

課題番号	GR069
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成 25 年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	走査型磁気共鳴顕微鏡を用いた単原子の元素同定法の開発
研究機関・ 部局・職名	大阪大学・大学院工学研究科・准教授
氏名	杉本 宜昭

1. 当該年度の研究目的

当該年度は、当初の装置開発・関連実験を継続しながら、並行して室温環境下における単原子の元素同定法の開発を目的とする。前者の研究として、スピン検出に基づいた元素同定の検証に適した系の試料作成と走査型プローブ顕微鏡の高周波応答の研究を行う。具体的には、シリコンの初期酸化表面の作成と、各種吸着状態の同定を行う。また、高周波の実験としては、パルス電圧を印加した際の走査型プローブ顕微鏡の測定量を調べる。一方、後者の研究である室温環境の研究においては、触媒で重要な金属酸化物表面上の欠陥や吸着子の同定や、共有結合力とイオン結合力の分離に基づく新しい元素同定法の確立などグリーンイノベーションに資する研究を行う。

2. 研究の実施状況

極低温での単原子の元素同定を行うために、スピン検出に適した系として、初期酸化状態のシリコン表面の試料作成条件を確立した。そして、原子間力顕微鏡と理論計算によって各種構造を明らかにした。具体的には、清浄なシリコン表面に酸素を暴露することによって、初期酸化表面を作成し、イメージングや相互作用力測定など走査型プローブ顕微鏡の計測技術により、酸素吸着種について明らかにした。我々の実験結果は、理論計算の結果と完全に整合した。また、走査型プローブ顕微鏡の観測量の高周波応答に関する研究を行った。ナノ秒オーダーのパルス電圧に対する、応答を調べ、走査型プローブ顕微鏡の観測量が、静電気力のモデルで説明できることを明らかにした。一方、室温環境における表面吸着原子の元素同定法として、従来の共有結合力測定に基づく元素同定法を、極性を持つ元素の同定法へ拡張できることを示した。これにより、重要な元素を含むより多くの元素に対して応用できる元素同定法を確立した。また、触媒活性がある白金原子を吸着した二酸化チタン表面において、水酸基などの欠陥を同定して、さらに局所電位測定によって、白金原子や表面下の電荷を持つ欠陥が同定できることを示した。以上のように、グリーンイノベーションに資する知見を得た。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文</p> <p>計 7 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 4 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ‘Quantum degeneracy in atomic point contacts revealed by chemical force and conductance’ Y. Sugimoto, M. Ondracek, M. Abe, P. Pou, S. Morita, R. Perez, F. Flores, and P. Jelinek Physical Review Letters vol. 111 (2013) pp. 106803 1–5, issue10 Selected for Editors’ suggestion 2. ‘Role of Tip Chemical Reactivity on Atom Manipulation Process in Dynamic Force Microscopy’ Y. Sugimoto, A. Yurtsever, M. Abe, S. Morita, M. Ondracek, P. Pou, R. Perez, and P. Jelinek ACS Nano vol. 7 (2013) pp. 7370–7376, No.8 3. ‘Mechanical Properties of Various Phases on In/Si(111) Surfaces Revealed by Atomic Force Microscopy’ K. Iwata, S. Yamazaki, Y. Tani, and Y. Sugimoto Applied Physics Express vol. 6 (2013) pp. 055201 1–4, No.5 4. ‘Force mapping on a partially H-covered Si(111)-(7x7) surface: Influence of tip and surface reactivity’ A. Yurtsever, Y. Sugimoto, H. Tanaka, M. Abe, S. Morita, M. Ondracek, P. Pou, R. Perez, and P. Jelinek Physical Review B vol. 87 (2013) pp. 155403 1–10, issue15 <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 3 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ‘Mechanical gate control for atom-by-atom assembly with scanning probe microscopy’ Y. Sugimoto, A. Yurtsever, N. Hirayama, M. Abe, and S. Morita Nature Communications, in press 2. ‘Subsurface Charge Repulsion of Adsorbed H-Adatoms on TiO2(110)’ J. Onoda, P.L. Pang, A. Yurtsever, and Y. Sugimoto The Journal of Physical Chemistry C, in press 3. ‘Initial and secondary oxidation products on the Si(111)-(7x7) surface identified by atomic force microscopy and first principles calculations’ J. Onoda, M. Ondracek, A. Yurtsever, P. Jelinek, and Y. Sugimoto Applied Physics Letters vol. 104 (2014) pp. 133107 1–4, issue13
<p>会議発表</p> <p>計 34 件</p>	<p>専門家向け 計 33 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. J. Onoda, M. Ondracek, A. Yurtsever, P. Jelinek, and Y. Sugimoto, “Initial-stage oxidation products on Si(111)-(7x7) in AFM and STM”, DPG spring meeting, March 3rd – April 4th 2014, Dresden, Germany 2. 杉本宜昭、M. Ondracek、阿部真之、P. Pou、森田清三、R. Perez、F. Flores、P. Jelinek、「原子接合における力と電流の関係」、日本物理学会 第 69 回年次大会、2014 年 3 月 27–30 日、東海大学 湘南キャンパス 3. 鈴木将敬、山末耕平、阿部真之、杉本宜昭、長康雄、「非線形走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた Si(100)-2x1 表面における双極子モーメント分布の観察」、第 75 回応用物理学会春季学術講演会、2014 年 3 月 17–20 日、青山学院大学 相模原キャンパス 4. 杉本宜昭、Ayhan Yurtsever、Delia Fernandez-Torre、Cesar Gonzalez、Pavel Jelinek、Pablo Pou、阿部真之、Ruben Perez、森田清三、「AFMを用いたルチル TiO2(110)上のフォーススペクトロスコープ」、第 75 回応用物理学会春季学術講演会、2014 年 3 月 17–20 日、青山学院大学 相模原キャンパス 5. K. Iwata, S. Yamazaki, Y. Tani, and Y. Sugimoto, “Flexibility of In/Si(111) Surface Measured by Atomic Force Microscopy”, 1st KANSAI Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, 3rd–4th February 2014, Osaka, Japan 6. T. Shinozaki, K. Niki, E. Inami, S. Yamazaki, J. Onoda, A. Yurtsever, and Y. Sugimoto, “Pt-induced Nanowires on Ge(001) investigated by AFM/STM”, 1st KANSAI Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, 3rd–4th February 2014, Osaka, Japan 7. K. Maeda, S. Yamazaki, R. Takatani, D. Sawada, Y. Sugimoto, M. Abe, P. Pou, R. Perez, P. Mutombo, P. Jelinek, and S. Morita, “Force- and Current-Induced All-Silicon Atom Switching”, 1st KANSAI Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, 3rd–4th February 2014, Osaka, Japan

8. 稲見栄一、杉本宜昭、阿部真之、森田清三、「AFM/STMを用いた鉛クラスタースイッチの組立」, 2013年度 関西薄膜表面物理セミナー, 2013年11月29-30日, グリーンビレッジ交野
9. 山崎詩郎、高谷玲平、前田圭吾、澤田大輔、杉本宜昭、阿部真之、P. Pou、R. Perez、P. Mutombo、P. Jelinek、森田清三、「STMおよびAFMを用いた電流と力によるSi原子スイッチング」, 2013年度 関西薄膜表面物理セミナー, 2013年11月29-30日, グリーンビレッジ交野
10. Kohei Yamasue, Masayuki Abe, Yoshiaki Sugimoto, and Yasuo Cho, "Site Specific Measurement of Atomic Dipole Moment Induced Local Surface Potentials on Si(111)-(7x7) Surface by Using Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", 2013 MRS Fall Meeting, 1st-6th December 2013, Boston, Massachusetts, USA
11. K. Yamasue, M. Abe, Y. Sugimoto, and Y. Cho, "Site-specific Measurement of Atomic Dipole Moment Induced Surface Potential on Si(111)-(7x7) by Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-12 & ICSPM21), 4th-8th November 2013, Tsukuba, Japan
12. E. Inami, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "Fabrication and Control of Pb-trimer Switch Operable at Room Temperature Using a combined AFM/STM", 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-12 & ICSPM21), 4th-8th November 2013, Tsukuba, Japan
13. S. Yamazaki, R. Takatani, K. Maeda, D. Sawada, Y. Sugimoto, M. Abe, P. Pou, R. Perez, P. Mutombo, P. Jelinek, and S. Morita, "Current- and Force-Induced Si₄ Atom Switching using STM and AFM", 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-12 & ICSPM21), 4th-8th November 2013, Tsukuba, Japan
14. Y. Sugimoto, A. Yurtsever, M. Abe, and S. Morita, "Mechanical Gate Control for Atom-by-atom Clustering with Scanning Probe Microscopy", 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-12 & ICSPM21), 4th-8th November 2013, Tsukuba, Japan
15. M. Ondracek, Y. Sugimoto, M. Abe, A. Yurtsever, J. Onoda, M. Setvin, S. Morita, and P. Jelinek, "Beyond Chemical Sensitivity in nc-AFM: Probing Bond Character", 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-12 & ICSPM21), 4th-8th November 2013, Tsukuba, Japan
16. K. Iwata, S. Yamazaki, Y. Tani, and Y. Sugimoto, "AFM Measurement of Mechanical Properties on In/Si(111) Surface", 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-12 & ICSPM21), 4th-8th November 2013, Tsukuba, Japan
17. J. Onoda, M. Ondracek, A. Yurtsever, P. Jelinek, and Y. Sugimoto, "Chemical Identification of Single Atoms with Partially Ionic Covalent Character", 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-12 & ICSPM21), 4th-8th November 2013, Tsukuba, Japan
18. A. Yurtsever, Y. Sugimoto, M. Abe, S. Morita, M. Ondracek, P. Pou, R. Perez, and P. Jelinek, "Role of tip chemical reactivity on atom manipulation process in dynamic AFM", 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-12 & ICSPM21), 4th-8th November 2013, Tsukuba, Japan
19. 杉本宜昭、「プローブ顕微鏡の最前線と関連技法の現状」, 「様々な極微イメージング技術」第1回研究会 (依頼講演), 2013年10月19日, 九州大学
20. 杉本宜昭、「Simultaneous Scanning Force/Tunneling Microscopy Using a Quartz Cantilever with a Tungsten Tip」, 第74回応用物理学会春季学術講演会, 2013年9月16-20日, 同志社大学 京田辺キャンパス
21. 山末耕平、阿部真之、杉本宜昭、長康雄、「非接触走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた Si(111)-(7x7) 表面における表面電位のサイト依存性測定」, 第74回応用物理学会春季学術講演会, 2013年9月16-20日, 同志社大学 京田辺キャンパス
22. 杉本宜昭、アイハン ユルトセベル、福本将輝、阿部真之、森田清三、「ケルビンプローブ力顕微鏡の探針極性効果」, 第74回応用物理学会春季学術講演会, 2013年9月16-20日, 同志社大学 京田辺キャンパス
23. 稲見栄一、杉本宜昭、阿部真之、森田清三、「Si(111)-(7x7)表面におけるPb原子スイッチの組立と制御」, 第74回応用物理学会春季学術講演会, 2013年9月16-20日, 同志社大学 京田辺キャンパス
24. S. Yamazaki, R. Takatani, K. Maeda, D. Sawada, Y. Sugimoto, M. Abe, P. Pou, R. Perez, P. Mutombo, P. Jelinek, and S. Morita, "Force- and Current-Induced Atom Switching", 16th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy (nc-AFM 2013), 5th-9th August 2013, University of Maryland, USA
25. E. Inami, Y. Sugimoto, M. Abe, and S. Morita, "Control of atom switch of Pb trimer assembled on Si(111)-(7x7) surface using a combined AFM/STM at room temperature", 16th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy (nc-AFM 2013), 5th-9th August 2013, University of Maryland, USA
26. Ayhan Yurtsever, Yoshiaki Sugimoto, Masaki Fukumoto, Masayuki Abe, and Seizo Morita, "Effect of tip polarity on Kelvin probe force microscopy images of thin insulator CaF₂ films on Si(111)", 16th International

様式19 別紙1

	<p>Conference on non-contact Atomic Force Microscopy (nc-AFM 2013), 5th-9th August 2013, University of Maryland, USA</p> <p>27. Stefan Kuhn, Markus Kittelmann, Masayuki Abe, Yoshiaki Sugimoto, Angelika Kuhnle, and Philipp Rahe, "Determining the absolute orientation of a low-symmetry surface", 16th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy (nc-AFM 2013), 5th-9th August 2013, University of Maryland, USA</p> <p>28. J. Onoda, M. Ondracek, A. Yurtsever, Y. Sugimoto, and P. Jelinek, "Specific Site Force Spectroscopy: Fingerprint for Bond Character", 16th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy (nc-AFM 2013), 5th-9th August 2013, University of Maryland, USA</p> <p>29. Kota Iwata, Shiro Yamazaki, Yuta Tani, Yoshiaki Sugimoto, "Mechanical Properties of In/Si(111) Surface Revealed by AFM", 16th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy (nc-AFM 2013), 5th-9th August 2013, University of Maryland, USA</p> <p>30. J. Onoda, M. Ondracek, A. Yurtsever, P. Jelinek, and Y. Sugimoto, "AFM Study on the Initial Oxidation Process of Si(111)-(7x7) Surface", 16th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy (nc-AFM 2013), 5th-9th August 2013, University of Maryland, USA</p> <p>31. Delia Fernandez-Torre, Ayhan Yurtsever, Jo Onoda, Yoshiaki Sugimoto, Masayuki Abe, Seizo Morita, and Ruben Perez, "A combined NC-AFM and DFT study of Pt atoms adsorbed on TiO2(110)", 16th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy (nc-AFM 2013), 5th-9th August 2013, University of Maryland, USA</p> <p>32. Kohei Yamasue, Masayuki Abe, Yoshiaki Sugimoto, and Yasuo Cho, "Site specific measurement of surface potential shift on Si(111)-(7x7) surface by noncontact scanning nonlinear dielectric microscopy", 16th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy (nc-AFM 2013), 5th-9th August 2013, University of Maryland, USA</p> <p>33. Y. Sugimoto, "Mechanical atom manipulation using atomic force microscopy at room temperature", International Workshop AtMol conference series 2013, 16th-17th April, 2013, University of Nottingham, Nottingham, UK</p> <p>一般向け 計 1 件</p> <p>1. 杉本宜昭, 「走査型磁気共鳴顕微鏡を用いた単原子の元素同定法の開発」, FIRST シンポジウム「科学技術が拓く2030年へのシナリオ」, 2014年3月1日, ベルサール新宿グランド</p>
<p>図書 計 1 件</p>	<p>1. 原子文字 杉本宜昭 問題と解説で学ぶ表面科学 pp26 共立出版 (2013/10/25) 日本表面科学会 (編集), 松井 文彦 (編集)</p>
<p>産業財産権 出願・取得状況 計 0 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件 (出願中) 計 0 件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>大阪大学・最先端・次世代研究開発支援プログラム http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/program_next 大阪大学大型教育研究プロジェクト支援室・最先端・次世代研究開発支援プログラム http://www.lserp.osaka-u.ac.jp/index_jisedai.html 大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻 原子分子操作組立領域 http://www.afm.eei.eng.osaka-u.ac.jp/jp/index.html</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>「原子一個が見える世界」 実施日: 2013年10月23日 Academist チャンネル 対象者: 一般 Web 動画にて、走査型プローブ顕微鏡を用いた原子のイメージングや単原子の元素同定法の新しい可能性</p>

様式19 別紙1

	<p>について説明した。</p> <p>「原子を見て動かして文字を描く」 実施日：2013年5月3日 場所：大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻 対象者：一般 参加者数：20人 第54回いちょう祭にて研究室公開を行った。そこで、走査型プローブ顕微鏡を用いた原子分子技術に関して我々の研究成果を示し、走査型磁気共鳴顕微鏡を用いた単原子の元素同定法という新しい可能性について説明した。</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計7件</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 「電流は結合力の2乗に比例 阪大チーム世界初実証」 読売新聞 平成25年10月7日 朝刊15面 2. 「電流を測ると物体間の化学結合力がわかる」 Nanotech Japan 平成25年9月26日 3. 「近接する2つの物体間に働く力と流れる電流は単純な比例関係」 マイナビニュース 平成25年9月10日 4. 「原子間の力、電流と関連性 阪大など検証」 日経産業新聞 平成25年9月4日 朝刊7面 5. 「阪大、室温で効率的に原子を動かす条件を解明」 マイナビニュース 平成25年8月8日 6. 「室温で効率的に原子を動かす条件を解明」 Nanotech Japan 平成25年8月19日 7. 走査型プローブ顕微鏡入門 平成25年8月13日
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

受賞

1. The Surface Science Society of Japan
The Heinrich Rohrer Medal (Rising Medal)
‘For his excellent input and outstanding contributions using atomic force microscopy in atomic manipulation and chemical identification of atoms’
2. 本多記念会
第35回本多記念研究奨励賞
「原子間力顕微鏡による原子分子技術の開発」
3. 大阪大学
大阪大学総長奨励賞
「原子間力顕微鏡による原子分子技術の研究」

実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されません

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	125,000,000	111,470,000	13,530,000	0	
間接経費	37,500,000	33,441,000	4,059,000	0	
合計	162,500,000	144,911,000	17,589,000	0	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	23,022,272	13,530,000	0	36,552,272	36,552,272	0	
間接経費	8,111,396	4,059,000	0	12,170,396	12,170,396	0	
合計	31,133,668	17,589,000	0	48,722,668	48,722,668	0	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	22,037,176	コントロールシステム、顕微鏡ユニット、レーザー
旅費	2,057,141	研究成果発表旅費(メリーランド)等
謝金・人件費等	12,021,281	特任研究員人件費
その他	436,674	英文校閲料、論文掲載料
直接経費計	36,552,272	
間接経費計	12,170,396	
合計	48,722,668	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
デュアルチャンネルプロ グラムフィルタ	(株)エヌエフ回路設計 ブロック製 3628	1	992,512	992,512	2013/6/10	大阪大学
ラホ・ユースSLD光源	レムフクラフ製 OPS-1000	1	525,000	525,000	2013/8/9	大阪大学
Nanonis SPM Control System	独国スペックスサー フェスナ/アナリス社	1	10,521,000	10,521,000	2013/10/3	大阪大学
室温光干渉AFMイン ナーユニット(ラテラル共	(株)ユニソク製	1	2,142,000	2,142,000	2013/12/27	大阪大学