

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月 9日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21241032

研究課題名（和文） 単一バイオ分子解析に向けたナノチャネル構造体の創成

研究課題名（英文） Fabrication of Nano channel for single bio-molecule analysis

研究代表者

川合 知二 (KAWAI TOMOJI)

大阪大学・産業科学研究所・特任教授（常勤）

研究者番号：20092546

研究成果の概要（和文）：単一のバイオ分子を検出するシステムをナノチャネル構造により実現した。ナノチャネル構造を用いることによって、望みの位置に所望の時間スケールで測りたいバイオ分子を導入することが可能になる。一連の成果は、今後の1分子解析技術を基盤としたナノバイオ研究へと大きく発展することが期待される。

研究成果の概要（英文）：Nano channel structure realized the system which detects a single bio-molecule. By using nano channel structure, it becomes possible to introduce a bio-molecule to measure with a desired time scale into the position of a wish. It is expected that a series of results will develop into the nano-biotechnology research based on future one-molecule analysis technology greatly.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	15,500,000	4,650,000	20,150,000
2010年度	14,000,000	4,200,000	18,200,000
2011年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
総計	36,500,000	10,950,000	47,450,000

研究代表者の専門分野：多機能が調和した人工生体情報材料の創成、DNAナノテクノロジー

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：1分子科学、単一バイオ分子、ナノチャネル構造

1. 研究開始当初の背景

プロセスインテグレーションのコンセプト

(1) ボトムアッププロセスは、数 nm から数十 nm のバラエティーに富んだナノ構造部品の形成と電極-ナノ構造部品の接合を得意とするが、ナノ構造部品の位置決めとマクロ領域への機能の取出しが困難である。一方、トップダウンプロセスは、ナノ構造体の位置決めとマクロ領域への機能の取出しを得意とするが、数十 nm 以下のナノ構造部品の形成と電極-ナノ構造部品の接合を苦手としている。

(2) ボトムアッププロセスとトップダウン

プロセスは相補的なプロセスであり、これら2つのプロセスインテグレーションによってのみ、ボトムアップで形成されるナノ構造部品を、マクロ領域に機能の取出しができる高機能ナノ構造体へと進化させることができると考えている。我々は、このコンセプトを念頭に、生体分子、有機物、無機物の全ての材料にわたり自己組織化プロセスを追究し、トップダウンプロセスとのプロセスインテグレーションにより形成されるナノ構造体の機能発現に成功している。

2. 研究の目的

プロセスインテグレーションによる分子認識機能ナノチャンネル構造体の創成

本研究では、これまで開発してきたプロセスを縦横無尽に組み合わせ、数段階にわたるプロセスインテグレーションを行い、モルグラフィーに向けた分子認識機能ナノチャンネル構造体を構築する。分子認識機能ナノチャンネル構造体の各構成要素は、以下のように形成していく。

- (1)無機物の自己組織化による内部配線の形成
- (2)有機物の自己組織化による認識サイトの形成
- (3)生体分子の自己組織化による人工生体膜の形成
- (4)トップダウンプロセスによる横型・縦型ナノチャンネルの形成
- (5)MEMS/NEMSによるマイクロ・ナノ流路の形成
- (6)DNAの自己組織化による自動探索配線の形成

1つの分子認識機能ナノチャンネル構造体から得られるシグナルは統計的ゆらぎを持っているため、モルグラフィーの高い信頼性を確保するためには、シグナルを積算し信頼しうる統計量を収集する必要がある。そこで、ターゲット分子を1つの分子認識機能ナノチャンネルに連続的に流出入させるマイクロ・ナノ流路との融合化を行う。さらに、信頼性の向上と迅速な計測を実現するため、分子認識機能ナノチャンネル構造体の並列化を行なう。並列化において、自己組織化内部配線の端子間と引き出し電極間をDNAの自己組織化により自動探索的に配線する。

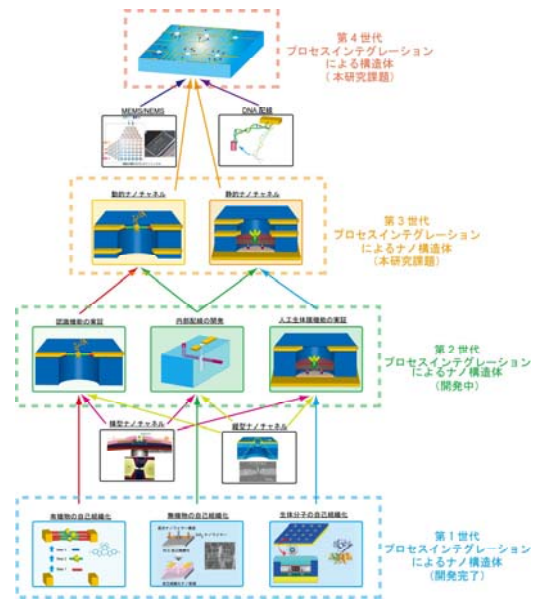
3. 研究の方法

- (1) 以下の図に示すように4世代のプロセスインテグレーションを行い、集積化された分子認識機能ナノチャンネル構造体を構築する。このうち、有機分子・無機物の自己組織化ナノ構造体とナノ電極の融合ナノ構造体、さらに生体分子の自己組織化ナノ構造体とナノチャンネルの融合ナノ構造体を形成する第一世代プロセスインテグレーションは、既に開発を完了している。さらに、**第一世代プロセスインテグレーション**によるナノ構造体とナノ電極・ナノチャンネル構造との融合ナノ構造体（第二世代プロセスインテグレーション）は現在開発中であり、本研究では、第三世代・第四世代のプロセスインテグレーションによる構造体の開発をメインターゲットとする。
- (2) **第二世代プロセスインテグレーション**：認識サイト・人工生体膜とナノ電極・ナノチャンネル構造を融合したナノ構造体を形成し、認識サイトと人工生体膜の機能を実証する。さらに、酸化ナノワイヤー内部配線とナノ

電極・ナノチャンネル構造を融合したナノ内部配線構造を開発する。

(3) **第三世代プロセスインテグレーション**：機能する認識サイト・人工生体膜、酸化ナノワイヤー内部配線を融合し、動的ナノチャンネルと静的ナノチャンネルを形成する。

(4) **第四世代プロセスインテグレーション**：動的ナノチャンネルと静的ナノチャンネルの集積化を行い、各ナノチャンネル構造体の電極端子と引き出し電極間をDNAの自己組織化を利用して配線する。さらにモルグラフィーの信頼性を確保するため、MEMS/NEMSによるマイクロ・ナノ流路と集積されたナノチャンネル構造体との融合を図る。



4. 研究成果

(1) ボトムアップとトップダウンプロセスのインテグレーションにより分子認識機能ナノチャンネル構造体を構築し、これを用いて、モルグラフィー(Molecule Graphy: ナノ規制空間における単一分子の種類、形態、ダイナミクス、電子状態を電気的かつリアルタイムに追跡する単一分子総合解析のこと)を行なうことを研究目的とし、11ステップの微細加工プロセスで作製した直径30nmの縦型ゲーティングナノポアを用いて、平均直径28nmの金ナノ粒子の検出に成功した。さらに、機械的破断接合とマイクロ流路を組み合わせた型ゲーティングナノポアを用いて、1個の核酸塩基分子の識別に成功した。走査トンネル顕微鏡の金属基板と金属探針間のDNAにおいて、グアニン分子だけでなく、アデニン分子にも特徴的な電子状態(分子指紋)が存在することを見いだした。ナノ配線となる酸化ナノワイヤーの電気伝導性を得る為に不純物ドーピングを行い、その微細構造・組成と電気輸送特性との比較検討を行

った。その結果、従来ナノワイヤー構造中への均一ドーピングが示唆されていたが、VS過程による不均一ドーピングが発現していることを明らかにした。更にその問題点を克服する為に雰囲気温度変調を行い、電気伝導性が2倍以上に促進される結果を見出した。研究実施計画通り、ナノ電極とナノチャンネル構造が融合したナノ構造を作製、酸化ナノワイヤーの配線を作製し、これらが融合させた1個のナノ粒子を検出するナノ構造デバイスの作製、および機能実証できた。

(2) 前年度までに実施した研究によって、ナノチャンネルとナノ電極が融合した新規なデバイスを開発し、2端子電流計測による単一分子計測に基づいた、単一核酸塩基分子の検出原理を実証することに成功した。

本年度は、トップダウンプロセスで位置決めされた金属触媒を介した気相・液相・固相(VLS)反応を用いて作製する酸化ナノワイヤー構造体をテンプレートとしたナノチャンネル構造を創製し、さらに金属触媒逐次反応によるナノワイヤー高次構造を用いて、ナノチャンネル構造と自己組織化ナノワイヤー配線のアライメント技術を確立した。また、このアライメント技術を用いて、ナノ電極、ナノチャンネル構造、および酸化ナノワイヤー内部配線が融合したナノ構造を作製した。具体的には、ナノインプリント法を用いて任意の位置に任意のサイズの気相・液相・固相(VLS)反応を介した自己組織化ナノワイヤーを形成する手法を確立し、マイクロ流路と自己組織化ナノワイヤーのアライメント技術を確立した。これにより、マイクロ流路内部にトップダウンプロセスによって位置決めされた金属触媒を介したVLS反応を利用して、垂直配列した高アスペクト比を有する酸化ナノワイヤーを高密度で成長させる技術を確立した。

また、金属基板と金属探針間のDNAにおいて、グアニン分子だけでなく、アデニン分子にも特徴的な電子状態が存在することを前年度に見いだしたが、本年度は、密度汎関数法に基づく一般化密度勾配近似にファン・デル・ワールス相互作用補正を加えた第一原理電子状態計算によって特徴的な電子状態の、特にそのエネルギーレベルを精度良く再現することができた。

(3) 密度汎関数法に基づく一般化密度勾配近似にファン・デル・ワールス(vdW)相互作用補正を加えた第一原理電子状態計算によって特徴的な電子状態を、特にそのエネルギーレベルの精度を良く再現することに成功したが、さらに、それで得られた最適化構造から、vdw相互作用補正なしに、再度、最適化を行い、結果を比較解析することに成功した。さらに、DNA塩基分子のうち、プリン塩基(6員環と5員環をからなる)のアデニ

ンとグアニンでは、vdw相互作用補正のあるなしに限らず、平面的な吸着構造をもつ最適化構造が得られた。一方、ピリミジン塩基(6員環のみからなる)のチミンとシトシンでは、酸素原子の部分で基板にアンカーされるように、やや、斜めになった最適化構造が得られた。有限の時間と計算機資源の条件下で、あらゆる吸着構造を吟味できたわけではないが、今回明らかになったプリン塩基が平面的な吸着構造を取りやすい性質が、分子指紋の観測される確率を高めていることが示唆された。

(4) プロセスインテグレーションで開発した人工認識サイトとナノ電極・ナノチャンネル構造を融合したナノ構造体を形成し、そのナノ構造体を用いて、人工生体膜の電気化学計測による分子認識の実証、および認識サイトの電流-電圧特性変化による分子認識の実証を行い、モルグラフィーにおける単一分子認識機能の実現や、自己組織化ナノワイヤーとナノ電極・ナノチャンネル構造を融合させた。このプロセスインテグレーションにより形成される分子認識機能ナノチャンネル構造体を用いて、モルグラフィーを行った。単一生体分子の種類・形態から単一生体分子の認識、DNAの種類・形態・電子状態に基づくシーケンシング、原子間力顕微鏡を組み合わせた分子認識力のフォース測定を行った。上記の計測から得られる情報と、電気伝導シミュレーション・電界シミュレーション・流体シミュレーションの結果を比較・検討し、得られる電流値の起源と物性を明らかにし、モルグラフィーの学理・技術を確立した。密度汎関数法に基づく一般化密度勾配近似にファン・デル・ワールス(vdW)相互作用補正を加えた第一原理電子状態計算によって特徴的な電子状態を、特にそのエネルギーレベルの精度を良く再現することに成功したが、さらに、それで得られた最適化構造から、vdw相互作用補正なしに、再度、最適化を行い、結果を比較解析することに成功した。DNA塩基分子のうち、プリン塩基(6員環と5員環をからなる)のアデニンとグアニンでは、vdw相互作用補正のあるなしに限らず、平面的な吸着構造をもつ最適化構造が得られた。一方、ピリミジン塩基(6員環のみからなる)のチミンとシトシンでは、酸素原子の部分で基板にアンカーされるように、やや、斜めになった最適化構造が得られた。

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20件)

- ① M.Tustsui, K.Matsubara, T.Ohshiro, M.Furuhashi, M.Taniguchi, T.Kawai,

- Electrical Detection of Single Methylcytosines in a DNA Oligomer, *JACS*、査読有、Vol.133、No.23、2011、9124-9128
- ② M.Tsutsui, S.Rahong, Y.Iizumi, T.Okazaki, M.Taniguchi, T.Kawai、Single-Molecule Sensing Electrode Embedded in-plane Nanopore、*Scientific Reports*、査読有、Vol.1、2011、1-6
- ③ A.Klamchuen, T.Yanagida, M.Kanai, K.Nagashima, K.Oka, S.Seki, M.Suzuki, Y.Hidaka, S.Kai, T.Kawai、Dopant Homogeneity and Transport Properties of Impurity-doped Oxide Nanowires、*Appl.Phys.Lett.*、査読有、Vol.98、No.5、2011、053107(1-3)
- ④ K.Yokota, M.Taniguchi, M.Tsutsui, T.Kawai、Molecule-Electrode Bonding Design for High Single-Molecule Conductance、*JACS*、査読有、Vol.132、No.49、2010、17364-17365
- ⑤ M.Tsutsui, T.Ohshiro, K.Matsubara, M.Furuhashi, M.Taniguchi, T.Kawai、Atomically Controlled Fabrications of Subnanometer Scale Electrode Gaps、*J.Appl.Phys.*、査読有、Vol.108、No.6、2010、064312(1-4)
- ⑥ M.Taniguchi, M.Tsutsui, K.Yokota, T.Kawai、Mechanically-Controllable Single Molecule Switch Based on Configuration Specific Electrical Conductivity of Metal-Molecule-Metal Junctions、*Chem.Sci.*、査読有、Vol.1、No.2、2010、247-253
- ⑦ M.Tsutsui, M.Taniguchi, K.Yokota, T.Kawai、Identifying Single Nucleotides by Tunnelling Current、*Nature Nanotech.*、査読有、Vol.5、No.4、2010、286-290
- ⑧ A.Klamchuen, T.Yanagida, M.Kanai, K.Nagashima, K.Oka, T.Kawai, M.Suzuki, Y.Hidaka, S.Kai、Role of Surrounding Oxygen on Oxide Nanowire Growth、*Appl.Phys.Lett.*、査読有、Vol.97、No.7、2010、073114(1-3)
- ⑨ A.Klamchuen, T.Yanagida, M.Kanai, K.Nagashima, K.Oka, T.Kawai, M.Suzuki, Y.Hidaka, S.Kai、Impurity Induced Periodic Mesosstructures in Sb-doped SnO₂ Nanowires、*J.Crystal Growth*、査読有、Vol.312、No.21、2010、3251-3256
- ⑩ M.Tsutsui, M.Taniguchi, K.Yokota, T.Kawai、Identifying Single Nucleotides by Tunnelling current、*Nature Nanotech.*、査読有、Vol.5、No.4、2010、286-290
- ⑪ M.Taniguchi, M.Tsutsui, K.Yokota, T.Kawai、Fabrication of the Gating Nanopore、*Appl.Phys.Lett.*、査読有、Vol.95、2009、123701(1-3)
- ⑫ Hiro.Tanaka, T.Kawai、Partial Sequencing of a Single DNA Molecule with a Scanning Tunnelling Microscope、*Nature Nanotech.*、査読有、Vol.4、No.8、2009、518-522
他 8 件
- [学会発表] (計 5 3 件)
- (1) 川合知二、ゲーティングナノポアによる 1 分子 DNA シークエンシング、平成 23 年度中部地区ナノネット報告会、2012/3/31、自然科学研究機構・岡崎コンファレンスセンター(愛知県・岡崎市) (招待講演)
- (2) T.Kawai、Innovative Nano-Biodesives for DNA and related molecules: STM and Gating Nanopore、DNA Nanotechnology: From Structure to Function、2012/3/18、中国科学院上海応用物理研究所、Astor House Hotel (Shanghai・China) (招待講演)
- (3) T.Kawai、Gating-Nanopores for Single Molecule DNA Sequencing、Nanopores Conference 2012 - Zing conferences、2012/2/8、Hesperia Lanzarote (Lanzarote・Spain) (招待講演)
- (4) 田中裕行、単一分子 DNA のナノポアシークエンシング、JST さきがけ「界面の構造と制御」研究領域公開シンポジウム 界面科学のフロンティア ～計測・デバイス・生体界面の分野横断と新展開～、2012/1/5、東北大学片平キャンパス (宮城県・仙台市)
- (5) 田中裕行、Fabrication Method of Plastic Micropores for Artificial Lipid Bilayer Formation、ICSPM19、2011/12/19、北海道 洞爺湖万世閣 (北海道・虻田郡)
- (6) T.Kawai、Innovative Nano-Biodesives for DNA and related molecules: STM and Gating Nanopore、北海道大学電子科学研究所国際シンポジウム、2011/11/22、Chateraise Gateaux Kingdom Sapporo (北海道・札幌市) (招待講演)
- (7) T.Kawai、Nanotechnology for Single Molecular DNA Sequencing —STM and Gating Nanopore—、DPS2011、2011/11/11、ホテル京都ガーデンパレス (京都府・京都市) (招待講演)
- (8) T.Kawai、Nanotechnology for Single Molecular DNA Sequencing —STM

- and Gating Nanopore—, 7th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium -Nanoscience and Nanotechnology in the Next Ten Years-, 2011/11/11、大阪大学銀杏会館 (大阪府・吹田市) (招待講演)
- (9) M.Taniguchi、核酸塩基分子の単分子識別—3世代 DNA シーケンサーに向けて—、SCE2011 第 31 回キャピラリー電気泳動シンポジウム in TSURUOKA、2011/11/10、鶴岡メタボロームキャンパス (山形県・鶴岡市)
- (10) T.Kawai、Innovative Nano-Biodesives for DNA and related molecules: STM and Gating Nanopore、ASIASENSE 2011、2011/10/26、The Shilla (Jeju・Korea) (招待講演)
- (11) T.Kawai、Scanning Probe Microscope for DNA Sequencing and Cell Surgery、The Korean Physical Society Autumn Meeting 2011、2011/10/20、BEXCO (Busan・Korea) (招待講演)
- (12) T.Kawai、Gating Nanopores for Single-Molecule DNA Electrical Sequencing、IEEE NMDC 2011、2011/10/19 The Shilla (Jeju・Korea) (招待講演)
- (13) T.Kawai、Mechanical Controlled Break Junction to Gating Nanopore for Single Biomolecule Electrical Sequencing、ACSIN 2011、2011/10/4、Sokos Hotel Olympia Garden (St.Petersburg・Russia)
- (14) M.Taniguchi、Development of Gating Nanopores for Next-Next DNA Sequencing using Mechanically Controllable Break-Junctions、ASME-JSME-KSME Jpint Fluids Engineering Conference 2011、2011/7/26、ACTY CITY Congress Center (静岡県・浜松市) (招待講演)
- (15) 川合知二、次々世代シーケンサー開発の最先端：ナノポアデバイス開発、ゲノムコンファレンス、2011/7/20、大阪大学 テクノアライアンス棟 (大阪府・吹田市) (招待講演)
- (16) T.Kawai、Gating Nanopores for Single-Molecule DNA Electrical Sequencing、ARCEL.ORG Jointly Presents, Fourth International Epigenomics, Sequencing & SNIps-2011、2011/7/12、The Joseph B. Martin Conference Center at Harvard Medical School (Boston・USA) (招待講演)
- (17) 川合知二、次々世代シーケンサー開発の最先端：ナノポアデバイス開発、ゲノムコンファレンス 次 n 世代シーケンシング技術がもたらす新潮流、2011/6/30 東京ガーデンパレス (東京都・文京区) (招待講演)
- (18) Hiro.Tanaka、Partial Sequencing of a Single DNA Molecule with a Scanning Tunnelling Microscope、Osaka University – RUG symposium entitled "Bio-inspired Materials and Functionalities"、2011/6/21、Hampshire Hotel Plaza(Groningen・Netherlands)
- (19) T.Kawai、Gating Nanopores for Single-Molecule DNA Electrical Sequencing、ISMM 2011 in Conjunction with the KBCS Spring Meeting、2011/6/3、GaYaGeum Hall in the Hotel Seoul Kyoyuk Munhwa Hoekwan (Seoul・Korea) (招待講演)
- (20) 川合知二、1 分子計測技術で DNA を観る、日本学術会議・科学技術振興機構公開シンポジウム 観る、測る、そして知る—最先端計測・分析技術が拓く世界—、2011/5/20、日本学術会議講堂、(東京都・港区) (招待講演)
- (21) T.Kawai、Gating Nanopores for Single-Molecule DNA Electrical Sequencing、韓国陶磁器学会、2011/4/21、京畿大学校 (韓国・水原市) (招待講演)
- (22) T.Kawai、Development of Gating Nanopores for Single-Molecule DNA Electrical Sequencing、NHGRI Advanced Sequencing Technology Development Meeting、2011/4/7、Catamaran Resort/Hotel (San Diego・USA) (招待講演)
- (23) 谷口正輝、1 分子解析技術による次々世代 DNA シーケンサーの開発、(社)日本表面科学会 第 69 回表面科学研究会「単一分子の表面科学」、2011/3/9、東京工業大学デジタル多目的ホール (東京都・目黒区) (招待講演)
- (24) M.Taniguchi、Development of Gating Nanopores for Single-Molecule Electrical Sequencing、ISSMA 2011、2011/1/24、国立京都国際会議場 (京都府・京都市)
- (25) T.Kawai、Toward 1000 Dollars Single Molecular DNA Sequencing ---- STM and Gating Nanopore---、2011 Japan-Taiwan Join Workshop on Bioelectronics、2011/1/20、国立成功大学 (Tainan・Taiwan) (招待講演)
- (26) M.Tsutusi、Single Biomolecule Spectroscopy and Conductance Measurement by Nanoelectrodes

- Systems、The 9th Japan France Workshop on Nanomaterials、2010/11/25、Mercure Hotel (Toulouse・France)
- (27) 古橋匡幸、トンネル電流を用いた RNA 分子の識別、第 71 回応用物理学会学術講演会、2010/9/16、長崎大学文教キャンパス (長崎県・長崎市)
- (28) 大城敬人、トンネル電流を指標とした生理活性核酸分子の単分子計測、第 71 回応用物理学会学術講演会、2010/9/16、長崎大学文教キャンパス (長崎県・長崎市)
- (29) 筒井真楠、2 探針電流計測によるヌクレオチド単一分子識別、第 71 回応用物理学会学術講演会、2010/9/16、長崎大学文教キャンパス (長崎県・長崎市)
- (30) T.Kawai、Green Nanotechnology for Low Power Consumption Devices using Metal Oxide Nanowires、IUMRS-ICEM2010、2010/8/22-27、KINTEX (Seoul・Korea) (招待講演)
- (31) 谷口正輝、ナノポアによる 1 分子 DNA シークエンシング、革新ナノバイオデバイス研究センターセミナー、2010/7/7、名古屋大学大学院工学研究科 (愛知県・名古屋市)
- (32) T.Kawai、Self-Assembled Metal Oxide Nanowires: Synthesis, Properties and Non-Volatile Memory Applications、3rd International Conference on Nanostructures Self-Assembly NanoSEA 2010、2010/6/28、Oustau Calendal Congress Center (Cassis・French Riviera) (招待講演)
- (33) T.Kawai、Scientific Challenges for the Future of Nanotechnology、US-Japan-Korea-Taiwan Workshop on "Long-term Impacts and Future Opportunities for Technology"、2010/6/26、つくば国際会議場 (茨城県・つくば市)
- (34) 谷口正輝、ゲーティングナノポアによる単分子解析、M&BE 研究会「有機分子・バイオエレクトロニクスの新潮流」、2010/6/18-19、東北大学多元物質科学研究所 (宮城県・仙台市)
- (35) Hiro.Tanaka、Sequencing of a Single DNA Molecule with a Scanning Tunneling Microscope、Functionalized Nanomaterials、2010/4/26、(Santa Fe, New Mexico, USA)
- (36) 谷口正輝、ゲーティングナノポアを用いた 1 分子検出、バイオ・マイクロシステム研究会、電気学会研究会、2010/1/29、名古屋大学 (愛知県・名古屋市) (招待講演)
- (37) 田中裕行、DNA の蛍光バイオナノサイエンス、応用物理学会関西支部第 2 回 (2009 年度) 支部貢献賞授賞式 および平成 21 年度第 2 回講演会「蛍光技術とその応用」、2010/1/22、大阪大学中之島センター (大阪府・大阪市) (招待講演)
- (38) M.Taniguchi、Identification of Single Nucleotides Using Gating Nanopores、13th SANKEN International Symposium 2010、2010/1/19、関西空港国際会議場 (大阪府・泉佐野市)
- (39) Hiro.Tanaka、Partial Sequencing of a Single DNA Molecule with a Scanning Tunneling Microscope (招待講演)、ICSPM17、2009/12/10、熱川ハイツ (静岡県・賀茂郡)
- (40) T.Kawai、Green NanoScience and Nanotechnology for the Energy Saving and Human Health、GJ-NST 2009、2009/11/5、JeollaNam-Do Provincial Government Hall (Muan・Korea) (招待講演)
- 他 13 件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川合 知二 (KAWAI TOMOJI)
大阪大学・産業科学研究所・特任教授 (常勤)
研究者番号：20092546

(2) 研究分担者

谷口 正輝 (TANIGUCHI MASATERU)
大阪大学・産業科学研究所・教授
研究者番号：40362628

田中 裕行 (TANAKA HIROYUKI)
大阪大学・産業科学研究所・助教
研究者番号：20314429

(3) 連携研究者

柳田 剛 (YANAGIDA TAKESHI)
大阪大学・産業科学研究所・准教授
研究者番号：50420419

(平成 22 年度まで分担者、平成 23 年度から連携研究者として参画)