

令和元年5月30日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K04620

研究課題名(和文) 脱濡れ現象による自己組織化を用いた機能性ナノ薄膜材料の創製

研究課題名(英文) Creation of self-organized functional nanostructured film materials using dewetting phenomenon

研究代表者

神子 公男 (Kamiko, Masao)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：80334366

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：汎用性の高いスパッタ法により成膜した薄膜の脱濡れ(熱凝集)現象を用いて、特異な形状や良質な結晶構造を有する多種・多様な自己組織化機能性ナノ材料を作製した。我々は、機能層と基板との間に、シード層と呼ばれる薄膜層を導入することで自己組織化を促進させ、良質な薄膜構造を発生させる、低コストなボトムアップ型のナノ材料創製技術を開発した。本手法を用いて、我々はナノ材料の形や大きさに関してより緻密な制御を行うと併に、得られた知見から、本研究における脱濡れの詳細メカニズムを結晶成長学的見地から考察した。更に、ナノ材料の多層化や意図した構造制御によって、作製したナノ薄膜材料の機能性の向上を図った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、生産性やコスト面に優れた成膜法(スパッタ法)を用いて作製した薄膜を熱することで脱濡れ(熱凝集)を施し、自己組織化によって良質な機能性ナノ材料を、従来の手法と比較して、比較的容易に得ることが可能となった。本作製手法の開発により、自己組織化形成技術としてナノ材料作製における選択肢が増え、より多くの研究従事者に利用され、応用されることで、新素材や新たな高密度・高機能素子の開発に繋がるものと考えられる。本研究により得られたナノ材料は、化学的に合成されたナノ粒子や、従来の脱濡れ手法により作製されたナノ材料に比べ、結晶構造有しているため、今後のナノ科学の機構解明にも役立つものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have fabricated a wide variety of self-organized functional nano-structured materials, which have a unique shape and a high-quality crystalline structure, by using dewetting (or thermal agglomeration) phenomenon of thin films deposited by sputtering device having a high versatility. We have developed a cost-effective bottom-up fabrication tool for the functional nano-materials, in which the insertion of a thin seed layer between a substrate and functional layer promoted self-organization and generated good-quality film structure. Using this developed fabrication method, we also try to more precisely control of the size and shape of nanostructures, and we discussed a detailed mechanism of the dewetting phenomenon in this study based on the information obtained from a series of fabrication studies as mentioned before. Additionally, we attempted to improve functionality of the fabricated nano-structured materials by multilayering and intended structure control of the nano-materials.

研究分野：応用物理学、結晶成長、ナノテクノロジー、材料工学

キーワード：ナノ材料 自己組織化 結晶成長 マイクロ・ナノデバイス 脱濡れ 微細加工

1. 研究開始当初の背景

近年、機能性材料のナノ・パターン化に関する研究が注目されている。ナノ・パターン化された半導体材料において、その優れた光学特性や電気特性のため、半導体レーザー等に応用されている。近年、特に近接場光の研究分野において、金属ナノドットの表面プラズモン共鳴を用いた光学素子やバイオセンサーの開発、電磁メタマテリアルの研究が活発になされている。

しかしながら、ナノ・パターン化の優先課題の一つとして、薄膜の製造工程の簡素化と、製造工程に関わる費用の削減が挙げられる。現代の一般的なナノ構造薄膜の製造工程では、フォトリソグラフィや電子ビームを用いた蝕刻工程を繰り返す必要がある。このような過程を用いたトップダウン型の作製法の問題点として、高コスト化、作業工程の長時間化、有毒物質の排出、化学変化による特性の低下等が指摘されている。これらの諸問題を解決するために、代替作製手法の研究が広く行われている。その中で、ある特定の作製条件下において、物質が自発的に秩序のある構造を作り出す現象である「自己組織化」の研究は、製造工程の効率化や省エネ化、低消費型デバイス開発に繋がるものとして、国内外を問わず広く、活発に行われている研究分野である[1]。

自己組織化の手法の一つに、薄膜に熱を加えて基板上に熱凝集させる、脱濡れ現象を利用した手法がある。近年では、カーボン・ナノチューブや半導体ナノワイヤーの作製において、ナノ構造化した触媒金属の作製のために用いられている。また、メモリや、光学素子、磁気センサー用ナノ材料作製へ向けた開発も進められている。脱濡れ現象に関する重要なモデリングや実験的文献は 1970 年代まで遡れる。このような歴史にもかかわらず、昨今新しい進歩が為され続けている。また、脱濡れの研究は、結晶成長の分野において固体構造の‘進化’という新たな話題を提供している[2]。

我々は、長年にわたり薄膜の成長制御や物性制御に関する研究に携わってきた。特に、金属の偏析や凝集による薄膜成長への影響、薄膜の微細構造制御といった研究に力を注いできた。近年、我々は、シード (Seed) 層と呼ばれる中間層 (主に遷移金属層) と凝集層 (主に貴金属層) の二層からなる金属薄膜の脱濡れによる自己組織化手法を見出した[3][4]。本手法を用いると、基板と凝集層の間にシード層を挿入し、熱処理を施すことにより、凝集層単層の場合の脱濡れ現象では観られない、熱力学的制約を克服する特異な脱濡れ現象を発現できる。本手法の特徴としては、(1)基板とナノ構造薄膜との付着力の増加(耐久性の向上)、(2)脱濡れの促進(省エネ化)、(3)エピタキシャル成長の促進(機能性の向上)、(4)規則的なナノ構造の形成が挙げられる。この手法を発展させれば、特異な形状を持つ良質の機能性ナノ構造薄膜を、トップダウン型の手法を用いずに、自己組織化により作製できるものと考えられる。本研究は未だ初期段階であり、その脱濡れ過程の詳細なメカニズムは解決されていない。我々は、今迄に培われた薄膜構造制御に関する研究の知見と経験から、そのメカニズムを解明するとともに、本手法を更に発展・応用し、多彩な形状を有する良質なナノ構造を自己組織化により作製し、高機能ナノ材料を創製するという研究動機に至った。

2. 研究の目的

特異な形状や良質な結晶構造(配向性)を有することで、光学特性や磁気特性といった機能性の向上が期待されるナノ薄膜材料を、脱濡れ(熱凝集)現象を用いた自己組織化により作製する。本研究において、目的とする機能層と基板との間に、シード層と呼ばれる脱濡れ現象を促進する薄膜層を挿入することで自己組織化を促進させ、余分な蝕刻工程等を必要としない、ボトムアップ型のナノ材料創製技術の確立を目指す。本研究の主な目的は、(1)シード層を挿入した脱濡れ現象を利用して多彩で良質なナノ構造薄膜を作製すること、(2)その形や大きさ等の構造制御を行い、均一性を向上させること、(3)結晶成長メカニズムを詳細に検討することで、脱濡れを用いた自己組織化によるナノ材料創製技術を確立すること、(4)本手法を応用して高機能ナノ薄膜材料を作製することである。

3. 研究の方法

スパッタリング装置を用いて、脱濡れによる自己組織化したボトムアップ型のナノ構造薄膜を作製する(図 1)。まず、シード層と機能層(凝集層)からなる薄膜を、蒸着条件や熱処理条件、基板等を変えて作製し、その表面構造や結晶構造の違いを観測

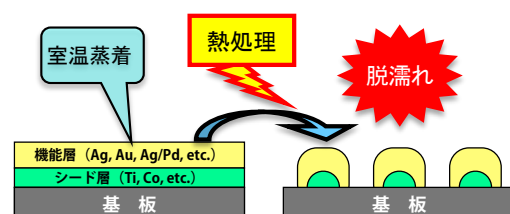


図 1 薄膜の脱濡れ現象を用いた自己組織化

する。この結果を詳細に考察し、試料作製にフィードバックさせ、自己組織化によって形成される表面ナノ構造の形状や密度等の制御とその均一性の向上を図る。併せて、実験から得られた知見を基に、計算機シミュレーションなども用いて、自己組織化のメカニズムを考察し、本手法を用いた自己組織化ナノ材料作製プロセスを確立させる。更に、本作製手法を応用して、多層化による新たな機能性ナノ材料の構築や、脱濡れ前の薄膜に意図的な周期的構造を加えることで、自己組織化による特異な形状を有するナノ材料の創製を試みる。本手法により作製した試料の光学特性、磁気特性、電気特性等を測定し、その高機能化を目指す。

4. 研究成果

(1) 自己組織化による多彩なナノ薄膜材料の作製と構造制御

① シード層を用いた脱濡れによる自己組織化と構造制御

ナノ構造を特徴づける物理量として、結晶方位、形状(形、大きさ、高さ、表面粗さ等)、密度等が挙げられる。これらの物理量を制御し、目的とするナノ構造体が高均一に表面に形成された薄膜を作製するため研究を行った。試料は RF 及び DC マグネトロンスパッタリング法を用いて作製した。シード層と機能層からなる多層構造薄膜を、様々な作製条件(蒸着温度・速度、基板、膜厚等)下で作製した上で、熱処理条件も変化させ、自己組織化した薄膜の表面構造や結晶構造の違いを観察し、考察を行った。具体的には、MgO、Al₂O₃等の単結晶基板や Si 酸化基板等を使用し、Ti、Fe 等をシード層として、その上に Ag、Au、Pd 等を機能層として蒸着させた。蒸着後、真空中で熱処理をし、薄膜の脱濡れを促進させ、自己組織化によって基板上にナノ構造物を発現させた。

図 2 はアモルファスシリコン酸化(a-SiO_x)基板上に Ti シード層(1 nm)、Au 層(5 nm)の順に蒸着し、熱処理(450°Cで 5 時間)した後の表面の電子顕微鏡(SEM)像である。膜の脱濡れによる自己組織化により、円形のドット状構造物(直径が約 200 nm 程度)が多数見られる。図 3 は a-SiO_x 基板を用いた場合の、Ti シード層(1 nm)がある場合(実線)とない場合(破線)の、Au 膜(5 nm)の熱処理(5 時間)後の Au 膜の被覆率と表面粗さの熱処理温度依存性のグラフである。図 3 より、Ti シード層がある場合は Ti シード層がない場合よりも脱濡れが促進していることが分かる。また、X線回折(XRD)結果より、Ti シード層がある場合の方が、ない場合に比べ、fcc-Au(111)配向が促進している結果が見出された。MgO や Al₂O₃ 基板を用いた他の系に於いても、ほぼ同様な結果が得られた。シード層を用いた場合、多くのケースでその上に積まれた機能層の脱濡れが促進され、自己組織化により形成されたナノ構造材料の結晶性が向上することが証明された。

一方、Ti シード層を用いた場合、a-SiO_x 基板を還元し、シード層自体が酸化する傾向が見られた。このことにより、Ti シード層が TiO_x 層に変化したため、シード層自体の脱濡れは確認されなかった。MgO 基板を用いた同様な実験に於いては、このような傾向は見られず、Ti シード層自体の脱濡れも確認されている[3][4]。この違いは、酸化傾向が、Mg > Ti > Si であるからと判明した。本研究により、シード層と基板との酸化傾向の違いにより、シード層自体の酸化が生じ、それによって脱濡れ過程が大きく変化するという新たな知見得られた。完全な脱濡れを施すためには、シード層と基板の選択(元素、膜厚)が重要であることが判明した。

② 多彩なナノ薄膜材料の作製

結晶方位の整った単結晶基板と適当なシード層を組み合わせれば、脱濡れ方向の異方性が発現されることが判明した。この現象を利用し、ナノ・ホール(Hole)の多数空いた、多彩な多孔質

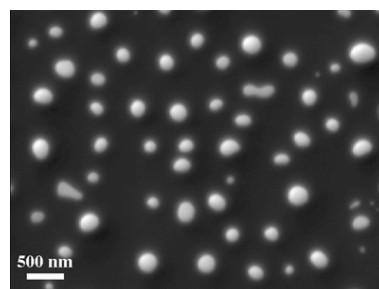


図 2 熱処理(450°C、5 時間)後の Au(5 nm)/Ti(1 nm)/a-SiO_x 薄膜の SEM 像

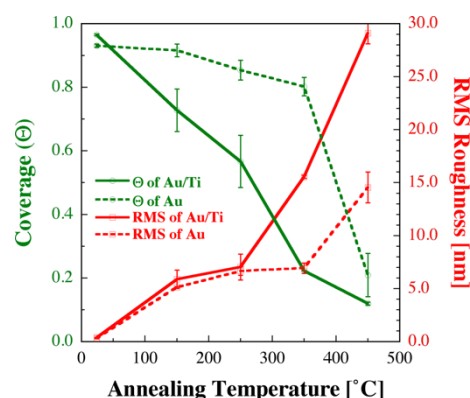


図 3 アモルファス SiO_x 基板上に作製した Au(5 nm)/[Ti(1 nm)]薄膜の熱処理(5 時間)後の表面被覆率(Θ)と表面平均二乗粗さ(RMS)の熱処理温度依存性

薄膜の作製を行った。具体的には、表面の結晶構造の対称性の異なる単結晶基板（例えば、MgO(001)（四回対称）、Al₂O₃(0001)（六回対称）、MgO(110)（二回対称））上に数 nm 程度のシード層（Ti、Fe 等）、更に機能層（Ag、Au 等）を蒸着し、熱処理を施す。結果の一例として、Al₂O₃(0001) 基板上に、シード層として Ti 層（2 nm）を、その上に Ag 層（10 nm）を常温で蒸着した後、350℃で 4 時間熱処理した後の薄膜表面の AFM（原子間顕微鏡）像を図 4 に示す。基板の対称性（六回対称）を反映した六角形のホール構造が形成されている。シード層を用いない場合は、このような脱濡れ構造は確認されない。更に、XRD 結果から、このホール膜の結晶性（fcc-Ag(001)配向）が良いことが

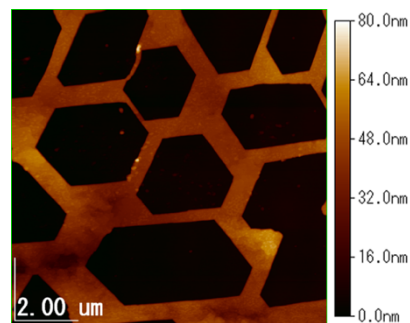


図 4 Al₂O₃(0001) 基板上に作製した Ag(10 nm)/Ti(2 nm) 薄膜を 350℃で 4 時間熱処理した後の表面 AFM 像

確認された。同様な結果は、MgO(001)（四回対称）、MgO(110)（二回対称）基板を用いた場合でも確認され、各々正方形、長方形に近い形をした結晶性の良いホール構造薄膜の作製に成功した。

これらホール構造の形成後、更なる熱処理を施すことにより、脱濡れを“進化”させた場合に形成されるドット(Dot)構造の対称性も、概ね基板の対称性を継承した構造が得られた。例えば、MgO(001) 基板（四回対称）では四角いドット、MgO(110)（二回対称）基板ではアスペクト比が 1.4~1.5 程度の長方形のドット (Rod) 等が本研究を通して得られた。対称性がない a-SiOx 基板の場合、ホールの形状は不規則であったが、更なる熱処理をおこなった場合、図 2 に示した通り、形状異方性のない円形のドット構造が得られた。

(2) 脱濡れ現象による自己組織化メカニズムの検討

用いる薄膜系(システム)により、脱濡れのメカニズムの主要因は異なり、表面エネルギーの利得、熱応力の差、熱拡散の促進、酸素親和性や界面での化合物の形成による組成の変化など、様々な要因が絡んだものであると判明した。これにより、自己組織化により意図的に高品質なナノ構造を再現性良く生み出すには、作製条件の厳選化が不可欠であることが分かった。(1)の結果でも示したが、基板物質よりもシード層に用いた物質の酸化傾向が強い場合、シード層自体の酸化が進み、シード層の脱濡れが進まなくなると共に、その上の機能層の脱濡れの異方性が弱くなる。多彩な形状のナノ材料を生み出すには、基板の対称性を反映させる必要があるため、基板とシード層の間の界面構造制御が重要な因子であり、用いる基板に対するシード層の選択測を提唱した(発表論文③を参照)。

結晶成長のメカニズムを検討するために、モンテカルロ法を用いた計算機プログラムを開発した。シミュレーション結果と実験結果を比較検討した結果、原子拡散の異方性を考慮したモデルでは、ホール形成後のドット形成へ至る、脱濡れの進化過程が再現できた。

(3) 膜の脱濡れ現象による自己組織化を用いた機能性ナノ薄膜材料の作製

① 多層膜の自己組織化による磁性ナノ材料の作製

多層化による高機能化の例の一つとして、磁性素子として期待される Pd/Fe 多層膜の脱濡れによる自己組織化により、磁性材料として期待される、L₁₀ 型 PdFe 規則合金ナノドットの作製を行った。まず、MgO(001) 基板上に Fe をシード層として基板を被覆し、その上に Au 層を蒸着し、熱処理により脱濡れさせる。その後、その脱濡れした Au/Fe 膜上に、熱処理温度と同じ温度で、各々約 1 原子層厚の Pd/Fe 膜を複数回積層させ、Pd/Fe 多層膜ナノドットを作製した。図 5 は熱処理温度が 350℃の場合の SEM 像であるが、非常に興味深いことに、多層膜化しても基板の対称性(4 回対称)を反映した四角いナノドットが形成されていることが分かる。更に、XRD 結果から、このナノドット化した多層膜は、L₁₀ 型 PdFe(001)配向した PdFe 規則合金であることが確認された。本研究を通して、基板や膜厚の変化、及び熱処理条件の違

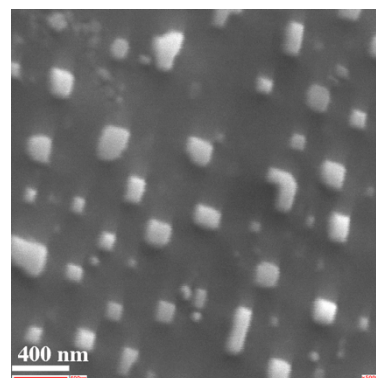


図 5 MgO(001) 基板上に作製した、熱処理後の [Pd/Fe]₃₀/Au(4 nm)/Fe(1 nm) 多層膜の表面の SEM 像。下地層の Au/Fe 膜を 350℃で 3 時間熱処理した後、基板温度 350℃で Pd/Fe 層を 30 回させた。

いによって、様々な形状をした多層膜ナノドットが得られ、自己組織化による意図的な構造制御がある程度可能となった。形状による磁気異方性(形状磁気異方性)は磁性の分野においてとても重要であり、本作製手法を用いて作製したナノ材料の磁気光学素子への応用が期待される。

② 自己組織化による貴金属合金ナノ材料の作製と光学特性

機能性ナノ薄膜材料開発の見地から、自己組織化による貴金属合金ナノドットの作製と光学特性の変化について研究を行った。貴金属の合金化による組成変化を用れば、意図的にナノドットの可視光域での光学特性をチューニング(変調)させることが可能である。本研究では、Ti シード層を基板上に堆積し、その上に Au/Ag 二層膜を積層後、熱処理によって脱濡れと Au と Ag の合金化を促し、結晶性の良い Au-Ag ナノドットの作製に成功した。合金ナノドットの組成比の変化は、Au 層と Ag 層の膜厚を変えることによって行った。図 6 は、MgO(001)基板の上の作製した Au(2.5 nm)/Ag(2.5 nm)/Ti(1.0 nm) 三層膜を、熱処理(450°Cで 5 時間)を施すことにより、ドット化した表面の AFM 像である。XRD 解析により、このナノドット膜は fcc-AuAg(001)配向していることが確認された。また、ARXPS(角度分解 X 線光電子分光)法による深さ方向の組成分析結果より、ドット内部においても Au と Ag の元素比が概ね 1:1 であることが確認された。Au と Ag の膜厚比を変化させることによって、様々な組成比の Au-Ag ナノドットを作製した。その結果、ドットの形状による光学特性への影響を除外すれば、Au と Ag の組成比によって光学特性が変化し、吸光度が最大になる波長のチューニングに成功した。また、合金化には下層元素(上記ケースでは Ag)が効率良く表面偏析することが必要であり、組成が均一となる合金化ナノドットの作製において、膜の積層順も重要な因子であることも、本研究によって判明した。

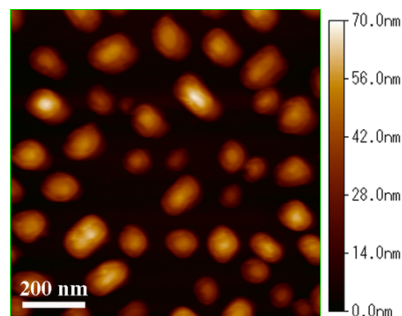


図 6 MgO(001)基板上に作製した、熱処理後の Au(2.5 nm)/Ag(2.5 nm)/Ti(1 nm) 薄膜の表面 AFM 像。室温で蒸着した後、450°Cで 5 時間熱処理を行った。

③ 周期的で特異な形状を有するナノ材料の開発

自己組織化による高機能ナノ材料開発の別の試みとして、マイクロメッシュ(開口径が数 μm の穴が周期的に開いた薄膜シート)を用いた、脱濡れによる周期的なナノ構造の構築を目指して研究を行った。具体的には、MgO 基板上にこのメッシュを置き、その上から Ti シード層、Ag 層の順に積層させ、アニールによる脱濡れを施した。マイクロメッシュに依存した周期的なナノドット構造の作製には成功したが、脱濡れ現象に及ぼすメッシュ端の影響等より、形状の均一性が良いナノ材料は得られなかった。

〈引用文献〉

- ① S. Facsko, T. Dekorsy, C. Koerdts, C. Trappe, H. Kurz, A. Vogt, H. L. Hartnagel, “Formation of Ordered Nanoscale Semiconductor Dots by Ion Sputtering”, *Science*, **285**, 1551-1553 (1999).
- ② C. V. Thompson, “Solid-State Dewetting of Thin Films”, *Annu. Rev. Mater. Res.*, **42**, 399-434 (2012).
- ③ M. Kamiko, R. Suenaga, J.-W. Koo, K. Nose, K. Kyuno, J.-G. Ha, “Epitaxial growth of fcc-Ag(001) nanodot on MgO(001) substrate via Ti seed layer assisted agglomeration”, *J. Phys.*, **D46**, 505304 (2013).
- ④ M. Kamiko, R. Suenaga, J.-W. Koo, K. Nose, K. Kyuno, J.-G. Ha, “Fabrication of self-organized epitaxial fcc-Ag(110) oriented nanorods by a Ti seed-layer-assisted thermal agglomeration method”, *Appl. Phys. Exp.*, **8**, 035503 (2015).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 4 件)

- ① M. Kamiko, W.-S. Kim, J.-H. Ha, J.-G. Ha, “Fabrication of self-organized fcc-AuAg(001) alloy nanodots on MgO(001) substrates”, *Jap. J. Appl. Phys.*, **58**, SDDF01 (7 pages) (2019). (査読有) DOI: 10.7567/1347-4065/ab088e
- ② W.-S. Kim, K.-H. Oh, T.-H. Kim, S.-H. Shin, T.-W. Um, J.-H. Koh, M. Kamiko, J.-G. Ha, “Fabrication and Comparison of Self-organized Ag and Au Nanodots on Ti/MgO(001) Substrates”, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **19** (採択済) (2019). (査読有) DOI:

- ③ M. Kamiko, S.-M. Kim, Y.-S. Jeong, J.-H. Ha, S.-M. Koo, J.-G. Ha, “Influences of Ultra-Thin Ti Seed Layers on the Dewetting Phenomenon of Au Films Deposited on Si Oxide Substrates”, *Physica*, **E99**, 320-329 (2018). (査読有) DOI: 10.1016/j.physe.2018.02.016
- ④ J.-G. Ha, J.-W. Koo, S.-M. Koo, S. Arisawa, J.-H. Koh, M. Kamiko, “Novel fabrication method of self-organized FePd multilayer nanodots using the agglomeration of Au/Fe bilayer films”, *Jap. J. Appl. Phys.*, **56**, 070312 (4 pages) (2017). (査読有) DOI: 10.7567/JJAP.56.070312

[学会発表] (計 12 件)

- ① 神子公男、南相汎、李洸曄、姜慶黙、楊勇敏、光田好孝、河在根、“Au/Ag/Ti 三層膜の脱濡れによるエピタキシャル Au-Au 合金ナノドットの作製”、日本物理学会第 74 回年次大会、2019 年 3 月 14 日、九州大学
- ② M. Kamiko, W.-S. Kim, T.-H. Kim, T.-W. Um, J.-G. Ha, “Influences of Ti seed layers on the structure of self-organized Au-Ag alloy nanodots on MgO(001) substrates”, 2018 International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2018), 2018 年 11 月 16 日、札幌市(日本)
- ③ 神子公男、金裕成、金兌桓、嚴泰雄、光田好孝、河在根、“MgO(001)基板上の Au-Ag 合金薄膜の脱濡れ構造における Ti シード層の影響”、第 79 回応用物理学会秋季学術講演会、2018 年 9 月 19 日、名古屋市
- ④ 神子公男、金素望、鄭映錫、具湘謨、光田好孝、河在根、“Au 薄膜の脱濡れ過程に及ぼす Ti 超薄膜シード層の影響”、日本物理学会第 73 回年次大会、2018 年 3 月 25 日、東京理科大学
- ⑤ 神子公男、光田好孝、河在根、“MgO(001)基板上の Ag/Ti 二層薄膜の脱濡れ過程”、日本物理学会第 2017 年秋季大会、2017 年 9 月 21 日、岩手大学
- ⑥ 神子公男、金素望、鄭映錫、具湘謨、光田好孝、河在根、“Si 酸化基板上の Au 薄膜の脱濡れ現象における Ti シード層の効果”、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会、2017 年 9 月 7 日、福岡市
- ⑦ M. Kamiko, J.-G. Ha, “Fabrication of self-organized epitaxial Ag nanodots by using a Ti seed layer”, Energy Materials Nanotechnology (EMN), the Collaborative Conference on Crystal Growth (3CG) 2017, 2017 年 8 月 9 日, Berlin (Germany)(招待講演)
- ⑧ 神子公男、金素望、鄭映錫、具湘謨、光田好孝、河在根、“Si 酸化基板上の Ag/Ti 及び Au/Ti 薄膜の脱濡れ過程”、日本物理学会第 72 回年次大会、2017 年 3 月 17 日、大阪大学
- ⑨ 神子公男、谷口公一、弓野健太郎、光田好孝、河在根、“Al₂O₃(0001)基板上の Ag 薄膜の脱濡れにおける Ti シード層の効果”、日本物理学会第 2016 年秋季大会、2016 年 9 月 13 日、金沢大学
- ⑩ 神子公男、河在浩、鄭映錫、具湘謨、光田好孝、河在根、“SiO_x/Si(001)基板上の貴金属薄膜の脱濡れにおける Ti シード層の効果”、日本物理学会第 71 回年次大会、2016 年 3 月 19 日、東北学院大学
- ⑪ 神子公男、末永亮、野瀬健二、弓野健太郎、光田好孝、河在根、“MgO(001)基板上の Ag 薄膜の脱濡れにおける Fe シード層の影響”、日本物理学会第 2015 年秋季大会、2016 年 9 月 18 日、関西大学
- ⑫ 神子公男、河在浩、谷口公一、弓野健太郎、河在根、“Au/Ag/Ti 三層膜の脱濡れを用いた自己組織化 Au-Ag 合金ナノドットの作製”、第 76 回応用物理学会秋季学術講演会、2015 年 9 月 14 日、名古屋市

6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 河 在根

ローマ字氏名: HA Jae-Geun

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。