

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13657

研究課題名（和文）薄膜残留応力によるナノベルトの自己変形を利用したゼンマイ型ナノ構造体の創製と応用

研究課題名（英文）Fabrication and application of nanoscroll by self-deformation based on thin film residual stress

研究代表者

徳 悠葵（TOKU, Yuhki）

名古屋大学・工学研究科・講師

研究者番号：60750180

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では独自に提案した金属被覆ナノワイヤの自己らせん変形技術を開発させ、薄膜残留応力の分布を制御することにより、金属被覆ナノベルトに自己変形を発生させ、ナノゼンマイの創製を実現した。まず、コア材料であるSnO₂ナノベルトの各種寸法が熱昇華時の炉内圧力に大きく依存することを明らかにし、断面アスペクト比の制御を実現した。これにより、ゼンマイ形成に最適な形状のナノベルトを創製し、直線状のナノベルトから長手方向に曲率が変化するナノ構造体すなわちナノゼンマイの創製に成功した。さらに、当初未計画であったナノベルトの高感度ガスセンサへの応用も図り、ガス検出に有意な結晶面の存在を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、独自の金属被覆ナノワイヤの自己らせん変形技術「コア流動法」を展開し、ナノベルトのゼンマイ形成を実現した。ゼンマイ形状には力学的エネルギーを高効率・高密度に貯蔵できる特長があり、直接動作としてエネルギーを利用できることから、ナノスケールのエネルギー貯蔵形態として期待できる。我々が普段身近に扱っている電池などは構造が複雑であるため微小化することが困難であり、将来的にはマイクロ・ナノマシンの動力源問題が浮上すると考えられる。本研究はこのような問題に対する解決手段として世界に先駆けた提案であり、将来性・波及効果は大きい。

研究成果の概要（英文）： In this study, we have created a nanoscroll by using Self-deformation of coated nanobelt. The self deformation was achieved controlling the distribution of the residual stress on the longitudinal direction of nanobelt. First, it was clarified that various dimensions of the core material SnO₂ nanobelts greatly depended on the pressure in the furnace during thermal sublimation, and the control of the cross-sectional aspect ratio was realized. As a result, we have created a nanobelt with the optimum shape for forming a nanoscroll, and succeeded in creating the nanoscroll in which the curvature changes in the longitudinal direction from a linear nanobelt. In addition, we also applied the nanobelt to a high-sensitivity gas sensor, which was initially unplanned. The existence of a significant crystal plane for gas detection was confirmed.

研究分野：ナノ材料

キーワード：ナノベルト 薄膜 酸化スズ 熱昇華法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、ナノ材料分野の研究が盛んに行われており、ナノアクチュエータ・環境センサ・触媒利用・希少材料の省利用化など、さまざまな応用面において注目されている。これらの応用研究が進捗すれば、将来的にナノマシン技術の先駆けとなることが予想できる。一方、ナノスケールにおいて機械的動作を行うために必要な動力源は、例えば身近な電池などを利用したくとも、構造が複雑であるため単純に微小化できず、実装は困難である。以上のようなエネルギー問題はナノテクノロジーの将来的な課題点であり、技術的なブレークスルーが必要不可欠である。これまでにカーボンナノチューブをねじることによって力学的エネルギーを蓄え、アクチュエーションに利用しようとする研究や、微生物の運動を微小な歯車に伝達させる研究などが報告されているが、動作に変換する際の機構が複雑であるか、長期的な利用には向かない課題点がある。

2. 研究の目的

本研究では、独自の金属被覆ナノワイヤの自己らせん変形技術「コア流動法」を展開し、ナノベルトのゼンマイ形成実現を目指す。力学的エネルギーを蓄え動作するゼンマイ型ナノアクチュエータとして応用が期待できる。ゼンマイ形状による力学的エネルギー貯蔵の利点は高効率・高密度であること、直接動作としてエネルギーを利用できることから、ナノスケールのエネルギー貯蔵形態としての汎用性にも期待できる。

研究代表者はこれまでに、独自の薄膜残留応力を利用したナノ材料加工法、すなわちコア流動法を開発し、単一のナノワイヤをらせん変形させ、電磁気センサ・アクチュエータとして応用する研究を行ってきた。これまで本手法により、金属被覆ナノコイルや、原子間力顕微鏡用マイクロコイル探針の創製に成功している。本研究の次なる目標は、独自のコア流動法をさらに発展させ、ナノベルトのゼンマイ形成を達成することである。本研究にて創製するナノゼンマイは、素材の長手方向に異なる曲率を有することを特徴としたうずまき状ナノ構造体である。特筆すべきは、ナノスケールのゼンマイ変形に伴って力学的エネルギーを蓄えるという高密度エネルギー貯蔵機能の実現である。我々が普段身近に扱っている電池などは構造が複雑であるため微小化することが困難であり、将来的にはマイクロ・ナノマシンの動力源問題が浮上すると考えられる。本研究はこのような問題に対する解決手段として世界に先駆けた提案であり、将来性・波及効果は大きい。

3. 研究の方法

本研究では目的達成のために、2年計画にて次の3つの目標を設定し、研究を推進した。

I. ナノベルトの合成・形状の最適化

ゼンマイ形状へ変形させるための出発材料として、酸化スズを利用した。酸化スズナノベルトは熱昇華法により比較的容易に大量合成することができ、マニピュレーションも行きやすい形状なこと、断面アスペクト比が高いことから、ナノゼンマイ作製に適している。ナノゼンマイ形成における出発材料のナノベルトの断面形状はゼンマイ径に大きく影響を及ぼすため、ここでは、ナノベルト作製の条件を網羅的に調査することにより最適な断面を有するナノベルトの作製を実現した。具体的な方法としては、合成炉内の圧力を制御することによりスズの昇華点を変化させ、寸法制御を試みた。また、当初の研究計画に加えて、ナノベルトの断面制御と合成条件を明らかにすることにより、熱昇華法による結晶成長に関する検討を行い、特定の機能性結晶面を有するナノベルトの作製も並行して行った。

・単結晶ナノベルトの機能性表面の確認と応用

I.にて作製したナノベルトを用いて、ガス検知試験を実施した。単結晶であるナノベルトの断面形状を制御すると、ナノベルトの表面には特定の結晶面を広く露出させることができる。ここでは露出した結晶面が機能性表面として働くか確認するため当該実験を行った。試料は断面アスペクト比が高いものと低いものを用意し、ガス検出感度の比較により評価を行った。なお、検出ガスは1～5%濃度の水素とした。

III. ナノゼンマイの創製

I.において作製したナノベルトを単一分離し、コア流動法の適用によってゼンマイ形成を行った。

ゼンマイ状に変化させるためには、ナノベルトの長手方向に異なる膜厚が分布するよう製膜する必要がある。これは、長手方向に薄膜残留応力の分布を発現させ、曲率の異なる変形を誘起するためである。具体的には、製膜装置のターゲットとナノベルトの相対位置制御によって長手方向の不均一製膜を実施することにより薄膜残留応力の分布を実現した。ナノベルトは片持ちはり状にマイクロカンチレバーの先端に分離するが、支持するレバー付近では製膜過程における回り込み粒子が少なくなる。一方、支持部と反対のナノベルト先端ではスパッタ粒子の回り込みによって比較的膜厚の大きな被覆が生じる。最終的に製膜後のサンプルをコア部のみ加熱流動させることにより薄膜残留応力を解放し、ナノゼンマイの創製を実現した。

4. 研究成果

本研究では独自に提案した金属被覆ナノワイヤの自己らせん変形技術を発展させ、薄膜残留応力の分布を制御することにより、金属被覆ナノベルトに自己変形を発現させ、ナノゼンマイの創製を実現した。

まず、ゼンマイ形状へ変形させるための出発材料として本研究において作製した SnO_2 ナノベルト群の走査型電子顕微鏡(SEM)像を図1に示す。 SnO_2 ナノベルトは熱昇華法により比較的容易に大量合成することができるが、長さ・厚み・幅といった寸法の制御は従来困難であった。そこで本研究では、断面アスペクト比(幅/厚み)の制御を目指し、ナノベルト作製条件である熱昇華時におけるパラメータ(圧力・加熱温度・基板-原料間距離など)を網羅的に調査することによって、最適な断面を有する SnO_2 ナノベルト作製を試みた。本調査により、 SnO_2 ナノベルトの各種寸法が熱昇華時の炉内圧力に大きく依存することを明らかにし、断面アスペクト比の制御を実現した。具体的には断面アスペクト比(幅/厚さ)を1.23~7.39に制御することに成功した。また、合成圧力が大きくなるほどアスペクト比は大きくなる傾向にあることも確認した。なお、従来のナノベルト作製には基板にコーティングした金薄膜を触媒に使う方法や、無触媒によって合成する方法が提案されていたが、ナノベルトの形状にばらつきが多く、均一なナノベルトを大量に得ることは困難であった。本研究では単分散金ナノ粒子(直径100 nm, COSMO BIO社製)を触媒として新たに利用することによって、ナノベルト群の形状のばらつきが抑えられることを確認した。また、合成したナノベルトの数密度(本数)の制御にも成功している。

本ナノベルトを構成する酸化スズは、広く半導体材料としてガスセンサーや透明導電膜、電界効果トランジスタなどへの応用が展開されている。そこで、 SnO_2 ナノベルトの単結晶の特長を活かし、当初未計画であった高感度ガスセンサーとしての応用も図った。単一 SnO_2 ナノベルトのガス検出試験結果を図2に示す。橙点が高断面アスペクト比(30 kPaにて合成したナノベルト)、青点が低断面アスペクト比(5 kPaにて合成したナノベルト)のナノベルトを示している。ガスセンサーとしての機能を評価することにより、作製した SnO_2 ナノベルト表面の結晶構造について調査した。これにより、 SnO_2 ナノベルトは特定の結晶面にガスセンシングに有効な機能性を有することを確認した。すなわち、異なるアスペクト比を有するナノベルトが単なる表面積の違いでは説明できない半導体性能の変化を示した。具体的には、図2に示した2種類のナノベルトの表面積は約1.5倍(高アスペクト比のナノベルト/低アスペクト比のナノベルト)の違いであったが、検出感度は3~4倍に上昇した。これは、ガス検出に有意な結晶面の存在を示唆しており、特定の結晶面を広く形成できるナノベルトの特長であると考えられる。以上の断面アスペクト比制御技術は、機能性ナノ材料の創製に極めて有効である。

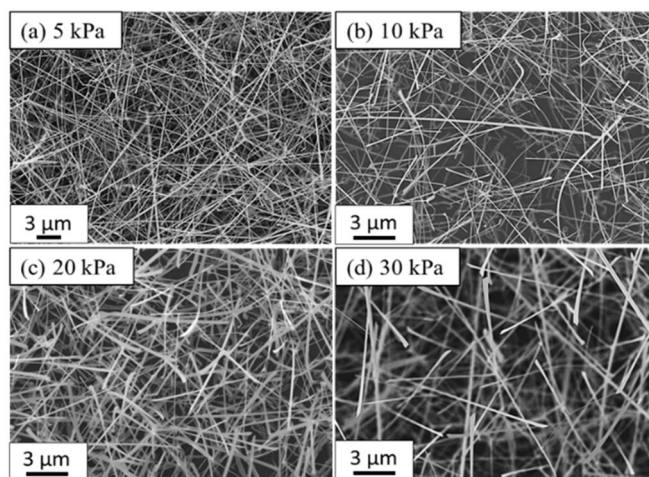


Fig. 1 SnO_2 nanobelt synthesized at (a) 5 kPa, (b) 10 kPa, (c) 20 kPa, and (d) 30 kPa

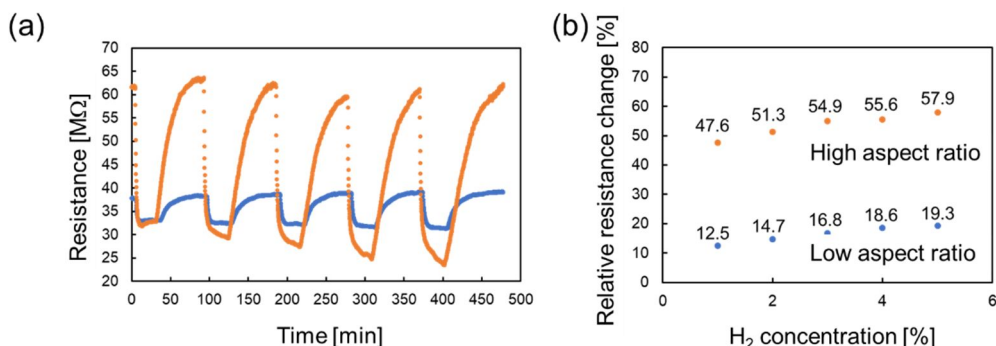


Fig. 2 Gas detection test results. (a) the relationship between the measured resistance of the SnO_2 nanobelt and time. (b) the relationship between the relative resistance and gas concentration.

最後に、作製したナノベルトを単一分離した後、コア流動法によって自己変形させたナノゼンマイのSEM像を図3に示す。本試料は単一のナノベルトに白金を約30~50nm製膜して残留応力を付与し、熱処理によって曲げ変形を誘起した1例である。基板側から徐々に曲率が大きくなり、ナノベルトがゼンマイ形状に変化していることがわかる。また、過去に作製した金属被覆ナノコイル(図4)に比べると、明らかにピッチを小さく制御できている。以上より、直線状のナノベルトから長手方向に曲率が変化するナノ構造体すなわちナノゼンマイの創製に成功した。また、本研究では製膜方法の工夫により、コア流動法を利用して様々な独自のらせん状ナノ構造体が創製できることを確認した。一方、ナノゼンマイには若干のピッチが発現しており、当初予定していた帯電反発によるアクチュエーションには至らなかった。今後は、効率的な帯電反発によるナノゼンマイのアクチュエーションを実現するため、周り込み粒子の制御に着目した新たな製膜手法を導入し、高度なピッチ制御を実現したい。これにより、ナノゼンマイによる高密度エネルギー貯蔵の実現を目指す。

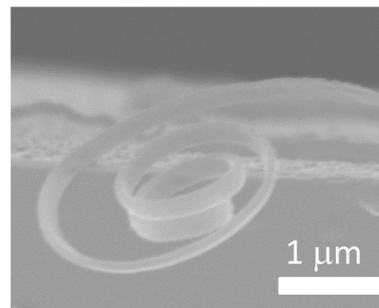


Fig. 3 Pt coated SnO₂ nanoscroll.

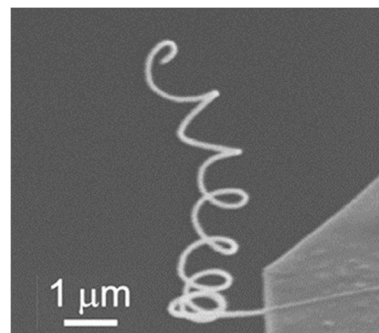


Fig. 4 Cr coated CuO nanocoil.

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6件)

S. Arumugam, Y. Toku, and Y. Ju, Fabrication of α -Fe₂O₃ nanowires from abundant and low-cost Fe plate for highly effective, Scientific reports, 査読有, 10, 2020, 5407.

Y. Toku, K. Ichioka, Y. Morita, and Y. Ju, A 64-pin Nanowire Surface Fastener Like a Ball Grid Array Applied for Room-temperature Electrical Bonding, Scientific reports, 査読有, 9, 2019, 1095.

B. Tong, M. Zhao, Y. Toku, Y. Morita, and Y. Ju, Local permittivity measurement of dielectric materials based on the non-contact force curve of microwave atomic force microscopy, The review of scientific instruments, 査読有, 90, 2019, 033706.

K. Yan, Y. Toku, and Y. Ju, Highly sensitive hydrogen sensor based on a new suspended structure of cross-stacked multiwall carbon nanotube sheet, International journal of hydrogen energy, 査読有, 44, 2019, 6344.

K. Yan, Y. Toku, Y. Morita, and Y. Ju, Fabrication of multiwall carbon nanotube sheet based hydrogen sensor on a stacking multi-layer structure, Nanotechnology, 査読有, 29, 2018, 375503.

Y. Toku, K. Uchida, Y. Morita, and Y. Ju, Nanowire surface fastener fabrication on flexible substrate, Nanotechnology, 査読有, 29, 2018, 305702.

[学会発表](計20件)

Y. Toku and Y. Ju, Adhesion properties of nanowire surface fastener, 30th international symposium on micro nano mechatronics and human science, 2019.

泉 有里, 木村 康裕, 徳 悠葵, 巨 陽, Cu₂O ナノ構造体の形状最適化および表面修飾による太陽光水分解変換効率の向上, 日本機械学会 M&M 2019 材料力学カンファレンス, 2019年.

木澤 蔵馬, 木村 康裕, 徳 悠葵, 巨 陽, 高周波高密度電流を利用した Au 薄膜の密着強度の向上, 日本機械学会 M&M 2019 材料力学カンファレンス, 2019年.

田口 託士, 木村 康裕, 徳 悠葵, 巨 陽, カーボンナノチューブシートを用いたフレキシブル透明導電膜の開発, 日本機械学会 M&M 2019 材料力学カンファレンス, 2019年.

徳 悠葵, 巨 陽, フレキシブルナノワイヤ面ファスナーの開発, 日本機械学会 M&M 若手シンポジウム, 2019年.

Y. Toku, K. Kizawa, K. Sugiura, Y. Morita, and Y. Ju, Improvement of thin film adhesion strength via current application, Proceedings of asia-pacific conference on fracture and strength 2018, 2018.

Y. Togawa, Y. Toku, Y. Morita, and Y. Ju, Control of shape and density of oxidized nanobelts, Proceedings of the 5th asian symposium on material and processing 2018, 2018.

Y. Izumi, Y. Toku, and Y. Ju, Development of Cu₂O 3D nanostructure used for photo electrode of solar water splitting, Proceedings of the 5th asian symposium on material and processing 2018, 2018.

T. Taguchi, Y. Toku, and Y. Ju, Improving spinnability of carbon nanotube sheet by controlling the density and alignment of carbon nanotubes array, Proceedings of the 5th asian symposium on material and processing 2018, 2018.

M. Zhao, B. Tong, Y. Toku, Y. Morita, Y. Ju, Evaluation of dielectric constant of biomaterial based on the force distance curve measured by microwave atomic force microscope, Proceedings of 29th 2018 international symposium on micro-nano mechatronics and human science, 2018.

M. Kato, Y. Toku, Y. Morita, and Y. Ju, Improvement of adhesion strength of the copper nanowire surface fastener by investigating the diameter ratio of nanowires, Proceedings of recent developments in integrity-reliability-failure, 2018.

Y. Toku, Y. Ueda, Y. Morita, and Y. Ju, Electromagnetic performance of spirally deformed coated nanowires, 6th international conference on integrity-reliability-failure, 2018.

Zhang Yiqi, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽, 熱酸化および還元プロセスによる Cu₂O ナノワイヤアレイの創製と水分解への応用, 日本機械学会 M&M 2018 材料力学カンファレンス, 2018年.

加藤 大博, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽, 銅ナノワイヤ面ファスナーの接着強度向上に向けた影響因子の最適化, 日本機械学会 M&M 2018 材料力学カンファレンス, 2018年.

田中 悠貴, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽, 透明導電膜作製に向けた応力原子拡散単結晶 Al ナノワイヤアレイの創製, 日本機械学会 M&M 2018 材料力学カンファレンス, 2018年.

河合 航大, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽, 酸化亜鉛薄膜を利用した多点型微小圧力検出センサの開発, 日本機械学会 M&M 2018 材料力学カンファレンス, 2018年.

戸川 陽介, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽, 高密度電流を利用した Au 薄膜の密着強度の向上, 日本機械学会 M&M 2018 材料力学カンファレンス, 2018年.

木澤 蔵馬, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽, SnO₂ ナノベルトの形状・密度制御に関する研究, 日本機械学会 第26回機械材料・材料加工技術講演会, 2018年.

泉 有里, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽, Cu₂O 三次元ナノ構造体の創製と水分解光電極への応用, 日本機械学会 2018年度年次大会, 2018年.

田口 託士, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽, カーボンナノチューブアレイの密度および配向性制御によるカーボンナノチューブシート紡績性の向上, 日本機械学会 2018年度年次大会, 2018年.

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称: 金属膜の製造方法

発明者: 徳 悠葵, 巨 陽, 杉浦 弘太郎

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特開 2019-196509

出願年: 平成 30 年

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/ju/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

徳 悠葵 (TOKU, Yuhki)

名古屋大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号: 60750180

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 S. Arumugam, Y. Toku, and Y. Ju	4. 巻 10
2. 論文標題 Fabrication of -fe2o3 nanowires from abundant and low-cost Fe plate for highly effective	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 5407
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-62259-6	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 Y. Toku, K. Ichioka, Y. Morita, and Y. Ju	4. 巻 9
2. 論文標題 A 64-pin Nanowire Surface Fastener Like a Ball Grid Array Applied for Room-temperature Electrical Bonding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 1095
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-37693-2	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 B. Tong, M. Zhao, Y. Toku, Y. Morita, and Y. Ju	4. 巻 90
2. 論文標題 Local permittivity measurement of dielectric materials based on the non-contact force curve of microwave atomic force microscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The review of scientific instruments	6. 最初と最後の頁 33706
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5066599	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 K. Yan, Y. Toku, and Y. Ju	4. 巻 44
2. 論文標題 Highly sensitive hydrogen sensor based on a new suspended structure of cross-stacked multiwall carbon nanotube sheet	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International journal of hydrogen energy	6. 最初と最後の頁 6344
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijhydene.2019.01.055	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 K. Yan, Y. Toku, Y. Morita, and Y. Ju	4. 巻 29
2. 論文標題 Fabrication of multiwall carbon nanotube sheet based hydrogen sensor on a stacking multi-layer structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 375503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aace96	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 Y. Toku, K. Uchida, Y. Morita, and Y. Ju	4. 巻 29
2. 論文標題 Nanowire surface fastener fabrication on flexible substrate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 305702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/aac284	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19件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Y. Toku and Y. Ju
2. 発表標題 Adhesion properties of nanowire surface fastener
3. 学会等名 30th international symposium on micro nano mechatronics and human science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 泉 有里, 木村 康裕, 徳 悠葵, 巨 陽
2. 発表標題 Cu ₂ Oナノ構造体の形状最適化および表面修飾による太陽光水分解変換効率の向上
3. 学会等名 日本機械学会 M&M2019材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木澤 蔵馬, 木村 康裕, 徳 悠葵, 巨 陽
2. 発表標題 高周波高密度電流を利用したAu薄膜の密着強度の向上
3. 学会等名 日本機械学会 M&M 2 0 1 9 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田口 託土, 木村 康裕, 徳 悠葵, 巨 陽
2. 発表標題 カーボンナノチューブシートを用いたフレキシブル透明導電膜の開発
3. 学会等名 日本機械学会 M&M 2 0 1 9 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 徳 悠葵, 巨 陽
2. 発表標題 フレキシブルナノワイヤ面ファスナーの開発
3. 学会等名 日本機械学会 M&M若手シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Toku, K. Kizawa, K. Sugiura, Y. Morita, and Y. Ju
2. 発表標題 Improvement of thin film adhesion strength via current application
3. 学会等名 asia-pacific conference on fracture and strength 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Togawa, Y. Toku, Y. Morita, and Y. Ju
2 . 発表標題 Control of shape and density of oxidized nanobelts
3 . 学会等名 the 5th asian symposium on material and processing 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Izumi, Y. Toku, and Y. Ju
2 . 発表標題 Development of Cu ₂ O 3D nanostructure used for photo electrode of solar water splitting
3 . 学会等名 the 5th asian symposium on material and processing 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Taguchi, Y. Toku, and Y. Ju
2 . 発表標題 Improving spinnability of carbon nanotube sheet by controlling the density and alignment of carbon nanotubes array
3 . 学会等名 the 5th asian symposium on material and processing 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M, Zhao, B. Tong, Y. Toku, Y. Morita, Y. Ju
2 . 発表標題 Evaluation of dielectric constant of biomaterial based on the force distance curve measured by microwave atomic force microscope
3 . 学会等名 29th 2018 international symposium on micro-nano mechatronics and human science (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Toku, Y. Ueda, Y. Morita, and Y. Ju
2. 発表標題 Electromagnetic performance of spirally deformed coated nanowires
3. 学会等名 6th international conference on integrity-reliability-failure (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zhang Yiqi, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽
2. 発表標題 熱酸化および還元プロセスによるCu ₂₀ ナノワイヤアレイの創製と水分解への応用
3. 学会等名 日本機械学会 M&M 2 0 1 8 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 大博, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽
2. 発表標題 銅ナノワイヤ面ファスナーの接着強度向上に向けた影響因子の最適化
3. 学会等名 日本機械学会 M&M 2 0 1 8 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中 悠貴, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽
2. 発表標題 透明導電膜作製に向けた応力原子拡散単結晶Alナノワイヤアレイの創製
3. 学会等名 日本機械学会 M&M 2 0 1 8 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河合 航大, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽
2. 発表標題 酸化亜鉛薄膜を利用した多点型微小圧力検出センサの開発
3. 学会等名 日本機械学会 M&M2018材料力学カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 泉 有里, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽
2. 発表標題 Cu ₂ O 三次元ナノ構造体の創製と水分解光電極への応用
3. 学会等名 日本機械学会 2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 戸川陽介, 徳悠葵, 森田康之, 巨陽
2. 発表標題 SnO ₂ ナノベルトの形状・密度制御に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 M&M2018材料力学カンファレンス
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田口 託土, 徳 悠葵, 森田 康之, 巨 陽
2. 発表標題 カーボンナノチューブアレイの密度および配向性制御によるカーボンナノチューブシート紡績性の向上
3. 学会等名 日本機械学会 2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木澤威馬, 徳悠葵, 巨陽
2. 発表標題 高密度電流を利用したAu薄膜の密着強度の向上
3. 学会等名 第26回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 金属膜の製造方法	発明者 徳悠葵, 巨陽, 杉浦 弘太郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-196509	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

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