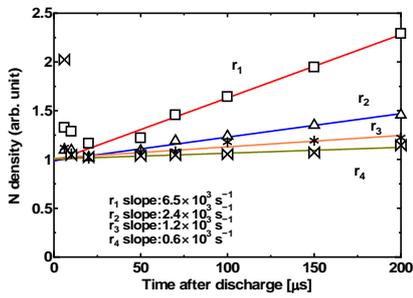


図 12 図 1 1 の逆数プロット

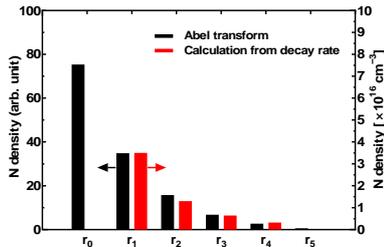


図 13 各領域における N 原子局所密度

ける k_r は N 原子再結合反応速度係数である。式(5)より、密度の逆数 N_0/N が時間に対して線形に増加し、その傾きは $k_r N_0$ であることが分かる。これより k_r が即知であれば、図 11 の逆数プロットの傾きから N_0 が見積もれる。図 11 から得た N_0/N 及びその傾きを図 12 に示す。傾きは拡散の影響が少ない $t < 200 \mu\text{s}$ で計算した。次に 350 K 時における再結合反応速度係数 $k_r = 3.5 \times 10^{33} \text{ cm}^6/\text{s}$ を用い、図の傾きから N_0 を見積もる。同様の実験条件下で計測した針下近傍の回転温度(ガス温度)は 300-400 K であったため、350 K の反応速度係数を用いることは妥当と考えられる。図 13 に傾きから見積もった N 原子絶対密度(N_0)をアーベル変換で求めた相対密度と共に示す。 r_{1-4} において絶対密度と相対密度の分布傾向が非常によく一致していることから、減衰速度から見積もった絶対密度はリーズナブルな値であると考えられる。この時、ストリーマ中心(r_0)における絶対密度は $7.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 程度と予測される。

ストリーマ放電後の N 原子挙動を二次元の二光子励起レーザー誘起蛍光法を用い観測した。N 原子の径方向分布領域は放電直後では $100 \mu\text{m}$ であったが、1 ms 経過後では $300 \mu\text{m}$ まで拡散することが分かった。N 原子密度の減衰速度は中心軸から離れるにつれ減少していった。ストリーマ中心における N 原子密度は約 $7.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であり、中心から離れるにつれ急激に減少していった。

4.3 二次元二光子吸収レーザー誘起蛍光法によるプラズマ進展中における 0 原子計測
ストリーマ生成・進展中における 0 原子を二次元 TALIF 法を用い可視化することで、ストリーマ生成・進展中 0 原子の空間密度分布・時間変化を詳細に解明した。

半導体スイッチを用いパルスコロナ放電を発生させた。電極は針-平板電極を用い、針は 5 mm 間隔で直線状に 10 本配置し、ギャ

ップ長は 8 mm とした。印加電圧は 15 kV とし、パルス幅は約 200 ns とした。図 14 は $336 \pm 3 \text{ nm}$ のバンドパスフィルタを装着した ICCD カメラを用い撮影した典型的なストリーマ進展写真である。カメラゲート時間は 3 ns とした。放電は $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ の箱型リアクタ内で発生させ、模擬空気(O_2 (20%)/ N_2 (80%))を流量 2 L/min で流した。繰り返し周波数は 4 pps とした。

0 原子の励起波長として 226 nm を用いた。励起光にはエキシマレーザー励起の色素レーザーを用いた。波長 452 nm のレーザー光を倍波素子を用い波長 226 nm へ変換し、シリンドリカルレンズ($f = 150 \text{ mm}$)を用いて放電電極間に照射した。レーザーパルス幅は約 10 ns である。励起後の蛍光はレーザーの垂直方向から $840 \pm 10 \text{ nm}$ のバンドパスフィルタを二枚装着した ICCD カメラで計測した。レーザー照射位置を電極間でスキャンすることで、二次元密度分布の計測を行なった。ビーム断面は $0.1 \times 3 \text{ mm}^2$ のシート状とし、レーザーエネルギーは TALIF 信号が飽和しない 0.1 mJ とした。本計測ではレーザー照射による O_2 解離が TALIF 信号へ及ぼす影響を考慮し、計測波長から 0.015 nm 短波長の波長を用いバックグラウンド計測を行なった。計測波長における TALIF 信号強度からバックグラウンド信号強度を差し引いた値を 0 原子 TALIF 信号強度とした。レーザー装置、パルス電源、ICCD カメラは一台のパルスジェネレーターにより制御した。レーザー照射光のピンフォト信号、カメラゲート信号、高電圧プローブ信号をオシロスコープで観測し、プログラムを組むことでレーザー照射、シャッター、放電のジッターを 5 ns 以下に抑えた。計測値は 800 回平均とした。

図 15 に一例として放電後(t) 100 ns におけるレーザー照射位置 $z = 2 \text{ mm}$ の計測結果を示す。フィルターを二枚使用しても放電発光による迷光が強く確認できる。このため一般的に行われる光電子増倍管を使用した TALIF 計測では、発光による迷光と TALIF 信号との空間的切り分けが不可能なため、S/N 比低下から放電中における TALIF 計測が困難となる。本計測では TALIF 信号領域のみを切り分け、レーザー照射位置をスキャンすることで放電中における 0 原子の可視化を行った。 $t = 0-140 \text{ ns}$ における 0 原子可視化の結果を図 16 に示す。1 次ストリーマ進展後($t < 20 \text{ ns}$)においてはほとんど 0 原子の生成は確認できなかったが、その後($t > 20 \text{ ns}$) 140 ns にかけて針電極近傍から平板電極へ向けて徐々に生成領域が伸長していることが確認された。これはまさに 0 原子が 2 次ストリーマ中に生成されていることを直接的に示している。一方 0 原子の生成領域の進展時間は発光($\text{N}_2(\text{C})$)と異なる結果となった。また針電極近傍における径方向生成領域は 0 原子で $r = 150 \mu\text{m}$ 、 $\text{N}_2(\text{C})$ で $r = 300 \mu\text{m}$ と、0 原子の生成領域の方が $\text{N}_2(\text{C})$ よりも狭いことが分

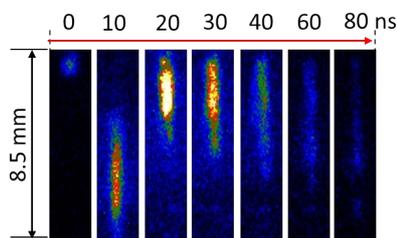


図 14 ストリーマ進展の様子

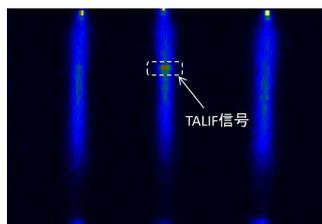


図 15 2D-TALIF 計測例

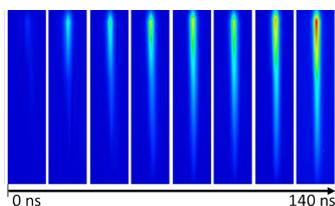


図 16 ストリーマ進展中における O 原子

かった。

2D-TALIF 計測法を用いることでストリーマ進展中における O 原子の可視化に成功した。O 原子は放電開始後 20 ns から平板電極へ向けて徐々に生成領域が伸長していることが確認され、O 原子が 2 次ストリーマ中に生成されていることを直接的に証明した。また O 原子の径方向における生成領域は $N_2(C)$ の約 1/2 となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- 1) “Measurement of OH(X^2) in immediate vicinity of dielectric surface under pulsed dielectric barrier discharge at atmospheric pressure using two geometries of laser-induced fluorescence”, 寺本 慶之、金 賢夏、尾形 敦、根岸 信彰, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 115, pp.133302 (1-8)、2014/04
- 2) “Effect of Catalyst Type on Optical Emission”, 寺本 慶之、金 賢夏、尾形 敦、根岸 信彰, IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, 42-10, pp.2850-2851、2014/10
- 3) “Zirconium/cerium oxide solid solutions with addition of SiO_2 as ozone-assisted catalysts for toluene oxidation”, 寺本 慶之、小菅 勝典、菅澤 正己、金 賢夏、尾形 敦、根岸 信彰, CATALYSIS COMMUNICATIONS, 61, pp.112-116、2015/01
- 4) “The Role of Ozone in the Reaction Mechanism of a Bare Zeolite-Plasma Hybrid System”, 寺本 慶之、金 賢夏、根岸 信彰、尾形 敦, Catalysts, 5, pp.838-850、2015/05

〔学会発表〕(計 7 件)

- 1) “OH production in surface discharge”, 寺本 慶之、金 賢夏、尾形 敦、根岸 信彰, Joint Symposium on Plasma and Electrostatics Technologies for Environmental Applications, Japan, Gifu、2013/05/19
- 2) “Measurement of OH on the dielectric barrier surface under atmospheric pressure using LIF”, 寺本 慶之、金 賢夏、尾形 敦、根岸 信彰, The XXXI International Conference on Phenomena in Ionized Gases (ICPIG), Granada, Spain、2013/07/18
- 3) “Study of catalyst effect on radical production in plasma and catalyst hybrid technique under atmospheric pressure”, 寺本 慶之、金 賢夏、尾形 敦、根岸 信彰, The 8th Asia-Pacific International Symposium on the Basics and Applications of Plasma Technology (APSPT-8), 台湾 新竹、2013/12/20
- 4) Measurement of OH in immediate vicinity of dielectric surface under dielectric barrier discharge at atmospheric pressure using two geometries of laser induced fluorescence, 寺本 慶之、金 賢夏、尾形 敦、根岸 信彰, KJPE2014, Jeju、2014/11/07
- 5) “Study of plasma-assisted catalysis for VOC abatement”, 寺本 慶之、金 賢夏、尾形 敦、根岸 信彰, ISPlasma2015/IC-PLANTS2015, 名古屋、2015/03/27
- 6) “Measurement of OH in immediate vicinity of the dielectric surface in pulsed DBD using laser-induced fluorescence”, 寺本 慶之、金 賢夏、尾形 敦、根岸 信彰, 電気学会, 愛媛大学、2014/03/20
- 7) “二次元 TALIF を用いたストリーマ中 N 原子の挙動解明”, 寺本 慶之、金 賢夏、尾形 敦、根岸 信彰, 静電気学会 春季講演会, 東京大学、2015/03/05

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺本 慶之 (TERAMOTO, Yoshiyuki)

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
環境管理研究部門

研究者番号: 00635328