

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01825

研究課題名(和文) 金属ナノ接点の力学特性におけるエントロピー効果

研究課題名(英文) A study of entropy effect of mechanical properties in metal nanocontacts

研究代表者

大島 義文(Oshima, Yoshifumi)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授

研究者番号：80272699

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：長辺振動水晶振動子(Length Extension Resonator)の力センサーを備えた透過型電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope)ホルダーを開発し、この水晶振動子を用いたナノメカニクス測定法を確立することを目的とした。この手法を用いて、白金原子鎖内の原子間結合スティッフネスが約 25 N/m であり、バルク結晶内の原子間結合スティッフネス、20 N/m よりも高いことを明らかにした。さらに、初期には 0.25 nm であった原子結合長さが、0.31 nm まで弾性的に伸び、その結果、25% と極めて大きな弾性歪みを有することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノ材料の力学的性質の解明は、NEMS、センサー、ナノデバイスなどの開発に欠かせない、極めて重要な課題である。しかしながら、ナノ材料の場合、表面効果、量子閉じ込め効果などにより、バルク結晶とは異なる力学的性質を有するが、形状や原子配列に敏感なため、明確に理解できていない。今回、研究代表者らは、従来にない新しい手法を開発することで、ナノ材料の力学的性質をより高い精度で測定できることを示し、そのエビデンスとして、白金原子鎖における個々の原子間結合スティッフネス測定を行った。本研究は、ナノ材料の力学的性質の解明にブレークスルーをもたらす成果である。

研究成果の概要(英文)：We developed a transmission electron microscope equipped with a force sensor of a quartz length extension resonator, and established a measurement method of mechanical responses of nanomaterials. By this method, it was clarified that the atomic bond stiffness in the platinum monatomic chain is about 25 N/m, which is higher than one in the bulk crystal, 20 N/m. Furthermore, it was found that the atomic bond length, which was 0.25 nm at the beginning, elastically extends to 0.31 nm and has an extremely large elastic strain of 25%.

研究分野：ナノメカニクス

キーワード：その場TEM TEM FM-AFM ナノ材料 力学的性質

1. 研究開始当初の背景

ナノ材料の物理的および化学的特性は、基礎材料科学とナノテクノロジーの両方の観点から広く研究されている。ナノ材料は、表面効果や量子閉じ込め効果によってバルク結晶にない新奇な物性が報告されている。最近、ナノ材料の弾性的性質について注目されている。第一原理計算により、金属ナノワイヤは、主に表面における原子変位に伴う電子の再分布を考慮すると、細くなるにつれて硬化または軟化する可能性があることが示されている[1]。あるいは、金属ナノワイヤのヤング率は、温度に大きく依存することも指摘されている[2]。このように、弾性変形は、理論計算による予測が数多く行われているものの、実験結果の報告例が少ないため、明らかになっていない。この理由の一つに、ナノ材料の機械的性質が形状や原子配列に敏感なため、原子スケールでの構造観察と同時に機械的性質を測定する必要があることが挙げられる。

これまでに、Si カンチレバーの力センサーを備えた TEM ホルダーを用いて、金属ナノ接点の機械的特性が調べられている[3]。しかし、この手法では、ナノ接点の変位(サブオングストローム)を適切に測定することが難しいため、測定精度が良くないという欠点がある。

2. 研究の目的

ナノ接点の機械的特性を明らかにするため、長辺振動水晶振動子(Length Extension Resonator)の力センサーを備えた透過型電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope)ホルダーを開発し、この水晶振動子を用いた測定法を確立することを目的とした。周波数変調(Frequency Modulation)法[4]を用いることで、ターゲットであるナノ材料の等価ばね定数(力の勾配に相当する)を LER の共振周波数シフトから直接評価できる点に大きなメリットがある。また、この手法を用いて、白金原子鎖内の原子結合スティッフネス(等価ばね定数)の測定を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

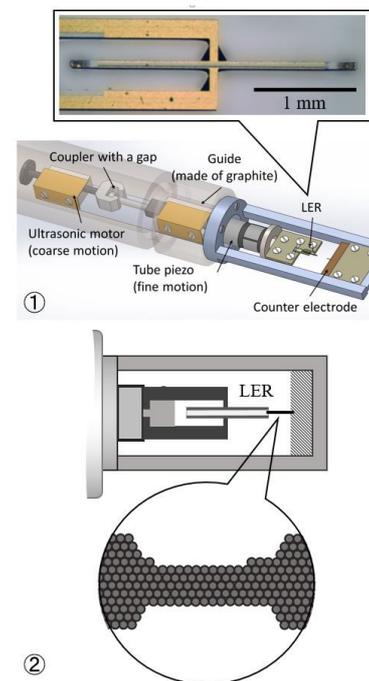
長辺振動水晶振動子(LER)[5]は、細長い振動子(長さ約 3mm、幅約 0.1mm)を長辺方向に伸縮振動させることで、ナノ接点の等価ばね定数(力の傾き)を検出することができる。特徴は、高い剛性($k_0 = 7.5 \times 10^5$ N/m)と高い共振周波数($f_0 \approx 1$ MHz)である。特に、前者は、化学的な結合スティッフネス(等価ばね定数)の測定に適しているだけでなく、小さい振幅で検出していることから、金属ナノ接点を壊すことなく弾性的な性質を得ることができ、かつ、原子分解能 TEM 像も同時に得られる可能性があるという大きな利点をもつ。

FM 法による金属ナノ接点の等価ばね定数(k_c)は、振動子の共振周波数が金属ナノ接点の接続によって周波数シフト(Δf)が生じる(連成振動によって)という現象を利用しており、その周波数シフト(Δf)を用いて、

$$k_c = 2k_0 \frac{\Delta f}{f_0} \quad (1)$$

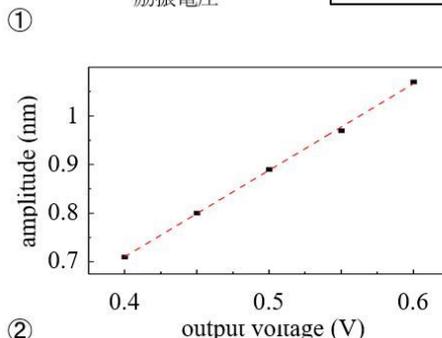
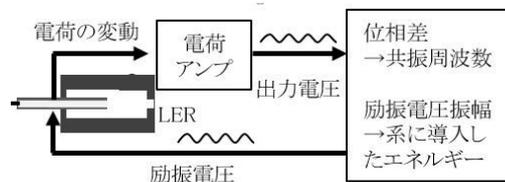
と書き表される。振動子の振幅が大きいと金属ナノ接点が塑性変形するため、振幅を十分に小さくすること、そして、共振周波数の変化を正確に測定する必要がある。

図(1)は、開発した LER を組み込んだ TEM 試料ホルダーを模式的に示した図である。この開発は、試料ホルダーの筒が太い JEOL 製透過型電子顕微鏡と互換性がある TEM 試料ホルダーで可能である[6,7]。写真は、LER (3EXW-1073、STATEK 社製)を拡大したものであり、センサーである細い棒の上下に金電極が取り付けられている。この電極に電圧を印加することによって、棒の軸に沿った方向、縦方向に変位させることができる。この LER は、PEEK (polyetherketoneketone 樹脂)ボードに取り付けられ、金属ナノワイヤを LER 先端と右側の固定電極間に作製する(図(1)参照)。これにより、金属ナノワイヤを TEM 観察しながらその弾性的性質を調べることができる。なお、図(1)のように、PEEK ボードは、チューブピエゾによる 3 方向に微調整、および、超音波リニアモーター(TULA50、Technohands)による LER 軸方向の粗動が可能である。PEEK ボードには、機械的安定性を確保するため、ガイドやカプラーを取り付けてある。これらの機能により機械的に安定した金属ナノ接点を得ることができ、その構造や弾性的性質を測定できた。



図(1) 開発したホルダーの模式図

次に、計測系について説明する。図(2) は、計測系の模式図である。LER に励振させるために正弦波の励振電圧 (V_{ex}) を印加し、その励振の振幅に応じて誘起される電荷をチャージアンプ(HQA-15M-10T、FEMTO Messtechnik GmbH、変換比 10 V / pC) によって電圧に変換し、正弦波の出力電圧 (V_{out}) として測定する。この出力電圧 (V_{out}) は、振幅に比例する。図(2) は、LER 励振の振幅と出力電圧の関係を示している。両者は、線形の関係を持っており、その傾きから LER 感度が 1.75 nm / V と決めることができた。この関係から、常に、励振振幅を把握することが出来る。イメージとして、LER のみが単独で振動している場合(金属接点がない場合)、LER の励振によって消費される程度のエネルギーを励振電圧で供給している。一方、金属接点が架橋されている場合、LER と接点の連成振動が生じるため、共振周波数が変化し、また、この連成振動によって消費される程度のエネルギーを励振電圧で供給する必要がある。さらに、この接点などで塑性変形(スリップ)が生じると、それに消費されるエネルギーをさらに供給する必要があるため、励振電圧を上げることになる。つまり、共振周波数の変化と励振電圧の変化から、金属ナノ接点の等価ばね定数や塑性変形に伴うエネルギー散逸の値を得ることが出来る。



図(2) 計測系の模式図

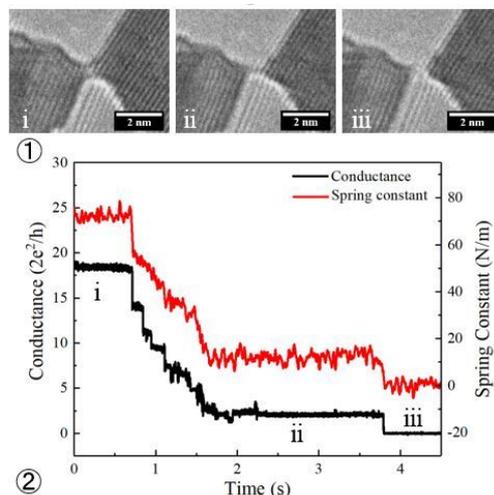
実験では、金属ナノ接点に 12.2 mV のバイアス電圧を印加し、2.4kHz のサンプリングレートで電流増幅器を用いて接点に流れる電流からモニターする。金属ナノ接点の高分解能 TEM 観察は、加速電圧 200kV の超高真空 TEM (JEM-2000VF) を用いて行った。TEM カラム内の真空度は、金属ナノ接点の汚染やガス吸着を避けるため 10^{-7} Pa 程度を維持し、室温 (293K) で観察を行った。TEM 像のビデオは CCD カメラによって 0.2 秒間隔で収録した。

4. 研究成果

図(3)は、チューブピエゾで白金(Pt)ナノ接点を引っ張る過程において得た TEM 像のスナップショット、および、コンダクタンスや等価ばね定数の時間変化を示す[7]。LER の励振振幅を 27 pm と設定した。この値は、隣接する Pt 原子間の距離よりも十分小さいため、等価ばね定数の測定に影響を与えない。図(3) は、同時計測したコンダクタンスと等価ばね定数である。コンダクタンスは、 $18.4 G_0$ と $2.0 G_0$ ($G_0 = 2e^2/h$,コンダクタンス量子数、e は素電荷、h はプランク定数)にプラトー(平坦)な領域をもち、また、等価ばね定数も同じような階段状変化を示す。一方、 $18.4 \sim 2.0 G_0$ の間で、コンダクタンスは小刻みであるが階段状の変化を示す(14.0, 11.1, 9.4, 7.0 G_0 等にプラトー有り)が、等価ばね定数には明確な階段状変化が見られない。この相違は、コンダクタンスがナノ接点の最小断面積によって決まるのに対し、等価ばね定数がナノ接点全体の形状や構造によって決まるという違いによると思われる。つまり、 $18.4 G_0$ と $2.0 G_0$ に対応する Pt ナノ接点が安定構造であり、引っ張りに対し単に弾性変形していたと考えられる。一方、 $18.4 \sim 2.0 G_0$ の間で、Pt ナノ接点は、引っ張りに対し準安定構造を遷移しながら安定構造へと変形して、たびたび原子の再配列が起きていたと推測される。

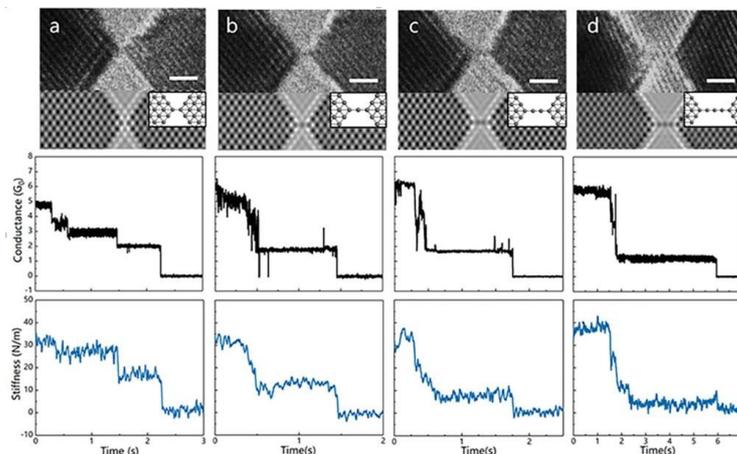
図(3) より、コンダクタンス $18.4 G_0$ と $2.0 G_0$ での Pt ナノ接点の等価ばね定数は、それぞれ 72.3N/m と 13.2N/m であった。これらの Pt ナノ接点の構造を仮定して像シミュレーションを行い、観察した TEM 像と比較することで、それぞれの Pt ナノ接点断面が 12 個と 1 個であると推定した。このことは、コンダクタンス $18.4 G_0$ の Pt ナノ接点は、 $2.0 G_0$ に比べて、断面積が 12 倍になるが、等価ばね定数は約 6 倍にしかならないことを意味し、ヤング率のサイズ依存性を示唆する。ただし、サイズ依存性については、さらなる実験による検証が必要である。Pt 原子鎖は、コンダクタンスが $2.0 G_0$ であった。この原子鎖は、3 つの Pt 原子で構成されて、約 2 秒間も維持していたことから、この原子鎖は安定した構造と言える。ポーリーらは、極めて細い金属ナノワイヤーの変位と負荷力の関係を調べ、理論的に Pt 原子鎖のばね定数を約 10 N/m と推定している[8]。この理論予測は、本研究で測定した等価ばね定数が妥当であることを示している[7]。

次に、Pt 単原子鎖の結合について詳しく調べた



図(3) 白金ナノ接点の実験結果

[9]。図(4)は、2、3、4、または5個の原子からなるPt単原子鎖のTEM像、および、その原子鎖の引張り過程におけるコンダクタンス、等価ばね定数の変化を示している（引張り速度は、0.08 nm/sec.）。コンダクタンスの値は、 $1.8G_0$ であり、引張りに対して変化していない。また、等価ばね定数も原子鎖が長くなるにつれて小さくなるが、引張りに対してほぼ一定値であった。このように、原子数が異なる約150個のPt単原子鎖を測定することで、2、3、4、または5個の原子からなるPt単原子鎖に対する等価ばね定数を特定することが出来た。ただし、測定した等価ばね定数には、原子鎖を支持している両サイドの基板のパネ定数を含んでいるため、この基板の寄与を取り除く必要がある。



図(4) 白金原子鎖の実験結果

基板先端原子と原子鎖内の原子間の結合スティッフネス、 k_{edge} 、原子鎖内にある原子の結合スティッフネス、 k_{chain} 、基板の等価ばね定数、 k_b 、と置くと、2、3、4、または5個からなるPt単原子鎖の等価ばね定数、 $k_{total(2)}$ 、 $k_{total(3)}$ 、 $k_{total(4)}$ 、 $k_{total(5)}$ は、以下のように表すことができる。

$$\frac{1}{k_{total(2)}} = \frac{1}{k_b} + \frac{1}{k_{edge}} \quad (1)$$

$$\frac{1}{k_{total(3)}} = \frac{1}{k_b} + \frac{2}{k_{edge}} \quad (2)$$

$$\frac{1}{k_{total(4)}} = \frac{1}{k_b} + \frac{2}{k_{edge}} + \frac{1}{k_{chain1}} \quad (3)$$

$$\frac{1}{k_{total(5)}} = \frac{1}{k_b} + \frac{2}{k_{edge}} + \frac{2}{k_{chain2}} \quad (4)$$

この連立方程式を解くことで、基板先端原子と原子鎖内の原子間の結合スティッフネスが約23 N/mであり、一方、原子鎖内の原子間結合スティッフネスが約25 N/mと推定できた。これらの値は、白金バルク結晶内の原子間結合スティッフネス、20 N/mよりも高い[9]。今回の実験条件では、スティッフネスの測定に少なくとも1 N/m オーダーの分解能があることから、1次元である原子鎖内で原子間結合が強くなっていることが明らかとなった。この結果は、Ir、Pt、Auなどの5d遷移金属に関する以前の研究と一致しており、原子鎖など配位数が小さい構造の結合スティッフネスは比較的高くなることを示唆している。

さらに、図(4)に示したように、Pt原子鎖は、引張りに対しても強いことがわかった。最大の変位量をプロトの長さから推定し、最大歪を求めた。初期には0.25 nmであった原子結合長さが、0.31 nmまで弾性的に伸びており、それに相当する歪が25%という極めて高い値であることが分かった[9]。このような大きな弾性歪も、バルク結晶などでは考えることも出来ず、原子鎖特有の特性と思われる。このような1次元である原子鎖特有の現象は、「弦の張力」という理論で説明できた。この理論によれば、このような1次元系物質は、それを支持している基板によって引っ張られていることで存在しており、その引張りの力が極小値となるような原子配列になるという考えで説明できた。

以上、原子スケール材料の機械的特性を調べるためのその場TEM計測法を開発した。長辺振動水晶振動子(LER)のカセンサーを取り付けたその場TEMホルダーは、原子スケール材料の構造を観察すると同時に高い精度でその等価ばね定数を測定できる。実際、開発したTEMホルダーを用いて、白金(Pt)原子鎖が量子化コンダクタンス $2.0 G_0$ を取り、そのばね定数が13.2 N/mであると測定できた。

さらに、この測定手法を用いて、白金原子鎖における個々の原子間結合スティッフネスの推定に成功した。原子鎖内の原子間結合スティッフネスが約25 N/mであり、白金バルク結晶内の原子間結合スティッフネス、20 N/mよりも高いことが分かった。さらに、初期には0.25 nmであった原子結合長さが、0.31 nmまで弾性的に伸びることができ、それに相当する最大歪が25%と極めて高い値になることが分かった。これらの特徴的な性質は、「弦の張力」という理論で説明できた。

参考文献

- [1] Zhou, L G and Huang, H : Appl. Phys. Lett. **84**, 1940–1942 (2004).
- [2] Ao, Z M, Li, S and Jiang, Q : Appl. Phys. Lett. **93**, 081905 (3pages) (2008).
- [3] Kizuka, T and Ashida, S : Sci. Rep. **5** 13529 (2015).
- [4] Albrecht, T R, Grütter, P, Horne, D and Rugar, D : J. Appl. Phys. **69**, 668–673 (1991).
- [5] An, T, Eguchi, T, Akiyama, K and Hasegawa, Y : Appl. Phys. Lett. **87**, 133114 (3pages) (2005).
- [6] Ishizuka, K, Tomitori, M, Ara, T and Oshima, Y : Appl. Phys. Express. **13**, 025001 (5pages) (2020).
- [7] Zhang, J., Ishizuka, K., Tomitori, M, Ara, T and Oshima, Y : Nanotechnology. **31**, 205706 (10 pages) (2020).
- [8] Pauly F, Dreher M, Viljas J K, Hafner M, Cuevas J C and Nielaba P : Phys. Rev. B **74**, 235106 (21 pages) (2006).
- [9] Zhang, J., Ishizuka, K., Tomitori, M, Ara, T and Oshima, Y : Nano Lett. **21**, 3922 (7 pages) (2021).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Lei Li, Li Limin, Wang Shasha, Zhao Gaoyang, Oshima Yoshifumi, Ren Yang, Zhao Lei, Jin Lihua, Wang Yao, Li Chengshan, Zhang Pingxiang	4. 巻 38
2. 論文標題 Preparation of biaxially textured Ce 1-x (Y 0.2 Zr 0.8) x O buffer layers on RABiTS NiW tapes by chemical solution deposition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the European Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 4694 ~ 4700
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jeurceramsoc.2018.06.037	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
1. 著者名 Lei Li, Li Limin, Wang Shasha, Jia Jiqiang, Zhao Gaoyang, Oshima Yoshifumi, Jin Lihua, Wang Yao, Li Chengshan, Zhang Pingxiang	4. 巻 44
2. 論文標題 Highly (001)-oriented zirconium-doped ceria films grown on biaxially textured nickel tungsten substrates through an inorganic-salts-based chemical solution deposition route	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 16025 ~ 16029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2018.06.039	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
1. 著者名 Lei Li, Li Limin, Wang Shasha, Zhao Gaoyang, Jia Jiqiang, Oshima Yoshifumi, Zhao Lei, Jin Lihua, Wang Yao, Li Chengshan, Zhang Pingxiang	4. 巻 142
2. 論文標題 A compositional gradient Ce 1-x Zr x O 2 buffer architecture for producing high-performance YBCO film	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Characterization	6. 最初と最後の頁 383 ~ 388
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchar.2018.06.002	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
1. 著者名 Sasaki Masayuki, Yamashita Yu, Matsui Hiroyuki, Oshima Yoshifumi, Takeya Jun	4. 巻 68
2. 論文標題 Transmission electron diffraction study of a uniaxially-ordered high-mobility polymeric semiconductor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 167 ~ 173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jmicro/dfy139	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 Yonezawa Takahiro, Murakami Tatsuya, Higashimine Koichi, Fleurence Antoine, Oshima Yoshifumi, Yamada-Takamura Yukiko	4. 巻 51
2. 論文標題 Atomistic study of GaSe/Ge(111) interface formed through van der Waals epitaxy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Surface and Interface Analysis	6. 最初と最後の頁 95 ~ 99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/sia.6557	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34件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 石塚慧介、村上拓、大島義文、富取正彦、新井豊子
2. 発表標題 金接点弾性のシングルナノスケールでの特異的寸法依存性
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小堀 雄稀、石塚 慧介、村上 拓、富取 正彦、新井豊子、大島 義文
2. 発表標題 水晶振動子センサーを用いた金ナノ接点ヤング率の精密測定
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第74回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大久保 諒、水谷 加奈子、Liu 春萌、張 曉賓、シュミットマレク、ムルガナタンマノハラン、水田 博、大島 義文
2. 発表標題 グラフェンナノリボン電気伝導計測のためのデバイス構造の作製
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第74回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 張 曉賓、水谷 加奈子、Muruganathan Manoharan、Schmidt Marek、水田 博、大島 義文
2. 発表標題 電子線照射による単層グラフェン上ナノポアの制御的加工
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第74回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R.Okubo, K. Mizutani, C. Liu, X. Zhang, M. E. Schmidt, M. Muruganathan, H. Mizuta, and Y. Oshima
2. 発表標題 Electrical Conductance Measurement of Graphene Nanoribbons
3. 学会等名 19th International Microscopy Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 X. Zhang, K. Mizutani, M. Muruganathan, M. E. Schmidt, H. Mizuta, Y. Oshima
2. 発表標題 Fabrication of nanopores in monolayer graphene with controllable edge structures
3. 学会等名 19th International Microscopy Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ishizuka, T. Murakami, Y. Kobori, M. Tomitori, T. Arai, Y. Oshima
2. 発表標題 Young's Modulus of Single Nano Scale Gold Nanowires Estimated by TEM AFM
3. 学会等名 19th International Microscopy Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Oshima
2. 発表標題 Operando TEM observation of lithium ion battery
3. 学会等名 19th International Microscopy Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 YiLing Chiew and Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 Synthesis of Silver Sulfide Nanostructure and Its Microstructural Observation
3. 学会等名 Asian conference on Nanoscience and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chunmeng Liu, Ryo Okubo, Xiaobin Zhang, Marek E. Schmidt, Manoharan Muruganathan, Hiroshi Mizuta and Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 In-situ Electrical Conductance Measurement of Suspended Graphene Nanoribbon by Transmission Electron Microscopy
3. 学会等名 Asian conference on Nanoscience and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jiaqi Zhang, Yuki Kobori, Keisuke Ishizuka, Masahiko Tomitori, Tokyoko Arai and Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 Mechanical Properties of Metal Nano-contacts Measured by TEM Combined with Frequency Modulation Force Sensor
3. 学会等名 Asian conference on Nanoscience and Nanotechnology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xiaobin Zhang
2. 発表標題 Transition from Pentaheptite Structural Graphene Nanoribbon to Carbon Atomic Chains
3. 学会等名 Asian conference on Nanoscience and Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshifumi Oshima
2. 発表標題 Operando TEM Observation of Lithium Ion Battery
3. 学会等名 Asian conference on Nanoscience and Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yonezawa, H. Nitta, T. Murakami, K. Higashimine, A. Fleurence, Y. Oshima and Y. Y. Takamura
2. 発表標題 Influence of strain at GaSe/Ge(111) interface formed through Van der Waals epitaxy
3. 学会等名 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G. He, Y. Oshima and M. Tomitori
2. 発表標題 In-situ Scanning Electron Microscopy Observation of Electro-plating and Stripping of Lead Dendrites in an Electrochemical Cell
3. 学会等名 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Ishizuka, T. Murakami, Y. Kobori, M. Tomitori, T. Arai and Y. Oshima
2. 発表標題 Estimation for Young 's Modulus of Au Nanowires by TEM combined with AFM
3. 学会等名 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Mitera, T. Murakami, R. Hashimoto, K. Ishizuka, Y. Oshima, M. Tomitori and T. Arai
2. 発表標題 Measurements of Electronic Conductance and Mechanical Properties of Gold Point Contacts Based on Frequency Modulation Atomic Force Microscopy
3. 学会等名 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒田雄貴,大島義文
2. 発表標題 シリコンナノワイヤ電気伝導特性計測を目指したTEM-STMホルダーの開発
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大久保諒, Liu 春萌,張曉賓,シュミットマレク,ムルガナタンマノハラン,水田博,大島義文
2. 発表標題 透過電子顕微鏡その場観察によるグラフェンナノリボン電気伝導計測
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小堀雄稀,石塚慧介,富取正彦,新井豊子,大島義文
2. 発表標題 長辺振動水晶振動子を組み込んだTEM によるAu ナノワイヤの特異的力学特性の観察
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 見寺悠伽,石塚慧介,小堀雄稀,大島義文,富取正彦,新井豊子
2. 発表標題 周波数変調原子間力顕微鏡法を用いたナノ接点の力学特性測定の研究
3. 学会等名 2018年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 G. He, Y. Oshima, M. Tomitori
2. 発表標題 Electro-plating and stripping of lead dendrites observed by operando scanning electron microscopy with an electrochemical cell
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小堀 雄稀、石塚 慧介、見寺 悠伽、富取 正彦、新井 豊子、大島 義文
2. 発表標題 TEM-周波数変調法を用いたAuナノワイヤのヤング率方位依存性の測定
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石塚 慧介、小堀 雄稀、見寺 悠伽、富取 正彦、新井 豊子、大島 義文
2. 発表標題 サブ10nmスケールにおける金ナノ接点の定量的弾性評価
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Zhang, Y. Kobori, K. Ishizuka, M. Tomitori, T. Arai, Y. Oshima
2. 発表標題 Mechanical properties of Pt nano-contacts measured by TEM combined with a frequency-modulation force sensing system
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 張 曉賓、M. Manoharan、岩下 晋也、S. Marek、水田 博、大島 義文
2. 発表標題 グラフェンナノリボンよりカーボンアトミックチェンへの形成メカニズム
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 L. Xie, X. Zhang, Y. Oshima
2. 発表標題 Dislocation-Driven Growth of CuO Nanowires
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陳 桐民、大島 義文、赤堀 誠志
2. 発表標題 STEMモアレフリンジ法によるInP/InGaAs界面歪み分布計測
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. LIU, R. Okubo, X. Zhang, M. E. Schmidt, M. Manoharan, H. Mizuta, Y. Oshima
2. 発表標題 The Fabrication of Suspended Graphene Nanoribbon for In-situ Transmission Electron Microscopy Observation
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 (X. Chen, G. He, M. Akabori, K. Ohdaira, M. Tomitori, Y. Oshima)
2. 発表標題 Operando SEM observation of corrosion process of Al foil
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Mizuta, M. Haque, S. Kubo, Y. Oshima, S. Ogawa, M. Muruganathan
2. 発表標題 Design and fabrication of single-nanometer-scale graphene phononic crystals for thermal engineering by using focused helium ion beam
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yi Ling Chiew, S. Abe, M. Miyata, M. Koyano, Y. Oshima
2. 発表標題 Determination of intercalated Fe atomic arrangement in TiS ₂ layers using transmission electron diffraction
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒田 雄貴、大島 義文
2. 発表標題 TEM-STMホルダーを用いたシリコンナノワイヤの作製
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石塚慧介, 小堀雄稀, 見寺悠伽, 村上拓, 富取正彦, 新井豊子, 大島義文
2. 発表標題 長辺水晶振動子力学センサーを組み込んだ超高真空透過型電子顕微鏡法によるナノ接点ヤング率の定量計測
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	三宮 工 (Sannomiya Takumi) (60610152)	東京工業大学・物質理工学院・准教授 (12608)	

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