

平成22年5月10日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760024
 研究課題名 (和文) 原子間力顕微鏡による TiO₂ (110) 表面の触媒反応場の制御と評価
 研究課題名 (英文) Control and measurements on catalysis field of TiO₂(110) surface using atomic force microscopy
 研究代表者
 杉本 宜昭 (SUGIMOTO YOSHIKI)
 大阪大学・工学研究科・特任講師
 研究者番号：00432518

研究成果の概要 (和文)：

AFM を用いた新しい計測法である、化学結合力/トンネル電流の同時測定法、局所表面電位の精密測定法、化学結合力空間マッピング法及びそれを利用した元素同定法を開発した。それに加えて、室温原子操作に現れる確率的な原子移動の計測による機構の解明を行い、さらに、交換型垂直原子操作と名づけた新しい原子操作法を見出した。そして、TiO₂ 表面の画像化とフォーススペクトロスコピー測定によって、従来とは異なる AFM の画像化機構であることを提唱した。

研究成果の概要 (英文)：

We have developed the new measurement technique, such as force/current simultaneous measurements, local surface potential measurements, force mapping and chemical identification technique. In addition, we measured the stochastic behavior of atom hopping in lateral atom manipulation at room temperature and found the novel phenomenon of the atom-interchange vertical manipulation. We have proposed new imaging mechanism on TiO₂ surface by AFM imaging and force spectroscopy.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：走査型プローブ顕微鏡、二酸化チタン

1. 研究開始当初の背景

二酸化チタン (TiO₂) は典型的な金属酸化物の1つで、触媒、光学材料、電子材料など幅広い応用範囲を持つ機能性物質である。こ

の表面の物理的・化学的現象は個々のイオンの局所的な配位環境に強く影響するので、走査型トンネル顕微鏡 (STM) に代表されるプローブ技術による研究が重要である。特に、

原子間力顕微鏡 (AFM) は、試料に導電性が無くても動作できるため、金属酸化物の研究に大きな威力を発揮する。また、AFM を用いると STM では画像化されないルチル型 TiO₂ (110) 表面のブリッジ酸素欠陥が観察されるなど STM とは相補的な情報が得られる。表面酸素欠陥は、異なる価数と配位数を持つ特殊なサイトとして分子の吸着や反応に重要な役割を持つことが知られているので AFM による観察がますます重要である。しかし、これまでの AFM による金属酸化物の研究は、単に凹凸像測定、一部、仕事関数測定に限られており、AFM を使う大きな利点である原子操作、化学結合力測定、などが行われてこなかった。原子操作による吸着原子・分子の拡散バリアの測定、サイトスペシフィックな化学結合力測定、局所表面電位測定などのような AFM ならではの局所的な測定技術に加えて、AFM と STM を同一視野で同時に想定する AFM/STM 測定技術を開発し金属酸化物表面の触媒研究へ応用すれば、触媒反応場を制御して、その場で触媒反応を起こさせ評価し、生成物を同定するなど独創的な研究につながる可能性がある。

2. 研究の目的

AFM をベースとした化学結合マッピング、高精度局所表面電位測定、相互作用力/電流同時測定など、様々な計測手法を開発し、また、新しい原子操作法を開発、また機構の解明を行い、触媒反応場のモデル系である TiO₂ 表面の性質の解明につなげる。

3. 研究の方法

AFM/STM の同時測定のためには、導電性のカンチレバーを利用して実験を行う。また、高精度・高分解能な測定を室温で行うために、原子追跡法とフィードフォワード技術を用いて、熱ドリフトを相殺して、実験を行う。

4. 研究成果

(1) AFM による TiO₂ 観察

原子間力顕微鏡を用いてイメージングを行った。従来報告されている画像化モード以外に、さらに2つの画像化モードが存在することを見出し、静電気力のみできないことを示唆し、この表面の多様性を明らかにした。

(2) AFM による TiO₂ 表面のサイトスペシフィックな相互作用力測定と K 原子の原子操作

フォーススペクトロスコープによって、Ti, O, OH 基上で、化学結合力を測定し、力の起源を考察した。従来のモデルとは異なる新しいモデルを提唱した。また、表面に K 原子を吸着し、AFM 探針によって操作した。2つの吸着 K 原子間に働く斥力を利用した新しい原子操作手法も発見した。

(3) 表面電位の原子分解能イメージング

Si と Pb が混在した系において、相互作用力とは独立の物理量である局所表面電位を AFM をベースとしたケルビンプローブ力顕微鏡法 (KPFM) により原子分解能で測定した。KPFM と周波数シフトのバイアス依存性を測定することにより、探針—試料間距離が小さくなるにつれて、局所表面電位が減少することを見出した。そして、表面電位像が得られるメカニズムとして、原子の電気双極子モーメントが探針で誘起されるという現象に基づいた新しいモデルを提唱した。

(4) AFM/STM の同時測定法の確立

金属コートされた Si カンチレバーを用いて、AFM と STM の同時測定を室温で行う技術を開発した。Si 表面を AFM と STM 同時に高さ一定モードでイメージングし、両者が異なる物理量を測定していることを実証した。そして、原子上に探針を固定し、相互作用力とトンネル電流の距離依存性を測定し、また、同じ探針で、走査型トンネル分光測定を行い、局所状態密度を測定した。本技術により、同一探針を用いて、表面の同一原子上の相互作用力、トンネル電流、局所状態密度を測定できることを初めて示した。

(5) 新しい元素同定法の提案

Sn, Pb/Si(111)表面においてフォースマッピングの手法によって、3 元素が識別できることを示し、さらに、探針—試料間距離を変調する新しい方法によって、これまでよりも高速に元素同定する方法を見出した。

(6) 水平原子操作の確率的振る舞いの実測

Si(111)-(7x7)表面の Si アドアトムを欠陥の方向へ水平に動かす水平原子操作の統計的な実験を行い、熱活性型の水平原子操作で期待される確率的振る舞いを観測した。また、原子移動の確率を求め、確率が探針—試料間距離、探針の非対称性、原子の吸着サイトに依存することを見出した。

(7) 交換型垂直原子操作の発見と原子組立

室温で自由に表面原子の配置を組み替える方法である交換型垂直原子操作の方法を見出し、その機構を解明した。フォーススペクトロスコープによる化学結合力測定により、これまでとは質的に異なる手法であることを明らかにし、本手法により、室温で高速に原子操作が行えることを実証した。

(8) フォースマッピング法の確立

Si(111)-(7x7)表面上でフォースマッピングを行い、探針にかかる垂直力のみならず、水平力、ポテンシャルに数値的に変換できることを実証し、非接触原子間力顕微鏡による画像化機構を明らかにした。そして、高分解能化への指針を得た。

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 10 件) 全て査読有

1. NC-AFM imaging of the TiO₂ (110)-(1x1) surface at low temperature
A. Yurtsever, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita
Nanotechnology 21 (2010) 165702 1-7.
2. Simultaneous atomic-force and scanning-tunneling microscopy study of the Ge(111)-c(2x8) surface
D. Sawada, Y. Sugimoto, K. Morita, M. Abe, and S. Morita
Journal of Vacuum Science & Technology B 28 (2010) in press.
3. New insights on atomic-resolution frequency-modulation Kelvin-probe force-microscopy imaging of semiconductors
S. Sadewasser, P. Jelinek, C.K. Fang, O. Custance, Y. Yamada, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita
Physical Review Letters 103 (2009) 266103 1-4.
4. Simultaneous measurement of force and tunneling current at room temperature
D. Sawada, Y. Sugimoto, K. Morita, M. Abe, and S. Morita
Applied Physics Letters 94 (2009) 173117 1-3.
5. Simultaneous Atomic Imaging of Atomic Force Microscopy and Scanning Tunneling Microscopy Using Metal Coated Cantilevers
D. Sawada, A. Hirai, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita
Materials Transactions 50 (2009) 940-942.
6. Mapping and imaging for rapid atom discrimination: A study of frequency modulation atomic force microscopy
Y. Sugimoto, T. Namikawa, M. Abe, and S. Morita
Applied Physics Letters 94 (2009) 023108 1-3.
7. Statistics of lateral atom manipulation by atomic force microscopy at room temperature
Y. Sugimoto, K. Miki, M. Abe, and S. Morita
Physical Review B 78 (2008) 205305 1-5.
8. High-spatial-resolution topographic imaging and dimmer distance analysis of Si(100)-(2x1) using non-contact atomic force microscopy
D. Sawada, T. Namikawa, M. Hiragaki, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita
Japanese Journal of Applied Physics 47 (2008) 6085-6087
9. Complex patterning by vertical interchange atom manipulation using atomic force microscopy
Y. Sugimoto, P. Pou, O. Custance, P. Jelinek, M. Abe, R. Perez, and S. Morita
Science 322 (2008) 413-417.
10. Vertical and lateral force mapping on the Si(111)-(7x7) surface by dynamic force

microscopy

Y. Sugimoto, T. Namikawa, K. Miki, M. Abe, and S. Morita

Physical Review B 77 (2008) 195424 1-9.
Selected for Editors suggestion

[学会発表] (計 5 9 件)

[国際会議発表]

- (1) A. Pratama, A. Yurtsever, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "Site-specific force spectroscopy on TiO₂ (110) surface at low-temperature" 2nd Global COE International Symposium--Electronic Devices Innovation - EDIS2009-, 「Workshop on Applications of Atomic Force Microscopy」, January 14th, 2010, Hotel Hankyu Expo-park, Suita, Osaka, Japan.
- (2) D. Sawada, Y. Sugimoto, K. Morita, M. Abe and S. Morita, "Force and Tunneling Current Measurements on the Semiconductor Surface" 2nd Global COE International Symposium--Electronic Devices Innovation - EDIS2009-, 「Workshop on Applications of Atomic Force Microscopy」, January 14th, 2010, Hotel Hankyu Expo-park, Suita, Osaka, Japan.
- (3) A. Pratama, Y. Ayhan, Y. Sugimoto, M. Abe, S. Morita, P. Jelinek, C. Gonzalez and R. Perez "Understanding the Mechanism of Different Contrast Modes on TiO₂(110)-(1x1) Surface using nc-AFM at Low Temperature -- a Force Spectroscopic Measurement" 2009 MRS Fall Meeting-, December 2nd, 2009, The Hynes Convention Center, Boston, USA.
- (4) H. Tanaka, A. Yurtsever, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "AFM/STM Simultaneous Measurement on TiO₂(110) Surface" 2009 MRS Fall Meeting-, December 2nd, 2009, The Hynes Convention Center, Boston, USA.
- (5) K. Morita, D. Sawada, Y. Sugimoto, M. Abe and S. Morita, "Force and Tunneling Current Measurements on the Semiconductor Surface" 2009 MRS Fall Meeting-, December 2nd, 2009, The Hynes Convention Center, Boston, USA.
- (6) M. Abe, D. Sawada, K. Morita, Y. Sugimoto and S. Morita, "Simultaneous Measurement of Force and Tunneling Current with Atomic Force Microscopy" 2009 MRS Fall Meeting-, December 2nd, 2009, The Hynes Convention Center, Boston, USA.
- (7) Y. Sugimoto, O. Custance, M. Abe, and S. Morita, "Atom manipulation by Atomic force microscopy" 5th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, September 1st, 2009, Osaka university, Suita, Japan.
- (8) R. Takimoto, D. Sawada, Y. Sugimoto, K. Morita, M. Abe, S. Morita, "NC-AFM/STM measurements on the Si(111)-(7x7) surface and

the Ge(111)-c(2×8) surface" December 10-12, 2009, Atagawa, Shizuoka, Japan.

(9) H. Tanaka, A. Pratama, A. Yurtsever, Y. Sugimoto, M. Abe, S. Morita, "Studying different type of image contrast on TiO₂(110) surface by using nc-AFM measurement" December 10-12, 2009, Atagawa, Shizuoka, Japan.

(10) S. Morita, Y. Sugimoto, P. Pou, P. Jelinek, R. Perez, O. Custance and M. Abe, "Toward Atom-by-Atom Assembly of Composite Nanostructures Based on AFM" 7th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '09, December 6th, 2009, The Westin Maui Resort & Spa, Maui, Hawaii, USA.

(11) S. Morita, Y. Sugimoto, O. Custance, M. Abe, P. Pou, P. Jelinek and R. Perez: "Atom-by-Atom Nanostructuring of Composite Nanomaterials Based on AFM" The 4th International Symposium on Atomic Technologies (ISAT-4), November 18th, 2009, Seaside Hotel MAIKO VILLA KOBE, Hyogo, Japan.

(12) R. Takimoto, D. Sawada, Y. Sugimoto, K. Morita, M. Abe and S. Morita: "NC-AFM/STM measurements on the Si(111)-(7×7) surface and the Ge(111)-c(2×8) surface" The 4th International Symposium on Atomic Technologies (ISAT-4), November 18th, 2009, Seaside Hotel MAIKO VILLA KOBE, Hyogo, Japan.

(13) A. Pratama, A. Yurtsever, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita: "Probing the interaction of potassium (K) atoms on TiO₂(110) surface by using non-contact atomic force microscopy (nc-AFM) at low temperature" 5th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, September 1st, 2009, Osaka university, Suita, Japan.

(14) H. TANAKA, A. Yurtsever, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita: "Constant height AFM/STM imaging on TiO₂(110) surface" 5th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, September 1st, 2009, Osaka university, Suita, Japan.

(15) D. Sawada, Y. Sugimoto, K. Morita, M. Abe and S. Morita: "NC-AFM/STM Measurements on the Si(111)-(7×7) Surface" 5th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, September 1st, 2009, Osaka university, Suita, Japan.

(16) D. Sawada, Y. Sugimoto, K. Morita, M. Abe and S. Morita: "Simultaneous measurement of force and tunneling current" 12th International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy and Casimir 2009 Workshop, August 10th, 2009, Yale University, New Haven, CT, USA.

(17) A. Yurtsever, A. Pratama, Y. Sugimoto, M. Abe and S. Morita: "Site-specific force spectroscopy on TiO₂(110) surface at low-temperature" 12th International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy and Casimir 2009 Workshop, August 10th, 2009, Yale University, New Haven, CT, USA.

(18) D. Sawada, Y. Sugimoto, K. Morita, M. Abe and S. Morita: "Force and Tunneling Current Measurements on the Semiconductor Surface" 12th International Conference on Noncontact Atomic Force Microscopy and Casimir 2009 Workshop, August 10th, 2009, Yale University, New Haven, CT, USA.

(19) S. Morita, Y. Sugimoto, O. Custance, M. Abe, P. Pou, P. Jelinek, R. Perez: "Toward Atom-by-Atom Assembly of Complex Nanostructures Based on Atomic Force Microscopy" An local meeting of Czech nanosociety, July 16th, 2009, Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, Czech Republic.

(20) T. Terado, Y. Sasagawa, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "Development of Atomic Force Microscopy Using Quartz Tuning Fork Operated in Ultra High Vacuum", 3rd International Symposium on Atomic Technology (ISAT-3)3rd Polyscale Technology Workshop (PTW-3), Tokyo, Japan, 2009, March 5

(21) A. Sato, K. Ina, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "Optical Interferometer for Detection and Excitation of Cantilever Motion: A Study of Atomic Force Microscopy", 3rd International Symposium on Atomic Technology (ISAT-3)3rd Polyscale Technology Workshop (PTW-3), Tokyo, Japan, 2009, March 5

(22) K. Ina, A Sato, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "Sensitivity improvement of interferometer for NC-AFM", 3rd International Symposium on Atomic Technology (ISAT-3)3rd Polyscale Technology Workshop (PTW-3), Tokyo, Japan, 2009, March 5

(23) Y. Sasagawa, H. Hasegawa, Y. Sugimoto, M. Abe, S. Morita, "Investigation of excitation method for quartz tuning fork atomic force microscopy", 3rd International Symposium on Atomic Technology (ISAT-3)3rd Polyscale Technology Workshop (PTW-3), Tokyo, Japan, 2009, March 5

(24) H. Tanaka, A. Hirai, I. Yi, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "Observation of the metal oxide surface by scanning probe microscopy", 3rd International Symposium on Atomic Technology (ISAT-3)3rd Polyscale Technology Workshop (PTW-3), Tokyo, Japan, 2009, March 5

(25) A. Pratama, A. Yurtsever, Y. Sugimoto, and

- S. Morita, "High Resolution Imaging of TiO₂ (110)-(1x1) Using Non-Contact AFM at Low Temperature", 3rd International Symposium on Atomic Technology (ISAT-3)3rd Polyscale Technology Workshop (PTW-3), Tokyo, Japan, 2009, March 5
- (26) M. Takeda, M. Nagayasu, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "High-resolution imaging of CaF₂ /Si (111) surface using atomic resolution NC-AFM", 3rd International Symposium on Atomic Technology (ISAT-3)3rd Polyscale Technology Workshop (PTW-3), Tokyo, Japan, 2009, March 5
- (27) Y. Nakajima, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "Statistics of lateral atom manipulation by atomic force microscopy at room temperature", 3rd International Symposium on Atomic Technology (ISAT-3)3rd Polyscale Technology Workshop (PTW-3), Tokyo, Japan, 2009, March 5
- (28) H. Hasegawa, Y. Sasagawa, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "Investigation into small diameter metal tip for force sensor", 3rd International Symposium on Atomic Technology (ISAT-3)3rd Polyscale Technology Workshop (PTW-3), Tokyo, Japan, 2009, March 5
- (29) S. Somayeh, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "Deflection amplifier for tuning fork operated in ultra-high vacuum", 3rd International Symposium on Atomic Technology (ISAT-3)3rd Polyscale Technology Workshop (PTW-3), Tokyo, Japan, 2009, March 5
- (30) Y. Sugimoto, K. Miki, M. Abe, and S. Morita, "Statistics of Lateral Atom Manipulation by Atomic Force Microscopy at Room Temperature", The 16th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Atagawa, Japan, 2008, December 11-13
- (31) D. Sawada, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "NC-AFM/STM Study on the Semiconductor Surface", The 16th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Atagawa, Japan, 2008, December 11-13
- (32) Y. Sugimoto, T. Namikawa, K. Miki, M. Abe, and S. Morita, "Vertical and lateral force mapping by non-contact atomic force microscopy", International Symposium on Surface Science and Nanotechnology International Conference Center, Waseda University, Tokyo, Japan, 2008, November 9-13
- (33) S. Morita, Y. Sugimoto, O. Custance, M. Abe, P. Pou, P. Jelinek, and R. Perez, "Toward Atom-by-Atom Assembly of Composite Nanostructures Based on Atomic Force Microscopy", 21st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2008), Fukuoka, Japan, 2008, October 27-30
- (34) S. Morita, Y. Sugimoto, O. Custance, M. Abe, P. Pou, P. Jelinek, and R. Perez, "Atomic Tool for Nanofabrication Based on Atomic Force Microscopy", 55th AVS International Symposium in Boston, MA, USA, 2008, October 21
- (35) Y. Sugimoto, T. Namikawa, K. Miki, M. Abe, and S. Morita, "Vertical and lateral force mapping on the Si(111) -(7x7) surface by dynamic force microscopy", 11th International Conference on Non-contact Atomic Force Microscopy, Madrid, Spain, 2008, September 15-19
- (36) S. Sadewasser, O. Custance, Y. Sugimoto, M. Abe and S. Morita, "Distinct short-range electrostatic interaction on Si and substitutional Pb atoms at the Si(111) -(7x7) surface", 11th International Conference on Non-contact Atomic Force Microscopy, Madrid, Spain, 2008, September 15-19
- (37) P. Pou, Y. Sugimoto, O. Custance, P. Jelinek, M. Abe, S. Morita and R. Perez, "Unveiling the atomic processes during the manipulation of single atoms at semiconductor surfaces using the FM-AFM in the repulsive regime", 11th International Conference on Non-contact Atomic Force Microscopy, Madrid, Spain, 2008, September 15-19
- (38) O. Custance, Y. Sugimoto, M. Abe and S. Morita, "Force spectroscopy using cantilever higher flexural modes", 11th International Conference on Non-contact Atomic Force Microscopy, Madrid, Spain, 2008, September 15-19
- (39) M. Abe, Y. Sugimoto, K. Miki, T. Namikawa and S. Morita, "Imaging and Mapping for discriminating atom species using Non-contact Atomic Force Microscopy", 11th International Conference on Non-contact Atomic Force Microscopy, Madrid, Spain, 2008, September 15-19
- (40) S. Morita, Y. Sugimoto, O. Custance, and M. Abe, "Atom-by-Atom Chemical Identification and Following Manipulation on Semiconductor Surfaces Toward Nanostructuring at Room Temperature", the 14th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSFS-14), Trinity College Dublin, Ireland, 2008, June 29-July 4
- (41) S. Iwasaki, A. Hirai, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "Imaging of the Si clusters on the Si(111)-(7x7) surface by using NC-AFM", International Journal of Advanced Microscopy and Theoretical Calculations, Nagoya, Japan, 2008, June 29
- (42) D. Sawada, T. Namikawa, M. Hiragaki, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "NC-AFM study of phosphorous/Si(001)2x1 surface", International Journal of Advanced Microscopy

and Theoretical Calculations, Nagoya, Japan, 2008, June 29

[国内会議発表]

- (1) 澤田大輔、瀧本遼介、平山直樹、杉本宜昭、阿部真之、森田清三“AFM と STM の同時測定における画像化の評価”，日本金属学会 2010 年春期(第 146 回)大会，筑波大学，茨城県，2010 年 3 月 29 日
- (2) 田中秀樹、福本将輝、杉本宜昭、阿部真之、森田清三“非接触原子間力顕微鏡を用いた高さ一定モードによる水平原子操作”，日本金属学会 2010 年春期(第 146 回)大会，筑波大学，茨城県，2010 年 3 月 29 日
- (3) 杉本宜昭“Force and tunneling spectroscopy using cantilever based AFM/STM”，日本物理学会第 65 回年次大会，岡山大学，岡山県，2010 年 3 月 20 日
- (4) 杉本宜昭“AFM を用いた化学結合力測定に基づいた原子識別”，平成 21 年度ナノ分光部会第 1 回シンポジウム，理化学研究所，和光，2009 年 11 月 6 日
- (5) 杉本宜昭“超高真空原子間力顕微鏡を用いた原子分子技術”，平成 21 年度第 2 回関西電気化学研究会，大阪大学，吹田，2009 年 9 月 26 日
- (6) 北野晋平、杉本宜昭、阿部真之、森田清三“STM による交換型原子操作”，アトミック／ポリスケールテクノロジー連携研究会，東京理科大学・長万部キャンパス，北海道，2009 年 8 月 26 日
- (7) 瀧本遼介、澤田大輔、杉本宜昭、阿部真之、森田清三“非接触原子間力顕微鏡と走査型トンネル顕微鏡の同時測定”，アトミック／ポリスケールテクノロジー連携研究会，東京理科大学・長万部キャンパス，北海道，2009 年 8 月 26 日
- (8) 田中秀樹、Ayhan Yurtsever、杉本宜昭、阿部真之、森田清三“AFM/STM 同時測定による TiO₂(110)表面の観察”，アトミック／ポリスケールテクノロジー連携研究会，東京理科大学・長万部キャンパス，北海道，2009 年 8 月 26 日
- (9) 竹田真琴、中嶋祐貴、杉本宜昭、阿部真之、森田清三“GaAs(110) 劈開表面の AFM/STM 同時測定”，アトミック／ポリスケールテクノロジー連携研究会，東京理科大学・長万部キャンパス，北海道，2009 年 8 月 26 日
- (10) 佐藤或思、伊奈健一、杉本宜昭、阿部真之、森田清三“Fabry-Perot 干渉計を用いた AFM の検出感度向上に関する研究”，アトミック／ポリスケールテクノロジー連携研究会，東京理科大学・長万部キャンパス，北海道，2009 年 8 月 26 日
- (11) 笹川裕紀、森田健一、杉本宜昭、阿部真之、森田清三“水晶振動子を用いた AFM/STM

のフォースセンサーの開発”，アトミック／ポリスケールテクノロジー連携研究会，東京理科大学・長万部キャンパス，北海道，2009 年 8 月 26 日

- (12) 杉本宜昭“超高真空 SPM の半導体への応用”，第 47 回表面科学基礎講座，東京大学，文京区，2009 年 7 月 8 日
- (13) 杉本宜昭，三木浩太郎，阿部真之，森田清三“AFM を用いた室温原子操作の統計的実験”，応用物理学会春季講演大会，筑波大学，茨城県，2009 年 3 月 31 日
- (14) 杉本宜昭“原子間力顕微鏡を用いた単原子の元素識別法と室温での原子操作法の開発”，日本物理学会春季講演大会，立教大学，東京都，2009 年 3 月 28 日
- (15) 杉本宜昭“原子間力顕微鏡を用いたフォースマッピングと原子操作”，日本顕微鏡学会関東支部講演会，工学院大学，東京都，2009 年 3 月 7 日
- (16) 杉本宜昭，並川峻，三木浩太郎，阿部真之，森田清三“非接触原子間力顕微鏡を用いたフォースマッピング”，表面科学学術講演会，早稲田大学，東京都，2008 年 11 月 13 日
- (17) 杉本宜昭，並川峻，三木浩太郎，阿部真之，森田清三“フォースマッピングによる FM-AFM 凹凸像の考察”，応用物理学会秋季講演大会，中部大学，愛知県，2008 年 9 月 2 日

[図書] (計 1 件)

1. ‘Noncontact Atomic Force Microscopy Volume 2’ S. Morita, F.J. Giessibl, R. Wiesendanger (Eds.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Series: NanoScience and Technology, Chapter 8, ‘Atom manipulation on semiconductor surfaces’ Y. Sugimoto

[その他]

ホームページ

<http://www.wakate.frc.eng.osaka-u.ac.jp/sugimoto/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉本 宜昭 (Sugimoto Yoshiaki)
大阪大学・工学研究科・特任講師
研究者番号： 00432518