

平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書

◆ 記入に当たっては、「平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書記入要領」を参照してください。

ローマ字		FUJITA HIROYUKI					
① 研究代表者氏名		藤田 博之		② 所属研究機関・部局・職		東京大学・生産技術研究所・教授	
③ 研究課題名	和文	ナノ物体の物性計測と可視化観察の同時遂行を目指すナノ・ハンド・アイ・システム					
	英文	Nano-Hand-Eye System for Simultaneous Imaging and Characterization of Nano Objects					
④ 研究経費		平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	平成20年度	総合計
18年度以降は内約額 金額単位：千円		28,100	17,000	17,000	12,800	12,800	87,700
⑤ 研究組織（研究代表者及び研究分担者） *平成18年3月31日現在							
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）				
藤田 博之	東京大学・生産技術研究所・教授	マイクロナノエレクトロニクス	研究統括及び実時間原子輸送像の観測とその分解能の評価				
安宅 学	東京大学・生産技術研究所・助手	マイクロシステム制御	単分子分離捕獲用チップの開発				
橋口 原	香川大学・工学部・教授	半導体マイクロマシニング	ナノピンセット及び機能性プローブの作製				
横川 隆司	立命館大学・理工学部・講師	ハイブリッドマイクロシステム	評価用物質の作成と評価支援				
⑥ 当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）							
<p>本研究の目的は、これまで培ってきたナノマシン技術、位相干渉計測を含む高分解能透過電子顕微鏡技術等をナノ・ハンド・アイ・システムへとさらに発展させ、極微領域の評価の技術として確立することである。これにより、ナノ物体や構造の自在なハンドリングと、ナノ機能の計測制御が可能なシステムを創出し、ナノ領域における新しい科学技術領域を切り開く手段を提供することができる。すなわち、ナノギャップを持つ対向ナノプローブやそれと一体化したマイクロアクチュエータや変位センサなどのデバイス作製技術、及び位相差検出透過型電子顕微鏡や原子間力顕微鏡（AFM）による「その場」観察技術を融合して、DNA等の生体分子やカーボンナノチューブ、ナノ粒子、人工合成した巨大分子のようなナノ物体を目で見ながら自由に取り扱う手段を提供するとともに、その機械的・電磁氣的・光学的な特性の計測技術を確立することを目標とする。</p> <p>本研究の特徴は、半導体マイクロナノマシニング技術を利用して、複数のプローブ先端を近接させて作り、それをマニピュレーション用ナノハンドとして用いること、対象とハンドの位置関係や、細部の形状、電界分布などを同時に可視化観測するために、位相差検出型透過電子顕微鏡やプローブ自身を用いた原子間力顕微鏡を目（ナノアイ）として使い、可視化情報に基づいてナノマニピュレーションを行うことにある。全体の進め方としては、まず単一ナノ物体の形成技術や捕獲技術を確立し、それを真空中など望みの環境に運び、顕微鏡で直視観測しながら、構造変化や物性を測る技術を開発する。次にプローブに多機能を付加し、様々のパラメータの計測・評価を可能にする。とくに同時に複数のパラメータを計測することや、ある作用を一方のプローブから刺激として与えそれによる他パラメータの変化を他方のプローブで評価することを試みる。具体的には力計測機能を備えた4端子測定用プローブによるDNA分子やカーボンナノチューブの歪み抵抗効果測定、対向型近接場光プローブによるナノ物体の光学特性評価、などを試みる。</p>							

⑦これまでの研究経過（研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。）

5年計画の開始時期にあたる最初の2年間では様々のマイクロ・ナノデバイスの製作と、生体分子・人工超分子・無機材料ナノワイヤなど様々の操作・評価対象について広範囲の探索的検討を行った。さらに、より精密な制御を可能とするため、アクチュエータと変位センサを一体集積したデバイスの製作と駆動を行った。

1. マイクロ・ナノデバイスの製作

1.1 ナノギャップの製作 対向針先の間隔が10nm級のデバイスを作るプロセスを検討した。ドライエッチングとウェットエッチングではギャップ長の制御が難しかった。集束イオンビーム（FIB）を用いて加工と形状観察を同時に行うことで、20～50nmのギャップを作製した。DNA水溶液中にナノギャップを浸し、高周波電圧を加えてギャップ間に分子束を吸引し捕獲する実験を行った。ギャップ長を15nm, 150nm, 2 μ mと変えた3種のデバイスで、DNA分子を捕えた。百～千分子の束について抵抗測定を行ったところ、15nmと150nmについては導電性があったが、2 μ mでは絶縁性であった。

1.2 静電アクチュエータで開閉可能なナノギャップの製作 シリコンの微細加工で可動の対向カンチレバー対を作り、両者を静電力で撓ませた時に上部先端が徐々に近づくことを利用して、静電アクチュエータで開閉可能なナノギャップを製作した。ギャップ間に複数の導電性分子を捕獲し、徐々にギャップを開くことで架橋する分子が一分子ずつ切断され導電率がステップ状に減少する様子を測定した。

1.3 AFM可視化機能を持つデバイスの作製 デバイスに集積化した2本のナノプローブのうち、1本の先端を用いてナノ物体を可視化し、次に2本で把持するAFMピンセットを製作した。シリコン基板上にマイクロビーズを置き、可視化後に操作する実験を行い、複数のビーズのうち一つを選択して把持することができた。また、2対の針先間に捕獲したDNA分子束に、AFM観察用マイクロステージを近づけ、市販のAFMで可視化した。

2. 様々のナノ物体の操作と評価法の検討

2.1 ナノワイヤの形成・伸長・破断実験の透過電子顕微鏡観測 シリコンや金のナノ針端が、サブミクロン程度に近付いているデバイスを作り、そのギャップをマイクロアクチュエータで狭めて、接触・融合させることでナノワイヤを形成した。更に、ワイヤを逆に引き伸ばし、破断する実験を行った。この過程において原子輸送により針端やワイヤの形状が変化する様子を透過電子顕微鏡で実時間観測した。シリコンナノワイヤは、10nm程度の直径から2～3nmに細くなるまで、数10nmの長さ引き伸ばすことができた。一方金は、20nm程度の直径から数nm引き伸ばすと急激に細くなって破断した。いずれの場合も破断後の針先は極めて尖っているが、原子再配列によりすぐに丸くなる様子が観測できた。

2.2 微小管の単離・固定用デバイス キネシンを表面に付加したマイクロ流路内に微小管を入れ、キネシンの力により駆動した。マイクロ流路に直交するナノ流路に微小管が入り込んだところで紫外線を当てることにより、ナノ流路内に1本の微小管を固定した。単離した微小管を分子ピンセットで捕獲して評価することを試みている。

2.3 単分子分離捕獲用チップによるDNA分子操作と観測 マイクロ・ナノ流路により水中のDNA分子を単離するチップを作り、それに分子捕獲用電極やナノピンセットを組み込み、DNA単分子の捕獲と操作を試みた。幅600nm、高さ4 μ m、長さ40 μ mのチャンネル中に微小な水圧による流れを作り、稀釈したDNA溶液を用いて、1分子が分かれて流れるようにした。出口に電極対を設置し、流出するDNA分子を、高周波電圧の印加で捕獲した。しかし再現性が乏しかったため、流路中に作り込んだ電極に電圧を加え、電気泳動によりDNA分子を単離しながら、ゆっくりと捕獲用電極対に向けて移動させることとした。しかし、捕獲用の高周波電圧を電極対に加えるとDNA分子がかえって離れて行く現象があり、捕獲できなかった。現在、この現象の解明と対策の検討を進めている。

2.4 人工超分子の操作 らせん状の管形超分子（Hexa-peri-hexabenzocoronene）を有機溶剤に溶かし、チップ上の電極対に加えた電極で、束状に捕獲できた。今後、導電率や、電圧印加による自発蛍光強度の変化などを測定する予定である。

3. アクチュエータ・センサ集積化デバイス（ナノピンセット）

櫛歯静電アクチュエータで開閉するナノピンセットに、静電型の変位センサを付加した。ピンセットの開閉に伴う静電容量変化を測り、数nmの分解能を得た。

⑧特記事項 (これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。)

「これまでの研究成果」の項で記した「2. 1 ナノワイヤの形成・伸長・破断実験の透過電子顕微鏡観測」については、極めて新規性の高い結果が得られている。Fig. 1 に示したのは、シリコンの対向針を用いて接近・衝突・引張・破断実験を行った結果について、伸長と破断の様子を示したものである。ナノコンタクトが非常に長く引き延ばされている。最終的に破断したあと、双方の先端が原子再配列により徐々に丸くなった。しかし、シリコン原子の移動速度は遅く、図の右上の電子顕微鏡写真の状態ですべて安定するまで、数秒を要した。なお、本実験に先立って超高真空の試料室内で何度か衝突と破断を繰り返し、表面の清浄化を図った。引張試験の途中で形成されたナノワイヤを強拡大してみると、結晶格子像が観察できた。さらに電子線回折パターンを撮って解析したところ、 $\langle 100 \rangle$ 面方位であることが分かった。両方の針は、SOI基板の $\langle 100 \rangle$ 面をもつ単結晶シリコン層から作っているため、これと同じ面方位が融着部にも形成されたことがわかる。また、金の対向針においても同様の実験を行ったところ、ワイヤの伸長距離は短く、また破断後の原子再配列は数秒のうちに完了することが分かった。このように、ナノレベルでの材料の変形と破断特性と、原子再配列のような過渡的原子輸送を実時間で観測することができた。現在、第一原理に基づく理論計算との比較を試みているが、このような現象に着目した研究は世界に類例が無く、学術的に大きなインパクトを持つ新知見が多く得られることを確信している。

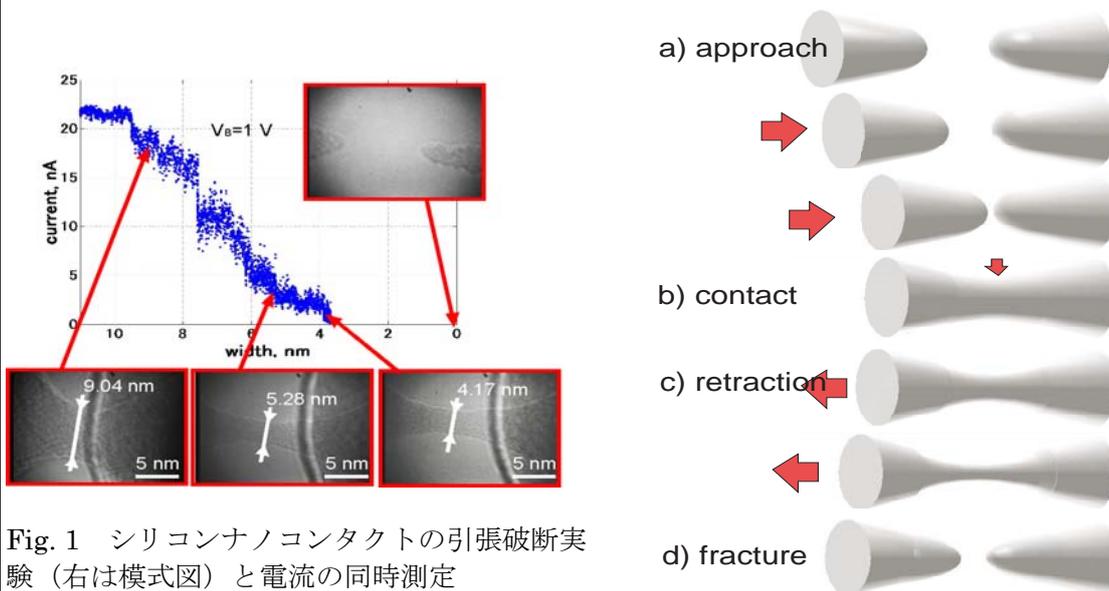


Fig. 1 シリコンナノコンタクトの引張破断実験 (右は模式図) と電流の同時測定

また MEMS を道具として一分子レベルで生体分子の働きを調べる研究も独創的であり、ナノピンセットによる DNA 分子の機械的な捕獲や、微小管・キネシン系の生体分子モータをマイクロ流路の中に取り込み、微小管の単離を実現できた。今後、生物学の研究者に我々の MEMS ツールを提供し、密接に力を合わせて応用分野での実験を行うことで、大きなフロンティアが開けるものと期待している。

⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

- Kuniyuki Kakushima, Toshiyuki Watanabe, Kouji Shimamoto, Takushi Gouda, Manabu Ataka, Hidenori Mimura, Yoshimasa Isono, Gen Hashiguchi, Yutaka Mihara, Hiroyuki Fujita, "Atomic Force Microscope Cantilever Array for Parallel Lithography of Quantum Devices", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.43, No.6B, pp.4041-4044, 2004
- D. Kobayashi, Y. Mita, T. Shibata, T. Bourouina, H. Fujita, "Batch bulk-micromachined high-precision metal-on-insulator microspires and their application to scanning tunneling microscopy", Journal of Micromechanics and Microengineering (JMM), Vol. 14, pp.S76-S81, 2004
- R. Yokokawa, S. Takeuchi, H. Fujita, "Ultra-smooth glass channels for bioassay with motor proteins", The Analyst, Vol.129, pp.850-854, 2004
- R. Yokokawa, S. Takeuchi, T. Kon, M. Nishiura, K. Sutoh, H. Fujita, "Unidirectional transport of kinesin-coated beads on microtubules oriented in a microfluidic device", Nano Letters, Vol.4, pp.2265-2270, 2004
- 角嶋邦之, 渡邊稔之, 島本浩司, 合田拓史, 安宅学, 三村秀典, 磯野吉正, 橋口原, 三原豊, 藤田博之, "パラレルAFMリソグラフィー用カンチレバーの製作", 電気学会論文誌E センサ・マイクロマシン部門誌, Vol.124, No.7, pp.248-254, 2004
- Ryuji Yokokawa, Shoji Takeuchi, Takahide Kon, Masaya Nishiura, Reiko Ohkura, Masaki Edamatsu, Kazuo Sutoh, Hiroyuki Fujita, "Hybrid Nanotransport System by Biomolecular Linear Motors", IEEE/ASME Journal of Microelectromechanical Systems, Vol.13, No.4, pp.612-619, 2004
- Ryuji Yokokawa, Shoji Takeuchi, Hiroyuki Fujita, "Unidirectional Transfer of Microbeads by Biomolecular Linear Motors", International Conference on Electrical Engineering 2004, Joint Conference with Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology 2004, July 4-8, 2004, Sapporo, Japan, Vol.3-1, pp.352-356, 2004
- Murat Gel, Kuniyuki Kakushima, Hiroyuki Fujita, "Bias Voltage Modulated AFM Oxidation for Fabrication of Nanogap Separated Silicon Electrodes", International Conference on Electrical Engineering 2004, Joint Conference with Asia-Pacific Conference of Transducers and Micro-Nano Technology 2004, July 4-8, 2004, Sapporo, Japan, Vol.3-1, pp.578-581, 2004
- R. Yokokawa, S. Takeuchi, H. Fujita, "Ultra-smooth Glass Channels Allowing Non-fluorescent Observation of Bio-molecules by Microscopes", MicroTAS2004, Malmo, Sweden, Sep. 26-30, 2004, Vol.2, pp.10-12, 2004
- R. Yokokawa, S. Takeuchi, T. Kon, M. Nishiura, K. Sutoh, H. Fujita, "Unidirectional Transportation of Nano Beads by Kinesin on Microtubules Well-oriented in a Micro Channel", MicroTAS2004, Malmo, Sweden, Sep. 26-30, 2004, Vol.1, pp.15-17, 2004
- Kuniyuki Kakushima, Gen Hashiguchi, Kazunori Tamura, Hiroyuki Fujita, "Handling of DNA Molecules by MEMS Tweezers", KIMM-EPFL-IIS Joint Workshop On Micro/Nano System and Process Development, Oct.11-12, 2004, pp.3-6, 2004
- T. Ishida, K. Kakushima, H. Fujita, "Current Measurement of Mechanically Stretched Nanowire with Transmission Electron Microscope Direct Observation", 2004 International Microprocess and Nanotechnology Conference, Hotel Hankyu Expo Park, Japan, Oct 27-29, 2004, pp.154, 2004
- K. Kakushima, T. Bourouina, T. Sarnet, G. Kerrien, D. Debarre, J. Boulmer, H. Fujita, "Single Crystal Silicon Nanoballs and Periodic Nanostructures Obtained by Laser Exposure of Nanowires", ASME European Micro and Nanosystem Conference EMN'04, Paris, October 20-21, 2004, On CD-Rom
- M. Hosogi, G. Hashiguchi, T. Goda, M. Haga, K. Kakushima, H. Fujita, "Electrical measurements of Cu coating DNAs wire", 4th International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM 2004), Nov.24-26, 2004, Takamatsu, Japan, pp.116-117, 2004
- Dai Kobayashi, Akio Higo, Hiroshi Toshiyoshi, Hiroyuki Fujita, Hideki Kawakatsu, "A Fabrication Method of Nanocantilevers Using Silicon Direct Bonding", The 12th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, p.56, 2004
- 浅尾文善, 合田拓史, 細木真保, 橋口原, 角嶋邦之, 藤田博之, "Narrow Gap DNA ナノピンセットの作製", 電気学会研究会資料, マイクロマシン・センサシステム研究会MSS04-1~15, 2004年2月27日, pp.23-26, 2004
- 石田忠, 角嶋邦之, Edin Sarajlic, 小林大, 藤田博之, "ナノギャップを有する対向針状電極のTEM内の駆動とトンネル電流測定への応用", 電気学会マイクロマシン・センサシステム研究会, 2004年2月27日, キャンパスプラザ京都, p. 27, 2004

⑨研究成果の発表状況(続き) (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

- ・橋口原, 馬場嘉信, 藤田博之, “生体分子操作用ナノツインプローブの開発”, 平成16年電気学会全国大会講演論文集, 第3分冊, p.3-S23(1)-(4), 2004
- ・横川隆司, 竹内昌治, 藤田博之, “顕微鏡観察用ガラスチャネルの製作と評価”, 第9回化学とマイクロナノシステム研究会講演要旨集, p.317, 2004年5月21-23日, 京都大学, p.108, 2004
- ・横川隆司, 竹内昌治, 藤田博之, “モータタンパク観察用ガラスチャネルの製作”, 平成16年度電気学会センサ・マイクロマシン準部門総合研究会, 2004年5月12-13日, 埼玉大学, pp.69-73, 2004
- ・横川隆司, 竹内昌治, 昆隆英, 須藤和夫, 藤田博之, “光を利用した微小管固定方法とその評価”, 10回化学とマイクロ・ナノシステム研究会(10-CHEMINAS), 2004年11月24-26日, 香川県高松市, p.187, 2004
- ・Kazuhisa Nakagawa, Tetsuya Takekawa, Gen Hashiguchi, “AFM Tweezers for Manipulation of Nanometer Size Objects”, Fourth International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM 2004), pp.80-81, 2004
- ・M. Mita, H. Kawara, H. Toshiyoshi, J. Endo, H. Fujita, “Bulk micromachined tunneling tips integrated with positioning actuators”, Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 14, Issue 1, pp. 23- 28, 2005
- ・K. Kakushima, T. Bourouina, T. Sarnet, G. Kerrien, D. Debarre, J. Boulmer, H. Fujita, “Silicon periodic nano-structures obtained by laser exposure of nano-wires”, Microelectronics Journal, vol.36, pp.629-633, 2005
- ・Ryuji Yokokawa, Yumi Yoshida, Shoji Takeuchi, Takahide Kon, Kazuo Sutoh, Hiroyuki Fujita, “Evaluation of Crypreserved Microtubules Immobilized in Microfluidic Channels for a Bead-Assay-Based Transportation System”, IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol.28, No.4, pp.577-583, 2005
- ・Gel M, Ishida S, Iwamoto S, Arakawa Y, Fujita H, “Nano Contact Formation in a Simple MEMS Device for The conductance measurements of Nano Objects”, Proceedings of MEMS 2005, Miami, Jan. 30-Feb. 3, 2005, pp.431-434, 2005
- T. Ishida, K. Kakushima, M. Mita, H. Fujita, “TEM Observation of Tensile Deformation of Silicon Nanowire between Micromachined Sharp Opposing Tips”, Proc. IEEE of the 18th Annual Int. Conference on MEMS (MEMS 2005), Miami, USA, Jan 30- Feb 3, 2005, pp.879-882, 2005
- ・Winston Sun, Kiyotaka Yamashita, Kuniyuki Kakushima, Hiroyuki Fujita, Hiroshi Toshiyoshi, “A LATERAL FIELD-EMISSION RF MEMS DEVICE”, The Croucher Foundation Advanced Study Institute (ASI) Frontier Research on Nano-mechanics, May 17-20, 2005, Hong Kong, 2005
- R. Yokokawa, Y. Yoshida, S. Takeuchi, T. Kon, K. Sutoh, H. Fujita, “Beads Actuation with Kinesin on A Microtubule Immobilized in A Nano Fluidic Channel”, 13th Int. Conf. on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, TRANSDUCERS05, Seoul, Korea, Jun. 5-9, 2005, pp.73-76, 2005
- ・K. Kakushima, G. Hashiguchi, M. Ataka, H. Toshiyoshi, H. Fujita, “Real Time Observation of Micromachined Field Emission Tip using Transmission Electron Microscope”, Proc. 13th Int. Conf. on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (TRANSDUCERS '05), June 5-9, 2005, Seoul, Korea, 2005
- ・Kiyotaka Yamashita, Winston Sun, Kuniyuki Kakushima, Hiroyuki Fujita, Hiroshi Toshiyoshi, “An RF-MEMS Device with a Lateral Field-Emission Detector”, The 18th Int. Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC 2005), 10-14 July, 2005, Oxford, UK, pp.29-30, 2005
- ・Gel M, Edura T, Wada Y, Fujita H, “Controllable Nano-gap Mechanism for Characterization of Nanoscale Objects”, Proceedings of Micro TAS 2005, Boston, Sept. 2005, pp.739-741, 2005
- M. Kumemura, K. Tamura, G. Hashiguchi, H. Fujita, “DNA molecular isolation in nano channel for single molecule trapping between micro electrodes”, μ -TAS 2005, Boston, Sept. 2005, pp.521-523, 2005
- ・Tadashi Ishida, Hiroyuki Fujita, “In-situ Observation of Atomic Level Deformation during Nano Tensile Testing”, 4th IIS/KIMM/EPFL Joint Symposium on Micro/Nano Science and Technology (Seiken Symposium no.41), 2005
- ・中川和久, 武川哲也, 橋口原, 角嶋邦之, 藤田博之, “AFMピンセットによるナノ物質操作に関する研究”, 平成17年電気学会全国大会講演論文集3, p.208, 2005
- ・田村一紀, 角嶋邦之, 橋口原, 藤田博之, “短鎖DNA捕獲のためのナノギャップ対向針状電極の作成”, 平成17年電気学会全国大会講演論文集3, p.207, 2005

⑨研究成果の発表状況(続き) (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

- ・ 田村一紀, 横川隆司, 久米村百子, 橋口原, 藤田博之, “マイクロチャネルを利用した λ -DNA単分子の分離と電極間への捕獲”, 電気学会研究会資料, センサ・マイクロ準部門総合研究会, 2005年6月22,23日, pp.33-36, 2005
- ・ T. Ishida, K. Kakushima, H. Fujita, “In-situ TEM Observation of the Gold Nano-Contact Formation by Electric Field”, Proceedings of the 13th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Sapporo, Jul.3-8, 2005, p.320,2005
- ・ 梅野顕憲, Murat Gel, 赤坂哲郎, 石田忠, 平川一彦, 藤田博之, “MEMSを用いた機械可動ナノ接合の作製とその伝導特性”, 第66回応用物理学会学術講演会, 徳島, 2005年9月7日-11日, 2005
- ・ 高橋将文, 綾野賢治郎, 橋口原, 細木真保, 大平文和, 三原豊, 久米村百子, 榊直由, 藤田博之, “マイクロマシンツールを用いたDNA計測システム”, 電気学会研究会資料, バイオ・マイクロシステム研究会, 2005年9月29日, 東京, 2005
- ・ 赤坂哲郎, Murat Gel, 梅野顕憲, 石田忠, 平川一彦, 荒木孝二, 藤田博之, “機械的可動ナノギャップ電極を用いた分子接合の作製と電気特性”, 第66回応用物理学会学術講演会, 徳島, 2005年9月7日-11日, pp.1198-1199, 2005
- ・ Maho Hosogi, Gen Hashiguchi, Masa-aki Haga, Tetsu Yonezawa, Kuniyuki Kakushima, Hiroyuki Fujita, “Electrical Conductivity of Lambda DNA-Pd Wire”, Proceedings of the 22nd Sensor Symposium on Sensors, Micromachines, and Applied Systems, Tokyo, Oct. 20-21, pp.195-198, 2005
- ・ 石田忠, 角嶋邦之, 藤田博之, “MEMS対向探針間における金ナノコンタクトの形成・引張・破断の繰り返し実験 Repeated Approach-Contact-Retraction-Fracture Process of Gold Nano-Contact between MEMS Opposing Tips”, Proceedings of the 22nd Sensor Symposium on Sensors, Micromachines, and Applied Systems, Tokyo, Oct. 20-21, p.341, 2005
- ・ Tadashi Ishida, Kuniyuki Kakushima, Hiroyuki Fujita, “Repeated Approach-Contact-Retraction-Fracture Process of Gold Nano-Contact between MEMS Opposing Tips”, Proceedings of the 22nd Sensor Symposium on Sensors, Micromachines, and Applied Systems, Tokyo, Oct. 20-21, pp.195-198, 2005
- ・ T. Ishida, K. Kakushima, H. Fujita, “TEM Observation of Gold Nano-Contact between Microactuated Twin Probes”, Proceedings of the 7th Seoul National University-University of Tokyo Joint Seminar on Electrical Engineering, Tokyo, Nov. 10, 2005, p.57, 2005
- ・ 中川和久, 武川哲也, 橋口原, 角嶋邦之, 藤田博之, “AFMピンセットによるナノマニピュレーション技術に関する研究”, 電気学会研究会マイクロマシン・センサシステム研究会, pp.41-44, 2005
- ・ 中川和久, 武川哲也, 橋口原, 角嶋邦之, 藤田博之, “AFMピンセットによるナノ物質操作に関する研究”, 電気学会全国大会, p.208, 2005
- ・ 中川和久, 武川哲也, 橋口原, “ナノ物質操作の為のAFMピンセットの開発”, IIP2005 情報・知能・精密機器部門講演会, pp.56-59, 2005
- ・ Masato Saito, Kazuhisa Nakagawa, Keiichiro Yamanaka, Yuzuru Takamura, Gen Hashiguchi, Eiichi Tamiya, “A New Design of Knife Edged-AFM Probe for Chromosome Precision Manipulation”, Transducers'05 Seoul, Korea, pp.155-158, 2005
- ・ Tetsuya Takekawa, Kazuhisa Nakagawa, Gen Hashiguchi, “The AFM Tweezers: Integration of A Tweezers Function with an AFM Probe”, Transducers'05 Seoul, Korea, pp.621-624, 2005
- ・ 武川哲也, 中川和久, 橋口原, 斎藤真人, 山中啓一郎, 民谷栄一, “ナノ物質のマニピュレーションを行う為のAFMピンセットの開発”, IEEJ Trans. SM, Vol.125, No.11, 2005
- ・ 藤田博之, 久米村百子, 榊直由, “バイオ分離・計測のためのMEMS”, ナノテク・バイオMEMS時代の分離・計測技術, シーエムシー出版, pp.34-44, 2006
- ・ Shoogo Ueno, Joji Ando, Hiroyuki Fujita, Tadashi Sugawara, Yasuhiko Jimbo, Keiji Itaka, Kazunori Kataoka, Takashi Ushida, “The State of the Art of Nanobioscience in Japan”, IEEE TRANSACTIONS ON NANOBIOSCIENCE, Vol.5, No.1, 2006,
- ・ K. Yamashita, W. Sun, K. Kakushima, H. Fujita, H. Toshiyoshi, “rf microelectromechanical system device with a lateral field-emission detector”, J. Vac. Sci. Technol. B, vol. 24, no. 2, pp. 927-931, 2006
- ・ Masato Saito, Kazuhisa Nakagawa, Keiichiro Yamanaka, Yuzuru Takamura, Gen Hashiguchi, Eiichi Tamiya, “A NEW DESIGN OF KNIFE-EDGED AFM PROBE FOR CHROMOSOME PRECISION MANIPULATION”, Sensors & Actuators: A. Phys. (in press)