JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	電圧印加非接触原子間力顕微鏡／分光法による固体表面間の結合形成過程の解析
Author(s)	富取，正彦
Citation	科学研究費補助金研究成果報告書：1-6
Issue Date	2012-06-04
Type	Research Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/10591
Rights	
Description	研究種目：基盤研究（A），研究期間：2008～2011，課題番号：20246012，研究者番号：10188790，研究分野：表面科学、ナノプローブテクノロジー，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

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

様式Ｃ－１９

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成２４年６月４日現在

機関番号：13302
研究種目：基盤研究（Ａ）
研究期間：2008～2011
課題番号：20246012
研究課題名（和文）
電圧印加非接触原子間力顕微鏡／分光法による固体表面間の結合形成過程の解析
研究課題名（英文） Analysis of binding formation between solid surfaces by bias voltage non-contact atomic force microscopy/spectroscopy
研究代表者
富取　正彦（TOMITORI MASAHIKO）
北陸先端科学技術大学院大学・マテリアルサイエンス研究科・教授
研究者番号：10188790

研究成果の概要（和文）：
電圧印加非接触原子間力顕微鏡／分光法（Bias nc-AFM/S）を発展させ、試料表面上の原子・分子と探針先端原子の結合形成、電子状態変化を調べた。一例として、Si(111)7x7 表面に H を吸着させると、H-Si 吸着原子と Si 探針の力は弱く電流も減少し、H-隣接 Si レスト原子の場合、Si 吸着原子と Si 探針に働く力は強く電流が増加した。Si-Si 間の結合力は電子のトンネル遷移過程と同様、局所電子状態密度に強く依存する。

研究成果の概要（英文）：
We improved our method of bias nc-AFM/S, and applied this to analysis of binding formation between a surface and a tip, and of electronic states between them. For instance, on H-terminated Si(111)7×7, the force between the Si adatom terminated with H and a Si tip is weaker and the current between them is less. The force between them, where the Si rest atom neighboring the Si adatom is terminated with H, is stronger and the current is larger. This indicates that the force between Si and Si strongly depends on surface local density of states as well as electron tunneling process does.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2008 年度	15,500,000	4,650,000	20,150,000
2009 年度	11,700,000	3,510,000	15,210,000
2010 年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2011 年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
総　計	37,900,000	11,370,000	49,270,000

研究分野：表面科学、ナノプローブテクノロジー
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：走査プローブ顕微鏡、表面･界面物性、相互作用力、ナノコンタクト、結合力、コンダクタンス、トンネル障壁

１．研究開始当初の背景

1980 年代に走査型トンネル顕微鏡（STM (scanning tunneling microscopy)）と原子間力顕微鏡（AFM (atomic force microscopy)）が登場して以来、その動作原理を応用して多様な走査型プローブ顕微鏡（SPM（scanning probe microscopy））が開発されてきた。「先端が鋭利な探針を試料に近接させ、そのとき探針と試料間で授受される物理量を一定に保ちながら探針を走査することによって表面像を得る」という SPM の原理は単純である。その単純さと“原子が見える”という特筆すべき性能が、種々の分野の研究者達に様々なインスピレーションを与えた。その結果、

ナノスケールの表面観察・物性測定や原子・分子操作の技術が飛躍的に進歩し、SPM は汎用装置の一つとして多方面で活用されるに至った。この流れに呼応するように、無機・有機・バイオ材料のナノスケールでの評価とその理解、制御技術が飛躍的に発展した。

SPM の中でも、高分解能で絶縁材料も観察できる AFM がもっとも普及した。開発当初、AFM では原子分解能を達成できないとの予想もあった。しかし、微弱な探針–試料間引力を検出できる周波数変調（frequency modulation (FM)）法を利用した非接触原子間力顕微鏡（noncontact (nc)-AFM）が開発され、1995 年以降は原子像が観察されるようになった。原子分解能 SPM 像を得るためには探針先端が原子レベルで鋭利である必要がある。一般に、探針先端の構造・状態が変化すれば、得られる SPM 像もそれに応じて変化する。見方を変えれば、探針も一つの“ナノ機能材料”である。探針の“ナノスケールで鋭利な形とその物性”が、試料表面の形状を高分解能で描きださせ、また物性を計測させ、さらには原子・分子の操作を可能にさせている。一方、SPM 像あるいは測定量の実体は、試料と探針の２つの物体の近接よって変化する物理状態量のナノスケールでの３次元空間変化である。ただし、量子効果を含めたナノスケールでの「探針と試料の絡み合い」が物理状態量を変化させる主原因であり、そこで起きる現象を的確に分析することは容易ではない。この「絡み合い」を解きほぐすことは物理的に興味深く、ナノテクノロジーへの応用からも重要である。量子効果を含めて、ナノスケールで鋭利な探針がもつ特性の理解と制御が一つの鍵になっている。

２．研究の目的

本研究の目的は、SPM を基に独自開発した電圧印加非接触原子間力顕微鏡法／分光法（Bias nc-AFM/S (spectroscopy)）法を発展させ、探針と試料を極接近させたときに試料表面上の特異的原子・分子と探針先端原子との間で進行する結合形成の過程・電子状態の変化を明らかにすることである。Bias nc-AFM/S では、「探針–試料間印加電圧をチューニングすることによって SPM 探針先端の電子準位と試料表面原子の電子準位の間に形成される電子共鳴（結合）状態」を、印加電圧に対する相互作用引力の増加として検出する。そこで本研究では、探針が試料表面から 1 nm ほど離れている「トンネル障壁を挟んで相互作用が弱い状態」、0.5 nm ほどの「トンネル障壁が崩壊し始めた状態」を経て、極めて接近した「化学結合が形成できる状態」へと探針–試料間距離を精密に制御しつつ印加電圧を掃引し、探針–試料間の相互作用引力・トンネル電流／（疑似）接触電流・エネルギー散逸・トンネル障壁の印加電圧に対する変化を高感度で同時計測する。試料表面上の探針位置を変えてはこの計測を繰り返し、結合形成の原子スケールの顕微分光情報を得る。

３．研究の方法

本研究を進めるために、下記の工夫を凝らした改良・試験を重ねつつ、実験を行った。

(1) 既存 Bias nc-AFM/S の改良

現有の超高真空（ultra-high vacuum (UHV)）Bias nc-AFM/S システムを改良し、探針と試料間に働く相互作用力の高感度測定、電流・エネルギー散逸等の同時計測のための高感度を行う。現有システムはピエゾ抵抗効果を利用した Si カンチレバーを使用している。相互作用力によって引き起こされるカンチレバーの曲がりがピエゾ抵抗の変化をもたらす。その変化をホイートストンブリッジ回路で計測している。これを改良する。コモンモード除去比（CMRR）の高い広帯域差動増幅器（帯域 400 kHz, ゲイン 200 倍）を導入する。AC 入力結合、周波数可変プログラマブルフィルター、ノイズフィルターを導入して、高感度化を図る。ピエゾ抵抗には個々にバラツキがあるので、高精度ポテンショメータを内蔵させた調整機構を有するブリッジ回路を自作する。ブリッジ回路への印加電圧を制御することによって、Si 探針を加熱しながら観察・測定することも可能となる。計測システムに多チャンネル AD 変換回路を増設し、合わせて計測プログラムの改良を行う。電流アンプも市販品を改良し、外部から探針–試料電圧を変化できるようにする。また、チャージ敏感型広帯域電流アンプを導入し、探針–試料間の変調による電流の時間分解計測が可能かをテストする。

(2)水晶振動子センサー

上記のピエゾ抵抗カンチレバーに加え、市販の音叉型水晶振動子を力センサーとして応用する。水晶振動子センサーはヤング率の高い材料であり、微小振幅で励振したときに起こる探針と試料の凝着を抑制できる。また、力測定には、探針と試料間の相互作用による水晶振動子センサーの共振周波数の変化を FM 法で測定する。水晶振動子は温度安定性の良い材料であり、nc-AFM 力測定センサーとして優れたものとなる。また、水晶振動子センサーを励振する回路としてピエゾ効果自励発振方式を採用する。その際、励振信号が水晶振動子の寄生容量や配線間の浮遊容量を介して電流–電圧変換回路へ微分信号として流れ込んでくる。そこで、この電流信号を補償する回路を製作する。水晶振動子は音叉型なので、その一方のプロング（足）を固定する q-Plus センサー方式を採用する。プロングの固定の仕方によって振動子とし

てのQ値（励振エネルギーの蓄積効率の良さを表す）が高くなるように調整する。また、他端のプロングには探針を装着する。Pt-Ir線を電解研磨して先端を鋭利にしたものを接着したり、市販のSiカンチレバーのSi探針を接着して、探針とする。

(3)探針調製

探針準備として幾つかの工夫を行う。用いたピエゾ抵抗カンチレバーのカンチレバー部および探針先端部にはBが高ドープされている。その結果、カンチレバーの根本から探針先端まで導電性がある。一般に市販されているSiカンチレバーと同様に、本カンチレバーもSi(001)ウェハーから作製され、探針は[001]方位の単結晶Siである。通常、市販のカンチレバー端のSi探針先端には自然酸化膜の形成や有機汚染物の付着が認められる。前処理としてこれらの除去を行う。まず、ピエゾ抵抗型カンチレバー端のSi探針を超高真空（UHV）走査型オージェ電子顕微鏡（SAM、最小電子ビーム径、約15nm）で評価する。探針の調製として、ピエゾ抵抗への電流導入による抵抗加熱（1000℃程度まで可能。）、および、SAMに付属しているアルゴン（Ar）イオンスパッター銃でSi探針を清浄化する。また、スパッターのダメージを回復するために熱処理（600℃程度）する。その汚染度の評価は処理の都度、SAMで行う。nc-AFM 装置への大気中移送の際にカンチレバー端のSi探針が酸化されたり、汚染される恐れがある。そこで、SAMからカンチレバーを取り出す前に、UHV SAMチャンバーに酸素を約10^{-6}Torr導入したうえで、カンチレバーを約600℃に加熱して清浄なシリコン酸化薄膜を探針先端に形成する。この酸化膜はUHV中で600℃に加熱することによって除去することができる（大気中を移送した際に付着する炭素系の汚染物が600℃の加熱で除去できることは、SAM分析で確認済みである）。nc-AFM装置のUHVチャンバーへ移送した後に、走査前にピエゾ抵抗に電流を流して加熱し、炭素系汚染物と共々、酸化薄膜を除去する。また、UHV-AFMの機構を利用して、Si探針先端に単結晶Siナノピラーを成長させる。AFM試料ステージに設置したSi基板を通電加熱（約600℃）し、接触電流をモニターしながらカンチレバーのSi探針を試料に接触させる。電流の変化をモニターしながら、その後ゆっくりと探針を試料から引き離す。すると、探針と試料の間には小さな架橋構造が形成される。さらにゆっくりと探針を引き上げつつ、その架橋構造を切断する。その結果、Si探針先端には単結晶Siのナノピラーが形成される。このSiナノピラーをAFM観察用の探針として利用する。Si探針を加熱しながら試料に接近させ、探針と試料間に高電界を印加する高温高電界(thermal-field (TF))処理も行う。この処理は劣化した探針を再生する優れた方法で、高電界中で分極した原子・分子が高電界領域に引き寄せられ、先端が更に尖る。加熱は分極原子・分子の移動を増長する役割である。また、AFM装置のUHVチャンバー中にタングステン（W）ワイヤーをフィラメント状にした自作の水素クラッカーを導入する。観察・測定によってはこのWワイヤーを1500℃に加熱し、その加熱ワイヤーに水素分子を照射したときに起こる加熱W表面での水素分子の原子状水素への解離脱離反応を利用して原子状水素を発生させる。清浄Siナノピラーに原子状水素を照射するすると、Siナノピラー探針先端のSiダングリングボンドが水素で終端化される。この水素終端探針で観察・測定し、変化を調べる。さらには、収束イオンビーム（focused ion beam (FIB)）で先端を先鋭化したSi探針を準備する。また、清浄なSi探針先端にGeをUHV中で蒸着し、その先端表面にGeのナノクラスターを成長させる。このGe-Si探針をFIBで先鋭化し、探針として用いる。先端にはGeが残存し、その多面体的クラスターの鋭角な角が先鋭な探針として機能すること、また、電子状態の違いがもたらす変化を調べる。これらの評価には、動作環境を大気、純ガス（Ar、N_2、H_2、および原子状水素）、真空、あるいは液中に変えられるnc-AFM装置を合わせて利用する。

(4)試料調製

試料として、基準試料となる清浄Si(111)7×7再配列表面構造をUHV中で1200℃以上に加熱することで準備する。さらに、その基板を300℃に加熱したまま、原子状水素（水素分子ガス圧10^{-8} Torr、10分、タングステンフィラメントの温度1500℃の条件で発生）を照射して、表面のSiダングリングボンドを部分的に水素終端する。このとき、初期的に表面のSiレスト原子のダングリングボンドが、その後、表面吸着Si原子のダングリングボンドが水素終端される。そのとき、水素終端されたSiレスト原子から周辺の表面吸着Si原子へ余剰電子が電荷移動することが知られている。また、清浄Si(111)7×7表面、あるいはSi(001)2×1表面に室温で有機分子DAT（4,4”-diamino-*p*-terphenyl）を蒸着する。この分子は、３つのベンゼン環が直鎖状に繋がり、その直鎖の両末端にはアンモニア基（NH_2）がそれぞれ1個ずつ結合している。電子状態としてπ共役系の分子である。NH_2基はSi基板表面のダングリングボンドと結合することが知られている。従って、DAT分子が一端のNH_2基でSi表面と結合した表面にさらにカルボニル基を持つ分子を蒸着すると、DAT分子の他端のNH_2基と水分子脱離反応が進む。カルボニル基を両末端に持つπ共

役系分子を利用し、DAT 分子と交互に蒸着を繰り返せば、任意の長さのπ共役系分子を Si 基板上に形成できる。有機 EL 材料や電子デバイスへの応用が期待されている系である。結合状態を STM、X 線光電子分光法（X-ray photoemission spectroscopy (XPS)）、第一原理計算で併せて解析する。

試料対象は、代表的酸化物であるルチル型 TiO_2 へも拡大する。TiO_2 は光触媒機能を持つことが知られ、透明電極、色素増感太陽電池などへの応用も期待されている。TiO_2(110)、（100）を大気中加熱（1000 ℃、1-48 時間）で準備する。あるいは、UHV 中で Ar イオンスパッターと加熱を繰り返し、清浄化する。この表面にリチウムや炭酸プロピレン分子を UHV 中で蒸着してリチウム電池の電極を模した基板を用意し、吸着状態を調べる。リチウムの電荷移動による状態変化を解析する。また、色素増感太陽電池電極を模して N3 色素分子を有機溶媒中で担持させ、その吸着状態と光応答を nc-AFM で調べる。

４．研究成果

原子状水素を吸着させた Si(111)7x7 表面を Bias nc-AFM で印加電圧を変化させながら nc-AFM 像と電流像を同時に取得した。利用した探針はピエゾ抵抗カンチレバーの Si 探針である。すると、H が吸着した表面吸着 Si 原子と Si 探針の間に働く結合力は弱くなり、電流も減少した。一方、Si レスト原子に H が吸着した場合、隣接した表面吸着 Si 原子と Si 探針の間に働く結合力は強くなり、電流も増加した。この結果は、Si-Si 原子間の共有結合力は電子のトンネル遷移過程と同様、局所電子状態密度に強く依存することを示唆する。nc-AFM が原子の位置そのものを描きだしているという従来の nc-AFM の描像に議論を呼び起こすものである。また、水素が吸着していると予想される Si 探針で走査したところ、偶発的に Si レスト原子が究めて強調されて観察された。探針先端の状態を走査中に規定できる評価法は存在しないので、この観察時に Si 探針先端に実際に H が存在したかは不明確である。しかし、ほぼ 2 電子で占有されている Si レスト原子と H の反応性の高さが関連していることが示唆される。

H の照射量を増加させると、Si(111)が特異面でエッチングされることを調べた。エッチングのされ方は面方位に依存する傾向があり、下地の結晶の対称性を反映した 3 回対称性を示した。同時に、Si 探針も側面や特定の稜に沿ってエッチングが進むことを実験後の Si 探針の SEM 観察で確認した。これらの特性を利用したその場観察・加工を実現できる可能性がある。

DAT 分子を Si(111)7×7 に蒸着すると、予想通り、DAT の片端の NH_2 基が表面吸着 Si 原子と結合し、もう一端の NH_2 基が基板から自由に存在していることが分かった。この結果は、STM 観察と併せ、分子蒸着量を変化させ、また、XPS の N(1s)のピークの変化を詳細に解析して求めたものである。吸着構造として、DAT の主鎖が Si(111)基板に対して斜めに立位し、その方向は DAT が結合している表面吸着 Si 原子に隣接した Si レスト原子の方向に傾いていた。Si レスト原子と DAT の主鎖のベンゼン環がもつ水素原子の間で引力相互作用が働いている可能性が高い。一方、Si(001)2×1 表面に DAT を蒸着すると、両末端が Si と結合し、DAT の主鎖が基板に沿って伏せていること、その配置は Si ダイマー列上で、ダイマー列の方向から 17 ° 程度傾いていた。試料電圧を変化させると、主鎖のベンゼン環が 3 個に分離されて観察されたり、端の 2 個のベンゼン環のみが明るく観察された。第一原理計算によると、中央のベンゼン環が下地の Si ダイマーと結合（バタフライ結合）し、その結果、主鎖の電子状態が変化していることが示唆された。この２つの Si 基板に蒸着された DAT の上に正孔輸送材料であるα-NPD 分子、さらには Al 電極を真空中で蒸着した。そして、これらの素子の電流-電圧特性を SPM の機構を利用して UHV 中で計測した。簡易分子素子として DAT の存在が、分子同士の交叉に影響を与えている可能性を示せた。また、Si 基板に整然と化学結合した DAT が、その上に蒸着したα-NPD の特性を向上させ、従来の成膜法に比べ比抵抗が高くなることを見出した。優れた特性を持つ分子素子作製の際に、結合と電流特性の制御が重要であることが示された。

試料調製の過程の中で、大気中で TiO_2(110)を石英容器内で熱処理すると、石英容器から Si が基板に飛来し、TiO_2 表面に SiO_2 極薄膜がエピタキシャルに成長することが見出された。これは本研究で得られた副次的成果である。現在、この特異な薄膜形成の機構、その膜の特性の評価を進めている。

本研究を通して、下記の考察を行った。AFM での絡み合いは、よく知られているように探針と試料間に働く相互作用力である。静電気力や van der Waals 力などの遠距離力から化学結合力に代表される近距離力までの種々の相互作用の合力である。しかし、起源に基づいて合力を分離・解析することは容易ではない。一般に半導体表面などで nc-AFM 像が原子分解能を示す場合、近距離で支配的な化学結合力（共有結合）が画像形成に大きく寄与しているとされる（イオン結晶の場合は、結晶表面の正負イオンと探針先端間の局所的静電気力の寄与が大きいとされる）。従来、AFM による探針-試料間相互作用力の解析はおもに力-距離曲線の測定結果から力の空間変化を議論して、遠距離力と近距離力とに分

離し、解析されてきた。一方、力の起源を表面電子（エネルギー）スペクトロスコピーに対応する意味で“分光”するという観点から、探針−試料間印加電圧を変化させて静電的力変化やそれに伴う探針−試料間のトンネル・コンダクタンス変化を明らかにしようとする試みはほとんどなかった（ただし、応用的重要性から、印加電圧に対して相互作用力が極小値になる電圧（古典的意味での探針−試料間の接触電位差）を求めることができる走査型ケルビン力顕微鏡（scanning Kelvin probe force microscopy (KPFM)）の開発は確実に進展した)。理論の立場から、Chen は早くから相互作用力とトンネル電流の関係に着目し、相互作用力とトンネル・コンダクタンスがトンネル障壁を介した探針−試料間の量子力学的共鳴によって密接に関連していること、即ち、どちらも近接した探針と試料の波動関数の重なり（正確にはトンネル行列要素）から求められることを論じた。この現象に対する議論は現在も多角的に行われている。この現象を極言すれば、近接していく二つの金属物体間の結合力とトンネル電流の変化は、崩壊していくトンネル障壁を介して表裏一体の関係にある現象（電子定在波を作りだしていく状態）の具現であるといえる。一方、力とコンダクタンスを同時計測する実験も活発に行われている。微弱な力を検出できる nc-AFM などの実験技術の進歩とともに、探針先端原子と試料表面原子の波動関数の重なりによって生じる量子力学的相互作用を詳細に解析できる可能性と重要性は今後ますます高くなることが示唆される。注意点として、波動関数が確実に重なる距離まで探針と試料が近づいたとしても、それらのエネルギー準位が異なるとフェルミの黄金則にみられるようにその二つの電子状態が共鳴することはない。探針と試料が半導体表面や分子のように分離・離散した電子状態・準位をもつ系で予想されることである。そこで、本研究で進めてきたように、探針−試料間に電圧を積極的に印加し、探針と試料のフェルミ準位を相対的にシフトさせる。すると、探針先端と試料の表面準位エネルギーを静電的にシフトさせて一致させることができる。元来は異なるエネルギー準位にある探針先端の波動関数と試料表面の波動関数を共鳴させる手法 Bias nc-AFM/S はナノ力学的表面電子分光法として大きな可能性を持つといえる。ただし、STM が開発された当時から議論されてきたことではあるが、探針先端の形状と電子状態評価およびその制御はまだ不十分な技術である。ナノテクノロジーの一層の発展を期するためにも、針先という規定された物体位置への１原子レベルの制御技術の発展が真に望まれる。

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 11 件）

1. H. Tatsumi, A. Sasahara and M. Tomitori: “Lateral distribution of Li atoms at the initial stage of adsorption on TiO_2(110) surface”, J. Phys. Chem. C (査読有) (accepted).
2. Y. Jeong, M. Hirade, R. Kokawa, H. Yamada, K. Kobayashi, N. Oyabu, T. Arai, A. Sasahara and M. Tomitori: “Local interaction imaging by SiGe quantum dot probe”, Current Appl. Phys. (査読有) **12** (2012) 581-584.
3. A. Sasahara, C. L. Pang and M. Tomitori: “Atomic scale analysis of ultrathin SiO_2 films prepared on TiO_2(100) surfaces”, J. Phys. Chem. C (査読有) **114** (2010) 20189-20194.
4. T. Nishimura, A. Itabashi, A. Sasahara, H. Murata, T. Arai and M. Tomitori: “Adsorption state of 4,4”-diamino-*p*-terphenyl through an amino group bound to Si(111)-7x7 surface examined by X-ray photoelectron spectroscopy and scanning tunneling microscopy”, J. Phys. Chem. C (査読有) **114** (2010) 11109-11114.
5. A. Sasahara and M. Tomitori: “Frequency modulation atomic force microscope observation of TiO_2(110) surfaces in water”, J. Vac. Sci. and Technol. B (査読有) **28**(3) (2010) C4C5-C4C10.
6. Z.A. Ansari, T. Arai and M. Tomitori: “Low-flux elucidation of initial growth of Ge clusters deposited on Si(111)-7x7 observed by scanning tunneling microscopy”, Phys. Rev. B (査読有) **79** (2009) 033302-1 - 033302-4.
7. 富取 正彦、新井 豊子：研究紹介 ″走査型プローブ顕微鏡にみる電圧印加のナノ力学的相互作用″、表面科学 (査読無) **29** (4) (2008) 239-245.

〔学会発表〕（計 62 件）

1. 富取 正彦、実デバイス指向の表面吸着構造の SPM 解析の試み、日本顕微鏡学会 SPM 分科会 平成 23 年度オープン研究会、2011 年 12 月 2 日、物質・材料研究機構、つくば市、茨城.
2. T. Arai, T. Ikeshima, Y. Zhang, M. Tomitori, “NC-AFM and force spectroscopy applied to H terminated Si(111)7×7”, 14th international conference on NC-AFM 2011, Sept. 19,

2011, Lindau, Germany.
3. M. Tomitori, “Nano imaging and characterization using scanning probe microscopy”, International Interdisciplinary Science Conference-2010 on Nanobiotechnology: An Interface between Physics and Biology”, Dec. 3, 2010, Jamia Millia Islamia, New Delhi, India.
4. T. Arai, K. Kiyohara, T.sato, S. Kushida, M. Tomitori, “Surface electron spectroscopy based on nc-AFM with changing bias voltage at close tip-sample separation”, ACSIN 10, Sep. 23, 2009, Granada, Spain.
5. 富取 正彦、走査型プローブ顕微鏡技術によるナノスケールの物性計測と操作、日本顕微鏡学会 第52回シンポジウム、2008年10月17日、千葉大学、千葉.

〔図書〕（計1件）
1. 富取 正彦、新井 豊子（分担執筆）、共立出版、重川 秀美、吉村 雅満、河津 璋 編、実験物理科学シリーズ６ ″走査プローブ顕微鏡「発展編 第10章 非接触AFMの展開」″、(2009)、7ページ、pp. 357-363.

〔産業財産権〕
○出願状況（計2件）
１．名称：カンチレバー加熱機構、それを用いたカンチレバーホルダ、及び、カンチレバー加熱方法
発明者：富取正彦、平出雅人
権利者：北陸先端科学技術大学院大学
種類：PCT出願
番号：PCT/JP2009/065513
出願年月日：2009年9月4日
国内外の別：国外
２．名称：カンチレバー加熱機構、それを用いたカンチレバーホルダ、及び、カンチレバー加熱方法
発明者：富取正彦、平出雅人
権利者：北陸先端科学技術大学院大学
種類：特許出願
番号：2010-527834
出願年月日：2011年2月7日
国内外の別：国内

○取得状況（計5件）
１．名称：原子または分子の同定方法
発明者：新井豊子、富取正彦
権利者：北陸先端科学技術大学院大学
種類：特許
番号：4822563
取得年月日：2011年9月16日
国内外の別：国内
２．名称：ポジショニング機構、及び、それを用いた顕微鏡
発明者：富取正彦、新井豊子、中榮穣
権利者：北陸先端科学技術大学院大学
種類：特許
番号：4644821
取得年月日：2010年12月17日
国内外の別：国内
３．名称：シールド付き細線ケーブル及びその製造方法
発明者：富取正彦、大久保芳彦
権利者：科学技術振興機構、北陸先端科学技術大学院大学
種類：特許
番号：4822226
取得年月日：2011年9月16日
国内外の別：国内
４．名称：試料表面の電子エネルギ準位の測定方法
発明者：新井豊子、富取正彦
権利者：北陸先端科学技術大学院大学
種類：特許
番号：4576520
取得年月日：2010年9月3日
国内外の別：国内
５．名称：ポジショニング機構、及び、それを用いた顕微鏡
発明者：富取正彦、新井豊子、中榮穣
権利者：北陸先端科学技術大学院大学
種類：特許
番号：US 7,672,048 B2
取得年月日：2010年3月2日
国内外の別：米国

〔その他〕
ホームページ
http://www.jaist.ac.jp/ms/labs/kkk/Tlab/Tlab_home-j.html

６．研究組織
(1)研究代表者
富取 正彦（TOMTITORI MASAHIKO）
北陸先端科学技術大学院大学・マテリアルサイエンス研究科・教授
研究者番号：10188790
(2)研究分担者
村田 英幸（MURATA HIDEYUKI）
北陸先端科学技術大学院大学・マテリアルサイエンス研究科・教授
研究者番号：10345663

笹原 亮（SASAHARA AKIRA）
北陸先端科学技術大学院大学・マテリアルサイエンス研究科・助教
研究者番号：40321905
(3)連携研究者 なし