

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005年11月3日 (03.11.2005)

PCT

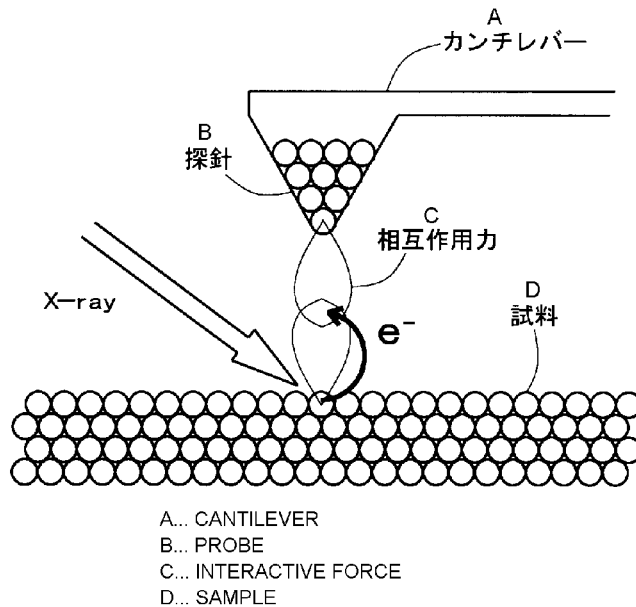
(10) 国際公開番号
WO 2005/103647 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G01N 13/16 TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3320012 埼玉県川口市本町4丁目1番8号 Saitama (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/019092
- (22) 国際出願日: 2004年12月21日 (21.12.2004) (72) 発明者; および
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 鈴木秀士 (SUZUKI, Shushi) [JP/JP]; 〒0010021 北海道札幌市北区北21条西10丁目 北海道大学触媒化学研究センター内 Hokkaido (JP). 田旺帝 (CHUN, Wang-Jae) [KR/JP]; 〒0010021 北海道札幌市北区北21条西10丁目 北海道大学触媒化学研究センター内 Hokkaido (JP). 朝倉清高 (ASAKURA, Kiyotaka) [JP/JP]; 〒0010021 北海道札幌市北区北21条西10丁目 北海道大学触媒化学研究センター内 Hokkaido (JP). 野村昌治 (NOMURA, Masaharu) [JP/JP]; 〒3050801 茨城県つくば市大穂1-1 高エネ
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-126099 2004年4月21日 (21.04.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND

[続葉有]

(54) Title: QUANTUM BEAM AIDED ATOMIC FORCE MICROSCOPY AND QUANTUM BEAM AIDED ATOMIC FORCE MICROSCOPE

(54) 発明の名称: 量子線支援原子間力顕微法および量子線支援原子間力顕微鏡



(57) Abstract: A quantum beam aided atomic force microscope and quantum beam aided atomic force microscopy that can realize simultaneously performing of atomic-level configuration observation and elemental analysis with the use of an atomic force microscope and further can effect analysis of the chemical state of sample surfaces and that as being operable in liquids, can realize the elemental analysis and chemical state analysis of biosamples with an atomic-level resolving power. Accordingly, atoms of sample surface are irradiated with quantum beams, such as charged particles, electrons and photons, having a given electron transition energy characteristic of element, and any change of interactive force between the atoms of sample surface having been irradiated with quantum beams and the distal end of the probe is detected.

(57) 要約: 原子間力顕微鏡を使って原子レベルでの形状観察と元素分析とを同時に行うことができ、さらには試料表面の化学状態を分析することが可能と

[続葉有]

WO 2005/103647 A1



ルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 放射光
研究施設内 Ibaraki (JP).

(74) 代理人: 佐川慎悟 (SAGAWA, Shingo); 〒0600042 北海
道札幌市中央区大通西10丁目4番16号 ダンロッ
プSKビル3階 佐川慎悟国際特許事務所 Hokkaido
(JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護
が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,
BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

なり、また、液体中でも動作可能であるため生体試料に対する元素分析や化学状態分析を原子レベルの分解能で行
うことが可能な量子線支援原子間力顕微鏡および量子線支援原子間力顕微鏡を提供することを目的とする。この目
的を達成するため、試料表面の原子に対して元素固有の所定の電子遷移エネルギーを有する光量子、電子、荷電粒
子等の量子線を入射し、この量子線が入射された試料表面原子と探針先端との間の相互作用力の変化を検出する。

明 細 書

量子線支援原子間力顕微鏡および量子線支援原子間力顕微鏡

技術分野

[0001] 本発明は、原子間力顕微鏡および原子間力顕微鏡に係り、特に、原子レベルで試料表面を形状観察するだけでなく、元素分析、化学状態分析を同時に行うのに好適な量子線支援原子間力顕微鏡および量子線支援原子間力顕微鏡に関するものである。

背景技術

[0002] 触媒や半導体センサー、電子デバイス等の表面の物理的・化学的過程を理解し、さらなる高機能性材料を構築するためには、原子レベルでの物質表面の元素分析および化学状態分析が必要である。これまで1982年の走査トンネル顕微鏡(Scanning Tunneling Microscope; STM)の発明によって導電性物質表面の観察が可能となり、1995年の非接触原子間力顕微鏡(Non-contact Atomic Force Microscope; NC-AFM)の発明によって絶縁性物質表面の観察が可能となり、文字通り原子レベル空間分解能が実現された。原子間力顕微鏡は表面構造の観察のみならず、物質表面の微小部分の摩擦力、磁氣的・電氣的性質、表面力、機械的性質の計測など様々な物性・機能を測定する道具として利用されている。

[0003] しかしながら、これら従来の顕微鏡によって得られる走査トンネル顕微鏡像や原子間力顕微鏡像には、直接的な表面の元素情報や化学状態情報は原理的に含まれていないという問題がある。

[0004] 一方、これまでも固体表面の元素情報や化学状態情報を原子レベルで得るために、例えば、(1)可視光と組み合わせた光照射走査トンネル顕微鏡法、(2)トンネル過程における非弾性効果を利用した非弾性トンネル分光法、(3)放射光X線と組み合わせた放射光励起走査トンネル顕微鏡法などが提案されている。

[0005] しかしながら、上記(1)および(3)の方法は現時点では開発途上段階であって実用化の目途が立っておらず、(2)の方法は、固体表面に吸着した分子が測定対象であって固体表面そのものの分析ではない。

[0006] 一方、従来の原子間力顕微鏡に関する先行文献には、特開2000-28511号公報が挙げられる(特許文献1)。この公報に記載の非接触原子間力顕微鏡は、加振手段に固定されたカンチレバーと、カンチレバーの変位を検出する変位検出器と、前記加振手段を制御する増幅器と、前記変位検出器出力の周波数を検出する周波数検出器と、検出した周波数が一定となるように試料とカンチレバー先端との距離を変化させる試料駆動手段と、前記増幅器を制御して異なる加振電圧で加振手段をそれぞれ駆動させる制御装置とを備えている。そして、この制御装置によって、各加振電圧における試料とカンチレバー先端との距離変化に対する発振周波数の変化を前記周波数検出器出力より検出し、各加振電圧における前記発振周波数の急激な立ち上がり位置の差よりカンチレバーの発振振幅を算出している。

[0007] 特許文献1:特開2000-28511号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、特開2000-28511号公報に記載された発明においても原子レベルでの物質表面の元素分析あるいは化学状態分析は不可能である。

[0009] 本発明は、このような問題点を解決するためになされたものであって、物質表面における原子間力顕微鏡を使った原子レベルでの形状観察と元素分析や化学状態分析を同時に可能とする量子線支援原子間力顕微法および量子線支援原子間力顕微鏡を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明に係る量子線支援原子間力顕微法の特徴は、試料表面の原子に対して元素固有の所定の電子遷移エネルギーを有する光量子、電子、荷電粒子等の量子線を入射し、この量子線が入射された試料表面原子と探針先端との間の相互作用力の変化を検出する点にある。

[0011] ここで、量子線とは、1eV以上の輻射エネルギーまたは並進エネルギーを有し、量子的振る舞いをする物理的実体の総称であり、例えば、X線やレーザー等の光量子、電子、荷電粒子等が挙げられる。

[0012] また、本発明に係る量子線支援原子間力顕微法の特徴は、試料表面の原子に対

して所定の光量子、電子、荷電粒子等の量子線を入射し、この入射する量子線のエネルギーを順次変化させて前記試料表面原子と探針先端との間の相互作用力の変化を検出する点にある。

- [0013] また、本発明に係る量子線支援原子間力顕微鏡の特徴は、試料表面に量子線を照射せずに原子間力顕微鏡像を取得するとともに、同一の試料表面に対して光量子、電子、荷電粒子等の量子線を元素固有の所定の電子遷移エネルギーに固定しながら照射し、量子線照射下の原子間力顕微鏡像を取得する点にある。
- [0014] さらに、本発明では、試料表面の原子に入射する量子線は、検出対象である元素固有の最外殻への内殻電子遷移エネルギーを有するX線であることが好ましい。
- [0015] また、本発明に係る量子線支援原子間力顕微鏡の特徴は、試料表面原子と相互作用する先鋭状の探針を有する探針プローブと、この探針プローブのたわみを検出する変位センサーと、前記探針を前記試料表面の水平方向に対して相対的に2次元に走査させる2次元走査手段と、垂直方向に前記探針と前記試料表面との距離を相対的に制御する垂直移動手段とを有する原子間力顕微鏡であって、前記試料表面の原子に対して元素固有の所定の電子遷移エネルギーを有する光量子、電子、荷電粒子等の量子線を照射する量子線照射手段を有するとともに、この量子線照射手段によって量子線が照射されている試料表面原子と探針先端との間の相互作用力の変化を前記変位センサーによって検出する点にある。
- [0016] また、本発明では、前記量子線照射手段によって試料表面の原子に対して入射する量子線のエネルギーを順次変化させながら、前記変位センサーが探針先端と試料表面原子との間の相互作用力の変化を検出するようにしてもよい。
- [0017] さらに、本発明では、前記試料表面に量子線を照射せずに前記2次元走査手段によって前記探針を前記試料表面に対して相対的に走査させて原子間力顕微鏡像を出力するとともに、同一の試料表面に対して光量子、電子、荷電粒子等の量子線を元素固有の所定の電子遷移エネルギーに固定しながら照射して量子線照射下の原子間力顕微鏡像を出力するようにしてもよい。
- [0018] また、本発明では、試料表面の原子に入射する量子線は、検出対象である元素固有の最外殻への内殻電子遷移エネルギーを有するX線であることが好ましい。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、原子間力顕微鏡を使って原子レベルでの形状観察と元素分析とを同時に行うことができ、さらには試料表面の化学状態を分析することが可能となり、また、液体中でも動作可能であるため生体試料に対する元素分析や化学状態分析を原子レベルの分解能で行うことが可能となり得る。

発明を実施するための最良の形態

[0020] 『本発明の基本原理』

まず本発明の基本原理について図1を参照しつつ説明する。図1は原子間力顕微鏡のうち非接触原子間力顕微鏡(ニアコンタクト原子間力顕微鏡あるいはDynamic Force Microscopeと呼ばれる場合もある)を例に示した原理図である。非接触原子間力顕微鏡は、探針プローブの探針先端と試料表面との間に働く相互作用力を検知し、これを画像化する装置である。理論計算、理論研究によれば、探針および試料表面間に働く相互作用力には、長距離力である分散力、静電気力の他、短距離力であるファン・デル・ワールス力に加えて、共有結合力などの化学的相互作用力が存在することが明らかになってきている。この化学的相互作用力は、探針先端と試料表面原子の電子軌道であるHOMO (High occupied molecular orbital; 最高占有軌道) とLUMO (Lowest unoccupied molecular orbital; 非最低占有軌道) が関与するものである。

[0021] したがって、探針先端と試料表面原子との化学結合の電子軌道における電子密度を元素や化学状態に従って外部から制御することができれば、探針と試料との間に働く相互作用力を元素や化学状態に対応させて人為的に変化させることができ、元素分析、化学分析能を原子間力顕微鏡に持たせることができる。その制御方法としては、試料表面原子の元素固有の所定の電子遷移エネルギーを持つ量子線照射が考えられる。

[0022] 『本発明の基本原理の実証実験』

本発明の基本原理は、ケイ素(Si)基板上に金(Au)薄膜を生成した実験により実証された。実験には、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の放射光研究施設におけるビームラインに非接触原子間力顕微鏡を設置してX線照射実験を

行った。本装置にはビームラインX線遮蔽用ハッチの外部より遠隔操作によって調整できる光軸コントロール機構(図示せず)が備えられている。

[0023] 試料は、Si(111)基板の一部にAuアイランドを真空蒸着により成膜した試料を用いた。図2に本試料の非接触原子間力顕微鏡像を示す。図2中、右半分に丘状に観察される領域がAu領域であり、膜厚は約20nmである。また、非接触原子間力顕微鏡像の観察には、自己検知型カンチレバーを探針プローブとして使用し、この探針プローブを周波数88kHzで振動させ、周波数シフトを-20Hzに設定した。そして、非接触原子間力顕微鏡像を観察後、Au領域に探針プローブの探針を移動した。原子間力は探針プローブ先端と試料表面との距離によって変化するため、その影響を排除する必要がある。そこで、本実験では、探針プローブ移動後、この探針プローブの先端と試料表面との距離を一定に固定した。

[0024] そして、Auの内殻電子のうちL殻の電子軌道に存在する内殻電子を最外殻の電子軌道へ遷移させるためにAuのL₃吸収端付近のエネルギーを有するX線を試料に入射し、エネルギーを掃印しながら原子間力を測定した。比較のため、Si領域においてもAuのL₃吸収端付近のエネルギーを有するX線を掃印しながら照射し、原子間力の測定を行った。これらの結果を図3に示す。

[0025] 図3の横軸はX線により照射したエネルギーを示し、左縦軸は相互作用力、右縦軸はAuフォイルについて測定したAuのX線吸光度を示す。図3に示すように、Si領域では、AuのL₃吸収端付近のエネルギーを有するX線を照射しても試料表面原子と探針先端との間に働く原子間力に変化は観測されなかったが、Au領域においては、相互作用力の変化を示すピークが観測された(図3中矢印)。すなわち、AuがX線を吸収することにより相互作用力に変化が生じ、これを検出することに成功した。換言すれば、探針プローブの先端直下の原子がAuであるのか、SiであるのかをX線の照射による相互作用力の変化の有無によって識別できたのである。

[0026] AuのX線吸光度を参照すると、Au領域における相互作用力のピークはAu吸収端付近に当たることから、上記相互作用力の変化は、L殻の内殻電子が励起されて最外殻の電子軌道へと遷移したことにより、試料表面原子と探針先端との共有結合に変化が生じたことが要因の1つと考えられる。以上の実験により実証した原理に基づ

いて、内殻電子を励起する所定の遷移エネルギーを試料表面に付与し、この試料表面原子と探針先端との間に働く相互作用力の変化を分析することにより、直接的に試料表面の元素分析や化学状態分析が可能となる。

[0027] 『本発明の実施形態』

上記実証実験の結果に基づき、本発明に係る量子線支援原子間力顕微鏡および量子線支援原子間力顕微鏡の実施形態について図面を参照しつつ説明する。

[0028] 図4は、本発明に係る量子線支援原子間力顕微鏡1の実施の一形態を示す模式図である。本実施形態の量子線支援原子間力顕微鏡1における基本構成は、試料tを載せて水平面内のx-y軸方向へ移動可能な2次元走査手段たるx-yステージ2と、先端に探針3aを備えており前記x-yステージ2上で上下に振動可能に支持された探針プローブ3と、この探針プローブ3を支持し鉛直z軸方向へ移動可能な垂直移動手段たるzステージ4と、前記探針プローブ3の背面に反射鏡5aを介してレーザー光を照射するレーザー照射器5と、前記探針プローブ3のたわみによる変位で生じる反射光の偏向位置を検出する位置検出器6と、前記試料tの表面にX線やレーザ等の光量子、電子、荷電粒子等の量子線を照射する量子線照射手段7と、この量子線照射手段7から照射される量子線のエネルギーを制御したり、前記位置検出器6から出力される位置信号に基づいてzステージ4を制御したり、試料tの高さを調整しながらx-yステージ2を面内方向に走査させて像を出力する制御装置8とを有している。

[0029] 前記探針プローブ3は、Si、や Si_3N_4 、W、Pt、PtIr等の材質によって構成されており、探針先端3aは曲率半径の小さく加工された形状になっている。また、先端を水酸基やカルボキシル基等の化学官能基、カーボンナノチューブ、金属・金属酸化物・金属炭化物等の被膜、ダイヤモンド等で修飾したプローブも用いられている。探針プローブ3の変位を検出する方法には、図5に示すような探針プローブ3の変位によって生じる反射光の偏向位置を4分割にフォトディテクターによって検出する光てこ方式、あるいは図6に示すような探針プローブ3の背面で反射した光と偏光プリズム9を透過した光とを干渉させることで検出する光干渉方式が挙げられる。さらには、図7に示すようなPZT積層型カンチレバー3を使用してたわみを直接的に検出する自己検知型カンチレバー方式等も挙げられる。

- [0030] なお、レーザー照射器5は、半導体ダイオードレーザーによって構成されているが、通常の半導体光ダイオードからなる光照射器を使用してもよい。また、探針プローブ3の周波数変調検波方式もFM, AMのいずれの検波方式であってもよい。さらに、前述した実施形態では、x-yステージ2上で探針プローブ3をzステージ4に支持する構成にしているが、x-yステージ2をx-y-z軸に移動可能な構造にして2次元走査手段および垂直移動手段としての機能を兼備させ、ステージ4は単に探針プローブ3を振動可能に支持する機構としてもよい。また、量子線照射手段7は、量子線支援原子間力顕微鏡1に実装してもよいし、別体に配置されて試料表面へ量子線を導く構造を備えるようにしてもよい。
- [0031] つぎに、前述した量子線支援原子間力顕微鏡1の作用およびこれを使用した量子線支援原子間力顕微法について説明する。
- [0032] 本実施形態の量子線支援原子間力顕微鏡1は、量子線照射手段7を使って検出対象の元素と相互作用する共鳴エネルギーを試料tの表面に照射し、共鳴エネルギーを有する量子線が照射された試料tの表面原子と探針先端3aとの間に働く引力や斥力などの相互作用力の変化を位置検出器6によって検出し、制御装置8によって出力画像装置等に原子間力顕微鏡像として出力する。ただし、探針プローブ3が図7に示すようなPZT積層型カンチレバーの場合には位置検出器6は不要である。
- [0033] 例えば、試料tの表面に照射する量子線として、検出したい元素に固有の最外殻への内殻電子遷移エネルギーを有するX線に固定し、X線照射下と非照射下における原子間力顕微鏡像の比較を行う。これにより試料tの表面における検出対象元素の分布を知ることができる。
- [0034] また、試料tの表面の特定場所に探針プローブ3の探針先端3aを固定し、入射するX線のエネルギーを順次変化させて試料tの表面の原子と探針先端3aとの間の相互作用力の変化を検出することにより、その場所に存在する原子の種類を求めることができる。
- [0035] さらに、同じ元素であっても電子遷移エネルギーの違いを利用して試料tの表面に存在する原子の化学状態まで知ることが可能である。例えば、同じ元素における最外殻への内殻電子遷移エネルギーの高低差を利用し、試料tの表面と探針先端3aと

の相互作用力に変化が生じたエネルギー位置を厳密に検出し、当該元素の各化学状態における最外殻への内殻電子遷移エネルギー分布と比較参照することにより、該当する試料tの表面における化学状態を分析することが可能となる。

[0036] 以上のような本実施形態によれば、量子線支援原子間力顕微鏡1を使って原子レベルでの形状観察と元素分析とを同時に行うことができ、さらには試料tの表面における化学状態を分析することが可能となる。さらには、以下に示すような分野へ適用することが可能である。

[0037] (ア)触媒材料開発への応用

より高い触媒反応活性、高い触媒反応選択性をもつ触媒の開発・改良には、ナノレベル・原子レベルで高度な触媒表面の設計・構築が必要であると同時に、ナノレベル・原子レベルでの分析研究が不可欠である。本発明を使用して金属・金属酸化物活性成分が高度に分散担持された金属酸化物・窒化物・炭化物等の触媒試料表面を触媒反応雰囲気下や真空下において分析すれば、ナノレベル・原子レベルでの触媒成分や反応分子、反応中間体、反応生成物分子などの物理的、化学的状态を識別しつつ、それらの構造・位置・分布を知ることが可能となる。

[0038] (イ)半導体デバイス・センサー開発への応用

半導体デバイス・センサー開発では、如何にして高密度集積し、かつ高速に安定動作するかが重要となる。近年では、量子ドット・有機分子や生体分子薄膜を利用した原子・分子デバイスの開発が夢ではなくなってきた。本発明によって、既存のデバイス評価法では困難な半導体デバイスやセンサーが動作する大気環境下、または真空中における動作環境下、溶液中での動作環境下において、ナノ・原子レベルの元素分析・化学状態分析を行うことが可能となる。

[0039] (ウ)医療技術への応用

酵素、タンパク質、DNAなどの生体高分子は、その構造中に様々な機能を有する金属イオン、原子を含むことが知られている。従来であれば、これらの金属イオンの原子位置を特定し、その作用を分析するためにはX線回折をはじめとした種々の化学分析手法を組み合わせる必要がある。しかしながら、本発明を用いれば、例えば溶液中に生体分子を吸着・保持できる基板を用意し、これを観察することにより

生体分子内での金属イオン・原子位置の特定が可能であり、またその作用も溶液中に作用分子を混合しその場で観察することによって解明することが可能となる。

[0040] なお、本発明に係る量子線支援原子間力顕微鏡および量子線支援原子間力顕微鏡は、前述した実施形態に限定されるものではなく、適宜変更することができる。

[0041] 例えば、量子線の中でもX線は液体中であっても試料に照射可能であるとともに、各元素固有の電子遷移エネルギーが把握されているため、本実施形態に好適な量子線であるが、レーザー光や電子、荷電粒子等、探針先端3aと試料表面との間に働く相互作用力に変化を与えるエネルギーを有する他の量子線を照射するようにしてもよい。

図面の簡単な説明

[0042] [図1]本発明に係る量子線支援原子間力顕微鏡および量子線支援原子間力顕微鏡の基本原理を示す模式図である。

[図2]本発明の基本原理を実証する実験に使用するAu/Si試料の非接触原子間力顕微鏡像を示す図である。

[図3]本発明の基本原理の実証実験結果を示すグラフであって、横軸にX線照射エネルギー、左縦軸に相互作用力、右縦軸にAuのX線吸収光を示す図である。

[図4]本発明に係る量子線支援原子間力顕微鏡の実施形態の構成を示す模式図である。

[図5]本実施形態における探針プローブの変位を検出する光てこ方式を示す模式図である。

[図6]本実施形態における探針プローブの変位を検出する光干渉方式を示す模式図である。

[図7]本実施形態における探針プローブの変位を検出するPZT積層型カンチレバーを使用する自己検出型カンチレバー方式を示す模式図である。

符号の説明

- [0043] 1 量子線支援原子間力顕微鏡
2 x-yステージ
3 探針プローブ

- 3a 探針(探針先端)
- 4 zステージ
- 5 レーザー照射器
- 5a 反射鏡
- 6 位置検出器
- 7 量子線照射手段
- 8 制御装置
- 9 偏光プリズム
- t 試料

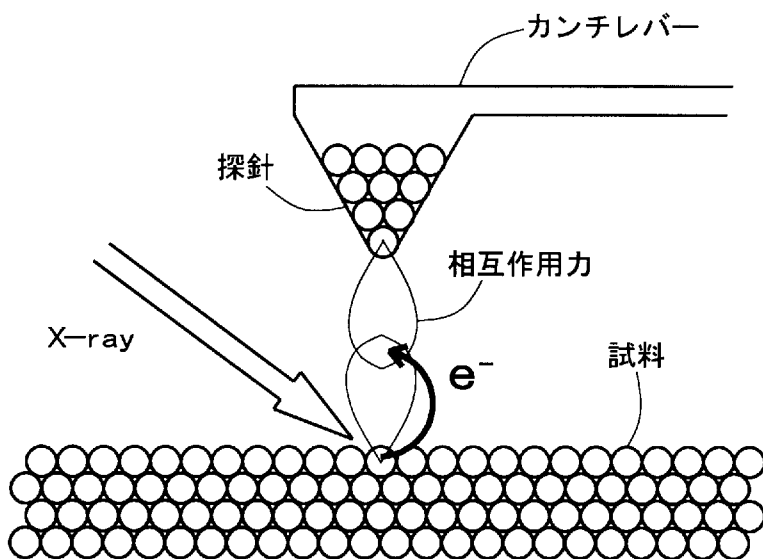
請求の範囲

- [1] 試料表面の原子に対して元素固有の所定の電子遷移エネルギーを有する光量子、電子、荷電粒子等の量子線を入射し、この量子線が入射された試料表面原子と探針先端との間の相互作用力の変化を検出することを特徴とする量子線支援原子間力顕微法。
- [2] 試料表面の原子に対して所定の光量子、電子、荷電粒子等の量子線を入射し、この入射する量子線のエネルギーを順次変化させて前記試料表面原子と探針先端との間の相互作用力の変化を検出することを特徴とする量子線支援原子間力顕微法。
- [3] 試料表面に対して探針を相対的に走査させて探針先端と試料表面原子との間の相互作用力を検出し、当該試料表面の状態を分析する原子間力顕微鏡法であって、
前記試料表面に量子線を照射せずに原子間力顕微鏡像を取得するとともに、同一の試料表面に対して光量子、電子、荷電粒子等の量子線を元素固有の所定の電子遷移エネルギーに固定しながら照射し、量子線照射下の原子間力顕微鏡像を取得することを特徴とする量子線支援原子間力顕微法。
- [4] 請求項1から請求項3のいずれかにおいて、試料表面の原子に入射する量子線として、検出対象である元素固有の最外殻への内殻電子遷移エネルギーを有するX線を使用することを特徴とする量子線支援原子間力顕微法。
- [5] 試料表面原子と相互作用する先鋭状の探針を有する探針プローブと、この探針プローブのたわみを検出する変位センサーと、前記探針を前記試料表面の水平方向に対して相対的に2次元に走査させる2次元走査手段と、垂直方向に前記探針と前記試料表面との距離を相対的に制御する垂直移動手段とを有する原子間力顕微鏡であって、
前記試料表面の原子に対して元素固有の所定の電子遷移エネルギーを有する光量子、電子、荷電粒子等の量子線を照射する量子線照射手段を有するとともに、
この量子線照射手段によって量子線が照射されている試料表面原子と探針先端との間の相互作用力の変化を前記変位センサーによって検出することを特徴とする量

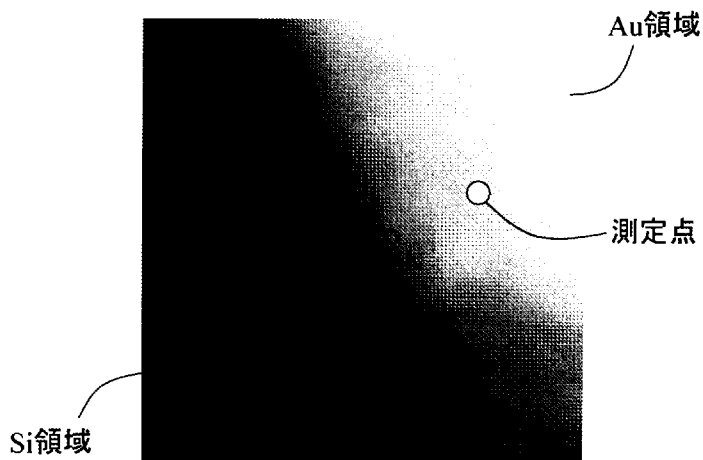
子線支援原子間力顕微鏡。

- [6] 請求項5において、前記量子線照射手段によって試料表面の原子に対して入射する量子線のエネルギーを順次変化させながら、前記変位センサーが探針先端と試料表面原子との間の相互作用力の変化を検出することを特徴とする量子線支援原子間力顕微鏡。
- [7] 請求項5において、前記試料表面に量子線を照射せずに前記2次元走査手段によって前記探針を前記試料表面に対して相対的に走査させて原子間力顕微鏡像を出力するとともに、同一の試料表面に対して光量子、電子、荷電粒子等の量子線を元素固有の所定の電子遷移エネルギーに固定しながら照射して量子線照射下の原子間力顕微鏡像を出力することを特徴とする量子線支援原子間力顕微鏡。
- [8] 請求項5から請求項7のいずれかにおいて、試料表面の原子に入射する量子線として、検出対象である元素固有の最外殻への内殻電子遷移エネルギーを有するX線を使用することを特徴とする量子線支援原子間力顕微鏡。

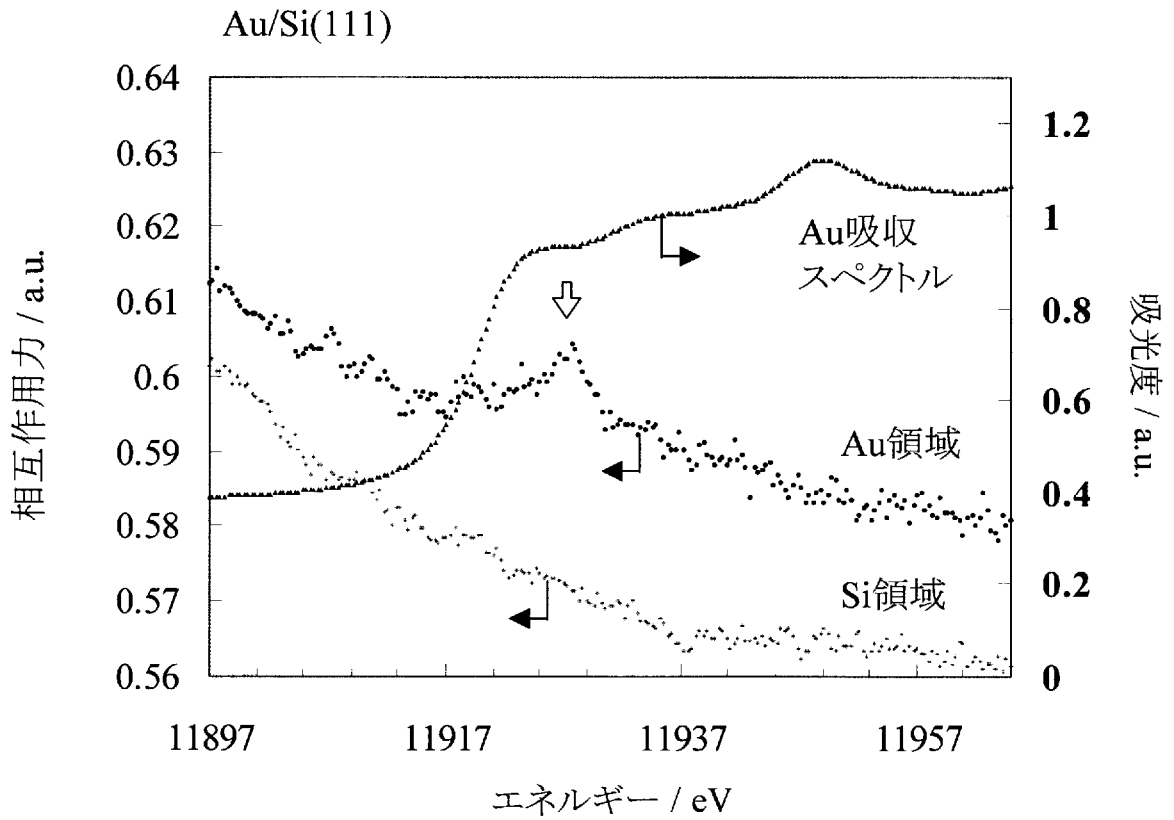
[図1]



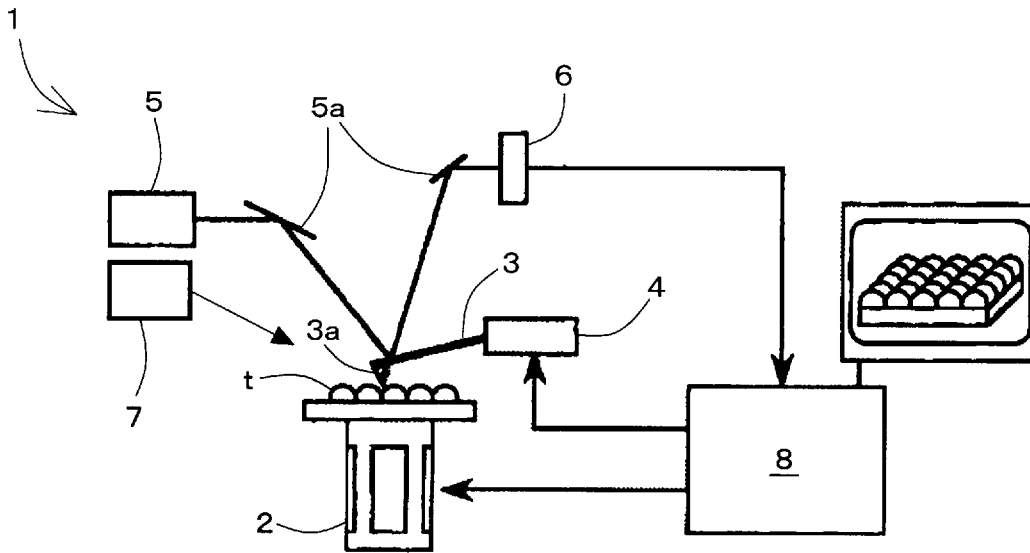
[図2]



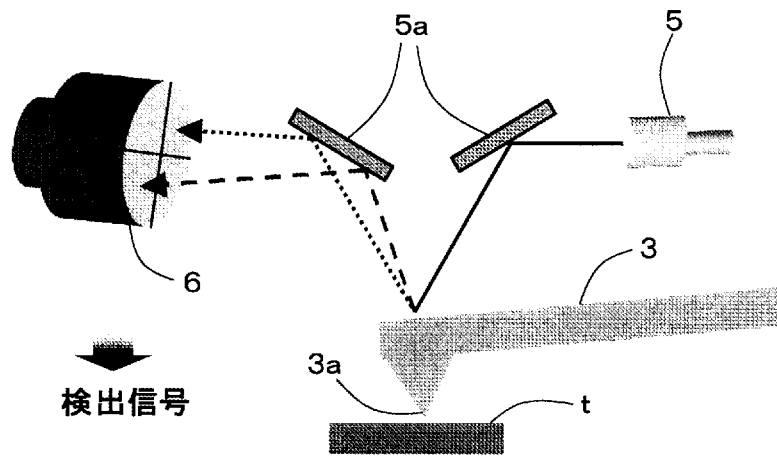
[図3]



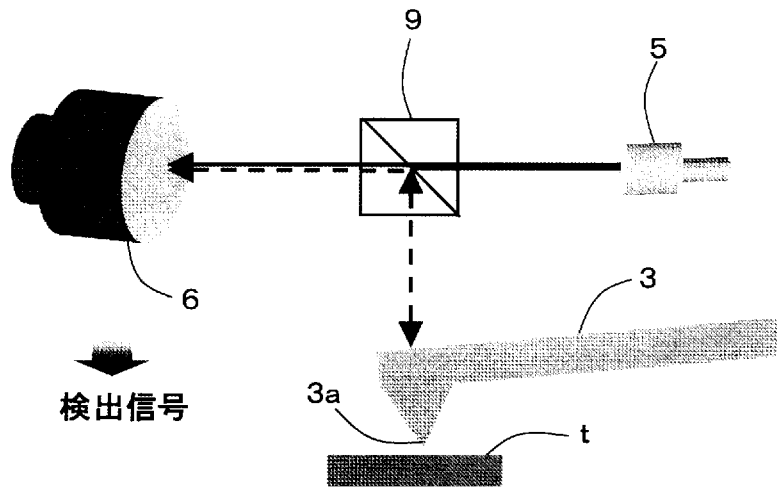
[図4]



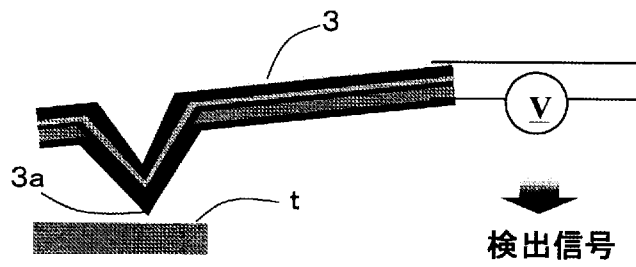
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2004/019092

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G01N13/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G01N13/10-13/24, G12B21/00-21/24

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2-69643 A (Toshiba Corp.), 08 March, 1990 (08.03.90), Full text; all drawings (Family: none)	1-8
X	JP 3-140842 A (International Business Machines Corp.), 14 June, 1991 (14.06.91), Full text; all drawings & DE 069010634 C	1-8

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 11 April, 2005 (11.04.05)	Date of mailing of the international search report 26 April, 2005 (26.04.05)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. ⁷ G01N13/16		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. ⁷ G01N13/10 - 13/24 G12B21/00 - 21/24		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2005年 日本国実用新案登録公報 1996-2005年 日本国登録実用新案公報 1994-2005年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2-69643 A (株式会社東芝) 1990.03.08, 全文、 全図 (ファミリーなし)	1-8
X	JP 3-140842 A (インターナショナル・ビジネス・マシー ズ・コーポレーション) 1991.06.14, 全文、全図 & DE 069010634 C	1-8
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 11.04.2005	国際調査報告の発送日 26.04.2005	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JJP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 小野 忠悦 電話番号 03-3581-1101 内線 3252	2J 3210