

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23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

極低温環境に加えて、強磁場環境でも動作する複合環境走査型プローブ顕微鏡を開発する。電子スピンをできるだけ大きくゼーマン分裂させるために、11T の磁場がかかることができる超伝導磁石を備えたシステムを組み立てる。超高真空チャンバーは、走査型プローブ顕微鏡の本体がある観測室、観測室に試料・探針を導入するための転換室、試料・探針の処理を行う処理室、試料・探針を大気中から導入するためのロードロック室の4室のものを作製する。2つのチャンバーにはそれぞれイオンポンプとサブリメーションポンプを備え、超高真空を得る。また、ロードロック室にはターボ分子ポンプを備える。超高真空で原子分解能を得ることを目標とする。常温・超高真空中で Si(111)-(7×7)表面の像を取得し、除振性能などをチェックすることを目的とする。

2. 研究の実施状況

強磁場・極低温複合環境走査型プローブ顕微鏡のセットアップを行った。超高真空の環境で、磁場は11Tまで上げることができ、温度は4Kまで下げられるようになっている。また、顕微鏡本体を大気開放することなく、試料や探針をチャンバーへ導入するためのロードロック室が設けられている。

一方、強磁場・極低温における研究の予備実験として、室温超高真空走査型プローブ顕微鏡を用いることによって、高分解能・高感度な力センサーの開発を行った。それにより、従来よりも空間分解能が高く、力感度が高いセンサーを提案、実証することに成功した。また、探針と表面原子との間に働く相互作用力とその間を流れるトンネル電流の同時測定の実験の開発を行い、両者を原子レベルの分解能でマッピングすることができることを示した。この相互作用力とトンネル電流の同時測定には、観測量から物理量への変換が自明でないことが知られていたが、上記の新しい力センサーを用いることによって、重要な2つの物理量が同時に定量化できることを実証した。さらに、環境浄化の光触媒として働く二酸化チタン表面の予備実験も行った。具体的には、二酸化チタン清浄表面の走査型プローブ顕微鏡観察及び、探針と表面の酸素原子、チタン原子との相互作用力の測定を行った。この結果を理論計算と合わせることで、探針先端の状態によって、画像パターンが定性的に変化する理由を解明した。さらに、触媒作用との関連が深いカリウム原子や金原子を二酸化チタン表面へ吸着させた表面を調べ、吸着サイトや電荷状態など、この系に関する新しい知見を得た。

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7件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ‘Understanding image contrast formation in TiO<sub>2</sub> with force spectroscopy’ Ayhan Yurtsever, Delia Fernandez-Torre, Cesar Gonzalez, Pavel Jelinek, Pablo Pou, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, Ruben Perez, and Seizo Morita Physical Review B vol. 85 (2012) pp. 125416 1-9, issue12</li> <li>2. ‘Three dimensional scanning force/tunneling spectroscopy at room temperature’ <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Keiichi Ueda, Masayuki Abe, and Seizo Morita Journal of Physics: Condensed Matter vol. 24 (2012) pp. 084008 1-7</li> <li>3. ‘Simultaneous Scanning Force/Tunneling Microscopy Using a Quartz Cantilever with a Tungsten Tip’ Ken-ichi Morita, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, and Seizo Morita Applied Physics Express vol. 4 (2011) pp. 115201 1-3, No.11 Selected for Editors Spotlights</li> <li>4. ‘Kelvin probe force microscopy characterization of TiO<sub>2</sub>(110)-supported Au clusters’ Hong Jing Chung, Ayhan Yurtsever, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, and Seizo Morita Applied Physics Letters vol. 99 (2011) pp. 123102 1-3, issue12</li> <li>5. ‘Alkali-metal adsorption and manipulation on 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 Physical Review B vol. 84 (2011) pp. 085413 1-7, issue8</li> <li>6. ‘Fabrication of quartz cantilevers for small-amplitude dynamic force microscopy using an optical deflection sensor’ Ken-ichi Morita, Yuuki Sasagawa, Yuusuke Murai, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, and Seizo Morita Japanese Journal of Applied Physics vol. 50 (2011) pp. 08LB12 1-4</li> <li>7. ‘Flexible drift-compensation system for precise 3D force mapping in severe drift environments’ Philipp Rahe, Jens Schutte, Werner Schniederberend, Michael Reichling, Masayuki Abe, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, and Angelika Kuhnle Review of Scientific Instruments vol. 82 (2011) pp. 063704 1-7</li> </ol> <p>(掲載済み一査読無し) 計0件</p> <p>(未掲載) 計0件</p>
<p>会議発表</p> <p>計13件</p>	<p>専門家向け 計13件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 原子間力顕微鏡を用いた原子分解能イメージング/スペクトロスコピー <u>杉本宜昭</u> 電顕技術開発若手研究部会 第3回ワークショップ 依頼講演 2012年1月5-6日 名古屋ファインセラミックスセンター</li> <li>2. Simultaneous scanning force/tunneling microscopy using a quartz cantilever with a tungsten tip Ken-ichi Morita, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, and Seizo Morita 19th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM19) 2011年12月19-21日 Hokkaido, Japan</li> <li>3. Measurement of atom hopping probability and interaction force for atom manipulation on the Si(111)-(7x7) surface <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, and Seizo Morita 19th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM19) 2011年12月19-21日 Hokkaido, Japan</li> <li>4. Three dimensional force mapping and KPFM measurements on the CaF<sub>2</sub>/Si(111) surface Masaki Fukumoto, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, and Seizo Morita</li> </ol>

様式19 別紙1

	<p>19th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM19)  2011年12月19-21日  Hokkaido, Japan  5. 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</p> <p>19th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM19)  2011年12月19-21日  Hokkaido, Japan  6. Simultaneous scanning force/tunneling microscopy using a quartz cantilever with a tungsten tip  Ken-ichi Morita, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, and Seizo Morita</p> <p>3rd Global COE International Symposium Electronic Devices Innovation (EDIS2011)  2011年12月16-17日  Osaka, Japan  7. Role of the tip reactivity for atom manipulation by atomic force microscopy  <u>Yoshiaki Sugimoto</u>  International Symposium on Surface Science (ISSS-6) (招待講演)  2011年12月12-15日  Tokyo, Japan.</p> <p>8. Simultaneous scanning force/tunneling microscopy using a quartz cantilever with a tungsten tip  Ken-ichi Morita, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, and Seizo Morita  International Symposium on Surface Science (ISSS-6)  2011年12月12-15日  Tokyo, Japan.</p> <p>9. Fabrication of Quartz Cantilevers for Small-Amplitude Dynamic Force Microscopy Using an Optical Deflection Sensor  Yuji Miyata, Ken-ichi Morita, <u>Yoshiaki Sugimoto</u>, Masayuki Abe, and Seizo Morita  International Symposium on Surface Science (ISSS-6)  2011年12月12-15日  Tokyo, Japan.</p> <p>10.室温原子操作による Ag ナノクラスターの作製  平山直樹, <u>杉本宜昭</u>, 阿部真之, 森田清三  社団法人 日本金属学会 秋期大会  2011年11月7日  カルチャーリゾートフェストーン, 宜野湾市, 沖縄県</p> <p>11. Si(111)-7×7 表面上における AFM/STM を用いた 3D force mapping による同時測定  上田啓市, <u>杉本宜昭</u>, 阿部真之, 森田清三  社団法人 日本金属学会 秋期大会  2011年11月7日  カルチャーリゾートフェストーン, 宜野湾市, 沖縄県</p> <p>12. 非接触原子間力顕微鏡を用いた H/Si(111)-7×7 表面の測定  福本将輝, <u>杉本宜昭</u>, 阿部真之, 森田清三  社団法人 日本金属学会 秋期大会  2011年11月7日  カルチャーリゾートフェストーン, 宜野湾市, 沖縄県</p> <p>13. Atom manipulation and force/tunneling spectroscopy using AFM/STM at room temperature  <u>Yoshiaki Sugimoto</u>  International workshop on atomic-scale manipulation and spectroscopy of surfaces and nanostructures (AMS 2011) Invited  2011年10月13-14日  NTT R&amp;D Center, Atsugi, Japan.</p> <p>一般向け 計0件</p>
--	---

様式19 別紙1

<p>図書 計0件</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 <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>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>「原子を見て動かして文字を描く」 実施日： 2011年5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： 一般 参加者数： 20人 第52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4件</p>	<p>1. NEWTON 2011年12月15日発行 P75 原子も蜂の巣状に並ぶ 2. 化学基礎(文部科学省検定済教科書 高等学校理科用) 2011年12月10日発行 P213 スズ原子を並べて作製した文字 3. Osaka University Prospectus 2012 2012年2月3日発行 p6-7 Creating the Future 4. LabTalk 2012年2月7日掲載 Simultaneous force and current 3D mapping using a scanning force/tunneling microscopy <a href="http://iopscience.iop.org/0953-8984/labtalk-article/48455">http://iopscience.iop.org/0953-8984/labtalk-article/48455</a></p>
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

## 実施状況報告書(平成23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	0	41,798,000	0
間接経費	37,500,000	24,960,600	0	12,539,400	0
合計	162,500,000	108,162,600	0	54,337,400	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	83,177,000	0	0	83,177,000	56,577,101	26,599,899	0
間接経費	24,960,600	0	0	24,960,600	13,401,928	11,558,672	0
合計	108,137,600	0	0	108,137,600	69,979,029	38,158,571	0

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	53,466,170	超高真空極低温強磁場中走査トンネル顕微鏡装置等
旅費	783,469	学会参加(ISSS-6他)、情報収集(東北大学)等旅費
謝金・人件費等	1,591,414	博士研究員人件費、講演謝金等
その他	736,048	論文掲載料、学会参加登録費等
直接経費計	56,577,101	
間接経費計	13,401,928	
合計	69,979,029	

## 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
超高真空極低温強磁場中走査トンネル顕微鏡装置	USM-1300S-3EV	1	47,943,000	47,943,000	2012/3/29	大阪大学
近磁界プローブセット	11945A	1	661,290	661,290	2012/2/21	大阪大学
蒸着チャンバ	AFMファイバー用 AFMJ-101	1	1,157,625	1,157,625	2012/3/9	大阪大学