

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 18 日現在

機関番号：32503
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22360266
 研究課題名（和文） バイオミメティック超高速・高効率エレクトロクロミック薄膜の高耐久化
 研究課題名（英文） High Durability of Biomimetic High-speed High-efficient Electrochromic Thin Films
 研究代表者
 井上 泰志（INOUE YASUSHI）
 千葉工業大学・工学部・教授
 研究者番号：10252264

研究成果の概要（和文）：反応性プラズマプロセスに斜め堆積法を適用することにより作製した微絨毛状 InN 薄膜の耐久性劣化の要因が、薄膜表面への $\text{In}(\text{OH})_3$ 微粒子の析出にあることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This study elucidated that the degradation of electrochromic property in microvillus-structured InN film is caused by precipitation of $\text{In}(\text{OH})_3$ nanoparticles on the film surface.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2012 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2013 年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
年度			
年度			
総計	11,900,000	3,570,000	15,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・金属物性

キーワード：薄膜物性，エレクトロクロミック，窒化インジウム，斜め堆積法，バイオミメティック，反応性プラズマ

1. 研究開始当初の背景

(1) エレクトロクロミック(EC)現象とは、電荷の注入によって、材料の色が可逆的に変化する現象のことである。可逆的色変化特性を利用し、光透過率を制御できるスマートウィンドウや自動車の防眩ミラーなどの調光デバイス、また薄型ディスプレイや電子ペーパーとしての応用が期待されている。EC 現象を示す材料としては、無機系物質では酸化タングステン(WO_3)、有機系物質ではピオロゲン系化合物が代表例である。純粋な WO_3 は可視光領域で透明であるが、電解液中でカソード分極すると、電極側から電子が供給されるとともに、電解液側から H^+ や Li^+ などの

カチオンが結晶格子中に侵入し、青色を呈するようになる。逆にアノード分極すれば、カチオンが放出され、再び無色透明に戻る。このように、 WO_3 の EC 現象には、物質内部へのイオンの出入りが不可欠であるため、EC 領域の面積に応じて、色変化終了までに数秒～数分の時間を要する。この固体中イオン移動度の低さに起因する、EC 材料の低応答性が、従来の EC 材料では応用上最も重大な課題の一つとなっていた。発色原理は異なるが、固体内イオン移動を必要とする点は、有機物系 EC 材料でも同じである。

(2) 筆者らは、窒化インジウム(InN)の薄膜が、適当な電解質を含む水溶液中で電圧を印加

することによって、カソード分極時に淡褐色、アノード分極時に濃褐色となり、両者の間で可逆的に色変化することを発見した。さらにこの現象に対し、InN 表面に吸着している・H と・OH が、印加電圧変化によって交代するとともに、InN 内のキャリア電子密度が変化し、光吸収端がシフトする、というメカニズムを提唱し、「吸着誘起型エレクトロクロミック (adsorption-induced electrochromic : AiEC) 現象」と名付けた。AiEC 現象は、色変化を誘起する要因が表面吸着物の交代であり、電解質と表面の間のみで物質移動があるため、従来の固体内イオン移動型 EC 現象と比較して、飛躍的に色変化応答性の向上が期待できる。一方で、色変化の直接の原因が光吸収端のシフトであるため、ほぼ同じ色調での色変化に限定され、光透過率の変化量自体があまり大きくない、という欠点がある。

(3) 筆者らはこれまで、反応性イオンプレーティング法 (RIP) に、斜め堆積法 (glancing-angle deposition : GLAD) を適用することにより、小腸の微絨毛構造を模倣した、離散的ナノ柱状 (isolated nano-columnar : INC) 構造を有する InN 薄膜を作製し、表面積を拡大することによる AiEC 特性の飛躍的な向上、特に透過率変化量の大幅な増大に成功した。GLAD 法とは、主に真空蒸着において、原料蒸気流束に対して基板を大きく斜めに傾けた状態で薄膜堆積させる手法のことである。基板表面に対して斜めに傾いた原料流束が、すでに成長した島によって遮蔽される「自己遮蔽効果」によって、成長し続ける島状突起部分と、原料供給が途絶えて成長できない部分が生じ、小腸の微絨毛構造と類似した INC 構造が形成される。ここで、InN のような窒化物薄膜を堆積させるためには、通常、基板近傍に大量の化学活性な窒素 (原子状窒素、窒素イオン等) を供給するか、基板温度を高温にして窒素との化学反応を促進させることが必須である。しかし前者は原料流束の散乱を引き起こし、後者は表面マイグレーションを活発化させるため、斜め堆積における自己遮蔽効果が発現しないと考えられてきた。それに対して筆者らは、RIP 法を含むいくつかの反応性プラズマプロセスにおいて、適切な条件下で GLAD 法が適用可能であることを見出し、微絨毛構造を有する InN 薄膜の作製に成功した。

2. 研究の目的

INC 構造は、ナノ柱状晶が離散的に林立する構造であるから、機械的には明らかに脆弱である。ただし、スマートウィンドウや防眩ミラーなど、調光デバイスとして用いる場合、EC 層に機械的接触が起こることはないため、機械的脆弱性は応用上の問題にはならない。しかし、色変化に必要な電気化学的分極の繰

返しに対して、INC 構造化がどのような影響を与えるかについて、これまで研究報告例がない。そこで本研究では、INC 構造化 InN 薄膜の、EC 繰返しに対する耐久性に関する調査を行った。

3. 研究の方法

(1) 試料作製方法 : INC 構造化 InN 薄膜は、活性窒素ラジカル源支援真空蒸着法 (REV) に GLAD 法を適用することによって作製した。真空チャンバー内を 10^{-4} Pa 台まで排気した後、窒素ラジカル源 (RNS-20, (株)ULVAC) に 4.6 sccm の流量で純 N_2 を導入し、300 W の高周波電力 (13.56MHz) を投入して窒素プラズマを生成した。窒素ラジカル源は、真空チャンバーと Ti メッシュ板によって隔てられており、窒素ラジカル源内で生成した原子状 N ラジカルは、Ti メッシュを通して基板に照射された。さらに抵抗加熱蒸発源 (RHE-10, (株)MPS) から In ショット (純度 6N, (株)ニラコ) を蒸発させ、原子状 N と蒸発 In の同時照射によって InN 薄膜を形成した。In の蒸発量は、水晶振動子センサー (CRTM-6000, (株)ULVAC) によって一定に制御した。基板には、約 150 nm 厚の酸化インジウム・スズ (ITO) 膜がコーティングされた、サイズ 50 mm × 50 mm の無アルカリガラス板 (FLAT0031, ジオマテック (株)) を用い、蒸発源からの In 流束に対し、基板ホルダーを 85 度に傾斜させた。円柱状の INC 構造を形成するため、基板ホルダーを 6 rpm で自転させた。なお比較のため、基板ホルダーの傾斜を 60 度とし、INC 構造を有さない InN 薄膜の堆積も行った。以降、85 度傾斜で堆積した INC 構造化 InN 膜を「微絨毛膜」、60 度傾斜で堆積した INC 構造のない InN 膜を「均一膜」と称する。どちらも、体積膜厚が 1400 nm となるよう、堆積時間を制御した。

(2) 構造評価方法

堆積膜の微細構造、結晶性をそれぞれ走査電子顕微鏡 (SEM : S-3000N, (株)日立ハイテック) および X 線回折装置 (XRD : D8ADVANCE, Bruker) により評価した。また、堆積膜の重量をウルトラマイクロ電子天秤 (CPA26P, Sartorius) によって測定した。

(3) EC 評価方法

堆積膜の EC 特性については、ダブルビーム分光光度計 (UV-1650PC, (株)島津製作所) を用いて、光透過率スペクトルの変化を測定した。評価手順は次のとおりである。石英ガラス製の窓を設けた 50 mm × 50 mm × 50 mm の透明アクリル製セルを 2 つ準備し、一方を試料セル、もう一方を参照セルとして使用した。図 3 に示すように、試料セル内に 0.5 M の Na_2SO_4 水溶液を入れ、15 mm × 50 mm の短冊状に切り出した InN 薄膜試料を液面に垂直に挿入した。なお、試料端面および液面近傍にお

ける異常電界集中を防ぐとともに、水溶液と接する面積を一定にするため、光路付近の 10 mm×10 mm を残して、試料表面を透明エナメル樹脂によって被覆した。InN 薄膜試料電位は、ポテンショスタット (HAL3001, 北斗電工(株)) および関数発生器 (HB-305, 北斗電工(株)) を用いて制御した。このとき、コイル状に巻いた長さ 200 mm, 直径 0.5 mm φ の白金線を対極として、また直径 1 mm φ の白金線を参照極として用いた。一方、参照セルには 0.5 M の Na₂SO₄ 水溶液のみを入れた。水溶液中の溶存酸素の影響を排除するため、N₂ ガスのバブリングを測定 1 時間前から開始し、測定中も継続した。

4. 研究成果

(1) 作製膜の構造

図 1 に、均一膜および微絨毛膜の SEM 画像を示す。微絨毛膜では、ITO コート基板上に、斜め堆積特有の INC 構造が形成されていることが明瞭に観察できる。図 1(b) の画像から、平均の柱状晶太さおよび間隔を概算すると、それぞれ約 200 nm, 約 20 nm であった。堆積膜の重量から空隙率を見積ると、均一膜、微絨毛膜それぞれ 42%, 75% であった。XRD 実験の結果、どちらの薄膜試料もウルツ鉱型 InN の結晶構造を有しているが、均一膜では低次ピークの強度比が粉末データに近いのに対し、微絨毛膜では 002 および 110 ピークがほとんど現れておらず、配向性に違いがあることがわかった (図 2)。微絨毛膜の 101 回折ピークから、シェラーの式を用いて結晶粒径 D を見積ると、 $D = 13$ nm と算出された。SEM 画像における平均の柱状晶太さと比較すると、1 桁小さな値である。このことは、一つ一つの柱状晶が、10 nm オーダーの微結晶 InN の集合体であり、柱状晶内に多くの結晶粒界が存在することを表している。

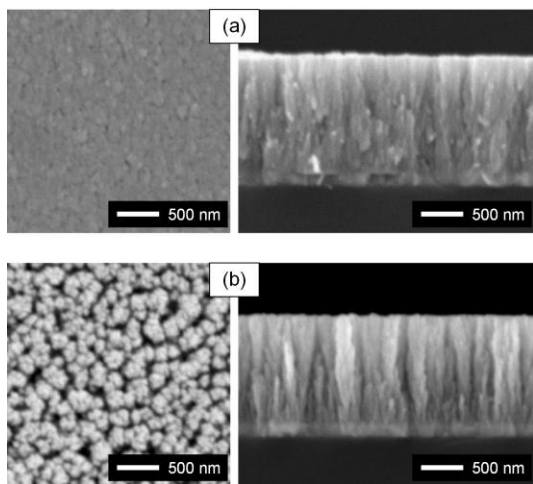


図 1 : 作製膜の表面および断面 SEM 画像。(a) 均一膜, (b) 微絨毛膜。

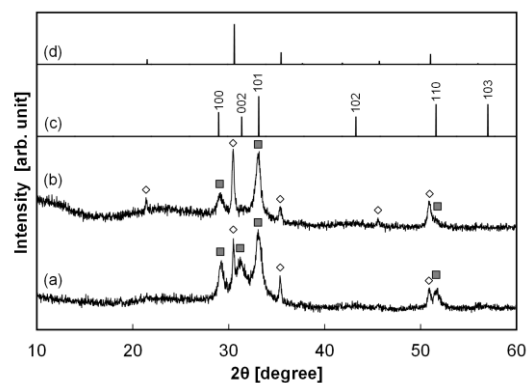


図 2 : 作製膜の XRD プロファイル。(a) 均一膜, (b) 微絨毛膜, (c) InN, (d) ITO。

(2) EC 特性

図 3 に、分極電位変化に対する微絨毛膜の光透過率スペクトル変化を示す。+0.4 ~ -1.6 V の分極電位範囲では、電位が高く (低く) なるにしたがって光透過率が減少 (増加) し、これは可逆的な変化であった。+0.6 V 以上、または -1.6 V 以下の分極電位では、それぞれ光透過率が増加、または減少するという、上記の光透過率変化とは逆の傾向を示すとともに、可逆性が失われた。この結果は、過電圧印加による InN 自体の不可逆な化学的変質を意味している。そこで、次節の繰返し実験では、アノード電位として +0.2 V, カソード電位として -1.4 V を分極電位に設定した。最大の ΔT は、波長 680 nm において得られ、その値は 58% であった。一方、最大の ΔOD は、波長 610 nm における 0.61 であった。この値は、代表的な EC 材料である WO₃ で報告されている値 (0.5 ~ 0.6) と同等である。ただし、図 3 の挿入図に示したように、 ΔOD は波長に依存して大きく変動している。可視光領域の 400 ~ 800 nm の波長範囲における、 ΔOD の平均値を求めると 0.35 となり、EC デバイスとして、決して十分な色変化が生じているとはいえない。また、最大の $\Delta \alpha$ は 3.8×10^4 cm⁻¹ であった。

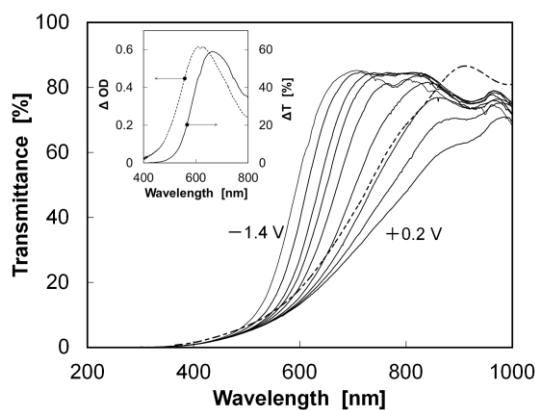


図 3 : 微絨毛膜の透過率スペクトルの印加電位依存性。

(3) EC 繰返し特性

最大の ΔT が得られた波長に測定波長を固定し、6 s 周期（アノード電位に 3 s 間、カソード電位に 3 s 間）で繰返し分極実験を行った結果、得られた光透過率の変化を図 4 に示す。均一膜では、透過率が徐々に上昇する傾向があるものの、 4.5×10^4 回までほぼ定常的に、明状態と暗状態の繰返しが実現している。その後、明状態・暗状態ともに、透過率が低下する傾向を示し、特に明状態側の方がその傾向が強いため、透過率変化幅が狭くなり、 5.7×10^4 回で寿命、すなわち光透過率差 ΔT が初期の半分となった。一方、微絨毛膜では、繰返し初期においては均一膜と同様に、透過率が全体として徐々に上昇する傾向を示した。しかし、繰返し回数が 1.0×10^4 回を超えた辺りから、暗状態側で急激に透過率が高くなり、 2.1×10^4 回で寿命となった。

均一膜と微絨毛膜の繰返し分極における挙動の違いを説明付けるため、寿命に達した後の試料について、微細構造および結晶性を調査した。図 5 に、繰返し試験後の試料の表面および断面 SEM 画像を示す。均一膜では、表面に微細な析出物が確認できる。断面画像では、これらの析出微粒子は、表面付近でフォーカスのあっていないボケとして映るため、その分だけ体積膜厚が大きくなったように見える。膜の内部には、ほとんど微細構造の変化は観察されない。一方、微絨毛膜では、表面に微粒子が一面に析出し、図 1 で見られたような、柱状構造間の深い空隙がほとんど埋まっている。実際、断面画像においてさらに明瞭に観察できるように、これらの微粒子は、基板の ITO 層付近まで析出し、柱状構造間の空隙は、ほぼ完全に消失している。繰返し試験後の試料の XRD 実験の結果を図 6 に示す。繰返し試験前には見られなかった新たな回折ピークが複数出現しており、解析の結果、 $\text{In}(\text{OH})_3$ の回折パターンと一致することがわかった。均一膜では、 $\text{In}(\text{OH})_3$ のごく弱い回折ピークが出現することを除けば、XRD プロファイルに大きな変化はない。一方、微絨毛膜では、 InN に起因する回折ピークがほとんど消失し、代わって $\text{In}(\text{OH})_3$ の非常に強い回折ピークが、ほぼ粉末パターンと同様の強度比で現れた。

(4) まとめ

以上の実験結果を総合すると、 InN 薄膜に対する分極の繰返しに伴う AiEC 特性の劣化は、 InN が $\text{In}(\text{OH})_3$ へ不可逆的に変質することによって惹き起こされる、とすることが最も合理的であると考えられる。ごく表層の InN が徐々に $\text{In}(\text{OH})_3$ へ変質していく初期段階では、どちらの構造の膜でもわずかに光透過率が上昇していた。これは、 $\text{In}(\text{OH})_3$ が 5.15 eV の大きなバンドギャップを有し、可視光領域

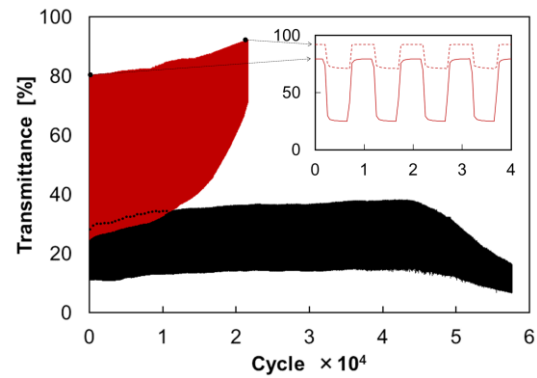


図 4 : 繰返し分極実験における透過率変化。黒線：均一膜，赤線：微絨毛膜。

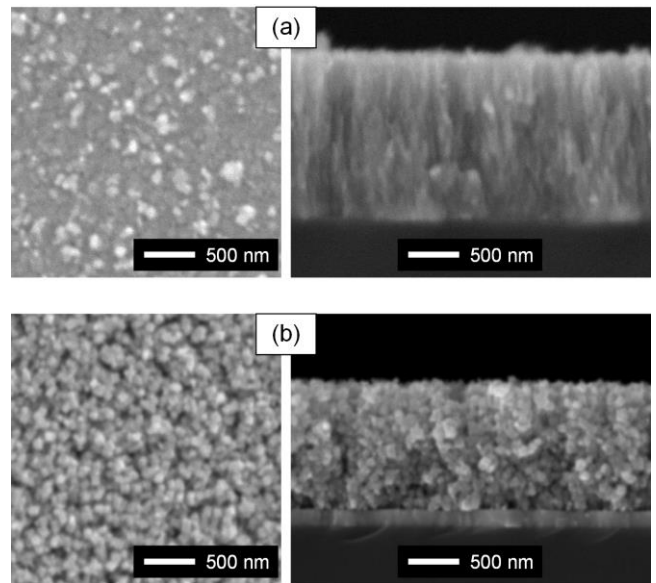


図 5 : 繰返し試験後の表面および断面 SEM 画像。(a) 均一膜，(b) 微絨毛膜。

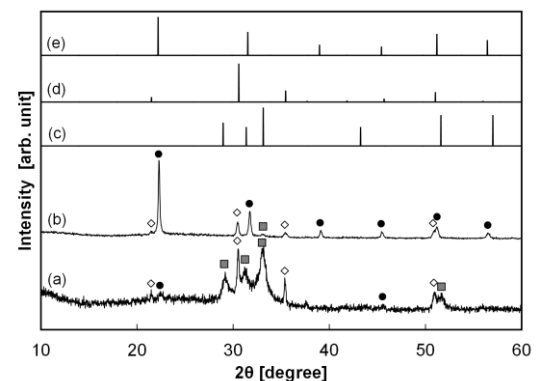
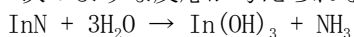


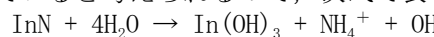
図 6 : 繰返し試験後の XRD プロファイル。(a) 均一膜，(b) 微絨毛膜，(c) InN ，(d) ITO ，(e) $\text{In}(\text{OH})_3$ 。

で透明なため、 InN から $\text{In}(\text{OH})_3$ に置き換わった分だけ、光透過率が上昇することで説明できる。寿命付近の挙動の違いについて、均一膜では、表面がほとんど $\text{In}(\text{OH})_3$ で被覆され、

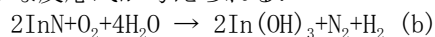
内部の InN と水溶液が遮断されることによって、-OH 終端の暗状態から-H 終端の明状態へ変化できない結晶粒が増加していくためであると考えられる。一方、微絨毛膜では、基板近傍まで深い空隙が多数存在することが、In(OH)₃へ変質する反応場を膜厚方向に広げ、膜内部まで完全に InN を消失させるほど変質が進むため、急激に光透過率が上昇し、また光透過率変化幅も減少すると考えられる。InN が In(OH)₃へ変質する反応素過程について、現時点では解明されていないが、最も単純には、次のような反応が考えられる。



反応によって発生した NH₃ は、水に溶け込んでいると考えられるので、次式で表される。



すなわち、InN の変質が進行するに従って、溶液の pH が上昇することになる。一方、溶存酸素が反応している可能性を考慮する必要があるかもしれない。その場合には、次のような反応式が考えられる。



この式に従えば、変質した InN から N₂ および H₂ ガスが発生することになるが、実験時には、そのような結果は見られなかった。ただし、変質した InN のモル量を、体積 10 mm×10 mm×1.4 μm、空隙率 75%、InN 密度 6.81 g/cm³ から概算すると、約 1.8×10⁻⁶ モルとなる。

(b)式に従えば、その結果生じる N₂、H₂ は、標準状態で 2.0×10⁻³ cm³ となり、非常にわずかな体積であるため、本研究で実施した実験では、観測できなかったかもしれない。今後、EC 測定後の溶液の pH や、気相の精密な質量分析などを行うことによって、InN から In(OH)₃へ変質する反応過程が明らかにできると考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 井上泰志、小田哲也、木村 光、高井治、「微絨毛構造化 InN 薄膜のエレクトロクロミック色変化繰返し耐久性」、表面技術、(査読有) (投稿中)。
- ② 井上泰志、高井治、「小腸絨毛構造に学ぶ形態制御エレクトロクロミック薄膜」、材料の科学と工学、(査読有)、Vol.49, No.4 (2012)、PP.162-165

[学会発表] (計 30 件)

- ① 表面技術協会第 127 回講演大会、木村 光、小田哲也、井上泰志、高井 治、「吸着誘起型 EC デバイスの調光特性調査」、日本工業大学 (2013. 3)。
- ② 表面技術協会第 127 回講演大会、小田哲也、

木村 光、井上泰志、高井 治、「窒化インジウム薄膜のエレクトロクロミック耐久性に対する微細構造の影響」、日本工業大学 (2013. 3)。

- ③ 表面技術協会第 127 回講演大会、佐藤 怜、大川修平、萩島大樹、井上泰志、高井 治、「斜め堆積法により作製した微細構造化 ITO 薄膜の透過率スペクトル」、日本工業大学 (2013. 3)。
- ④ 表面技術協会第 127 回講演大会、大川修平、萩島大樹、佐藤 怜、井上泰志、高井 治、「斜め堆積スパッタリング法による窒化スズ薄膜の作製と微細構造制御」、日本工業大学 (2013. 3)。
- ⑤ 13th Int. Symp. Biomimetic Materials Processing (BMP13)、Y. Inoue, T. Oda, H. Kimura, and O. Takai, "Cyclic Durability for Adsorption-induced Electrochromism of InN Films with Biomimetic Microvillus-like Nanostructure", Takayama (2013. 1)。
- ⑥ 第 30 回プラズマプロセッシング研究会 (SPP-30)、井上泰志、大川修平、佐藤 怜、萩島大樹、高井 治、「斜め堆積反応性スパッタリングにより作製した微絨毛構造化窒化スズ薄膜の特性」、浜松研修交流センター (2013. 1)。
- ⑦ 第 56 回日本学術会議材料工学連合講演会、井上泰志、高井 治、「斜め堆積スパッタ膜の微細構造に対する表面吸着ポテンシャルの影響 II」、京都テルサ (2012. 10)。
- ⑧ 11th Asia-Pasific Conf. Plasma Sci. Technol., Y. Inoue, H. Kimura, T. Oda, O. Takai, "Energy saving in air conditioning by adsorption-induced electrochromic device", Kyoto Univ. (2012. 10)。
- ⑨ IUMRS Int. Conf. Electronic Mater. 2012, Y. Inoue, S. Ohkawa, T. Oda, R. Sato, H. Kimura, and O. Takai, "Cyclic durability for adsorption-induced electrochromism of InN films with isolated nanocolumnar structure", Pacifico Yokohama (2012. 9)。
- ⑩ 日本金属学会 2012 年秋期 (第 151 回) 講演大会、井上泰志、大川修平、「プラズマ環境における斜め堆積プロセスのモンテカルロシミュレーション」、愛媛大学 (2012. 9)。
- ⑪ 日本金属学会第 150 回春期講演大会、田中元樹、大久保剣、木村拓也、井上泰志、高井 治、「斜め堆積反応性蒸着法による窒化物薄膜のナノ微細構造制御」、横浜国立大学 (2012. 3)。
- ⑫ 日本金属学会第 150 回春期講演大会、石附達也、田中元樹、大久保剣、木村拓也、井上泰志、高井 治、「近紫外波長領域で動

- 作するエレクトロクロミック薄膜の探索」, 横浜国立大学 (2012. 3)
- ⑬ 応用物理学会第 59 回応用物理学関係連合講演会, 細貝健史, 井上泰志, 高井 治, 「窒化スズ薄膜の結晶相に対する基板角度条件の影響」, 早稲田大学 (2012. 3)
- ⑭ 表面技術協会第 125 回講演大会, 井上泰志, 石附達也, 高井 治, 「酸化スズ薄膜のエレクトロクロミック特性」, 東京都市大学 (2012. 3)
- ⑮ The 12th Int. Symp. Biomimetic Materials Processing, K. Ohkubo, T. Kimura, G. Tanaka, Y. Inoue, O. Takai, "Deterioration Phenomenon in the Cyclic Polarization of Electrochromic InN", Nagoya Univ. (2012. 1)
- ⑯ The 12th Int. Symp. Biomimetic Materials Processing, T. Kimura, K. Ohkubo, G. Tanaka, Y. Inoue, O. Takai, "Development of EC Cell using Biomimetic-designed InN Film", Nagoya Univ. (2012. 1)
- ⑰ The 12th Int. Symp. Biomimetic Materials Processing, Y. Inoue, G. Tanaka, O. Takai, "Nanostructure Control in Biomimetic-designed InN Films Deposited by Glancing-angle Reactive Evaporation", Nagoya Univ. (2012. 1)
- ⑱ 第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム, 田中元樹, 大久保剣, 木村拓也, 井上泰志, 高井 治, 「斜め堆積反応性蒸着法による窒化物薄膜のナノ微細構造制御」, 横浜情報文化センター (2011. 12)
- ⑲ 第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム, 木村拓也, 大久保剣, 田中元樹, 井上泰志, 高井 治, 「吸着誘起型エレクトロクロミック材料を用いた調光素子の開発」, 横浜情報文化センター (2011. 12)
- ⑳ 第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム, 大久保剣, 木村拓也, 田中元樹, 井上泰志, 高井 治, 「InN のエレクトロクロミック特性の分極サイクル依存性」, 横浜情報文化センター (2011. 12)
- 21 第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム, 細貝健史, 石附達也, 井上泰志, 高井 治, 「スパッタ堆積した窒化スズ薄膜の結晶相に対する基板角度の影響」, 横浜情報文化センター (2011. 12)
- 22 第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム, 石附達也, 細貝健史, 井上泰志, 高井 治, 「反応性スパッタにより作製した酸化スズ薄膜の光学および電気的特性」, 横浜情報文化センター (2011. 12)
- 23 表面技術協会関東支部合同講演・見学会, 井上泰志, 高井 治, 「ナノ微細構造化による薄膜材料の高機能化」, 神奈川県産業技術センター (2011. 12)
- 24 15th Int. Conf. Thin Films, T. Hosogai, Y. Inoue, O. Takai, "Control of Isolated Nanocolumnar Structure of Nitride Films by Glancing-angle Evaporation with Nitrogen Radical Source", Kyoto TERRSA (2011. 11)
- 25 15th Int. Conf. Thin Films, G. Tanaka, Y. Inoue, O. Takai, "Control of Isolated Nanocolumnar Structure of Nitride Films by Glancing-angle Evaporation with Nitrogen Radical Source", Kyoto TERRSA (2011. 11)
- 26 15th Int. Conf. Thin Films, T. Ishizuki, Y. Inoue, O. Takai, "Discovery of Novel Electrochromic Oxide Materials Based on Adsorption-induced Mechanism", Kyoto TERRSA (2011. 11)
- 27 15th Int. Conf. Thin Films, Y. Inoue, O. Takai, "Mechanism of Adsorption-induced Electrochromism in Nitride Thin Films", Kyoto TERRSA (2011. 11)
- 28 第 55 回日本学術会議材料工学連合講演会, 井上泰志, 高井 治, 「斜め堆積スパッタ膜の微細構造に対する表面吸着ポテンシャルの影響」京都教育文化センター (2011. 10)
- 29 12th IUMRS Int. Conf. in Asia 2011, Y. Inoue, O. Takai, "Cyclic Deterioration of Electrochromic Indium-nitride Films Deposited by Reactive Evaporation", TWTC Nangang, Taipei (2011. 9)
- 30 The 11th Int. Symp. Sputtering & Plasma Processes 2011, Y. Inoue, and O. Takai, "Controllability of nanocolumnar structures in reactive sputtering with glancing-angle scheme", Kyoto Research Park (2011. 7)
- [図書] (計 2 件)
- ① 井上泰志, 高井治, 「光学薄膜 - 第 25 節 吸着誘起型エレクトロクロミック現象」, 技術情報協会 (2013).
- ② 井上泰志, 「ドライプロセスによる表面処理・薄膜形成の基礎 - 第 2 章 真空およびプラズマ」, 表面技術協会 (2013)
- [その他]
ホームページ等
<http://home.att.ne.jp/surf/isil/ys/>
6. 研究組織
(1) 研究代表者
井上 泰志 (INOUE YASUSHI)
千葉工業大学・工学部・教授
研究者番号: 10252264