

研究種目： 基盤研究 (B)
 研究期間： 2006～2008
 課題番号： 18340182
 研究課題名 (和文) 微細管内高速流れ場インパルス放電による金属酸化物ナノ構造制御
 研究課題名 (英文) Control of metal oxide nano-structure by radio-frequency impulse discharge under fast gas flow in small diameter tubes
 研究代表者 飯塚 哲 (IIZUKA SATORU)
 東北大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：20151227

研究成果の概要：

アルゴン酸素プラズマ反応性スパッタリングによって、MgO の球状で単結晶、中空ナノ微粒子の生成に初めて成功した。粒子の直径は 100 nm 程度である。また、Mg 有機化合物を用いたプラズマ CVD 法によって、内面壁に規則的に垂直突起状のナノロッドを生成できることが明らかになった。ナノロッドの間隔が狭くなると、次第に表面が滑らかな様な薄膜になることが明らかになった。さらに、ZnO ナノワイヤの形成も観測された。

以上のように、金属酸化物薄膜の表面構造をナノスケールで制御堆積する方法が実証された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
総計	11,700,000	3,510,000	15,210,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：プラズマ科学・プラズマ科学

キーワード：プラズマ応用

1. 研究開始当初の背景

金属酸化物である酸化マグネシウム(MgO)は、その高融点、高電気抵抗、機械的強度などの性質により、広範な分野で利用されている。高い2次電子放出係数、透明性などから、PDP電極の保護膜として最も有用であるとみなされている。また、ウルツ鉱型構造の酸化亜鉛(ZnO)は3.37 eVのバンドギャップを持つ酸化物半導体で、青色から紫外域で発光するため、発光デバイスなどの応用が考えられる。

一方、形状が細長くフレキシブルなサブミリ径微細管の内壁面における機能性薄膜形成、並びに新しい表面処理法の開発が、医

療・環境・ディスプレイなどの各分野に共通の課題として急浮上している。最近の医療現場では、局所的患部に極細カテーテルを通して薬品を投入したり、バイオチップ用キャピラリー内の表面改質、さらに環境分野では大気汚染や水質汚染のモニターとして、サンプルの捕集や輸送媒体としての細ガラス管やプラスチック管の開発が必要とされている。3次元的臨場感をもつ超大画面用のプラズマディスプレイへの応用として、細長いフレキシブルなサブミリ径細ガラス管を並べたプラズマ発光子の開発が始まっている。細管内紫外線発光ダイオードを用いた白色光源など光学分野への応用も脚光をあびている。し

かしながら、細管内面処理は、その難しさから確固たる技術が全く無いと言っても過言で無い。

細管内部で局所的に放電し、ガスを分解するために大気圧マイクロ放電は極めて有用である。コンダクタンス C の悪い細管内部へガス流を供給し、かつ高速排気して、常に放電部のガス成分を一定に保つためには、ガス流量 Q 、流速 u が極めて重要になる。細管両端の圧力差は $\Delta P = Q/C$ 、流速は $u = Q/nS$ (S : 断面積) となり、細い極限 ($C \rightarrow 0, S \rightarrow 0$) で $\Delta P \rightarrow \infty, u \rightarrow \infty$ となる。極めて高圧力下、高速ガス流場の放電となる。我々は圧力や流量に関して緩やかな依存性を持つ高周波インパルス放電方式を開発した。ガス滞在時間やガス反応時間など放電の基礎機構の解明が必要とされていた。

2. 研究の目的

本研究では、「細管内面コーティング」「高周波インパルス放電」「金属酸化物 (MgO, ZnO) 薄膜の表面ナノ構造制御」という3つの柱を有機的にリンクさせたシナジー効果のもとで、細長い微細ガラス管内で薄膜形成制御を行う。具体的には、細長いガラス管 (内径 1 - 2 mm 程度) の内壁面に、細管内部に供給した反応ガスの高速流れ場の中で、大気圧高周波インパルス放電を用いることによりガスを分解し、細管内壁面上に金属酸化物 (MgO や ZnO) の結晶を表面構造をナノスケールで制御した形で堆積する方法を確立し、その膜質・特性を明らかにする。また、その形成機構を解明し、ディスプレイや発光素子分野の飛躍的革新に寄与することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) スパッタリング法による MgO 薄膜形成

MgO のナノ構造形成過程を要素化して、その製膜メカニズムを明らかにするために使用するガスを単純化する。構成原子を供給するために Mg 製電極と酸素 O_2 を用いた酸素プラズマ反応性スパッタリングを基本として成膜する。

実験装置は、ガラス細管を外側から取り囲むように配置した外部電極、ガラス管内部の中心軸に挿入した内部電極部分からなる。内部電極は軸方向に可動であり、外部電極と内部電極の距離を変えることができる。放電系は直径 50 cm 高さ 20 cm の円筒形チャンバ内に設置し、必要に応じてチャンバ内を排気、減圧状態にできる。

マグネシウム電極の直径、外部電極の内径、内部電極と外部電極間の距離 d を変化させて、放電の空間構造を変化させる。プラズマの分布が膜質に及ぼす効果を明らかにする。放電は内径 2 mm のガラス管を用いる。ガラス管

は曲面であり、その表面に堆積した薄膜を 2 次元的に分析するには不都合が生ずる。これを解決するために、間隔 2 mm のギャップをおいて平行に並べた平行平板ガラス板を用いて、その内部に前者と同じ内部電極を設置する。ガラス板の両側の外部にガラス板に密着して接地した外部電極を置く。得られた薄膜の分析は容易であり、細管型と平板型の結果を対応させ、観察する。放電電流、放電電圧、またインパルス波形のパルス幅 τ 、繰返し周期 T を変化させたときに、膜質がどのような影響を受けるかについて明らかにする。

ガスパラメータ 酸素や Ar ガスの圧力、流量を変化させる。ガス流量が増加したときの流れ場の効果が放電構造に与える影響を明らかにする。

(2) プラズマ CVD による MgO 薄膜形成

原料ガスとして Mg 有機化合物 (MgDPM) (ジピバロイルメタン) を用いたプラズマ CVD 法を用いて、ナノ構造をもつ MgO 薄膜がどのような条件下で形成できるかについて解明する。チャンバの中央に MgDPM 用の気化器を設置する。気化器用ヒータで 200 度程度まで加熱できる。気化器には N_2 (Ar) ガスが導入され、混合器で酸素と混合する。混合ガスは小型同軸型のインパルス放電部に導かれる。ガラス管を挟むように平行平板電極を設置する。気化器温度、キャリアガス、酸素の圧力、流量を変化させ、流れ場の効果が放電構造に与える影響を解明する。

(3) スパッタリング法による ZnO 薄膜形成

金属酸化物半導体 ZnO の成膜と表面のナノ構造の出現について実験を行う。放電の内部電極の内側に垂鉛 Zn ターゲットを設置し、高周波放電によって、ZnO 薄膜をガラスや Si 基板面に堆積させる。種々の実験条件の元、ZnO 薄膜表面にナノファイバー・ナノロッドを含むナノ構造、及び平滑な表面が形成されるかについて詳細に観測し、その形成機構を明らかにする。

4. 研究成果

(1) MgO ナノ微粒子の生成制御

図 1 に示すように、放電開始電圧と圧力 $p \times$ 電極間距離 d 積の関係 (パッシェン曲線) の測定から、高周波インパルス放電は、AC 電源と比較し、放電開始電圧が低下し、広い pd 積範囲において低電圧で維持できるという特徴がわかった。本方式におけるインパルス放電によって、広範囲な圧力領域または電極間距離において効率のよい放電が得られることがわかった。

このような特徴をもつ小型同軸型電極方式により、内部電極を Mg 棒電極とし、これをターゲットとしたスパッタ成膜実験を行

った。動作ガスは Ar/O₂ で、Ar により Mg のスパッタ、O₂ により酸化作用を担っている。実験の結果、O₂ 供給量が極端に少ない場合に最も再現性よく成膜が行われることがわかった。図 2 に、Ar/O₂ = 19/1 sccm, 1 Torr の場合の MgO 薄膜の SEM 画像、及び TEM 画像と電子線回折像を示す。ここに示されているように、薄膜の表面構造は主に球状の微粒子によって構成されており、EDX, 電子線回折などによって MgO と同定されている。

TEM 画像から、これらの MgO 微粒子は主に内部に球状空洞を持ち、微粒子の大きさは数 nm~数 μm の範囲に分布していることがわかった。実際の基板ではこの他に Mg 単体や複雑な形状をもつ MgO 微粒子などさまざまな形態のものも含まれるが、主にこの球状微粒子の集合体であることがわかってい。また、この球状中空微粒子に対する電

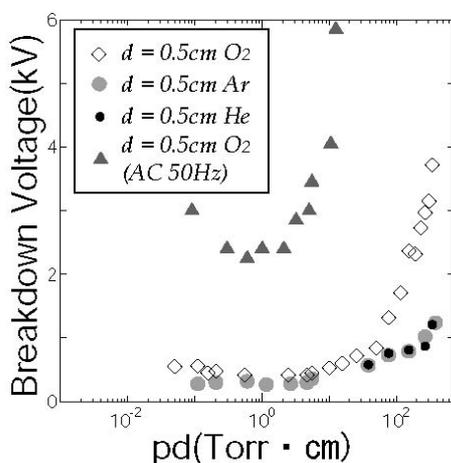


図 1. 小型同軸型電極放電のパスシェン曲線。

子線回折の結果から、この球状微粒子は MgO の単結晶であることもわかった。

球状微粒子の生成機構として、本方式による特徴を考慮し考察すると、球状の微粒子構造を取るためには、基板上での成長ではなく、プラズマ中で負に帯電し、浮遊・回転しながら原料供給され、球対称に成長したと考えられる。本方式においては、プラズマはインパルス電圧が印加される 10 μs においてのみ生成され、次のインパルスが印加されるまでの間は、ガラス基板上に蓄積した負電荷による静電反発力で、電極間空間内に負帯電 MgO 微粒子を滞留させ、長時間放電を経験することにより数 100 nm 程度まで成長し、最終的に基板上に到達するものと考えられる。また中空構造形成に関しては、MgO のイオン結晶性と原料供給バランスに起因して、飛来してきた負帯電酸素 O が内側の Mg 正イオンを、静電力で外側へ引き抜くよう作用し、結晶化を促進し、逆に内部には O 原子を取り残し空洞化するというモデルを提案した。今後の詳

細な実験による検証が必要とされる。

球状中空単結晶 MgO 微粒子をもつ MgO 薄膜は、その構造による 2 次電子放出性能の改善の他、微粒子構造特性を生かした光散乱材料、塗料、断熱材、体内薬剤輸送分野への応用が考えられる。

(2) MgO ナノロッドの生成制御

プラズマ CVD 法による MgO ナノ構造の生成を行なう。粉状のマグネシウム(Mg)の複合体であるマグネシウム(DPM)を気化器に入れ、200 度程度まで加熱すると、昇華してガス状になる。酸素とアルゴンで希釈された DPM 混合気体は、外径/内径が 3 mm/2 mm の同程度に加熱されたガラス管に導入される。高周波インパルス電圧は、誘電バリア放電を内部で起こすために、ガラス管軸に直角方向に印加する。この放電システムを用い、ガスの流

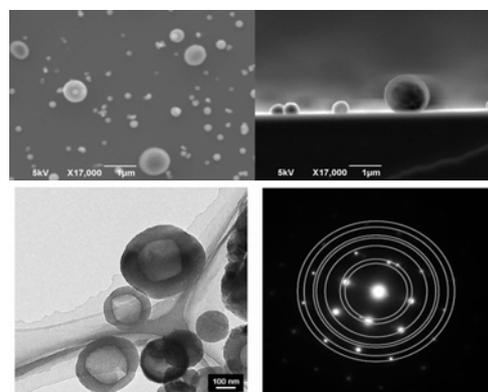


図 2. MgO 微粒子の SEM 画像(上面図:左上, 断面図:右上) 及び TEM 画像(左下)と電子線回折像(右下)。

れ場の影響を調べるために、O₂/Ar 流量比と全流量などの放電パラメータを変えることができる。

ここでは、気化器と放電域の温度や印加電圧、全圧力は一定とした。O₂ 流量を 5 sccm とし、全圧力を 1 Torr とし、放電電圧を 4.5 kV とした。気化器の温度は 120 度、放電領域のガラス管の温度を 130 度に固定した。

図 3 は Ar 流量が 5 sccm のときのガラス管内面壁の SEM 写真を示す。3 種類の膜質が観測された。いずれも透明な薄膜であることが分かった。しかしながら、その構造には大きな特徴が観測される。左上の SEM 写真より、ガラス表面に垂直にナノサイズのロッドが規則的に並んで形成されていることが分かる。一方、右上の図はナノサイズの不規則性が全く見られず、極めて平滑な透明薄膜が形成されている。その中間領域には、下図に示すように表面の不規則性が観測された。これらの 3 種類の表面構造は、その形成過程において互いに関係することが分かる。すなわち、ナノロッドの間隔が成長とともに狭くな

ると、ロッド同士が接触し、やがて隙間が埋まって、平坦な膜が成長していくものと考えられる。

Ar 流量を 45 sccm に増やすと、薄膜の成長率が増大し、極めて長い繊維状の突起物で覆われた薄膜表面の生成が観測された。透明度は低減し、表面は白色の堆積物となった。

以上のように、ガス流量が反応場の性質を大きく変化させることが分かった。透明な薄膜の生成は、プラズマディスプレイへの適用にとって不可欠な条件となる。放電時間を短くすることにより、薄膜の厚みは薄くなることが予想され、薄くなれば、透明度は増加す

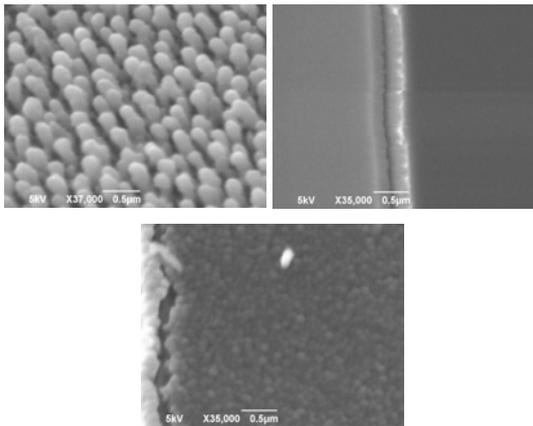


図3 ガラス管内面に成長したナノロッド (左上)、平滑膜 (右上)、中間状態の膜 (下) の SEM 写真。

ると考えられる。薄膜形成にはガス流量だけでなく、ガラス表面の温度、放電パワーなどにも依存すると考えられる。

(3) ZnO ナノ構造の制御

ZnO ナノワイヤ (NW) の生成過程において、最初に Zn 層が非一様に堆積され、そこで O と反応して NW が核発生し、NW が成長していくものと考えられる。NW の生成には Zn 層の厚さや表面状態が重要であると考えられる。そこで Zn 層堆積と O₂ プラズマ酸化反応を時間的に分離する実験を行った。これによって Zn 堆積状態と NW の生成との関係が解明されると考えた。

図 4 に実験の一例を示す。まず Zn 堆積時間 (T_{Zn}) を 300 s に固定し、次の O₂ 反応時間 (T_{ZnO}) を 0~600 s の間で変化させた。 T_{Zn} では O₂ ガスを流入しない。また T_{ZnO} では Zn はターゲットから供給されない。

図 4 より、初め Zn の大粒の粒子が生成されていることが確認できた(a)。 O₂ プラズマ反応を開始することでその粒子は細くなり始め(b)、適当な粒径になったところで初めて NW が生成されていることが確認できた(c)。しかし、さらにプラズマ反応を続けるこ

とで、Ar スパッタの影響などにより、最終的に NW は消滅し平坦な薄膜になることが確認された(d)。

この結果より、ターゲットから Zn の供給がないにも関わらず NW が生成されたことから、NW は基板上に堆積した Zn から生成されることが分かった。また NW の生成条件として、堆積された Zn の粒径が重要であることが分かった。

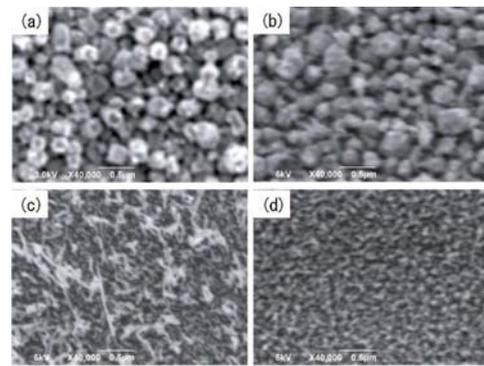


図4 表面 SEM 写真 T_{Zn} : 300s, T_{ZnO} : (a) 0 s, (b) 60 s, (c) 300 s, (d) 600 s.

(4) まとめ

細管内壁面への成膜・改質を目的とした細管内部放電を実現し、その特性が自由度の高い高効率であることを見出した。その具体的使用例として細管内壁への MgO 成膜実験を行った結果、球状中空単結晶 MgO 微粒子を基本構造とする微粒子を含む MgO 薄膜が得られた。また、プラズマ CVD 法ではガラス表面に垂直に規則正しくナノロッドを形成することが実証された。また、平坦薄膜への移行過程を観測することができた。

また、Zn 堆積と O₂ プラズマ反応を分離することで、Zn 層の状態と NW 生成の関連性を明らかにできた。Zn の粒径が NW の生成に大きな影響を及ぼすことが分かった。

ナノ構造を持つ金属酸化物薄膜の応用の可能性は多岐にわたり、今後の考察、及び構造の制御によるさらなる付加価値の適用が期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 17 件)

- [1] 村岡琢正, 飯塚哲, MgO microparticle deposition by RF impulse discharge in a small-diameter tube, Jpn. J. Appl. Phys., **48**, pp. 025501-1 ~ 025501-4, 2009. 査読有。
- [2] 櫻村透, 飯塚哲, Production of MgO thin films by RF impulse plasma CVD in a small diameter tube, Plasma Sci. Symp. 2009 and

- 26th Symp. on Plasma Processing, Nagoya, pp. 242-243, 2009, 査読無.
- [3] 小野秀樹, 飯塚哲, Formation of ZnO nanowires in hollow-type magnetron O₂/Ar RF plasma, Plasma Sci. Symp. 2009 and 26th Symp. on Plasma Processing, Nagoya, pp. 252-253, 2009, 査読無.
- [4] 加藤公義, 恵美淳一, 飯塚哲, Control of electron temperature by varying dc voltage to a mesh grid blanketed with thin film in plasmas, Jpn. J. Appl. Phys. **47**, No.11, 8565-8569, 2008, 査読有.
- [5] 小野秀樹, 飯塚哲, Production of ZnO Nanowires in Hollow-Type Magnetron O₂/Ar RF Plasma, Inter. Interdisciplinary-Symp. on Gaseous and Liquid Plasmas, pp.187-190, 2008, 査読無.
- [6] 村岡琢正, 櫻村透, 飯塚哲, MgO Microparticle Deposition by RF Impulse Discharge in Small Coaxial Electrode System, Inter. Interdisciplinary-Symp. on Gaseous and Liquid Plasmas, pp. 131-134, 2008, 査読無.
- [7] 村岡琢正, 飯塚哲, RF impulse barrier discharge for MgO microparticle production in sub-atmospheric pressure regime, 14th Inter. Conf. on Plasma Physics, p. 386-386 2008. 査読有.
- [8] 小野秀樹, 飯塚哲, Process of ZnO nanowires growth in energy-controlled hollow-type magnetron RF plasma, Proceedings of the 25th Symp. on Plasma Processing, Yamaguchi, pp. 285-286, 2008, 査読無.
- [9] Takumasa Muraoka, Toru Kashimura and Satoru Iizuka, Spherical MgO microparticle deposition by RF impulse discharge with small coaxial electrode, 9th Asia-Pacific Conf. on Plasma Sci. and Technol., Huangshan, China, p. 311-311, 2008, 査読有.
- [10] Hideki Ono and Satoru Iizuka, Growth of ZnO nanowires in hollow-type Magnetron O₂/Ar plasmas, 9th Asia-Pacific Conf. on Plasma Sci. and Technol., Huangshan, China, p.309-309, 2008. 査読有.
- [11] 村岡琢正, 飯塚哲, Effect of Surface Charge on Ignition of RF Impulse Discharge Used for Surface MgO Coating in A Small-Diameter Glass Tube, The XXVIII Inter. Conf. on Phenomena in Ionized Gases, pp. 855-858, Prague, Czech Republic, 2007, 査読有.
- [12] 村岡琢正, 飯塚哲, Modification of inner surface of a small-diameter PTFE tube by RF impulse discharge with coaxial micro-electrodes, 18th Inter. Symp. on Plasma Chemistry, Kyoto, 28P135/1-4, 2007, 査読有.
- [13] 小野秀樹, 飯塚哲, Deposition of ZnO in energy-controlled O₂/Ar hollow-type magnetron RF discharge plasma, 18th Inter. Symp. on Plasma Chemistry, Kyoto, Japan, 27P29/1-4, 2007, 査読有.
- [14] 小野秀樹, 中野拓也, 飯塚哲, Characteristics of Ar/O₂ hollow-type magnetron rf discharge plasma with zinc target, Proceedings of the 24th Symp. on Plasma Processing, Osaka, pp. 51-52, 2007, 査読無.
- [15] Takumasa Muraoka and Satoru Iizuka, Surface charge effect and surface modification by rf impulse discharge in a small-diameter tube, Proceedings of the 24th Symposium on Plasma Processing, Osaka, pp. 53-54, 2007, 査読無.
- [16] Hideki Ono, Satoru Iizuka, Deposition of ZnO nanowires in Energy-Controlled Hollow-Type Magnetron RF O₂/Ar Plasma, The 20th Symposium on Plasma Science for Materials, Nagoya, p.134-134, 2007, 査読無.
- [17] 村岡琢正, 飯塚哲, MgO Microparticle Deposition by RF Impulse Discharge in a Small-Diameter Tube, The 20th Symposium on Plasma Science for Materials, Nagoya, p.98-98, 2007, 査読無.
- [学会発表] (計 23 件)
- [1] 小野秀樹, 飯塚哲, ホローマグネトロン O₂/Ar高周波プラズマ中ZnO ナノワイヤーの生成, プラズマ科学シンポジウム, 第 26 回プラズマプロセッシング研究会, 2009年2月2日, 名古屋大学豊田講堂シンポジオン.
- [2] 櫻村透, 飯塚哲, 高周波インパルスプラズマCVDによる微細ガラス管内MgO薄膜の生成, プラズマ科学シンポジウム, 第 26 回プラズマプロセッシング研究会, 2009年2月2日, 名古屋大学豊田講堂シンポジオン.
- [3] 小野秀樹, 飯塚哲, Growth of ZnO nanowires in hollow-type Magnetron O₂/Ar plasmas, 9th Asia-Pacific Conference on Plasma Science and Technology, 2008年10月8日, 黄山国際ホテル, 中国.
- [4] 村岡琢正, 櫻村透, 飯塚哲, Spherical MgO microparticle deposition by RF impulse discharge with small coaxial electrode, 9th Asia-Pacific Conf. on Plasma Science and Technology, 2008年10月8日, 黄山国際ホテル, 中国.
- [5] 村岡琢正, 飯塚哲, RF impulse barrier discharge for MgO microparticle production in sub-atmospheric pressure regime, 14th Inter. Conf. on Plasma Physics, 2008年9月8日, 福岡国際会議センター.
- [6] 小野秀樹, 飯塚哲, Production of ZnO Nanowires in Hollow-Type Magnetron O₂/Ar RF Plasma, International Interdisciplinary-Symp. on Gaseous and Liquid Plasmas, 2008年9月5日, ホテルクレセント, 秋保, 仙台.
- [7] 村岡琢正, 櫻村透, 飯塚哲, MgO Microparticle Deposition by RF Impulse Discharge in Small Coaxial Electrode System,

International Interdisciplinary - Symp. on Gaseous and Liquid Plasmas, 2008年9月5日, ホテルクレセント, 秋保, 仙台.

[8] 小野秀樹, 飯塚哲, ホローマグネトロン O₂/Ar高周波プラズマ中ZnO ナノワイヤーの成長メカニズム, 応用物理学会, 2008年9月2日, 中部大学.

[9] 小野秀樹, 飯塚哲, ホローマグネトロン O₂/Ar高周波プラズマ中ZnOナノワイヤー成長に対するガス比依存性, 日本原子力学会, プラズマ・核融合学会, 2008年6月19日, 青森市民ホール.

[10] 小野秀樹, 飯塚哲, エネルギー制御型ホローマグネトロン高周波放電プラズマによるZnOナノワイヤー成長過程, 第25回プラズマプロセッシング研究会, 2008年1月23日, 山口県教育会館.

[11] 小野秀樹, 飯塚哲, エネルギー制御型ホローマグネトロン高周波プラズマによるZnOナノワイヤー生成機構, プラズマ・核融合学会, 2007年11月27日, イーグレ姫路.

[12] 村岡琢正, 飯塚哲, 小型同軸型高周波インパルス放電によるMgOマイクロ微粒子の生成, 第68回応用物理学会, 2007年9月4日, 北海道工業大学.

[13] 村岡琢正, 飯塚哲, Modification of inner surface of a small-diameter PTFE tube by RF impulse discharge with coaxial micro-electrodes, 18th International Symposium on Plasma Chemistry, 2007年8月27日, 京都大学.

[14] 小野秀樹, 飯塚哲, Deposition of ZnO in energy-controlled O₂/Ar hollow-type magnetron RF discharge plasma, 18th International Symposium on Plasma Chemistry, 2007年8月27日, 京都大学.

[15] 村岡琢正, 飯塚哲, Effect of Surface Charge on Ignition of RF Impulse Discharge Used for Surface MgO Coating in A Small-Diameter Glass Tube, XXVIII Inter. Conf. on Phenomena in Ionized Gases, 2007年7月15日, Top Hotel, プラハ(チェコ).

[16] 小野秀樹, 飯塚哲, Deposition of ZnO nanowires in Energy-Controlled Hollow-Type Magnetron RF O₂/Ar Plasma, 20th Symposium on Plasma Science for Materials, 2007年6月21日, 名古屋大学.

[17] 村岡琢正, 飯塚哲, MgO Microparticle Deposition by RF Impulse Discharge in a Small-Diameter Tube, 20th Symposium on Plasma Science for Materials, 2007年6月21日, 名古屋大学.

[18] 小野秀樹, 飯塚哲, エネルギー制御型ホローマグネトロンO₂/Ar高周波プラズマの特性とZnO生成, 第54回応用物理学会, 2007年3月27日, 青山学院大学.

[20] 村岡琢正, 飯塚哲, 小型同軸型インパルス放電による細管内表面改質, 第54回応用

物理学会, 2007年3月27日, 青山学院大学.

[20] 小野秀樹, 中野拓也, 飯塚哲, Characteristics of Ar/O₂ hollow-type magnetron rf discharge plasma with zinc target, 24th Symp. on Plasma Processing, 2007年1月19日, 大阪, 千里.

[21] 村岡琢正, 飯塚哲, Surface charge effect and surface modification by rf impulse discharge in a small-diameter tube, 24th Symp. on Plasma Processing, 2007年1月19日, 大阪, 千里.

[22] 村岡琢正, 飯塚哲, 微細ガラス管内高周波インパルスマイクロ放電の周波数特性とMgO薄膜形成, 第67回応用物理学会, 2006年8月29日, 立命館大学.

[23] 村岡琢正, 飯塚哲, Characteristics of atmospheric pressure micro-discharge in small diameter glass tube by using rf-impulse, 8th Asia-Pacific Conference on Plasma Science and Technology and 19th Symposium on Plasma Science for Materials, 2006年7月3日, Cairns, Australia.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 2件)

名称: 酸化物中空粒子, その製造方法及び酸化物中空粒子製造装置

発明者: 飯塚哲

権利者: 飯塚哲

種類: 特許

番号: 特願 2008-293788

出願年月日: 2008年11月17日

国内外の別: 国内

名称: 微細管内プラズマ発生法とこれを用いた薄膜堆積方法, 微細管内壁面改質方法

発明者: 飯塚哲

権利者: 飯塚哲

種類: 特許

番号: 特開 2008-192567

出願年月日: 2007年2月7日

国内外の別: 国内

○取得状況(計 0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者 飯塚 哲(IIZUKA SATORU)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 20151227

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし