

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24651138

研究課題名(和文)自己組織化酸化物1次元ナノ構造体による酸化還元ナノスケールスイッチング素子の創成

研究課題名(英文)Synthesis of redox based switching nanodevice using oxide nanowire

研究代表者

長島 一樹(Nagashima, Kazuki)

大阪大学・産業科学研究所・助教

研究者番号：10585988

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、従来困難であった自己組織化単結晶酸化物ナノワイヤ構造体の創成、及び形成・組成制御を成長メカニズムを明らかにすると共に実現可能にし、作製した酸化物ナノワイヤを用いて酸化還元ナノスケールスイッチング素子を実証することに成功した。更には本素子の安定動作メカニズムを明らかにすることで、大気環境下で安定動作するナノスケールスイッチング素子の設計指針を得ることに成功した。

研究成果の概要(英文):Self-assembled single crystalline oxide nanowires were successfully synthesized by understanding the underlying growth mechanism. Using the oxide nanowires, the nanoscale redox based switching devices were also demonstrated with a design rule for stable switching operation.

研究分野：ナノ材料科学

キーワード：酸化物ナノワイヤ VLS成長 酸化還元 スwitching素子

### 1. 研究開始当初の背景

60年前に初めて登場したトランジスタは今やチャネル長 22nm (intel Tri-gate transistor (2011))にまで微細化が進み、超高性能エレクトロニクスのみならずナノバイオ分子計測を可能とするサイズ領域にまで発展してきている。トランジスタの更なる微細化により、更なる高集積デバイスの実現より微小なナノバイオ分子計測の可能性が期待されるが、10nm以下のスケールにおける量子力学的な効果(ソースドレイン間トンネル現象)のために理論的な動作限界が示唆されている。キャリア有効質量  $m^*$  の増加変調によりトンネル現象の劇的な抑制効果が予測されているが、同時に素子特性が劣化するというジレンマが存在する。従来トランジスタに代わる新動作原理も幾つか提案されているが(単電子トランジスタ、スピントランジスタ等)、1) 室温動作、2) 低消費電力化、3) n-p 両極性動作、4) 10nm以下での動作を5) 極めて簡単な素子構造で実現する原理が見当たらず、加えてシングルナノスケールのトランジスタ動作を検証するナノ構造作製技術及び測定技術が確立していないのが現状である。

### 2. 研究の目的

本研究では、これまで我々が独自に構築してきた自己組織化酸化ナノワイヤ形成メカニズムによりキャリア有効質量の大きな p 型及び n 型酸化物(NiO, TiO<sub>2</sub>)のナノ構造体を創成し、我々が最近の研究で実証(Nano Lett. 2011)に成功している酸素イオンを介したナノスケール酸化還元反応により、移動度に依らない原理で室温動作・低消費電力化が可能な酸化ナノスケールスイッチング素子を実証することを目的とする。

### 3. 研究の方法

パルスレーザー堆積法(PLD 法)を用いて酸化ニッケル(NiO)ナノワイヤ、酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)ナノワイヤ、及び電極材料として利用するインジウム錫酸化物(ITO)ナノワイヤの作製を行った。ナノワイヤ成長に先立ち、基板に金薄膜を蒸着し、真空中で加熱することによりナノメートルスケールの金属ドロップレット(液滴)を形成した。気液固(Vapor-liquid-solid)成長メカニズムに基づいて各種材料を気相・液相(液滴)・固相へと規定された経路で物質移動させることで金属ドロップレットの下部に単結晶酸化ナノワイヤの成長が可能となる。ITO ナノワイヤ及び TiO<sub>2</sub> ナノワイヤの成長に関してはこれまで報告があったが、その化学組成、径、及び成長速度の制御性が低く、所望の形状及び物性を有するナノワイヤ成長が困難であった。一方、p 型酸化物である NiO ナノワイヤの成長に関してはそれまで報告がなく、本研究が初めての試みであった。各種成長条件(温度・酸素分圧・材料供給フラック

ス)を系統的に変化させることにより酸化ナノワイヤの形状・組成・成長速度との相関性を検証した。ナノワイヤの形状、結晶成長方位、及び化学組成を走査型電子顕微鏡(FESEM)、X線構造解析(XRD)、透過型電子顕微鏡(TEM)、エネルギー分散型 X 線分析(EDS)を用いて評価した。

次いで、酸化ナノスケールスイッチング素子特性を評価するために、単一酸化ナノワイヤから成る物性評価用素子を作製した。基板に成長した酸化ナノワイヤを 2-ブロパノール溶媒中で超音波処理を施し、液中に分散させた。液中に分散されたナノワイヤを Si/SiO<sub>2</sub> 基板に展開し、電子線リソグラフィを用いてナノ電極間へのポジショニングを行った。

作製した単一酸化ナノワイヤ素子の電気輸送特性評価を様々な環境下(大気中・真空中)で行い、酸化ナノスケールスイッチング素子の動作特性、及び安定性の検証を行った。

### 4. 研究成果

(1) 単結晶酸化ナノワイヤの創成・制御  
金ナノ触媒を介した気液固(VLS)成長機構により TiO<sub>2</sub> ナノワイヤ、ITO ナノワイヤ、NiO ナノワイヤの創成に成功した。従来、成長速度のみに作用すると考えられてきた材料供給フラックスが、ナノワイヤ成長の可否を決定する重要な制御因子であることを明らかにすると共に、これを厳密に制御することによりナノワイヤの形状・サイズ・化学組成を変調可能であることを明らかにした。

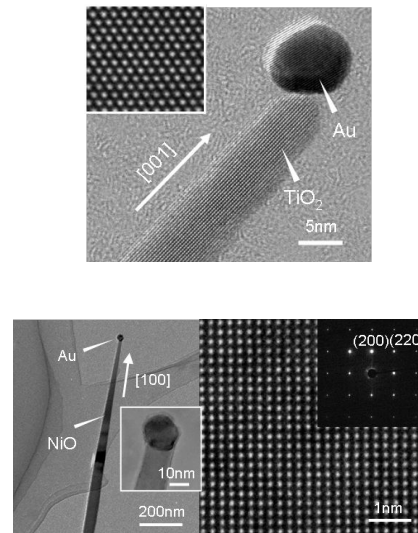


図1 作製された単結晶酸化ナノワイヤの透過電子顕微鏡像

(2) 単一酸化ナノワイヤ素子を用いた酸化ナノスケールスイッチング現象

上記で作製された酸化ナノワイヤを用いて単一酸化ナノワイヤ素子を作製し、酸化ナノスケールスイッチング現象の検証を行った。その結果、単結晶酸化ナノワイ

ヤによるナノスケールスイッチング現象では従来多結晶酸化物と比較してばらつきの小さいスイッチング特性が得られることを明らかにした。

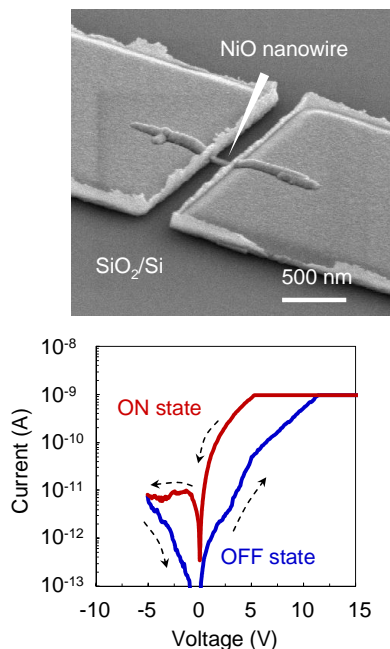


図2 単一酸化物ナノワイヤ素子の走査電子顕微鏡像(上)及び酸化物ナノスケールスイッチング特性(下)

### (3) 酸化物ナノスケールスイッチング現象における安定化メカニズムの解明

上記で検証した酸化物ナノワイヤ素子のスイッチング現象を種々の環境下で評価することにより、酸化物ナノスケールスイッチング現象の材料依存性、及び安定化メカニズムを解明することに成功した。加えて、大気環境下で不安定なスイッチング現象を示すTiO<sub>2</sub>ナノワイヤ素子において、本研究で明らかにした安定化メカニズムに基づいて保護膜を形成することにより、同環境下でも安定したスイッチング現象を得ることに成功した。

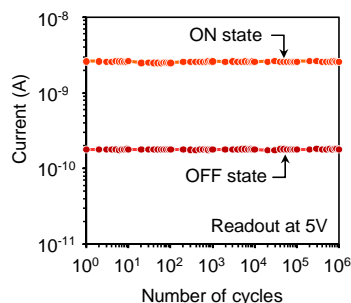


図3 保護層で被覆されたTiO<sub>2</sub>ナノワイヤスイッチング素子の繰り返し動作特性

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計13件)

1. G. Meng, T. Yanagida, K. Nagashima, T. Yanagishita, M. Kanai, K. Oka, A.

Klamchuen, S. Rahong, M. Horprathum, B. Xu, F. W. Zhuge, Y. He, H. Masuda and T. Kawai, "Facile and scalable patterning of sublithographic scale uniform nanowires by ultra-thin AAO free-standing membrane" RSC Advances 2, 10618-10623 (2012) 査読有

2. K. Nagashima, T. Yanagida, K. Oka, M. Kanai, A. Klamchuen, S. Rahong, G. Meng, M. Horprathum, B. Xu, F. W. Zhuge, Y. He, B. H. Park and T. Kawai, "Prominent Thermodynamical Interaction with Surroundings on Nanoscale Memristive Switching of Metal Oxides" Nano Letters 12, 5684-5690 (2012) 査読有
3. K. Nagashima, T. Yanagida, M. Kanai, K. Oka, A. Klamchuen, S. Rahong, G. Meng, M. Horprathum, B. Xu, F. W. Zhuge, Y. He and T. Kawai, "Switching Properties of Titanium Dioxide Nanowire Memristor" Japanese Journal of Applied Physics 51, 11PE09 (2012) 査読有
4. F. W. Zhuge, T. Yanagida, K. Nagashima, H. Yoshida, M. Kanai, B. Xu, A. Klamchuen, G. Meng, Y. He, S. Rahong, X. M. Li, M. Suzuki, S. Kai, S. Takeda and T. Kawai, "Fundamental Strategy for Creating VLS Grown TiO<sub>2</sub> Single Crystalline Nanowires" The Journal of Physical Chemistry C 116, 24367-24372 (2012) 査読有
5. Y. He, T. Yanagida, K. Nagashima, F. W. Zhuge, G. Meng, B. Xu, A. Klamchuen, S. Rahong, M. Kanai, X. M. Li, M. Suzuki, S. Kai and T. Kawai, "Crystal-Plane Dependence of Critical Concentration for Nucleation on Hydrothermal ZnO Nanowires" The Journal of Physical Chemistry C 117, 1197-1203 (2013) 査読有
6. G. Meng, T. Yanagida, M. Kanai, M. Suzuki, K. Nagashima, B. Xu, F. W. Zhuge, A. Klamchuen, Y. He, S. Rahong, S. Kai and T. Kawai, "Pressure induced evaporation dynamics of gold nanoparticles on oxide substrate" Physical Review E 87, 012405 (2013) 査読有
7. T. Yasui, S. Rahong, K. Motoyama, T. Yanagida, Q. Wu, N. Kaji, M. Kanai, K. Doi, K. Nagashima, M. Tokeshi, M. Taniguchi, S. Kawano, T. Kawai and Y. Baba, "DNA Manipulation and Separation in Sublithographic-Scale Nanowire Array" ACS Nano 7, 3029-3035 (2013) 査読有
8. T. Yanagida, K. Nagashima, K. Oka, M. Kanai, A. Klamchuen, B. H. Park and T.

- Kawai, "Scaling Effect on Unipolar and Bipolar Resistive Switching of Metal Oxides" *Scientific Reports* 3, 1657 (2013) 査読有
9. G. Meng, T. Yanagida, K. Nagashima, H. Yoshida, M. Kanai, A. Klamchuen, F. W. Zhuge, Y. He, S. Rahong, X. Fang, S. Takeda and T. Kawai, "Impact of Preferential Indium Nucleation on Electrical Conductivity of VLS Grown Indium-Tin-Oxide Nanowires" *Journal of the American Chemical Society* 135, 7033-7038 (2013) 査読有
  10. A. Klamchuen, H. Tanaka, D. Tanaka, H. Toyama, G. Meng, S. Rahong, K. Nagashima, M. Kanai, T. Yanagida, T. Kawai and T. Ogawa, "Advanced Photoassisted Atomic Switches Produced Using ITO Nanowire Electrodes and Molten Photoconductive Organic Semiconductors" *Advanced Materials* 25, 5893-5897 (2013) 査読有
  11. K. Nagashima, T. Yanagida, M. Kanai, U. Celano, S. Rahong, G. Meng, F. W. Zhuge, Y. He, B. H. Park and T. Kawai, "Carrier type dependence on spatial asymmetry of unipolar resistive switching of metal oxides" *Applied Physics Letters* 103, 173506 (2013) 査読有
  12. G. Meng, T. Yanagida, H. Yoshida, K. Nagashima, M. Kanai, F. W. Zhuge, Y. He, A. Klamchuen, S. Rahong, X. Fang, S. Takeda and T. Kawai, "A flux induced crystal phase transition in the vapor-liquid-solid growth of indium-tin oxide nanowires" *Nanoscale* 6, 7033-7038 (2014) 査読有
  13. K. Nagashima, H. Koga, U. Celano, F. W. Zhuge, M. Kanai, S. Rahong, G. Meng, Y. He, J. D. Boeck, M. Jurczak, W. Vandervorst, T. Kitaoka, M. Nogi and T. Yanagida, "Cellulose Nanofiber Paper as an Ultra Flexible Nonvolatile Memory" *Scientific Reports* 4, 5532 (2014) 査読有
- [学会発表](計 59 件)
1. K. Nagashima, T. Yanagida, K. Oka, M. Kanai, A. Klamchuen, B. H. Park and T. Kawai, "Identification of Nanoscale Memristive Switching Using a Single Oxide Nanowire" *Material Research Society Spring Meeting 2012*, San Francisco, USA, 2012.4.9-4.13
  2. K. Nagashima, T. Yanagida, K. Oka, M. Kanai, A. Klamchuen, S. Rahong, M. Gang, M. Horprathum, B. Xu, F. W. Zhuge, Y. He, B. H. Park and T. Kawai, "Surrounding Effects on Nanoscale Memristive Switching Behaviors" *19th International Workshop on Oxide Electronics*, Apeldoorn, Netherland, 2012.9.30-10.3
  3. T. Yanagida, K. Nagashima, K. Oka, M. Kanai, A. Klamchuen, B. H. Park and T. Kawai, "Scaling Effect on Unipolar and Bipolar Resistive Switching" *19th International Workshop on Oxide Electronics*, Apeldoorn, Netherland, 2012.9.30-10.3
  4. K. Nagashima, T. Yanagida, M. Kanai and T. Kawai, "Intrinsic Redox Balancing of Nanoscale Memristive Oxides" *5th International Symposium on Atomically Controlled Fabrication Technology*, Osaka, Japan, 2012.10.22-10.24
  5. K. Nagashima, T. Yanagida, M. Kanai, K. Oka, B. H. Park and T. Kawai, "Surrounding Effects on Nanoscale Memristive Switching Behaviors" *25th International Microprocesses and Nanotechnology Conference*, Hyogo, Japan, 2012.10.30-11.2
  6. T. Kawai, A. Klamchuen, M. Suzuki, K. Nagashima, M. Kanai and T. Yanagida, "Creation of Novel Metal Oxide Nanowires" *Material Research Society Fall Meeting 2012*, Boston, USA, 2012.11.26-30
  7. T. Yanagida, K. Nagashima, M. Kanai, B. H. Park and T. Kawai, "Nanowire Memristor: Fabrication and Memristive Properties" *Material Research Society Fall Meeting 2012*, Boston, USA, 2012.11.26-30
  8. A. Klamchuen, H. Tanaka, T. Tanaka, G. Meng, S. Rahong, K. Nagashima, M. Kanai, T. Yanagida, T. Kawai and T. Ogawa, "Photoassisted Atomic Switch Using ITO Nanowire Electrodes" *8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium*, Osaka, Japan, 2012.12.10-11
  9. K. Nagashima, T. Yanagida, M. Kanai, A. Klamchuen, S. Rahong, G. Meng, F. W. Zhuge, Y. He, B. H. Park and T. Kawai, "Novel Design Rule of Nanoscale Memristive Switching" *8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium*, Osaka, Japan, 2012.12.10-11
  10. F. W. Zhuge, T. Yanagida, K. Nagashima, H. Yoshida, M. Kanai, M. Suzuki, G. Meng, A. Klamchuen, Y. He, S. Rahong and T. Kawai, "Fundamental Strategy Toward VLS Grown TiO<sub>2</sub> Nanowires" *8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium*, Osaka, Japan, 2012.12.10-11

11. K. Nagashima, T. Yanagida, M. Kanai, A. Klamchuen, S. Rahong, G. Meng, F. W. Zhuge, Y. He, B. H. Park and T. Kawai, "Novel Design Rule Toward Nanoscale Memristive Switching" The 16th SANKEN International Symposium 2013, Osaka, Japan, 2013.1.22-23
12. A. Klamchuen, H. Tanaka, D. Tanaka, G. Meng, S. Rahong, K. Nagashima, M. Kanai, T. Yanagida, T. Kawai and T. Ogawa, "Photoassisted Atomic Switch using ITO Nanowire Electrodes" The 16th SANKEN International Symposium 2013, Osaka, Japan, 2013.1.22-23
13. K. Nagashima, T. Yanagida, M. Kanai, A. Klamchuen, S. Rahong, G. Meng, M. Horprathum, F. W. Zhuge, Y. He, B. H. Park and T. Kawai, "Material Design Rule for Nanoscale Memristive Switching" The 12th International Symposium on Sputtering & Plasma Processes, Kyoto, Japan, 2013.7.10-12
14. K. Nagashima, T. Yanagida, M. Kanai, G. Meng, S. Rahong, F. W. Zhuge, Y. He and T. Kawai, "Single Crystalline NiO Nanowires Grown via VLS Mechanism and Their Properties on Resistive Switching Memory" Material Research Society Fall Meeting 2013, Boston, USA, 2013.12.1-6
15. G. Meng, T. Yanagida, K. Nagashima, H. Yoshida, M. Kanai, F. W. Zhuge, Y. He, A. Klamchuen, S. Rahong, S. Takeda, T. Kawai, "Impact of Preferential Indium Nucleation on Electrical Conductivity of VLS Grown Indium-Tin-Oxide Nanowires" Material Research Society Fall Meeting 2013, Boston, USA, 2013.12.1-6
16. F. W. Zhuge, K. Nagashima, A. Klamchuen, T. Yanagida, H. Yoshida, M. Kanai, S. Rahong, G. Meng, Y. He, M. Suzuki, S. Kai, S. Takeda and T. Kawai, "Rational Concept for Designing Metal Oxide Nanowires" The 17th SANKEN International Symposium 2014, Osaka, Japan, 2014.1.21-22
17. G. Meng, T. Yanagida, K. Nagashima, H. Yoshida, M. Kanai, F. W. Zhuge, Y. He, A. Klamchuen, S. Rahong, S. Takeda and T. Kawai, "Impact of Preferential Indium Nucleation on Electrical Conductivity of VLS Grown Indium-Tin-Oxide Nanowires" The 17th SANKEN International Symposium 2014, Osaka, Japan, 2014.1.21-22
18. K. Nagashima, T. Yanagida, H. Yoshida, M. Kanai, G. Meng, F. W. Zhuge, S. Rahong, Y. He, S. Takeda and T. Kawai, "Crucial Role of Material Flux on Growth Temperature for Vapor-Liquid-Solid Oxide Nanowire Growth" The 17th SANKEN International Symposium 2014, Osaka, Japan, 2014.1.21-22
19. K. Nagashima, T. Yanagida, M. Kanai, U. Celano, S. Rahong, G. Meng, F. W. Zhuge, Y. He, B. H. Park and T. Kawai, "Carrier Type Dependence on Spatial Asymmetry of Unipolar Resistive Switching of Metal Oxides" The 17th SANKEN International Symposium 2014, Osaka, Japan, 2014.1.21-22
20. G. Meng, T. Yanagida, K. Nagashima, H. Yoshida, M. Kanai, F. W. Zhuge, Y. He, A. Klamchuen, S. Rahong, S. Takeda and T. Kawai, "Flux Induced Crystal Phase Variation in Vapor-Liquid-Solid Growth of Multi-component Metal Oxide Nanowires" The 17th SANKEN International Symposium 2014, Osaka, Japan, 2014.1.21-22
21. K. Nagashima, H. Koga, U. Celano, F. W. Zhuge, M. Kanai, S. Rahong, G. Meng, Y. He, J. D. Boeck, M. Jurczak, W. Vandervorst, T. Kitaoka, M. Nogi and T. Yanagida, "Cellulose Nanofiber Paper as an Ultra Flexible Nonvolatile Memory" 2014 MRS Fall Meeting, Boston, USA, 2014.11.30-12.5
22. G. Meng, K. Nagashima, H. Yoshida, M. Kanai, F. W. Zhuge, Y. He, A. Klamchuen, S. Rahong, S. Takeda, T. Kawai and T. Yanagida, "Composition and Crystal Phase Engineering of VLS Nanowires: Impact of Element Nucleation Competitions at Liquid-Solid Interface" 2014 MRS Fall Meeting, Boston, USA, 2014.11.30-12.5
23. G. Meng, K. Nagashima, M. Kanai, H. Yoshida, F. W. Zhuge, Y. He, A. Klamchuen, S. Rahong, S. Takeda, T. Kawai and T. Yanagida "Doping in VLS Metal Oxide Nanowires: Manipulation of Conductivity and Crystal Phase" 2014 MRS Fall Meeting, Boston, USA, 2014.11.30-12.5
24. 長島 一樹, 柳田 剛, 金井 真樹, 岡 敬祐, Bae Ho Park, 川合 知二, "ナノスケール抵抗変化メモリにおける周辺環境との熱力学的相互作用の重要性" 第73回応用物理学会学術講演会, 愛媛大学・松山大学, 愛媛, 2012年9月11日~14日
25. 柳田 剛, 長島 一樹, 岡 敬祐, 金井 真樹, Bae Ho Park, 川合 知二, "ユニポーラ・バイポーラ抵抗変化メモリ現象におけるサイズ効果" 第73回応用物理学会学術講演会, 愛媛大学・松山大学, 愛媛, 2012年9月11日~14日

26. 長島 一樹, 柳田 剛, 金井 真樹, 川合 知二, “ ナノスケールメモリスタにおける周辺雰囲気との熱力学的相互作用の重要性 ” 分子ナノシステムの創発化学領域修了シンポジウム, 東京国際フォーラム, 東京, 2013年2月1日~2日
27. 長島 一樹, Meng Gang, 柳田 剛, 金井 真樹, 川合 知二, 柳下 崇, 益田 秀樹, “ 陽極酸化アルミナメンブレンを用いた大面積均一ナノワイヤ成長法の開発 ” 化学工学会第78回年会, 大阪大学, 大阪, 2013年3月17日~19日
28. 長島 一樹, 柳田 剛, 金井 真樹, Bae Ho Park, 川合 知二, “ VLS法を用いた単結晶NiO ナノワイヤの創成および抵抗変化メモリ特性 ” 第60回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川工科大学, 神奈川, 2013年3月27日~30日
29. 長島 一樹, Gang Meng, 柳田 剛, 柳下 崇, 金井 真樹, 益田 秀樹, 川合 知二, “ 陽極酸化アルミナメンブレンを用いた大面積均一ナノワイヤ成長法の開発 ” 第60回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川工科大学, 神奈川, 2013年3月27日~30日
30. 柳田 剛, Fuwei Zhuge, 長島 一樹, 金井 真樹, 川合 知二, “ VLS法を用いた単結晶TiO<sub>2</sub>ナノワイヤの創成 ” 第60回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川工科大学, 神奈川, 2013年3月27日~30日
31. 長島 一樹, 柳田 剛, 金井 真樹, Gang Meng, Sakon Rahong, Fuwei Zhuge, Yong He, 川合 知二, “ 単結晶NiOナノワイヤのVLS形成における成長温度と供給フラックスの相関性 ” 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 同志社大学, 京都, 2013年9月16日~20日
32. Gang Meng, 柳田 剛, 長島 一樹, 吉田秀人, 金井真樹, Fuwei Zhuge, Yong He, Annop Klamchuen, Sakon Rahong, 竹田精治, 川合知二, “ Impact of Preferential Indium Nucleation on Electrical Conductivity of VLS Grown Indium-Tin-Oxide Nanowires ” 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 同志社大学, 京都, 2013年9月16日~20日
33. 長島 一樹, 柳田 剛, 金井 真樹, Umberto Celano, Sakon Rahong, Gang Meng, Fuwei Zhuge, Yong He, Bae Ho Park, 川合知二, “ ユニポーラ型酸化物抵抗変化メモリにおける伝導パス形成機構のキャリアタイプ依存性 ” 第61回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学, 神奈川, 2014年3月17日~20日
34. 長島 一樹, 古賀大尚, Umberto Celano, 金井真樹, 北岡卓也, 能木雅也, 柳田剛, “ 紙資源を利用した超フレキシブル不揮発性メモリ ” 第61回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学, 神奈川, 2014年3月17日~20日
35. Gang Meng, 柳田 剛, 長島 一樹, 金井 真樹, Fuwei Zhuge, Yong He, Annop Klamchuen, Sakon Rahong, 川合知二, “ Flux Induced Crystal Phase Transition in Vapor-Liquid-Solid Growth of Indium-Tin Oxide Nanowires ” 第61回応用物理学会春季学術講演会, 青山学院大学, 神奈川, 2014年3月17日~20日
36. Annop Klamchuen, 柳田 剛, 長島 一樹, 吉田秀人, 金井真樹, Fuwei Zhuge, Yong He, Gang Meng, 竹田精治, 川合知二, “ Rational Designing of Vapor-liquid-solid Oxide Nanowire Growth ” 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学, 北海道, 2014年9月17日~20日
37. 長島 一樹, 柳田 剛, 吉田秀人, 金井真樹, Gang Meng, Fuwei Zhuge, Yong He, 竹田精治, 川合知二, “ Single Crystalline NiO Nanowires Grown via VLS Mechanism and Their Significance on Resistive Switching Memory ” 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学, 北海道, 2014年9月17日~20日
38. Annop Klamchuen, 柳田 剛, 長島 一樹, 川合知二, “ Rational Concept for Designing Vapor-Liquid-Solid Growth of Metal Oxide Nanowire ” 第75回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学, 北海道, 2014年9月17日~20日
39. 長島 一樹, Gang Meng, Fuwei Zhuge, Yong He, 金井真樹, 柳田 剛, “ 単結晶ナノワイヤ構造体によるナノ物性探索 ” 第2回アライアンス若手研究交流会, 大阪大学, 大阪, 2014年11月26日

他 20 件

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

長島 一樹 (NAGASHIMA KAZUKI)  
大阪大学産業科学研究所・特任助教  
研究者番号: 10585988

### (2) 研究分担者

該当なし

### (3) 連携研究者

該当なし