

機関番号：22604

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19049013

研究課題名（和文） 規則ポーラス構造によるナノ・マイクロ空間の形成と光電場制御

研究課題名（英文） Fabrication of Nano&Microspaces for Control of Electric Field of Incident Light Using Ordered Porous Structures

研究代表者

益田 秀樹 (MASUDA HIDEKI)

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授

研究者番号：90190363

研究成果の概要（和文）：

規則細孔配列を有するポーラスアルミナにもとづき、ナノ・マイクロスケールの光電場増強場の構築を行った。細孔配列を制御したポーラスアルミナを蒸着マスクとすることにより、正方形、長方形、三角形の断面形状を有する金属のナノドットアレーが得られた。また、ポーラスアルミナの細孔への金属の電析と再アノード酸化を繰り返すことで、細孔の深さ方向で金属ナノ粒子が任意の間隔で規則配列した3次元周期構造を形成することができた。FDTD法による光電場強度のシミュレーションから、形状の特異性にもとづく光学特性を有することが推測され、その推測に対応した表面増強ラマン散乱(SERS)効果が確認された。

研究成果の概要（英文）：

Fabrication of Nanoµspaces in which electric field of incident light can be strongly enhanced was studied using anodic porous alumina. Metal nanodot arrays with square, rectangular and triangular shapes were fabricated by evaporation of metal using anodic porous alumina masks with controlled lattices of nanoholes. 3-dimensional arrays of metal nanoparticles were formed in porous alumina by repeating the anodization and subsequent metal electrodeposition processes. Electric field-mapping using FDTD method suggested unique optical properties arose from 2D and 3D nanostructures. SERS properties obtained from the nanostructures agreed well with the FDTD simulations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	22,200,000	0	22,200,000
2008年度	31,100,000	0	31,100,000
2009年度	30,100,000	0	30,100,000
2010年度	21,200,000	0	21,200,000
総計	104,600,000	0	104,600,000

研究分野：電気化学

科研費の分科・細目：材料化学・機能材料，デバイス

キーワード：ポーラス構造，ポーラスアルミナ，ナノドットアレー，局在表面プラズモン

1. 研究開始当初の背景

光をエネルギー源・駆動源とした様々な光化学反応の研究が20世紀の後半に著しい進展を遂げた。たとえば、太陽電池などのエネルギー変換素子、光触媒、光メモリー、フォトレジスト材料、光センシング技術を用い

た各種バイオセンサーなど、光化学研究が科学技術の発展にもたらした影響は極めて大きく、21世紀においても広汎な光科学技術を支える基盤的研究の一つとなる。これら一連の光化学反応を高度に制御し、その高効率化や高選択性を図るために従来までは、「光

と相互作用する物質（分子）の電子物性を好適な方向に制御し、光吸収、そしてそれに後続するエネルギー移動や、光電子移動の高効率化を図る」研究が主に行われてきた。つまり、従来研究の主眼は光応答性物質に主眼が置かれており、光と物質が相互作用する「反応場」に関しては大きな関心が払われてこなかった。

一方、近年、光の群速度を制御できる媒体、あるいは光閉じ込め機能を持つ周期構造体（フォトニック結晶）、金属ナノ微粒子や構造体への光照射によって誘起されるプラズモンを利用した光の局在化や光電場増強など、光と強く結合して光電場を微小空間に束縛、閉じ込める機能を有するナノ・マイクロ構造体が見出されている。これらのユニークな光電場増強機能を持つ微小空間に分子を配置した特異的な光反応場においては、極めて大きな見かけ上の光吸収断面積が得られる。さらに、これらの光-分子強結合反応場の界面を化学的な手法を用いて原子・分子レベルのサイズにて室温環境下、精密に制御することが可能になれば、従来にはない、新しい可能性を有する光反応空間場が創成される。種々の波長、光量、位相を有する光子の流れについて、それら本来のエネルギー絶対量を損失することなく選別、分岐、導波、整流、集光し、光子一つ一つの有するエネルギーや情報を極限的な効率にて自在に変換する場を高次集積化して構築されれば、光エネルギー変換、光センシング、光通信、などの科学技術に対して新たなブレークスルーをもたらすと考えられる。

2. 研究の目的

本申請課題では、物質と光の相互作用を誘起可能なナノ・マイクロ構造構築のため、自己組織化構造の代表である陽極酸化ポーラスアルミナの規則ポーラス構造にもとづき、

- (1) 規則ポーラス構造に基礎を置く規則ナノ・マイクロ空間の形成と光電磁場制御、
- (2) 鋳型プロセスにもとづく多様な規則ナノ・マイクロ空間の形成と光電磁場制御、
- (3) 光電磁場制御にもとづく各種機能デバイスの構築、

を具体的な研究目的として検討を加える。申請者らは、これまで自己組織化的に規則ナノ構造を形成する陽極酸化ポーラスアルミナをベースに様々なナノ・マイクロ構造体の形成を行ってきた。また、形成されたナノ・マイクロ構造の光電場制御への応用として、光の伝播を高度に制御可能なフォトニック結晶、Au、Ag等の金属のナノドットアレイにもとづくプラズモン特性の制御等に関して報告を行ってきた。高い細孔配列規則性を有する陽極酸化ポーラスアルミナの作製、並びに光電場制御デバイス分野への応用は、申請者らにより先行して研究

が進められており、他の研究グループに対して高い優位性が確保されている。これまでの検討により、各種規則ポーラス構造を有する陽極酸化ポーラスアルミナの作製手法はほぼ確立されており、アルミナ膜を貫通孔化しマスクとすることで形成されたAu、Ag等の金属ナノドットアレイによるプラズモン特性が、鋳型として用いるポーラスアルミナの幾何学形状により制御可能なことも確認されている。この他、アルミナマスクをもとに形成された金属ナノドットアレイ上に吸着された分子種のラマン散乱強度が著しく増強される現象も確認されている。

3. 研究の方法

陽極酸化ポーラスアルミナの高度な規則構造にもとづく各種ナノ・マイクロ構造を形成と光デバイス応用に関して、以下の項目について検討を加える。

(1) 自己組織化構造に基礎を置く規則ナノ・マイクロ空間の形成と光電場制御

ポーラスアルミナの細孔底部をエッチングにより除去し作製したマスクと蒸着プロセスと組み合わせることにより、Au、Ag等の金属ナノドットアレイの形成を行なう。マスクの形状により幾何学形状が制御された金属ナノドットアレイに対しプラズモン特性の評価、ラマン散乱強度の増大等について検討を加える。

(2) 鋳型プロセスにもとづく多様な規則ナノ・マイクロ空間の形成と光電場制御

陽極酸化ポーラスを鋳型とする規則ナノ・マイクロ空間の形成について検討を加える。鋳型プロセスにもとづき作製された金属ホールアレイ構造に関して、幾何学形状に依存した光透過特性と局所プラズモン効果を組み合わせた新規な光電場制御空間の構築を行なう。

(3) 光電磁場制御にもとづく機能デバイスの作製

形状・サイズが制御された金属ナノドットアレイにもとづく局所誘電率検出系の構築を行なう。また、構築された系の各種マイクロチップ、並びにDNAに代表される生体関連分子検出への適用を試みる。

(4) 光電磁場増強と光閉じ込めの組み合わせにもとづく新規光電場増強空間の構築

金属ナノドットアレイによる電場増強効果とフォトニック結晶にもとづく光閉じ込め効果を組み合わせた光電場制御空間の作製を行なう。陽極酸化ポーラスアルミナ細孔内に金属ナノドットを担持した系、あるいは、ポーラスアルミナマスクによるエッチングにより形成したホールアレイと金属ナノドットアレイとの組み合わせ構造を作製し、プラズモンにもとづく電場増強効果のフォトニック結晶にもとづく増大を試みる。

4. 研究成果

(1) 自己組織化構造に基礎を置く規則ナノ・マイクロ空間の形成と光電場制御

ポーラスアルミナの自己組織化プロセスとナノインプリントプロセスの組み合わせにより、ポーラスアルミナのナノ細孔配列を制御した。これらのポーラスアルミナの細孔の溶解条件の最適化により、配列パターンに対応した細孔の断面形状を有するポーラスアルミナを形成した。これを蒸着のマスクとして用いることにより、四角形、長方形、三角形の外形(輪郭)を有する金属ドットの2次元規則配列を形成することができた。FDTD法による光電場強度の空間分布のシミュレーションでは、三角形の金属ナノドットの各頂点で最大の増強となることが示された。また、可視域でプラズモン共鳴を示すAu, Agのいずれの金属でもナノドットアレーが得られた。

メタルナノドットアレーの光電場増強効果は、ドットの間隔に大きく依存する。ポーラスアルミナをマスクとしてポリマー基板にドットアレーを形成後、ポリマー基板を熱収縮させることで、メタルドットアレーの周期の縮小および三角格子配列から四角格子配列への転化が可能となった。特異的な形状を有する金属ナノドット配列は、他の手法では得ることが困難であることから、高度な光電場増強場としての利用が期待される。

(2) 鋳型プロセスにもとづく多様な規則ナノ・マイクロ空間の形成と光電場制御

結晶方位が制御されたAl箔を塩酸系の水溶液中で電解エッチングし、数ミクロンの開口サイズを有する高アスペクト比のトンネルピット配列を形成した。これをリン酸水溶液中でアノード酸化し、ミクロンスケールのトンネルピット配列の壁面にナノスケールのポーラスアルミナの細孔配列を形成した。これを鋳型とし、ポーラスアルミナの細孔底部に金を電解析出し、続いて無電解めっきを実施した後に鋳型を除去することにより、ミクロンスケールの高アスペクト比柱状配列の壁面にナノスケールの突起配列を有する、金のナノ-マイクロ階層構造を得た(図1)。ピリジン分子を用いて表面増強ラマン散乱(SERS)効果を調べた結果、ナノ-マイクロ階層構造で高い増強効果が現れることが確認された。

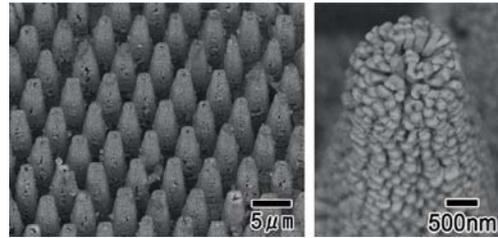


図1 Alのトンネルエッチングとアノード酸化にもとづく形成された金のナノ-マイクロ階層構造

(3) 光電磁場制御にもとづく機能デバイスの作製

ポーラスアルミナの規則細孔配列を蒸着マスクとして、金属のナノドットアレーをガラス基板に形成した。光リソグラフィーのネガ型レジストとして用いられる紫外線硬化性樹脂をナノドットアレーの表面に形成し、レジストの露光波長(樹脂の光吸収波長帯域)よりも長い、800nmの波長の光を照射したところ、照射光の偏光方向に沿ったドットの最近接部でのみ樹脂が硬化することが確認された。これは、ドット間の最近接部で光電場の増強が起こり、通常は反応が進行しない波長の光で光化学反応が進行した事を示している。また、FDTD法によるシミュレーションでも、偏光方向のドット最近接部で強い電場の増強効果が現れることが示された。ポーラスアルミナの細孔配列は比較的容易に形成されることから、基板上での光電場増強場の形成手法としての実用化が期待される。

(4) 光電磁場増強と光閉じ込めの組み合わせにもとづく新規光電場増強空間の構築

2次元フォトニック結晶特性を示す、理想細孔配列を有する陽極酸化ポーラスアルミナを利用した3次元の光電場制御空間の形成に関し検討を行った。ナノインプリントプロセスにより規則細孔配列を有するポーラスアルミナを形成後、金属イオンを含む電解液中での交流電解により、各細孔の底部に金属微粒子を析出させた。陽極酸化を再度実施することにより、金属微粒子の下側に規則細孔を成長させ、その細孔底部に再び金属微粒子を析出させた。ポーラスアルミナの細孔への金属の電解析出と再アノード酸化の繰り返しプロセスを精密に制御することで、細孔の深さ方向で金属ナノ粒子が任意の間隔で規則配列した3次元周期構造を形成することができた(図2)。また、可視域でプラズモン共鳴を示すAu, Agのいずれの金属でも作製可能であった。この様な3次元で複合した規則構造は、リソグラフィーを含む他のプロセ

スでは形成が不可能であることから、高度な光デバイスとしての発展が期待される。

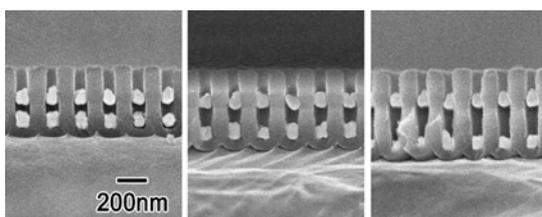


図 2 ポーラスアルミナの細孔に形成された金属ナノ粒子の3次元周期構造

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 28 件)

1. T. Kondo, T. Fukushima, K. Nishio, H. Masuda, "Surface-enhanced Raman scattering in hierarchical structures of Au formed using templates by site-controlled tunnel etching of Al", *Appl. Phys. Express*, 査読有, 2, 2009, 125001.
2. M. Harada, T. Kondo, T. Yanagishita, K. Nishio, H. Masuda, "Anodic porous alumina masks with checkerboard pattern", *Appl. Phys. Express*, 査読有, 3, 2010, 15001.
3. T. Kondo, K. Nishio, H. Masuda, "Fabrication of metal-polymer nanocomposite with beaded structures using ordered anodic porous alumina template", *Chem. Lett.*, 査読有, 39, 2010, pp. 238-239.
4. T. Kondo, K. Nishio, H. Masuda, "Multilayered three-dimensional structures of Ag nanoparticles in anodic porous alumina", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 査読有, 49, 2010, 25002.
5. T. Kondo, F. Matsumoto, K. Nishio, and H. Masuda, "Surface-enhanced Raman Scattering on Ordered Gold Nanodot Arrays Prepared from Anodic Porous Alumina Mask", *Chemistry Letters*, 査読有, 37, 2008 pp. 466-467.
6. T. Kondo, K. Nishio, And H. Masuda, "Surface-Enhanced Raman Scattering in Multilayered Au Nanoparticles in Anodic Porous Alumina Matrix", *Applied Physics Express*, 査読有, 2, 2009, 032001.
7. I. Mizuki, T. Kondo, K. Nishio and H. Masuda, "Transparentization of Tunnel-Etched Al Foil by Anodic Oxidation", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 査読有, 48, 2008, 20218.
8. T. Yanagishita, T. Kondo, K. Nishio, and H. Masuda, "Optimization of AR structures of Polymer Based on Nanoimprinting Using Anodic Porous Alumina", *J. Vac. Sci. Tech. B*, 査読有, 26, 2008, pp.1856-1859.

[学会発表] (計 139 件)

1. Hideki Masuda, Toshiaki Kondo, Takashi Yanagishita, Kazuyuki Nishio, "Localized surface plasmonic devices based on ordered alumina nanohole arrays", PACIFICHEM 2010, 2010.12.15, Honolulu, USA.
2. Hideki Masuda, Kazuyuki Nishio, Takashi Yanagishita, Toshiaki Kondo, "Fabrication of highly ordered anodic porous alumina and its application to functional nanodevices", International Symposium on Sustainable Urban Environment 2010, 2010.12.10, Tokyo, Japan.
3. Toshiaki Kondo, Kazuyuki Nishio, and Hideki Masuda, "SERS measurement on shape-controlled Au nanodot array prepared by using anodic porous alumina mask", 2010 MRS fall meeting, 2010.12.1, Boston, USA..
4. Hideki Masuda, Toshiaki Kondo, Takashi Yanagishita, Nishio Kazuyuki, "Fabrication of ordered nanostructures for optical and electrochemical detections using anodic porous alumina", 61st Annual Meeting of ISE, 2010.9.30, Nice, France.
5. Hideki Masuda, "Fabrication of site-controlled tunnel pits on Al for electrolytic capacitors", The 2nd Korea-Japan Joint Symposium "ARS & Capacitor", 2010.6.28, Gyeongsangbuk-do, Korea.
6. Hideki Masuda, Takashi Yanagishita, Toshiaki Kondo, and Nishio Kazuyuki, "Fabrication of metal and semiconductor nanostructures based on ordered nanohole array in anodic porous alumina", 217th ECS Meeting, 2010.4.28, Vancouver, Canada.
7. 益田秀樹, 「高規則性アルミナナノホールアレーの形成と機能化」, 日本化学会第4回関東支部大会, 2010年8月31日, 茨城
8. 益田秀樹, 「ポーラスアルミナにもとづくナノインプリントモールドの作製と反射防止シート形成への応用」, 第71回応用物理学会学術講演会, 2010年9月15日, 長崎
9. 益田秀樹, 「アルミナナノホールアレーの構造制御と機能デバイスへの応用展開」, 第41回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2010年11月6日, 豊橋
10. 益田秀樹, 近藤敏彰, 柳下 崇, 西尾和之, 「規則ポーラス構造によるナノ・マイクロ空間の形成と光電場制御」, 光一分子強結合反応場の創成 第8回公開シンポジウム, 2011.1.27, 東京
11. 益田秀樹, 「規則ポーラス構造によるナノ・マイクロ空間の形成と光電場制御」, 日本化学会第91年春季年会, 2011年3月27日, 神奈川
12. 高木昌文, 近藤敏彰, 西尾和之, 益田秀樹, 「陽極酸化ポーラスアルミナにもとづく金属ナノドットアレーの形成と光電場増強へ

- の応用」, 日本化学会第4回関東支部大会, 2010年8月31日, 茨城
13. 近藤敏彰, 西尾和之, 益田秀樹, 「陽極酸化ポーラスアルミナを用いたナノインプリントプロセスにもとづく表面増強ラマン散乱測定用基板の作製」, 第71回応用物理学会学術講演会, 2010年9月17日, 長崎
 14. 宮崎隼人, 近藤敏彰, 西尾和之, 益田秀樹, 「陽極酸化ポーラスアルミナにおける細孔形状の制御とSERS特性」, 第71回応用物理学会学術講演会, 2010年9月17日, 長崎
 15. 益田秀樹, 近藤敏彰, 柳下崇, 西尾和之, 「規則ポーラス構造によるナノ・マイクロ空間の形成と光電場制御—金属ナノワイヤーアレーの形成と光電場増強場への応用—」, 光—分子強結合反応場の創成—第8回公開シンポジウム, 2011.1.27, 東京
 16. 近藤敏彰, 鈴木健也, 柳下崇, 西尾和之, 益田秀樹, 「ナノインプリントにもとづくポリマーモスアイ構造上への透明導電層形成と光学特性」, 第58回応用物理学関係連合講演会, 2011年3月24日, 神奈川
 17. 近藤敏彰, 宮崎隼人, 西尾和之, 益田秀樹, 「陽極酸化ポーラスアルミナにもとづくAuナノロッドアレーの形成とプラズモン特性」, 第58回応用物理学関係連合講演会, 2011年3月24日, 神奈川
 18. Hideki MASUDA, “Fabrication of nano space for control of incident light field”, International Conference Organic Nanophotonics, 2009. 6. 22, St. Petersburg, Russia.
 19. Hideki MASUDA, Kazuyuki NISHIO and Toshiaki KONDO, “Localized Plasmonic Devices Based on Highly Orderd Anodic Porous Alumina”, PIERS 2010 in Xian, 2010. 3. 22, Xian, China.
 20. 近藤敏彰, 西尾和之, 益田秀樹, 「陽極酸化にもとづく光電場増強場の構築」, 第26回金属のアノード酸化皮膜の機能化部会 (ARS) コンファレンス, 2009. 10. 30, 愛知
 21. Toshiaki KONDO, Kazuyuki NISHIO and Hideki MASUDA, “SERS on Ordered Au Nanodot Arrays Prepared Using Anodic Porous Alumina Mask”, 215th ECS Meeting, 2009. 5. 26, San Francisco, USA.
 22. Toshiaki KONDO, Hideki MASUDA, Takashi YANAGISHITA and Kazuyuki NISHIO, “Fabrication of nano spaces for control of electric field of incident light using ordered porous structures”, Advances in Nanostructure-Enhanced Photochemical Reactions and Photoenergy Conversion, 2009. 7. 17, Leuven, Belgium.
 23. Toshiaki KONDO, Tatsuro FUKUSHIMA, Kazuyuki NISHIO and Hideki MASUDA, “SERS in Hierarchical Structures of Au Formed using Templates by Site-controlled Tunnel Etching of Al”, 2009 MRS Fall Meeting, 2009. 12. 3, Boston, USA.
 24. 益田秀樹, 近藤敏彰, 柳下崇, 西尾和之, 「規則ポーラス構造によるナノ-マイクロ空間の形成と光電場制御」, 第56回応用物理学会学術連合講演会, 2009. 4. 1, 茨城
 25. 近藤敏彰, 北岸直也, 柳下崇, 西尾和之, 益田秀樹, 「陽極酸化ポーラスアルミナを用いたA1ナノワイヤーの作製とSERS基板への応用」, 第56回応用物理学会学術連合講演会, 2009. 4. 1, 茨城
 26. 近藤敏彰, 西尾和之, 益田秀樹, 「陽極酸化ポーラスアルミナを用いた形状制御された金属ナノドットの形成とSERS特性」, 第56回応用物理学会学術連合講演会, 2009. 4. 1, 茨城
 27. 宮崎隼人, 近藤敏彰, 西尾和之, 益田秀樹, 「アルミナナノホールアレーにもとづく金属・誘電体積層ナノドットの形成と光学特性」, 2009年電気化学会秋季大会, 2009. 9. 10, 東京
 28. 近藤敏彰, 北岸直也, 柳下崇, 西尾和之, 益田秀樹, 「陽極酸化ポーラスアルミナにもとづく金属ナノワイヤーの形状制御とSERS基盤への応用」, 第70回応用物理学会学術講演会, 2009. 9. 8, 富山
 29. 近藤敏彰, 宮崎隼人, 西尾和之, 益田秀樹, 「積層型金属ナノディスクアレーの形成と光学特性評価」, 第70回応用物理学会学術講演会, 2009. 9. 9, 富山
 30. 益田秀樹, 近藤敏彰, 「規則ポーラス構造によるナノ・マイクロ空間の形成と光電場制御」, 特定領域「光—分子強結合反応場の創成」第6回公開シンポジウム, 2010. 1. 29, 九州
 31. 近藤敏彰, 宮崎隼人, 西尾和之, 益田秀樹, 「アルミナナノホールアレーにもとづく多層ナノドットの形成と光学特性」, 第70回応用物理学会学術講演会, 2010. 3. 17, 神奈川
 32. 近藤敏彰, 福島達郎, 西尾和之, 益田秀樹, 「金属マイクロナノ階層構造の形状制御と光学特性」, 電気化学会第77回大会, 2010. 3. 29, 富山
 33. Hideki Masuda, “Fabrication of Functional Devices Based on Anodization of Al”, 6th Asian Conference of Electrochemistry, 2008.5.12, Taipei, Taiwan
 34. Hideki Masuda, “Functional Optical Devices Based on Highly Ordered Anodic Porous Alumina”, The 2nd Japan-Taiwan Joint Symposium on Organized Nanomaterials and Nanostructures Related to Photoscience, 2008. 11.6, Kyoto
 35. 益田秀樹, 「ポーラスアルミナの機能化

- とナノデバイスへの展開」, 日本化学会第2回関東支部大会, 2008年9月18日, 群馬
36. 近藤敏彰, 益田秀樹, 「陽極酸化ポーラスアルミナの光機能性デバイスの応用」, 表面技術協会第119回講演大会, 2009年3月17日, 山梨
 37. Hideki Masuda, “Functional Nanostructures Based on Highly Ordered Anodic Porous Alumina”, Interfinish 2008 17th World Congress & Exposition, 2008.6.18, Pusan, Korea
 38. T. Kondo, K. Nishio, and H. Masuda, “Fabrication and SERS Properties of Shape-controlled Metal Nanodots Using Anodic Porous Alumina”, MRS 2008 fall meeting, 2008. 12.2, Boston, USA
 39. 益田秀樹, 「規則ポーラス構造によるナノ・マイクロ空間の形成と光電場制御」, 光-分子強結合反応場の創成第3回シンポジウム, 2008年6月27日, 北海道
 40. 近藤敏彰, 西尾和之, 益田秀樹, 「ポーラスアルミナマスクを用いたメタルナノドットの形状制御とSERS応用」, 第69回応用物理学会学術講演会, 2008年9月4日, 愛知
 41. 近藤敏彰, 北岸直也, 柳下崇, 西尾和之, 益田秀樹, 「陽極酸化ポーラスアルミナを用いた金属ナノワイヤーアレーの作製」, 電気化学会第76回大会, 2009年3月31日, 京都
 42. 宮崎隼人, 近藤敏彰, 西尾和之, 益田秀樹, 「陽極酸化ポーラスアルミナを蒸着マスクとした金属ナノロッドアレーの作製とSERS特性」, 電気化学会第76回大会, 2009年3月31日, 京都
 43. Hideki Masuda, “Functional Nanostructures Using Highly Ordered Anodic Porous Alumina”, 5th International Workshop on Electrodeposited Nanostructures, 2007. 06.08, Iasi, Romania
 44. Hideki Masuda, “Nanoimprint Based on Highly Ordered Anodic porous Alumina”, Nanoprint and Nanoimprint Technology Conference '07, 2007.10.11, Paris, France
 45. T. Kondo, H. Masuda, “Fabrication and Optical Properties of Cross-Striped Ordered Arrays of Au Nanoparticles in Anodic Porous Alumina”, 2007 MRS Fall Meeting, 2007.11.27, Boston, USA
 46. 益田秀樹, 「アルミナナホールアレーの形成とナノインプリントへの応用」, 2007年度第2回ナノインプリント技術研究会, 2007年6月, 東京

〔図書〕(計8件)

1. 益田秀樹(分担), 化学同人, 「CSJカレントレビュー03 “空間をもつ革新的材料” 第7

- 章 ポーラスアルミナ」, 2010年
2. 益田秀樹(分担), 技術情報協会, 「微細転写・加工技術全集 第1章ナノプリント 第1節各種ナノインプリント方式による大面積・高アスペクト比加工技術(2) 光プリントによる微細転写技術と大面積化・高アスペクト比の向上」, 2008年

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 出願年月日:
 国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 取得年月日:
 国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

益田 秀樹 (HIDEKI MASUDA)
 研究者番号: 90190363

(2) 研究分担者

西尾 和之 (KAZUYUKI NISHIO)
 研究者番号: 00315756
 (2008年度連携研究者)

柳下 崇 (TAKASHI YANAGISHITA)

研究者番号: 50392923
 (2008年度連携研究者)

近藤 敏彰 (TOSHIAKI KONDO)

研究者番号: 20513716

(3) 連携研究者

()
 研究者番号: