

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4370032号
(P4370032)

(45) 発行日 平成21年11月25日 (2009.11.25)

(24) 登録日 平成21年9月4日 (2009.9.4)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 N 13/14 (2006.01)

GO 1 N 13/14 1 O 1

GO 1 B 11/30 (2006.01)

GO 1 B 11/30 1 O 2 Z

請求項の数 13 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2000-1026 (P2000-1026)	(73) 特許権者	000000376
(22) 出願日	平成12年1月6日 (2000.1.6)		オリンパス株式会社
(65) 公開番号	特開2001-194286 (P2001-194286A)		東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号
(43) 公開日	平成13年7月19日 (2001.7.19)	(74) 代理人	100058479
審査請求日	平成18年12月15日 (2006.12.15)		弁理士 鈴江 武彦
		(74) 代理人	100084618
			弁理士 村松 貞男
		(74) 代理人	100100952
			弁理士 風間 鉄也
		(74) 代理人	100097559
			弁理士 水野 浩司
		(72) 発明者	佐々木 浩子
			東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オ リンパス光学工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 近接場光学顕微鏡装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料表面に光を入射する入射手段と、
先端が該試料に近接されて設置され、該先端で該入射光に由来する散乱光を発生させる
探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

を具備する近接場光学顕微鏡装置において、

該入射光の波長を第1の周波数で変調させる入射光変調手段と、

該探針を第2の周波数で振動させる探針加振手段と、

上記光検出手段の出力より、上記第1の周波数と第2の周波数のビート周波数成分を抽出する抽出手段と、

をさらに具備することを特徴とする近接場光学顕微鏡装置。

【請求項 2】

試料表面に光を入射する入射手段と、

先端が該試料に近接されて設置され、該先端で該入射光に由来する散乱光を発生させる
探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

を具備する近接場光学顕微鏡装置において、

該入射光の波長を第1の周波数で変調させる入射光変調手段と、

該散乱光と周波数 だけ異なる周波数の参照光を、該散乱光と干渉させる干渉手段と、

10

20

上記光検出手段の出力より、上記第 1 の周波数と上記周波数 のビート周波数成分を抽出する抽出手段と、

をさらに具備することを特徴とする近接場光学顕微鏡装置。

【請求項 3】

試料表面に光を入射する入射手段と、

先端が該試料に近接されて設置され、該先端で該入射光に由来する散乱光を発生させる探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

を具備する近接場顕微鏡装置において、

該入射光の波長を第 1 の周波数で変調させる入射光変調手段と、

該探針を第 2 の周波数で振動させる探針加振手段と、

該散乱光と周波数 だけ異なる周波数の参照光を、該散乱光と干渉させる干渉手段と、
上記光検出手段の出力より、上記第 1 の周波数と上記周波数 のビート周波数成分を抽出する抽出手段と、

をさらに具備することを特徴とする近接場光学顕微鏡装置。

【請求項 4】

試料表面に光を入射する入射手段と、

該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、

該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、

該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、該光検出手段からの信号を取り込んで画像化处理する手段とを有し、該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数または波長を周期的に変調させることによって発生する信号に周期的な変調を加え、散乱信号の変調周波数成分だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする近接場光学顕微鏡。

【請求項 5】

試料表面に光を入射する入射手段と、

該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、

該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、

該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、

該光検出手段からの信号を取り込んで画像化处理する手段とを有し、

該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数または波長を所定の変調周波数 (2) をもって周期的に変調させることによって発生する信号に周期的な変調を加え、該探針を入射光の波長の変調周波数と異なる周波数 (1) で振動させ、散乱信号に入射光の波長変調および探針の振動による変調を同時に加えて、両者のビート周波数成分 ($| 2 - 1 |$ または $(2 + 1)$) だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする近接場光学顕微鏡。

【請求項 6】

試料表面に光を入射する入射手段と、

該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、
 該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、
 該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、
 該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、

該光検出手段からの信号を取り込んで画像化处理する手段とを有し、
 該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数または波長を所定の変調周波数（ 2 ）をもって周期的に変調させることによって周期的な変調を加え、該散乱光の周波数（ 0 ）と異なった周波数（ $0 +$
 1 ）を有する参照光と発生した信号とを干渉させて、両者のビート周波数成分（ $1/2 -$
 $1/2$ ）または（ $2 +$ ）だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする近接場光学顕微鏡。

10

【請求項 7】

試料表面に光を入射する入射手段と、
 該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、
 該散乱光を検出する光検出手段と、
 該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、
 該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、
 該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、

20

該光検出手段からの信号を取り込んで画像化处理する手段とを有し、
 該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数または波長を所定の変調周波数（ 2 ）をもって周期的に変調させることによって発生する信号に周期的な変調を加え、該探針を入射光の波長の変調周波数と異なる周波数（ 1 ）で振動させ、散乱信号に入射光の波長変調および探針の振動による変調を同時に加え、さらに散乱光の周波数（ 0 ）と異なった周波数（ $0 +$
 1 ）を有する参照光と発生した信号とを干渉させて、参照光と信号のビート周波数成分（ $1/2 -$
 $1/2$ ）だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする近接場光学顕微鏡。

30

【請求項 8】

該探針は特定の波長を照射されるとプラズモン共鳴を起こすことを特徴とする請求項 4 乃至 7 のいずれか 1 つに記載の近接場光学顕微鏡。

【請求項 9】

該探針はレーザトラップされた金属微粒子であることを特徴とする請求項 8 記載の近接場光学顕微鏡。

【請求項 10】

該探針は特定の波長を照射されるとルミネッセンスを発生することを特徴とする請求項 4 乃至 7 のいずれか 1 つに記載の近接場光学顕微鏡。

40

【請求項 11】

試料表面に光を入射する入射手段と、
 該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、
 該散乱光を検出する光検出手段と、
 該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、
 該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、
 該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、

該光検出手段からの信号を取り込んで画像化处理する手段とを有し、

50

該試料表面の特性が該入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において

、該入射光の周波数または波長を周期的に変調させることによって発生する信号に周期的な変調を加え、散乱信号の変調周波数成分だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする近接場光学顕微鏡。

【請求項 1 2】

該試料表面の散乱体が特定の波長に対してプラズモン共鳴を起こすことを特徴とする請求項 1 1 記載の近接場光学顕微鏡。

【請求項 1 3】

該試料表面のルミネッセンス発生が空間的に分布をもつことを特徴とする請求項 1 1 記載の近接場光学顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、近接場光学顕微鏡装置に係り、特に、散乱型探針を利用した近接場光学顕微鏡装置において、入射光波長の変化に応じて信号強度が変化する場合の近接場信号の S / N を向上させるための手段を備えた近接場光学顕微鏡装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近時、走査型近接場光学顕微鏡 (S N O M) は、エバネッセント波を検出することにより回折限界を超える分解能を有する光学顕微鏡として、生体試料の蛍光測定や、フォトニクス用材料、素子の評価 (誘電体光導波路各種特性評価、半導体量子ドットの発光スペクトルの測定、半導体面発光素子の諸特性の評価など) 等への応用をめざして盛んに開発が進められている。

【0003】

この S N O M は、基本的には、試料に光を照射した状態で鋭い探針を近づけ、試料の近傍の光の場 (近接場) の状態を検出する装置である。

【0004】

1993 年 12 月 21 日付けで B e t z i g 等に付与された米国特許第 5 , 272 , 330 号には、先端が細く加工されたプローブに光を導入することにより、プローブ先端の微小開口の近傍にエバネッセント場を発生させ、このエバネッセント場を試料に接触させ、エバネッセント場と試料の接触により発生した光を、試料の下に配置された光検出器で検出し、透過光強度の二次元マッピングを行う S N O M が開示されている。

【0005】

この S N O M では、先端が細く加工された光ファイバーやガラス棒あるいは水晶探針のように棒状のプローブが用いられている。

【0006】

このプローブを改良したものとして、先端以外が金属膜で被われた棒状のプローブが既に市販されている。

【0007】

このようなプローブを用いた装置は、金属がコートされていないプローブを用いた装置に比べて、横方向の解像力が向上されている。

【0008】

N . F . v a n H u l s t 等は、A p p l . P h y s . L e t t . 62 (5) P . 461 (1993) において、窒化シリコン製の A F M 用カンチレバーを用い、A F M 測定により試料の凹凸を測定しながら、試料の光学情報を検出する新しい S N O M を提案している。

【0009】

シリコン製の A F M 用カンチレバーは、高分解能の A F M 画像を得ることができると同時に、屈折率が高いため光の散乱効率が高く、散乱型 S N O M 探針に有利である。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 0 】

この装置では、試料は内部全反射プリズムの上に置かれ、He - Neレーザ光が全反射プリズム側から試料に照射され、試料が励起され、エバネッセント光場が試料表面近傍に形成される。

【 0 0 1 1 】

ついで、このエバネッセント光場に、カンチレバー先端に支持された窒化シリコン製の探針が差し入れられると、同在波であるエバネッセント光が伝搬波である散乱光に変換され、その一部が、He - Neレーザ光に対して殆ど透明な窒化シリコン製の探針内を伝搬し、カンチレバーの裏側に抜けて出てくる。

【 0 0 1 2 】

この光は、カンチレバーの上方に配置されたレンズにより集光され、このレンズに対して探針先端と共役な位置に配置されたピンホールを介して光電子増倍管に入射し、光電子増倍管からSNOM信号が出力される。

【 0 0 1 3 】

このSNOM信号の検出の間、カンチレバーは通常のAFM測定と同様に、光学式変位検出センサーによつてカンチレバーの変位が測定されており、例えば、この変位を規定の一定値に保つように圧電体スキャナーがフィードバック制御されている。

【 0 0 1 4 】

従つて、一回の走査の間に、走査信号とSNOM信号とに基づいてSNOM測定が行なわれると共に、走査信号とフィードバック制御信号とに基づいてAFM測定が行なわれる。

【 0 0 1 5 】

さらに、波長以下の構造の高屈折率誘電体か金属が近接場項を強く散乱することを利用した新しいSNOM（散乱モードSNOM）が提案されている。

【 0 0 1 6 】

Fischer等(Phys. Rev. Lett. 62(1989)p. 458)は、透明な平面に微小な金属球をつけたものを試料上において上からほぼプラズモン励起周波数でレーザーを入射することにより金属球にローカルプラズモンを発生させ、それを散乱光として利用して画像を出している。

【 0 0 1 7 】

探針先端からの散乱効率は光の波長と散乱体の材質、大きさに強く依存し、散乱体の材質、大きさ、入射光の波長により探針で散乱される光がプラズモン共鳴を起こした場合、散乱効率が向上することが知られている。

【 0 0 1 8 】

例えば、金の場合、金粒子が点で近似されるような散乱体であると仮定して光を照射し、波長を変化させたときの散乱効率を調べてみると光の波長が550nm付近に幅数10nmの散乱効率のピークをもつ。

【 0 0 1 9 】

このピーク付近の波長の光を入射光として用いれば散乱効率が大きくなるために、他の波長の光を使うよりも高いS/Nを得ることが可能になる。

【 0 0 2 0 】

【発明が解決しようとする課題】

以上のように、さまざまなタイプのSNOM装置が開示されているが、探針以外に強い散乱源があると、そこからの散乱光を拾ってしまい、像のS/Nが悪くなるという欠点をもっている。

【 0 0 2 1 】

これを解決するために近接場顕微鏡の信号検出におけるS/Nの向上に関するアイデアはいろいろ提案されている。

【 0 0 2 2 】

これを克服するために以下の方法がよく用いられている。

【 0 0 2 3 】

10

20

30

40

50

すなわち、探針を試料表面近傍で縦振動させると、探針が試料に近づいたときにだけ、探針 - 試料間多重散乱が起きるので、このときの信号は時間的に振動する。

【 0 0 2 4 】

一方、散乱源からの散乱光は時間的に一定である。

【 0 0 2 5 】

そこで、光検出器で受信した信号のうち、探針の振動数に同期した信号強度の振幅をロックインアンプで取り出し、かつ、散乱源からの光強度を引くことで探針のみからの信号を得ることができるというものである。

【 0 0 2 6 】

さらに、佐々木は、特開平 1 0 - 1 7 0 5 2 2 号公報の中で近接場顕微鏡信号の検出に、
上記方法と組み合わせてヘテロダインを適用するアイデアを開示している。

10

【 0 0 2 7 】

本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、入射光の波長を変調することで試料からの信号に変調を加え、変調された信号から S N O M 信号を抽出することで S / N よい画像を得る信号検出手段を備えた近接場光学顕微鏡装置を提供することを目的とする。

【 0 0 2 8 】

【課題を解決するための手段】

本発明によると、上記課題を解決するために、

(1) 試料表面に光を入射する入射手段と、

先端が該試料に近接されて設置され、該先端で該入射光に由来する散乱光を発生させる
探針と、

20

該散乱光を検出する光検出手段と、

を具備する近接場光学顕微鏡装置において、

該入射光の波長を第 1 の周波数で変調させる入射光変調手段と、

該探針を第 2 の周波数で振動させる探針加振手段と、

上記光検出手段の出力より、上記第 1 の周波数と第 2 の周波数のビート周波数成分を抽出する抽出手段と、

をさらに具備することを特徴とする近接場光学顕微鏡装置が提供される。

【 0 0 2 9 】

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

30

(2) 試料表面に光を入射する入射手段と、

先端が該試料に近接されて設置され、該先端で該入射光に由来する散乱光を発生させる
探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

を具備する近接場光学顕微鏡装置において、

該入射光の波長を第 1 の周波数で変調させる入射光変調手段と、

該散乱光と周波数 だけ異なる周波数の参照光を、該散乱光と干渉させる干渉手段と、

上記光検出手段の出力より、上記第 1 の周波数と上記周波数 のビート周波数成分を抽出する抽出手段と、

をさらに具備することを特徴とする近接場光学顕微鏡装置が提供される。

40

【 0 0 3 0 】

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(3) 試料表面に光を入射する入射手段と、

先端が該試料に近接されて設置され、該先端で該入射光に由来する散乱光を発生させる
探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

を具備する近接場顕微鏡装置において、

該入射光の波長を第 1 の周波数で変調させる入射光変調手段と、

該探針を第 2 の周波数で振動させる探針加振手段と、

該散乱光と周波数 だけ異なる周波数の参照光を、該散乱光と干渉させる干渉手段と、

50

上記光検出手段の出力より、上記第 1 の周波数と上記周波数 のビート周波数成分を抽出する抽出手段と、

をさらに具備することを特徴とする近接場光学顕微鏡装置が提供される。

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(4) 試料表面に光を入射する入射手段と、

該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、

該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、

10

該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、該光検出手段からの信号を取り込んで画像化处理する手段とを有し、該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数または波長を周期的に変調させることによって発生する信号に周期的な変調を加え、散乱信号の変調周波数成分だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする近接場光学顕微鏡が提供される。

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(5) 試料表面に光を入射する入射手段と、

該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、

20

該散乱光を検出する光検出手段と、

該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、

該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、

該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、

該光検出手段からの信号を取り込んで画像化处理する手段とを有し、

該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数または波長を所定の変調周波数 (2) をもって周期的に変調させることによって発生する信号に周期的な変調を加え、該探針を入射光の波長の変調周波数と異なる周波数 (1) で振動させ、散乱信号に入射光の波長変調および探針の振動による変調を同時に加えて、両者のビート周波数成分 ($| 2 - 1 |$ または $(2 + 1)$) だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする近接場光学顕微鏡が提供される。

30

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(6) 試料表面に光を入射する入射手段と、

該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

40

該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、

該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、

該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、

該光検出手段からの信号を取り込んで画像化处理する手段とを有し、

該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数または波長を所定の変調周波数 (2) をもって周期的に変調させることによって周期的な変調を加え、該散乱光の周波数 (0) と異なった周波数 (0 +) を有する参照光と発生した信号とを干渉させて、両者のビート周波数成分 ($| 2 -$

50

| または (2 +)) だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする近接場光学顕微鏡が提供される。

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(7) 試料表面に光を入射する入射手段と、

該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、

該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、

該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、

該光検出手段からの信号を取り込んで画像化处理する手段とを有し、

該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数または波長を所定の変調周波数 (2) をもって周期的に変調させることによって発生する信号に周期的な変調を加え、該探針を入射光の波長の変調周波数と異なる周波数 (1) で振動させ、散乱信号に入射光の波長変調および探針の振動による変調を同時に加え、さらに散乱光の周波数 (0) と異なった周波数 (0 +) を有する参照光と発生した信号とを干渉させて、参照光と信号のビート周波数成分 (| 2 - |) だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする近接場光学顕微鏡が提供される。

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(8) 該探針は特定の波長を照射されるとプラズモン共鳴を起こすことを特徴とする (4) 乃至 (7) のいずれか 1 つに記載の近接場光学顕微鏡が提供される。

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(9) 該探針はレーザトラップされた金属微粒子であることを特徴とする (8) 記載の近接場光学顕微鏡が提供される。

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(10) 該探針は特定の波長を照射されるとルミネッセンスを発生することを特徴とする (4) 乃至 (7) のいずれか 1 つに記載の近接場光学顕微鏡が提供される。

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(11) 試料表面に光を入射する入射手段と、

該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、

該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、

該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、

該光検出手段からの信号を取り込んで画像化处理する手段とを有し、

該試料表面の特性が該入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数または波長を周期的に変調させることによって発生する信号に周期的な変調を加え、散乱信号の変調周波数成分だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする近接場光学顕微鏡が提供される。

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(12) 該試料表面の散乱体が特定の波長に対してプラズモン共鳴を起こすことを特徴とする (11) 記載の近接場光学顕微鏡が提供される。

また、本発明によると、上記課題を解決するために、

(13) 該試料表面のルミネッセンス発生が空間的に分布をもつことを特徴とする

(1 1) 記載の近接場光学顕微鏡が提供される。

【 0 0 3 1 】

【発明の実施の形態】

まず、本発明の近接場光学顕微鏡装置において採用される信号検出手段の概要とその原理を説明する。

【 0 0 3 2 】

すなわち、本発明の近接場光学顕微鏡装置において採用される信号検出手段は、試料表面に光を入射する入射手段と、該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、散乱光を検出する光検出手段と、該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、試料と探針を相対的に走査する走査手段と、該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、該光検出手段からの信号の取り込んで画像化处理する手段とを有し、該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数（波長）を周期的に変調させる（変調周波数 ω_2 ）ことによって発生する信号に周期的な変調を加え、散乱信号の変調周波数成分だけを抽出することを特徴とする。

【 0 0 3 3 】

また、本発明の近接場光学顕微鏡装置において採用される信号検出手段は、上述のような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数（波長）を周期的に変調させる（変調周波数 ω_2 ）ことによって発生する信号に周期的な変調を加え、該探針を入射光の波長の変調周波数とわずかに異なる周波数（ ω_1 ）で振動させ、散乱信号に入射光の波長変調および探針の振動による変調を同時に加えて、両者のビート周波数成分（ $|\omega_2 - \omega_1|$ または $(\omega_2 + \omega_1)$ ）だけを抽出することを特徴とする。

【 0 0 3 4 】

また、本発明の近接場光学顕微鏡装置において採用される信号検出手段は、上述のような近接場光学顕微鏡において、

該入射光の周波数（波長）を周期的に変調させる（変調周波数 ω_2 ）ことによって周期的な変調を加え、

該散乱光の周波数（ ω_0 ）とわずかに異なった周波数（ $\omega_0 + \omega_2$ ）を有する参照光と発生した信号とを干渉させて、両者のビート周波数成分（ $|\omega_2 - \omega_0|$ または $(\omega_2 + \omega_0)$ ）だけを抽出することを特徴とする。

【 0 0 3 5 】

そして、このような構成の信号検出手段による信号検出の原理は、次のようである。

【 0 0 3 6 】

すなわち、試料上の探針からの散乱光 E_p は、入射光が周波数 ω_2 でサイン関数で変動するように変調されていると仮定すると、

$$E_p = E_{p0} + E_{p1} \sin \omega_2 t + E_{p2} \sin 2\omega_2 t + \dots$$

のように表わすことができる。

【 0 0 3 7 】

ただし、これは、散乱効率が入射レーザ光の周波数に比例して周期的に変調する場合である。

【 0 0 3 8 】

プローブ以外の散乱源があるときの検出光 I は、

$$I = |E_s + E_{p0} + E_{p1} \sin \omega_2 t|^2$$

となり、 $E_s \ll E_p$ のとき E_s が無視できて、 $E_{p0} \times E_{p1}$ だけをロックインアンプで抽出することができ、散乱源からの不要な散乱光を除去することが可能になる。

【 0 0 3 9 】

さらに、探針を ω_2 とわずかに異なる振動数 ω_1 で振動させてヘテロダイン検波（ $(\omega_2$

10

20

30

40

50

$\pm \omega_1$)成分を抽出すれば、例えば、周波数変調だけでは除去できないような不要散乱光を効率よく除去できることになる。

【0040】

これは入射光が周波数 ω_2 で2値的に変動するようなとき、あるいは試料が入射光の波長によって、ルミネッセンスを発生したりする場合に有効である。

【0041】

例えば、前者においては、入射光の波長はある2つの波長を一定時間で繰り返すため、後述するような散乱光強度のピークは明確に現れない。

【0042】

このようなときに、探針を振動させることによって、より有効に不要散乱光の除去が可能になる。

【0043】

また、散乱源からの信号がプローブからの散乱信号に比べて大きい ($E_s \gg E_p$) 場合、 E_s を無視することができない。

【0044】

散乱光の周波数 (ω_0) から ω_2 だけ周波数 (波長) の異なるリファレンス光を参照光として入れて、探針からの散乱光と検出器上で干渉させてヘテロダイン検波 ($\omega_2 \pm \omega_0$) 成分を抽出すれば、散乱源からの不要散乱光が強い場合でもこれを除去することができる。

【0045】

さらに、周波数変調を加えながら、探針を振動させ、その結果得られた散乱光と参照光を干渉させることにより、散乱源からの信号がプローブからの散乱信号に比べて大きい ($E_s \gg E_p$) 場合でも、波長変化に対して散乱光強度が変化するような散乱源と、波長に対して変化を伴わない散乱源との両方からの不要な散乱光を効率良く除去することが可能である。

【0046】

次に、以上のような概要および原理に基づく信号検出手段を備えてなる本発明の近接場光学顕微鏡装置の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0047】

<第1実施の形態>

(装置構成)

この第1実施の形態による装置は、図1に示すような構成に基づいて、概略的には、以下のような手順で近接場光学像を得る散乱モード近接場光学顕微鏡装置である。

【0048】

すなわち、レーザー光源2からの光は、試料1、プローブ100に入射し、このプローブ100の先端で散乱される。

【0049】

この散乱光は、対物レンズ3を通して、光検出器としての光電子増倍管(フォトマル)4で検出される。

【0050】

そして、このような散乱モード近接場光学顕微鏡装置では、試料1とプローブ100の先端との距離を一定に保ちつつ、圧電チューブスキャナー5で走査しながら上記散乱光を検出することによって、近接場光学像を得ることができる。

【0051】

(プローブ)

本実施形態による散乱モード近接場光学顕微鏡装置におけるプローブ100は、図2に示すようなカンチレバー構造を有している。

【0052】

すなわち、このカンチレバーにおける探針101の先端径は、レーザー光源2からの光の波長以下のサイズであり、この探針101先端は散乱体、あるいは発光体として機能する

10

20

30

40

50

。

【 0 0 5 3 】

そして、この探針 1 0 1 は、高屈折率誘電体又は金属、発光材料でできているか、あるいは、これらの材質でコーティングされていてもよい。

【 0 0 5 4 】

いずれの場合でも、探針 1 0 1 は光の照射により光を散乱、あるいは吸収によりルミネッセンスを発光する。

【 0 0 5 5 】

ここで、探針 1 0 1 は、照射する光の波長によって散乱効率あるいは発光効率に変化しさえすればよい。

10

【 0 0 5 6 】

この探針 1 0 1 は、先端部半径が照射する光の波長以下であれば、先端から基部との接触面までの長さ、接触面でのサイズは照射する光の波長以上の構造でもよい。

【 0 0 5 7 】

(加振)

上述のプロープ 1 0 0 は、図 1 に示されるように、探針加振手段である超音波振動子 4 0 を介してチップ保持具 4 2 により試料 1 の上方に支持されている。

【 0 0 5 8 】

ここで、プロープ 1 0 0 は、光振幅変調手段でもある超音波振動子 4 0 とそれを駆動する高周波電源 4 1 とにより、高周波電源 4 1 の周波数 f_1 で加振することも可能である。

20

【 0 0 5 9 】

(位置センサー)

また、本実施形態の散乱モード近接場光学顕微鏡装置は、プロープ 1 0 0 の自由端の変位を検出する変位センサー 6 を有している。

【 0 0 6 0 】

(粗動ステージ、試料)

また、本実施形態の散乱モード近接場光学顕微鏡装置では、試料 1 は試料テーブル 1 0 に載置され、この試料テーブル 1 0 は粗動ステージ 4 5 とともに、試料 1 と探針 1 0 1 先端との位置、距離についての粗い変調を実行する。

【 0 0 6 1 】

30

ここで、粗動ステージ 4 5 は、粗動ステージ駆動回路 4 6 によって、コンピュータ 1 1 からの指令に基づいて駆動制御される。

【 0 0 6 2 】

また、内部反射プリズム 8 は試料テーブル 1 0 と独立に懸架され、スライドガラス 7 とは光学的に結合している。

【 0 0 6 3 】

なお、照射する光としてエバネッセント波を使うときには、内部反射プリズム 8 とスライドガラス 7 との結合にマッチングオイルが必要である。

【 0 0 6 4 】

(精密な走査)

40

また、本実施形態の散乱モード近接場光学顕微鏡装置では、試料 1 の測定のための精密な走査は、次のようにしてなされる。

【 0 0 6 5 】

図 1 において、圧電チューブスキャナー 5 は、制御回路 9 とコンピュータ 1 1 により制御されるスキャナー駆動回路 1 3 によって駆動され、試料テーブル 1 0 を三次元的に精密に移動させる。

【 0 0 6 6 】

よって、試料テーブル 1 0 に載置されたスライドガラス 7 の上の試料 1 が、探針 1 0 1 に対して相対的に三次元的に移動されることになるので、探針 1 0 1 が試料 1 の表面を横切って精密に走査され、また、試料 1 の先端と探針 1 0 1 の表面の間の距離が微調整される

50

。

【 0 0 6 7 】

なお、本明細書においては、探針 1 0 1 が試料 1 表面を横切る走査を X Y 走査とも表現すると共に、探針 1 0 1 の先端と試料 1 表面との間の距離の調整を Z 制御とも表現する。

【 0 0 6 8 】

(光発生手段)

また、本実施形態の散乱モード近接場光学顕微鏡装置では、コヒーレント光を照射して探針 1 0 1 と試料 1 の間に光の場を発生させるための光発生手段を備えている。

【 0 0 6 9 】

この光発生手段は、伝搬せずに局在する局在光を発生させる局在光発生手段と、伝搬する光を発生させる伝搬光発生手段とを有しており、試料の厚さや物性等諸特性により、そのいずれかを選択して動作させる。

10

【 0 0 7 0 】

ここで、局在光は空間を伝搬しない光を意味し、例えば、エバネッセント光がこれにあたる。

【 0 0 7 1 】

また、伝搬光は空間を伝搬する光を意味し、例えば、通常の伝搬光がこれにあたる。

【 0 0 7 2 】

以下に、局在光発生手段と伝搬光発生手段について詳述する。

【 0 0 7 3 】

20

まず、局在光発生手段、すなわち、ここでは、特に、エバネッセント光発生手段は、図 1 においてレーザー光源 2、偏光や波長を制御する光学部品 1 4、およびレーザの光路を制御するミラ - 1 5、1 6、内部全反射プリズム 1 7 を有している。

【 0 0 7 4 】

レーザー光源 2 から射出されたレーザー光は、各種光学部品 1 4 およびミラー 1 5、1 6 を通過して、内部全反射プリズム 1 7 に入射する。

【 0 0 7 5 】

このときのレーザー光の入射角度は、内部全反射プリズム 1 7 の上面で全反射するように、ミラー 1 6 によって制御される。

【 0 0 7 6 】

30

この結果、試料 1 の表面近傍にエバネッセント光が発生する。

【 0 0 7 7 】

この場合、必要に応じてミラー 1 6 の後にレンズを挿入してレーザー光を収束させるようにしてもよい。

【 0 0 7 8 】

また、伝搬光発生手段は、図 1 のレーザー光源 2、光学部品 1 4、二つのミラー 1 5、1 6 および図示しないミラーを有しており、上述したエバネッセント光発生手段における場合と同様にして得られた平行レーザビームを、ミラー 1 5、1 6 で反射させた後、図示しないミラーにより位置と角度を変更して、試料 1 の斜め上方から試料 1 と探針 1 0 1 の近傍に照射するように構成されている。

40

【 0 0 7 9 】

(参照光入射手段)

さらに、本実施形態の散乱モード近接場光学顕微鏡装置では、対物レンズ 3 の上部に入射光 () とわずかに波長 () が異なる参照光を入射するためのビームスプリッタ 3 0 が配置されている。

【 0 0 8 0 】

このビームスプリッタ 3 0 は、参照光と対物レンズ 3 とによって検出された信号が重なって干渉するように、参照光の光路を調整することができるような構成になっている。

【 0 0 8 1 】

また、このビームスプリッタ 3 0 としては、参照光および信号光を効率よくフォトマル 4

50

に入射させるために、偏光ビームスプリッタを用いるようにしてもよい。

【 0 0 8 2 】

ただし、このような偏光ビームスプリッタを用いる場合には、参照光と信号光との偏光を制御しなければならない。

【 0 0 8 3 】

なお、参照光は、必要に応じて入射すればよい。

【 0 0 8 4 】

(検出系)

また、本実施形態の散乱モード近接場光学顕微鏡装置では、図 1 に示すように、探針 1 0 1 先端近傍で発生した散乱光をプロンプ 1 0 0 の上方に配置した対物レンズ 3 によつて集光し、必要に応じて偏光子 1 9 を通して散乱光検出鏡筒 5 0 内の光検出器である光電子増倍管 (フォトマル) 4 で検出する。

10

【 0 0 8 5 】

この散乱光検出鏡筒 5 0 は、レンズ群 2 0、ピンホール 2 1、光検出器である光電子増倍管 (フォトマル) 4 を有している。

【 0 0 8 6 】

ここで、ピンホール 2 1 は、対物レンズ 3 とレンズ群 2 0 に対して、探針 1 0 1 の先端と光学的に共役な位置に配置されている。

【 0 0 8 7 】

すなわち、ピンホール 2 1 のある面は結像面になっている。

20

【 0 0 8 8 】

これにより、探針 1 0 1 の先端近傍で発生された散乱光以外の成分をできるだけカットするようにしている。

【 0 0 8 9 】

そして、光検出器である光電子増倍管 (フォトマル) 4 は、受光した光強度に応じた電気信号を出力する。

【 0 0 9 0 】

なお、ピンホール 2 1 の代わりに光ファイバーの単面がピンホール位置にあっても同様の効果が得られる。

【 0 0 9 1 】

30

この場合、近接場信号は、光ファイバーを透過して光検出器である光電子増倍管 (フォトマル) 4 で検出されるため、この光電子増倍管 (フォトマル) 4 は散乱光検出鏡筒 5 0 上以外の任意の位置に設置することが可能になる。

【 0 0 9 2 】

一般に、本実施形態のような散乱モード近接場光学顕微鏡装置では、近接場光学測定を行うために、探針 1 0 1 先端と試料 1 表面間の距離 (ダイナミックモードでは平均距離) が、常に一定になるように制御されている。

【 0 0 9 3 】

この状態で光入射手段により試料 - 探針先端付近に光の場を形成し、そこからの散乱光強度 (または、その平均値) を光電子増倍管 (フォトマル) 4 で検出し、 P C 等のコンピュータ 1 1 に内蔵される基板上の C P U で画像信号化および画像信号処理することにより、 S N O M 画像がモニター 1 2 上に得られる。

40

【 0 0 9 4 】

(周波数 (波長) 変調手段)

また、一般に、本実施形態のような散乱モード近接場光学顕微鏡装置では、入射光の周波数 (波長) は一定の周波数で変調がかかっている。

【 0 0 9 5 】

周波数の変調の振幅すなわち変調による周波数 (言い換えると波長の差) と変調の周期は測定対象試料に応じて選択する。

【 0 0 9 6 】

50

この周波数（波長）変調手段として、ここでは、マルチライン発振のアルゴンレーザを用い、２種類の波長選択フィルターを図３に示すように組み合わせたチョッパーを用いて４８８nmと５１４nmの２波長を任意の周期で繰り返し照射できるようにしている。

【００９７】

この場合、波長の繰り返し周波数は、入射光変調手段である図３に示すようなチョッパーの回転速度で決まり、機械的な回転を利用する場合には上限が数１００kHzである。

【００９８】

波長選択フィルターはレーザラインフィルターやバンドパスフィルター、ロングパスフィルターあるいは干渉フィルターを用いることができる。

【００９９】

また、フィルター透過後のレーザ光強度が等しくなるようにNDフィルターを波長選択フィルターと組み合わせて強度の制御を行う必要がある。

【０１００】

アルゴンレーザだけでなくマルチライン発振しているレーザ（例えば、ヘリカドレーザやYAGレーザ）やブロードバンド発振（例えば、色素レーザ）しているレーザでは上述の周波数変調手段（波長）を適用することができる。

【０１０１】

あるいは、波長可変レーザ（色素レーザやチタンサファイアレーザ）では、複屈折フィルターの回転やプリースターガルボプレートの回転により周波数（波長）変調をかけることが可能である。

【０１０２】

前者の場合には、レーザ媒質のゲインの周波数帯域内（波長に換算して１００nm程度）の幅で変調をかけることができ、後者の場合には１nm程度の周波数変調をかけることができる。

【０１０３】

この方法の場合、変調の周波数 ω_2 は１０Hz程度である。

【０１０４】

シングルモード発振（エタロンつきアルゴンレーザや色素レーザ、チタンサファイアレーザ、安定化したヘリウムネオンレーザなど）をしているレーザでは、音響光学変調器により周波数変調をかけることが可能である。

【０１０５】

この場合、音響光学素子による変調の振幅（帯域）は１nm程度以下であるが、変調の周波数 ω_2 は、MHzのオーダーまで可能である。

【０１０６】

周波数（波長）変調手段は、使用したい波長と変調の振幅、周期によって選択しなければならない。

【０１０７】

（測定）

測定は入射光を探針１０１に照射し、探針１０１の先端で散乱された光を光検出器である光電子増倍管（フォトマル）４により検出し、その信号をコンピュータ１１に取り込んで画像信号化した後、所定の画像信号処理を施すことによって行われる。

【０１０８】

この画像信号処理の結果は、コンピュータ１１のモニター１２に表示させることができる。

【０１０９】

いま、入射光の周波数（波長）が一定の周波数で変調されているとする。

【０１１０】

例えば、レーザの波長が６００nmから５７０nmを一定の周波数で変動しているとする。

【０１１１】

10

20

30

40

50

この場合、探針 101 の先端が 570 nm 付近にプラズモン共鳴波長をもっているとすれば、散乱光の強度は図 4 に示すような波長依存性を示すはずであり、入射光の波長がプラズモン共鳴周波数から外れると、散乱光強度は急激に減衰する。

【0112】

そこで、散乱光強度が最大になるような波長のときだけ散乱光を検出するように、散乱光強度信号を入射光の周波数変調に同期したロックインアンプ 22 に通して散乱光強度の振幅を画像化することができる。

【0113】

(探針振動)

プローブ 100 をそれに接続された超音波振動子 40 を用いて振動させることによって、探針 101 を、試料 1 の表面にほぼ垂直な方向に一定の振幅で振動させる。

10

【0114】

通常、探針 100 を上下方向に振動させると、散乱光強度は、探針 101 の振動周波数 f_1 で変動する。

【0115】

この場合、散乱光強度は、入射光の波長変動により f_2 で変動していることから、検出された散乱信号のうち、差周波成分 $|f_2 - f_1|$ もしくは和周波成分 $(f_2 + f_1)$ をミキサ 43 を介してコンピュータ 11 によりロックイン検出することにより、不要散乱光を除去することができる。

【0116】

20

(ヘテロダイン検出)

本発明では、ビームスプリッタ 30 を介して入射される参照光は、散乱光に対して、光検出器である光電子増倍管 (フォトマル) 4 の受光面において干渉するように調整されている。

【0117】

散乱光が入射光の周波数変調により変調がある場合、光電子増倍管 (フォトマル) 4 で検出される干渉光のうち、差周波成分 $|f_2 - f_1|$ もしくは和周波成分 $(f_2 + f_1)$ をミキサ 43 を介してコンピュータ 11 によりロックイン検出することにより、探針以外の散乱源からの不要散乱光が強い場合でも探針からの散乱信号を抽出することができる。

【0118】

30

同様に、周波数変調のほかにプローブ 100 の振動がある場合には、さらに f_1 との和周波、差周波成分を考慮した周波数成分をロックイン検出することにより、不要散乱光を効率よく除去することが可能になる。

【0119】

< 第 2 実施の形態 >

(探針のレーザトラップ)

本発明の第 2 実施の形態における装置構成は、後述するレーザトラップの構成を除いては、図 1 に示した装置構成と同様であるが、散乱探針 101 としては、レーザトラップされた金属微粒子が用いられるものとする。

【0120】

40

この金属微粒子としては、例えば、金や銀が良く用いられる。

【0121】

これらの金属微粒子は散乱光を増強するプラズモン共鳴を起こすことが知られており、プラズモン共鳴波長は微粒子の材質や直径に強く依存する。

【0122】

例えば、金の場合、図 4 に示すように直径に応じてプラズモン共鳴のピークが変化する。

【0123】

散乱探針が、金でその直径が 80 nm の場合、プラズモン共鳴のピーク波長は 570 nm 付近である。

【0124】

50

(レーザトラップ)

レーザトラップされた金属微粒子をプローブ 100 として用いる場合、入射レーザ光源 2 のほかにトラップ用のレーザ光源が必要である。

【0125】

トラップ用のレーザ光の波長は、入射レーザ光源 2 からのレーザ光の波長と大きく異なっていた方が、トラップ用のレーザ光源によるノイズを除去し易い。

【0126】

図 5 の (a) , (b) にレーザトラップの方法を示す。

【0127】

図 5 の (a) に示すトラップ用のレーザ光源 60 からのレーザ光は、図 1 に示している近接場測定用のレーザ光源 2 からのレーザ光と、それらの波長が互いに異なっている必要がある。

10

【0128】

トラップ用のレーザ光源 60 からのレーザ光は、コリメータレンズ 61 によって平行光線に整形された後、ビームスプリッタ 63 を介して散乱光集光用の対物レンズ 3 上方から試料面で収束するように導入される。

【0129】

試料ホルダー 62 上には、図 5 の (b) に示すように、試料 1 とそれを囲むような囲い 64 が設けられており、この囲い 64 の中には金コロイド水溶液あるいは銀コロイド水溶液 65 が満たされている。

20

【0130】

この囲い 64 の中の金コロイド水溶液あるいは銀コロイド水溶液 65 はカバーガラス 66 で蓋をして密封されている。

【0131】

対物レンズ 3 は、レーザトラップに用いる場合、N/A の大きな対物レンズ 3 であることが好ましいために、油浸や水浸対物を用いてもよい。

【0132】

レーザトラップされた金属微粒子をプローブ 100 として用いる場合、金属微粒子は、トラップ用のレーザ光の収束点でトラップされる。

【0133】

30

トラップ位置が試料表面であれば、近接場測定用のレーザ光を照射して散乱光を対物レンズ 3 を介して上述したようにして検出する。

【0134】

このようにして検出された散乱光には、トラップ用のレーザ光が混入しているので、フィルター 32 などを使って、信号光成分と不要な光成分とを分離して検出する。

【0135】

なお、(測定)および(ヘテロダイン検出)に関しては、上述した第 1 実施の形態と同様に行うことが可能である。

【0136】

< 第 3 実施の形態 >

40

(探針)

本発明の第 3 実施の形態における装置構成は、図 1 に示した装置構成と同様であるが、探針 101 は、探針 101 の先端で散乱光がプラズモン共鳴を起こすものとしている。

【0137】

そのために、図 2 で示したようなプローブ 100 先端の探針 101 部分に金や銀がコーティングされたもの、あるいは図 6 の (a) , (b) に示すようにプローブ 100 先端に金や銀のような金属微粒子 101a あるいは突起 101b がついたものを用いる。

【0138】

本実施の形態におけるその他の方法は、上述した第 1 実施の形態と同様にして実現することができる。

50

【 0 1 3 9 】

< 第 4 実施の形態 >

(探針)

本発明の第 4 実施の形態における装置構成は、図 1 に示した装置構成と同様であるが、探針 101 は、探針 101 の先端でルミネッセンスを発生し、それが近接場光源として機能するものとしている。

【 0 1 4 0 】

そのために、図 2 で示したようなプローブ 100 先端の探針 101 部分にルミネッセンスを発生させる物質、例えば、GaAs 等の半導体や色素、色素をドーブしたポリマー、希土類イオン等を分散した結晶やガラス、ポリマー等をコーティングもしくは先端に突起状にとりつける。

10

【 0 1 4 1 】

(検出系)

上述の探針 101 の先端近傍で発生したルミネッセンスはプローブ 100 の上方に配置した対物レンズ 3 によつて集光し、図 1 では図示していないがルミネッセンス波長だけを選択的に透過させるフィルターを通して散乱光検出鏡筒 50 内の光検出器 4 で検出する。

【 0 1 4 2 】

この光検出器 4 までの光学系は図 1 に示す通りである。

【 0 1 4 3 】

また、光検出器 4 に入る前に、光検出器 4 の位置でファイバーに光を導入し、図示していないが分光器で光を分光し、ルミネッセンス波長だけを光検出器で検出してもよい。

20

【 0 1 4 4 】

(参照光)

本実施の形態における参照光の波長は、ルミネッセンス波長を λ_0 として、その $+\Delta\lambda$ もしくは $-\Delta\lambda$ に設定し、この参照光とルミネッセンス散乱光と光検出器 4 で干渉させる。

【 0 1 4 5 】

本実施の形態におけるその他の方法は、上述した第 1 実施の形態と同様にして実現することができる。

【 0 1 4 6 】

< 第 5 実施の形態 >

30

本発明の第 5 実施の形態における装置構成は、図 1 に示した装置構成と同様であるが、本実施の形態は入射レーザー光の波長変化に対して試料表面の特性が変化する場合の測定方法に関する。

【 0 1 4 7 】

(実施例 1)

本実施例では、測定試料としてたとえばルミネッセンスやラマン光を発生するような試料、あるいは表面でプラズモン共鳴が起きるような試料を扱うものとする。

【 0 1 4 8 】

本実施例におけるその他の方法は、上述した第 1 実施の形態と同様にして実現することができる。

40

【 0 1 4 9 】

(実施例 2)

本実施例では、入射レーザー光の波長変化に対して試料表面で発生するルミネッセンスやラマン光強度あるいは波長が変化するような試料を扱うものとする。

【 0 1 5 0 】

本実施例におけるその他の方法は、上述した第 1 実施の形態と同様にして実現することができる。

【 0 1 5 1 】

(実施例 3)

本実施例では、入射レーザー光の波長変化に対して試料表面でプラズモン共鳴が起きるよう

50

な試料を扱うものとする。

【 0 1 5 2 】

本実施例におけるその他の方法は、上述した第 1 実施の形態と同様にして実現することができる。

【 0 1 5 3 】

そして、上述したような実施の形態で示した本明細書には、特許請求の範囲に示した請求項 1 乃至 3 以外にも、以下に付記 1 乃至付記 1 2 として示すような発明が含まれている。

【 0 1 5 4 】

(付記 1) 試料表面に光を入射する入射手段と、
 先端が該試料に近接されて設置され、該先端で該入射光に由来する散乱光を発生させる探針と、
 該散乱光を検出する光検出手段と、
 を具備する近接場顕微鏡装置において、
 該入射光の波長を第 1 の周波数で変調させる入射光変調手段と、
 該探針を第 2 の周波数で振動させる探針加振手段と、
 該散乱光と周波数 だけ異なる周波数の参照光を、該散乱光と干渉させる干渉手段と、
 上記光検出手段の出力より、上記第 1 の周波数と上記周波数 のビート周波数成分を抽出する抽出手段と、
 をさらに具備することを特徴とする近接場光学顕微鏡装置。

【 0 1 5 5 】

(付記 2) 試料表面に光を入射する入射手段と、
 該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、
 該散乱光を検出する光検出手段と、
 該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、
 該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、
 該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、
 該光検出手段からの信号の取り込んで画像化处理する手段とを有し、
 該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、
 該入射光の周波数 (波長) を周期的に変調させる (変調周波数 f_2) ことによって発生する信号に周期的な変調を加え、散乱信号の変調周波数成分だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする走査型近接場光学顕微鏡。

【 0 1 5 6 】

(付記 3) 試料表面に光を入射する入射手段と、
 該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、
 該散乱光を検出する光検出手段と、
 該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、
 該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、
 該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、
 該光検出手段からの信号の取り込んで画像化处理する手段とを有し、
 該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、
 該入射光の周波数 (波長) を周期的に変調させる (変調周波数 f_2) ことによって発生する信号に周期的な変調を加え、該探針を入射光の波長の変調周波数とわずかに異なる周波数 (f_1) で振動させ、散乱信号に入射光の波長変調および探針の振動による変調を同時に加えて、両者のビート周波数成分 ($|f_2 - f_1|$ または ($f_2 + f_1$)) だけを抽出

する信号検出手段を備えてなることを特徴とする走査型近接場光学顕微鏡。

【 0 1 5 7 】

(付記 4) 試料表面に光を入射する入射手段と、
 該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、
 該散乱光を検出する光検出手段と、
 該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、
 該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、
 該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、
 該光検出手段からの信号の取り込んで画像化处理する手段とを有し、
 該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、
 該入射光の周波数 (波長) を周期的に変調させる (変調周波数 f_2) ことによって周期的な変調を加え、
 該散乱光の周波数 (f_0) とわずかに異なった周波数 ($f_0 + \Delta f$) を有する参照光と発生した信号とを干渉させて、両者のビート周波数成分 ($|f_2 - \Delta f|$ または ($f_2 + \Delta f$)) だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする走査型近接場光学顕微鏡。

10

【 0 1 5 8 】

(付記 5) 試料表面に光を入射する入射手段と、
 該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、
 該散乱光を検出する光検出手段と、
 該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、
 該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、
 該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、
 該光検出手段からの信号の取り込んで画像化处理する手段とを有し、
 該探針先端からの散乱光もしくは発生する光が入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、
 該入射光の周波数 (波長) を周期的に変調させる (変調周波数 f_2) ことによって発生する信号に周期的な変調を加え、該探針を入射光の波長の変調周波数とわずかに異なる周波数 (f_1) で振動させ、散乱信号に入射光の波長変調および探針の振動による変調を同時に加え、さらに散乱光の周波数 (f_0) とわずかに異なった周波数 ($f_0 + \Delta f$) を有する参照光と発生した信号とを干渉させて、参照光と信号のビート周波数成分だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする走査型近接場光学顕微鏡。

20

30

【 0 1 5 9 】

(付記 6) 該探針はレーザトラップされた金属微粒子であり、該探針は特定の波長を照射されるとプラズモン共鳴を起こすことを特徴とする付記 2 記載の走査型近接場光学顕微鏡。

40

【 0 1 6 0 】

本発明の原理は上述した原理と同様であるが、レーザトラップされた金属微粒子では、特定の波長の光に対して散乱効率が増強する (プラズモン共鳴) 特性をもつため、プラズモン共鳴ピーク付近でレーザの周波数 (波長) を変調すると、効果は強く現れる。

【 0 1 6 1 】

(付記 7) 該探針はレーザトラップされた金属微粒子であり、該探針は特定の波長を照射されるとプラズモン共鳴を起こすことを特徴とする付記 4 記載の走査型近接場光学顕微鏡。

【 0 1 6 2 】

(付記 8) 該探針は特定の波長を照射されるとプラズモン共鳴を起こすことを特徴とす

50

る付記 2 記載の走査型近接場光学顕微鏡。

【 0 1 6 3 】

本発明の原理は、上述した原理と同様であるが、本発明においてもプラズモン共鳴ピーク付近でレーザの周波数（波長）を変調すると、効果は強く現れる。

【 0 1 6 4 】

（付記 9） 該探針は特定の波長を照射されるとルミネッセンスを発生することを特徴とする付記 2 記載の走査型近接場光学顕微鏡。

【 0 1 6 5 】

（付記 10） 試料表面に光を入射する入射手段と、
該入射光の波長以下のサイズの先端を持ち、該先端が該試料に近接して設置され、該入射光を該先端で散乱させる探針と、

該散乱光を検出する光検出手段と、

該探針または探針の支持部材の変位を検出する変位検出手段と、

該試料と探針を相対的に走査する走査手段と、

該変位検出手段からの信号をもとに探針と試料間の距離または探針圧を制御するための制御手段と、

該光検出手段からの信号の取り込んで画像化处理する手段とを有し、

該試料表面の特性が該入射光の波長によって変化するような近接場光学顕微鏡において、該入射光の周波数（波長）を周期的に変調させる（変調周波数 f_2 ）ことによって発生する信号に周期的な変調を加え、散乱信号の変調周波数成分だけを抽出する信号検出手段を備えてなることを特徴とする走査型近接場光学顕微鏡。

【 0 1 6 6 】

本発明の原理は上述した原理と同様であるが、本発明においては入射光の波長の周期的な変調により、波長によって散乱光強度が変調するような散乱源からの不要散乱光の除去をより効率的に行うことが可能である。

【 0 1 6 7 】

一方、探針の振動による不要散乱光の除去は波長によらず主に構造を伴った散乱源からの不要散乱光の除去を効率的に行うため、両者を組み合わせることで波長変化に対して散乱光強度が変化するような散乱源と波長に対して変化をともしない散乱源からの両方の不要散乱光を効率よく除去することが可能であり、さらにこれに参照光を干渉させて検出することで不要散乱光が強い場合も両者の除去が可能になる。

【 0 1 6 8 】

（付記 11） 該試料表面の散乱体が特定の波長に対してプラズモン共鳴を起こすことを特徴とする付記 10 記載の走査型近接場光学顕微鏡。

【 0 1 6 9 】

（付記 12） 該試料表面のルミネッセンス発生が空間的に分布をもつことを特徴とする付記 10 記載の走査型近接場光学顕微鏡。

【 0 1 7 0 】

【発明の効果】

従って、以上説明したように、本発明によれば、入射光の波長を変調することで試料からの信号に変調を加え、変調された信号から S N O M 信号を抽出することで S / N よい画像を得る信号検出手段を備えた近接場光学顕微鏡装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】図 1 は、本発明の第 1 実施の形態による近接場光学顕微鏡装置の構成を示す図である。

【図 2】図 2 は、本発明の第 1 実施形態による散乱モード近接場光学顕微鏡装置におけるプローブ 100 のカンチレバー構造を示す図である。

【図 3】図 3 は、本発明の第 1 実施形態による散乱モード近接場光学顕微鏡装置における周波数（波長）変調手段として、マルチライン発振のアルゴンレーザを用い、2 種類の波長選択フィルターを組み合わせたチョッパー構造を示す図である。

【図４】図４は、本発明の第２実施形態による散乱モード近接場光学顕微鏡装置における散乱探針として用いられるレーザトラップされた金属微粒子が金の場合に、その直径に応じてプラズモン共鳴のピークが変化する様子を示す図である。

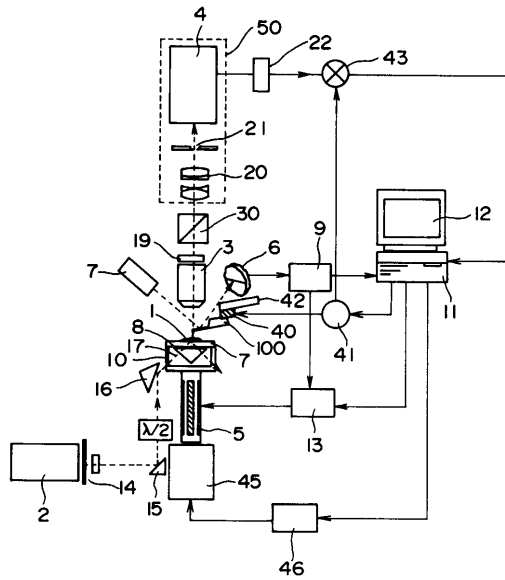
【図５】図５の（ａ），（ｂ）は、本発明の第２実施形態による散乱モード近接場光学顕微鏡装置における散乱探針として用いられるレーザトラップの構造を示す図である。

【図６】図６の（ａ），（ｂ）は、本発明の第３実施形態による散乱モード近接場光学顕微鏡装置に用いられるプローブ先端の探針構造を示す図である。

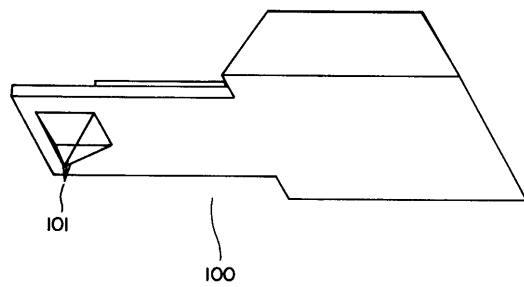
【符号の説明】

- | | |
|------------------------------|----|
| 1 ... 試料、 | |
| 2 ... 入射レーザ光源、 | 10 |
| 3 ... 対物レンズ、 | |
| 4 ... 光検出器である光電子増倍管（フォトマル）、 | |
| 5 ... 圧電チューブスキャナ - 、 | |
| 6 ... 変位センサー、 | |
| 7 ... スライドガラス、 | |
| 8 ... 内部反射プリズム、 | |
| 9 ... 制御回路、 | |
| 10 ... 試料テーブル、 | |
| 11 ... コンピュータ、 | |
| 12 ... モニター、 | 20 |
| 13 ... スキャナー駆動回路、 | |
| 14 ... 光学部品、 | |
| 15 , 16 ... ミラー、 | |
| 17 ... 内部全反射プリズム、 | |
| 19 ... 偏光子、 | |
| 20 ... レンズ群、 | |
| 21 ... ピンホール、 | |
| 22 ... ロックインアンプ、 | |
| 30 ... ビームスプリッタ、 | |
| 32 ... フィルター、 | 30 |
| 50 ... 散乱光検出鏡筒、 | |
| 40 ... 超音波振動子、 | |
| 41 ... 高周波電源、 | |
| 43 ... ミキサー、 | |
| 45 ... 粗動ステージ、 | |
| 46 ... 粗動ステージ駆動回路、 | |
| 60 ... トラップ用のレーザ光源、 | |
| 61 ... コリメータレンズ、 | |
| 62 ... 試料ホルダー、 | |
| 63 ... ビームスプリッタ、 | 40 |
| 64 ... 囲い、 | |
| 65 ... 金コロイド水溶液あるいは銀コロイド水溶液、 | |
| 66 ... カバーガラス、 | |
| 100 ... プローブ、 | |
| 101 ... 探針、 | |
| 101 a ... 金属微粒子、 | |
| 101 b ... 突起。 | |

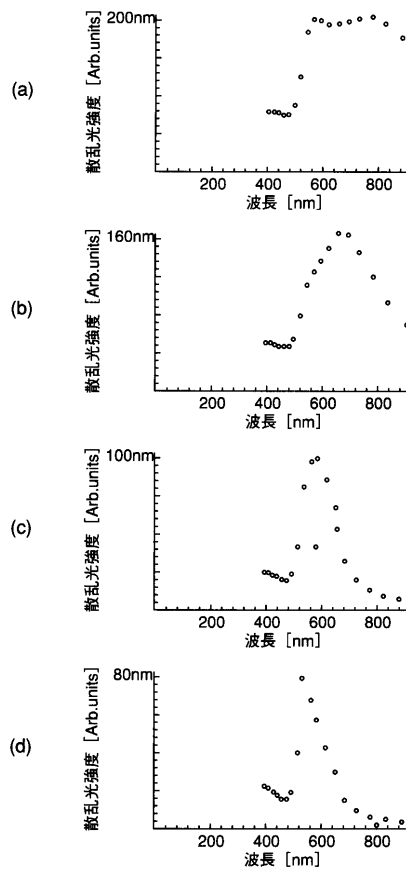
【図 1】



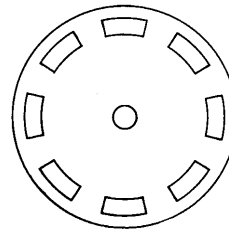
【図 2】



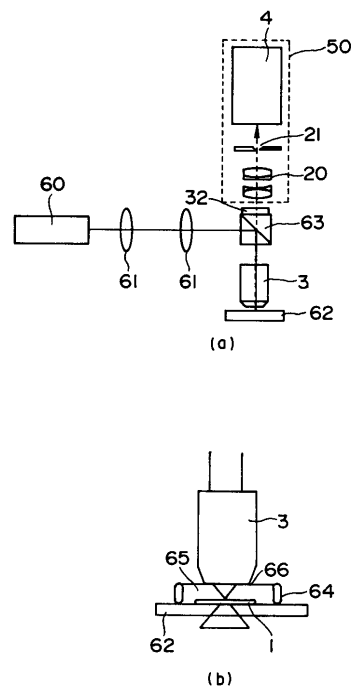
【図 4】



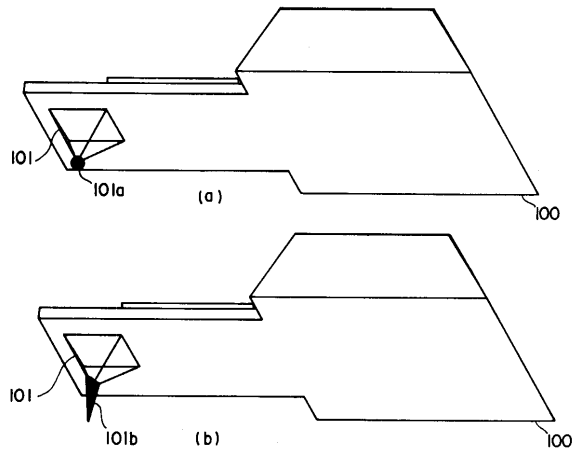
【図 3】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

審査官 渡 辺 純也

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 1 3 3 0 4 1 (J P , A)
特開平 1 0 - 1 7 0 5 2 2 (J P , A)
特開平 0 7 - 2 6 0 8 0 8 (J P , A)
特開平 1 1 - 3 1 6 2 4 0 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G01N 13/10 ~ 13/24
G01B 11/30