

平成 22 年 6 月 9 日現在

研究種目： 基盤研究(B)
 研究期間： 2007～2009
 課題番号： 19360160
 研究課題名(和文) カーボンナノチューブの超精密位置・成長制御によるナノ構造デバイスの研究
 研究課題名(英文) Nano-structure devices fabricated by precise position and growth control of carbon nanotubes
 研究代表者
 中本 正幸 (FAMILY_NAME FIRST_NAME)
 静岡大学・電子工学研究所・教授
 研究者番号： 10377723

研究成果の概要(和文)：エミッタ材料選択性が極めて高く、先鋭で均一なエミッタ作製法である独自の転写モールド法とカーボンナノチューブ(CNT)作製技術との融合により、CNTをエミッタ先端のNi触媒部分に成長させ、従来のアスペクト比0.71、Turn-on電界14.9 V/ μm と比較して、アスペクト比0.93、12.5 V/ μm と、それぞれ、31%及び16%も向上した超精密位置・成長制御された転写モールド法CNT微小電子源の開発に成功した。

研究成果の概要(英文)：Highly uniform, high aspect ratio and low operation voltage Transfer Mold Ni FEAs having precisely position and growth controlled carbon nanotubes (CNTs) have been developed by the combination of the Transfer Metal Mold FEAs and CNTs to realize high efficient and reliable vacuum nanoelectronic devices and high performance displays. The aspect ratio and the turn-on voltages of Transfer Mold Ni FEAs with CNTs are much improved and as low as 0.93 and 12.5 V/ μm , being compared with 0.71 and 14.9 V/ μm of those without CNTs.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2008年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

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：カーボンナノチューブ、NEMS、微小電子源、真空ナノエレクトロニクス、ディスプレイ、FED、電界放出電子源、真空ナノパワースイッチングデバイス

1. 研究開始当初の背景

真空ナノテクノロジーは、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、例えば、フィ

ールドエミッションディスプレイ(FED)、高現実感・3次元ナノビジョンディスプレイ、研究代表者が提唱する、現在の電力変換設備を、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の創製が期待できる。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 年前より様々な微小電子源の研究が国内外で盛んに研究されている。しかし、形状不均一性等のエミッタ構造均一性、位置ばらつき等のエミッタ位置制御性に起因した電流集中による微小電子源の破壊・劣化、電界放出電流の揺らぎ等が大きな障害となり、未だに実用化されていない。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。カーボンナノチューブ (CNT) は、ナノメートルオーダーの先端曲率半径を持ち、低真空での電子放出特性に優れ、最も活発に研究されている。しかし、印刷法や CVD 法 (Chemical Vapor Deposition 法) による平面的な CNT 電子源形成では、様々な方向に CNT が位置し、CNT の形状も異なり、電子放出ポイントが定まらないという構造的な課題を抱えている。一方、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を作製できる。

2. 研究の目的

本研究は、上述の背景を踏まえ、微小電子源エミッタ材料の選択性が極めて高く、先鋭で均一な作製法である転写モールド法と、カーボンナノチューブ作製技術を融合させ、精密位置制御・成長制御された転写モールド法カーボンナノチューブ微小電子源の開発を目的とする。本研究により、高現実感・3次元ナノビジョンディスプレイ、真空ナノパワースイッチングデバイスを用いた超低損失小型電力変換所、宇宙用電気推進エンジンなどの実現が期待できる。

3. 研究の方法

本研究は、転写モールド法電子源作製技術を用いて Ni 等の触媒金属からなる先鋭な支持基盤を作製し、先端に電界を局所あるいは全体印加させながら、CVD 法、超精密電気鍍金法等により、その先端に CNT を選択成長させると同時に、従来、同じく研究されてこなかった CNT の基本電子物性と電界電子放出特性との関係の解析を行い、超精密位置制御・成長制御された微小電子源を開発する。CNT の突起型触媒金属基板先端への選択形成には、アーク放電法、レーザーオープン法ではなく、近年、CNT の収率が高く、不純物含有が少なく、炭層カーボンナノチューブ (SWNT) が生成しやすい触媒 CVD 法と、低コスト、大面積化を促すため報告例

の無い超精密電気鍍金法を試みる。

4. 研究成果

最初に、CNT 成長の基板となる、超精密電気鍍金を用いた転写モールド法各種触媒金属平板および突起型基板を開発した。電子ビーム描画技術とウェットエッチングプロセスを用いて、4 インチシリコンウェハ上に一辺 1.6 mm の逆ピラミッド型モールドをアレイ状に作製した。次に、シリコンウェハを熱酸化することで、逆ピラミッドの底部を先鋭化した。このシリコンウェハを鋳型として、Ni を用いた超精密電気鍍金により CNT 合成時に触媒となる Ni 突起型基板を作製した。走査型電子顕微鏡により形状を観察したところ、突起は 10~20 nm の先端曲率半径を有し、極めて先鋭で、形状均一性も良好であった。

この Ni 鍍金基板を用いて、高電界印加触媒 CVD 法装置による CNT 微小電子源の開発を試みた。加熱温度、溶媒種類・濃度、電界強度、電界分布等をパラメーターとして、CNT (Single Wall Nanotube, SWNT) の成長条件を検討し、Ni 触媒基板上に SWNT が成長した CNT エミッタを作製できた。ラマン分光により CNT エミッタ上の SWNT を調べたところ、ID/IG=0.14-0.16、G/D 比が 6-7 と純度が高く、直径も 1-1.6 nm であった。また、CNT はエミッタ先端だけでなく、エミッタ側面など表面全体に形成されていた。超高真空ナノ評価装置を用いて、CNT エミッタの電界電子放出特性の測定を行ったところ、SWNT 成長前の Ni 触媒基板だけの場合、電子放出開始電圧は 500 V 程度であったのに対して、SWNT を成長することで、250 V 程度の低い電圧で電子放出が生じた。また、電流変動も CNT 無しの場合に比較して半減、電流の安定度も向上し、高性能 CNT エミッタの開発に成功した。

次に、3次元電子放出数値解析により、突起型基板上に垂直配向させた CNT エミッタの電界電子放出特性を調べた。CNT を成長させることで、CNT 無しの場合に比較して電界は 1.63 倍、F-N プロットから求めた電界集中係数は 2.3 倍に向上し、Turn-on 電界は、約 1.1 1% 程度低くなることが予想された。

更に、上述した CNT 作製法では、CNT が Ni 触媒基板前面に形成されるため、エミッタ先端部にのみ CNT が成長する方法を開発し、精密位置制御・成長制御された転写モールド法 CNT 微小電子源の試作を試みた。転写モールド法 Ni 突起基板に厚さ 50nm の TiN 層を形成し、NH₃ プラズマ処理により TiN をエッチングし、エミッタ先端部の TiN 層の厚さを薄くし、基板加熱により Ni 原子が転写モールド法 Ni 突起の頂点部のみに拡散し CNT 成長のための触媒となるようにした。次に、PECVD 法を用いて C₂H₂ ガスと NH₃

ガス混合プラズマによりCNTを成長させたところ、CNTはエミッタ先端のNi触媒部分のみに成長し、精密位置制御・成長制御された転写モールド法CNT微小電子源の作製に成功した。作製した転写モールド法CNT微小電子源の先端曲率半径は15nm、長さは0.32 μ mであり、従来の回転蒸着法(スピント法)微小電子源の先端曲率半径80-280nmに比較して、大幅に先鋭化できた。アスペクト比は0.93であり、転写モールド法Ni微小電子源の0.71と比較して31%向上した。ラマン分光によりID/IG比は0.93であり、Multi Wall Nanotube(MWNT)が形成されていた。電界電子放出特性を調べたところ、転写モールド法CNT微小電子源のTurn-on電界は12.5V/ μ mとなり、転写モールド法Ni微小電子源の14.9V/ μ mと比較して16%もTurn-on電界が低くなった。超精密位置制御・成長制御された転写モールド法CNT微小電子源の開発に成功した。

一方、突起型基板上にCNT超精細電気鍍金微小電子源の試作も試みた。CNTを分散させた電解質液を円筒容器に入れ、陽極から20~30mm離して陰極側に突起型基板を装着した。全体が馴染んだところに高電位勾配で通電し、超精細電気鍍金基板に、電界に沿ってCNTを配向移動させ、Niイオン濃度25g/L、水素イオン濃度pH6.0 \pm 0.5、CNT濃度100mg/L等の条件で鍍金を行うことで、超精細電気鍍金液から金属を析出させて突起部先端にCNTを固着させ、付着強度が強く、大面積で、しかも低価格の精密位置制御・成長制御された転写モールド法CNT微小電子源の試作に成功した。

現在、CNT微小電子源を平面形成する研究は膨大な数があるが、任意位置に均一形成することは出来ず、局所的な電流集中によりエミッタの破壊や電界放出電流の不安定性、ビーム形状の不均一性等が発生するため実現の見通しが立っていない。

以上の成果により、超精密位置制御・成長制御され、しかも、ナノメートルオーダーの先端曲率半径を持ち、アスペクト比が高く、世界最小レベルの低電圧駆動の微小電子源の作製が、初めて可能となった。微小電子源の「ひとつの究極の形」といえる。高現実感・3次元ナノビジョンディスプレイ、真空ナノパワースイッチングデバイスを用いた超低損失小型電力変換所、宇宙用電気推進エンジンなどの次世代高性能・高機能デバイスの実現の大きな橋頭堡を築くことが出来た。

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14件)

- ① Masayuki Nakamoto, Jonghyun Moon, and Koji Shiratori, "Low work function nanometer-order controlled transfer mold field-emitter arrays", J. Vac. Sci. Technol. B 28(2), ppC2B1-C2B5 (2010), 査読有
- ② S. Manivannan, Je Hwang Ryu, Han Eol Lim, M. Nakamoto, Jin Jang, and Kyu Chang Park, "Properties of surface treated transparent conducting single walled carbon nanotube films", J Mater Sci: Mater Electron, 21, pp.72-77 (2010), 査読有
- ③ 奥村治彦、内田龍男、金子節夫、下平美文、内池平樹、服部励治、中西洋一郎、山崎映一、中本正幸,"この40年のディスプレイ技術の変遷と将来展望"電子情報通信学会論文誌C, J92-C, No.8, pp433-453 (2009), 査読有
注:電子情報通信学会論文誌500号記念論文特集招待論文
- ④ 中本正幸,"真空ナノエレクトロニクスへ進化し続ける真空管",電子情報通信学会誌, 93, No.1, pp23-28 (2010), 査読有
- ⑤ Masayuki Nakamoto,"Flat Panel Displays and Ceramic Display Materials", Bulletin. of the Ceramic Society of Japan, 43, pp446-449(2008), 査読有
- ⑥ H. X. Wang, N. Jiang, H. Harazono, H. Hiraki, Y. Harada, M. Haba, and M. Nakamoto,"Development of high-brightness flat field-emission lamp with a special electrode system for block dimming BLUs for LCDs", J. of Soc. Info. Display, 17, pp357-361 (2009), 査読有
- ⑦ Masayuki Nakamoto,"Current Trends in Field Emission Displays", Proc. of IEEE Industrial Application Society, 44, pp225-228 (2008), 査読有
- ⑧ 中本正幸,"フィールドエミッションディスプレイ(FED)",日本印刷学会誌, 45, pp157-159(2008), 査読有
- ⑨ M. Nakamoto,"Field Emission Display" Electronic Ceramics 20. pp13-17 (2007), 査読有
- ⑩ M. Nakamoto,"Field Emission Display Research and Development" J.of Inst. Elect. Eng. Japan 127. pp789-793 (2007), 査読有
- ⑪ M. Nakamoto,"Flat Panel Display Advanced Research" J.of Inst. Elect. Eng. Japan 127. pp778-779 (2007), 査読有
- ⑫ M. Nakamoto, G. Sato, and K. Shiratori,

- "Low Work Function and Sharp Field Emitter Arrays by Transfer Mold Fabrication Method" Proc. of the 7th International Meeting on Information Display 7, pp1049-1052 (2007), 査読有
- ⑬ M. Nakamoto, K. Shiratori, G. Sato, H. Kominami, Y. Nakanishi, H. Hiraki and M. Haba, "White Color Flat Field Emission Lamps with Newly Developed High Luminance Green Phosphor" Proc. of the 14th International Display Workshops 14, pp1349-1352 (2007), 査読有
- ⑭ M. Nakamoto, "Recent Advances in Vacuum Nanotechnology" Proc. of the 10th Asia Pacific Physics Conference 10, pp32-33 (2007), 査読有

[学会発表] (計 51 件)

- ① 中本正幸, 文宗鉉, 白鳥硬次, "高均一、高アスペクト比、低動作電圧の精密位置制御カーボンナノチューブ転写モールド法エミッタアレイ", 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 2010 年 3 月 17 日、(東海大学).
- ② 文宗鉉, 中本正幸, 白鳥硬次, "耐環境性転写モールド TiN エミッタアレイの電界放出電流安定性", 第 57 回応用物理学関係連合講演会 2010 年 3 月 17 日 (東海大学)
- ③ 文宗鉉, 中本正幸, 白鳥硬次, "苛酷環境下における転写モールド窒化チタンフィールドエミッタアレイ", 第 57 回応用物理学関係連合講演会 2010 年 3 月 17 日 (東海大学)
- ④ 中本正幸, 文宗鉉, "耐苛酷環境性転写モールド法エミッタアレイの研究", 第 7 回真空ナノエレクトロニクスシンポジウム, 2010 年 3 月 2 日~3 日 (浜松)
- ⑤ (Invited) Masayuki Nakamoto, "Uniform and Stable Transfer Mold Field Emitter Arrays in Harsh Environment", Ecole Polytechnique-Kyung Hee University the 7th Joint Workshop, 2010. 01. 31-02. 01, (Seoul, Korea)
- ⑥ (Invited) Masayuki Nakamoto, Jonghyun Moon and Kohji Shiratori, "Low Work Function Transfer Mold Nano Field Emitters", The 1st Korea-Japan Vacuum Nanoelectronics Workshop, 2009. 11. 07-07, (Seoul, Korea)
- ⑦ Masayuki Nakamoto, Jonghyun Moon, Koji Shiratori, "Low work function nanometer-order controlled transfer mold field emitter arrays", The 22nd International Vacuum Nanoelectronics Conference, 2009. 07. 20-24, (Hamamatsu, Japan)
- ⑧ Han Eol Lim, Je Hwang Ryu, Byung Taek Son, Hye Mi Oh, Na Young Bae, Jin Jang, Jong Hyun Moon, Masayuki Nakamoto, Kyu Chang Park, "Strong atmospheric stability of carbon nanotubes under high temperature annealing", The 22nd International Vacuum Nanoelectronics Conference, 2009. 7. 20-24, (Hamamatsu, Japan)
- ⑨ Je Hwang Ryu, Han Eol Lim, Byung Taek Son, Na Young Bae, Hye Mi Oh, Il Ok Jeong, Jong Uk Kim, Masayuki Nakamoto, Jin Jang, Kyu Chang Park, "A simple process of growing vertically aligned carbon nanotube emitter on metal foil for X-ray source", The 22nd International Vacuum Nanoelectronics Conference, 2009. 07. 20-24, . (Hamamatsu, Japan)
- ⑩ Masayuki Nakamoto, Jonghyun Moon, Koji Shiratori, Yasushi Sugiyama, "Nanometer-order base length, sharp and uniform field emitter arrays fabricated by transfer mold method", The 22nd International Vacuum Nanoelectronics Conference, 2009. 07. 20-24, . (Hamamatsu, Japan)
- ⑪ Jonghyun Moon, Masayuki Nakamoto, Koji Shiratori, "Uniform and stable emission characteristics for amorphous carbon coated transfer mold nickel field emitter arrays in harsh environment", The 22nd International Vacuum Nanoelectronics Conference, 2009. 07. 20-24, . (Hamamatsu, Japan)
- ⑫ Kazuhisa Eto, Masayuki Nakamoto, Jonghyun Moon, and Koji Shiratori, "Newly Developed Transfer Mold FEA using Vacuum In-situ Fabrication and Evaluation Method", The 16th International Display Workshop, 2009. 12. 09-11, (Miyazaki, Japan)
- ⑬ Kazuhisa Eto, Masayuki Nakamoto, Jonghyun Moon, and Koji Shiratori, "Fabrication and Evaluation of Transfer Mold Field Emitter Arrays Using New Vacuum In-Situ System", The 6th Korean-Japanese Student Workshop, 2009. 10-29-31, (Hamamatsu, Japan)
- ⑭ Jonghyun Moon and Masayuki Nakamoto, "Stable Operation Voltage and Low Work Function Transfer Mold Field Emitter Arrays in Harsh Environment", The 11th Takayanagi Kenjiro Memorial Symposium, 2009. 11. 12-13, (Hamamatsu, Japan)
- ⑮ Masayuki Nakamoto, Jonghyun Moon, and

- Koji Shiratori, "Numerical analysis of Field Emission Characteristics for a Carbon Nanotube on the Apex of Transfer Mold Field Emitter Arrays" 第56回春季応用物理学関係連合講演会, 2009年4月1日(筑波大学)
- ⑮ Jonghyun Moon, Koji Shiratori, Masayuki Nakamoto, "Field Emission Characteristics of Transfer Mold Ni-FEAs Coated by Amorphous Carbon Film" 第56回春季応用物理学関係連合講演会, 2009年4月1日(筑波大学)
- ⑯ Masayuki Nakamoto and Jonghyun Moon, "Environment-hard Sharp and Uniform Field Emitter Arrays for Displays and Aerospace Application" International Display Research Workshop, 2009.02.01-03, Paris, France (Invited)
- ⑰ Masayuki Nakamoto, "Recent Advances in Vacuum Nanotechnology for Displays" The International Display Research Symposium, 2009.2.27-28 (Seoul, Korea) (Invited)
- ⑱ Jonghyun Moon and Masayuki Nakamoto, "Simulation of Nanostructure Transfer Mold Field Emitter Arrays, The 15th International Display Workshops, 2008.12.02-05, (Niigata, Japan)
- ⑲ H. Hiraki, H. Harazono, T. Onozawa, M. Nakamoto and A. Hiraki, "High Quality Tubular Field Emission Lamp using a wire type carbon-nano-structure emitter" The 8th International Meeting on Information Display, 2008.10.13-18, (Ilsan, Korea) (Invited)
- ⑳ Masayuki Nakamoto, "Current Trends in Field Emission Displays", The 43th IEEE Industrial Application Society Annual Meeting, IEEE IAS2008, 2008.10.01-05, (Edmonton, Canada) (Invited)
- ㉑ 中本正幸, "高効率真空ナノデバイス"、第116回電子セラミックス・プロセス研究会、2008.9.27(藤沢)(招待講演)
- ㉒ Masayuki Nakamoto, Jonghyun Moon and Koji Shiratori, "Nanometer-Order Controlled Low Work Function Transfer Mold Field Emitters" The 7th International Conference On Global Research and Education, 2008.09.15-18 (Hungary, Peach)
- ㉓ 中本正幸, "真空ナノエレクトロニクスと表面処理技術"、表面技術協会めつき部会大会(SURTECH2008)、2008年9月11日、(幕張メッセ)(招待講演)
- ㉔ 中本正幸・白鳥硬次・文宗鉉, "高効率真空ナノランプの開発" 電子情報通信学会 電子デバイス研究会 2008年8月5日(静岡大学)
- ㉕ Masayuki Nakamoto, "Low Work Function Transfer Mold Nanostructure Field Emitters", The 12th Advanced Display Materials and Devices, 2008.06.26-27, Jeju, Korea, (Invited)
- ㉖ M. Nakamoto, K. Shiratori, N. Takada, H. X. Wang, H. Harazono, N. Jiang, H. Hiraki, Y. Harada, and M. Haba "Fabrication of High Brightness Flat Field Emission Lamp with 6kV Anode Voltage for Local Dimming LCD BLU", The 46th Society for Information Display, 2008.05.18-23, (Los Angeles, U. S. A.)
- ㉗ 中本正幸, "高効率真空ナノランプの開発" 第5回真空ナノエレクトロニクスシンポジウム, 2008.03.04, (東京、筑波大学大塚キャンパス)(招待講演)
- ㉘ J. H. Moon, G. Sato, M. Nakamoto, K. C. Park and J. Jang, "Numerical Analysis of Carbon-Nanotube Field Emitters with the Negative Cathode Driving" 第55回応用物理学関係連合講演会. 2008.03.27(日本大学理工学部)
- ㉙ A. Hiraki, H. Hiraki, M. Nakamoto and G. Sato "High Quality Field Emission Lamps from Electron-Emitting Carbon Films with Unique Carbon-Nano-Structure" 14th International Display Workshops. 2007.12.06 (Sapporo, Japan) (Invited)
- ㉚ M. Nakamoto, K. Shiratori, G. Sato, H. Kominami, Y. Nakanishi, H. Hiraki and M. Haba, "White Color Flat Field Emission Lamps with Newly Developed High Luminance Green Phosphor" 14th International Display Workshops. 2007.12.06 (Sapporo, Japan)
- ㉛ G. Sato and M. Nakamoto, "Numerical Analysis of Size Effect for Transfer Mold Field Emitter Arrays" 14th International Display Workshops. 2007.12.06 (Sapporo, Japan)
- ㉜ 中本正幸, "フィールドエミッションディスプレイの展望" 日本オプトメカトロニクス協会、ビジュアルインターフェース技術部会講演会. 2007.11.26, (東京・機械振興会館)(招待講演)
- ㉝ 中本正幸, "FEDとMEMSディスプレイ" 照明学会光関連材料専門部会公開研究会. 2007.11.02, (東京、化学会館)(招待講演)
- ㉞ M. Nakamoto, "Recent Progress in Field Emission Displays and Vacuum Nanotechnology" The 4th International Symposium and Nanovision Science.

2007.10.29, (Hamamatsu, Japan)

- ③⑥ M. Nakamoto, "Low Work Function and Sharp Field Emitter Arrays by Transfer Mold Fabrication Method" The 7th International Meeting on Information Display, 2007.08.30, (Daegu, Korea) (Invited)
 - ③⑦ M. Nakamoto, "Recent Advances in Vacuum Nanotechnology" The 10th Asia Pacific Physics Conference, APPC10, 2007.8.21, (Pohang, Korea) (Plenary Talk)
 - ③⑧ M. Nakamoto, "Present and Future of FED/SED and Vacuum Nanotechnology Research" The Pacific Northwest Chapter Conference of Society for Information Display, 2007.05.04. (Portland, U. S. A). (Invited)
 - ③⑨ M. Nakamoto, "Present and Future of FED/SED and Vacuum Nanotechnology Research" The Mexico Chapter Conference of Society for Information Display, 2007.05.03, (Tijuana, Mexic) (Invited)
 - ④⑩ M. Nakamoto, "Present and Future of FED/SED and Vacuum Nanotechnology Research" The San Diego Chapter Conference of Society for Information Display, 2007.05.01, (San Diego, U. S. A) (Invited)
 - ④⑪ M. Nakamoto, "Present and Future of FED/SED and Vacuum Nanotechnology Research" The Texas Chapter Conference of Society for Information Display, 2007.04.27, (Austin, U. S. A.) (Invited)
 - ④⑫ M. Nakamoto, "Present and Future of FED/SED and Vacuum Nanotechnology Research" The New England Chapter Conference of Society for Information Display, 2007.04.03, (Boston, U. S. A) (Invited)
 - ④⑬ M. Nakamoto, "Present and Future of FED/SED and Vacuum Nanotechnology Research" The Mid-Atlantic Chapter Conference of Society for Information Display, 2007.04.19, (New York, U. S. A.) (Invited)
- その他 8件

[図書] (計3件)

- ① 中本正幸, "ディスプレイ材料と機能性色素", 共著, シーエムシー出版, 第6章 FED, pp191-225 (2010)
- ② 中本正幸, "光技術動向調査報告書", 共著, 光産業技術振興協会, 4.2.4 FED及びMEMSディスプレイ, pp240-247 (2010)

- ③ 中本正幸, "FEDの原理と構造", 薄膜ハンドブック (第2版), 日本学術振興会薄膜第131委員会編, オーム社, p 568-576(2008)

[その他]

報道など

- ① 電子情報通信学会 HP :
電子情報通信学会誌 2010年新年号話題の記事 "真空ナノエレクトロニクスへ進化し続ける真空管",
<http://www.ieice.org/jpn/books/kaishiki/index.html>

ホームページ等

<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・電子工学研究所・教授
研究者番号: 10377723

(2) 研究分担者

後藤 康仁 (GOTOH YASUHITO)
京都大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 00225666
(H20→H21: 連携研究者)
畠山 力三 (HATAKEYAMA RIKIZO)
東北大学・工学研究科・教授
研究者番号: 00108474
(H20→H21: 連携研究者)
鈴木 信三 (SUZUKI SINZO)
研究者番号: 10226516
(H20→H21: 連携研究者)

(3) 連携研究者

文 宗鉉 (MOON JONGHYUN)
静岡大学・電子工学研究所・助教
研究者番号: 30514947
(H20→H21: 連携研究者)
加藤 俊顕 (KATO TOSHIAKI)
東北大学・工学研究科・助教
研究者番号: 20502082
(H20→H21: 連携研究者)

(3) 研究協力者

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