

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14100

研究課題名（和文）ナノギャップNEMSを利用した高耐久エレクトロニクス素子基盤技術の開発

研究課題名（英文）Development of Nanogap Devices For High Temperature Environments Using Nano Electro Mechanical System

研究代表者

菅 洋志 (Suga, Hiroshi)

千葉工業大学・工学部・准教授

研究者番号：60513801

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：2元素ナノギャップNEMS構造を検討し、素子作製およびその評価を行った。従来のナノギャップ素子はリーク電流を伴い、不揮発性記憶素子としての機能を喪失するのに対して、新たに開発した2元素ナノギャップNEMSは、高温環境における原子拡散抑制機能により、リーク電流を抑制し、900℃超の温度環境でも不揮発性記憶素子としての機能を維持した。また、金属内包炭素系ナノ材料からなる2元素NEMS素子を創成した。金属内包フラーレン分子を自己組織化により細線形状にする手法を応用して、平面デバイスを製作し、その特性を評価した。また、機能機構解明のため、透過型電子顕微鏡観察用素子作製技術や結晶制御技術を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2元素からなるナノギャップNEMSにより、900℃環境におけるリーク電流防止機構機能を実現した。高温環境でも機能喪失しない電子デバイスの創成に道を拓いた。また、自己組織化技術を応用して、金属元素を内包する炭素系ナノ材料を用いた2元素NEMS平面素子を製作し、その抵抗スイッチ特性を確かめ、Nano Material Electrical Systemへの道を拓いた。NEMS素子評価のための透過型電子顕微鏡観察実験のための試料加工技術や結晶制御技術など確立した。

研究成果の概要（英文）：A nanogap NEMS structure was fabricated and the atomic diffusion prevention mechanism of the two-element nanogap NEMS was evaluated. While a conventional nanogap element loses its function as a non-volatile memory element due to leakage current, the nanogap NEMS structure suppresses the leakage current because of the atom diffusion prevention mechanism in high temperature environments. The non-volatile memory element functionality was maintained even at temperatures above 627 K. We also fabricated a nanogap NEMS with a fullerene encapsulating metal. We studied the nanogap NEMS device using carbon-based nanomaterials containing metallic elements. A planar device was fabricated using a method that forms a thin line of fullerene molecules, and its characteristics were evaluated. To understand this mechanism, we studied the fundamental technologies for transmission electron microscopy experiments such as the nanogap device fabrication method and the crystal control technology.

研究分野：ナノマイクロシステム

キーワード：NEMS素子 抵抗変化素子 ナノギャップ ナノエレクトロニクス 記憶素子 フラーレン ナノ電極 記憶

1. 研究開始当初の背景

事故調査, 災害復旧では, 高温環境下や放射線下などの過酷環境で記録可能な電子素子が要求される。通常の記憶素子は 373 K 程度で正常に動作せず, 素子周囲の断熱材で対応している。そのため高温に長時間曝されると情報を喪失する。また, データセンタなどではメモリ冷却のために莫大なエネルギーが消費され, 情報量が増大する未来社会への課題となっている。

このような背景から, 記憶素子自体の高温耐性改善の研究がなされ, フラッシュメモリでは 440 K 程度の安定動作が達成された[Y. Taito *et al.*, In 2015 IEEE ISCC Digest of Technical Papers.]. しかし, 原理的に温度耐性は集積性(微細化)とトレードオフであり, 飛躍的な改善は見込めない。他方で, 半導体バンドギャップが広いシリコンカーバイドを記憶素子に応用することも提案されているが, 熱で活性化した電子が半導体バンドギャップを超越する現象を原理的に防ぐことはできないため, 773 K 以上での精密制御や, 特性不変性は望めない[V. E. Chelnokov *et al.*, *Mater. Sci. Eng. B.* **46**, 248(1997)].

これまで, 数 nm 程度の真空をサンドイッチしたナノ金属構造(以下, ナノギャップ)を変化させるメモリ素子を世界に先駆けて研究してきた。[H. Suga *et al.*, *Scientific Reports* **6**, 34961 (2016)], [H. Suga *et al.*, *ACS Applied Materials and Interfaces* **4**, 5542-5546 (2012)], [H. Suga *et al.*, *Journal of applied physics* **112**, 044309-1-4 (2012).], [S. Kumaragurubaran, H. Suga *et al.*, *Applied Physics Letters* **99**, 263503-1-4 (2011).], [Y. Naitoh, H. Suga *et al.*, *Japanese Journal of Applied Physics* **50**, 06GF10-1-3 (2011).], [H. Suga *et al.*, *Japanese Journal of Applied Physics* **50**, 06GF11-1-3 (2011).], [H. Suga *et al.*, *Applied Physics Letters* **97**, 073118-1-3 (2010).], [Y. Naitoh, H. Suga *et al.*, *APPLIED PHYSICS EXPRESS* **2**, 035008-1-3, (2009).], [Y. Naitoh, H. Suga *et al.*, *Applied Physics Express* **1**, 103001-1-3, (2008).] この抵抗変化は, 電圧パルスの印加により電極の原子が移動し, ナノスケールの電極間距離が変化し起こる。オン/オフの情報記録を電極の構造変化が担うため導体バンドギャップを使わず, 金属電極が熱で融解しない限り記録を維持できる。電子トンネルの抵抗値は距離に対して敏感なため, 原子数個分のギャップ変化が抵抗値で 1 桁の変化に拡大される一方で, 温度非依存である。また, 金属粒子の質量は電子粒子の質量よりも大きいため, 外乱に対して堅牢であり, 従来素子を凌駕する画期的な記憶素子となる可能性がある。本技術は日本発であるが, 海外勢の追走が始まっている。[A. Cui *et al.*, *Adv. Mat.* **28**, 8327 (2016)], [Yao, J. *et al.*, *Nat. Commun.* **3**, 1101 (2012).], [Lee, J. O. *et al.*, *ANat. Nanotechnol.* **8**, 36-40 (2013).]

研究開始当初において, 高結晶性を持つ白金ナノギャップを作製する手法は確立され, [H. Suga *et al.*, *ACS Applied Materials and Interfaces* **4**, 5542-5546 (2012)], ナノギャップメモリーが 873 K の高温環境下でオン/オフが変化すること, 読み込み, 書き込み, 長時間保持のいずれの機能も失わないことがあきらかになっていた。[H. Suga *et al.*, *Scientific Reports* **6**, 34961 (2016)], [H. Suga *et al.*, *ACS Applied Materials and Interfaces* **4**, 5542-5546 (2012)] しかし, 既存のナノギャップ素子では金属電極の形状が非可逆的に変化するため, このナノギャップ構造変化が特性にばらつきを与える問題がある。このため 873 K 以上での高温環境では不揮発性素子として十分に機能しない。金電極では動作後ナノギャップ位置の特定ができないほど構造が変化する。高結晶性白金ナノギャップでも構造変化は極めて小さいものの微細構造は変化する。もし, 二種類の元素により微細構造変化を制御することができれば, 高温環境における不揮発性素子の特性向上が期待できる。

2. 研究の目的

既存のナノギャップ素子では金属電極の形状は非可逆的に変化し, ナノギャップ構造が大きく変化し, 特性にばらつきを与える問題があり, 873 K 以上での高温環境では不揮発性素子として十分に機能しない。もし, 二種類の元素により微細構造変化を制御することができれば, 高温環境における不揮発性素子の特性向上が期待できる。そこで, 本研究では電極を 2 種類の元素で構成し, 原子種の機能を利用したナノギャップ NEMS (Nano Electro Mechanical System)素子の創成を目指す。新たなナノギャップ NEMS(2 元素ナノギャップ)構造を検討し, 素子作製およびその評価を行う。従来のナノギャップ素子は, 高温環境でのリーク電流を伴い, 不揮発性記憶素子としての機能を喪失した。本研究では, 1173 K 超の温度環境でも不揮発性記憶素子としての機能を失わない素子の創成のため, 2 元素ナノギャップ NEMS 機構により, 高温環境における原子拡散抑制機能を付与してリーク電流を抑制する。また, 金属元素を内包する炭素系ナノ材料を用いた新しい 2 元素ナノギャップ素子について研究を行う。金属を内包させたフラーレン分子を自己組織化により細線形状にする手法を応用して, 平面デバイスを作成し, その特性を評価する。また, 透過型電子顕微鏡観察実験のためのナノギャップ素子作製の作成技術や, 結晶制御技術など, 本研究のメカニズム解明に必要な要素技術の研究を行う。

3. 研究の方法

(1) 2 元素ナノギャップ構造による高温素子特性の改善

ナノスケールの間隙を備えた金属電極(以下, ナノギャップ電極)は, 印加電圧により間隙幅を制御することで可逆的に抵抗値を変化させることができる。ナノギャップ電極の抵抗変化原理は単純な電極金属の物質移動であり, 高温環境下で動作する素子への応用が期待されている。過去の我々の研究では, 接着層に Ti を用いた Pt ナノギャップ電極を用いるこ

とで 873 K までの高温動作を確認した。しかし、873 K 以上の超高温領域での動作は未確認であった。これは、923 K を超えると金属電極に使用されている白金がシリコン基板に拡散することでシリサイドが形成され、リーク電流が生じることが考えられている。873 K での動作が確認されているナノギャップ電極には接着層としてチタンが使用されている。そこで、本研究ではこの接着層に使用されている材料を変えることでバリア層として活用し、白金の拡散の抑制効果を確認する。高温環境におけるナノギャップ素子の電気特性と接着層の影響について調査した。熱酸化層絶縁膜 300 nm を備えた Si 基板上に Pt ナノワイヤーを形成し、そのナノワイヤーをエレクトロマイグレーション(FBEM)法により通電破断させ、ナノギャップ電極を作製した。Pt ナノワイヤーは電子線リソグラフィー法と真空蒸着法で作製した。Pt 膜の直下に接着層を 1 nm 程度成膜し、SiO₂ と Pt の接着層とした。作製した Pt ナノワイヤーを雰囲気ガス下で通電破断することで、結晶改善したナノギャップ電極を作製した。ナノギャップ素子を RT~1173 K に温度変化させながら電流履歴を測定し、抵抗値の温度依存性を比較した。熱酸化膜に覆われたシリコン基板上に使用する電極と同条件の金属均一膜を形成し、1173 K に加熱後、二次イオン質量分析法(SIMS)により白金の拡散を評価した。また、超高温領域でのメモリ保持特性を評価した。

(2) 金属原子を内包する炭素系ナノ材料を用いた新しい2元素ナノギャップ素子

ナノ材料の構造変形を引き起こすナノエレクトロニクススイッチングは新しい電気機能の可能性を示唆している。近年、フラレン多量体の抵抗スイッチ効果が報告されている。[M. Nakaya, T. Nakayama *et al.* : *Adv. Mater.* 22, 1622 (2010).]フラレン分子の近接と遠隔の再現性のあるスイッチングは、フラレン分子超薄膜と STM チップ間のトンネルスイッチ効果を引き起こす電圧印加によって制御される。この技術はナノ材料を微細加工技術に応用できる可能性を示唆している。しかし、STM 探針による素子の変化は初期実験には適しているが、固体素子化する為には難しく、デバイスへの応用は困難である。そこで、フラレン分子を自己組織化により細線形状にすることによって、素子の水平方向への変化とデバイス応用への可能性に着目した。図1にデバイスの作製方法を示す。SiO₂層を備えたSi基板上にフラレンナノ細線を分散し、タングステン線をメッシュ状に配置してマスクとした。その上にソース・ドレインとなる金膜を蒸着することで、フラレンナノ細線素子を作製した。フラレンナノ細線は、液-液界面析出法(LLIP法)により、フラレン分子を自己組織化させることで合成した。今回、C₆₀と窒化ルテチウム内包C₈₀(Lu₃N@C₈₀)のからなる2種類のナノ細線を作製し、その比較を行った。図2のように真空度約1.0×10⁻² Pa以下の真空チャンパー内で、素子の電流-電圧(IV)特性及び抵抗スイッチ効果の評価した。

(I) Fullerene nanowires was dispersed (II) W-mask

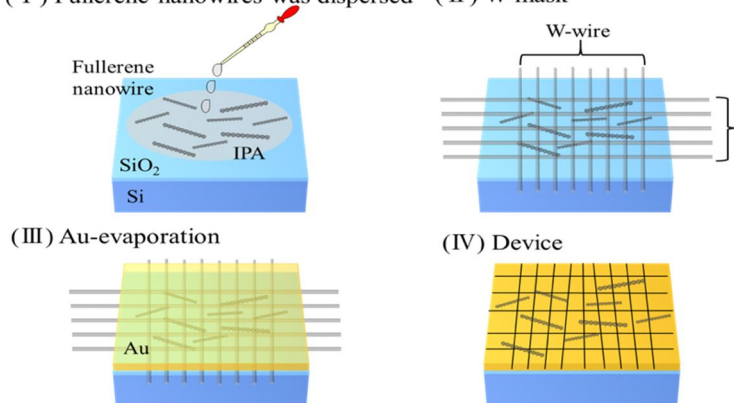


図1 素子作製の概略図

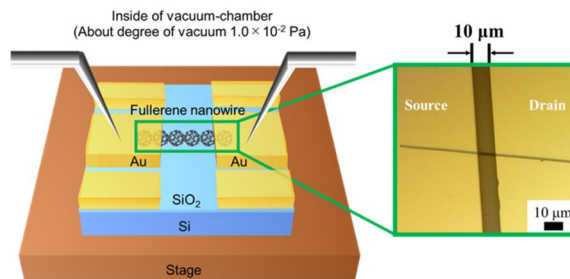


図2 素子評価の概略図

4. 研究成果

(1) 2元素ナノギャップ構造による高温素子特性の改善

新たに開発した2元素ナノギャップNEMSは、高温環境における原子拡散抑制機能により、リーク電流を抑制し、1173 K 超の温度環境でも不揮発性記憶素子としての機能

を維持した．高温環境でも機能喪失しない電子デバイスの創成に道を拓いた．

(2) 金属原子を内包する炭素系ナノ材料を用いた新しい2元素ナノギャップ素子

図5 (a)に C_{60} 素子, 図5 (b) $Lu_3N@C_{80}$ 素子の抵抗スイッチング特性結果を示す． C_{60} 素子は Set 電圧と Reset 電圧を印加することで高抵抗状態(HRS)と低抵抗状態(LRS)との2つの状態に区別することができなかった．一方, $Lu_3N@C_{80}$ 素子は HRS と LRS との2つの状態に区別することができた．この挙動は, 二端子ナノギャップ金属電極におけるスイッチングに類似している．2端子間でのフラレンチャンネルの抵抗変化モデルを図6に示す．フラレンナノ細線への電圧印加は, 分子間でトンネルスイッチ効果を引き起こし, 分子同士が近接または遠隔することで抵抗スイッチ効果が起きると考えられる．Set 電圧の印加によって, 分子同士が近接し, 抵抗値が初期抵抗状態(IRS)から LRS へと変化し, Reset 電圧の印加によって, 分子同士が遠隔し, 抵抗値が LRS から HRS へと変化すると考えられる．また, $Lu_3N@C_{80}$ 素子は金属内包によって C_{60} 素子より高い ON/OFF 比が得られたと考えられる．LLIP 法で合成したフラレンナノ細線で得た抵抗スイッチング特性にて, 固体素子化への可能性が探索可能となった．自己組織化技術を応用して, 金属元素を内包する炭素系ナノ材料を用いた2元素 NEMS 平面素子を製作し, その抵抗スイッチ特性を確かめた．ナノサイズ材料より構成される Nano Material Electrical System 素子への道を拓いた．

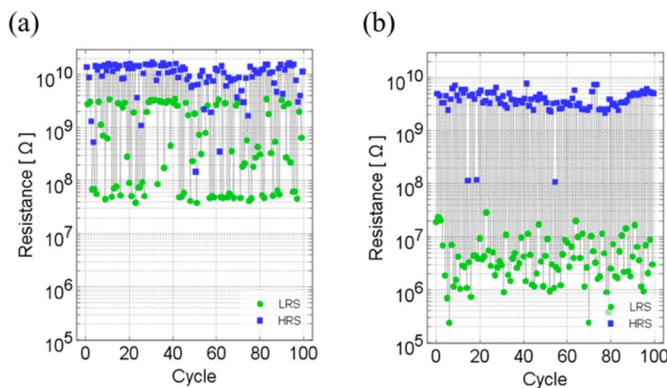


図5 フラレンナノギャップ NEMS 素子の抵抗スイッチ特性 (a) C_{60} チャンネル素子 (単元素ナノギャップ NEMS), (b) $Lu_3N@C_{80}$ チャンネル素子 (二元素ナノギャップ NEMS)．

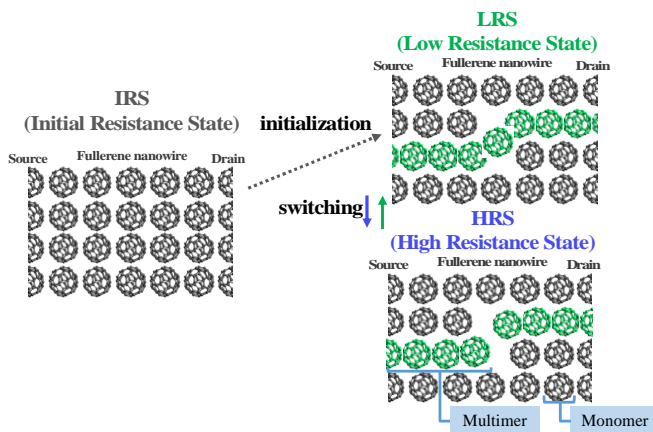


図6 フラレンチャンネルの抵抗変化モデル概略図

(3) 微細構造素子動作機構解明のため TEM 観察技術

ナノギャップ NEMS の TEM 観察に必要な, Si 基板に支持された SiO_2 ダイアフラム構造を簡便に製作することを目的に, 吸引プラズマ法を用いて, 表面に酸化膜が成膜された Si 基板を裏面から局所エッチング加工する TEM 試料作製技術を研究した．画像計測による膜厚計測とガス分圧制御により, エッチングの精度を 100 nm 程度まで精密化した．エッチング部の断面は椀形状になり, 最薄部は 100 nm 程度のシリコン酸化膜が薄膜として残存する．薄膜直下の構造(Au)を電子顕微鏡で観察することができること, すなわち, 作製したダイアフラム構造の電子線透過性を確認した． $SiO_2(280\text{ nm})/Si\ 380\ \mu\text{m}$ 厚を試料として用いた場合, 直径約 50 μm の SiO_2 ダイアフラムを約 20 分の加工時間で作製することができた．プロセスは, リソグラフィー工程を省略できる簡便な方法であり, 電子線透過能を備えた TEM その場観察用チップの高速な製作に応用できると期待できる．

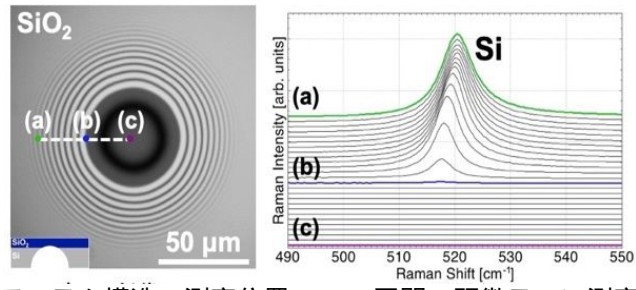


図7 SiO₂ ダイアフラム構造の測定位置 (a)-(d)区間の顕微ラマン測定による 520 cm⁻¹ 付近のラマンスペクトル . 中心から(a) 1 μm, (b) 25 μm, (c) 37 μm

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Naitoh Yasuhisa, Suga Hiroshi, Abe Takuya, Otsu Kazuki, Umeta Yukiya, Sumiya Touru, Shima Hisashi, Tsukagoshi Kazuhito, Akinaga Hiroyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Thermal robustness evaluation of nonvolatile memory using Pt nanogaps	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 085202 ~ 085202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/APEX.11.085202	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Hashiguchi Kyohei, Suzuki Kenta, Hiroshima Hiroshi, Naitoh Yasuhisa, Suga Hiroshi	4. 巻 31
2. 論文標題 Evaluation of Nanoimprinting Multilayer Lift-off Process using Spin-on-glass for Nanogap Electrode Array	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 277 ~ 282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.31.277	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 Hashiguchi Kyouhei, Suzuki Kenta, Hiroshima Hiroshi, Naitoh Yasuhisa, Suga Hiroshi	4. 巻 17
2. 論文標題 Pt Nanogap Electrode Fabrication by Two-Layer Lift-Off UV-NIL and Nanowire Breakdown	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 1094 ~ 1097
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1109/TNANO.2018.2844125	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 Kanou Ryo, Suga Hiroshi, Utsumi Hideyuki, Takahashi Satoshi, Shirayama Yuya, Watanabe Norimichi, Petit Stephane, Shimizu Tetsuo	4. 巻 56
2. 論文標題 Damage-free polymer surface modification employing inward-type plasma	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 086201 ~ 086201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/JJAP.56.086201	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 該当する

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yukiya Umeta, Zheng Shushu, Hiroshi Suga, Kazuhito Tsukagoshi
2. 発表標題 Resistance Switching Effect in Fullerene Nanowire
3. 学会等名 MANA international symposium "Toward Perceptive Nanomaterials, Devices and Systems" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小椋英里花, 磯部裕也, 菅洋志
2. 発表標題 化学気相研磨法による高効率なタングステン探針の作製技術
3. 学会等名 2019年度日本機械学会 関東支部 第25期講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木聡, 鈴木健太, 廣島洋, 菅洋志
2. 発表標題 スパッタ/反応性イオンエッチングによるマイクロ 流路底面へのナノ構造形成法
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部 第25期講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木博也, 菅洋志, 角谷透, 島久, 内藤泰久
2. 発表標題 エレクトロマイグレーション法による, シングルドメイン金ナノギャップ電極の作製
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 狩野諒, 菅洋志, 新堀俊一郎, 高橋賢, 久保利隆, 安藤淳, 清水哲夫, 宮脇淳
2. 発表標題 吸引プラズマエッチング法を用いたSiO ₂ ダイアフラム構造作製技術の開発
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石毛大智, 池田一貴, 菅洋志
2. 発表標題 クリープ変形過程の走査型電子顕微鏡その場観察技術
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木聡, 鈴木健太, 廣島洋, 菅洋志
2. 発表標題 マイクロ流路内への撥水性ナノ構造の作製
3. 学会等名 2018年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小椋英里花, 石毛大智, 菅洋志
2. 発表標題 酸化タングステンの昇華を利用したナノ探針作製法
3. 学会等名 2018年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 助川 啓太, 工藤 綾子, 菅洋志, 栗原依里, 岩瀬 千克, 作間直史, 白山 裕也
2. 発表標題 圧電インパクト駆動機構アクチュエータにおける摩擦部の検討と微小変位発生
3. 学会等名 2018年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋口恭平, 鈴木健太, 廣島洋, 菅洋志,
2. 発表標題 寸法再現性も良いUVナノインプリント用石英モールドの加工法の検討
3. 学会等名 第32回エレクトロニクス実装学会春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kyohei Hashiguchi, Kenta Suzuki, Hiroshi Hiroshima, Hiroshi Suga
2. 発表標題 Pt Nanogap Electode Fabricated by Two Layer Lift-off UV-NIL and Nanowire- breakdown Process
3. 学会等名 IEEE NMDC 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小椋英里花, 石毛大智, 金子和雅, 菅洋志
2. 発表標題 化学気相研磨法を用いた簡便なタングステン微細探針の作製法
3. 学会等名 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 助川啓太, 立野 真伍, 菅 洋志, 栗原依里, 白山裕也
2. 発表標題 走査型電子顕微鏡用インパクト駆動機構アクチュエータの開発
3. 学会等名 2017年度精密工学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木博也, 菅洋志, 角谷透, 内藤泰久, 塚越一仁
2. 発表標題 電界破断法によるAuナノギャップ電極の結晶性改善
3. 学会等名 第78回 応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石毛大智, 小椋英里花, 金子和雅, 菅洋志
2. 発表標題 簡便なタングステン探針作成法とそのメカニズム
3. 学会等名 第78回 応用物理学会 秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池田一貴, 菅洋志, 大野輝昭
2. 発表標題 ものづくり教材としての電子顕微鏡2
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 橋口恭平, 鈴木健太, 廣島洋, 菅洋志
2. 発表標題 ナノギャップ電極のアレイ化に向けたスピノングラスを用いたUVナノインプリント-多層リフトオフプロセスの評価
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池田一貴, 菅洋志, 大野輝昭
2. 発表標題 ワンチップマイコンを利用したSEMの制御系の開発
3. 学会等名 日本電子顕微鏡学会第73回学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 梅田有輝也, Shushu Zheng, 内藤泰久, 盧 興, 菅洋志, 塚越一仁
2. 発表標題 自己組織化フラーレンナノ細線の抵抗スイッチ効果
3. 学会等名 令和元年度日本表面真空学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部卓也, 菅洋志, 塚越一仁, 内藤泰久
2. 発表標題 蒸着時エレクトロマイグレーション法による3端子ナノ電極の形成
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 乙津和希, 菅洋志, 塚越一仁, 内藤泰久
2. 発表標題 Ptナノギャップメモリ素子の超高温環境下における劣化現象の解明
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 電子線透過膜および電子デバイス	発明者 菅 洋志、狩野 諒、 宮脇 淳、清水 哲夫	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2017-75503	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

菅研究室 Publications(研究業績) https://sites.google.com/a/p.chibakoudai.jp/sugalab/home/publications#presentation 千葉工業大学 工学部 菅 研究室 Publications https://sites.google.com/a/p.chibakoudai.jp/sugalab/home/publications
--

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
---------------------------	-----------------------	----