

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20246008

研究課題名（和文） 非標識バイオ計測を目指した3次元ナノ構造設計

研究課題名（英文） Three dimensional design of nanostructures for label-free biosensing

研究代表者

庭野 道夫 (NIWANO MICHIO)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：20134075

研究成果の概要（和文）：

本課題では、半導体ナノテクノロジーとバイオ界面設計との融合による新しいバイオセンシング法の構築を目的として研究を進めた。具体的には、バイオナノ薄膜である脂質二分子膜とナノ構造作製との結合により脂質二分子膜の課題であった膜脆弱性の問題を解決し、人工細胞膜センサーの発展のための基礎をつくった。また、新たなバイオエレクトロニクスの新規プラットフォームとしてのナノ構造体の効率的な作製についても検討した。これらの一連の成果により、ナノ構造に基づく新しいナノ認識界面およびナノバイオエレクトロニクスの創製に成功した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is development of a new biosensing technology based on the combination of silicon nanotechnology and design of bio-interfaces. We have examined formation of artificial bilayer lipid membranes (BLMs) in microfabricated apertures and nanoporous structures. We succeeded in preparation of free-standing BLMs having dramatically improved membrane stability. Such stable BLMs will open up variety of applications. In addition, we have examined efficient formation of nanostructures as a new platform for nano-bioelectronics. Our approaches are useful for innovation of novel nano-recognition interfaces and bioelectronics based on the design of nanostructure interfaces.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	16,600,000	4,980,000	21,580,000
2009年度	15,200,000	4,560,000	19,760,000
2010年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
年度			
年度			
総計	38,900,000	11,670,000	50,570,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、薄膜・表面界面物性

キーワード：表面・表面ナノ構造・バイオ界面・非標識光計測

1. 研究開始当初の背景

生体分子間相互作用の複雑な重畳である生体機能を理解するための革新的な解析手法の開発が求められている。生物においては、シナプスのようにナノ空間での物質認識に

より極めて効率のよい信号伝達を成し遂げている例も多く、ナノ空間における生体分子間相互作用を分子レベルで解析できる新しいバイオ計測法の構築が必要不可欠である。そのためには、ナノ構造体を利用した表面バ

イオナノ構造体の構築が有用と考えられる。基板表面上に構造規制したナノ構造体を形成し、その表面に生体分子を固定化することにより、nm スケールで生体分子の配列を制御した生体物質認識界面を設計できるからである。我々もポーラスシリコンのナノ細孔中でのDNA分子のハイブリダイゼーションを行い、ナノ細孔中においては極めて高感度に二本鎖形成を検知できることを示してきた。一方、シリコン基板上に蒸着したアルミニウム (Al) を陽極酸化してナノドットを形成することにより、室温動作単電子トランジスタ (SET) を構築できることも示した。これらの結果は、ナノ構造体の利用により新しい原理のナノバイオ認識界面が形成できる可能性を示唆している。

2. 研究の目的

本研究では、半導体ナノ構造体の表面上に生体分子認識機能を付与することにより、ナノスケールオーダーのバイオ界面を構築し、ナノ空間における生体分子の挙動を、微小電流計測や多重内反射赤外分光法を用いて非標識に解析する。(1)生体分子の認識に適したポーラスアルミナ等のナノ構造体を自在に形成する技術、(2)その構造体を用いてバイオ素子をnmスケールで規則配列させる技術等確立し、それらを総合することにより、(3)ナノ界面空間における生体分子の物質認識機能を解析・評価し、(4)その機能を細胞チップなどへと応用する一連の研究を系統的に行う。

3. 研究の方法

ポーラスアルミナを用いたナノメートルスケールの孔や、厚さnmレベルの窒化珪素薄膜の中に平面脂質二分子膜を作成することにより、安定な脂質二分子膜の形成を試みる。従来の μm オーダーの孔に比べて著しく小さいnmサイズの孔の中に二分子膜を作成することにより格段の安定化が得られることが期待される。また、脂質二分子膜の自発的生成過程について表面赤外分光法を用いて非標識に解析し、再現性よく二分子膜を構築するための指針を得る。さらに、新しいバイオエレクトロニクスプラットフォームとして、ナノ構造体の効率的作製についても検討を行う。

4. 研究成果

ポーラスアルミナのナノポア構造中での脂質二分子膜形成を行い、形成された二分子膜の安定性について検討した。ナノポーラス構造を用いることにより、個々の膜面積の微小化による膜安定性の向上と、大きな総膜面積を保つことによるチャンネル包埋効率の維持の2つの効果が期待できる。構築した二分子膜は、従来の二分

子膜に比べて著しい耐電圧性と寿命の向上を示したが (*Applied Physics Letters* **2010**, *96*, 213706.)、その強度は十分ではなく、溶液交換に耐えられないという課題が残った。次に、微細孔のエッジと二分子膜との接合部が滑らかになるように微細孔を $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$ 基板中に作製し、その中での脂質二分子膜形成について検討した。その結果、構築した膜系は、十分な耐電圧性、寿命をもち、かつ、チャンネルを包埋した状態でも数回にわたる溶液交換に耐える膜安定性を示し、従来の二分子膜に比べて著しく強度の高い二分子膜を形成することに成功した (*Langmuir* **2010**, *26*, 1949–1952.)。さらに、このチップに絶縁層被覆を行うことにより、ノイズ電流幅と過渡電流の抑制を行った (*Micro and Nanosystems*, **2012**, *4*, 2-7.)。これにより、生体チャンネルの単一チャンネル電流記録に適した電気特性と機械的安定性とを兼ね備えた人工脂質二分子膜系の構築に成功した。

また、二分子膜形成の再現性の向上を目指し、表面赤外分光法に基づく脂質二分子膜形成過程の観察を行い、 $\sim\text{G}\Omega$ の抵抗をもつ二分子膜の形成時には、リン脂質分子のC=O伸縮モードが現れることを見出した (*Appl. Phys. Lett.* **2009**, *94*, 243096–1-3.)。この他、表面赤外分光に基づく非標識計測が、半導体表面上での様々な生体分子反応のその場計測に優れた手法であることを示した (*J. Appl. Phys.*, **2009**, *105*, 024701-1-7; *Applied Physics Letters* **2011**, *98*, 133703.)。さらに、新規バイオセンサーのプラットフォームとしてのナノ構造体についても検討し、陽極酸化単電子トランジスタや TiO_2 ナノチューブの効率的作製法を創案した。

以上のように本研究課題では、ナノテクノロジーと非標識バイオ認識界面の構築、およびその融合について研究を展開し、高機能非標識バイオチップの創製に向けての基礎を築いた。

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27件)

- (1) A. Oshima, A. Hirano-Iwata, T. Nasu, Y. Kimura, and M. Niwano, “Mechanically Stable Lipid Bilayers in Teflon-Coated Silicon Chips for Single-Channel Recordings”, *Micro and Nanosystems*, **4**, 2-7 (2012). (査読有)
- (2) 平野愛弓, 大嶋 梓, 木村康男, 庭野道夫, “ナノ・マイクロ加工に基づく人工細胞膜センサーの研究”, *応用物理*, **81**, 143-146 (2012). (査読有)
- (3) R. Yamaguchi, A. Hirano-Iwata, Y. Aonuma, Y. Yoshimura, Y. Shinohara, Y.

- Kimura and M. Niwano, “Real-time monitoring of mitochondrial adenosine 5'-triphosphate synthesis and hydrolysis by surface infrared spectroscopy”, *Appl. Phys. Lett.*, 98, Issue 13, 133703-1-3 (2011). (査読有)
- (4) 平野愛弓, “微細加工で創る人工細胞膜センサー—イオンチャンネルチップの実現へ向けて—”, *未来材料*, 11, 40-44 (2011). (査読無)
- (5) 桜井伊知郎, 佐藤憲一, 庭野道夫, “基底核の脳神経回路における薬理作用のシミュレーション(I)—眼球運動の遅れと神経細胞活動度の振動現象—”, *日本神経回路学会誌*, 18, No. 4, 182-193 (2011). (査読有)
- (6) M. M. Rahman, R. Kojima, M. El F. Fihry, D. Tadaki, T. Ma, Y. Kimura, and M. Niwano, “Effect of Porous Counter Electrode with Highly Conductive Layer on Dye-Sensitized Solar Cells”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 50, 082303 (2011). (査読有)
- (7) A. Hirano-Iwata, T. Taira, A. Oshima, Y. Kimura, and M. Niwano, “Improved stability of free-standing lipid bilayers based on nanoporous alumina films”, *Appl. Phys. Lett.*, 96, 213706 (2010). (査読有)
- (8) A. Hirano-Iwata, K. Aoto, A. Oshima, T. Taira, R. Yamaguchi, Y. Kimura, and M. Niwano, “Free-Standing Lipid Bilayers in Silicon Chips — Membrane Stabilization Based on Microfabricated Apertures with a Nanometer-Scale Smoothness”, *Langmuir*, 26, 1949–1952 (2010). (査読有)
- (9) A. Hirano-Iwata, A. Oshima, T. Nasu, T. Taira, Y. Kimura, and M. Niwano, “Stable Lipid Bilayers Based on Micro- and Nano-Fabrication”, *Supramolecular Chemistry*, 22, 405-411 (2010). (査読有)
- (10) T. Nagahiro, K. Ishibashi, Y. Kimura, M. Niwano, T. Hayashi, Y. Ikezoe, M. Hara, T. Tatsuma and K. Tamada, “Ag nanoparticle sheet as a marker of lateral remote photocatalytic reactions”, *Nanoscale*, 2, 107-113 (2010). (査読有)
- (11) M. M. Rahman, R. Kojima, M. El F. Fihry, Y. Kimura, and M. Niwano, “Formation of porous titanium film and its application to a counter electrode for a dye-sensitized solar cell”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 49, 122302 (2010). (査読有)
- (12) 平野愛弓, “微細加工に基づく人工細胞膜センサー —イオンチャンネルチップへの展開—”, *化学と工業(支部発 話題欄)*, 63-3, 234-235 (2010). (査読有)
- (13) A. Hirano-Iwata, A. Oshima, K. Onodera, K. Aoto, T. Taira, R. Yamaguchi, Y. Kimura, and M. Niwano, “Self-formation of bilayer lipid membranes on agarose-coated silicon surfaces studied by simultaneous electrophysiological and surface infrared spectroscopic measurements”, *Appl. Phys. Lett.*, 94, 243906-1-3 (2009). (査読有)
- (14) R. Yamaguchi, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, M. Niwano, K. Miyamoto, H. Isoda and H. Miyazaki, “*In situ* real-time monitoring of apoptosis on leukemia cells by surface infrared spectroscopy”, *J. Appl. Phys.*, 105, Issue 2, 024701-1-7 (2009). (査読有)
- (15) A. Hirano-Iwata, R. Yamaguchi, K. Miyamoto, Y. Kimura, and M. Niwano, “*In situ* real-time monitoring of biomolecular interactions by using surface infrared spectroscopy”, *J. Appl. Phys.*, 105, Issue 10, 102039-1-11 (2009). (査読有)
- (16) A. Hirano-Iwata, M. Niwano, and M. Sugawara, “The Design of Molecular Sensing Interfaces with Lipid Bilayer Assemblies”, *Trends in Anal. Chem.*, 27, No. 6, 512-520 (2008). (査読有)
- (17) K. Ishibashi, R. Yamaguchi, Y. Kimura, and M. Niwano, “Fabrication of titanium oxide nanotubes by rapid and homogeneous anodization in a mixture of perchloric acid and ethanol”, *J. Electrochem. Soc.* 155(1), K10-14 (2008). (査読有)
- (18) 平野愛弓, 小野寺恒太, 宮本浩一郎, 片岡正俊, 篠原康雄, 木村康男, 庭野道夫, “表面赤外分光法を用いた抗原抗体反応の非標識検出:二次構造解析による特異・非特異信号の識別”, *表面科学(研究紹介)*, 29, No.9, 558-563 (2008)(査読有)
- [学会発表] (計107件)
- (1) 大嶋 梓, 平野愛弓, 那須朋大, 木村康男, 庭野道夫, “半導体加工技術による人工脂質二分子膜センサの開発”, 第59回応用物理学関係連合講演会, 東京, 2012年3月16日
- (2) 木村昭太, 小島領太, 木村康男, 庭野道夫, “陽極酸化 TiO₂ ナノチューブを用いたガスセンサの微細化”, 第59回応用物理学関係連合講演会, 東京, 2012年3月15日
- (3) 平野愛弓, “ナノ構造設計に基づくイオンチャンネルチップの開発”, 大阪府立大学 N2RC 拠点セミナー, 大阪, 2012年1月27日(招待講演)

- (4) Y. Aonuma, Y. Kondo, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, Y. Shinohara, M. Niwano, “Long-Term Monitoring of Cell Differentiation Using Surface Infrared Spectroscopy”, The 6th International Symposium on Surface Science (ISSS-6), Tokyo, Japan, December 14, 2011.
- (5) A. Oshima, A. Hirano-Iwata, T. Nasu, Y. Kimura, M. Niwano, “Planar lipid bilayers formed in Teflon-coated silicon chips for single-channel recordings”, The 6th International Symposium on Surface Science (ISSS-6), Tokyo, Japan, December 13, 2011.
- (6) A. Hirano-Iwata, A. Oshima, T. Nasu, Y. Kimura, M. Niwano, “Stable and Solvent-Less Lipid Bilayers Based on Nano- and Micro-Fabrication”, 2011 MRS Fall Meeting, Boston, December 1, 2011.
- (7) A. Oshima, A. Hirano-Iwata, T. Nasu, Y. Kimura, and M. Niwano, “Solvent-less planar lipid bilayers formed in microfabricated silicon chips”, 2011 MRS Fall Meeting, Boston, November 28, 2011.
- (8) Ichiro Sakurai, Ken-ichi Sato, Michio Niwano, “MPTP injection yields oscillating pattern of neuronal activity through the loop circuit formation in the basal ganglia”, 30th JSST Annual Conference, Tokai University, October, 23, 2011.
- (9) 平野愛弓, “半導体微細加工に基づく安定化脂質イオンチャンネルチップの開発”, 平成23年度化学系学協会東北大会, 仙台, 2011年9月17日(招待講演)
- (10) 那須朋大, 大嶋 梓, 平野愛弓, 木村康男, 庭野道夫, “半導体微細加工に基づくイオンチャンネルアレイの開発”, 第72回応用物理学会学術講演会, 山形, 2011年9月2日
- (11) 小島領太, M. M. Rahman, M. El F. Fihry, 木村康男, 庭野道夫, “透明電極上への陽極酸化 TiO₂ ナノチューブ膜の形成”, 第72回応用物理学会学術講演会, 山形, 2011年8月31日
- (12) 青沼有紀, 近藤康彦, 平野愛弓, 木村康男, 篠原康雄, 庭野道夫, “表面赤外分光法に基づく細胞分化過程の非標識観測”, 第72回応用物理学会学術講演会, 山形, 2011年8月31日
- (13) 平野愛弓, “半導体加工に基づくイオンチャンネルチップの開発”, 応用物理学会有機分子・バイオエレクトロニクス分科会研究会, 神戸, 2011年6月24日
- (14) A. Hirano-Iwata, A. Oshima, T. Nasu, Y. Kimura, and M. Niwano, “Improved Stability of Lipid Bilayers Based on Nano-Fabrication”, ICAS 2011, Kyoto, May 26, 2011.
- (15) 大嶋 梓, 平野愛弓, 那須朋大, 木村康男, 庭野道夫, “半導体加工に基づく脂質二分子膜イオンチャンネルセンサの開発”, 第58回応用物理学関係連合講演会, 神奈川, 2011年3月24日
- (16) Y. Kimura, S. Kimura, N. Mizuno, T. Muto, M. Niwano, “Fabrication of a Room-temperature Operation Single Electron Transistor through Self-alignmnet Process Based on Anodization”, 2010 Materials Research Society Fall Meeting, Boston, December 1, 2010.
- (17) 平野愛弓, “ナノ構造設計に基づく安定化脂質二分子膜センサーの開発”, 真空・表面科学合同講演会 第30回表面科学学術講演会 第51回真空に関する連合講演会, 大阪, 2010年11月4日(招待講演)
- (18) 青沼有紀, 山口僚太郎, 阿部真帆, 平野愛弓, 木村康男, 篠原康雄, 庭野道夫, “表面赤外分光法を用いたミトコンドリア内 ATP 合成過程のリアルタイム評価”, 第30回表面科学会講演会 第51回真空に関する連合講演会, 大阪, 2010年11月4日
- (19) R. Kojima, K. Ishibashi, Y. Kimura, M. Niwano, “Influence of water in an ammonium-fluoride-based electrolyte on growth of anodic titanium oxide nanotubes”, 218th Electrochemical Society Meeting, Las Vegas, October 11, 2010.
- (20) A. Hirano-Iwata, T. Taira, A. Oshima, Y. Kimura, and M. Niwano, “Free-Standing Lipid Bilayers Based on Nanoporous Alumina Films”, SSDM 2010, Tokyo, September 24, 2010.
- (21) Y. Aonuma, R. Yamaguchi, M. Abe, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, Y. Shinohara and M. Niwano, “Surface Infrared Spectroscopic Study of ATP Synthesis in Mitochondria”, SSDM 2010, Tokyo, September 23, 2010.
- (22) 那須朋大, 大嶋 梓, 平良 祐, 平野愛弓, 木村康男, 庭野道夫, “ナノ加工技術に基づく人工脂質二分子膜形成の安定化とセンサーの応用”, 日本分析化学会第59年会, 仙台, 2010年9月17日
- (23) 小島領太, M. M. Rahman, M. El F. Fihry, 木村康男, 庭野道夫, “フッ化アンモニウム中での陽極酸化による酸化チタンナノチューブ膜の形成”, 第71回応用物理学会学術講演会, 長崎, 2010年9月15日

- (24) 水野徳夫, 木村昭太, 木村康男, 庭野道夫, “陽極酸化によるサイドゲート室温動作単電子トランジスタの作製”, 第 71 回応用物理学会学術講演会, 長崎, 2010年9月14日
- (25) A. Hirano-Iwata, R. Yamaguchi, Y. Aonuma, Y. Kimura and M. Niwano, “*In situ* real-time monitoring of cell responses by using surface infrared spectroscopy”, The 23rd Annual and International Meeting of the Japanese Association for Animal Cell Technology (JAACT2010), Sapporo, September 4, 2010. (招待講演)
- (26) Y. Kimura, T. Muto, M. Niwano, “Anodization of an aluminum microelectrode for fabrication of a single electron transistor”, Porous Semiconductors–Science and technology (PSST), Valencia, March 16, 2010.
- (27) 平野愛弓, “人工脂質二分子膜に基づく分子センシング”, 平成 21 年度奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学特別講演, 奈良, 2010年1月29日 (招待講演)
- (28) 近藤康彦, 平野愛弓, 木村康男, 篠原康雄, 庭野道夫, “赤外吸収分光法を用いた細胞分化過程の長期観測”, 応用物理学会東北支部第 64 回学術講演会, 郡山, 2009年12月4日
- (29) 平野愛弓, 大嶋 梓, 青戸孝至, 平良祐, 木村康男, 庭野道夫, “ナノ構造を用いた自立型脂質二分子膜”, 第 31 回日本バイオマテリアル学会大会, 京都, 2009年11月16日 (招待講演)
- (30) A. Oshima, A. Hirano-Iwata, K. Onodera, T. Taira, Y. Kimura, and M. Niwano, “Simultaneous Electrophysiological and Infrared Spectroscopic Studies of Lipid Bilayer Formation”, SSDM 2009, Sendai, October 9, 2009.
- (31) T. Muto, Y. Kimura, M. Niwano, “Formation of Aluminum Nanodots by Inhomogeneous Anodization Used for Fabrication of a Single-Electron Transistor”, 216th Electrochemical Society Meeting, Vienna, October 6, 2009.
- (32) 大嶋 梓, 平野愛弓, 青戸孝至, 平良祐, 木村康男, 庭野道夫, “半導体微細センサーの開発”, 日本分析化学会第加工技術を利用した人工脂質二分子膜 58 年会, 札幌, 2009年9月26日
- (33) 平良 祐, 大嶋 梓, 平野愛弓, 木村康男, 庭野道夫, “ナノポーラス構造を用いた人工脂質二分子膜センサの開発”, 日本分析化学会第 58 年会, 札幌, 2009年9月25日
- (34) 平野愛弓, “ナノ構造設計を用いた脂質二分子膜の安定化とそのセンサー応用”, 平成 21 年度化学系学協会東北大会, 仙台, 2009年9月19日 (招待講演)
- (35) 近藤康彦, 平野愛弓, 木村康男, 篠原康雄, 庭野道夫, “赤外吸収分光法に基づく細胞動態の長期間観測装置の開発”, 第 70 回応用物理学会学術講演会, 富山, 2009年9月10日
- (36) A. Hirano-Iwata, A. Oshima, T. Taira, K. Aoto, Y. Kimura, and M. Niwano, “Planar Lipid Bilayers for L-Glutamate Sensing”, International Symposium innovative Nanoscience of Supermolecular Motor Proteins Working in Biomembranes, Kyoto, September 10, 2009. (招待講演)
- (37) 近藤康彦, 平野愛弓, 木村康男, 篠原康雄, 庭野道夫, “赤外吸収分光法に基づく細胞動態の長期間観測装置の開発”, 第 70 回応用物理学会学術講演会, 富山, 2009年9月10日
- (38) 平野愛弓, 山口僚太郎, 宮本浩一郎, 木村康男, 庭野道夫, “表面赤外分光法を用いた細胞応答のリアルタイム計測”, 日本動物細胞工学会 2009 年度大会, つくば, 2009年7月24日 (招待講演)
- (39) 平良 祐, 青戸孝至, 大嶋 梓, 平野愛弓, 木村康男, 庭野道夫, “ポーラスアルミナフィルムを用いた人工脂質二分子膜イオンチャンネルセンサの開発”, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 筑波, 2009年3月31日
- (40) 武藤高見, 木村康男, 庭野道夫, “陽極酸化プロセスを用いた室温動作単電子トランジスタの作製”, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 筑波, 2009年3月30日
- (41) 平野愛弓, 青戸孝至, 平良 祐, 山口僚太郎, 木村康男, 庭野道夫, “半導体微細加工を利用した脂質二分子膜センサーの安定化”, 日本化学会第 89 春季年会, 船橋, 2009年3月27日
- (42) A. Hirano-Iwata, K. Aoto, T. Taira, Y. Kimura, M. Sugawara, M. Niwano, “Ion Channel Sensors Based on Artificial Bilayer Lipid Membranes”, 2nd International Symposium on Nanomedicine (ISNM2009) and Asian Core Symposium –Nano and Biomedical Molecular Science–, Okazaki, February 7, 2009. (招待講演)
- (43) A. Oshima, K. Onodera, A. Hirano, K. Aoto, T. Taira, R. Yamaguchi, Y. Kimura, M. Niwano, “*In Situ* Monitoring of Phospholipid Bilayer Formation Using Surface Infrared Spectroscopy”, The International Union of Materials Research Societies - the International Conference in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008), Nagoya, December, 12, 2008.

- (44) 平野愛弓, 山口僚太郎, 宮本浩一郎, 磯田博子, 宮崎 均, 木村康男, 庭野道夫, “表面赤外分光法を用いた細胞死のリアルタイムモニタリング”, 第28回表面科学講演大会, 東京, 2008年11月14日
- (45) Y. Kondo, R. Yamaguchi, A. Hirano-Iwata, K. Miyamoto, Y. Kimura, H. Isoda, H. Miyazaki, M. Niwano, “In-situ Monitoring of Cell Activities Using Surface Infrared spectroscopy”, The 5th International Symposium on Surface Science and Nanotechnology, Tokyo, November 12, 2008.
- (46) T. Muto, Y. Kimura, M. Niwano, “The Formation Mechanism of Aluminum Nanodots by Inhomogeneous Anodization as a Self-Alignment Technique for a Room-Temperature Operating Single-Electron Transistor”, The 5th International Symposium on Surface Science and Nanotechnology, Tokyo, November 11, 2008.
- (47) Y. Kimura, T. Muto, N. Shimakura, M. Niwano, “Inhomogeneous anodization of aluminum for nanofabrication”, Pacific rim meeting on electrochemical and solid state science, 214th ECS meeting, Honolulu, October, 14, 2008.
- (48) R. Yamaguchi, A. Hirano-Iwata, Y. Kimura, K. Miyamoto, H. Miyazaki, H. Isoda, M. Niwano, “In-situ monitoring of leukemia cell death by surface infrared spectroscopy”, SSDM 2008, Tsukuba, September 25, 2008.
- (49) 青戸孝至, 平良 祐, 山口僚太郎, 平野愛弓, 木村康男, 庭野道夫, “半導体微細加工を利用したイオンチャンネルセンサーの開発”, 第 69 回応用物理学関係学術講演会, 春日井, 2008年9月3日
- (50) 平野愛弓, 小野寺 恒太, 大嶋 梓, 山口僚太郎, 木村康男, 庭野道夫, “表面赤外分光法を用いた脂質二分子膜形成過程のその場観察”, 第 69 回応用物理学関係学術講演会, 春日井, 2008年9月3日
- (51) 武藤高見, 島倉尚子, 木村康男, 庭野道夫, “室温動作単一電子デバイスのための Al マイクロワイヤーの陽極酸化プロセス”, 第 69 回応用物理学関係学術講演会, 春日井, 2008年9月2日
- (52) T. Muto, Y. Kimura, M. Niwano, “Anodization process of aluminum microelectrode for a single-electron transistor operating at room temperature”, 66th Device Research Conference, Santa Barbara, June, 23, 2008.

[図書] (計1件)

- (1) A. Hirano-Iwata, A. Oshima, Y. Kimura, M. Niwano, “Stable and Reproducible Bilayer Lipid Membranes Based on Silicon Microfabrication Techniques”, Advances in Planar Lipid Bilayers and Liposomes, Vol.11, Eds. H. T. Tien and A. Ottova, Elsevier, pp. 71-86 (2010).

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: マイクロバブル発生装置
 発明者: 坂本仁志, 庭野道夫
 権利者: 株式会社半一
 種類: 特願
 番号: 2010-096359
 出願年月日: 2010年4月19日
 国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 取得年月日:
 国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://www.niwano.riec.tohoku.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

庭野 道夫 (NIWANO MICHIO)
 東北大学・電気通信研究所・教授
 研究者番号: 20134075

(2) 研究分担者

平野 愛弓 (HIRANO AYUMI)
 東北大学・大学院医工学研究科・准教授
 研究者番号: 80339241
 木村 康男 (KIMURA YASUO)
 東北大学・電気通信研究所・准教授
 研究者番号: 40312673
 青沼 有紀 (AONUMA YUKI)
 東北大学・電気通信研究所・助教
 研究者番号: 80582262