

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02478

研究課題名(和文)原子論的ウェットサイエンスで挑む水素終端化シリコン原子層シートの革新的創製

研究課題名(英文) Innovative formation of H-terminated Si atomic sheets by atomically controlled wet science

研究代表者

有馬 健太 (Arima, Kenta)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：10324807

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：表面と裏面を水素(H)原子で終端化したシリコン(Si)原子層シートは、次世代の高性能電子デバイスにおける新材料として期待されている。しかし、魅力的な電子物性を予測する理論計算が先行する一方で、実験的に得ることが難しいという課題がある。本研究では、汚染や溶存ガス等の溶液条件を完全に制御した界面化学現象により、半導体表面の構造を原子レベルで制御する『原子論的ウェットサイエンス』の構築を進めた。そして、バルクSiウエハ表面に複数の固液界面プロセスを巧みに適用することにより、表面に形成されるステップ/テラス構造のテラス部分を区別する手法を打ち立てた。以上により、提案手法の礎を築いた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本提案手法は、固液界面反応を活用したボトムアップ型の新プロセスである。本手法は、ウエハレベルの大面积領域を自己組織的に一括処理できるという大きな特徴を持つ。半導体表面の構造を極限レベルで制御する『原子論的ウェットサイエンス』の概念は、材料工学・精密工学・表面科学の三つの既存領域に跨る新たな学問分野を生み出すきっかけになると共に、同分野の研究者にインパクトを与えると期待される。また本研究が成功すれば、高性能トランジスタから高効率太陽電池、新しい発光デバイスに至る、未来の広範な光電子デバイスの創出、さらには、豊かな情報化社会の実現に貢献すると予想され、その意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：A silicon (Si) atomic layer sheet of which both the front and back surfaces are terminated by hydrogen (H) atoms is expected to be a new material for next-generation high-performance electronic devices. However, while theoretical calculations predicting attractive electronic properties are leading the way, there is a problem in which they are difficult to obtain experimentally. In this research, we have advanced the construction of "atomistic wet science" that controls the structure of semiconductor surfaces at the atomic level by surface chemical phenomena that completely control solution conditions such as contamination and dissolved gases. Then, by skillfully applying multiple solid-liquid interfacial processes to the surface of bulk Si wafers, we have established a technique for partitioning the terraces of the step/terrace structure formed on the Si surface. These achievements are important fundamentals to realize atomic sheets by our proposed scheme.

研究分野：表面工学

キーワード：ウェットエッチング 金属アシストエッチング Si表面 原子層シート 自己組織化 ステップ/テラス構造

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

(1) Si 結晶は厚さ 3nm 以下に薄層化することにより、バンドギャップが増大する、量子閉じ込め効果により発光強度が増す等、バルク結晶とは異なる特性を発現することが古くから知られている¹⁾。特に、原子層レベルまで薄層化された Si (Si 原子層シート) は、次世代の高性能電子・光学デバイスにおける新材料として期待されている。これまで、Si 基板上の SOI (Silicon on Insulator) 層に対して熱酸化膜を形成し、これを溶解により除去することにより、ナノメートルレベルまで薄層化された Si 層を得る試みが報告されてきた。しかしこの方法では、均一な厚さを持つ Si 層を得ることは難しい。またグラフェンなどの二次元薄膜においては、リボン状に成型することにより、リボン幅に応じて電子物性が制御できることも報告されている²⁾。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、Si 表面に複数の自己組織的なウェット (湿式) プロセスを組み合わせる新たなシーケンスを提案する。そして、このシーケンスを SOI 層に適用することにより、最終的には、幅が規定され原子層単位の厚さを持つと共に、表面と裏面が共に H 原子で終端化された、Si 原子層リボンを作製することを目指している。提案する手法の原理検証を行うため、本研究では、一連の湿式シーケンスを Si(111)バルク基板に適用した。そして、Si(111)表面の原子ステップに沿ってナノスケールの溝構造を形成し、隣接するテラス領域を分離・切断することを目的とした³⁾。

3. 研究の方法

(1) 実験には、 $10\text{--}20\ \Omega\cdot\text{cm}$ の比抵抗を持つ、面方位(111)の p 型 Si 基板を用いた。この Si(111) 表面は、 $\langle 112 \rangle$ 方向に 0.2° の微傾斜角を持つ。この試料に対して、まず、硫酸と過酸化水素水の混合溶液から成る洗浄液や希 HF 浸漬による前処理を施した。次に、溶存酸素濃度を 2 ppb 以下にまで低減した水中 (Low Oxygen-dissolved Water: LOW) に本試料を浸漬した [以降、ステップ 1 と呼ぶ]。LOW は、半導体グレードの超純水に脱酸素剤 (亜硫酸アンモニウム) を添加することにより得た⁴⁾。続いて、市販の Ag 標準溶液を LOW に加えてイオン濃度を 0.1 ppm もしくは 5 ppm に調整した Ag イオン溶液を準備した。そして、ステップ 1 を終えた試料を当該 Ag イオン溶液に浸漬した⁵⁾ [以降、ステップ 2]。最後にステップ 3 として、ステップ 2 を経た試料をフッ酸と過酸化水素水の混合溶液中に浸漬した。この混合溶液を以降は“エッチング液”と呼ぶことにする。ステップ 1-3 までの溶液は全て室温で行い、全工程を経た試料は超純水にてリンスした後、高純度窒素ガスにて乾燥させた。

(2) 得られた表面は、タッピングモードでの原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscopy: AFM) にて大気中で観察した。AFM 観察のためのプローブとしては、頂角の曲率半径が 7 nm の公称値を持つ Si 製のカンチレバーを用いた。

4. 研究成果

(1) 図 1 に、提案した一連のウェットプロセスを経た Si(111) 表面を AFM により観察した結果を示す。図 1(a) に示すように、ウェット洗浄後の初期表面は原子スケールで粗さが大きい様子が分かる。それに対して、図 1(b) から分かるように、LOW を用いるステップ 1 の後には、表面構造が大きく変化し、平坦なテラス領域と段差から成る、ステップ/テラス構造が形成されることが明らかである。図 1(b) の断面プロファイルから、段差は約 0.3 nm と均一であり、Si(111) の結晶構造に由来するバイレイヤー高さの原子ステップであることを確認している。また、テラス幅は約 80 nm であり、これは Si(111) 表面に形成されている微傾斜角 (0.2°) から予想される値に一致している。図 1(a) で示す結果は、LOW 中で Si(111) 結晶のテラスを露出するような異方性エッチングに起因ことが広く知られている⁴⁾。

(2) 図 1(c) は、Ag イオンを含む LOW 中に浸漬するステップ 2 を経た Si 表面上で得られた AFM 像である。図 1(b) と似通っているように見えるが、図 1(c) では、ステップ端がナノスケールの微小な輝点群によって、修飾されている様子が分かる。断面プロファイルから、輝点群の高さと幅はそれぞれ、0.5-3.0 nm、及び、10-22 nm であることが分かった。X 線光電子分光による測定を行ったところ、ステップ 2 の後の Si 表面には Ag 原子の吸着を示すシグナルが顕著に観測された。これらを考慮すると、図 1(c) で観察される輝点群は、ステップ端に選択吸着した Ag 原子であると考えるのが妥当である。他の研究グループが、ステップ 1 を終えた Si 表面のテラス部は H 終端されている一方で、ステップ端には OH 基が存在することを指摘している。ステップ 2 において、LOW 中に存在する Ag イオンがこれらの OH 基と反応し、還元された結果、図 1(c) で示すような Ag ナノドット群が形成された⁵⁾ と予想している。なおこの還元反応時に、Ag ナノドット直下の Si 表面は Ag イオンに電子を供給することにより酸化され、局所的に SiO_2 層が形成されると考えている。この酸化機構を以降、“Ag 吸着誘起酸化”と呼ぶ。

(3) 次に、ステップ3を経ることにより、Si(111)表面に特徴的な変化が起きる様子を図1(d)に示す。すなわち、テラス領域はほぼ保存される一方で、図1(c)でステップ端を修飾していたAgナノドット群は消失している。代わって、ほぼ連続的なナノスケールの狭い溝構造（以降、ナノ溝構造）がステップ端に沿って形成されていることが分かる。断面プロファイルを調べると、ナノ溝構造の深さと幅はそれぞれ、0.55–0.8 nm、及び、20–30 nmであった。図1(b)に示したステップ1後のSi表面を直接、ステップ3でのエッチング液に浸漬しても、図1(d)で得たナノ溝構造は得られなかった。これは、図1(c)で示したAgナノドット群が、ナノ溝構造の形成に大きな役割を果たしたことを示唆している。

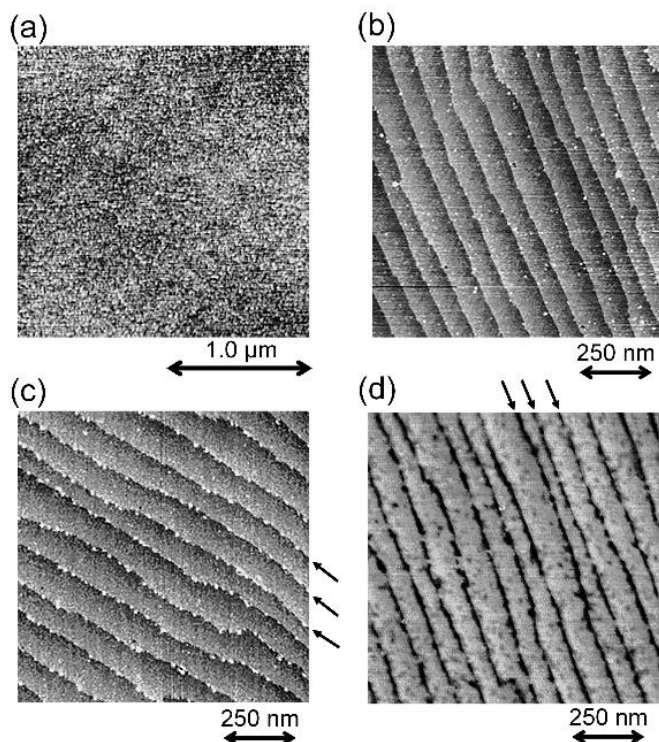


図 1. 提案するシーケンスを経た Si(111)表面の構造変化を示す AFM 像。(a)ウェット洗浄後の Si(111)表面、(b) LOW に浸漬するステップ 1 後の表面、(c) Ag イオン (0.1 ppm) を含む LOW に浸漬するステップ 2 後の表面。矢印で示すように、ステップ端が明るい輝点により修飾されている様子が分かる。(d) ステップ 3 でエッチング液に浸漬した後の表面。矢印で示すように、ステップ端に沿って連続的な溝構造が形成されている様子が分かる。

(4) ナノ溝構造が得られるメカニズムとして、今のところ、2種類を予想している。一つは、ステップ2でSi表面のステップ端近傍で起こる“Ag吸着誘起酸化”に起因するものである。ここで形成されたSiO₂層が、ステップ3のエッチング液に含まれるHFにより溶解し、ナノ溝構造が形成された可能性がある。もう一つは、ステップ3において、Ag原子が触媒作用を果たすことによる“金属アシストエッチング”である。Ag原子は、エッチング液中に含まれるH₂O₂分子のH₂O分子への還元を促進する作用を持つことが分かっている。ステップ端に吸着したAgナノドット群が、ステップ3でのエッチング液中で、H₂O₂分子を連続的に還元し続けることで、下地のSi表面も酸化と溶解を繰り返し、ナノ溝構造が形成される可能性がある。後者のメカニズムでは、ステップ端のAgナノドットが溶解しない限り、直下のSi表面のエッチングが進行し続けるという特徴があり、これが前者との違いである。今のところ、上記二つのいずれが図1(d)で示すナノ溝構造の形成を担っているかは明確でない。しかし図1から、ステップ端にあらかじめAg原子を吸着することにより、続くエッチングプロセス(ステップ3)において、ステップ端に沿ってナノ溝構造が形成され、隣接するテラス領域の“切り分け”が可能であると分かった。

(5) 次に、図1(d)で示したナノ溝構造の形状を制御することを試みた。特に、溝構造の深さを自在に操ることは、提案した一連のウェットシーケンスを今後、SOI層に適用し、Si原子層リボンを得る上で極めて重要である。そこで、ステップ2にてSi表面のステップ端に形成するAg原子の吸着量を増し、その後にナノ溝構造を形成する実験に取り組んだ。その結果を図2に示す。図2(a)は、ステップ2で用いる溶液のAgイオン濃度について、図1(c)を得た時の0.1 ppmから5 ppmへと高めた時に得られた結果である。図2(a)で示すステップ端のAgナノドットのサイズ

は、図 1(c)と比べて明らかに大きく、隣り合うドットが連結してナノワイヤ状を呈している。これは、高濃度の Ag イオン溶液中で、より多量の Ag 原子がステップ端に選択吸着したためであると考えられる。Ag ナノワイヤの高さと幅はそれぞれ、0.9–4.0 nm と 6.5–17 nm であった。このような試料をステップ 3 でエッチング液に浸漬し、得られた AFM 像を図 2(b)に示す。図 1(d)の場合と同様に、ステップ 2 後のステップ端の Ag 原子は見当たらず、代わりに、ナノ溝構造が出現することが確認できた。図 2(c)で示す断面プロファイルから、ナノ溝構造の深さ (1.1–1.4 nm) は図 1(d)の場合よりも深かった。これは、ステップ 2 において用いる Ag イオン溶液の濃度条件が、その後のステップ 3 後に得られるナノ溝構造の深さを制御する上で、重要な実験パラメータになることを示唆している。

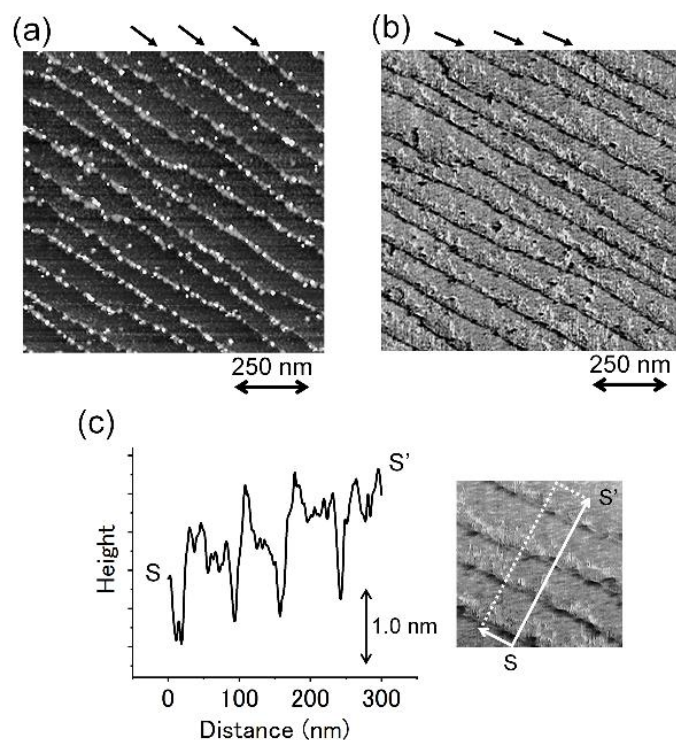


図 2. (a)ステップ 2、及び、(b, c) ステップ 3 を実施した後に得られた Si 表面の AFM 像。(a) ステップ 2 における LOW 中の Ag イオン濃度は 5 ppm であった。図 1(c)と比較して、より明瞭な Ag ナノワイヤの形成が観測される (矢印参照)。(b) 図 2(a)で示す表面をステップ 3 にて処理した結果。矢印が示すように、ナノスケールの溝状構造がステップ端に形成されている様子が分かる。(c) 右挿入図中の長方形内で S-S' 方向に沿って得られた平均断面プロファイル。

(6) 一連の研究を遂行する過程で、研究協力者の大学院生が成果を学会にて発表し、以下に示す計 5 件の受賞を得た。

① 優秀講演賞

受賞対象講演：竹内鉄朗、馬智達、橋本龍人、孫栄硯、山村和也、有馬健太

“湿式法による Si (111) 表面のステップ端に沿ったナノ溝構造の自己組織的形成”

授与団体：公益社団法人 応用物理学会 界面ナノ電子化学研究会

授与日時：令和 4 年 9 月 29 日

内容：第 7 回ポスター発表展での優れた発表に対して授与される当該賞を指導学生 (竹内) が受賞した。

② ベストプレゼンテーション賞

受賞対象講演：馬智達、増本晴文、川合健太郎、山村和也、有馬健太

“Ag ナノワイヤ援用型化学エッチングによる Si (111) 表面上へのナノ溝形成”

授与団体：公益社団法人 精密工学会

授与日時：令和 2 年 12 月 21 日

内容：2020 年度 精密工学会秋季大会学術講演会での優れた口頭発表に対して授与される当該賞を指導学生 (馬) が受賞した。

- ③ Young Researcher Award
受賞対象講演：Zhida Ma, Seiya Masumoto, Kentaro Kawai, Kazuya Yamamura, Kenta Arima
“Nano-Groove Formation on Si(111) Surfaces by Chemical Etching Assisted by Ag Nanowires”
授与団体：18th International Conference on Precision Engineering (ICPE2020)
授与日時：令和2年11月26日
内容：精密工学会が主催する国際会議（ICPE2020）での優れた研究発表に対して授与される当該賞を指導学生（Z. Ma）が受賞した。
- ④ ベストポスタープレゼンテーション賞
受賞対象講演：増本晴文、川合健太郎、山村和也、有馬健太
“Ag ナノワイヤを援用した化学エッチングによる Si 表面上へのナノ溝形成”
授与団体：公益社団法人 精密工学会
授与日時：令和元年9月4日
内容：2019年度 精密工学会秋季大会での優れたポスター発表に対して授与される当該賞を指導学生（増本）が受賞した。
- ⑤ ベストポスタープレゼンテーション賞
受賞対象講演：増本晴文、川合健太郎、山村和也、有馬健太
“Ag ナノワイヤを援用した化学エッチングによる Si (111) 表面上へのナノ溝形成”
授与団体：公益社団法人 精密工学会関西支部
授与日時：令和元年6月28日
内容：2019年度 関西地方定期学術講演会での優れた研究発表に対して授与される当該賞を指導学生（増本）が受賞した。

<引用文献>

- 1) L. Canham, *Faraday Discuss.*, **222**, 10 (2020).
- 2) L. Yang et al., *Phys. Rev. Lett.*, **99**, 186801 (2007).
- 3) Z. Ma, K. Arima et al., *Langmuir*, **38**, 3748 (2022).
- 4) H. Fukidome et al., *Jpn. J. Appl. Phys., Pt.2.*, **38**, L1085 (1999).
- 5) N. Tokuda et al., *J. Phys. Chem. B*, **109**, 12655 (2005).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ma Zhida, Masumoto Seiya, Kawai Kentaro, Yamamura Kazuya, Arima Kenta	4. 巻 38
2. 論文標題 Separation of Neighboring Terraces on a Flattened Si(111) Surface by Selective Etching along Step Edges Using Total Wet Chemical Processing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 3748 ~ 3754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.1c03317	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ogasawara Ayumi, Kawai Kentaro, Yamamura Kazuya, Arima Kenta	4. 巻 11
2. 論文標題 Nanocarbon-Induced Etching Property of Semiconductor Surfaces: Testing Nanocarbon's Catalytic Activity for Oxygen Reduction Reaction at a Single-Sheet Level	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ECS Journal of Solid State Science and Technology	6. 最初と最後の頁 041001 ~ 041001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2162-8777/ac6117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Kenta Arima, Zhida Ma, Tetsuro Takeuchi, Ryuto Hashimoto, Rongyan Sun, Kazuya Yamamura
2. 発表標題 Wet Chemical Processing to Form Nanotrenches along Step Edges on a Vicinal Si(111) Surface Composed of Terraces and Atomic Steps
3. 学会等名 2023 MRS Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenta Arima, Zhida Ma, Tetsuro Takeuchi, Ryuto Hashimoto, Rongyan Sun, Kazuya Yamamura
2. 発表標題 Nanotrench Formation along Step Edges of Vicinal Si(111) Surfaces by Wet-chemical Treatments
3. 学会等名 48th Conference on the Physics & Chemistry of Surfaces & Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 K. Arima, Z. Ma, S. Masumoto, K. Kawai and K. Yamamura
2 . 発表標題 Formation and Characterization of Nanotrenches along Step Edges of a Flattened Si Surface by Self-assembled Processes in Solutions
3 . 学会等名 19th International Conference on Precision Engineering (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Arima, Z. Ma, S. Masumoto, K. Kawai, and K. Yamamura
2 . 発表標題 Self-assembled Ag Nanowires to Catalyze Nanotrench Formation Along Step Edges on Vicinal Si(111)
3 . 学会等名 The 22nd International Vacuum Congress (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Kenta Arima, Zhida Ma, Seiya Masumoto, Rongyan Sun, Kazuya Yamamura
2 . 発表標題 Ag-assisted chemical etching to separate neighboring terraces along step edges on vicinal Si(111) surface
3 . 学会等名 International Conference on Materials Science, Engineering and Technology (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. Higashi, K. Kawai, K. Yamamura, K. Arima
2 . 発表標題 Detection of photoelectrons from noble metal catalysts at the bottoms of Si grooves after metal-assisted chemical etching
3 . 学会等名 19th International Conference on Precision Engineering (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Z. Ma, S. Masumoto, K. Kawai, K. Yamamura, K. Arima
2. 発表標題 Nano-Groove Formation on Si (111) Surfaces by Metal Induced Etching by Ag Nanowires
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内鉄朗, 馬智達, 橋本龍人, 孫栄硯, 山村和也, 有馬健太
2. 発表標題 湿式法によるSi(111)表面のステップ端に沿ったナノ溝構造の自己組織的形成
3. 学会等名 応用物理学会 界面ナノ電子化学研究会 第7回ポスター発表展
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹内鉄朗, 馬智達, 橋本龍人, 孫栄硯, 山村和也, 有馬健太
2. 発表標題 湿式法によるSi(111)表面の原子ステップに沿ったナノ溝構造の形成と制御
3. 学会等名 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 東知樹, 孫栄硯, 山村和也, 有馬健太
2. 発表標題 Si 表面の溝底部に埋め込んだ金属原子からの光電子検出 - 光電子検出量の脱出角依存性の検討 -
3. 学会等名 2022年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 有馬健太, 馬智達, 竹内鉄朗, 橋本龍人, 孫栄硯, 山村和也
2. 発表標題 全ウェットプロセスによる Si(111) 表面のステップ端に沿ったナノ溝構造の形成と制御
3. 学会等名 2022年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 東知樹, 孫栄硯, 川合健太郎, 山村和也, 有馬健太
2. 発表標題 Si 表面の溝底部に埋め込んだ金属原子からの光電子検出 - 光電子検出量の脱出角依存性の検討 -
3. 学会等名 精密工学会2022年度関西地方定期学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 馬智達, 増本晴文, 川合健太郎, 山村和也, 有馬健太
2. 発表標題 銀イオンの選択吸着を援用したSi表面上への連続ナノ溝構造の形成と評価
3. 学会等名 2021年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬智達, 増本晴文, 川合健太郎, 山村和也, 有馬健太
2. 発表標題 自己組織的に形成したAgナノワイヤをテンプレートとしたSi表面上へのナノ溝形成
3. 学会等名 精密工学会2021年度関西地方定期学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 馬智達, 増本晴文, 川合健太郎, 山村和也, 有馬健太
2. 発表標題 自己組織的に形成したAg ナノワイヤをテンプレートとしたSi表面上へのナノ溝形成
3. 学会等名 2021年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Z. Ma, S. Masumoto, K. Kawai, K. Yamamura, K. Arima
2. 発表標題 Nano-Groove Formation on Si(111) Surfaces by Chemical Etching Assisted by Ag Nanowires
3. 学会等名 18th International Conference on Precision Engineering (ICPE2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 馬智達, 増本晴文, 川合健太郎, 山村和也, 有馬健太
2. 発表標題 ステップ端に選択吸着させたAg原子を援用したSi (111)表面上への溝構造の形成
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 馬智達, 増本晴文, 川合健太郎, 山村和也, 有馬健太
2. 発表標題 Agナノワイヤ援用型化学エッチングによるSi(111)表面上へのナノ溝形成
3. 学会等名 2020年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 馬智達、増本晴文、川合健太郎、山村和也、有馬健太
2. 発表標題 Agナノワイヤを触媒とした化学加工による微傾斜Si表面上へのナノ溝形成
3. 学会等名 2020年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増本晴文、川合健太郎、山村和也、有馬健太
2. 発表標題 Agナノワイヤを援用した化学エッチングによる Si(111)表面上へのナノ溝形成
3. 学会等名 精密工学会2019年度関西地方定期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増本晴文、川合健太郎、山村和也、有馬健太
2. 発表標題 Agナノワイヤを援用した化学エッチングによるSi表面上へのナノ溝形成
3. 学会等名 2019年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増本晴文、川合健太郎、山村和也、有馬健太
2. 発表標題 Agナノワイヤ援用型化学エッチングによるSi(111)表面上へのナノ溝形成
3. 学会等名 2019年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenta Arima
2. 発表標題 Adsorption of Water Molecules on Oxide Surfaces and Its Impact on the Electronic Property of the Oxides Probed by In Situ XPS
3. 学会等名 Collaborative Conference on Materials Science and Technology 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 有馬健太
2. 発表標題 SiとGe表面のウェットエッチングの新潮流：不動態化から加工まで
3. 学会等名 応用物理学会 2019年秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 羽深 等、清家 善之、白水 好美、有馬 健太、カチョーン ルンルアン パナート、岩本 花子、前田 主悦、山崎 克弘、向井 義雄、長谷川 浩史、松井 淳、金洪 杰	4. 発行年 2022年
2. 出版社 サイエンス&テクノロジー	5. 総ページ数 123
3. 書名 半導体製造プロセスを支える洗浄・クリーン化・汚染制御技術	

1. 著者名 磯部 晶、服部 毅、大山 聡、式田 光宏、河合 晃、堀 勝、中野 博彦、扇谷 浩通、浜口 智志、豊田 紀章、唐橋 一浩、江利口 浩二、寒川 誠二、篠田 和典、佐藤 威友、有馬 健太	4. 発行年 2022年
2. 出版社 (株)R&D支援センター	5. 総ページ数 252
3. 書名 半導体製造におけるウェット/ドライエッチング技術	

1. 著者名 有馬健太 (分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 1570
3. 書名 2020版 薄膜作製応用ハンドブック、第2編「薄膜の作製と加工」第1章「基板と表面処理」、第2節 半 導体基板 (Si・Ge・SiC)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究者詳細 - 有馬 健太 - 研究者総覧 - Osaka University https://rd.iai.osaka-u.ac.jp/ja/c50d1549007f46be.html 有馬健太 ホームページ http://www-pm.prec.eng.osaka-u.ac.jp/kenta_arma/index.html 有馬 健太 (Kenta Arima) - マイポータル - researchmap https://researchmap.jp/read0054777</p>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------