

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24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

強磁場・極低温・超高真空走査型プローブ顕微鏡の装置の動作チェックを液体窒素温度・超高真空中で行う。また、絶縁体薄膜の試料作成法を確立し、走査型プローブ顕微鏡によるイメージングを行う。それと並行して室温において、効率よく原子操作を行うための条件の解明、そして様々な原子を元素同定する手法を開発する。原子操作に関しては、様々な金属単原子の原子操作の実験を行い、探針との相互作用力と原子操作との間の関係を明らかにして、効率よく原子操作を行うための条件の解明を行う。元素同定に関しては、イオン性の表面に対してはケルビンプローブフォース顕微鏡によって、共有結合性の表面に対しては相互作用力測定によって実験を行う。

2. 研究の実施状況

探針近くで変調磁場が印加できる強磁場・極低温・超高真空走査型プローブ顕微鏡の装置の組立を終えた。本装置は、試料を極低温に冷却した状態で、磁性原子を試料表面に蒸着できるようになっている。常温と78K(液体窒素温度)において、本顕微鏡によるイメージングを行い、シリコン表面において原子解像度が得られている。また、除振性能も除振台と顕微鏡本体のバネ除振が問題ないレベルで機能している。絶縁体薄膜の試料作成法とイメージングに関しては、シリコン基板上に成長させたCaF<sub>2</sub>薄膜において確立した。

原子操作に関して、シリコン表面を基板として、Si,Sn,Pb,Ag,Auの原子に対して実験を行うことで、原子操作と相互作用力の条件の解明を行った。一方、室温における表面の個々の原子の元素同定法の研究として、シリコン基板上に成長させたCaF<sub>2</sub>薄膜におけるケルビンプローブフォース顕微鏡測定を行った。これまでの常識に反して、探針先端の原子の極性によって、局所接触電位差像が反転する結果が得られた。これにより、イオン性の表面のケルビン測定には探針先端の極性に注意する必要があることが分かった。また、シリコン表面に水素原子を吸着させた表面で、精密に相互作用力測定を行った。あらゆる探針先端の活性度に対して、シリコン原子と水素原子を明確に識別できることを示した。これらの研究によって、イオン性結合と共有結合を分離することによって元素同定を行う、新しい手法の着想に至った。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文</p> <p>計 3 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 2 件</p> <p>1. ‘Simultaneous noncontact AFM and STM of Ag:Si(111)-(R3xR3)R30’ Adam Sweetman, Andrew Stannard, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita, and Philip Moriarty Physical Review B vol. 87 (2013) pp. 075310 1-8, issue7</p> <p>2. ‘Effect of tip polarity on Kelvin probe force microscopy images of thin insulator CaF2 films on Si(111)’ Ayhan Yurtsever, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masaki Fukumoto, Masayuki Abe, and Seizo Morita Applied Physics Letters vol. 101 (2012) pp. 083119 1-4, issue8</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 1 件</p> <p>3. ‘Force mapping on a partially H-covered Si(111)-(7x7) surface: Influence of tip and surface reactivity’ Ayhan Yurtsever, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Hideki Tanaka, Masayuki Abe, Seizo Morita, Martin Ondracek, Pablo Pou, Ruben Perez, and Pavel Jelinek Physical Review B vol. 87 (2013) pp. 155403 1-10, issue15</p>
<p>会議発表</p> <p>計 23 件</p>	<p>専門家向け 計 22 件</p> <p>1. 原子間力顕微鏡を用いた In/Si(111)-4×1 表面の室温測定 岩田孝太、山崎詩郎、<u>杉本宜昭</u>、阿部真之、森田清三 日本物理学会 2013 年春季大会 2013 年 3 月 26-29 日 広島大学 東広島キャンパス</p> <p>2. 電流と力による Si テトラマーの原子スイッチ 山崎詩郎、高谷玲平、澤田大輔、<u>杉本宜昭</u>、阿部真之、森田清三、Pablo Pou、Ruben Perez、Pingo Mutombo、Pavel Jelinek 日本物理学会 2013 年春季大会 2013 年 3 月 26-29 日 広島大学 東広島キャンパス</p> <p>3. AFM/STM 同時測定によるフォース/トンネル分光 <u>杉本宜昭</u> 顕微鏡学会 SPM 分科会 オープン研究会 (依頼講演) 2013 年 1 月 23 日 大阪大学</p> <p>4. Atomic Force Microscopy observation on In/Si(111)-4x1 surface at room temperature Koichi Iwata, Shiro Yamazaki, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita 20th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM20) 2012 年 12 月 17-19 日 Okinawa, Japan</p> <p>5. Fabrication and operation of atomic switch of Pb cluster on Si(111)-(7x7) surface with a combined AFM/STM at room temperature Eichi Inami, Keiichi Ueda, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita 20th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM20) 2012 年 12 月 17-19 日 Okinawa, Japan</p> <p>6. Simultaneous Current and Force-Induced Atom Switching Shiro Yamazaki, Ryohei Takatani, Daisuke Sawada, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita, Pablo Pou, Ruben Perez, Pingo Mutombo, Pavel Jelinek 20th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM20) 2012 年 12 月 17-19 日 Okinawa, Japan</p>

	<p>7. Non-contact atomic force microscopy study of oxygen-adsorbed Si(111)-(7x7) surface at room temperature          Jo Onoda, Ayhan Yurtsever, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita          20th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM20)          2012年12月17-19日          Okinawa, Japan</p> <p>8. Relation between force and conductance on the Si(111)-(7x7) surface  <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita          20th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM20)          2012年12月17-19日          Okinawa, Japan</p> <p>9. Simultaneous Current and Force-Induced Atom Switching          Ryohei Takatani, Shiro Yamazaki, Daisuke Sawada, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita, Pablo Pou, Ruben Perez, Pingo Mutombo, Pavel Jelinek          8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium          2012年12月10-11日          Osaka, Japan</p> <p>10. Atomic Force Microscopy Observation on In/Si(111)-4x1 Surface at Room Temperature          Koichi Iwata, Shiro Yamazaki, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita          8th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium          2012年12月10-11日          Osaka, Japan</p> <p>11. 原子間力顕微鏡による In/Si(111)-4x1 表面の室温観察          岩田孝太、山崎詩郎、<u>杉本宜昭</u>、阿部真之、森田清三          第32回 表面科学 学術講演会          2012年11月20-22日          東北大学</p> <p>12. Si(111)-(7x7)上の Si テトラマーの構造と原子スイッチ          高谷玲平、山崎詩郎、澤田大輔、<u>杉本宜昭</u>、阿部真之、森田清三、Pablo Pou、Ruben Perez、Pingo Mutombo、Pavel Jelinek          第32回 表面科学 学術講演会          2012年11月20-22日          東北大学</p> <p>13. 電流注入による Si テトラマーの原子スイッチ          山崎詩郎、高谷玲平、澤田大輔、<u>杉本宜昭</u>、阿部真之、森田清三、Pablo Pou、Ruben Perez、Pingo Mutombo、Pavel Jelinek          第32回 表面科学 学術講演会          2012年11月20-22日          東北大学</p> <p>14. Current-Induced Switching of the Si<sub>4</sub> Tetramer          Shiro Yamazaki, Ryohei Takatani, Daisuke Sawada, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita, Pablo Pou, Ruben Perez, Pingo Mutombo, Pavel Jelinek          14th Vibrations at Surfaces (VAS14)          2012年9月24-28日          Kobe, Japan</p> <p>15. 原子間力顕微鏡を用いたフォーススペクトロスコピー  <u>杉本宜昭</u>          日本物理学会 2012年秋季大会 (依頼講演)          2012年9月18-21日          横浜国立大学常盤台キャンパス</p> <p>16. Alkali-metal adsorption and manipulation on a hydroxylated TiO<sub>2</sub> (110) surface using atomic force microscopy          Ayhan Yurtsever, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Katsuyuki Matsunaga, Isao Tanaka, and Seizo Morita          15th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy          2012年7月1-5日          Cesky Krumlov, Czech republic</p>
--	---

様式19 別紙1

	<p>17. Kelvin probe force microscopy characterization of TiO<sub>2</sub> (110)-supported Au clusters Ayhan Yurtsever, Hong Jing Chung, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, and Seizo Morita 15th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy 2012年7月1-5日 Cesky Krumlov, Czech republic</p> <p>18. The role of the atomic thermal movements on the STM/FM-AFM images: how is a Si tetramer observed on the Si(111)-7×7 surface at RT? <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita, Pingo Mutombo, Pavel Jelinek, Pablo Pou, Ruben Perez 15th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy 2012年7月1-5日 Cesky Krumlov, Czech republic</p> <p>19. Understanding image contrast in TiO<sub>2</sub> with force spectroscopy and theoretical simulations Delia Fernandez-Torre, Ayhan Yurtsever, Cesar Gonzalez, Pavel Jelinek, Pablo Pou, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita, and Ruben Perez 15th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy 2012年7月1-5日 Cesky Krumlov, Czech republic</p> <p>20. AFM on a Hydrogenated Si 7x7 Surface: exploring different interaction regimes Ayhan Yurtsever, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Seizo Morita, Martin Ondracek, Pablo Pou, Ruben Perez, Pavel Jelinek 15th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy 2012年7月1-5日 Cesky Krumlov, Czech republic</p> <p>21. 3D force maps on CaCO<sub>3</sub>(1014) at room temperature Stefan Kuhn, Philipp Rahe, Masayuki Abe, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Markus Kittelmann, Angelika Kuhnle 15th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy 2012年7月1-5日 Cesky Krumlov, Czech republic</p> <p>22. Simultaneous AFM and STM measurements using optical deflection sensor <u>Yoshiaki Sugimoto</u> 15th International Conference on non-contact Atomic Force Microscopy (招待講演) 2012年7月1-5日 Cesky Krumlov, Czech republic</p> <p>一般向け 計1件</p> <p>23. 原子間力顕微鏡の基礎と応用 <u>杉本宜昭</u> 東レ・ナノテク要素技術連絡会 (依頼講演) 2013年1月28日 東レ株式会社</p>
<p>図書 計1件</p>	<p>1. ‘非接触原子間力顕微鏡技術と室温原子操作’ 阿部真之、<u>杉本宜昭</u>、森田清三 精密工学会誌 vol. 79 (2013) pp. 200-204, issue3</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>

様式19 別紙1

Webページ (URL)	<p>大阪大学・最先端・次世代研究開発支援プログラム  <a href="http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/program_next">http://www.osaka-u.ac.jp/ja/research/program_next</a>                  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  <a href="http://www.lserp.osaka-u.ac.jp/index_jisedai.html">http://www.lserp.osaka-u.ac.jp/index_jisedai.html</a>                  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  <a href="http://www.afm.eei.eng.osaka-u.ac.jp/jp/index.html">http://www.afm.eei.eng.osaka-u.ac.jp/jp/index.html</a></p>
国民との科学・技術対話 の実施状況	<p>阪大ラボ実習「原子をみる！さわる！」                  実施日：2012年9月2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：高校生                  参加者数：24人                  8月25日に実施した土曜セミナーの内容を受けて、豊中高校の学生を研究室へ招き、走査型プローブ顕微鏡を用いたナノテクノロジーに関する実習を行った。実際に原子像を撮影する等の実験を行ってもらった。</p> <p>土曜セミナー「原子をみる！さわる！」                  実施日：2012年8月25日                  場所：豊中高校                  対象者：高校生                  参加者数：25人                  豊中高校にて出張授業を行い、走査型プローブ顕微鏡を用いたナノテクノロジーに関して我々の研究成果を示し、単原子の元素同定と原子操作に関する新しい可能性について説明した。</p> <p>「原子を見て動かして文字を描く」                  実施日：2012年5月1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53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>
新聞・一般雑誌等掲載 計3件	<p>1. 韓国版 NEWTON 別冊「自然の幾何学」2012年4月1日発行                  P74-75 原子も蜂の巣状に並ぶ</p> <p>2. NEWTON 別冊「ビジュアル化学 改訂新版」2012年12月発行                  P26 原子を見ることはできるのか？</p> <p>3. NHK番組「高校講座・化学基礎」(Eテレ) 2013年3月5日、5月22日放送                  ケイ素の原子 原子を動かそう</p>
その他	

4. その他特記事項

## 実施状況報告書(平成24年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

## 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	83,202,000	28,268,000	13,530,000	0
間接経費	37,500,000	24,960,600	8,480,400	4,059,000	0
合計	162,500,000	108,162,600	36,748,400	17,589,000	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	26,599,899	28,268,000	0	54,867,899	31,845,627	23,022,272	0
間接経費	11,558,672	8,480,400	0	20,039,072	11,927,676	8,111,396	0
合計	38,158,571	36,748,400	0	74,906,971	43,773,303	31,133,668	0

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	12,989,127	高周波磁場変調装置、質量分析計 等
旅費	717,667	学会参加(NCAFM他)、情報収集(VAS14)等旅費
謝金・人件費等	17,900,983	博士研究員人件費、講演謝金
その他	237,850	英文校閲、学会参加登録費 等
直接経費計	31,845,627	
間接経費計	11,927,676	
合計	43,773,303	

## 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
高周波磁場変調装 置	Agilent81180A	1	6,531,000	6,531,000	2012/4/5	大阪大学
質量分析計	PrismaPlus QMG220M1	1	1,281,000	1,281,000	2012/9/12	大阪大学
ステージ制御電源	SPM-STGカスタマイ ズ	1	630,000	630,000	2012/8/6	大阪大学