

平成21年 5月11日現在

研究種目：基盤研究（A）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19206078  
 研究課題名（和文） バルブ金属のアノード酸化を基礎とするマイクロ・ナノ構造構築技術のフロンティア  
 研究課題名（英文） Frontiers of Micro- and Nano-structure Fabrication Based on the Anodizing of Valve Metals  
 研究代表者  
 坂入 正敏（MASATOSHI SAKAIRI）  
 北海道大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号：50280547

## 研究成果の概要：

本研究においては、電気化学的手法とレーザー照射を用いることにより、アルミニウムを中心とするバルブ金属表面にマイクロ・ナノ構造を構築し、新規な性質を付与する技術の開発を目的とした。高容量電解コンデンサの試作、マイクロ・ナノ電子デバイスの作製および導電性高分子・無電解めっきを応用した新規表面処理法の実現し、バルブ金属をエレクトロニクス・ナノテクノロジーの分野において利用するための新たな活用法を開拓することに成功した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	14,800,000	4,440,000	19,240,000
2008年度	15,800,000	4,740,000	20,540,000
年度			
年度			
年度			
総計	30,600,000	9,180,000	39,780,000

研究分野：応用電気化学、微細加工、表面処理

科研費の分科・細目：材料加工・処理

キーワード：表面・界面制御、アノード酸化、マイクロ・ナノテクノロジー

## 1. 研究開始当初の背景

アルミニウム (Al) は、鉄鋼材料について、大量に生産・使用されている材料であるが、これは表面に生成する安定な酸化皮膜の保護性に負うところが大きい。この酸化皮膜を電気化学的に形成する方法をアノード酸化といい、生成する皮膜をアノード酸化皮膜という。アノード酸化皮膜に覆われた Al を電解質溶液中で分極すると、カソード側では大きな電流が流れるのに対し、アノード側

ではほとんど電流が流れない“整流現象”が観察される。このような整流作用を示す金属をバルブ金属 (Valve Metal) と呼び、タンタル (Ta)、ニオブ (Nb)、チタン (Ti)、シリコン (Si) などが挙げられる。バルブ金属のアノード酸化処理は、材料の耐食性向上のために行われることが多いが、材料表面の電気的・光学的・化学的・物理的性質を変化させて種々の機能を付与するためにも行われる。例えば、電解コンデンサー誘電体、光触媒、半導体パッシベーション薄膜などが挙げられ

る。

申請者らは、これまで長年にわたり、アルミニウムのアノード酸化に関する研究を続けており、アノード酸化皮膜の構造・性質の評価および精密制御技術の開発に多くの成果を挙げている。最近十年間においては、1) 新規電解コンデンサーの開発に関連した Al-(Nb, Ta, Ti, Si) 複合酸化物皮膜の形成に関する研究および 2) レーザー照射/アノード酸化/電気化学的析出による局部表面改質の研究を行ってきた。これらの研究は、バルブ金属の新たな応用を発現させるものとして注目されているが、工業的応用を図るためには未解明の現象が未だ多く、その科学的現象の理解を深め、革新的で新しい機能をバルブ金属に付与することが課題である。

## 2. 研究の目的

本研究は、アノード酸化の技術と種々のコーティング技術および電気化学的手法を組み合わせることにより、これまでに得られたことの無い、革新的で新しい機能をバルブ金属に付与することを目的とした。具体的には、以下の4項目について研究を行った。

(1) 複合酸化物皮膜の形成による高誘電率・高耐電圧薄膜の生成とコンデンサーへの応用

液相析出法とアノード酸化を組み合わせることにより、複合層を有するアノード酸化皮膜化成法を検討し、新規な構造を有するコンデンサーの試作を試みた。電気化学的特性を検討することにより、コンデンサーの耐久性向上および大容量化の実現を目指した。

(2) アノード酸化とレーザー照射を用いた新規機能性表面の構築

アノード酸化皮膜を化成したアルミニウム試料にレーザー照射を行ったのち、レーザー照射部のみに電気化学的な手法を施すことにより、新規な微細構造の構築を試みた。

(3) 酸化物皮膜/金属複合層の形成とその応用

アノード酸化皮膜上に無電解めっきおよび導電性高分子析出を試み、酸化物皮膜/金属/導電性高分子の複合層形成を試みた。それぞれの過程における最適条件を見いだすとともに、工業的な応用の可能性を考察した。

(4) 電気化学的手法を用いたマイクロ・ナノ構造の作製

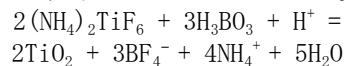
アノード酸化皮膜形成法および水和酸化物皮膜化成と微細凹凸形成法を組み合わせることにより、アルミニウム表面上にマイクロ・ナノメートルオーダーを有する微細構造

体の作製を試みるとともに、工業的な応用の可能性を検討した。

## 3. 研究の方法

(1) 複合酸化物皮膜の形成による高誘電率・高耐電圧薄膜の生成とコンデンサーへの応用

平滑なアルミニウムおよびエッチドアルミニウム試料を熱処理することにより、試料表面に熱酸化物皮膜を形成した。その後、試料をチタンフッ化物/ほう酸混合水溶液中に浸漬することにより、チタン酸化物層のコーティングを試みた(液相析出法)。反応機構は以下の化学式により説明される。



コーティング試料をボレート溶液中に浸漬し、アノード酸化を行うことにより、チタンおよびアルミニウムの複合酸化物を化成するとともに、その皮膜の電気化学的特性および析出状態を検討した。

(2) アノード酸化とレーザー照射を用いた新規機能性表面の構築

アノード酸化皮膜を化成したアルミニウム試料にパルス Nd-YAG レーザーを照射し、局部的に酸化物皮膜を破壊・除去した。その後、無電解めっきおよび再アノード酸化を行い、レーザー照射部のみに金属・酸化物皮膜を形成することにより、微細なライン幅を有する金属・酸化物皮膜のパターニングを試みた。試作したパターンを電子顕微鏡および共焦点走査型レーザー顕微鏡で観察することにより、各種電子デバイスへの応用の可能性を検討した。

(3) 酸化物皮膜/金属複合層の形成とその応用

アノード酸化皮膜を化成したアルミニウム試料に Pd 触媒化処理および無電解 Ni めっきを施すことにより、酸化物皮膜上に金属析出層の形成を試みた。その後、試料をドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (NaDBS) /ピロール混合水溶液中においてアノード分極することにより、導電性高分子ポリピロール (PPy) 層を形成した。PPy 析出試料に電気めっきを行うことにより、酸化物皮膜/金属/導電性高分子の3層からなる複合層を作製し、それぞれの過程の最適条件を検討するとともに、再利用可能なアルミニウム製印刷ロールへの応用を試みた。

(4) 電気化学的手法を用いたマイクロ・ナノ構造の作製

アルミニウム板にレーザー照射およびスタンプ法を用いて微細な凹凸形状を形成し

た。その後、試料の片面を有機樹脂でコーティングし、もう1つの面からアノード酸化を行ったのち、有機樹脂層を溶解・除去することにより、酸化物皮膜上に局部アルミニウム層の形成を試みた。また、アノード酸化/水和酸化物皮膜形成/素地金属・アノード酸化皮膜溶解の連続プロセスにより、規則的なナノ構造を有する水和酸化物の形成を試みた。

#### 4. 研究成果

(1) 複合酸化物皮膜の形成による高誘電率・高耐電圧薄膜の生成とコンデンサーへの応用

液相析出法は、これまでに報告者らが行ってきたゾルゲル法および電気泳動ゾルゲル法と異なって金属アルコキシドを用いないため、グローブボックスを必要としないなどの利点を有するが、金属のフッ化物塩を使用する問題点を持つ。アルミニウムは、フッ化物イオンと安定な錯イオンを形成するため、アルミニウムを析出基板として用いる場合には、基盤の溶解を抑制する必要がある。

報告者らは、アルミニウムを加熱して熱酸化物皮膜を形成した後、比較的高い温度においてアノード酸化を行うと、結晶性のアノード酸化皮膜が得られるが、このような前処理ののち、液相析出法を行うと、金属酸化物を析出させることができることを見出した。アルミニウム板上に液相析出法により  $\text{TiO}_2$  を析出させたのち、中性ホウ酸塩溶液中でアノード酸化することにより、Al/Ti 複合酸化物皮膜を形成することに成功した。この方法の最大の特徴は、研磨した平坦なアルミニウム板より、トンネルエッチを形成した試料の方が、 $\text{TiO}_2$  析出速度が大きいことで、これは、トンネルピット内でのアルミニウムの溶解抑制効果によるものと理解される。

アルミニウム試料上に形成した複合酸化物の TEM 観察より、チタン酸化物はアルミニウム基板の溶解を伴いながら生成し、条件によってはナノサイズの半球状酸化物が析出することを見いだした。

エッチド試料上に  $\text{TiO}_2$  析出させたのちアノード酸化することにより得られる Al-Ti 複合酸化物皮膜は、エッチド試料上に直接形成したアノード酸化皮膜に比べて容量が約 50 % 大きいことがわかった。従来のコンデンサーに比べて大容量のコンデンサーを製作できる技術を開発するとともに、極めて微細なナノ構造を有する酸化物形成法の知見を得た。

(2) アノード酸化とレーザー照射を用いた新規機能性表面の構築

アノード酸化皮膜を化成したアルミニウム試料を、アリザリンレッド S などの染料お

よび  $\text{Pd}^{2+}$  イオンを含む水溶液中に浸漬すると、染料および  $\text{Pd}^{2+}$  イオンが酸化物皮膜表面および酸化物皮膜内部の細孔表面に吸着することがわかった。この試料を熱水中に浸漬して封孔処理を行うと、皮膜表面に厚さ  $1\mu\text{m}$  程度の針状結晶性水和酸化物層が生成し、その内部に  $\text{Pd}^{2+}$  イオンが埋め込まれた状態となった。この試料にレーザーを照射すると、パワーが弱い場合には、皮膜の最外層、すなわち水和酸化物層のみが破壊・除去され、吸着  $\text{Pd}^{2+}$  イオンが表面に露出した。こののち、無電解めっきを行うと、レーザー照射部のみに金属が析出することがわかった。幅  $50\mu\text{m}$  以下の微細ラインを有する局部金属析出層を酸化物皮膜上に形成できた。レーザー照射における光学系の改良により、サブミクロンの精度を有する微細配線が形成できることを考察するとともに、三次元形状へのマイクロパターンニングの可能性を見いだした。このような構造は、各種電子デバイスにおける微細配線に応用することが可能であると考えられる。

一方、レーザー照射におけるレーザーパワーが大きい場合には、酸化物皮膜が完全に破壊・除去され、素地のアルミニウムが表面に露出する。この試料をしゅう酸水溶液中に浸漬し、再びアノード酸化を行うと、レーザー照射部からポラス型アノード酸化皮膜が成長した。再アノード酸化における電流変化および試料の断面観察より、酸化物皮膜は放射状に成長するとともに、レーザー照射部周囲に複数のクラックの形成が認められた。これは再アノード酸化によってアルミニウム素地金属が酸化物皮膜になるさい、その体積膨張によって試料表面の酸化物皮膜が押し上げられるためである。また、クラック直下の素地金属にも酸化物皮膜の成長が観察された。従って、体積膨張の比較的少ないアノード酸化皮膜化成法を用いることにより、平滑な表面を有する局部アノード酸化皮膜層を形成できる可能性が示唆された。このような構造は、微細配線板の作製や局部名のロッド・ナノチューブ形成法に応用することが可能であると考えられる。

(3) 酸化物皮膜/金属複合層の形成とその応用

アルミニウム試料にアノード酸化、パラジウム活性化処理および無電解 Ni めっきを施すと、酸化物皮膜上に Ni めっき層を形成することがわかった。Ni 析出層の厚さは、無電解めっき温度および時間とともに増大した。Ni めっき層と酸化物皮膜の密着力を評価したところ、無電解めっき温度が高いほど密着力が低下する傾向が見られた。また、パラジウム活性化処理温度が高いほど密着力は向上するが、アノード酸化の電流密度は密着力にあまり影響を与えていなかった。AFM 観

察より、パラジウム活性化処理温度が高いと、パラジウムの粒子が多く析出することから、パラジウムと酸化物皮膜との化学結合力およびアンカー効果により密着力が決定されると推察された。

無電解めっき試料をピロール/NaDBS 水溶液中に浸漬し、アノード分極を行うと、Ni めっき層上に PPy が析出した。PPy の析出においては、電流密度を大きくすると厚い PPy が析出するが、PPy の内部応力によって Ni めっき層から PPy が剥離することがわかった。PPy 析出試料を Cu 電気めっき水溶液中に浸漬したのち、定電位カソード分極を行うと、PPy 上に Cu が析出した。Cu の析出は初期に粒子状の成長が生じ、分極時間とともに粒同士が結合し、膜となることがわかった。Cu 析出試料の密着力を評価した結果、Cu および PPy は Ni 析出層から容易に剥離できることがわかった。すなわち、Cu および PPy を剥離したのち、再び PPy および Cu 析出を行うことにより剥離前の複合層を再形成できることが可能であり、このような構造は、再利用可能なアルミニウム製印刷ロール、高い耐食性を有するアルミニウム建材などへの応用が期待できる。

#### (4) 電気化学的手法を用いたマイクロ・ナノ構造の作製

厚さ 125 $\mu$ m のアルミニウム箔にレーザー照射を施し、微細溝の形成を試みた。レーザーパワーおよび照射時間の増大とともに溝の深さおよび幅は深くなった。空気中でレーザー照射を行った場合には、レーザー照射部から熔融・蒸発したアルミニウム素地金属がレーザー照射部周囲に堆積し、デブリを生じるが、蒸留水中のレーザー照射においては、このようなデブリの形成は認められなかった。これは、蒸発したアルミニウムが蒸留水中においてただちに凝固し、試料表面に付着しないためである。

一方、鉄鋼製の谷構造を有するスタンプとアルミニウム試料を密着したのち、圧力をかけることにより、アルミニウム上に微細な溝を転写できることがわかった。圧力の増大とともに、溝の深さが深くなり、アルミニウムの組成変形が生じた。上述の微細溝形成試料表面に有機樹脂層をコーティングしたのち、アノード酸化を長時間行った。アノード酸化皮膜の成長が溝の凹部に達したさいにアノード酸化を停止すると、酸化物皮膜上に凸部のアルミニウムのみが残存することがわかった。有機樹脂層を機械的あるいは化学的に取り除くことにより、電気絶縁性を有するアノード酸化皮膜上に、微細なアルミニウム配線を形成できることがわかった。この方法により作製できる微細配線は、従来の方法と比較して極めて簡単なプロセスである。

アノード酸化皮膜を化成したアルミニウム試料に封孔処理を行い、水和酸化物皮膜を形成したのち、素地のアルミニウムおよびアノード酸化皮膜を溶解・除去すると、直径数十 nm の太さをもつ水和酸化物ナノファイバーを形成できることがわかった。アノード酸化における電解条件を種々制御することにより、ポーラス型アノード酸化皮膜の細孔径を制御し、直径 38~85nm のナノファイバーを試作した。その後、試料をホスフィン酸ナトリウムおよび酢酸ナトリウム中に浸漬することにより、ナノファイバー表面にパラジウムナノ粒子を大量に析出することができた。このような酸化物・金属およびその複合層からなるナノ構造体は、ナノテクノロジーに代表される微細配線や微細デバイスに応用することが可能であると考えられる。

#### 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 12 件)

(1) H. Jha, T. Kikuchi, M. Sakairi, and H. Takahashi, Highly Uniform Aluminum Oxy-hydroxide Nanofiber from Porous Anodic Alumina, *ECS Transactions*, **16** (25), 91-96, 2009, 査読有

(2) 高橋英明、坂入正敏、菊地童也、Jha Himendra, アノード酸化とマイクロ・テクノロジー、表面技術、**60**、143-150, 2009, 査読無

(3) Hideaki Takahashi, Masatoshi Sakairi, and Tatsuya Kikuchi, Micro- and Nano-Technologies Based on Anodizing of Aluminum - Combination of Laser Irradiation with Electrochemical Process, *Electrochemistry*, **77**, 30-43, 2009, 査読無

(4) Himendra Jha, Tatsuya Kikuchi, Masatoshi Sakairi, and Hideaki Takahashi, Metallization of Oxide / Hydroxide Film of Aluminum: the Palladium Activation Techniques, *J. Surf. Fin. Soc. Jpn.*, **60**, 208-212, 2009, 査読有

(5) Himendra Jha, Tatsuya Kikuchi, Masatoshi Sakairi, and Hideaki Takahashi, Synthesis of aluminum oxy-hydroxide nanofibers from porous anodic alumina, *Nanotechnology*, **19**, 395603 (6pp), 2008, 査読有

(6) 長原和弘、菊地童也、伏見公志、坂入正敏、高橋英明、泉知夫、カソード分極中におけるアノード酸化皮膜化成ニオブ電極への水素吸収、表面技術、**59**、326-332, 2008, 査読有

(7) H. Jha, T. Kikuchi, M. Sakairi, and

H. Takahashi, Metallic Micropatterns on Anodic Alumina: Laser-Assisted Exposure of Trapped Seeds for Metallization, *ECS Transactions*, **11-15**, 133-141, 2008、査読有

(8) S. Kurokawa, T. Kikuchi, M. Sakairi, and H. Takahashi, Fabrication of Micro-Dot Arrays and Micro-Walls of Acrylic Acid Resin on Aluminum by AFM Probe Processing and Electrophoretic Coating, *Electrochim. Acta*, **53**, 8118-8127, 2008、査読有

(9) H. Jha, T. Kikuchi, M. Sakairi, and H. Takahashi, Micro-Patterning on Anodic Oxide Film on Aluminum by Laser Irradiation, *Electrochim. Acta*, **52**, 4724-4733, 2007、査読有

(10) S. Koyama, T. Kikuchi, M. Sakairi, H. Takahashi, and S. Nagata, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> deposition on aluminum from NbCl<sub>5</sub>-used sol and anodizing of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-coated Al, *Electrochemistry*, **75**, 573-575, 2007、査読有

(11) H. Jha, T. Kikuchi, M. Sakairi, and H. Takahashi, Microfabrication of an Anodic Oxide Film by Anodizing Laser-textured Aluminum, *J. Micromech. Microeng.*, **17**, 1949-1955, 2007、査読有

(12) M. Sunada, H. Takahashi, T. Kikuchi, M. Sakairi, and S. Hirai, Dielectric properties of Al-Si composite oxide films formed on electropolished and DC-etched aluminum by electrophoretic sol-gel coating and anodizing, *J. Solid State Electrochem.*, **11**, 1375-1384, 2007、査読有

[学会発表] (計 28 件)

(1) 藤田諒太, LPD と陽極酸化による Al 表面の構造制御, 電気化学会 第 76 回大会, 平成 21 年 3 月 31 日, 京都大学, 京都市

(2) 島口寛子, ポリピロール上における銅めっき層の析出挙動, 化学系学協会北海道支部 2009 年冬季研究発表会, 平成 21 年 2 月 3 日, 北海道大学, 札幌市

(3) H. Jha, Highly Uniform Aluminum Oxy-hydroxide Nanofiber from Porous Anodic Alumina, PRIME 2008, 平成 20 年 10 月 15 日, ホテルヒルトンハワイアンビレッジ, Honolulu, USA

(4) H. Jha, Highly Uniform, Size-controlled Synthesis of Aluminum Oxy-hydroxide Nano-fibers from Porous Anodic Alumina, 第 25 回 ARS 軽井沢コンファレンス, 平成 20 年 10 月 30 日, エクシブ軽井沢, 軽井沢町

(5) 島口寛子, アノード酸化皮膜/金属/ポリピロール複合層の形成と印刷板への応

用, 第 25 回 ARS 軽井沢コンファレンス, 平成 20 年 10 月 30 日, エクシブ軽井沢, 軽井沢町

(6) 菊地竜也, レーザー照射と 2 段階アノード酸化による局部ポーラス型酸化皮膜の化成とその成長挙動, 表面技術協会 第 118 回講演大会, 平成 20 年 9 月 1 日, 近畿大学本部キャンパス, 東大阪市

(7) 島口寛子, アノード酸化/Ni, Cu めっき/導電性高分子析出を用いた最利用可能な印刷ロール作製法の開発, 表面技術協会 第 118 回講演大会, 平成 20 年 9 月 1 日, 近畿大学本部キャンパス, 東大阪市

(8) 石川直弥, 新規 Al 固体電解コンデンサー開発のための MOCVD 法による Nb-Al 複合酸化物皮膜の形成, 電気化学会 第 75 回講演大会, 平成 20 年 3 月 30 日, 山梨大学, 甲府市

(9) 上田晋吾, 新規プロセスによるポリピロール/金二層三次元アクチュエータの作製, 電気化学会 第 75 回講演大会, 平成 20 年 3 月 29 日, 山梨大学, 甲府市

(10) 小山瞬, 液相析出法/アノード酸化複合プロセスによるエッチドアルミニウム箔上への Al-Ti 複合酸化物皮膜の形成, 表面技術協会 第 117 回講演大会, 平成 20 年 3 月 14 日, 日本大学津田沼キャンパス, 習志野市

(11) 島口寛子, アルミニウムのアノード酸化皮膜とニッケル無電解めっき層の密着力評価, 表面技術協会 第 117 回講演大会, 平成 20 年 3 月 14 日, 日本大学津田沼キャンパス, 習志野市

(12) 石川直弥, MOCVD 法による Nb 酸化物皮膜の作成と Al 電解コンデンサーへの応用, 2008 年 3 学協会北海道支部研究発表会, 平成 20 年 1 月 29 日, 北海道大学, 札幌市

(13) 長谷部朝一, アノード酸化皮膜の電歪挙動, 2008 年 3 学協会北海道支部研究発表会, 平成 20 年 1 月 29 日, 北海道大学, 札幌市

(14) 小山瞬, 液相析出法/アノード酸化による Al-Ti 複合酸化物皮膜の形成とその誘電的性質, 2008 年 3 学協会北海道支部研究発表会, 平成 20 年 1 月 29 日, 北海道大学, 札幌市

(15) 上田晋吾, ポリピロール/Au 二層アクチュエータの作製 -ポリピロールの導電性に及ぼす Al 基板溶解法の影響-, 化学系学協会北海道支部 2008 年冬季研究発表会, 平成 20 年 1 月 29 日, 北海道大学, 札幌市

(16) 島口寛子, アルミニウムアノード酸化皮膜上に析出したニッケル無電解めっき層の密着力評価, 化学系学協会北海道支部 2008 年冬季研究発表会, 平成 20 年 1 月 29 日, 北海道大学, 札幌市

(17) N. Katayama, Study on the Formation of Porous Anodic Oxide Films on Aluminum

by Scanning Confocal Laser Microscopy、  
24<sup>th</sup> ARS Conference in Cheju、平成 19 年 11  
月 2 日、Poonglim Resort Hotel, Jeju, Korea

(18) H. Takahashi、Anodic Alumina:  
Towards Micro and Nano-technology、24<sup>th</sup> ARS  
Conference in Cheju、平成 19 年 11 月 2 日、  
Poonglim Resort Hotel, Jeju, Korea

(19) H. Jha、Metallic Micropatterns on  
Anodic Alumina: Laser-Assisted Exposure  
of Trapped Seeds for Metallization、212<sup>th</sup>  
Electrochemical Society Meeting、平成 19  
年 10 月 9 日、The Hilton Washington,  
Washington DC, USA

(20) H. Takahashi、Deposition of Copper  
on Aluminum Covered with Anodic Oxide  
Films by Laser Irradiation and  
Electroplating、212<sup>th</sup> Electrochemical  
Society Meeting、平成 19 年 10 月 9 日、The  
Hilton Washington, Washington DC, USA

(21) T. Kikuchi、Three-Dimensional  
Micro-Actuator Fabrication by Aluminum  
Anodizing, Laser Irradiation, and  
Electrodeposition、212<sup>th</sup> Electrochemical  
Society Meeting、平成 19 年 10 月 9 日、The  
Hilton Washington, Washington DC, USA

(22) 上田晋吾、電気化学的溶解法による  
ポリピロール/金二層アクチュエータの作  
製、表面技術協会第 116 回講演大会、平成 19  
年 9 月 19 日、長崎大学、長崎市

(23) 小山瞬、液相析出法により TiO<sub>2</sub> を被  
覆したアルミニウムのアノード酸化、表面技  
術協会第 116 回講演大会、平成 19 年 9 月 19  
日、長崎大学、長崎市

(24) 菊地竜也、レーザー照射/ピロリン  
酸銅めっきによるアノード酸化皮膜上への  
銅電析層形成、表面技術協会第 116 回講演大  
会、平成 19 年 9 月 19 日、長崎大学、長崎市

(25) 島口寛子、アルミニウムアノード酸  
化皮膜上への金属層の形成、表面技術協会第  
116 回講演大会、平成 19 年 9 月 19 日、長崎  
大学、長崎市

(26) 上田晋吾、電気化学的溶解法による  
ポリピロール/金二層構造体の作成、化学系  
学会北海道支部 2007 年夏季研究発表会、平  
成 19 年 7 月 21 日、旭川高専、旭川市

(27) 島口寛子、AFM プローブスクラッチ  
/電気泳動析出によるアルミニウムの微細  
表面改質、化学系学会北海道支部 2007 年夏  
季研究発表会、平成 19 年 7 月 21 日、旭川高  
専、旭川市

(28) 小山瞬、液相析出法によるアルミニ  
ウム箔上への TiO<sub>2</sub> 皮膜の形成、化学系学会北  
海道支部 2007 年夏季研究発表会、平成 19 年  
7 月 21 日、旭川高専、旭川市

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

坂入 正敏 (SAKAIRI MASATOSHI)  
北海道大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 50280847

### (2) 研究分担者

菊地 竜也 (KIKUCHI TATSUYA)  
北海道大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 60374584

### (3) 連携研究者 (2007 年度研究代表者)

高橋 英明 (TAKAHASHI HIDEAKI)  
旭川工業高等専門学校・校長  
研究者番号: 70002201