

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-308653

(P2005-308653A)

(43) 公開日 平成17年11月4日(2005.11.4)

(51) Int. Cl.⁷

G01N 13/10

F I

G O I N 13/10

H

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2004-128772 (P2004-128772)
 (22) 出願日 平成16年4月23日 (2004. 4. 23)

(71) 出願人 503360115
 独立行政法人科学技術振興機構
 埼玉県川口市本町4丁目1番8号
 (74) 代理人 100120640
 弁理士 森 幸一
 (72) 発明者 丹田 聡
 北海道札幌市白石区東札幌2条3丁目5-20
 (72) 発明者 稲垣 克彦
 北海道札幌市北区新琴似7条3丁目1-32-102
 (72) 発明者 大河 裕之
 北海道札幌市北区北22条西8丁目1-28-308

最終頁に続く

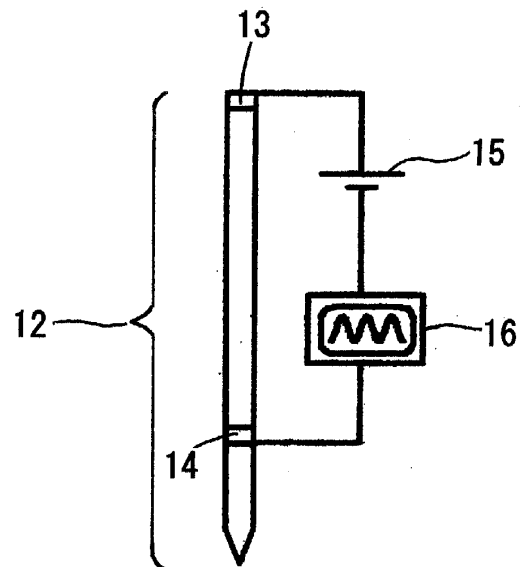
(54) 【発明の名称】 電荷密度波量子位相顕微鏡及び電荷密度波量子干渉計

(57) 【要約】

【課題】 電荷密度波の巨視的量子位相情報を積極的に活用した電荷密度波量子位相顕微鏡及び電荷密度波量子干渉計を提供する。

【解決手段】 電荷密度波結晶からなる探針12を用いて電荷密度波量子位相顕微鏡を構成する。この探針12を試料に接触させたときのその電荷密度波結晶のしきい電場の変化を狭帯域信号(NBS)の振動数を測定することにより測定する。また、電荷密度波結晶からなる針状結晶を用いて電荷密度波量子干渉計を構成する。針状結晶の側面にゲート電圧を印加したときの電荷密度波結晶のしきい電場の変化を狭帯域信号の振動数を測定することにより測定する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電荷密度波結晶からなる探針を用いたことを特徴とする電荷密度波量子位相顕微鏡。

【請求項 2】

上記探針を試料に接触させたときの上記電荷密度波結晶のしきい電場の変化を狭帯域信号の振動数を測定することにより測定することを特徴とする請求項 1 記載の電荷密度波量子位相顕微鏡。

【請求項 3】

電荷密度波結晶からなる針状結晶を用いたことを特徴とする電荷密度波量子干渉計。

【請求項 4】

上記針状結晶の側面にゲート電圧を印加したときの上記電荷密度波結晶のしきい電場の変化を狭帯域信号の振動数を測定することにより測定することを特徴とする請求項 3 記載の電荷密度波量子干渉計。

【請求項 5】

上記電荷密度波結晶が $M X_p$ (ただし、 M は $T a$ 及び $N b$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 X は S 、 $S e$ 及び $T e$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 $1.8 \leq p \leq 2.2$)、 $M X_q$ (ただし、 M は $T a$ 及び $N b$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 X は S 、 $S e$ 及び $T e$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 $2.7 \leq q \leq 3.3$) または $M X_r$ (ただし、 M は $T a$ 及び $N b$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 X は S 、 $S e$ 及び $T e$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 $3.6 \leq r \leq 4.4$) からなることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の電荷密度波量子位相顕微鏡。

【請求項 6】

上記電荷密度波結晶が $M X_p$ (ただし、 M は $T a$ 及び $N b$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 X は S 、 $S e$ 及び $T e$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 $1.8 \leq p \leq 2.2$)、 $M X_q$ (ただし、 M は $T a$ 及び $N b$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 X は S 、 $S e$ 及び $T e$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 $2.7 \leq q \leq 3.3$) または $M X_r$ (ただし、 M は $T a$ 及び $N b$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 X は S 、 $S e$ 及び $T e$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 $3.6 \leq r \leq 4.4$) からなることを特徴とする請求項 3 または 4 記載の電荷密度波量子干渉計。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、電荷密度波量子位相顕微鏡及び電荷密度波量子干渉計に関し、例えば、電荷密度波ナノ構造体を用いた新規なデバイスの作製や生体高分子の構造決定などに用いて好適なものである。

【背景技術】

【0002】

金属などの導体中の伝導電子が巨視的な量子コヒーレント状態になるのは、超伝導、電荷密度波 (CDW)、量子ホール液体の 3 例しかない。外部からの操作なしでは前 2 者であるといっても過言ではない。特に、CDW 体は室温で相転移を示すので、実用上、CDW 巨視的量子位相を利用した素子並びに計測デバイスが半導体テクノロジーを超える潜在性を有しており注目されている。最近、こうした背景の下、CDW 3 端子電界・電流駆動素子、フェムト秒領域のメモリ素子などが考案され、それぞれ新しい量子機能素子として新たな効果を実証されている (例えば、非特許文献 1)。

【非特許文献 1】Appl. Phys. Lett. 80, 871(2002)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

10

20

30

40

50

C D W ナノ構造体を用いたデバイスの作製にはその評価を行うためのツールが不可欠と考えられるが、本発明者らの知る限り、これまで、有効なツールについての具体的な提案は何らなされていないのが実情である。

そこで、この発明が解決しようとする課題は、電荷密度波の巨視的量子位相情報を積極的に活用することで電荷密度波ナノ構造体の解析や生体高分子の構造の決定などを高精度で行うことができ、しかも小型に構成することができる電荷密度波量子位相顕微鏡を提供することにある。

この発明が解決しようとする他の課題は、電荷密度波の巨視的量子位相情報を積極的に活用することで局所的な電場を高精度で測定することができる電荷密度波量子干渉計を提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明者らは、上記課題を解決するために、理論的に設計されたC D W ナノ構造体を積極的に物質科学の立場から創製し、これらの物質が外部刺激を受けた際に生ずる電気・弾性・光学的性質の変化を明らかにしながら応用への展開を図ることを考えた。特に、C D W の巨視的量子位相情報を積極的に活用し、小型で高性能な顕微鏡の開発を目指すこととした。これは、C D W ナノ構造体を用いたデバイスの作製に不可欠なツールであるばかりでなく、DNAに代表される生体高分子の構造決定や量子位相情報を用いた量子コンピューターの開発などに大きな発展をもたらすものとなり得る。

【0005】

一方、C D W は不純物や試料端の影響でピン止めされているが、しきい電場以上の電場を印加するとスライディングを起こし、電気伝導に寄与する。このC D W のスライディングは電子の集団的な並進運動であり、低次元導体に特徴的な現象である。C D W がピン止めポテンシャル中をスライディングすることにより、C D W の運ぶ直流電流成分に比例した振動数の交流電流、すなわち狭帯域信号(narrow band signal: N B S) (狭帯域雑音(narrow band noise: N B N)とも呼ばれる)が生ずる。すなわち、しきい電場以上の電場を印加したときに流れる過剰電流部分を J_{CDW} 、上記のN B Sの振動数を ω_{NBS} とすると、 $\omega_{NBS} \propto J_{CDW}$ である。よって、しきい電場の変化はこのN B Sの振動数 ω_{NBS} を測定することにより高精度で測定することが可能である。このしきい電場はC D W 結晶に生ずるわずかな応力によって変化するので、C D W の針に電極を付けてN B Sを測定するだけで、原子間力顕微鏡(AFM)を越える機能を持つ高精度な顕微鏡を作ることができる。例えば、長さが100nmの針状C D W 結晶を用いれば、周波数計の感度が1Hzとして、1 μ mの分解能を持つ顕微鏡の実現が可能である。また、例えばAFMにおいてカンチレバーの探針の変位はカンチレバーにレーザー光を照射することにより検出しているが、このC D W 顕微鏡では、そのような光学系が不要となるため、非常に小型の構成とすることができる。このため、例えば、注射針のように生体に直接導入できるという大きな利点を持つ。

20

30

【0006】

また、高純度で微小なC D W 針状結晶では、試料の両端でのピン止め力が強め合うか弱め合うかは、C D W の波長 λ_{CDW} と試料の長さとの兼ね合いで決まる。C D W 針状結晶へのゲート電圧の印加による波長 λ_{CDW} の変化とともにしきい電場は振動する。これは超伝導量子干渉計(SQUID)とまったく同様な振る舞いであり、電圧を測定する一種の量子干渉計となる。このしきい電場の変化をN B Sの測定によって検出することにより、局所的な電場(電荷)を測定する高精度な顕微鏡を作ることが可能である。

40

【0007】

この発明は、上記の検討に基づいて案出されたものである。

すなわち、上記課題を解決するために、第1の発明は、

電荷密度波結晶からなる探針を用いたことを特徴とする電荷密度波量子位相顕微鏡である。

この第1の発明では、典型的には、電荷密度波結晶からなる探針を試料に接触させたと

50

きのその電荷密度波結晶のしきい電場の変化を狭帯域信号 (N B S) の振動数を測定することにより測定する。

あるいは、探針を試料に接近させたときにそれらの間に生ずる電荷密度波トンネリングを利用して試料の電荷密度波状態を測定することもできる。

【 0 0 0 8 】

第 2 の発明は、

電荷密度波結晶からなる針状結晶を用いたことを特徴とする電荷密度波量子干渉計である。

この第 2 の発明では、典型的には、針状結晶の側面にゲート電圧を印加したときの電荷密度波結晶のしきい電場の変化を狭帯域信号の振動数を測定することにより測定する。

10

【 0 0 0 9 】

第 1 及び第 2 の発明において、電荷密度波結晶としては、基本的にはどのようなものを用いてもよいが、好適には、 $M X_p$ (ただし、 M は $T a$ 及び $N b$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 X は S 、 $S e$ 及び $T e$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 $1.8 \leq p \leq 2.2$)、 $M X_q$ (ただし、 M は $T a$ 及び $N b$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 X は S 、 $S e$ 及び $T e$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 $2.7 \leq q \leq 3.3$) または $M X_r$ (ただし、 M は $T a$ 及び $N b$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 X は S 、 $S e$ 及び $T e$ からなる群より選ばれた少なくとも一種の元素、 $3.6 \leq r \leq 4.4$) からなるものが用いられる。 $M X_p$ の具体例を挙げると $T a S e_2$ や $T a S_2$ 、 $M X_q$ の具体例を挙げると $N b S e_3$ や $N b S_3$ 、 $M X_r$ の具体例を挙げると $N b T e_4$ などである。

20

電荷密度波結晶は、典型的には針状結晶からなる。電荷密度波結晶あるいは針状結晶には、ナノチューブのような管状結晶も含まれ、また、単結晶だけでなく、多結晶であってもよい。

【 0 0 1 0 】

上述のように構成された第 1 の発明においては、電荷密度波結晶からなる探針を試料の表面に接触させたとき、探針に応力が生ずることによる電荷密度波のしきい電場の変化を狭帯域信号の振動数を測定することにより高精度で測定することができる。あるいは、探針を試料の表面に接近させたとき、それらの間に生ずる電荷密度波トンネリングを利用して試料の電荷密度波状態を測定することができる。また、A F M で必要な探針の変位の検出のための光学系が不要である。

30

また、第 2 の発明においては、電荷密度波結晶からなる針状結晶にゲート電圧を印加したときに生ずる電荷密度波のしきい電場の変化を狭帯域信号の振動数を測定することにより高精度で測定することができる。

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

この発明によれば、電荷密度波の巨視的量子位相情報を積極的に活用することで電荷密度波ナノ構造体の解析や生体高分子の構造の決定などを高精度で行うことができ、しかも小型に構成することができる電荷密度波量子位相顕微鏡を実現することができる。

また、この発明によれば、電荷密度波の巨視的量子位相情報を積極的に活用することで局所的な電場を高精度で測定することができる電荷密度波量子干渉計を実現することができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 2 】

以下、この発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

図 1 はこの発明の第 1 の実施形態による C D W 量子位相顕微鏡を示す。

図 1 に示すように、この C D W 量子位相顕微鏡においては、一般的な走査プローブ顕微鏡と同様な圧電制御装置 1 1 の下部に C D W 針状結晶からなる探針 1 2 が取り付けられており、圧電制御装置 1 1 によりこの探針 1 2 を x 、 y 、 z 方向に三次元的に走査することができるようになっている。図 2 に示すように、探針 1 2 には電極 1 3、1 4 が設けられ

50

ており、これらの電極 13、14 の間に電源 15 及び周波数計 16 を含む外部回路が接続されている。そして、周波数計 16 により、NBS の振動数を測定し、それによってしきい電場の変化を測定することができるようになっている。

【0013】

次に、この CDW 量子位相顕微鏡の使用方法を説明する。ここでは、一例として CDW ナノ構造体からなる試料を用いる場合を考える。

図 1 に示すように、CDW ナノ構造体からなる試料 17 の表面に探針 12 を接触させ、走査する。探針 12 が試料 17 の表面に接触すると、探針 12 の先端が変位し、それによって探針 12 に応力が生ずる。この応力により、探針 12 のしきい電場が変化し、それにより探針 12 を流れる NBS の振動数が変化する。そして、この NBS の振動数の変化が表面像に変換される。表面像への変換、言い換えると物体の表面形状等の可視化には、例えば、周波数 - 電圧 (電流) 変換器の出力の可視化、あるいはフィードバックを構成する制御信号の可視化がある。

10

【0014】

もう一つの使用方法を説明する。

図 3 に、試料 17 の CDW 状態におけるイオンの配置及び CDW (電荷密度 (x)) と探針 12 のイオンの配置及び CDW とを示す。 (x) は次式で表される。

$$(x) = x_0 + x_1 \cos(Qx + \phi)$$

ただし、 x は 1 次元軸方向の空間座標、 x_1 は電荷密度波の振幅、 Q は波数ベクトル (ネステイングベクトル) で $Q = 2k_F$ (k_F はフェルミ波数)、 $x_0 = -en_0$ (n_0 は電子の密度)、 ϕ は位相を示す。

20

【0015】

探針 12 と試料 17 との接触点において、探針 12 の先端の CDW の位相を ϕ_p 、試料 17 の表面の CDW の位相を ϕ_s とすると、 $\phi_p - \phi_s = V_{th}$ が成立する。ただし、 V_{th} はしきい電場に対応する電圧 (しきい電圧) である。探針 12 の先端が、走査に伴い変位すると、それに伴って ϕ_s が変化し、これが $\phi_p - \phi_s$ の変化をもたらして V_{th} 、従ってしきい電場が変化することとなる。そして、これが NBS の振動数の変化として測定される。

【0016】

さらにもう一つの使用方法を説明する。これは CDW トンネリングを利用するものである。

30

CDW ナノ構造体からなる試料 17 の表面に探針 12 を接近させ、走査する。探針 12 の先端の CDW の位相を ϕ_p 、試料 17 の表面の CDW の位相を ϕ_s とする。探針 12 の先端が、走査に伴い変位すると、それに伴って ϕ_s が変化し、これが $\phi_p - \phi_s$ の変化をもたらし、探針 12 と試料 17 との間に流れるトンネリング電流が変化する。そして、この電流あるいは電圧の変化が表面像に変換される。

【0017】

次に、CDW 針状結晶からなる探針 12 の作製方法について説明する。

まず、図 4 A に示すように、円錐体 21 を作製する。この円錐体 21 は、後述の電子ビームの照射により CDW 結晶を成長させる際に加熱されて軟化しない程度の融点、例えば 800 以上の融点を有するものであれば、基本的にはどのような材料からなるものでもよいが、具体的には、例えば Si 、 Si_3N_4 、 SiO_2 、ダイヤモンド、アルミナ (サファイヤ)、 TaS_2 、 $GaAs$ 、 Ni 、 Ta などを用いることができる。

40

【0018】

次に、図 4 B に示すように、真空中において、この円錐体 21 の表面に、成長させようとする CDW 結晶の原料膜 22 を形成する。この原料膜 22 としては、例えば CDW 結晶として $TaSe_2$ を用いる場合には、 Ta 膜及び Se 膜からなる二層膜を用いるほか、 $TaSe_2$ 膜そのものであってもよい。この原料膜 22 は、例えば真空蒸着法、スパッタリング法、化学気相成長 (CVD) 法、有機金属化学気相成長 (MOCVD) 法、分子線エピタキシー (MBE) 法などの成膜法のいずれか、またはこれらを適宜組み合わせ形成

50

することができる。

【0019】

次に、図4Cに示すように、こうして原料膜22を形成した円錐体21の先端部からその側面に沿って所定距離L、例えば1~3 μm 程度離れた点Pを目掛けて電子ビーム23を室温で照射する。この電子ビーム23のスポットサイズは、例えば50nm~1 μm 程度とする。このとき、図4Dに示すように、この電子ビーム23の照射部位ではなく、円錐体21の先端部近傍にCDW針状結晶24が成長する。電子ビーム23の照射時には一般に、電子ビーム23の照射部位とCDW針状結晶24の成長部位との間に、先端部を低温側として10~100 / μm の温度勾配が存在する。この場合、電子ビーム23の照射部位の温度はCDW針状結晶24の成長温度よりも高いが、CDW針状結晶24の成長部位はより温度が低くなって成長に最も適した温度になっている。このCDW針状結晶24の成長は、固相エピタキシャル成長によるものと考えられる。このCDW針状結晶24の太さ(径)は例えば5nm~1 μm 程度、長さは例えば10nm~2 μm 、あるいは10~500nmであり、アスペクト比(長さ/太さ)は一般的には100以下である。

【実施例】

【0020】

Siからなる円錐体21の表面にTa膜及びSe膜を真空蒸着法により順次形成した後、これらのTa膜及びSe膜からなる原料膜22が形成された円錐体21の先端部からその側面に沿ってL=2 μm 離れた部位に電子ビーム23を照射した。Ta膜の厚さは100nm、Se膜の厚さは200nmとした。電子ビーム23のスポットサイズは1 μm 、加速電圧は25kV、照射電流量は 1×10^{-7} μA 、照射時間は30分とした。また、電子ビーム23の照射は $3 \sim 4 \times 10^{-6}$ Torrの圧力の真空中で行った。その結果、先端部から約0.5 μm 離れた部位に直径約0.4 μm のTaSe₂針状結晶が約1.5 μm の長さに成長した。その走査型電子顕微鏡(SEM)写真を図5に示す。この場合、電子ビーム23の照射部位の円錐体21の温度は800~850程度、成長部位の温度は600~700程度と考えられる。

このTaSe₂針状結晶を探針12に用いてTaSe₂試料の表面を走査したところ、図6に示すような良好な原子像が得られた。

次に、このTaSe₂針状結晶に電極13、14を形成したものを探針12に用いたCDW量子位相顕微鏡によりTaSe₂試料の表面を走査したところ、図7に示すようなCDW像が得られた。

【0021】

以上のように、この第1の実施形態によれば、CDWの巨視的量子位相情報を積極的に活用したCDW量子位相顕微鏡を実現することができる。このCDW量子位相顕微鏡は、AFMを越える機能を持つ高精度な顕微鏡である。例えば、探針12として長さが100nmのものをいれれば、周波数計16の感度が1Hzであるとして、1pmの分解能を得ることができる。また、このCDW量子位相顕微鏡はAFMなどと異なり光学系が不要なため、その分だけ小型に構成することができるという利点がある。

【0022】

次に、この発明の第2の実施形態によるCDW量子位相顕微鏡について説明する。

図8に示すように、このCDW量子位相顕微鏡においては、カンチレバー31の先端下部にSiなどからなる探針32が取り付けられている。カンチレバー31の他端は圧電制御装置(図示せず)に取り付けられている。カンチレバー31の上に、CDW針状結晶33が一体的に設けられている。このCDW針状結晶33の両端には電極34、35が設けられており、これらの電極34、35の間に電源36及び周波数計37を含む外部回路が接続されている。そして、周波数計37により、NBSの振動数を測定し、それによってしきい電場の変化を測定することができるようになっている。

【0023】

次に、このCDW量子位相顕微鏡の使用方法を説明する。ここでは、一例としてCDWナノ構造体からなる試料を用いる場合を考える。

10

20

30

40

50

図 8 に示すように、CDW ナノ構造体からなる試料 17 の表面に探針 32 を接触させ、走査する。探針 32 が試料 17 の表面に接触すると、探針 32 の先端が変位し、それに伴ってカンチレバー 31 の先端が変位し、それによってカンチレバー 31 上の CDW 針状結晶 33 が伸縮して応力が生ずる。この応力により、CDW 針状結晶 32 のしきい電場が変化し、それにより CDW 針状結晶 32 を流れる NBS の振動数が変化する。そして、この NBS の振動数の変化が表面像に変換される。

上記以外のごことは第 1 の実施形態と同様である。

この第 2 の実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0024】

次に、この発明の第 3 の実施形態による CDW 量子干渉計について説明する。この CDW 量子干渉計を図 9 に示す。 10

図 9 に示すように、この CDW 量子干渉計においては、CDW 針状結晶 41 の両端に電極 42、43 が設けられており、これらの電極 42、43 の間に電源 44 及び周波数計 45 を含む外部回路が接続されている。CDW 針状結晶 41 の中央部側面にはゲート電極 46 が設けられており、このゲート電極 46 により CDW 針状結晶 41 の側面にゲート電圧を印加することができるようになっていいる。そして、周波数計 45 により NBS の振動数を測定し、それによってしきい電場の変化を測定することができるようになっていいる。

【0025】

この CDW 量子干渉計の使用方法を説明する。

高純度で微小な CDW 針状結晶 41 では、両端でのピン止め力が強め合うか弱め合うかは、CDW の波長 λ_{CDW} と CDW 針状結晶 41 の長さとの兼ね合いで決まる。CDW 針状結晶 41 の電極 42 側の一端における CDW の位相を ϕ_1 、電極 43 側の他端における CDW の位相を ϕ_2 とする。CDW 針状結晶 41 にゲート電極 46 によりゲート電圧 V_g が印加されると、CDW の波長 λ_{CDW} が変化し、それによって $\phi_1 - \phi_2$ の値が変化し (V_g $\phi_1 - \phi_2$)、それとともにしきい電圧 V_{th} 、従ってしきい電場が変化する。ここで、 20

$$V_{th} = 2V_0 \left| \cos \left(C_g V_g / 2e \right) \right|$$

である。ただし、 V_0 は定数、 C_g はゲート容量、 e は電荷素量である。このしきい電場の変化を NBS の振動数を測定することによって検出することにより、局所的な電場を測定することができる。 30

この第 3 の実施形態によれば、CDW の巨視的量子位相情報を積極的に活用した CDW 量子干渉計を実現することができる。この CDW 量子干渉計によれば、局所的な電場を高精度で測定することができる。

【0026】

以上、この発明の実施形態及び実施例について具体的に説明したが、この発明は、上述の実施形態及び実施例に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

例えば、上述の実施形態及び実施例において挙げた数値、構成、材料、原料、プロセスなどはあくまでも例に過ぎず、必要に応じてこれらと異なる数値、構成、材料、原料、プロセスなどを用いてもよい。 40

【0027】

また、電子ビーム 23 の代わりに、レーザービームやイオンビームなどの他のエネルギービームを用いてもよい。また、電子ビーム 23 の照射前に原料膜 22 をあらかじめ形成しておくのではなく、成長原料を供給しながら電子ビーム 23 を照射することにより成長を行うようにしてもよい。さらに、一部の原料膜を形成した状態で他の成長原料を供給しながら電子ビーム 23 を照射することにより成長を行うようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図 1】この発明の第 1 の実施形態による CDW 量子位相顕微鏡を示す略線図である。

【図 2】この発明の第 1 の実施形態による CDW 量子位相顕微鏡において用いられる探針 50

を示す略線図である。

【図3】この発明の第1の実施形態によるCDW量子位相顕微鏡による測定原理を説明するための略線図である。

【図4】この発明の第1の実施形態によるCDW量子位相顕微鏡において用いられる探針の作製方法を説明するための略線図である。

【図5】この発明の第1の実施形態によるCDW量子位相顕微鏡において用いられる探針の作製方法により作製された探針を示す図面代用写真である。

【図6】この発明の第1の実施形態によるCDW量子位相顕微鏡により得られた原子像を示す図面代用写真である。

【図7】この発明の第1の実施形態によるCDW量子位相顕微鏡により得られたCDW像を示す図面代用写真である。 10

【図8】この発明の第2の実施形態によるCDW量子位相顕微鏡を示す略線図である。

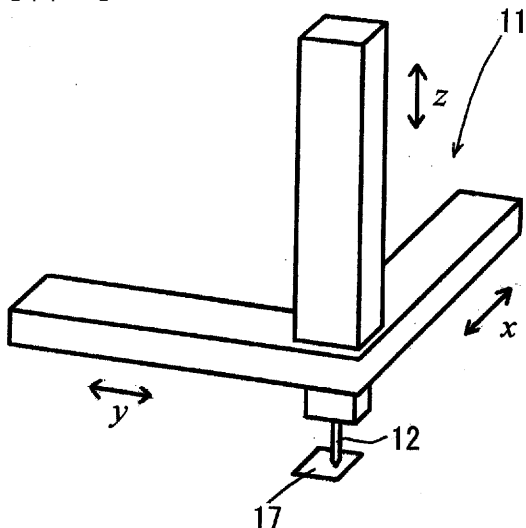
【図9】この発明の第3の実施形態によるCDW量子干渉計を示す略線図である。

【符号の説明】

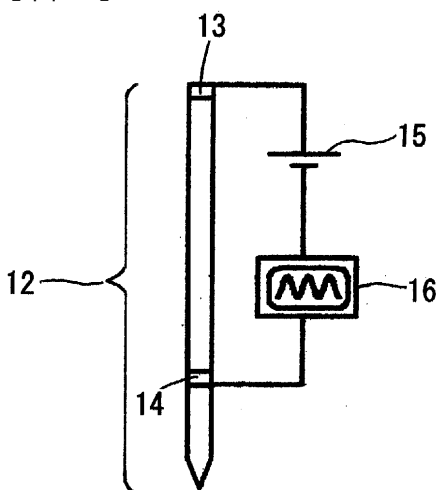
【0029】

11...圧電制御装置、12...探針、16、37、45...周波数計、17...試料、21...円錐体、22...原料膜、23...電子ビーム、24、33、41...CDW針状結晶

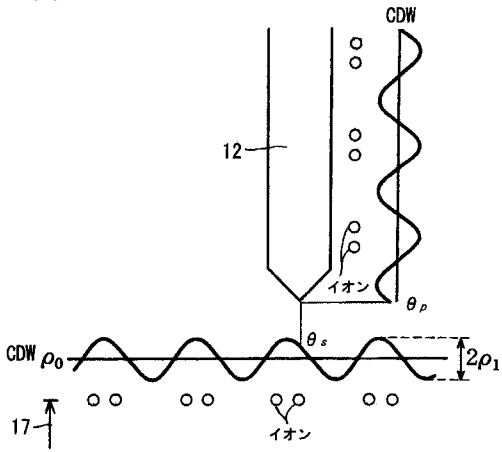
【図1】



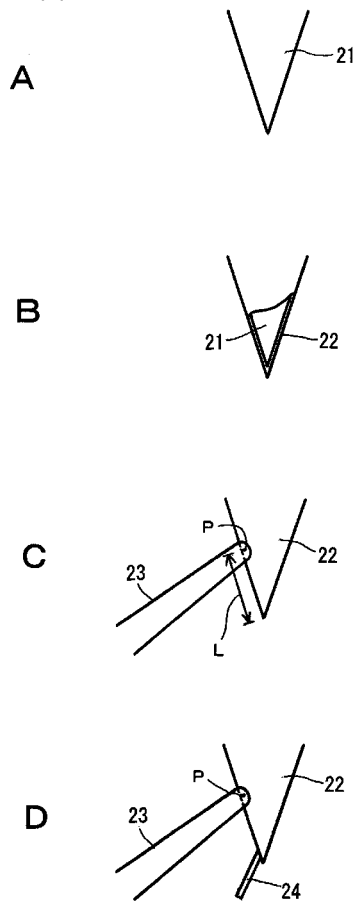
【図2】



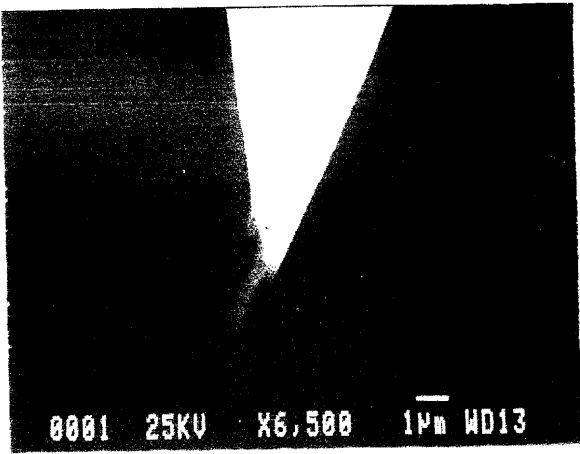
【 図 3 】



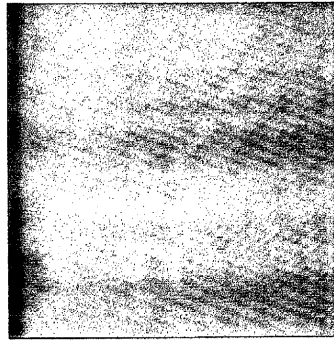
【 図 4 】



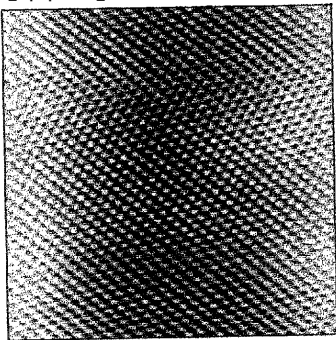
【 図 5 】



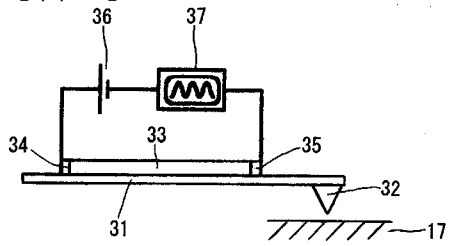
【 図 7 】



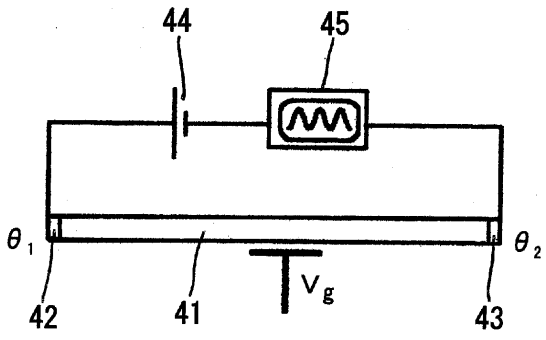
【 図 6 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 西田 宗弘

北海道札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科内