

平成22年4月30日現在

研究種目：基盤研究 (S)
研究期間：2005～2009
課題番号：17101003
研究課題名 (和文) 異種原子位置交換型水平原子操作の制御条件と機構の解明
研究課題名 (英文) Mechanism and conditions on the atomic-interchange
lateral manipulation
研究代表者
森田 清三 (MORITA SEIZO)
大阪大学・工学研究科・教授
研究者番号：50091757

研究成果の概要 (和文)：

原子間力顕微鏡 (AFM) による交換型「水平」原子操作は、様々な混在半導体で起こることを明らかにした。また、室温水平原子操作は、探針先端原子と表面との相互作用で局所的に障壁高さが低くなり、方向性熱拡散が誘起されて確率的に起こる事を実験的・理論的に明らかにした。さらに、交換型単原子ペンのように探針先端原子を表面原子と交換して埋め込む交換型「垂直」原子操作現象を発見して、室温で原子埋め込み文字の高速構築に成功した。また、AFMを用いた力学的元素識別を行うには、個々の原子の共有結合力を比較すれば良い事を明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

We clarified that the atom-interchange lateral manipulation is possible for various intermixed semiconductor surfaces. Besides, we both experimentally and theoretically disclosed that the lateral atom manipulation at room temperature is stochastically induced by the directional thermal diffusion through the diffusion barrier decreased by the tip-sample interaction. We also found the novel phenomenon of the atom-interchange vertical manipulation interchanged by the single-atom pen of the AFM, and then fabricated the embedded atom letter in a short time. Further, we declared that the mechanical chemical-identification by AFM can be feasible by comparing the magnitude of the covalent bonding force of single atoms.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	20,700,000	6,210,000	26,910,000
2006年度	17,000,000	5,100,000	22,100,000
2007年度	17,000,000	5,100,000	22,100,000
2008年度	17,000,000	5,100,000	22,100,000
2009年度	12,800,000	3,840,000	16,640,000
総計	84,500,000	25,350,000	109,850,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・ナノ構造科学

キーワード：原子間力顕微鏡、原子識別、フォース・スペクトロスコーピー、フォース・マッピング、交換型水平原子操作、交換型垂直原子操作、原子埋め込み文字、走査型トンネル顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

(1)究極のナノテクノロジーといえる原子操作や原子文字の組み立ては、極低温で走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いて金属基板の上に弱く吸着した金属原子や分子を水平原子操作で動かして行うのが常識であった。

(2)基板に原子を埋め込むと、室温でも原子は動かなくなるが、埋まった原子は周辺を他の原子で囲まれているので、原子操作で動かすことは出来ないと言う既成概念があった。

(3)大振幅でテコを機械的に共振させる高分解能の非接触原子間力顕微鏡 (AFM) では、精密な原子操作は出来ないとの既成概念があった。

(4)我々は、2003年に、大振幅で機械的に共振するテコを精密に制御して表面に近づけることにより、疑似接触領域で個々の Si 原子を垂直原子操作で除去や付与することに成功して、AFM では原子操作出来ないとの既成概念を打破した。

(5)我々は、2005年に、AFM を用いて、埋め込んだ原子を隣接する原子と室温で交換する (異種原子位置) 交換型「水平」原子操作の新現象を発見した。また、この方法を用いて、室温でも安定な原子埋め込み文字を構築することにも成功した。この結果は、原子文字を作っても室温では熱拡散ですぐに壊れると言う既成概念や、埋まった原子は周辺を他の原子で囲まれているので原子操作で動かすことは出来ないと言う既成概念を打破した。

2. 研究の目的

究極のナノテクノロジーといえる原子操作は極低温で行われるのが常識であったが、我々は原子間力顕微鏡を用いれば、室温でも原子操作を行えることを実証し、原子レベルでのナノ加工による人工ナノ構造作成に成功した。この実験では、表面に埋め込まれている原子と隣接する異種原子の位置を交換する新しい原子操作の方法 (交換型「水平」原子操作) を用いた。原理的には絶縁体への応用も可能であるため、様々な分野での応用が期待できる。制御よく原子レベルでのナノ加工が可能になったが、その現象に関しては未だわかっていないことが多い。

具体的には、Ge (111)-c (2x8) 再構成表面に埋め込んだ Sn 原子位置を室温で Ge 原子位置と入れ替えて動かす交換型「水平」原子操作は、各々の原子が下地原子との間に有する 3 本もの強い共有結合を切断して、8 Å も離れた Sn アドアトムと Ge アドアトムの位置を一挙に交換できる驚くべき現象である。特に、交換する Sn アドアトムと Ge アドアトムが両者間に共有結合を形成していない事実は、単純なモデルでは説明できない新現象

であることを強く示唆している。

そこで本研究では、異種原子位置交換型「水平」原子操作の機構や関連する様々な物理的現象の発見やその機構を明らかにすることと、そのために必要な実験手法の開発を目的とする。

3. 研究の方法

開発した新手法：

(1)アトム・トラッキング法によるフィードバック技術を用いて、室温の熱ドリフトを補正して、特定の原子上で再現性良くフォース・スペクトロスコピーを行い、数十本以上の加算平均により、フォース・カーブを精密測定する手法を開発した。

(2)アトム・トラッキング法によるフィード・フォワード技術を用いて室温における熱ドリフトを「実時間」で補償する手法を開発した。

(3)フォース・カーブをマッピングするフォース・マッピングの手法を開発した。この方法を用いて、「実時間」で元素識別する手法を開発した。

(4)テコの探針先端原子と試料表面原子を直接交換する (異種原子位置) 交換型「垂直」原子操作の手法を開発した。

4. 研究成果

(1)交換型「水平」原子操作は、(Sn, Ge) 系だけで起こる特異な現象でなく、(Sn, Si), (In, Si), (Sb, Si) のような「様々な 2 元素系」でも起こること、特に、Sn や Ge のような IV 族だけでなく III 族の In や V 族の Sb との組み合わせでも起き、半導体では普遍的現象であることを明らかにした。また、Sn/Ge (111)-c (2x8) 再構成表面だけでなく、Sn/Si (111)-($\sqrt{3}\sqrt{3}$), In/Si (111)-($\sqrt{3}\sqrt{3}$), Sb/Si (111) 7x7 のような「様々な表面構造」でも起こることを明らかにした。

(2)単純な単元素半導体である Si (111)-(7x7) で、Si アドアトムの空孔への水平原子操作の機構解明を行った。水平原子操作が起こる最小引力やポテンシャルは共有結合力や共有結合ポテンシャルの最大値よりも非常に小さいことを発見した。さらに、フォース・カーブのシミュレーションで、水平原子操作の機構を理論的に解明した。これらの結果より、室温での熱エネルギーが原子操作に寄与している事が判明した。

(3)Si (111)-(7x7) 表面での Si アドアトムの空孔への水平原子操作を探針高さ一定モードで行うことによって、室温における原子操作に熱拡散が寄与しており確率的に起こることを実証した。また、探針を試料に近づけることによって 100% まで確率を増やせることを確認した。

(4) Si(111)-(7x7)表面のSiアトムを隣接する空孔に水平原子操作できる確率を室温で精密に調べて、探針誘起の方向性を制御した熱拡散の確率から拡散バリアー高さの探針誘起変化を実験的に求めて、水平原子操作の温度効果の室温での検証に成功した。さらに、探針先端に原子レベルの非対称性が存在すると、操作の方向に依存した原子間の結合力の相違により、水平原子操作確率に相違が生ずることを明らかにした。

(5) 原子間力顕微鏡の探針先端に存在する原子を、「交換型単原子ペン」の原子インクのように試料表面に埋め込む交換型「垂直」原子操作の新現象を発見して、表面のSn原子中にSi原子を埋め込んでシリコン原子の元素記号“Si”の原子埋め込み文字の構築に成功した。

(6) テコの探針先端原子と試料表面原子が交換する異種原子交換型「垂直」原子操作の存在をSn/Si(111)-(√3x√3)のSnとSi原子の混在系で実験的に証明した。AFM探針の71%は交換型垂直原子操作を起こさないが、残りの21%では交換型垂直原子操作を起こし、しかも、①Si原子のみを連続的に試料表面に埋め込む探針、②Sn原子のみを連続的に試料表面に埋め込む探針、③SiとSn原子を交互に入れ替える探針の3種類の探針が存在することを発見した。

(7) 異種原子交換型「垂直」原子操作の機構解明を第1原理計算の理論シミュレーションで解明することに成功した。その結果、探針先端原子と試料表面原子が交換する直前にダイマー状態を経由することや、温度の影響などについて重要な知見が得られた。

(8) (Pb, Sn)/Si(111)-(√3x√3)モザイク相のような複雑な「3元素系」半導体では、NC-AFM元素識別像の凹凸差による原子種の区別は不可能であるが、個々の原子の精密なフォース・カーブ測定による共有結合引力の最大値の比を用いれば、多元素の混在比を変えなくても原子種を識別できることを見出した。

(9) フォース・マッピング法を(Pb, Sn)/Si(111)-(√3x√3)表面の原子識別実験に適用した。その結果、Si, Pb, Snの3元素をフォース・マッピングで識別することに成功した。また、この手法を発展させて、原子の識別を簡単に高速に行える方法の開発に成功した。

(10) (Pb, Sn)/Si(111)-(√3x√3)の3元素混在表面で、非接触原子間力顕微鏡(NC-AFM)による原子凹凸や、個々の原子の周波数シフト・カーブ測定による共有結合力について周辺原子種効果(化学配位効果)を測定して、原子凹凸への周辺原子種効果は非常に強くまた元素依存性があるが、共有結合力への周辺原子種効果は弱くその元素依存性も弱いことを明らかにした。

(11) Si(111)-(7x7)表面上で周波数シフト・マッピングを行うことによって探針先端の異方性を評価する手法を開発した。Siアトム上でのフォース・カーブの最大引力値を与える距離よりも探針を試料に近づけると、表面の対称性を破るマッピングが得られ探針先端の異方性を評価できる。この探針先端の異方性は(交換型)水平原子操作に影響を与えると考えられる。

(12) TiO₂(110)清浄表面のブリッジ酸素上に低温吸着したカリウム(K)原子が中性の探針で原子操作出来ることを見いだした。また、原子操作によるプリングモード(引力)で動いたK原子が離れたK原子を静電気によるプッシングモード(斥力)で動かして、ペアで動く新現象を発見した。

(13) ケルビンプローブ力顕微鏡(KPFM)による局所的接触電位差(LCPD)の機構が、探針-試料表面間相互作用力による局所的分極に伴う電子状態の変化である事を、Pb/Si(111)7x7上のSi原子とPb原子の同じ探針によるLCPD比較測定実験と第1原理計算で明らかにした。

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 36 件)

1. A.Yurtsever, Y.Sugimoto, M.Abe and S.Morita, “NC-AFM imaging of the TiO₂(110)-(1×1) surface at low temperature”, Nanotechnology, 査読有, Vol. 21 (2010) 165702 (7pp).

2. S.Sadewasser, P.Jelinek, C.-K.Fang, O.Custance, Y.Yamada, Y.Sugimoto, M.Abe, and S.Morita, “New insights on atomic-resolution frequency-modulated Kelvin-probe force-microscopy imaging of semiconductors”, Phys.Rev.Lett. 査読有, Vol.103 (2009) 266103 (4pp).

3. O.Custance, R.Perez and S.Morita, “Atomic force microscopy as a tool for atom manipulation”, Nature Nanotechnology, 査読有, Vol.4 (2009) pp.803 - 810

4. D.Sawada, Y.Sugimoto, K.Morita, M.Abe and S.Morita, “Simultaneous measurement of force and tunneling current at room temperature”, Appl.Phys.Lett. 査読有, Vol.94 (2009) 173117 (3pp).

5. Y.Sugimoto, T.Namikawa, M.Abe and S.Morita, “Mapping and imaging for rapid atom discrimination: A study of frequency modulation atomic force microscopy”, Appl.Phys.Lett. 査読有, Vol.94 (2009) 023108 (3pp).

6. Y.Sugimoto, K.Miki, M.Abe and S.Morita, “Statistics of lateral atom manipulation by atomic force microscopy at room temperature”,

Phys.Rev.B 査読有, Vol.78 (2008) 205305 (5pp).

7. Y.Sugimoto, P.Pou, O.Custance, P.Jelinek, M.Abe, R.Pérez and S.Morita, “Complex Patterning by Vertical Interchange Atom Manipulation Using Atomic Force Microscopy”, *Science*, 査読有, Vol.322 (2008) pp.413-417.

8. 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”, *Phys.Rev.B*, 査読有, Vol.77 (2008) 195424 (9pp).

9. O.Custance and S.Morita, “How to Move an Atom”, *Science*, 査読有, Vol.319 (2008) pp.1051-1052.

10. Y.Sugimoto, S.Innami, M.Abe, O.Custance and S.Morita, “Dynamic force spectroscopy using cantilever higher flexural modes”, *Appl.Phys.Lett.* 査読有, Vol.91 (2007) 093120 (3pp).

11. S.Torbrügge, M.Reichling, A.Ishiyama, S.Morita and O.Custance, “Evidence of subsurface oxygen vacancy ordering on reduced CeO₂(111)”, *Phys.Rev.Lett.* 査読有, Vol.99 (2007) 056101 (4pp).

12. M.Abe, Y.Sugimoto, T.Namikawa, K.Morita, N.Oyabu, and S.Morita, “Drift-compensated data acquisition performed at room temperature with frequency modulation atomic force microscopy”, *Appl.Phys.Lett.* 査読有, Vol.90 (2007) 203103 (3pp).

13. Y.Sugimoto, P.Jelinek, P.Pou, M.Abe, S.Morita, R.Pérez, and O.Custance, “Mechanism for room-temperature single-atom lateral manipulations on semiconductors using dynamic force microscopy”, *Phys.Rev.Lett.* 査読有, Vol.98 (2007) 106104 (4pp).

14. Y.Sugimoto, P.Pou, M.Abe, P.Jelinek, R.Pérez, S.Morita and O.Custance, “Chemical identification of individual surface atoms by atomic force microscopy”, *Nature*, 査読有, Vol.446 (2007) pp.64-67.

15. S.Morita, H.Yamada and T.Ando, “Japan AFM roadmaps 2006”, *Nanotechnology*, 査読有, Vol.18 (2007) 084001 (10pp).

16. Y.Sugimoto, P.Pou, O.Custance, P.Jelinek, S.Morita, R.Pérez and M.Abe, “Real topography, atomic relaxations, and short-range chemical interactions in atomic force microscopy: The case of the α -Sn/Si(111)-($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$)R30° surface”, *Phys.Rev.B*, 査読有, Vol.73 (2006) 205329 (9pp).

17. N.Oyabu, P.Pou, Y.Sugimoto, P.Jelinek, M.Abe, S.Morita, R.Pérez and O.Custance, “Single Atomic Contact Adhesion and Dissipation in Dynamic Force Microscopy”, *Phys.Rev.Lett.* 査読有, Vol.96 (2006) 106101

(4pp).

18. M.Abe, Y.Sugimoto, O.Custance and S.Morita, “Room-temperature reproducible spatial force spectroscopy using atom-tracking technique”, *Appl.Phys.Lett.* 査読有, Vol.87 (2005) 173503 (3pp).

その他 18件 (英語発表論文)

[学会発表] (計 19 件) 国際学会招待講演

1. S.Morita, Y.Sugimoto, P.Pou, P.Jelinek, R.Pérez, 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 6-11, 2009, Maui, Hawaii, USA, 11:50-12:20, Dec.9

2. S.Morita, Y.Sugimoto, O.Custance, M.Abe, P.Pou, P.Jelinek and R.Pérez, “Toward Atom-by-Atom Assembly of Composite Nanostructures Based on Atomic Force Microscopy”, 21st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2008), October 27-30, 2008, Fukuoka, Japan, 13:30-14:00

3. S.Morita, Y.Sugimoto, O.Custance, M.Abe, P.Pou, P.Jelinek and R.Pérez, “Atomic Tool for Nanofabrication Based on Atomic Force Microscopy”, 55th AVS International Symposium, Boston, MA, USA. Albert Nerken Award Lecture 11:20-12:00 AM October 21, 2008

4. S.Morita, “State-of-the-Art and Future Prospects of Atomic Force Microscopy with Atomic Resolution”, the 2008 International Conference on Nanoscience+Technology (ICN+T 2008), July 20-25, 2008, Colorado, USA, PLENARY LECTURE, PS-WeM1 (July 23, 8:00 AM-8:50AM)

5. 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), Dublin, June 29-July 4, 2008, PLENARY LECTURE, 13:45-14:25, Tuesday 1 July 2008

6. S.Morita, “Atom-by-Atom Chemical Identification and Following Atom Manipulation Toward Compound Nanostructuring”, The Ninth International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-9), Nov.11 to 15, 2007, Tokyo, Japan, 12 Nov. “Atomic and Molecular Manipulation”, 16:00~16:30

7. S.Morita, “Principles and State of the Art of Atomic Force Microscopy”, 6th Int. Symp. Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '07, Oct.28~Nov.2, 2007, Kanazawa, Ishikawa, Japan, 16:30-17:30, Oct.28
8. S.Morita, “Toward atom-by-atom assembly of complex nanostructures at room temperature based on AFM”, The 10th Asia Pacific Physics Conference (APPC10), Aug.21-24, 2007, POSTECH, Korea, August 23, 16:00-16:30
9. S.Morita, “Mechanical Atom Identification and Following Atom Manipulation for Assembling Compound Nanostructure”, ICYS-ICMR Summer School on Nanomaterials 2007, July 23-28, 2007, Tsukuba, Japan, 10:30-11:45, July 28
10. S.Morita, “Mechanical Atom Identification and Following Atom Manipulation for Assembling Compound Nanostructure”, Int. Conf. on Materials for Advanced Technologies (ICMAT) 2007, 1-6 July 2007, Singapore, 2 July, 14:30-15:15
11. S.Morita, “Chemical identification of single atoms and following atom manipulation for assembling compound nanostructures”, International Nanoscience Symposium, 30 May-1 June, 2007, Hamburg, Germany, 31-May-07 14.00-14.45
12. S.Morita, “Site-Specific Force spectroscopy and Following Artificial Nanostructuring”, AVS 53rd Int. Symposium & Exhibition, San Francisco, USA, Nov. 12-17, 2006. Nanometer-scale Science and Technology, Nov.14, 9:20-10:00
13. S.Morita, “Mechanical Atom Identification and Following Artificial Nanostructuring”, The tenth ISSP International Symposium (ISSP-10) on Nanoscience at Surfaces, Kashiwa, Chiba, Japan, 9 - 13 October, 2006. October 13, 9:00-9:30
14. S.Morita, “Artificial Nanostructuring Using Mechanical Atom Manipulation”, The 16 th Int. Microscopy Conference (IMC 16), Sapporo, Japan, September 3 to 8, 2006. Session Scanning probe microscopy, Sept. 4, 15:45-16:15
15. S.Morita, “Atom-by-Atom Force Spectroscopy and Bottom-Up Nanostructuring”, The International Conference on Nanoscience and Technology (ICN&T 2006), Basel, Switzerland, July 30 to August 4, 2006. August 1, 16:30-17:00
16. S.Morita, “Mechanical Atom Identification and Following Atom Manipulation”, The 4th International Conference on Scanning Probe Spectroscopy (SPS'06), July 23-26, 2006, Hamburg, Germany, 2006. Monday July 24th

14:00-14:40

17. S.Morita, “Site-Specific Force Spectroscopy, Atom Manipulation and Artificial Nanostructuring”, CEAC Summer Workshop on: Nanoanalysis (the Nanoscale Analysis Workshop: The Center of Excellence in Analytical Chemistry), ETH, Zurich, Switzerland, July 10th to 11th 2006. Tuesday July 11th, 08:30-09:55
18. S.Morita, “Atom manipulation and assembly by mechanical method based on noncontact AFM”, 11th International Conferences on Modern Materials and Technologies (CIMTEC 2006), Sicily, Italy, June 4 to 9, 2006, June 8, 25min
19. S.Morita, “Mechanical Atom Manipulation and Artificial Nanostructuring at Room Temperature based on Noncontact-AFM Method”, 2005 MRS Fall Meeting, Nov. 28 to Dec. 3, 2005, Boston, USA. Nov.28, 11:00 to 11:30

〔図書〕 (計 3 件)

1. S.Morita, F.J.Giessibl, R.Wiesendanger (Eds.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Series: NanoScience and Technology, “Noncontact Atomic Force Microscopy Volume 2”, 総ページ数 401 ページ (2009)
2. S.Morita (Ed.), Springer (NanoScience and Technology series), “Roadmap of Scanning Probe Microscopy”, 総ページ数 201 ページ (2006)
3. 森田清三編著, 丸善株式会社, 「走査型プローブ顕微鏡—最新技術と未来予測—」, 総ページ数 202 ページ (2005)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 9 件)

1. 名称：原子間力顕微鏡及びそれを用いた相互作用力測定法
 発明者：大田昌弘, 大藪範昭, 阿部真之, オスカル・クスタンセ, 杉本宜昭, 森田清三
 権利者：株式会社島津製作所 および 国立大学法人大阪大学
 種類：原出願:特願 2007-007580 (2007/1/17 出願)
 番号：PCT/JP2008/000001
 出願年月日：2008/1/7
 国内外の別：PCT 全加盟国(含・日本)
2. 名称：探針位置制御装置及び方法
 発明者：Masayuki Abe, Masahiro Ohta, Yoshiaki Sugimoto, Kenichi Morita, Noriaki Oyabu, Oscar Custance, Seizo Morita
 権利者：株式会社島津製作所及び国立大学法人大阪大学

種類：特許
番号：2007年特許出願第0050792号
出願年月日：2007/5/25
国内外の別：韓国

3. 名称：Probe position control system and method
発明者：Masayuki Abe, Masahiro Ohta, Yoshiaki Sugimoto, Kenichi Morita, Noriaki Oyabu, Seizo Morita, Oscar Custance
権利者：SHIMADZU CORPORATION and OSAKA UNIVERSITY
種類：特許
番号：11/802624
出願年月日：2007/5/24
国内外の別：米国

4. 名称：Probe position control system and method
発明者：Masayuki Abe, Masahiro Ohta, Yoshiaki Sugimoto, Kenichi Morita, Noriaki Oyabu, Oscar Custance, Seizo Morita
権利者：Shimazu Corporation and Osaka University
種類：特許
番号：200710138848
出願年月日：2007/5/24
国内外の別：中国

5. 名称：原子力顕微鏡及びそれを用いた相互作用力測定方法
発明者：大藪範昭、大田昌弘、阿部真之、オスカル・クスタンセ、杉本宜昭、森田清三
権利者：国立大学法人大阪大学、株式会社島津製作所
種類：特許
番号：特願2007-7580
出願年月日：2007/1/17
国内外の別：国内

6. 名称：探針位置制御装置
発明者：阿部真之、大田昌弘、杉本宜昭、森田健一、大藪範昭、森田清三、オスカル・クスタンセ
権利者：株式会社島津製作所 および 国立大学法人大阪大学
種類：特許
番号：特願2006-145881
出願年月日：2006/5/25
国内外の別：国内

7. 名称：量子デバイス作成装置及び方法、それを用いたシリコン量子コンピュータ素子
発明者：森田清三、杉本宜昭、阿部真之、オスカル・クスタンセ、大藪範昭
権利者：国立大学法人大阪大学
種類：特許

番号：特願2005-379825
出願年月日：2005/12/28
国内外の別：国内

8. 名称：原子操作方法、原子操作装置、及び識別体形成方法
発明者：森田清三、杉本宜昭、阿部真之、オスカル・クスタンセ、大藪範昭
権利者：国立大学法人大阪大学
種類：特許
番号：特願2005-127045
出願年月日：2005/4/25
国内外の別：国内

9. 名称：原子位置固定装置、原子位置固定方法及び原子操作方法
発明者：阿部真之、杉本宜昭、森田清三、オスカル・クスタンセ、大藪範昭
権利者：国立大学法人大阪大学
種類：特許
番号：特願2005-112342
出願年月日：2005/4/8
国内外の別：国内

[その他]
ホームページ
<http://www.afm.eei.eng.osaka-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者
森田 清三 (MORITA SEIZO)
大阪大学・工学研究科・教授
研究者番号：50091757

(2) 研究分担者
阿部 真之 (ABE MASAYUKI)
大阪大学・工学研究科・准教授
研究者番号：00362666

(3) 連携研究者
Oscar Custance
独立行政法人物質・材料研究機構・ナノ計測センター・グループリーダー
研究者番号：00444555

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

大藪 範昭 (OYABU NORIAKII)
SPECS 社・日本支部・社員

(4) 研究協力者 (海外共同研究者)
Rubén Pérez
マドリッド自治大学・理学部・准教授