

機関番号：13102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20310057

研究課題名（和文） 新規半導体ナノ結晶合成のための通電加熱法の研究

研究課題名（英文） Study of Electrical Current Heating as Novel Semiconducting Crystal Growth Method

研究代表者

岡元 智一郎 (OKAMOTO TOMOICHIRO)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：60313566

研究成果の概要（和文）：

21世紀の安全・安心・快適な社会の構築のために、従来の科学技術の限界を突破し得るナノテクノロジーの展開が注目されている。その鍵となるのは、高品質ナノ結晶の合成にある。本研究では、金属やセラミックスを通電加熱することにより、その表面や近接する基板上に良質なナノ結晶が成長する現象に関して、その結晶成長機構を解明し、高品質のナノスケール構造体を精度良く効率的に且つ大量に合成するためのナノ結晶合成技術の確立に向けた研究を行った。

研究成果の概要（英文）：

It attracts much attention to develop the nanotechnology which can break through the limit of the conventional technology for achieving the safe, easy and comfortable society in the 21st century. The key to the development is the fabrication of high quality nanocrystals. In this research, we focused on the phenomenon in which high quality nanocrystals grow on the surface of ceramics heated by electrical currents, attempted to clarify the crystal growth mechanism, and researched towards the development of the nanocrystal fabrication technology for obtaining high quality nanoscale structures efficiently with sufficient accuracy and quantities.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
20年度	8,000,000	2,400,000	10,400,000
21年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
22年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：通電加熱法、半導体、発光材料、フォトクロミック材料、カーボン、酸化亜鉛、酸化タングステン、ニッケル

## 1. 研究開始当初の背景

近年のエネルギー・環境問題の広がりや安全で安心できる快適な生活への要求の高まりから、あらゆる分野において従来よりも高機能を有するデバイスの実現が期待されている。特に、電

子・光波工学分野では、電子と光子の集団的な振る舞いを利用してきた従来の技術では達成し得なかった高安全性・高信頼性・高効率・低消費電力等の様々な特徴を有するデバイスの実現のために、量子効果を利用したナノデバイスが精力的に研究されている。

量子効果を利用するためには、高品質で且つナノサイズの結晶の合成が必要不可欠である。本申請者が開発した通電加熱法は、原料となる金属またはセラミックスの通電加熱により、様々な形態を有する酸化物や窒化物のナノ結晶を成長させる手法である。とりわけ、酸化亜鉛のホロー状結晶やナノウイスカ等の成長に有効であり、この手法により得られた結晶からレーザー発振等の多くの研究成果が得られている。また、炭化珪素の通電加熱により、カーボンナノチューブも合成できることを明らかにしている。

本研究では、通電加熱法を用いることにより、以下の4種類のナノ材料の合成および応用について検討を行った。

- (1) ナノカーボン材料
- (2) 酸化亜鉛ナノ結晶
- (3) 酸化タングステンナノ結晶
- (4) ニッケルナノ結晶

## 2. 研究の目的

### (1) ナノカーボン材料

ナノカーボン材料はその機能性から、ナノサイエンス、ナノテクノロジーの代表として、多くの分野で実用化に向けて研究されている。しかし、実用化のためには構造の均一なナノカーボン材料の量産が必要である。そこで、真空下での炭化珪素(SiC)線材の通電加熱によるカーボンナノチューブ等の様々な形態のナノカーボン材料の合成を検討した。また、SiC線材を通電加熱する際に、外部電界を印加することにより、SiC線材上に生成する繊維状ナノカーボンの形態制御を試みた。

### (2) 酸化亜鉛ナノ結晶

酸化亜鉛(ZnO)はワイドバンドギャップを有し、室温でも励起子が安定に存在し得るため、室温紫外発光材料として注目されている。また、種々のドーピングを行うことによりnタイプの電気伝導性を付与することが可能であることから、ITOに代わる透明導電膜としての応用も期待されている。そこで、ZnOセラミックス線材や亜鉛(Zn)線材の通電加熱によるZnOナノ結晶の合成を検討した。また、微細構造、結晶性、発光特性の制御を試みた。

### (3) 酸化タングステンナノ結晶

酸化タングステン(WO<sub>3</sub>)はフォトクロミック現象を示すことから、表示素子や光記録材料等への応用が進められている。そこで、タングステン(W)線材の通電加熱によるWO<sub>3</sub>ナノ粒子膜の合成を検討した。また、膜の形態や粒子の形状、膜の近赤外域でのフォトクロミック特性の制御を試みた。

### (4) ニッケルナノ結晶

積層セラミックデバイスにおける内部電極の原

料として、ニッケル(Ni)微粒子が実用化されている。積層セラミックデバイスの小型化のためには、機能材料層のみならず、電極の薄膜化も必要であり、原料であるNi粒子の更なる微細化が求められている。そこで、Ni線材の通電加熱によるNiナノ粒子の合成を試みた。

## 3. 研究の方法

### (1) ナノカーボン材料

断面積3×3 mm<sup>2</sup>、長さ9 mmの線材をSiC板(シリコニット社製、シリコライト)から切り出した。SiC線材を真空ベルジャー内に設置し、その両端に電極を取り付け、通電加熱用の直流電源を接続した。外部電界印加用の直流電源を接続した銅板を線材から2 cmの距離に設置した。全圧と酸素分圧を50~3000 Paの範囲で制御した。外部電界-200~200 V/cmにおいて、断線するまで1.0 A/mm<sup>2</sup>の電流を線材に流した。生成物の組成および形態をエネルギー分散型X線分光器(EDS)および透過電子顕微鏡(TEM)により観察した。

### (2) 酸化亜鉛ナノ結晶

ZnO粉末(純度99.999%)を成形し、1000°Cで1時間焼成した。この焼結体から切り出したZnO線材(形状15×1×1 mm<sup>3</sup>)の両端に電極を取り付け、電気炉内に設置した。また、線材から0.5 cm上方に金薄膜(膜厚25 nm)をスパッタリング法により付けたガラス基板を配置した。空气中、400~800°Cにて10分間0.5 A/mm<sup>2</sup>の電流を線材に流した。

また、Zn線材(0.5 mmφ、純度99.99%)に電極間距離が2 cmとなるように電極を取り付けた。また、線材から1 cm上方にガラス基板を配置した。空气中、室温にて、0.5~3.0 Vの電圧を線材に印加した。線材上および基板上に生成した結晶の形態を、走査電子顕微鏡(SEM)およびTEMにより観察した。また、カソードルミネッセンス(CL)測定により発光特性を評価した。

### (3) 酸化タングステンナノ結晶

W線材(0.5 mmφ、純度99.95%)に電極間距離が2 cmとなるように電極を取り付け、線材から0.5~5 cm上方にガラス基板を配置した。空气中、室温にて、1.0~3.0 Vの電圧を線材に印加した。膜の微細構造をSEMおよびTEMにより観察した。フォトクロミック特性を調査するために、500 Wの超高圧水銀ランプと紫外透過可視吸収フィルタを用いて波長260~390 nmの紫外光を試料に照射し、相対拡散反射率を紫外可視近赤外分光光度計により測定した。

### (4) ニッケルナノ結晶

Ni線材(0.5 mmφ、純度99.5%)に電極間距離が35 mmとなるように電極を取り付けた。また、線材から7.5 mm上方にガラス基板を配置した。

酸素雰囲気中、室温にて、断線するまで 2.2～4.0 V の電圧を線材に印加することにより、基板上に堆積物を得た。堆積物の形態を TEM により観察した。また、相同定のために電子線回折と X 線回折の測定を行った。

#### 4. 研究成果 (主な発表論文等の番号)

##### (1) ナノカーボン材料

SiC 線材は通電開始直後から激しい光と熱を発生した。線材は、酸素分圧が高くなる程、また、全圧が低くなる程、より短時間で断線した。これは、SiC 線材がアクティブ酸化を起こしたためであると考えられる。

全圧と酸素分圧を 500 Pa とした場合、SiC 線材は通電加熱開始から 12～27 秒で断線し、その直後に断線部において放電が起こった。断線後、外部電極上には、白い生成物が堆積していた。EDS および TEM を用いた分析および観察の結果、外部電極上の生成物は、直径が数十 nm の粒状の酸化珪素であることがわかった。図 1 に外部電界 0, 100, 200 V/cm を印加した場合に SiC 線材上に観察された繊維状生成物の

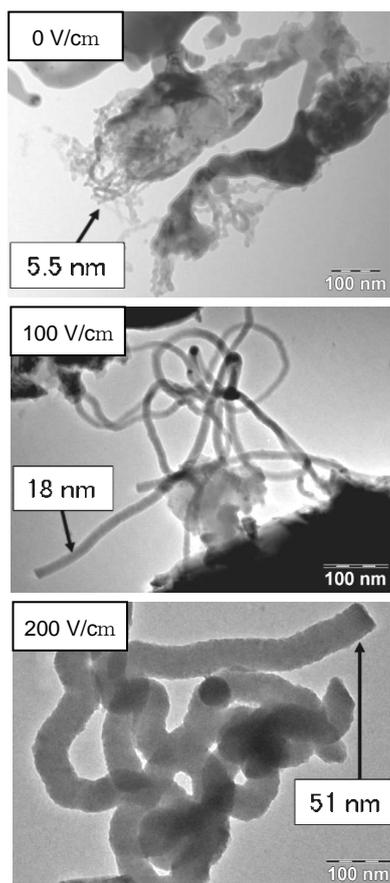


図 1. 全圧および酸素分圧を 500 Pa とし、断線するまで  $1 \text{ A/cm}^2$  の電流で通電加熱した SiC 線材上に堆積した繊維状生成物の TEM 像 (学会 6)

TEM 像を示す。外部電界の増加に伴い、直径が増加することがわかった。この形状変化のメカニズムを SiC 表面から生成する物質の帯電と、これらに働くクーロン力の観点から考察した。

以上の通り、SiC 線材を通電加熱する際の外部電界の印加は、ナノ結晶形態の新たな制御法として有望であることを見出した。

その他、多層カーボンナノチューブ膜の水素ガスセンサとしての応用を検討した (論文 22)。

##### (2) 酸化亜鉛ナノ結晶

ZnO 線材を 10 分間、通電加熱した後、ガラス基板または金薄膜付きガラス基板上に白い堆積物を確認した。SEM 観察により、金の無いガラス基板上には、通電加熱の際の基板温度が低い場合、ZnO のナノ粒子が成長するが、 $800^\circ\text{C}$  程度になると、結晶は成長しないことがわかった。また、金薄膜付きガラス基板上には、通電加熱の際の基板温度が低い場合には、ZnO のナノ粒子が成長するが、 $800^\circ\text{C}$  では、長さ  $4\sim 20 \mu\text{m}$ 、直径  $20\sim 100 \text{ nm}$  の ZnO ナノワイヤ (図 2) が成長することがわかった。

Zn 線材に 1.0 V 以上の電圧を印加すると、線材は断線した。1.0～2.0 V の電圧印加による断線の際には、断線部分から白煙が発生したが、3.0 V の場合には、白煙は、ほとんど発生しなかった。白煙が発生した場合には、断線部分やガラス基板上に結晶の生成が見られた。SEM による観察から、断線部分には、 $0.1\sim 5 \mu\text{m}$  の大きさの板状や針状結晶が確認された。

CL 測定の結果、結晶が小さくなるほど緑色発光は抑制され、紫外発光が支配的となる傾向が得られた。TEM による観察から、基板上には、直径が  $10\sim 30 \text{ nm}$ 、長さ  $100\sim 500 \text{ nm}$  の針状結晶 4 本から成るテトラポッド状結晶が成長していることがわかった (図 3)。カソードルミネッセンス測定の結果、基板上的結晶からは、格子欠陥が関与した緑色発光は観測されず、バンド端からの紫外発光のみが観測された。この結果は、基板上に得られるナノ結晶膜の高い結晶性を反

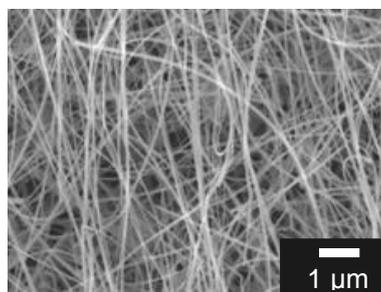


図 2. 空气中  $800^\circ\text{C}$  で 10 分間  $0.5 \text{ A/mm}^2$  の電流で ZnO 線材を通電加熱することにより、線材から  $0.5 \text{ cm}$  離れた金薄膜付きガラス基板上に生成した ZnO ナノワイヤの SEM 像 (論文 7)

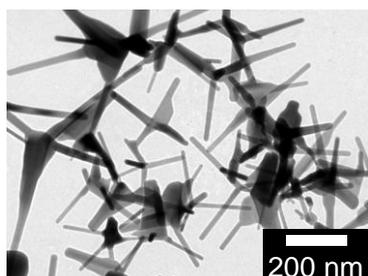


図 3. 空气中で 2.0 V の電圧を断線するまで Zn 線材に印加することにより、線材から 1 cm 離れたガラス基板上に堆積したテトラポッド状 ZnO ナノ結晶の TEM 像<sup>(論文 6)</sup>

映しており、レーザを始めとする種々のデバイスへの応用が期待できる。

### (3) 酸化タングステンナノ結晶

W 線材に 1.0 V 以上の電圧を印加すると、線材から白煙が発生し、その後、ガラス基板上に堆積物が確認された。図 4 は 3.0 V の電圧を 3 秒間印加することにより、線材から 0.5 cm 離れたガラス基板上に観察された堆積物の写真である(基板を黒い紙の上に置き撮影した)。薄く堆積した領域 A と厚く堆積した領域 B にわかれることがわかった。X 線回折の結果から、堆積物は  $WO_3$  であることを確認した。領域 A には球形に近い多面体のナノ結晶が多く存在し、B には八面体のナノ結晶が多く存在していることがわかった(図 5)。

図 6 に断線するまで電圧を 5 V/min の上昇速度で W 線材に印加することにより得られた  $WO_3$  ナノ結晶のフォトクロミック特性を示す。波長 260 ~ 390 nm の紫外光を 1 ~ 60 分間照射したところ、波長 500 ~ 2500 nm における反射率が照射前に比べて低くなった。以上の結果から、得られた膜への紫外線照射により、近赤外線の反射率のコントロールが可能であることを見出した。

その他、フォトクロミック特性は  $WO_3$  ナノ結晶膜の堆積条件(印加電圧<sup>(論文 16)</sup>や線材-基板間

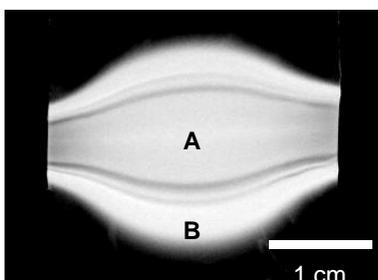


図 4. 空气中で 3.0 V の電圧を 3 秒間 W 線材に印加することにより、線材から 0.5 cm 離れたガラス基板上に堆積した  $WO_3$  膜の写真<sup>(論文 3)</sup>

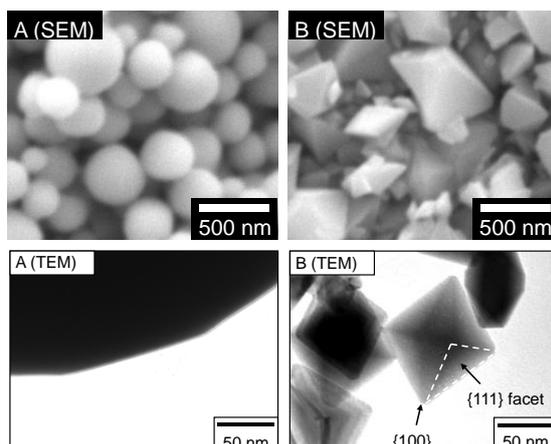


図 5. 空气中で 3.0 V の電圧を 3 秒間 W 線材に印加することにより、線材から 0.5 cm 離れたガラス基板上に堆積した  $WO_3$  ナノ結晶の SEM および TEM 像<sup>(論文 10)</sup>

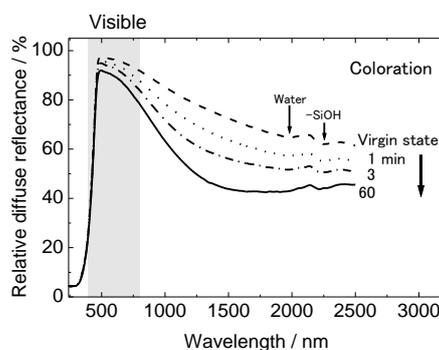


図 6. 断線するまで電圧を 5 V/min の上昇速度で W 線材に印加することにより、線材から 1 cm 離れたガラス基板上に堆積した  $WO_3$  膜のフォトクロミック特性<sup>(論文 16)</sup>

距離<sup>(論文 3)</sup>)により制御できることを見出した。また、赤外線の透過または反射量を能動的に制御する新規デバイスへの応用を見出した。

### (4) ニッケルナノ結晶

2.2 ~ 4.0 V の電圧を印加すると Ni 線材は白熱し、約 2 ~ 90 秒後に断線した。線材断線時に煙の発生を確認した。通電加熱後には、ガラス基板上に堆積物が確認された。電子線回折および X 線回折の測定より、堆積物は Ni と酸化ニッケル(NiO)の混合物であることがわかった。図 7 に 2.2 V の電圧印加により得られた堆積物の TEM 像を示す。堆積物は一辺が 2 ~ 20 nm の立方体状のナノ結晶であることがわかった。印加電圧の上昇に伴い粒度分布は広がり、頻度がピークとなる粒子径が大きくなった。このことから、通電時の印加電圧によって、ナノ結晶の粒径を制御できることがわかった。

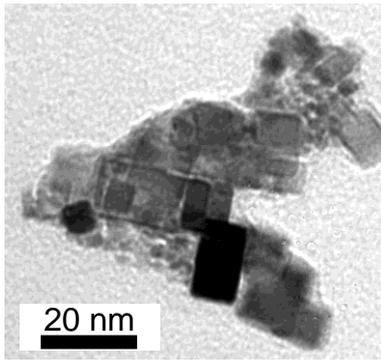


図7. 空气中、2.2 Vの電圧をNi線材に印加することにより、線材から75 mm離れたガラス基板の上に堆積したNiおよびNiOのTEM像<sup>(学会1)</sup>

得られるナノ結晶を水素還元することにより、NiOに対するNiの割合を増加させることに成功した。積層セラミックス部品の内部電極の薄膜化に有効な粒子であることを見出した<sup>(特許)</sup>。

#### 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25件)

1. M. Kamitamari, T. Honma, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, "Transmittance of AlN ceramics sintered with  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  and carbon", Institute of Physics Conference Series: Materials Science and Engineering, 査読有 (accepted).
2. S. Fujihara, Y. Kuroki, T. Okamoto, and M. Takata, "Effects of coating thickness on characteristics of hot spot oxygen sensor consisting of  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  coat and  $\text{Gd}_2\text{BaCuO}_5$  core", Institute of Physics Conference Series: Materials Science and Engineering, 査読有 (accepted).
3. T. Hagizawa, T. Honma, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, "Effects of distance between tungsten wire and glass substrate on particle size and photochromic characteristic of tungsten oxide prepared by electric current heating method", Institute of Physics Conference Series: Materials Science and Engineering, 査読有 (accepted).
4. T. Honma, M. Kamitamari, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, "Effect of Sintering Atmosphere Controlled Using Carbon Pellet on Translucency of AlN Ceramics", Institute of Physics Conference Series: Materials Science and Engineering, 査読有 (accepted).
5. T. Okamoto and M. Takata, "Hot spot in  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ -based composite ceramics rods and their applications for oxygen sensors", Institute of Physics Conference Series: Materials Science and Engineering, 査読有 (accepted).
6. T. Hagizawa, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, "Cathodoluminescence of ZnO crystals prepared via electric current heating method using Zn wire", Key Engineering Materials, 査読有 (accepted).
7. R. Sivakumar, T. Tsunoda, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, "Growth of ZnO Nanocrystals on Quartz Glass Substrates by Electric Current Heating Method", Transactions of the Materials Research Society of Japan, 査読有 (accepted).
8. Y. Kuroki, N. Iwata, T. Okamoto and M. Takata, "Luminescence of  $(\text{H}_3\text{O})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6\cdot\text{Cu}$  Synthesized under Hydrothermal Condition", Ceramics International, 査読有 (accepted).
9. S. Fujihara, T. Okamoto, and M. Takata, "Electrical characteristics and hot-spot temperature of a  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  rod with a  $\text{Gd}_2\text{BaCuO}_5$  core", Institute of Physics Conference Series: Materials Science and Engineering, 査読有, 21 (2011) 012018.
10. T. Hagizawa, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, "TEM observation of a tungsten oxide film formed by the electric current heating method using a tungsten wire", Institute of Physics Conference Series: Materials Science and Engineering, 査読有, 21 (2011) 012019.
11. T. Honma, Y. Kuroki, T. Okamoto, M. Takata, Y. Kanechika, M. Azuma and H. Taniguchi, "Coloration and thermoluminescence of translucent AlN ceramics sintered with  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  as sintering additive", Institute of Physics Conference Series: Materials Science and Engineering, 査読有, 21 (2011) 012022.
12. Y. Kuroki, N. Iwata, T. Okamoto, M. Takata, "Cathodo- and photoluminescence of  $(\text{H}_3\text{O})\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6\cdot\text{Cu}$  synthesized under hydrothermal conditions", Institute of Physics Conference Series: Materials Science and Engineering, 査読有, 21 (2011) 012004.
13. M. Hassan, T. Okamoto and A. K. Yahya, "Effect of  $\text{BaAl}_2\text{O}_4$  addition on power consumption and oxygen sensing response of Er123 ceramic rods utilizing hot-spot phenomenon", Sains Malaysiana, 査読有, 40 (2) (2011) 27-33.
14. S. Fujihara, Y. Kuroki, T. Okamoto, and M. Takata, "Hot Spot in  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  Ceramic Rod with Core of  $\text{Gd}_2\text{BaCuO}_5$  Fabricated by Dip Coating", Journal of Ceramic Processing Research, 査読有, 11 (2010) 401-404.
15. S. Fujihara, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, "Characteristics of Hot Spot Oxygen Sensor Using  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  Ceramic Rod with  $\text{Gd}_2\text{BaCuO}_5$  Core", Key Engineering Materials, 査読有, 445 (2010) 213-216.
16. T. Hagizawa, T. Honma, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, "Photochromic Characteristics of Tungsten Trioxide Films Prepared by Electric Current Heating Using Tungsten Wire", Key Engineering Materials, 査読有, 421-422 (2010) 364-367.
17. Y. Yakushiji, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, "Durability Improvement of Optical  $\text{H}_2$  Gas Sensor Using Pd Thin Film on Sputter-Etched Glass Substrate", Key Engineering Materials, 査読有, 421-422 (2010) 307-310.
18. 岡元智一郎, 黒木雄一郎, 高田雅介, "ホットスポット酸素センサに関する研究", マテリアルインテグレーション, 査読無, 23 (2010) 87-93.
19. 高田雅介, 岡元智一郎, 黒木雄一郎, "室温作動型光学酸素センサの研究", マテリアルインテグレーション, 査読無, 23 (2010) 13-19.
20. K. Iihama, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, "Characteristics of Hot Spot Oxygen Sensor Using

- Gd<sub>2</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> - CuO Composite Ceramics”, Current Applied Physics, 査読有, 9 (2009) S167-S169.
21. T. Honma, Y. Kuroki, T. Okamoto, M. Takata, Y. Kanechika, M. Azuma and H. Taniguchi, “Temperature Dependence of Cathodoluminescence for AlN Ceramics Sintered with Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub>”, Key Engineering Materials, 査読有, 388 (2009) 261-264.
  22. 岡元智一郎, 高田雅介, “特集 安全・安心のためのセラミックスセンサ(I) - 化学センサ - セラミックスにおけるホットスポット現象を利用した酸素センサ”, セラミックス, 査読無, 44 [2] (2009) 107-112.
  23. 川本昂, 村上吉昭, 岡元智一郎, 高田雅介, “多層カーボンナノチューブを用いた水素ガスセンサ”, 信学技報, 査読有, OME2008-66 (2008) 45-49.
  24. Y. Kuroki, A. Kato, T. Okamoto, and M. Takata, “Excitonic Photoluminescence in CuAlS<sub>2</sub> Powders” Journal of Electroceramics, 査読有, 21(2008) 378-380.
  25. T. Honma, Y. Kuroki, T. Okamoto, M. Takata, Y. Kanechika, M. Azuma and H. Taniguchi, “Transmittance and Cathodoluminescence of AlN Ceramics Sintered with Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub> as Sintering Additive”, Ceramics International, 査読有, 34 (2008) 943-946.

[学会発表] (計78件)

1. 多田育久, 黒木雄一郎, 岡元智一郎, 高田雅介, ニッケル線材の通電加熱により作製した酸化ニッケル/ニッケルナノ粒子の構造に及ぼす酸素アニールの効果, 日本セラミックス協会 2011 年年会, 2011 年 3 月 16 日~18 日, 静岡大学 浜松キャンパス
2. 多田育久, 黒木雄一郎, 岡元智一郎, 高田雅介, ニッケル線材の通電加熱法により作製したニッケルナノ粒子の粒径に及ぼす印加電圧の影響, 第 49 回セラミックス基礎科学討論会, 2011 年 1 月 11 日~12 日, 岡山コンベンションセンター
3. T. Hagizawa, T. Honma, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, Photochromism in tungsten oxide prepared by electric current heating method using tungsten wire, International Symposium on Global Multidisciplinary Engineering 2010, 2010 年 3 月 13-14 日, Nagaoka, Japan
4. 萩沢巧, 本間隆行, 黒木雄一郎, 岡元智一郎, 高田雅介, 電加熱法により作製した酸化タングステンの膜の形状に及ぼす印加電圧の影響, 第 48 回セラミックス基礎科学討論会, 2010 年 1 月 12~13 日, 沖縄コンベンションセンター
5. T. Hagizawa, T. Honma, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, Relationship between particle size and photochromic characteristics of tungsten oxide films prepared by electric current heating method using tungsten wire, The 26th International Japan-Korea Seminar on Ceramics, 2009 年 11 月 24-26 日, Tsukuba, Japan
6. T. Okamoto, S. Susa, T. Yamashita and M. Takata, Effect of external electric field on formation of fibrous nanomaterials by electric current heating of SiC rod, The 26th International Japan-Korea Seminar on Ceramics, 2009 年 11 月 24-26 日, Tsukuba, Japan
7. 萩沢巧, 本間隆行, 黒木雄一郎, 岡元智一郎, 高田雅介, 通電加熱法によりガラス基板上に堆積させた酸化タングステン結晶の形態の評価, 2009 年第 70 回応用物理学会学術講演会, 2009 年 9 月 8~11 日, 富山大学

8. 岡元智一郎, 諏佐俊輔, 山下貴之, 高田雅介, 炭化ケイ素線材の通電加熱による繊維状ナノ物質の生成に及ぼす外部電界の効果, 2009 年第 70 回応用物理学会学術講演会, 2009 年 9 月 8~11 日, 富山大学
9. 萩沢巧, 本間隆行, 黒木雄一郎, 岡元智一郎, 高田雅介, 通電加熱法によりガラス基板上に堆積させた酸化タングステン結晶の評価, 日本セラミックス協会第 22 回秋季シンポジウム, 2009 年 9 月 16~18 日, 愛媛大学
10. 諏佐俊輔, 山下貴之, 黒木雄一郎, 岡元智一郎, 高田雅介, 外部電界を印加した SiC 線材の通電加熱におけるナノカーボン材料の生成メカニズム, 日本セラミックス協会 2009 年年会, 2009 年 3 月 17 日, 東京理科大学 野田キャンパス (千葉県野田市)
11. 萩沢巧, 本間隆行, 黒木雄一郎, 岡元智一郎, 高田雅介, 通電加熱法により作製した酸化タングステン粒子の形態に及ぼす印加電圧の影響, 日本セラミックス協会 2009 年年会, 2009 年 3 月 17 日, 東京理科大学 野田キャンパス (千葉県野田市)
12. R. Sivakumar, T. Tsunoda, Y. Kuroki, T. Okamoto and M. Takata, Effect of Catalyst and Substrate Temperature on the Growth of ZnO Nanostructures by Electric Current Heating Method, 日本セラミックス協会 2009 年年会, 2009 年 3 月 16 日, 東京理科大学 野田キャンパス (千葉県野田市)
13. 萩沢巧, 本間隆行, 黒木雄一郎, 岡元智一郎, 高田雅介, 通電加熱法により作製した酸化タングステン結晶の成長制御, 第 47 回セラミックス基礎科学討論会, 2009 年 1 月 8 日, グランキューブ大阪(大阪国際会議場)

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称: 微粒子およびその製造方法

発明者: 高田雅介、岡元智一郎、黒木雄一郎、多田育久、藤澤竜二

権利者: 長岡技術科学大学、TDK株式会社

種類: 特許

番号: 特願 2010-265386

出願年月日: 2010 年 11 月 29 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ: <http://takata.nagaokaut.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

岡元 智一郎(OKAMOTO TOMOICHIRO)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号: 60313566

### (2)研究分担者

高田 雅介(TAKATA MASASUKE)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号: 20107551

黒木 雄一郎(KUROKI YUICHIRO)

長岡技術科学大学・工学部・助教

研究者番号: 90324003