

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560874

研究課題名(和文)二層凝集現象を用いた自己組織化ナノ構造薄膜の作製とその応用

研究課題名(英文) Fabrication and application of self-organized nano structured films by bi-layer agglomeration phenomena

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) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：二層(シード層促進)凝集現象を用い、自己組織化金属ナノ構造薄膜をスパッタ法により作製した。基板とAuやAg層の間に薄い金属シード層(Ti、Fe等)を挿入することで、熱凝集が促進され、良質なナノ構造(ドットやロッド)が形成されることを実証した。二層凝集法を用いると、(1)薄膜と基板との付着力向上、(2)凝集温度の減少、(3)エピタキシャル成長の促進、(4)基板対称性を反映したナノ構造の形成がなされる。凝集促進のメカニズムは、主に薄膜全体の表面エネルギーの最小化と二層化による熱応力の増加によるものと考えられる。二層凝集法で作製したAu、Agナノドットの光学特性についても調べた。

研究成果の概要(英文)：We have fabricated self-organized nano-structured metallic films using bilayer (or seed layer assisted) agglomeration (BLA or SLAA) phenomena by sputtering. We demonstrated that the insertion of a thin seed layer (Ti, Fe, etc.) between a substrate and a Au or Ag layer promoted agglomeration and generated good-quality nanostructured films, such as nanodot or nanorod. A summary of this studies reveals that applying the BLA to the fabrication of nanodots resulted in (1) a manufactured film that has strong adhesion to the substrate, (2) a decrease in the agglomeration temperature, (3) enhancement of the epitaxial growth, and (4) formation of a nanostructure that reflects the surface symmetry of the substrate. Based on the studies, we concluded that the mechanism of the BLA is based on the reduction in the surface energy in the film system and the enhancement of the thermal stress generated in the film. Typical optical absorbance spectra of the nanodots fabricated by BLA were also obtained.

研究分野：応用物理学、表面・界面、結晶成長、ナノ構造制御、材料工学

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

1. 研究開始当初の背景

近年、電子通信機器等の小型化によって、電子部品の集積化、即ち機能性材料のナノ・パターン化に関する研究が注目されている。ナノスケールの規模で高度にパターン化された半導体薄膜の場合、その優れた光学特性や電気的特性のため、半導体レーザーや素子として使用されている。近年、特にナノフォトニクスの研究分野において、貴金属ナノドット薄膜の表面プラズモン共鳴効果を用いた発光素子やバイオセンサーの開発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それ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、薄膜蒸着や、フォトリソグラフィ法や電子ビーム法を用いた蝕刻工程を繰り返す必要がある。このような過程を経て生み出されるナノ構造薄膜の作製の問題点として、高コスト化、作業工程の長時間化、作業中に使用される有毒物質の排出、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。その中でも、ある作製条件下でナノサイズの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や、センサー等の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。

我々は、長年にわたり薄膜のエピタキシャル成長に関する基礎研究や、薄膜の表面構造制御、物性制御の研究に携わってきた。近年、申請者は共同研究者である韓国光云大学の河在根教授らとともに、シード層（遷移金属層）と凝集層（主に貴金属層）の二層構造からなる金属薄膜を用いて、汎用性の高いスパッタリング装置で作製する新たな薄膜の自己組織化手法を見出した[1]。本手法は、加熱による物質の凝集現象を応用し、シード層と凝集層からなる二層構造の薄膜の凝集（脱濡れ）現象を利用しており、アニール（熱処理）温度やシード層厚等の作製条件によって、薄膜の表面ナノ構造が大きく変化する。これら作製条件を制御することで、目的とするナノ構造体を持つ薄膜を比較的容易に作製できるものと考えられる。凝集現象を用いた自己組織化の研究は特に国内外で今迄になされてきたが、作製されたナノ構造の形状や密度の均一性が悪く、実用化には未だ至っていない。我々が見出した本作製手法は、二層凝集現象を用いてナノ・パターン化を促進させる、先駆的で応用面で非常に利便性の高いものと考えられる。また、従来の凝集現象を用いた自己組織化手法と比較して、シード層を加えたことで基板と薄膜との相互作用が強くなり、作製されたナノ構造は、従来のものと比べ、多くの長所を有し、それに伴う波及効果を生むものと考えられる。

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、二層凝集現象による薄膜の自己組織化のメカニズムを詳細に検討するとともに、本手法を応用し、高密度・高機能なナノ材料を作製するという研究動機に至った。

2. 研究の目的

本研究は、物質の凝集現象を利用し、生産性やコスト面に優れたスパッタリング法を用いて、ボトムアップ型の質の良い自己組織化ナノ構造薄膜を比較的容易に実現させることを目標としている。具体的には、金属の（二層）凝集現象を用いて薄膜材料の自己組織化を促し、余分な蝕刻工程を必要としないナノ構造形成技術の確立を目指す。本研究の主な目的は、(1)ナノ構造体の形状や密度、結晶構造を意図的に制御すること、(2)そのメカニズムを詳細に検討することでスパッタリング法による自己組織化ナノ構造形成技術を確立すること、(3)本手法を応用して高密度・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

RF 及び DC マグネトロンスパッタリング装置を用いて、二層凝集現象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（下図）。ナノ構造を特徴づける物理量として、結晶方位、形状（アスペクト比、高さ、粗さ等）、密度等が挙げられる。デバイス作製等へ応用する場合、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技術が必要とされている。まず、シード層と凝集層の二層構造からなる薄膜を、アニール温度やシード層等の作製条件を変化させて作製し、その表面構造や結晶構造の違いを観察する。この結果を詳細に考察し、薄膜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を図る。併せて本手法のメカニズムを解明し、本手法を用いた自己組織化作製プロセスを確立させる。本手法によりナノ・パターン化した薄膜の光学特性、磁気特性を測定し、その高機能化を目指す。また、本手法の応用性について検討する。

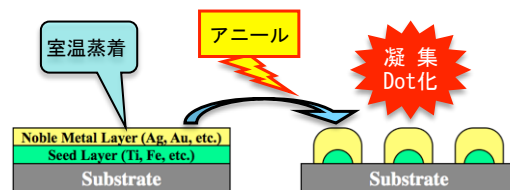


図 二層凝集現象を用いた自己組織化

4. 研究成果

- (1) 二層凝集現象を用いた金属ナノドットの作製と構造制御

① アニール温度の違いによるナノ構造制御 (論文④、⑤関連)

シード層として Ti を用い、Ag/Ti 薄膜を MgO(001) 基板上に室温蒸着させた後にアニール処理を施す。その際、アニール条件 (温度、時間) を変えた場合の基板上に形成される Ag ナノ構造の変化について調べた。

Fig. 1 の薄膜表面の原子間力顕微鏡 (AFM) 像に見られるように、(a) Ti シード層 (2 nm)、(b) Ag 層 (4 nm) を 350°C で 4 時間アニールした場合、孤立したドット (Dot) の形成までには至っていない。一方、(c) Ag (4 nm)/Ti (2 nm) の二層膜にした場合、同じアニール条件で個々に孤立したナノドットが形成されている。即ち、シード層を挿入した方が膜の層厚が厚くてもドット化が進行しており、熱凝集が大幅に促進されている。また、アニール時間が 4 時間の場合、Ag/Ti 膜は 250°C 以上でドット化することが観察された。Au/Fe 系に於いても同様の結果となった。

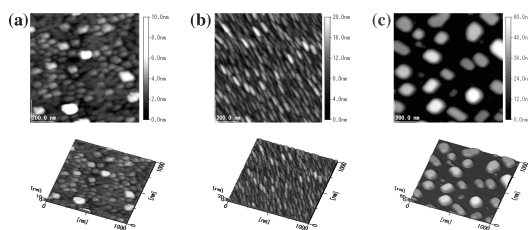


Fig.1 AFM images showing surface profile of (a) Ti film (2.0 nm), (b) Ag film (4.0 nm), and (c) Ag film (4.0 nm) deposited on Ti seed layer (2 nm) coated onto MgO(001) substrate and annealed at 350 °C for 4 h. The images are measured in the region of area $1.0 \times 1.0 \text{ nm}^2$.

角度分解 X 線光電子分光 (ARXPS) 法を用いた薄膜組成の深さ方向分析の結果、ドットの表面は Ag で覆われており、Ti はドットの中に留まり、表面に Ti が存在していないことが確認された。また、ドット以外の部分では MgO 基板が露出しており、孤立した Ag/Ti ナノドットが形成された事が判明した。

作製された Ag/Ti ナノドットは、X 線回折 (XRD) 法により fcc-Ag (001) 配向していることが確認された。通常の作製手法で形成された Ag 単層ナノドットの場合、表面エネルギーの最も小さい fcc-(111) 配向が見られるが、二層凝集法で作製した場合、熱力学的制約を打破し、基板に対してエピタキシャル成長することが判明した。

② 膜厚の違いによるナノ構造変化

Ag/Ti (2 nm) 薄膜、Au/Fe (2 nm) を MgO (001) 基板上に室温蒸着させた後に 350°C、4 時間のアニール処理を施す。その際、Ag 及び Au の膜厚 (2~20 nm) を変えた場合の基板上に形成されるナノ構造の変化について調べた。

Ag, Au の膜厚が 20 nm から薄くなるに従い、ナノ構造は以下の通り変化した。Hole (穴) の形成 \Rightarrow Hole の成長 \Rightarrow Hole の衝突による Mesh (網状構造) の形成 \Rightarrow Strand (紐状構造) の形成 \Rightarrow Dot の形成。膜厚が厚くなる

程、凝集によるドット化の進行過程は遅れることになるので[2]、以上の変化の過程は、熱凝集によるドット形成の成長過程に匹敵するものと考えられる。

③ シード層の違いによる Ag、Au 薄膜のナノ構造変化 (論文②、③、⑥関連)

Ti、Fe、Co、Cr をシード層に用い、MgO (001) 基板上の Ag や Au 薄膜の熱凝集によるナノ構造変化について調べた結果、全てのシード層において、ドット化が促進されている事が判明した。しかしながら、シード層の種類により、凝集促進効果の大小やドットの微細構造に違いがあり、個々のケースにおいて詳細に検討する必要があることが判明した。

Ti と Fe をシード層に用いた場合の効果の違いについて着目し、Ag ナノ構造の変化について詳細に解析した。各シード層厚を 1~5 nm と変化させた場合の Mg (001) 基板上の Ag 層 (4 nm) の凝集構造の変化について調べた。

Fig. 2 は、AFM 像より得られた、Ag ドットの径と密度のシード膜厚異存性のグラフである。Ag/Ti の場合、シード層膜の増大に伴い、ドット径が増大し密度が減少する傾向が見られた。これは、総膜厚が増大するためであり、一般の凝集過程に見られる傾向である [2]。一方、Ag/Fe の場合、そのような傾向が見られず、変化は複雑である。ARXPS を用いて膜内部の組成変化について調べた結果、Ag/Fe の場合、Fe が表面に偏析している割合が多い事が判明した。XRD 解析の結果、Ag/Ti の場合、全てのシード層厚で fcc-(001) 配向しているが、Ag/Fe の場合、fcc-(111) 配向しており、エピタキシャル成長していないことが判明した。Ag/Fe の場合、Ag と Fe は熱力学的に相性が悪く、非固溶 (二層分離) 系であり、アニールによって、Ag と Fe の分離が進むためであると考えられる。

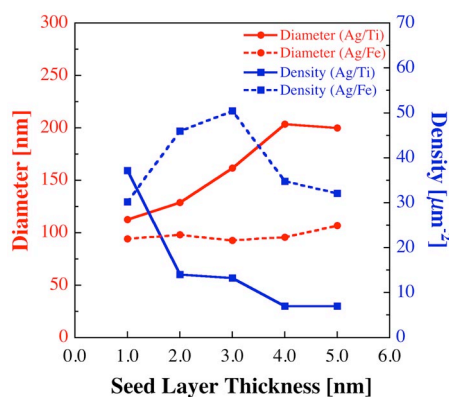


Fig.2 Diameter and density of the Ag/Ti and Ag/Fe films on MgO(001) substrate as a function of the seed layer thickness. The Ag layer is 4 nm thick. All samples were annealed at 350 °C for 4 h.

(2) 二層凝集現象のメカニズム

① 表面エネルギーの利得 (論文④関連)

熱力学的な観点から、系全体の表面エネルギーの利得について考察した。一例として、

Ag/Ti/MgO(001)系の場合について考える。膜の界面エネルギーは表面エネルギーに比べて十分に小さいと仮定すれば、Fig. 1(c)のような孤立したドット構造を持つためには、表面エネルギーを γ として、 $\gamma_{Ti} > \gamma_{Ag} > \gamma_{MgO}$ の関係が成り立たなければならない。各層の γ の値を調べた結果、Ag/Ti/MgO(001)系では上記不等式関係を満たす。ドットの形成メカニズムの一つとして、系全体の表面エネルギーの最小化によるものであることが分かった。

② 熱応力の増加 (論文④関連)

薄膜全体に熱を加えると熱膨張する。基板となる物質と、熱膨張係数が違う場合、加熱により膜内に引張、若しくは圧縮応力が働き、膜が切れたり、縦方向に膨らんだりする。二層凝集の場合に基板加熱(アニール)によって引き起こされる熱応力について解析した。

加熱によりMgO基板上のAg、Au単層膜、及びAg/Ti、Ag/Fe、Au/Ti、Au/Fe二層膜に発生する熱応力を計算によって求め、Fig. 3にプロットした。Ag、Au単層膜と二層膜内で発生する応力は双方とも圧縮応力である。しかしながら、一例を挙げると、Ag/Ti/MgO系の場合、Ag単層膜(Ag/MgO)の場合よりも、圧縮応力(Ag/Ti)が大きくなる。圧縮応力が大きい場合、ドット化への移行が速いと言われているので[2]、Tiシード層を挿入したことで、ドット化がより低温・低時間の基板加熱で進行するものと考えられる。二層膜における凝集の促進作用は、熱応力の増加によるものであると考えられる。

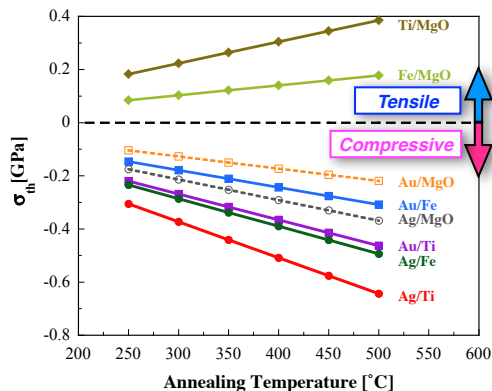


Fig.3 Thermal stress of the deposited layer (Ag, Au, Ti, Fe) on the substrate material (Ti, Fe, MgO) plotted as a function of the annealing temperature.

③ シード層の選択 (論文⑤関連)

表面エネルギー、熱応力の二つの観点から二層凝集のメカニズムについて考察したが、(1)-(3)にみられた熱力学的固溶関係も考慮に入れ、凝集現象を促進させ、且つナノ構造の制御に有効なシード層を選択するための法則について検討した。その結果、以下の3つの選択則を考え出した。

- (i) Ag、Au等の上部層、及び基板に比べて大きな表面エネルギーを有する。
- (ii) 上部層や基板に比べ、熱膨張係数が小

さい。

- (iii) 上部層とシード層が熱力学的に非固溶(二層分離)関係にはならない。

(3) 二層凝集現象を用いたナノロッドの作製と光学特性

① 対象性の低い基板を用いたナノロッドの作製 (論文①関連)

Tiシード層(1 nm)を用い、表面二回対称基板であるMgO(110)基板上のAg膜厚に依存した表面ナノ構造の変化について調べた。Fig. 4は、350°Cで4時間アニール処理を施した後の表面AFM像である。各Ag膜厚において、アニール後表面は細長いドット、つまりロッドに覆われている。これは用いた基板表面の二回対象性を反映したものである。このドットの縦横比は約1:1.4であり、基板表面の格子定数比 $1:\sqrt{2}$ とほぼ同じである。シード層を用いない場合はこのようなロッド構造は生じず、二層凝集によって生じる特有の構造である。Ag膜厚の増加に伴い、ロッド径は増加し、ロッド密度は減少した。

ARXPS法を用いた薄膜組成の深さ方向分析の結果、ロッド表面はAgで覆われており、Tiはロッド中に留まり、表面の広い範囲でMgO基板が露出している事が分かった。また、XRD法により、作製されたAg/Tiナノロッドは、fcc-Ag(110)配向しており、エピタキシャル成長していることが確認された。

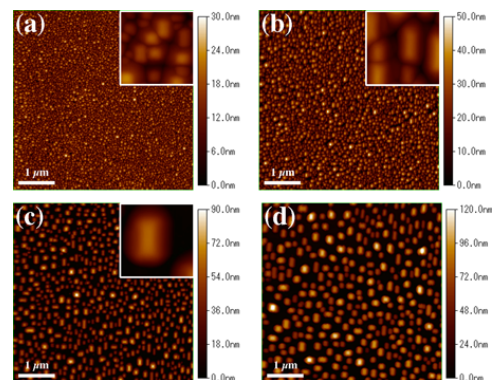


Fig.4 AFM images showing surface profile of Ag film deposited on Ti seed layer (1 nm) coated on MgO(110) substrate and post-annealed at 350 °C for 4 h. The thicknesses of Ag layer are (a) 4.0, (b) 6.0, (c) 8.0 and (d) 10.0 nm. The images were measured in a region of area $5.0 \times 5.0 \mu\text{m}^2$. The insets are high-magnification image, measured in a region of area $0.2 \times 0.2 \mu\text{m}^2$.

② ナノロッドの光学特性 (論文①関連)

Ag/Ti(1 nm)/MgOナノロッド膜の吸光度特性について分光器を用いて調べた。Fig. 5の光学写真に見られるように、各ナノロッド膜は金属光沢がなく、色が付いていることが視認できる。吸光度スペクトルを分析すると、可視光域の500~600 nm付近にピークが見られる。また、350 nm付近にも小さいピークが見られている。これは、Agロッドの局在表面プラズモン共鳴(LSPR)によるものである。二層凝集法により作製したAg/Tiナノロッドは

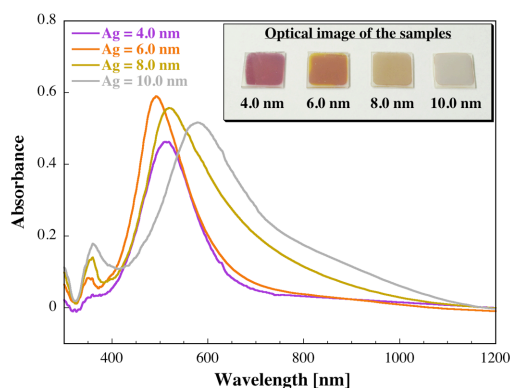


Fig.5 Optical absorbance spectra of the Ag film with a 1.0-nm-thick Ti seed layer on the MgO(110) substrate after annealing at 350 °C for 4 h. The thickness of the Ag film varied between 4.0 and 10.0 nm. The inset of figure is optical images of the samples.

特徴的な Ag ナノロッドの光学特性を有している事が判明した。本手法の光学素子作製への応用が期待される結果となった。

(4) 多層化への応用

① 合金ナノドット作製と光学特性

Ag/Ti、Au/Ti の二層膜での結果を応用し、Au/Ag/Ti 三層膜の自己組織化を試みた。Ti シード層を 1 nm で固定し、基板に MgO(001)、SiO_x/Si(001)を用い、350~450°Cで4時間アニール処理を施した。Ag と Ag 層は 1~5 nm とし、Au+Ag 層厚が 5 nm になるように設定した。その結果、全ての条件でドット化していることが確認された。また、ARXPS 法を用いた薄膜組成の深さ方向分析の結果、ドット表面は Ag と Au の合金層で覆われていることが確認された。

合金化した Ag-Au ドットの吸光度測定を行った結果、吸光度のピーク波長が Ag ドットと Au ドットのピーク波長の間位置しており、合金化による吸光度ピーク波長のチューニングに成功した。

② 多層膜ドットの作製

Au(4 nm)/Fe(1 nm)/MgO(001)膜を 350°Cで3時間アニール処理を施した場合、Fig. 6(a)の AFM 像に見られるように、strand 構造は残るものの表面はナノドット化している。この二層凝集法を用いてドット化した膜をテンプレートとして、更にこの上に PdFe 膜(30 nm)を基板温度 350°Cで蒸着する。Fig. 6(b)は蒸着後の AFM 像である。PdFe 層を蒸着してもドット構造が維持されていることが確認できる。PdFe 層は L₁₀型(001)配向しており、結晶性の良い多層膜ドットの作製にボトムアップ型手法を用いて初めて成功した。

〈引用文献〉

- [1] 神子公男他, “自己組織化されたナノ構造薄膜の作製方法、ナノ構造薄膜”, 特許第 5610393 号(2014)
- [2] C. V. Thompson, “Solid-State Dewetting of Thin Films”, *Annu. Rev. Mater. Res.*, **42**, 399 (2012).

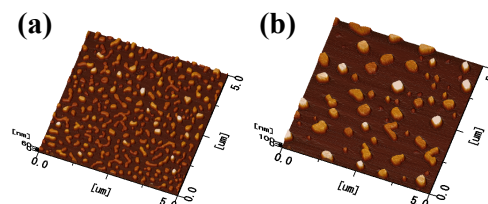


Fig.6 AFM images showing surface profile of (a) Ag(4 nm)/Fe(1 nm)/MgO(001) film after annealing at 350 °C for 3 h and (b) PdFe(30 nm) film deposited on the (a) at 350 °C. The images are measured in the region of area 5.0 × 5.0 nm².

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

- ①. 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 (4 pages) (2015). (査読有)
DOI: 10.7567/APEX.8.035503
- ②. M. Kamiko, R. Suenaga, J.-W. Koo, K. Nose, K. Kyuno, Y. Mitsuda, J.-G. Ha, “Effect of seed layers on structure of self-organized Ag nanodots on MgO substrates”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **54**, 06FH06 (6 pages) (2015). (査読有)
DOI: 10.7567/JJAP.54.06FH06
- ③. M. Kamiko, R. Suenaga, J.-W. Koo, K. Nose, K. Kyuno, J.-G. Ha, “Effect of Ti seed layers on structure of self-organized epitaxial face-centered-cubic -Ag(001) oriented nanodots”, *J. Appl. Phys.*, **114**, 244307 (8 pages) (2013). (査読有)
DOI: 10.1063/1.4856975
- ④. 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 (9 pages) (2013). (査読有)
DOI: 10.1088/0022-3727/46/50/505304
- ⑤. M. Kamiko, J.-W. Koo, J.-M. Kim, J.-G. Ha, “Atomic force microscopy and x-ray diffraction studies on agglomeration phenomena of ultrathin Au/Fe bilayers”, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A30**, 5031512 (4 pages) (2012). (査読有)
DOI: 10.1116/1.4705518
- ⑥. J.-H. Ha, D.-H. Ryu, H.-W. Im, J.-M. Jung, H.-J. Choi, I.-G. Hong, J.-H. Koh, S. M. Koo, M. Kamiko, J.-G. Ha, “Study on effect of various underlayer on bilayer agglomeration”, *J. Korean. Vac. Soc.*, **21**, pp. 233-241 (2012). (査読有)

〔学会発表〕 (計 15 件)

- ①. M. Kamiko, R. Suenaga, J.-W. Koo, K. Nose, K. Kyuno, Y. Mitsuda, J.-G. Ha, “Effect of seed layers on structure of self-organized Ag nanodots on MgO substrates”, 27th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2014), 2014年11月6日, 福岡 (日本)
- ②. 神子公男, 野瀬健二, 光田好孝, 河在浩, 河在根, “脱濡れ(凝集)現象を用いた自己組織化(Au, Ag)/Ti 薄膜のナノ構造”, 第75回応用物理学会学術講演会, 2014年9月19日, 北海道大学
- ③. 神子公男, 野瀬健二, 光田好孝, 河在浩, 河在根, “自己組織化 Ag, Au 薄膜のナノ構造における Ti シード層の効果”, 日本物理学会 2014 年秋季大会, 2014 年 9 月 9 日, 中部大学
- ④. 神子公男, “金属薄膜の脱濡れ(熱凝集)現象を用いた自己組織化”, 東京大学数物フロンティアチュートリアルシンポジウム「表面・界面ダイナミクス数理Ⅶ」, 2014年4月24日, 東京大学 (招待講演)
- ⑤. 神子公男, 福原智, 野瀬健二, 光田好孝, “ α -Al₂O₃(0001)単結晶基板上 Ni 薄膜の脱濡れ過程”, 第 61 回応用物理学会春期学術講演会, 2014 年 3 月 18 日, 青山学院大学
- ⑥. 神子公男, “熱凝集現象を用いた自己組織化金属ナノ構造薄膜の作製”, 第 8 回「結晶成長の数理」研究会 (平成 25 年度学習院大学計算機センター研究会), 2013 年 12 月 26 日, 学習院大学 (招待講演)
- ⑦. 神子公男, 末永亮, 野瀬健二, 具正祐, 弓野健太郎, 光田好孝, 河在根, “Ti シード層促進凝集過程を用いた自己組織化 Ag ナノ構造の基板依存性”, 日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 27 日, 徳島大学
- ⑧. 神子公男, 末永亮, 野瀬健二, 具正祐, 弓野健太郎, 光田好孝, 河在根, “Ti シード層による自己組織化 Ag 薄膜の凝集過程”, 第 74 回応用物理学会学術講演会, 2013 年 9 月 18 日, 同志社大学
- ⑨. M. Kamiko, R. Suenaga, J.-W. Koo, K. Nose, K. Kyuno, Y. Mitsuda, J.-G. Ha, “A Novel Fabrication Process of Self-organized Epitaxial Ag Nanodots: Ti seed layer Mediated Bilayer agglomeration Phenomenon”, 19th International Vacuum Congress (IVC-19), 2013 年 9 月 10 日, Paris (フランス)
- ⑩. 神子公男, 末永亮, 野瀬健二, 具正祐, 弓野健太郎, 光田好孝, 河在根, “自己組織化 Ag/Ti ナノ構造薄膜の光学特性”, 第 60 回応用物理学会春期学術講演会, 2013 年 3 月 28 日, 神奈川工科大学
- ⑪. M. Kamiko, R. Suenaga, J.-W. Koo, K. Nose, K. Kyuno, Y. Mitsuda, J.-G. Ha, “Novel Fabrication Process for Epitaxial Ag Nanostructure via Ti Seed Layer Mediated Bi-Layer Agglomeration Phenomenon”, IUMRS-International Conference on Electronic Materials (IUMRS-ICEM 2012), 2012 年 9 月 27 日, 横浜 (日本)
- ⑫. 神子公男, 末永亮, 野瀬健二, 具正祐, 弓野健太郎, 光田好孝, 河在根, “二層凝集現象を用いた MgO 基板上的自己組織化エピタキシャル Ag ナノドットの作製”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 20 日, 横浜国立大学
- ⑬. 神子公男, 末永亮, 野瀬健二, 具正祐, 弓野健太郎, 光田好孝, 河在根, “二層凝集現象を用いて作製した自己組織化 Ag ナノドット薄膜の光学特性”, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 20 日, 横浜国立大学
- ⑭. 神子公男, 末永亮, 野瀬健二, 具正祐, 弓野健太郎, 光田好孝, 河在根, “二層凝集現象を用いた自己組織化 Ag ナノロッドの作製”, 第 73 回応用物理学会学術講演会, 2012 年 9 月 12 日, 愛媛大学
- ⑮. 神子公男, 末永亮, 野瀬健二, 具正祐, 弓野健太郎, 光田好孝, 河在根, “二層凝集現象を用いた自己組織化 Ag 薄膜の微細構造制御”, 第 73 回応用物理学会学術講演会, 2012 年 9 月 11 日, 愛媛大学

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

○受賞歴

- 第 74 回応用物理学会秋季講演会「Poster Award」受賞; 神子公男他, “Ti シード層による自己組織化 Ag 薄膜の凝集過程”, 第 74 回応用物理学会学術講演会, 2013 年 9 月 18 日, 同志社大学

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

河 在根 (HA, Jae-Geun)
 弓野 健太郎 (KYUNO, Kentaro)
 末永 亮 (SUENAGA, Ryo)
 具 正祐 (KOO, Jung-Woo)
 野瀬 健二 (NOSE, Kenji)