

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2014年4月10日(10.04.2014)



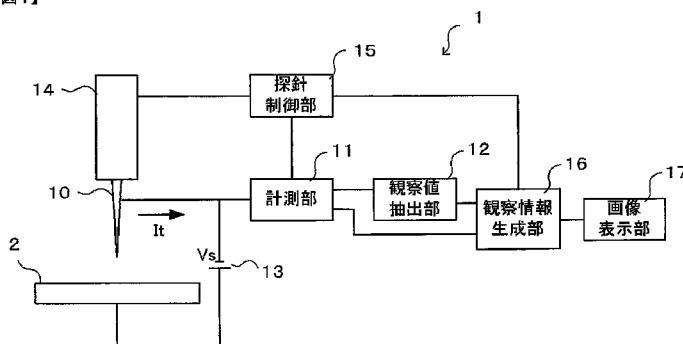
(10) 国際公開番号  
WO 2014/054741 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01Q 30/04 (2010.01) G01Q 60/10 (2010.01)  
G01B 7/34 (2006.01)
  - (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/076957
  - (22) 国際出願日: 2013年10月3日(03.10.2013)
  - (25) 国際出願の言語: 日本語
  - (26) 国際公開の言語: 日本語
  - (30) 優先権データ:  
特願 2012-221324 2012年10月3日(03.10.2012) JP
  - (71) 出願人: 独立行政法人科学技術振興機構(JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3320012 埼玉県川口市本町四丁目1番8号 Saitama (JP).
  - (72) 発明者: 齊藤 彰(SAITO, Akira); 〒5650871 大阪府吹田市山田丘2-1 国立大学法人大阪大学内 Osaka (JP).
  - (74) 代理人: 永井 冬紀, 外(NAGAI, Fuyuki et al.); 〒1000011 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号 富国生命ビル 永井特許事務所 Tokyo (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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: SCANNING TUNNELING MICROSCOPE AND OBSERVATION IMAGE DISPLAY METHOD

(54) 発明の名称: 走査型トンネル顕微鏡および観察画像表示方法

【図1】



- 11 Measurement unit
- 12 Observation value extraction unit
- 15 Probe control unit
- 16 Observation information generation unit
- 17 Image display unit

(57) Abstract: A scanning tunneling microscope comprises: a probe; a control unit which controls the distance between the probe and a sample; a voltage imparting unit which imparts a DC voltage between the probe and the sample; a measurement unit which measures a tunneling current which flows between the probe and the sample by the DC voltage; an extraction unit which extracts as an observation value a specified frequency component among instantaneous values of the tunneling current which is measured by the measurement unit; and an observation information generation unit which, on the basis of the observation value which is extracted by the extraction unit, generates observation information which includes information relating to a chemical state of the surface of the sample and/or the internal structure thereof.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2014/054741 A1

---

走査型トンネル顕微鏡は、探針と、探針と試料との間の距離を制御する制御部と、探針と試料との間に直流電圧を印加する電圧印加部と、直流電圧によって探針と試料との間に流れるトンネル電流を計測する計測部と、計測部により計測されたトンネル電流の瞬時値のうち特定の周波数成分を観察値として抽出する抽出部と、抽出部により抽出された観察値に基づいて、試料の表面の化学状態および内部構造のいずれか少なくとも一つに関する情報を含む観察情報を生成する観察情報生成部とを備える。

## 明 細 書

**発明の名称**：走査型トンネル顕微鏡および観察画像表示方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、走査型トンネル顕微鏡および観察画像表示方法に関する。

### 背景技術

[0002] 従来、試料表面の微細な形状を観察するために、走査型トンネル顕微鏡（STM）が広く利用されている。この走査型トンネル顕微鏡において、探針と試料の間に直流電圧と共に交流電圧を印加したときに流れる電流から交流成分を分離し、その交流成分の電流から探針と試料間のアドミタンスのコンダクタンス成分およびサセプタンス成分の周波数特性を計測することにより、試料表面における材料の種類や組成を分析するものが知られている（特許文献1参照）。

[0003] また、所定の周波数で強度変調したレーザ光を試料表面に局所的に照射することで、光音響効果に基づく微小変位を試料表面に生じさせ、この微小変位を走査型トンネル顕微鏡を用いて観察することにより、試料の表面や内部の情報を検出する方法も知られている（特許文献2参照）。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特開平7-239337号公報

特許文献2：日本国特許第3009199号

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1に記載の走査型トンネル顕微鏡では、通常の走査型トンネル顕微鏡で用いられる直流電圧に加えて、さらに交流電圧を探針と試料の間に印加するための回路が必要である。したがって、既存の走査型トンネル顕微鏡を改修してこれを実現しようとしても、上記のような回路を追加するのに大規模な改修が必要であるため、容易ではない。また、特許文献1に記載の走

査型トンネル顕微鏡を用いた場合、試料表面における材料の種類や組成の分析は可能かもしれないが、試料表面の化学状態や内部構造を観察することはできない。

[0006] 一方、特許文献2に記載の方法では、光音響効果に基づく微小変位を生じさせるために、所定の周波数で強度変調したレーザ光を試料表面に局所的に照射する必要がある。したがって、これについても、既存の走査型トンネル顕微鏡を改修して実現するのは容易ではない。また、特許文献2に記載の方法を用いた場合、試料の表面や内部の情報として、クラック等の欠陥や熱的インピーダンスの異なる微小領域に関する情報を得ることは可能かもしれないが、試料表面の化学状態や内部構造を観察することはできない。

### 課題を解決するための手段

[0007] 本発明の第1の態様によると、走査型トンネル顕微鏡は、探針と、探針と試料との間の距離を制御する制御部と、探針と試料との間に直流電圧を印加する電圧印加部と、直流電圧によって探針と試料との間に流れるトンネル電流を計測する計測部と、計測部により計測されたトンネル電流の瞬時値のうち特定の周波数成分を観察値として抽出する抽出部と、抽出部により抽出された観察値に基づいて、試料の表面の化学状態および内部構造のいずれか少なくとも一つに関する情報を含む観察情報を生成する観察情報生成部とを備える。

本発明の第2の態様によると、第1の態様の走査型トンネル顕微鏡において、抽出部は、トンネル電流の瞬時値のうち、50kHz未満のいずれかの周波数を上限とする周波数成分を観察値として抽出することが好ましい。

本発明の第3の態様によると、第1または2の態様の走査型トンネル顕微鏡において、抽出部は、トンネル電流の瞬時値のうち、0.01kHz以上のいずれかの周波数を下限とする周波数成分を観察値として抽出することが好ましい。

本発明の第4の態様によると、第1乃至3のいずれか一態様の走査型トンネル顕微鏡において、観察情報生成部は、さらに計測部により計測されたト

ンネル電流の時間平均値に基づいて、試料の表面の形状に関する第2の観察情報を生成することが好ましい。

本発明の第5の態様によると、第1乃至4のいずれか一態様の走査型トンネル顕微鏡において、制御部は、計測部により計測されたトンネル電流の時間平均値が一定となるように、探針と試料との間の距離を制御することが好ましい。

本発明の第6の態様によると、第1乃至4のいずれか一態様の走査型トンネル顕微鏡において、制御部は、探針と試料との間の距離が一定となるように、探針と試料との間の距離を制御することが好ましい。

本発明の第7の態様によると、探針と表示モニタとを備えた走査型トンネル顕微鏡を用いた観察画像表示方法は、探針と試料との間に直流電圧を印加したときに探針と試料との間に流れるトンネル電流を計測し、計測されたトンネル電流の瞬時値のうち特定の周波数成分を観察値として抽出し、抽出された観察値に基づいて、試料の表面の化学状態および内部構造のいずれか少なくとも一つに関する情報を含む観察画像を表示モニタに表示する。

本発明の第8の態様によると、第7の態様の観察画像表示方法において、トンネル電流の瞬時値のうち、50kHz未満のいずれかの周波数を上限とする周波数成分を観察値として抽出することが好ましい。

本発明の第9の態様によると、第7または8の態様の観察画像表示方法において、トンネル電流の瞬時値のうち、0.01kHz以上のいずれかの周波数を下限とする周波数成分を観察値として抽出することが好ましい。

## 発明の効果

[0008] 本発明によれば、試料表面の化学状態や内部構造を観察することのできる走査型トンネル顕微鏡を容易に実現することができる。

## 図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の一実施形態による走査型トンネル顕微鏡の構成例を示すブロック図である。

[図2]本発明の一実施形態による走査型トンネル顕微鏡により得られた従来の

観察画像の一例である。

[図3]本発明の一実施形態による走査型トンネル顕微鏡により得られた新たな観察画像の一例である。

### 発明を実施するための形態

[0010] 本発明の一実施の形態による走査型トンネル顕微鏡について以下に説明する。図1は、本発明の一実施形態による走査型トンネル顕微鏡1の構成例を示すブロック図である。図1に示す走査型トンネル顕微鏡1は、探針10、計測部11、観察値抽出部12、直流電源13、探針支持部14、探針制御部15、観察情報生成部16および画像表示部17を有している。なお、図1には、走査型トンネル顕微鏡1に試料2が観察対象として取り付けられている様子を示している。

[0011] 探針10は、金属等の導電性材料によって構成されており、探針支持部14に取り付けられている。探針10の先端部分は鋭く尖った形状を有している。この探針10の先端部分を試料2の表面から数Å程度の距離まで近づけ、直流電源13によって探針10と試料2との間に所定の直流バイアス電圧 $V_s$ を印加することにより、探針10と試料2との間にトンネル電流 $I_t$ が流れる。

[0012] 計測部11は、上記のようにして探針10と試料2との間に流れるトンネル電流 $I_t$ を計測する。計測部11によるトンネル電流 $I_t$ の計測値は、計測部11から観察値抽出部12、探針制御部15および観察情報生成部16へ出力される。

[0013] 観察値抽出部12は、計測部11から出力されたトンネル電流 $I_t$ の計測値（瞬時値）のうち特定の周波数成分を観察値として抽出する。この観察値抽出部12が観察値として抽出する周波数成分の範囲は、予め設定されていてもよいし、観察者が任意に設定可能としてもよい。観察値抽出部12により抽出された観察値は、観察値抽出部12から観察情報生成部16へ出力される。なお、観察値抽出部12は、たとえばスペクトラムアナライザ等を用いて実現可能である。

- [0014] 探針 10 が取り付けられている探針支持部 14 は、探針制御部 15 の制御に応じて、試料 2 に対する探針 10 の位置を精密に変化させる。探針制御部 15 は、計測部 11 から出力されるトンネル電流  $I_t$  の計測値に基づいて探針支持部 14 の動きを制御することにより、試料 2 に対する探針 10 の位置を制御する。これにより、探針 10 と試料 2 との間の距離をトンネル電流  $I_t$  に基づいて制御すると共に、試料 2 の表面に沿って探針 10 を走査することができる。こうした探針制御部 15 による探針 10 の位置制御の結果は、探針制御部 15 から観察情報生成部 16 へ出力される。なお、探針支持部 14 は、たとえばピエゾ素子等によって構成することができる。
- [0015] 観察情報生成部 16 は、探針制御部 15 が行う上記の位置制御により試料 2 の表面に沿って探針 10 を走査したときに、計測部 11、観察値抽出部 12 および探針制御部 15 からそれぞれ出力される上記の各情報を取得する。すなわち、計測部 11 から出力されるトンネル電流  $I_t$  の計測値と、観察値抽出部 12 によりトンネル電流  $I_t$  から抽出されて観察値抽出部 12 から出力される観察値と、探針制御部 15 から出力される探針 10 の位置制御の結果とを取得する。そして、取得したこれらの情報に基づいて、試料 2 に関する 2 種類の観察画像を表すための画像情報を生成し、画像表示部 17 へ出力する。
- [0016] 画像表示部 17 は、観察情報生成部 16 から出力された画像情報に基づいて、試料 2 に関する 2 種類の観察画像を同時に、またはいずれか一方を選択的に表示する。なお、画像表示部 17 は、たとえば液晶ディスプレイ等を用いた表示モニタによって構成することができる。
- [0017] 画像表示部 17 に表示される一方の観察画像は、従来の走査型トンネル顕微鏡による観察画像と同様に、計測部 11 からのトンネル電流  $I_t$  の計測値を所定の時間単位ごとに平均化した時間平均値に基づく画像である。この観察画像を、以下では「従来の観察画像」と称する。もう一方の観察画像は、従来の走査型トンネル顕微鏡による観察画像とは異なり、観察値抽出部 12 からの観察値、すなわちトンネル電流  $I_t$  の瞬時値のうち特定の周波数成分

を抽出したものに基づく画像である。この観察画像を、以下では「新たな観察画像」と称する。

[0018] ここで、本発明に係る走査型トンネル顕微鏡の原理について説明する。探針10と試料2との間に流れるトンネル電流 $I_t$ は、周知のように探針10と試料2との間の距離に大きく依存しており、原子半個分程度の距離でも大きく変化する。走査型トンネル顕微鏡1は、これを利用することで、試料2の表面の微細な形状を観察する。すなわち、トンネル電流 $I_t$ を所定の時間単位ごとに平均化した時間平均値の大きさが一定となるように、探針制御部15により探針10と試料2との間の距離を制御しながら探針10を走査し、このときの試料2に対する高さ方向の探針支持部14の動きを観察することにより、試料2の表面の微細な形状を観察することができる。このような観察方法は、定電流モードと呼ばれている。

[0019] また、試料2に対する探針10の高さを一定に保ちながら、探針制御部15により探針10を走査し、このときのトンネル電流 $I_t$ を所定の時間単位ごとに平均化した時間平均値の大きさを観察することによっても、試料2の表面の微細な形状を観察することができる。このような観察方法は、一定高さモードと呼ばれている。

[0020] 画像表示部17に表示される前述の2種類の観察画像のうち、トンネル電流 $I_t$ の時間平均値に基づく従来の観察画像は、上記のような周知の観察方法による観察結果を画像によって表したものである。すなわち、走査型トンネル顕微鏡1は、定電流モードの場合は、トンネル電流 $I_t$ の時間平均値を一定としたときに探針制御部15から出力される探針10の位置制御の結果に基づいて、各走査位置における試料2に対する探針10の高さを表す画像を従来の観察画像として画像表示部17に表示する。また、一定高さモードの場合は、試料2に対する探針10の高さを一定としたときに計測部11から出力されるトンネル電流 $I_t$ の計測値に基づいて、各走査位置におけるトンネル電流 $I_t$ の時間平均値の大きさを表す画像を従来の観察画像として画像表示部17に表示する。



[0021] 他方、画像表示部 17 に表示されるもう一つの新たな観察画像は、前述のように、トンネル電流  $I_t$  の瞬時値のうち特定の周波数成分を抽出したものに基づく画像である。すなわち、観察値抽出部 12 から出力される観察値に基づいて、各走査位置におけるトンネル電流  $I_t$  の瞬時値のうち特定の周波数成分のスペクトルの大きさを表す画像を新たな観察画像として画像表示部 17 に表示する。これは、定電流モードと一定高さモードのいずれの場合においても同様である。

[0022] こうした周波数成分の抽出により新たな情報が得られる理由は次の通りである。まずトンネル電流が試料（表面原子）－探針（探針先端原子）間を流れる際、表面原子の（もしくは探針先端原子も合わせた）系に量子的な局所振動が誘起され、それが（表面、および探針における）局所的な電子状態の高速変化をもたらす。その変化は当然、表面の原子レベルでの化学状態、内部構造を敏感に反映し、局所的な化学状態や内部構造を反映した固有の変化となる。その結果、局所振動は両者（試料と探針）の局所電子状態を反映して流れるトンネル電流に対し、高周波の変化となって現れる。こうした、表面原子－探針原子間における、高周波振動と電子状態のカップリングによる効果を、従来にない形で、トンネル電流の高周波成分として抽出することが本発明の前提となる。すなわち、観察値抽出部 12 によって抽出されるトンネル電流  $I_t$  の周波数成分とは、トンネル電流  $I_t$  が流れることで試料 2 の表面に生じる局所振動に応じた周波数成分である。

[0023] したがって、本願では直流の電圧印加に対し、トンネル電流の高周波成分を抽出する形で議論を行っているが、上記の理由から、積極的に印加電圧を高周波の交流にして信号はそのまま（周波数分解しないで）見る、または、印加電圧を高周波の交流にして、信号も高周波で分解・抽出する、という手法も有効である。この点、特許文献 1 に記載された従来の電気工学的手法、すなわち、印加した交流成分の電流から交流成分を分離し、探針と試料間のアドミタンスのコンダクタンス成分およびサセプタンス成分の特性を計測する手法とは前提を異にしており、したがって周波数帯域や装置構成も異なっ

ている。

[0024] 図2は、本発明の一実施形態による走査型トンネル顕微鏡1により得られた従来の観察画像の一例である。この観察画像は、試料2として、Au(111)基板の清浄表面上にCoの単原子層を蒸着することでCoナノアイランド列を形成したものをを用いて、これを定電流モードにより観察して得られた従来の観察画像である。このときの測定条件として、直流バイアス電圧Vsを0.6V、トンネル電流Itを0.5nAとした。

[0025] 図2に示す従来の観察画像では、各走査位置における試料2に対する探針10の高さが画像のコントラストで表されている。すなわち、試料2の表面上で高くなっている部分は高コントラストの明るい色合いで示され、反対に低くなっている部分は低コントラストの暗い色合いで示されている。そのため、図2に示す従来の観察画像から試料2の表面形状を観察することができる。たとえば、左上から右下方向に向かって4列のCoナノアイランド列が形成されており、図の下部には他の部分よりも一段低いテラスが形成されていることが分かる。また中央右には大きく平坦な島が存在している（島全体の形状と平坦さ、エッジ形状とから、恐らくAuの島と思われる）。

[0026] 図3は、本発明の一実施形態による走査型トンネル顕微鏡1により得られた新たな観察画像の一例である。この観察画像は、図2と同じ試料2を用いて、同一の測定条件で同じ部分を観察することにより得られた新たな観察画像である。なお、このとき観察値抽出部12は、計測部11から出力されたトンネル電流Itの瞬時値のうち、0.01~50kHzの周波数成分を観察値として抽出した。

[0027] 図3に示す新たな観察画像では、各走査位置における観察値の大きさが画像のコントラストで表されている。すなわち、トンネル電流Itの瞬時値のうち観察値抽出部12で観察値として抽出された0.01~50kHzの周波数成分のスペクトルが大きい部分は高コントラストの明るい色合いで示され、反対に小さい部分は低コントラストの暗い色合いで示されている。

[0028] 図2に示した従来の観察画像と、図3に示した従来の観察画像とを比較す

ると、図2の従来の観察画像では、各C<sub>60</sub>ナノアイランドの形状が鮮明ではなく、各アイランド周辺にも顆粒状の破片状の構造が見られる（探針の掃引によりアイランドが崩れたもの）。またその内部および周辺の構造も判然としない。これに対して、図3の新たな観察画像では、各C<sub>60</sub>ナノアイランドの形状がコントラストの暗い色合いで鮮明に示されており、C<sub>60</sub>の分布が図2の白い部分（単に構造の高低で見た、高い部分）よりも実際には広いことがわかる。この事実は、原子レベルのC<sub>60</sub>がアイランド周辺にも分布していることを明らかにしており、各C<sub>60</sub>アイランドが探針の掃引で崩れた過程に鑑みて、極めて妥当な知見である（ただし、旧来の手法による図2ではこの情報はわからない）。さらにそのうち一部については内部構造も確認できることが分かる。

[0029] また、図2の従来の観察画像では、画像下の部分に形成されているテラスが一段下のテラスに比べて高コントラストの明るい色合いで示されている。これに対して、図3の新たな観察画像では、テラスの上下は同程度のコントラストで示されている（同じAuであるため）。図2の中央右にある大きな島についても、高さのコントラスト（図2）では明るく見えるが、図3では島の周囲のテラスと同じ明るさであり、この島が周囲のテラスと同じAuであることを証明している（これも図2では分からない）。さらに、図3の新たな観察画像では、この大きな島の外周境界や画像下のテラスの境界部分に位置するステップに沿ってC<sub>60</sub>が吸着されているのを確認することができる。これは、図2の従来の観察画像では確認することができない。

[0030] 以上説明したように、図3の新たな観察画像には、試料2の表面における材料の種類や組成のみならず、その化学状態（元素状態）、すなわちテラス境界のステップに沿って吸着されているC<sub>60</sub>や、試料2の表面の内部構造（表面の化学種、化学状態、もしくは他の電磁的・構造的な要因に起因する極微細な表層分布）、すなわちC<sub>60</sub>ナノアイランドの内部構造などが示されていることが分かる。これらの観察結果は、図2の従来の観察画像では得られないものである。また、図3の新たな観察画像によれば、トンネル電流によ

って生じる試料2の表面の量子的な局所振動から、試料2の表面の化学状態や内部構造を観察することができる。そのため、従来のように光音響効果等を用いて試料表面に微小振動を誘起する場合とは異なり、局所振動の誘起と試料の観察とを一つの系で同時に行うことができる。

[0031] 以上説明した実施の形態によれば、次の(1)～(3)のような作用効果を奏することができる。

[0032] (1) 走査型トンネル顕微鏡1において、探針制御部15は、探針10と試料2との間の距離を制御する。計測部11は、直流電源13により探針10と試料2との間に印加された直流電圧によって探針10と試料2との間に流れるトンネル電流 $I_t$ を計測する。観察値抽出部12は、計測部11により計測されたトンネル電流 $I_t$ の瞬時値のうち特定の周波数成分を観察値として抽出する。この観察値に基づいて、観察情報生成部16は、試料2の表面の化学状態や内部構造に関する情報を含む新たな観察画像を表すための画像情報を生成する。そして、図3のような新たな観察画像を画像表示部17に表示するようにした。これにより、試料2の表面の化学状態や内部構造を観察することのできる走査型トンネル顕微鏡1を容易に実現することができる。

[0033] (2) 観察情報生成部16はさらに、計測部11により計測されたトンネル電流 $I_t$ の時間平均値に基づいて、試料2の表面の形状に関する従来の観察画像を表すための画像情報を生成する。そして、図2のような従来の観察画像を画像表示部17に表示するようにした。これにより、図3のような新たな観察画像を取得しつつ、それと同時に図2のような従来の観察画像も並行して取得することができる。

[0034] (3) 探針制御部15は、定電流モードの場合は、計測部11により計測されたトンネル電流 $I_t$ の時間平均値が一定となるように、探針10と試料2との間の距離を制御する。また、一定高さモードの場合は、探針10と試料2との間の距離が一定となるように、探針10と試料2との間の距離を制御する。このようにしたので、試料2の種類や表面の形状、測定時の各種条件

等に応じて、適切な方法により探針10と試料2との間の距離を制御することができる。

[0035] なお、以上説明した実施の形態では、従来の観察画像として、図2のような観察画像を例示した。また、新たな観察画像として、試料2の表面の化学状態および内部構造が示されている図3のような観察画像を例示した。しかし、本発明に係る走査型トンネル顕微鏡によって得られる観察画像はこれらに限定されるものではない。たとえば、新たな観察画像として、試料2の表面の化学状態または内部構造のいずれか一方のみが示されている観察画像を取得してもよい。

[0036] また、以上説明した実施の形態では、観察値抽出部12において、トンネル電流 $I_t$ の瞬時値のうち0.01~50kHzの周波数成分を観察値として抽出する例を説明した。しかし、観察値抽出部12が抽出する周波数成分の範囲はこの例に限定されるものではない。たとえば、観察値として抽出する周波数成分の上限を50kHzよりも低くしたり、下限を0.01kHzよりも高くしたりすることで、その範囲をより狭く設定することができる。すなわち、50kHz未満のいずれかの周波数を上限とする周波数成分や、0.01kHz以上のいずれかの周波数を下限とする周波数成分を、トンネル電流 $I_t$ の瞬時値から観察値として抽出することができる。このようにしても、抽出した観察値に基づいて図3に示したような新たな観察画像を得ることができる。あるいは、0.01~50kHz以外の範囲の周波数成分を観察値として抽出してもよい。試料2の表面の化学状態および内部構造のいずれか少なくとも一つに関する観察情報を生成できるものである限り、トンネル電流 $I_t$ の瞬時値からどのような範囲の周波数成分を観察値として抽出してもよい。

[0037] さらに、上記の実施の形態では、観察情報生成部16において、取得した各情報に基づいて画像情報を生成し、その画像情報を画像表示部17へ出力することにより、図2に示したような従来の観察画像や、図3に示したような新たな観察画像を画像表示部17に表示する例を説明した。しかし、本発

明に係る走査型トンネル顕微鏡は、こうした観察画像を表示するものに限定されない。たとえば、画像表示部17の代わりにプリンタを搭載し、このプリンタを用いて従来の観察画像や新たな観察画像を印刷してもよい。また、観察情報生成部16により生成された画像情報を外部に接続されたコンピュータや記憶装置へ出力してもよい。さらに、各走査位置における試料2に対する探針10の高さ（定電流モードの場合）またはトンネル電流 $I_t$ の時間平均値（一定高さモードの場合）の情報と、各走査位置における観察値、すなわちトンネル電流 $I_t$ の瞬時値のうち観察値抽出部12で抽出された特定の周波数成分のスペクトルの情報とを、画像情報以外の形式で観察情報生成部16が生成して出力するようにしてもよい。換言すると、観察情報生成部16は、計測部11により計測されたトンネル電流 $I_t$ の時間平均値に基づいて、試料2の表面の形状に関する様々な観察情報を生成することができる。また、観察値抽出部12により抽出された観察値に基づいて、試料2の表面の化学状態および内部構造のいずれか少なくとも一つに関する情報を含む様々な観察情報を生成することができる。

[0038] さらに、上記の実施形態以外でも、観察画像をプリンタや何らかの媒体で表示するだけでなく、観察画像にたよらずに化学状態、内部構造がわかる実施方法も可能である。この場合、探針を走査して画像を取得するのではなく、観察エリア上の1点で探針を止め、そこで直流印加電圧を走査し、その結果得られるトンネル電流 $I$ の高周波成分について $I-V$ スペクトルを取得する（ $V$ は印加電圧）。この $I-V$ スペクトルは、探針先端の原子直下に固定した位置について、局所的な電子状態を反映した、より詳細な化学状態、内部構造を、印加電圧 $V$ （つまり観察している電子準位）に対応するトンネル電流 $I$ の高周波成分という形で得ることができる。

[0039] 以上説明した実施の形態や各種の変形例はあくまで一例であり、発明の特徴が損なわれない限り、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。

[0040] 次の優先権基礎出願の開示内容は引用文としてここに組み込まれる。

日本国特許出願2012年第221324号（2012年10月3日出願

)

**符号の説明**

- [0041]      1    走査型トンネル顕微鏡  
             2    試料  
            1 0   探針  
            1 1   計測部  
            1 2   観察値抽出部  
            1 3   直流電源  
            1 4   探針支持部  
            1 5   探針制御部  
            1 6   観察情報生成部  
            1 7   画像表示部

## 請求の範囲

- [請求項1] 探針と、  
前記探針と試料との間の距離を制御する制御部と、  
前記探針と前記試料との間に直流電圧を印加する電圧印加部と、  
前記直流電圧によって前記探針と前記試料との間に流れるトンネル電流を計測する計測部と、  
前記計測部により計測された前記トンネル電流の瞬時値のうち特定の周波数成分を観察値として抽出する抽出部と、  
前記抽出部により抽出された前記観察値に基づいて、前記試料の表面の化学状態および内部構造のいずれか少なくとも一つに関する情報を含む観察情報を生成する観察情報生成部とを備える走査型トンネル顕微鏡。
- [請求項2] 請求項1に記載の走査型トンネル顕微鏡において、  
前記抽出部は、前記トンネル電流の瞬時値のうち、50kHz未満のいずれかの周波数を上限とする周波数成分を前記観察値として抽出する走査型トンネル顕微鏡。
- [請求項3] 請求項1または2に記載の走査型トンネル顕微鏡において、  
前記抽出部は、前記トンネル電流の瞬時値のうち、0.01kHz以上のいずれかの周波数を下限とする周波数成分を前記観察値として抽出する走査型トンネル顕微鏡。
- [請求項4] 請求項1乃至3のいずれか一項に記載の走査型トンネル顕微鏡において、  
前記観察情報生成部は、さらに前記計測部により計測された前記トンネル電流の時間平均値に基づいて、前記試料の表面の形状に関する第2の観察情報を生成する走査型トンネル顕微鏡。
- [請求項5] 請求項1乃至4のいずれか一項に記載の走査型トンネル顕微鏡において、  
前記制御部は、前記計測部により計測された前記トンネル電流の時



間平均値が一定となるように、前記探針と前記試料との間の距離を制御する走査型トンネル顕微鏡。

[請求項6] 請求項1乃至4のいずれか一項に記載の走査型トンネル顕微鏡において、

前記制御部は、前記探針と前記試料との間の距離が一定となるように、前記探針と前記試料との間の距離を制御する走査型トンネル顕微鏡。

[請求項7] 探針と表示モニタとを備えた走査型トンネル顕微鏡を用いた観察画像表示方法であって、

前記探針と試料との間に直流電圧を印加したときに前記探針と前記試料との間に流れるトンネル電流を計測し、

前記計測されたトンネル電流の瞬時値のうち特定の周波数成分を観察値として抽出し、

前記抽出された観察値に基づいて、前記試料の表面の化学状態および内部構造のいずれか少なくとも一つに関する情報を含む観察画像を前記表示モニタに表示する観察画像表示方法。

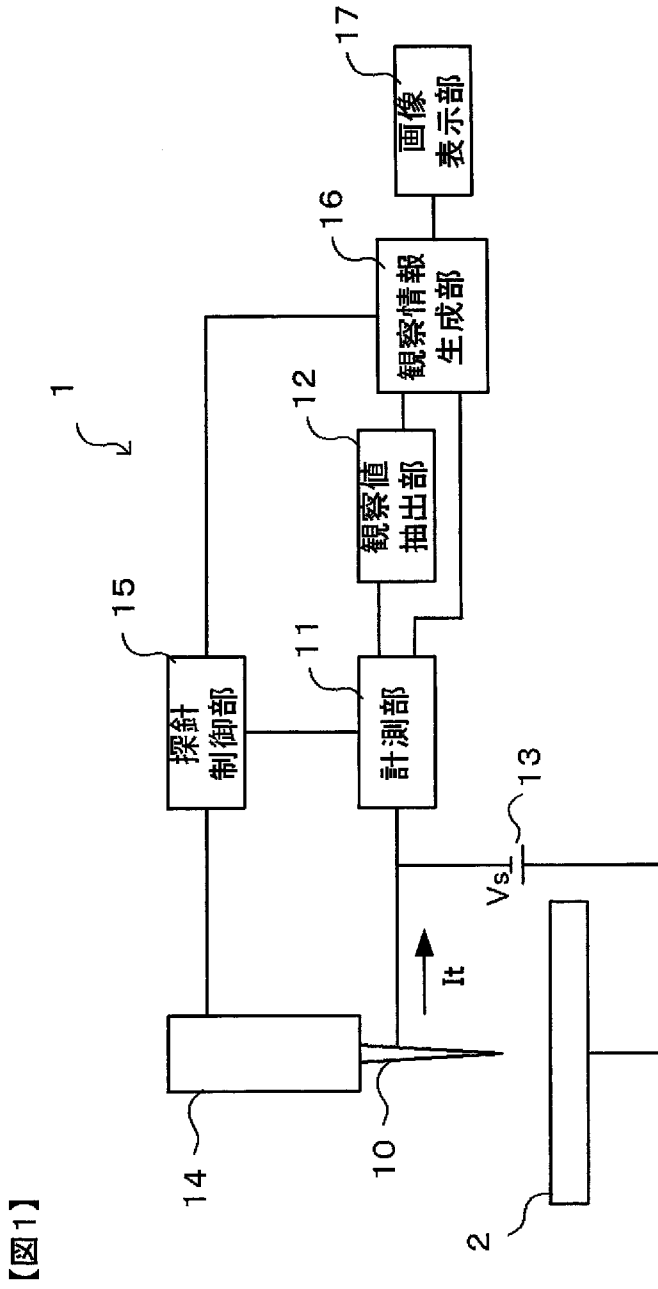
[請求項8] 請求項7に記載の観察画像表示方法において、

前記トンネル電流の瞬時値のうち、50kHz未満のいずれかの周波数を上限とする周波数成分を前記観察値として抽出する観察画像表示方法。

[請求項9] 請求項7または8に記載の観察画像表示方法において、

前記トンネル電流の瞬時値のうち、0.01kHz以上のいずれかの周波数を下限とする周波数成分を前記観察値として抽出する観察画像表示方法。

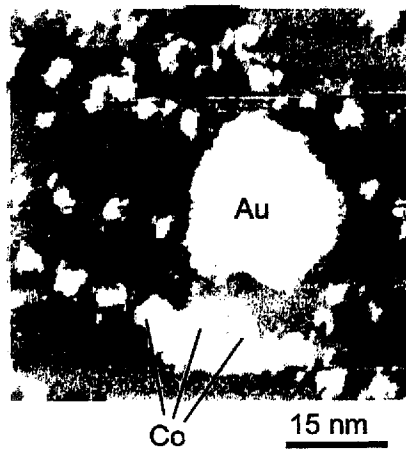
【図1】



【図1】

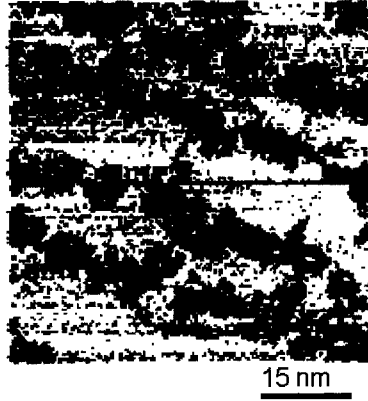
[図2]

【図2】



[図3]

【図3】



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2013/076957

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
G01Q30/04(2010.01)i, G01B7/34(2006.01)i, G01Q60/10(2010.01)i

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)  
G01Q10/00-90/00

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), CiNii

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 8-285871 A (Hitachi, Ltd.), 01 November 1996 (01.11.1996), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	WO 2002/023159 A1 (Koji MAEDA), 21 March 2002 (21.03.2002), entire text; all drawings & AU 8621501 A	1-9

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 18 December, 2013 (18.12.13)	Date of mailing of the international search report 07 January, 2014 (07.01.14)
---	---

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. G01Q30/04(2010.01)i, G01B7/34(2006.01)i, G01Q60/10(2010.01)i		
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. G01Q10/00-90/00		
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 1971-2013年 日本国実用新案登録公報 1996-2013年 日本国登録実用新案公報 1994-2013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) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), CiNii		
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 請求項の番号
X	JP 8-285871 A (株式会社日立製作所) 1996. 11. 01, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9
A	WO 2002/023159 A1 (前田康二) 2002. 03. 21, 全文、全図 & AU 8621501 A	1-9
<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	国際調査報告の発送日	
18. 12. 2013	07. 01. 2014	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 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) 阿部 知	2 J   4 6 3 5
	電話番号 03-3581-1101 内線 3252	