

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360151

研究課題名(和文)精密位置制御による量子ドットサイズナノ構造低仕事関数材料グリーンデバイスの研究

研究課題名(英文)Quantum-dot size, nanostructure and low work function Green devices fabricated by precise position control

研究代表者

中本 正幸 (NAKAMOTO, Masayuki)

静岡大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10377723

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,400,000円、(間接経費) 4,620,000円

研究成果の概要(和文)：独自の転写モールド法エミッタ作製技術と仕事関数が低く耐環境性のアモルファスカーボン等のエミッタ材料を用いて極微小電子源を作製し、従来の微小電子源の100nm～数 μm 基底部長さ、50～600 V/ μm のturn-on電界、5-100%の電界電子放出電流の経時変動と比較し、世界最小の41nm基底部長さ(中本研で達成した基底部長さ36nm転写モールド法Moエミッタを除く)、世界最小レベルの10.2V/ μm の低turn-on電界、世界最高の安定性の $\pm 1.61\%$ の電流経時変動が得られ、1A/cm²の大電流密度の超精密位置制御量子ドットサイズ極微小電子源の開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：Extremely sharp and uniform nanostructure Transfer Mold FEAs (field emitter arrays) have been developed by using Transfer Mold emitter fabrication method and low work function and environment hard amorphous carbon thin film to realize highly efficient and reliable vacuum nanodevices such as power switching devices and field emission displays (FEDs). Transfer Mold FEAs have the base length, turn-on field and emission current fluctuations of as low as 41 nm, 10.2V/ μm and 1.61%, being compared with 100nm-a few micron, 50-600 Vper micron and 5-100% of conventional FEAs. The base length of 41 nm and emission current fluctuations of 1.61% are the lowest values ever reported. Moreover, the emission fluctuations by in-situ radical treatment were as low as 4.5%, being compared with 5-100% for conventional FEAs with resistive layers with no oxidizing atmosphere.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：電子デバイス・機器 先端機能デバイス マイクロ・ナノデバイス 微小電子源 電力変換

1. 研究開始当初の背景

ナノエレクトロメカニカルシステム (NEMS) 技術の真空デバイスへの応用、所謂、真空ナノテクノロジーには、真空と半導体微細加工技術等の先端技術の両者の利点を活かした高機能・極限デバイスの創製が期待できる。そのため、フィールドエミッションディスプレイ (FED) や研究代表者が提唱した高現実感・3次元ナノビジョンディスプレイ、半導体デバイスを用いた5階建ての建物サイズの現在の電力変換設備を約 $1\text{m} \times \text{数}10\text{cm(H)}$ の $1/100$ サイズに小型化し、電力損失を $1/10$ に低減する真空ナノパワースイッチングデバイス等の研究が活発に行われている。特に、洞爺湖サミットで 2050 年までに CO_2 削減 50% が提唱され、太陽光・風力・原子力発電、スマートグリッドシステム、超伝導送電などの電力変換の損失低減・超小型化のための革新的技術として、真空ナノパワースイッチングデバイスが、極めて注目されている。

真空ナノデバイスは、微小電子源を主要構成要素としており、約 40 年前より回転蒸着法、カーボンナノチューブ (CNT) 等を用いた様々な微小電子源の研究が盛んに研究されている。しかし、エミッタ構造不均一性、電子放出位置ばらつき等のエミッタに起因した微小電子源の破壊・劣化、電流の揺らぎ、電子ビームの形状不均一性等が大きな障害となり、未だに実用化されていない。実用化のためには、超精密位置制御の確立、電界電子放出特性や動作特性の変化の解明は不十分であり、ナノスケールオーダーの位置・構造制御と物性解明は必須である。

研究代表者の独自技術であり鋳型を用いて突起型微小電子源を形成する転写モールド法微小電子源作製技術は、ナノメートルオーダーの先端曲率半径と一様な構造均一性を持つ大面積・低コストの微小電子源の作製を可能とした。従来のエミッタ基底部長さは $100\text{nm} \sim \text{数} \mu\text{m}$ であるが、先端曲率半径 $30 \sim 60\text{nm}$ と大きく不均一であった。転写モールド法により、基底部長さ 64nm 、先端曲率半径 $1 \sim 2\text{nm}$ 、均一な量子ドットレベル世界最小の極微小エミッタ作製に成功し、放出電流の増大も見出した。

そこで、研究代表者の独自技術でありエミッタ材料選択性が高く、先鋭で均一、極微小エミッタ作製法である転写モールド法と、低仕事関数・耐環境性エミッタ材料作製技術を融合させれば、精密位置制御・成長制御された転写モールド法低仕事関数・耐環境性材料微小電子源の開発が可能で、グリーンエレクトロニクスの創製に寄与する真空ナノパワースイッチングデバイスや高効率・高現実感・3次元ディスプレイ等の未来デバイスを実現できると考えるに至った。

2. 研究の目的

本研究は、転写モールド法作製技術を用い

て、仕事関数が低く耐環境性のあるアモルファスカーボン、TiN 等のエミッタ材料からなり、エミッタ基底部長さが 100nm 以下の極微小で先鋭な極微小電子源を作製し、空気・酸素プラズマ等のガス雰囲気との関係の解析等を行い、超精密位置制御・成長制御された量子ドットサイズ極微小電子源の開発を行う。本研究により太陽光・風力・原子力・スマートグリッドシステム、超伝導送電に有用な超低損失超小型電力変換デバイス、高効率・高現実感・3次元ディスプレイ、ならびに宇宙用電気推進エンジンの実現を目指す。

3. 研究の方法

エミッタ材料としては、アモルファスカーボン、TiN 等を候補とする。アモルファスカーボン (仕事関数: $3.5\text{-}4.0\text{eV}$) は、高熱伝導度、高化学耐性材料のため、大電流、過酷環境材料としては有望である。作製法としては、本研究ではバイアス電圧による幅広い膜質制御が可能で、水素フリーの硬質アモルファスカーボン薄膜を形成できるプラズマ CVD 法によりアモルファスカーボン薄膜の形成を行い、水素 (H_2) ガスとメタン (CH_4) やアセチレン (C_2H_2) ガスを原料ガスとし、UPS, XPS、表面障壁評価装置等による仕事関数測定、電界放出特性、反応性ガス雰囲気に対する安定性などを考慮し、最適組成を決定する。

(1) Si 鋳型内形成型転写モールド法極微小電子源開発: 転写モールド法を用いて、H23 年度は電子ビーム露光法により $400\text{nm} \sim 1.6 \mu\text{m}$ 、H24 年度は $400\text{nm} \sim 100\text{nm}$ 、H25 年度は量子ドットサイズ $100\text{nm} \sim 60\text{nm}$ の Si 鋳型の均一形成の作製条件検討・試作、Si 鋳型内形成型の場合は、低仕事関数・耐環境性エミッタ材料と Si 鋳型内面の Si 酸化膜及び陰極充填材料 (Ta 等) の密着性・先鋭度の変化等の検討、機械的剥離・Si 溶解除去などの Si 除去方法検討等を行い、H23 年度は基底部長さ $400\text{nm} \sim 1.6 \mu\text{m}$ 、H24 年度は基底部長さ $400\text{nm} \sim 100\text{nm}$ 、H25 年度は基底部長さ $100\text{nm} \sim 60\text{nm}$ 、先端曲率半径 $1 \sim 5\text{nm}$ の極微小電子源を開発する。

(2) 低仕事関数・耐環境性エミッタ材料の開発: エミッタ材料として耐腐食性に優れ、高硬度・高化学安定性なアモルファスカーボンと TiN を候補とする。アモルファスカーボン薄膜は、プラズマ CVD 法により、水素 (H_2) ガス、メタン (CH_4) やアセチレン (C_2H_2) ガスを原料ガスとし、アモルファスカーボン薄膜を試作する。

(3) 電界電子放出特性及び仕事関数材料の評価・解析: (2) (3) で開発した極微小電子源の電界電子放出特性・FE-SEM などによる表面観察ならびに XPS, UPS, 電界電子放出特性等から仕事関数を求め、エミッタ材料作製条件・組成・モフォロジーと仕事関数・電界電子放出特性等との関係を明らかにする。

(4) 大電流電界電子放出評価ユニットを用いた・設計・試作: 本研究では、電力変換デバ

イス・高効率・高現実感・3次元ディスプレイ実現のため、従来の nA～数 mA 程度の電界電子放出電流ではなく、従来作製例のない数 A/cm² レベルの電界電子放出電流をひとつの目標としている。そのため、数十 mA 程度しか測定できない現在所有の電界電子放出評価装置の電流評価能力向上のため、電力変換デバイス・高性能3次元ディスプレイデバイスの検討に基づき、2A/cm² 程度の大電流電界電子放出電流評価ユニットを設計・発注・試作する。H24年度から大電流電界電子放出電流評価ユニットを設置・立ち上げ、(1)(2)(3)の結果をもとに、約 1A/cm² 程度の大電界放出電流が得られる極微小電子源を試作、エミッタ材料組成、表面障等と大電流・電流安定性・均一性等との関係を究明する。同時に、高性能3次元ディスプレイデバイスや電力変換デバイスとしてのエミッタ概念・構造設計も進め、例えば、既存の半導体パワーデバイス IEGT 等を用いた N700 系新幹線の 3.3kV, 1.2kA、大きさ 3,250(W) × 2,180(L) × 700(T)mm、実効電流密度 17mA/cm² をモチーフに、300(W) × 400(L) × 5(mm) の超小型高効率真空ナノパワースイッチングデバイスで同等の性能が得られるか検討する。なお、MIT の Tuller は NEMS ベンチャーを創業、材料物性の世界的泰斗であり、中本研究室の名誉客員教授であるが、招聘研究員として共同研究する予定である。

4. 研究成果

転写モールド法エミッタ作製技術を用いて、低仕事関数・耐環境性エミッタ材料としてアモルファスカーボン薄膜を Si 鋳型内に形成する。アモルファスカーボン薄膜は、プラズマ CVD 法により、アセチレン (C₂H₂) ガスを原料ガスとし、常温で行いを試作した。更に金属支持層を充填、Si 溶解除去を用い Si 鋳型を除去し、微小電子源を試作した。低温作製可能で膜形成速度制御も容易なスパッタリング法を用い TiN 被覆型転写モールド法微小電子源を試作した。

試作したエミッタ材料であるアモルファスカーボンと TiN の仕事関数は 3.2eV-3.6eV となり一般的なエミッタ材料の Mo の 4.5eV と比較して低くなった。

転写モールド法エミッタ作製技術と電子ビーム露光法により 400nm～1.6μm の Si 鋳型、100 nm～400nm の Si 鋳型、50nm～100nm の Si 鋳型を試作し、それぞれ基底部長さ 370nm～1.57μm、110nm～380nm、41nm～110nm の先端曲率半径 3.2 nm～3.6 nm、2.9nm～3.8nm、2.8～2.9nm の先端曲率半径 3.2-3.6nm の先鋭性に優れた極微小電子源の開発に成功した。

先端曲率半径の標準偏差も 1.3nm から 0.8nm へと小さくなった。転写モールド法微小電子源の微小化により先端先鋭性と均一性が向上した。従来の微小電子源の基底部長さは 100nm～数 μm までであったが、今年度作

製した基底部長さ 41nm の転写モールド法極微小電子源は、同じく中本研で達成した基底部長さ 36nm 転写モールド法 Mo エミッタを除き、世界最小値である。

次に、試作した転写モールド法微小電子源の電界電子放出特性を調べた。基底部長さ 1.57μm、380nm、110nm、41nm の転写モールド法微小電子源の turn-on 電界は、それぞれ 17.5V/μm、15.6V/μm、11.9V/μm、10.2 V/μm となり、既存の Spindt 型微小電子源などの 50-600 V/μm と比較して turn-on 電界が低くなった。

基底部長さ 1.57μm から 41nm までの微小化により先端曲率半径が 3.6 nm から 2.8nm まで先端先鋭性が向上し、電界集中係数が増加したためと考えられる。

更に、バラスト抵抗を用いない基底部長さ 41 nm の転写モールド法微小電子源の電界電子放出電流の経時変動は、±1.61%となった。±1.61%はバラスト抵抗を用いない微小電子源の中で世界最高の安定性を示す値である。

酸素ラジカル雰囲気での電流変動は ±4.5%となり、従来の微小電子源などのバラスト抵抗を用い電流変動 5-100%と比較して、低い良好な値である。

電力変換デバイス・高効率・高現実感・3次元ディスプレイ実現のため、数十～1A 程度の大電流電界電子放出電流評価ユニットを設計・試作した。

転写モールド法微小電子源の電子放出電流密度は 1.01A/cm² となり、電力変換デバイス・高効率・高現実感・3次元ディスプレイ実現のため、本研究の目標値の 1A/cm² 程度の極微小電子源を試作に成功した。

本研究により太陽光・風力・原子力・スマートグリッドシステム、超伝導送電に有用な超低損失超小型電力変換デバイス、高効率・高現実感・3次元ディスプレイ、ならびに宇宙用電気推進エンジンの実現、更に、大面積量子効果デバイス作製基礎技術の実現を目指す。本研究で試作した極微小電子源の 1A/cm² 程度の大電界放出電流の結果から高性能3次元ディスプレイデバイスや電力変換デバイスとしてのエミッタ概念・構造設計も進め、例えば、既存の半導体パワーデバイス IEGT 等を用いた N700 系新幹線の 3.3kV, 1.2kA、3,250(W) × 2,180(L) × 700(T)mm、実効電流密度 17mA/cm² をモチーフに、300(W) × 400(L) × 5(mm) の超小型高効率真空ナノパワースイッチングデバイスで同等の性能が得られることが期待される。

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)

M. Nakamoto, J. Moon, Extremely stable and harsh-environment devices by

Transfer Mold field emitter fabrication method、IEEE Explore, the 8th IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference (NMDC)、査読有、8巻、2013、99 - 104

DOI:10.1109/NMDC.2013.6707466

M. Nakamoto、J. Moon、Low operation voltage, high aspect ratio, position controlled Transfer Mold carbon nanotube field emitter arrays、Proc. of the 33rd International display Research Conference (Eurodisplay 2013)、査読有、33巻、2013、262-265

M. Nakamoto、J. Moon、Extremely Stable and Nanostructure Transfer Mold Field Emitter Arrays in Harsh Environment、Proc. of the 5th Japan-Korea Vacuum Nanoelectronics Symposium、査読有、5巻、2013、14-15

M. Nakamoto、J. Moon、Extremely stable and harsh environment nano devices、Proc. of The 7th International Nanotechnology/MEMS Seminar (INMS2013)、査読有、7巻、2013、S4-6-1 - S4-6-15

M. Nakamoto、J. Moon、Sharp, Uniform, Stable and Nano-sized Transfer Mold Field Emitter Arrays、Proc. Of the 3rd Asia-Arab Sustainable Energy Forum (AASEF2013)、査読有、S3B巻、2013、11-12

M. Nakamoto、J. Moon、Extremely environment-hard and low work function transfer-mold field emitter arrays、Applied Surface Science、査読有、275巻、2013、178-184

DOI: 10.1016/j.apsusc.2012.12.170

M. Nakamoto、J. Moon、W. Kurota、Sharp, Uniform, Stable, and Environment-hard Transfer-Mold Field-Emitter Arrays、Proc. of the 51th International Meetings of the Society for Information Display、査読有、43巻、2012、853-856

M. Nakamoto、J. Moon、Stable vacuum electronic devices for aerospace and environment-hard applications、Tech. Digest of 2012 25th International Vacuum Nanoelectronics Conference、査読有、25巻、2012、76-77

M. Nakamoto、J. Moon、Extremely Stable and Low Work Function Transfer Mold Field Emitter Arrays for Harsh Environments、Proc. of the 6th International Meetings on Development in Materials, Processes, and Applications of Emerging Technologies、査読有、6巻、2012、28-30

M. Nakamoto、J. Moon、Environment-hard Vacuum Nanoelectric Devices for Green Electronics、Proc. of World Sustainable Energies Forum、査読有、1巻、2012、8-11

M. Nakamoto、J. Moon、Stable Vacuum

Nanoelectronic Green Devices in Harsh Environment、Proc. of the 6th International Nanotechnology/MEMS Seminar、査読有、6巻、2012、S4.4.1-S4.4.15

M. Nakamoto、J. Moon、Stable Emission Characteristics of Low Work Function Amorphous Carbon Coated Transfer Mold Nickel Field Emitter Arrays in Harsh Environment、Advanced Materials Research、査読有、222巻、2011、138-141
DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.222.138

N. Y. Bae、W. M. Bae、A. N. Ha、M. Nakamoto、J. Jang、K. C. Park、Low-voltage driven carbon nanotube field emission lamp、Curr. Appl. Phys.、査読有、11巻、2011、S86-S89

DOI:10.1016/j.cap.2011.07.014

K. Eto、M. Nakamoto、J. Moon、Low Operation Voltage Transfer Mold Field Emitter Arrays by Plasma Treatment Using Vacuum In-Situ Fabrication and Evaluation Method、Proc. of the 18th International Display Workshop、査読有、18巻、2011、1199-1202

W. Kurota、M. Nakamoto、J. Moon、Nanometer-Order Size and Extremely Stable Transfer Mold Field Emitter Arrays、Proc. of the 18th International Display Workshop、査読有、18巻、2011、1171-1174

M. Nakamoto、J. Moon、The Recent Vacuum Nanoelectronics for Green Devices、Proc. of the 9th International Displays Research Workshop (IDRW '11) in conjunction with 5th International Nanotechnology/MEMS Seminar、査読有、2011、S4-3-1-S4-3-16

J. Moon、M. Nakamoto、Stable Field Emitter Arrays for Aerospace Applications、Proc. of the 9th International Displays Research Workshop (IDRW '11) in conjunction with 5th International Nanotechnology/MEMS Seminar、査読有、2011、S4-4-1-S4-4-14
M. Nakamoto、The Recent Technical Trend of Vacuum Nanotechnology for Displays、Proc. of XXXI International Display Research Conference (IDRC'11), Eurodisplay 2011、査読有、2011、9.1.1-9.1.4

M. Nakamoto、J. Moon、Extremely Stable and Low Operation Voltage Transfer Mold Amorphous Carbon Field Emitter Arrays、Proc. of XXXI International Display Research Conference (IDRC'11), Eurodisplay 2011、査読有、2011、9.2.1-9.2.4

M. Nakamoto、J. Moon、W. Kurota、

Extremely stable, low operation voltage and 36 nm base length transfer mold field emitter arrays, Tech. Digest of 2011 24th International Vacuum Nanoelectronics Conference, 査読有、24 巻、2011、61-62

- ⑳ M. Nakamoto, J. Moon, Extremely Stable and Low Operation Voltage Field Emitter Arrays Fabricated by Transfer Mold Method for Harsh Environment, Proc. of the 3rd Japan-Korea Vacuum Nanoelectronics Symposium, 査読有、2011、27-27
- ㉑ M. Nakamoto, J. Moon, Vacuum Nanoelectronic Power Switching Devices for Harsh Environments, Proc. of 1st Asia-Arab Sustainable Energy Forum jointly with 3rd International Workshop on Sahara sola Breeder and 2nd International Workshop on superconducting DC Transmission and Distribution, 査読有、2011、57-58
- ㉒ 中本正幸, 関昌彦, 超高精細・高臨場感ディスプレイ, 照明学会誌, 査読有、95 巻、2011、475-480

その他 2 件

[学会発表](計 30 件)

中本正幸, 過酷環境用転写モールド法極微小カーボン電界放出エミッタ, 第 11 回真空ナノエレクトロニクスシンポジウム(招待講演)、2014 年 3 月 5 日、大阪大学、大阪

中本正幸, 文宗鉉, 過酷環境に適した炭素系電界放出源、電子状態及び電子放出機構解明に基づく極限画像デバイス用低仕事関数電界電子放出源の研究 研究会(招待講演)、2014 年 2 月 14 日、静岡大学、浜松

M. Nakamoto, J. Moon, Transfer Mold Nanostructure Carbon Field Emitter Arrays, The 10th International Display Research Workshop 2014 (招待講演)、2014 年 1 月 19 日、Paris, France

中本正幸, MEMS 及び Emerging Technologies の研究開発動向, IDW '13 チュートリアル(招待講演)、2013 年 12 月 3 日、札幌国際コンベンションセンター、札幌

M. Nakamoto, Extremely stable and harsh environment nano devices, The 7th International Nanotechnology/MEMS seminar (INMS2013) (招待講演)、2013 年 12 月 3 日、Hamamatsu, Japan

M. Nakamoto, Environment-hard Vacuum Nanoelectronic Green Devices, International Nanotechnology LETI Seminar(招待講演)、2013 年 11 月 16 日、

Grenoble, France

M. Nakamoto, J. Moon, Extremely Stable and Harsh-environment Devices by Transfer Mold Field Emitter Fabrication Method, The 8th IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conferences (IEEE NMDC 2013) (招待講演)、2013 年 10 月 9 日、Tainan, Taiwan、

M. Nakamoto, Extremely Stable and Nanostructure Transfer Mold Field Emitter Arrays in Harsh Environment, the 5th Japan-Korea Vacuum Nanoelectronics Symposium (招待講演)、2013 年 10 月 3 日、Seoul, Korea

M. Nakamoto, High Aspect Ratio, Position Controlled Transfer Mold Carbon Nanotube Field Emitter Arrays, Eurodisplay 2013, 33rd International Display Research Conference、2013 年 9 月 16 日、London, UK

M. Nakamoto, J. Moon, Sharp, Uniform, Stable and Nano-sized Transfer Mold Field Emitter Arrays, The 3rd Asia-Arab Sustainable Energy Forum (AASEF2013)、2013 年 5 月 5 日、Hiroasaki, Japan
中本正幸, 文宗鉉, 耐過酷環境性転写モールド法電界放出エミッタ, 第 10 回真空ナノエレクトロニクスシンポジウム(招待講演)、2013 年 03 月 05 日、大阪大学、大阪

M. Nakamoto, J. Moon, Stable Vacuum Nanoelectronic Green Devices in Harsh Environment, The 6th International Nanotechnology/MEMS Seminar (INMS2012) (招待講演)、2012 年 12 月 02 日、Hamamatsu, Japan

M. Nakamoto, J. Moon, Environment-hard Vacuum Nanoelectronic Devices for Green Electronics World Sustainable Energies Forum (EnerSol-WSEF2012) (招待講演) 2012 年 11 月 14 日、Tunis, Tunisia

M. Nakamoto, Infrastructure, Energy Transport and Distribution International Expert Panel, World Sustainable Energies Forum (EnerSol-WSEF2012) (招待講演)、2012 年 11 月 14 日、Tunis, Tunisia

M. Nakamoto, J. Moon, Stable vacuum nanoelectronic devices for green electronics, 2012 Symposium on Nanovision Technology(招待講演)、2012 年 10 月 18 日、Taipei, Taiwan

M. Nakamoto, J. Moon, Stable vacuum electronic devices for aerospace and environment-hard applications, The 25th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC2012) (招待講演)、2012 年 07 月 09 日、Jeju, Korea

M. Nakamoto, J. Moon, Extremely Stable and Low Work Function Transfer Mold

Field Emitter Arrays for Harsh Environments、The 6th International Meetings on Development in Materials, Processes, and Applications of Emerging Technologies(MPA2012)(招待講演)、2012年07月01日、Alvor、Portugal

M. Nakamoto、J. Moon、W. Kurota、Sharp、Uniform, Stable, and Environment-hard Transfer-Mold Field-Emitter Arrays、The 51th International Meetings of the Society for Information Display (SID2012) (招待講演)、2012年6月4日、Boston, U.S.A

中本正幸、文宗鉉、転写モールド法を用いた耐環境性アモルファスカーボンエミッタの電界電子放出特性、第9回真空ナノエレクトロニクスシンポジウム(招待講演)、2012年3月5日、大阪大学、大阪

M. Nakamoto、W. Kuroda、J. H. Moon、Nanometer-Order Size and Extremely Stable Transfer Mold Field Emitter Arrays、18th International Display Workshop (Best Paper Awards)、2011年12月8日、Nagoya、Japan

⑳ M. Nakamoto、The Recent Vacuum Nanoelectronics for Green Devices、The 9th International Displays Research Workshop (IDRW'11) in conjunction with 5th International Nanotechnology/MEMS Seminar (招待講演)、2011年12月6日、Hamamatsu、Japan

㉑ M. Nakamoto、J. Moon、Stable Field Emitter Arrays for Aerospace Applications、The 9th International Displays Research Workshop (IDRW '11) in conjunction with 5th International Nanotechnology/MEMS Seminar(招待講演)、2011年12月6日、Hamamatsu、Japan

㉒ M. Nakamoto、The Recent Technical Trend of Vacuum Nanotechnology for Displays、XXXI International Display Research Conference (IDRC'11)、Eurodisplay 2011 (招待講演)、2011年9月21日、Arcachon、France

㉓ 中本正幸、黒田渉、文宗鉉、転写モールド法極微小モリブデンエミッタアレイの電界電子放出特性、第72回応用物理学会学術講演会、2011年8月30日、山形大学、山形市

㉔ 中本正幸、文宗鉉、苛酷環境下における転写モールド法アモルファスカーボンエミッタアレイの表面物性と電界電子放出安定性、第72回応用物理学会学術講演会、2011年8月30日、山形大学、山形市

㉕ M. Nakamoto、Extremely Stable and Low Operation Voltage Field Emitter Arrays Fabricated by Transfer Mold Method for Harsh Environment、The 3rd Japan-Korea Vacuum Nanoelectronics Symposium (招待講演)、2011年8月27日、Seoul、Korea

㉖ M. Nakamoto、Vacuum Nanoelectronic Power Switching Devices for Harsh Environments、1st Asia-Arab Sustainable Energy Forum jointly with 3rd International Workshop on Sahara solar Breeder and 2nd International Workshop on superconducting DC Transmission and Distribution(招待講演)、2011年8月25日、Nagoya、Japan

㉗ M. Nakamoto、Extremely stable, low operation voltage and 36nm base length transfer mold field emitter arrays、24th International Vacuum Nanoelectronics Conference、2011年7月19日、Wuppertal、Germany

その他 2件

{ 図書 } (計 1件)

Masayuki Nakamoto、William I. Milne、John Wiley & Sons、Field Emission Displays (FED) and Surface-Conduction Electron-Emitter Displays (SED)、HANDBOOK OF DIGITAL IMAGING、2013、1968

{ その他 }

ホームページ

<http://www.rie.shizuoka.ac.jp/advancednanomachining.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中本 正幸 (NAKAMOTO, Masayuki)

静岡大学・工学研究科・教授

研究者番号：10377723

(3) 連携研究者

佐々木 正弘 (SASAKI, Masahiro)

筑波大学・数理物質科学研究科(系)・教授

研究者番号：80282333

山口 作太郎 (YAMAGUCHI, Satarou)

中部大学・藤原洋記念超伝導・持続可能エネルギー研究センター・教授

研究者番号：10249964

後藤 康仁 (GOTOH, Yasuhito)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00225666

Harry Tuller (TULLER, Harry)

米国マサチューセッツ工科大学(MIT)・工学研究科・教授

William I. Milne (MILNE, Bill)

英国ケンブリッジ大学・先端光・電子工学研究所所長・教授

文 宗鉉 (MOON, Jonghyun)

静岡大学・工学研究科・助教

研究者番号：30514947