

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02003/046519

発行日 平成17年4月7日(2005.4.7)

(43) 国際公開日 平成15年6月5日(2003.6.5)

(51) Int. Cl.⁷

GO 1 N 13/10

GO 1 B 11/30

F I

GO 1 N 13/10

GO 1 B 11/30

F

Z

審査請求有 予備審査請求有 (全20頁)

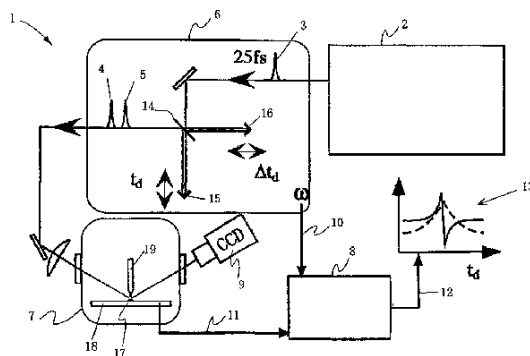
出願番号	特願2003-547911 (P2003-547911)	(71) 出願人	503360115
(21) 国際出願番号	PCT/JP2002/012273		独立行政法人科学技術振興機構
(22) 国際出願日	平成14年11月25日(2002.11.25)		埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(31) 優先権主張番号	特願2001-360047 (P2001-360047)	(74) 代理人	100082876
(32) 優先日	平成13年11月26日(2001.11.26)		弁理士 平山 一幸
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100069958
(81) 指定国	EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), JP, US		弁理士 海津 保三
		(72) 発明者	重川 秀実
			茨城県つくば市千現2-3-14
		(72) 発明者	武内 修
			茨城県つくば市吾妻3-17-4-208
		(72) 発明者	山下 幹雄
			北海道札幌市白石区栄通14丁目2-12-305

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置

(57) 【要約】

時間領域及び空間領域において極限の分解能を有する、光励起による物理現象の測定装置、特に、遅延時間変調型時間分解走査プローブ顕微鏡装置に関し、超短光レーザーパルス発生装置(2)と、超短光レーザーパルス発生装置(2)の発生する超短光レーザーパルス(3)を二つに分けると共にこの二つの超短光レーザーパルス(4, 5)間の遅延時間 t_d を周波数変調()する遅延変調回路(6)と、走査プローブ顕微鏡(17)と、走査プローブ顕微鏡(17)のプローブ信号(11)を遅延時間の変調周波数()でロックイン検出するロックイン検出装置(8)とを有し、超短光レーザーパルス(3)の強度の揺らぎによる影響を受けずに、超短光レーザーパルス(3)の照射によるプローブ(19)の先端の熱膨張、熱収縮無しに、プローブ信号(11)の遅延時間依存性を遅延時間に対する変化率として検出する。フェムト秒オーダーの時間分解能及びオングストロームオーダーの空間分解能で、超短光パルス間の遅延時間に依存する光励起物理現象を測定することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超短光レーザーパルス装置と、

この超短光レーザーパルス装置の発生する超短光パルスを二つに分けると共にこの二つの超短光パルス間の遅延時間を設定し、かつこの設定した遅延時間を中心として一定の周波数で遅延時間を変調する遅延変調回路と、

この遅延変調回路で変調された上記二つの超短光パルスが照射される試料の直上に、プローブをこのプローブ先端と上記試料表面との間にトンネル接合が形成されるように配置し、かつ上記試料の面上で上記プローブを走査する走査プローブ顕微鏡と、

この超短光パルスが照射される走査プローブ顕微鏡のプローブ信号を、上記遅延時間の変調周波数を参照信号としてロックイン検出するロックイン検出装置と、を有することを特徴とする、遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置。 10

【請求項 2】

前記超短光レーザーパルス装置は、フェムト秒オーダーのパルス幅を有する超短光パルスを一定周期で発生することを特徴とする、請求の範囲 1 に記載の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置。

【請求項 3】

前記遅延変調回路は、ハーフミラーと、 piezo・ステージに固定されたミラーから成る二組の可動ミラーとを有し、この二組の可動ミラーの一方又は両方を駆動して、遅延時間の中心値を変化させると共にこの遅延時間を中心遅延時間として一定周波数で変調することを特徴とする、請求の範囲 1 に記載の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置。 20

【請求項 4】

前記ロックイン検出装置は、前記遅延時間の変調周波数を参照周波数としてロックイン検出し、前記プローブ信号の前記遅延時間の中心値における、遅延時間に対する変化率に比例した量を検出することを特徴とする、請求の範囲 1 に記載の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置。

【請求項 5】

前記走査プローブ顕微鏡は、走査トンネル顕微鏡又は原子間力顕微鏡であることを特徴とする、請求の範囲 1 に記載の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置 30

【請求項 6】

超短光レーザーパルス装置と、

この超短光レーザーパルス装置の発生する超短光パルスから複数の波長の異なる超短光パルスを発生し、かつ、これらの波長の異なる複数の超短光パルス間の遅延時間を設定できる超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置と、

上記複数の超短光パルスの波長を設定し、これらの複数の超短光パルス間の遅延時間を設定し、かつ、これらの遅延時間を一定タイミングで変調する制御信号を上記超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置の二次元空間振幅変調器と二次元空間位相変調器に送出し、かつ、上記遅延時間の変調タイミングをロックイン検出の参照信号としてロックイン検出器に送出する、波長・遅延時間・変調タイミング制御装置と、 40

この波長・遅延時間・変調タイミング制御装置で制御され、上記超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置から出力する複数の超短光パルスが照射される試料の直上に、プローブをこのプローブ先端と上記試料表面との間にトンネル接合が形成されるように配置し、かつ上記試料の面上で上記プローブを走査する走査プローブ顕微鏡と、

この超短光パルスが照射される走査プローブ顕微鏡のプローブ信号を上記変調タイミングを参照信号としてロックイン検出するロックイン検出装置と、を有することを特徴とする、遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置。

【請求項 7】

前記波長・遅延時間・変調タイミング制御装置は、所望の前記複数の超短光パルスの波長 50

、遅延時間及び変調タイミング周波数の入力値に基づいて、前記二次元空間振幅変調器と二次元空間位相変調器の制御信号を計算し、この制御信号を上記二次元空間振幅変調器と二次元空間位相変調器に出力し、かつ、上記変調タイミング信号を前記ロックイン検出装置に出力するコンピュータからなることを特徴とする、請求の範囲6に記載の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置。

【請求項8】

前記ロックイン検出装置は、前記変調タイミングを参照周波数としてロックイン検出し、前記プローブ信号の前記遅延時間における、遅延時間に対する変化率に比例した量を検出することを特徴とする、請求の範囲6に記載の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置。

10

【請求項9】

前記走査プローブ顕微鏡は、又は原子間力顕微鏡であることを特徴とする、請求の範囲6に記載の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置。

【発明の詳細な説明】

技術分野

本発明は、時間領域及び空間領域において極限の分解能を有する、光励起による物理現象の測定装置に関し、詳しくは、遅延時間変調型時間分解走査プローブ顕微鏡装置に関する。

技術背景

ナノスケールで構造を制御して、新しい機能を有する次世代デバイスを開発する試みが近年とみに盛んになりつつあり、中でも光物性を利用した機能素子や超高速素子の創製は特に重要な課題の一つである。そのためには、ナノスケールの局所領域の光励起物理現象を過渡応答まで含めて解明することが必要不可欠となる。このため、究極の空間領域分解能を有する走査プローブ顕微鏡技術と究極の時間領域分解能を有するレーザーパルス技術を組み合わせた新しい測定技術の導入が提案され、既に単一分子や半導体超格子構造からの光励起発光やトンネル電流発光の解明、局所的バンド構造の解明、点欠陥の解析といった重要な成果を上げつつある(JOURNAL OF APPLIED PHYSICS Vol. 83, No. 7, 1 APRIL 1998, P3453~。 JOURNAL OF APPLIED PHYSICS Vol. 88, No. 8, 15 OCTOBER 2000, P4851~。 Solid State Communications, Vol. 107の6, P281~, 1998。 重川秀美「光励起STM」表面科学20, (1999)337頁参照)。

20

30

走査プローブ顕微鏡、例えば、走査トンネル顕微鏡は、オングストローム・オーダーの曲率半径を有する探針の先端を、オングストローム・オーダーの距離で試料表面に近づけ、探針の先端と試料表面との間にトンネル接合を形成し、トンネル接合に流れるトンネル電流の大きさから、原子レベルの表面モフォロジーを測定する装置である。走査トンネル顕微鏡はピエゾ・ステージを使用してオングストローム・オーダーの精度で走査できるので、究極の空間領域分解能を有した表面モフォロジー像を得ることができる。

また、超短光レーザーパルス装置は、フェムト秒オーダーの半値幅を有するレーザーパルスをフェムト秒という究極の時間分解能で発生する装置である。

40

走査トンネル顕微鏡の探針の先端の直下の試料表面に超短光レーザーパルスを照射し、超短光レーザーパルス照射に同期したトンネル電流を検出することによって、空間及び時間ともに極限の分解能で光励起物理現象を測定できる。これにより、ナノスケール・デバイスを創製する上で極めて重要な知見が得られる。

このような装置の一つに、遅延時間変調型時間分解走査プローブ顕微鏡装置がある。この装置は、走査プローブ顕微鏡に試料を配置し、この試料を励起する2つの短光パルスを、これらの短光パルス間の遅延時間を連続的に変化させて照射し、試料の励起状態に起因するプローブ電流の変化に基づき、2つの短光パルスの遅延時間に依存するプローブ電流成分を測定するものである。この装置によれば、ナノスケールの局所領域の光励起物理現象の過渡応答が測定できるので、光物性を利用した機能素子や超高速素子の創製に必要な光

50

励起物理現象の知見が得られる。例えば、試料のナノスケール微小領域のキャリアーを励起できる短光パルスを用いることにより、キャリアー寿命を遅延時間に依存するプローブ電流成分の遅延時間依存性から測定できる。

次に、従来の、遅延時間変調型時間分解走査プローブ顕微鏡装置の構成及び作用を説明する。図9は、従来の遅延時間変調型時間分解走査プローブ顕微鏡装置の構成を示す図である。ここでは走査プローブ顕微鏡として走査トンネル顕微鏡を用いた例について説明する。

図9において、短光レーザーパルス発生装置60から一定の繰り返し周波数で出力される短光パルス62を干渉計型遅延回路61により1ps程度の遅延時間 t_d を有する2つのパルス63, 64に分け、パルス63, 64をチョップ装置65により周波数でチョップし、トンネル顕微鏡装置66のプローブ直下の試料部分に入射する。ロックイン検出装置69により、トンネル電流信号67を周波数(68)を参照信号としてロックイン検出を行い、短光パルス63, 64照射時のトンネル電流 I_{irr} と、短光パルス63, 64非照射時のトンネル電流 I_{bak} との差信号 I_{diff} を求める。短光パルス63, 64間の遅延時間 t_d を連続的に変化させて同一の測定を繰り返し、遅延時間に依存するトンネル電流成分 I_{diff} の遅延時間依存性を測定する。

しかしながら、上記の従来装置では、以下に説明する課題がある。

第1に、遅延時間 t_d に依存するプローブ電流成分、すなわち、トンネル電流成分 I_{diff} は、遅延時間 t_d に依存しない成分 I_{bak} に比べて極めて小さく、ロックイン検出装置のダイナミックレンジを限界まで大きくしても、十分な精度で測定できない。

第2に、短光パルス発生装置の光出力強度は環境の微小な変化(温度等)により長周期の揺らぎを持つが、従来方法ではこの揺らぎを除去することができず、プローブ信号の遅延時間依存性を高精度に測定することが難しい。

従って、上記の従来法のように光照射時と非照射時のプローブ信号を差し引く方法では、プローブ電流成分 I_{diff} の遅延時間依存性を高感度に高精度に測定することが困難である。

第3に、走査プローブ顕微鏡のプローブ先端が短光パルスにさらされるため、プローブ先端が、短光パルスの照射時に熱膨張し、超短光パルスの非照射時に熱収縮し、プローブ先端と試料表面との距離が変動し、トンネル確率が変動してしまう。このため、プローブ信号の遅延時間依存性を高感度に高精度に測定することが難しい。

また、従来装置では、図9に示したように、遅延時間 t_d を有する短光パルス63, 64の波長は同一である。従って、この装置では、2つのエネルギー準位が関与する現象は測定できるが、3つ以上のエネルギー準位が関与する光励起現象は測定することができない。

例えば、図10に示すように、エネルギー準位71, 72, 73を介する励起状態があった場合、準位71と準位73のエネルギー差に相当する光エネルギーを吸収して準位71から準位73に励起されたキャリアーが、準位73から準位72に緩和する緩和時間を知りたい場合がある。この場合、準位71と準位73のエネルギー差に相当する光パルス74と、準位72と準位73のエネルギー差に相当する光パルス75を、これらの光パルス間の遅延時間 t_d を連続的に変えて試料に照射し、遅延時間 t_d に依存するプローブ電流成分 I_{diff} の遅延時間 t_d 依存性を測定すれば、緩和時間を求めることができる。しかしながら、従来装置では、遅延時間 t_d を有する2つの短光パルスの各々の波長を任意に変化させることができなかった。

本発明は上記課題に鑑み、ロックイン検出装置の大きなダイナミックレンジを必要とせず、また、超短光パルス非照射時のプローブ電流値を必要とせずに、超短光レーザーパルス発生装置の光出力強度の長周期の揺らぎに影響されずに、走査プローブ顕微鏡のプローブ先端の位置の変動が無く、かつ、フェムト秒の分解能で遅延時間に依存するプローブ電流成分を高感度に高精度に直接測定できる遅延時間変調型時間分解走査プローブ顕微鏡装置を提供することを第1の目的とするものである。

また、本発明は上記課題に鑑み、遅延時間が制御された複数の超短光パルスの各々の波長

10

20

30

40

50

を任意に変化させることができる遅延時間変調型時間分解走査プローブ顕微鏡装置を提供することを第2の目的とするものである。

発明の開示

上記第1の目的を解決するために、本発明の請求項1に記載の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置は、超短光レーザーパルス装置と、超短光レーザーパルス装置が発生する超短光パルスを二つに分けると共に分けられた二つの超短光パルス間の遅延時間を設定し、かつ、設定した遅延時間を中心として一定の周波数で遅延時間を変調する遅延変調回路と、遅延変調回路で変調された二つの超短光パルスが照射される試料の直上に、プローブをプローブ先端と試料表面との間にトンネル接合が形成されるように配置し、かつ試料の面上でプローブを走査する走査プローブ顕微鏡と、二つの超短光パルスが照射される走査プローブ顕微鏡のプローブ信号を遅延時間の変調周波数でロックイン検出するロックイン検出装置とを有することを特徴としている。

10

上記構成において、超短光レーザーパルス装置は、フェムト秒オーダーのパルス幅を有する超短光パルスを一定周期で発生する。また、遅延変調回路は、好ましくは、ハーフミラーと、 piezo・ステージに固定されたミラーから成る二組の可動ミラーとを有し、二組の可動ミラーの一方又は両方を駆動して、遅延時間の中心値を設定すると共に、遅延時間を中心として一定の周波数で変調する。ロックイン検出装置は、遅延時間の変調周波数を参照周波数としてロックイン検出する。

上記構成によれば、超短光レーザーパルス装置からフェムト秒オーダーのパルス幅を有する超短光パルスが一定周期で発生し、各々の超短光パルスが遅延変調回路で、ハーフミラーによって二つの超短光パルスに分けられて、piezo・ステージに固定されたミラーから成る二組の可動ミラーで別々に反射され、ハーフミラーで再び合波される。その際、二組の可動ミラーの往復行路長の差を制御して二つの超短光パルス間の遅延時間を設定し、かつ、一方の可動ミラーの行路長を所定の振幅及び周波数で変調する。設定された遅延時間を中心として所定の振幅及び周波数で変調された遅延時間を有する二つの超短光パルスは、走査プローブ顕微鏡のプローブ直下の試料に入射して、試料のエネルギー状態を変化させてプローブ信号を変化させる。

20

ロックイン検出装置は、遅延時間の変調周波数を参照周波数としてロックイン検出し、プローブ信号の超短光パルス間の遅延時間に対する変化率に比例した変化量を検出する。遅延時間を連続的に変化させて、同様の測定をくり返す。

30

プローブ信号の超短光パルス間の遅延時間に対する変化率に比例した変化量から、プローブ信号の超短光パルス間の遅延時間に対する変化率を計算によって求めることができ、この変化率を遅延時間で積分すれば、プローブ信号の遅延時間依存性がわかる。

超短光パルス装置がフェムト秒の時間分解能を有し、また、遅延変調回路にpiezo・ステージを使用するので、フェムト秒の時間分解能で遅延時間を設定することができ、ロックイン検出装置は、遅延時間の変調周波数を参照周波数としてロックイン検出することで、プローブ信号の超短光パルス間の遅延時間に対する変化率に比例した変化量を検出する、すなわち、プローブ信号の超短光パルス間の遅延時間に対する変化率を直接検出しているため、大きなバックグラウンド成分がある場合にも、遅延時間に依存する微小な成分を、高感度に高精度に測定することができる。

40

また、超短光パルス強度の揺らぎの周波数よりも遅延時間の変調周波数を十分大きくすれば、プローブ信号の遅延時間に依存する微小な成分を、超短光パルス強度の揺らぎに影響されずに検出できる。

また、超短光レーザーパルス装置から一定周期で発生する超短光パルス列の全てをプローブ直下の試料に照射し、チョッパ等で超短光パルス列を遮断することがないので、超短光パルスの発生周波数がプローブ先端の熱応答速度に比べて十分大きければ、プローブ先端が冷える間もなく次の超短光パルスが供給されるので、プローブ先端の温度は一定になり、プローブ先端の熱膨張・収縮が無くなり、プローブ先端と試料表面との間の距離が変動しなくなりトンネル確率が変動しない。従って、プローブ信号の遅延時間に依存する微小な成分を、高感度かつ高精度に測定することができる。また、オングストローム・オーダ

50

ーの空間分解能を有する走査プローブを使用するので、オングストローム・オーダーの空間分解能で、プローブ信号の遅延時間に依存する微小な成分を、高感度かつ高精度に測定できる。

このように、本発明によれば、オングストロームオーダーの空間分解能で、フェムト秒の分解能で励起光パルス間の遅延時間に依存するプローブ電流成分を高感度に高精度に直接測定できるので、空間及び時間ともに極限の分解能で光励起物理現象を測定することが可能になる。

また、上記第2の目的を解決するために、本発明の請求項6に記載の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置は、複数の波長の異なる超短光パルスを発生し、かつ、これらの波長の異なる複数の超短光パルス間の遅延時間を設定できる超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置（PCT-国際公開番号W0 01 / 4 4 8 6 3 A 1号公報参照）と、超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置の二次元空間振幅変調器と二次元空間位相変調器の変調を制御して、複数の波長から所望の複数の波長の超短光パルスを選択し、複数の超短光パルス間の遅延時間を設定し、且つ設定した遅延時間を中心として一定周波数の変調タイミングで遅延時間を変調する波長・遅延時間・変調タイミング制御装置と、波長・遅延時間・変調タイミング制御装置で制御され、超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置から出力する、波長、遅延時間、及び変調タイミングが制御された複数の超短光パルスが照射される試料の直上に、プローブをプローブ先端と試料表面との間にトンネル接合が形成されるように配置し、かつ試料の面上でプローブを走査する走査プローブ顕微鏡と、超短光パルスが照射される走査プローブ顕微鏡のプローブ信号を変調タイミングを参照信号としてロックイン検出するロックイン検出装置と、を有することを特徴とする。

前記波長・遅延時間・変調タイミング制御装置は、所望の複数の超短光パルスの波長、遅延時間及び変調タイミング周波数の入力値に基づいて、二次元空間振幅変調器と二次元空間位相変調器の制御信号を計算し、二次元空間振幅変調器と二次元空間位相変調器に出力し、かつ、変調タイミング信号をロックイン検出装置に出力するコンピュータからなることを特徴とする。

前記ロックイン検出装置は、変調タイミングを参照周波数としてロックイン検出し、プローブ信号の、設定した遅延時間における、遅延時間に対する変化率に比例した量を検出することを特徴とする。また、走査プローブ顕微鏡は、走査型トンネル顕微鏡又は原子間力顕微鏡であることを特徴とする。

この構成によれば、本発明の請求項1に記載の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置と同様に、オングストロームオーダーの空間分解能で、フェムト秒の分解能で励起光パルス間の遅延時間に依存するプローブ電流成分を高感度に高精度に直接測定できることに加え、任意の波長による、かつ複数の波長による励起光パルス間の遅延時間に依存するプローブ電流成分を高感度に高精度に直接測定することができる。従って、空間及び時間ともに極限の分解能で3つ以上のエネルギー準位が関与する光励起物理現象を測定することが可能になる。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を詳細に説明する。

始めに、本発明の第1の実施の形態の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置を説明する。

図1は本発明の第1の実施の形態の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置の構成を示す図である。図において、本発明のフェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置1は、超短光レーザーパルス発生装置2と、超短光レーザーパルス発生装置2の発生する超短光レーザーパルス3を二つの超短光レーザーパルス4, 5に分けると共に二つの超短光レーザーパルス4, 5間の遅延時間 t_d を周波数で変調する遅延変調回路6と、遅延時間 t_d が周波数で変調された超短光レーザーパルス4, 5が照射される試料18の直上に、プローブ19の先端と試料18との間にトンネル接合が形成されるように、プローブ19を配置し、かつ試料18の面上でプローブ19を走査する走査プローブ顕

微鏡 7 と、プローブ 19 の先端と試料 18 間の超短光レーザーパルス 4, 5 の照射によって変調されたトンネル電流であるプローブ信号 11 を変調周波数 でロックイン検出するロックイン検出装置 8 とを有している。

なお、図において、9 は走査プローブの設定を補助するための CCD カメラであり、10 は遅延変調回路 6 からロックイン検出装置 8 へ送出する参照周波数 () 信号を示し、11 は走査プローブ顕微鏡 7 からロックイン検出装置 8 へ送出するプローブ信号であり、12 はロックイン検出装置 8 から画像表示装置 (図示せず) へ送出する測定データを示し、13 は画像表示装置に表示する測定データの一例である。

超短光レーザーパルス発生装置 2 は、フェムト秒オーダーのパルス幅を有する超短光パルス 3 を一定周期で発生する。例えば、波長 800 nm、パルス半値幅 25 fs の超短光パルス 3 をくり返し周波数 80 MHz で発生する、Ti : サファイアレーザーを用いることができる。

10

遅延変調回路 6 は、超短光パルス 3 を互いに直交した方向に進行する二つの超短光パルス 4, 5 に分けるハーフミラー 14 と、超短光パルス 4, 5 の進行方向に設けた二組の可動ミラー 15, 16 とを有している。可動ミラー 15, 16 は、ピエゾ・ステージを駆動してハーフミラー 14 との距離を任意に調節できると共に、任意の振幅及び任意の周波数 () で振動させることができる。図の例では、可動ミラー 15 で中心遅延時間 $t_d^{(0)}$ を調節し、可動ミラー 16 で周波数変調 (振幅 t_d 、周波数) を加えている。

走査プローブ顕微鏡 7 は、オングストローム・オーダーの曲率半径を有するプローブ 19 の先端を、オングストローム・オーダーの距離で試料表面に近づけることができ、また、オングストローム・オーダーの精度で試料面を走査できるものであれば良く、例えば、ピエゾ・ステージを用いた、極低温、超高真空用の走査型トンネル顕微鏡または原子間力顕微鏡が好ましい。ロックイン検出装置は、通常用いられるものでよいがダイナミックレンジが大きいものほど好ましい。

20

上記構成の本装置は以下のように動作する。

超短光レーザーパルス発生装置 2 からフェムト秒オーダーのパルス幅を有する超短光パルス 3 が一定周期で発生し、各々の超短光パルス 3 が遅延変調回路 6 で、ハーフミラー 14 によって二つの超短光パルス 4, 5 に分けられて、二組の可動ミラー 15, 16 で別々に反射され、ハーフミラー 14 で再び合波される。その際、二組の可動ミラー 15, 16 の往復行路長の差を制御して二つの超短光パルス 4, 5 の間の遅延時間の中心遅延時間 $t_d^{(0)}$ を設定し、かつ、一方の可動ミラー 16 の行路長を所定の振幅 t_d 及び周波数で変調する。所定の中心遅延時間 $t_d^{(0)}$ を中心として所定の振幅 t_d 及び周波数で変調された遅延時間を有する二つの超短光パルス 4, 5 は、走査プローブ顕微鏡 7 のプローブ直下の試料 17 に入射して、試料 18 のエネルギー状態を変化させてプローブ信号 11 を変化させる。

30

ロックイン検出装置 8 は、遅延時間の変調周波数 を参照周波数としてロックイン検出し、プローブ信号 11 の遅延時間変化率 (dI_t / dt_d) に比例する量を検出する。すなわち、超短光パルス 4, 5 間の遅延時間が中心遅延時間 $t_d^{(0)}$ を中心として、振幅 t_d 及び周波数 で遅延時間変調されているときの、時刻 t におけるプローブ信号 I_t は次の (1) 式となり、

40

$$I_t (t_d^{(0)} + \Delta t_d \sin \omega t) = I_t (t_d^{(0)}) + \Delta t_d \sin \omega t \left. \frac{dI_t}{dt_d} \right|_{t_d = t_d^{(0)}} + O^2 (\Delta t_d \sin \omega t) \quad (1)$$

参照周波数 でロックイン検出すると (1) 式の第 3 項の $\sin t$ の係数、

$$\Delta t_d \left. \frac{dI_t}{dt_d} \right|_{t_d = t_d^{(0)}} \quad (2)$$

が検出される。振幅 t_d は既知であるから、この係数からプローブ信号の遅延時間に対

50

する変化率 (dI_t / dt_d) が求まる。中心遅延時間 $t_d^{(0)}$ を連続的に変化させて変化率 (dI_t / dt_d) を測定し積分することによってプローブ信号 I_t の超短光パルス 4, 5 間の遅延時間 $t_d^{(0)}$ 依存性を求めることができる。この方法は、変動するバックグラウンド成分が除去されているので、高感度に高精度にプローブ信号の遅延時間依存性が求められる。

上記のように、超短光パルスレーザー発生装置 2 がフェムト秒の時間分解能を有し、また、遅延変調回路 6 がピエゾ・ステージを使用するので、フェムト秒の時間分解能で遅延時間を設定でき、また、ロックイン検出装置 8 は、遅延時間の変調周波数を参照周波数としてロックイン検出し、プローブ信号の遅延時間変化率に比例した量を直接検出するので、変動するバックグラウンド成分が除去されており、遅延時間に依存するプローブ信号の遅延時間依存性をフェムト秒の時間分解能で高感度に高精度に測定できる。

また、超短光パルス強度の揺らぎの周波数よりも、遅延時間の変調周波数を十分大きくすれば、プローブ信号の遅延時間依存性を、超短光パルス強度の揺らぎの影響を受けずに測定することができる。

さらに、超短光レーザーパルス発生装置 2 から一定周期で発生する超短光パルス 3 の列の全てをプローブ直下の試料に照射し、チョップ等で超短光パルス 3 の列の一部を遮断することがないので、超短光パルス 3 の発生周波数がプローブ 19 の先端の熱応答周波数に比べて十分大きければ、走査プローブ顕微鏡 7 のプローブ 19 の先端が冷える間もなく次の超短光パルス 4, 5 が供給されるので、プローブ 19 の先端の温度は一定になり、プローブ 19 の先端の熱膨張・収縮が無くなり、プローブ 19 の先端と試料 18 の表面との距離が変動しなくなってトンネル確率が変動しなくなり、プローブ信号 11 の遅延時間依存性を高感度かつ高精度に測定できる。

また、オングストローム・オーダーの空間分解能を有する走査プローブ顕微鏡 7 を使用するので、オングストローム・オーダーの空間分解能で測定できる。

次に、実施例 1 を示す。

本実施例は、本装置によれば走査プローブのプローブ先端が熱膨張や熱収縮を生じないことを示すものである。

図 2 は、本装置により、マイカ上に堆積した Au (111) 薄膜のプローブ電流を測定した結果を示す図である。超短光レーザーパルス発生装置は、波長 800 nm、パルス半値幅 25 fs の超短光パルスをくり返し周波数 80 MHz で発生する、Ti : サファイアレーザーを用いている。Au は 800 nm の光波長では吸収を示さない物質であり、プローブ電流は、測定中に変動しないことが予測される。

図 2 (a) は、光照射をしない場合のプローブ電流の経時変化を示す図であり、時間の経過に対しプローブ電流が変化しないことがわかる。図 2 (b) は、従来の装置と同様に、レーザー光を周波数 200 Hz でチョップして照射し、プローブ電流を測定したものである。図から明らかなように、5 msec の周期でプローブ電流が変動しており、走査プローブのプローブ先端が、レーザーパルス光照射によって熱膨張や熱収縮してプローブ電流が変動してしまうことがわかる。図 2 (c) は、遅延時間変調の振幅 t_d が 400 fs、変調周波数が 100 Hz で遅延時間変調を行い、プローブ電流を測定したものである。図から明らかなように、時間の経過に対しプローブ信号が変化しないことがわかる。すなわち、本装置によれば、レーザーパルス光照射によって走査プローブのプローブ先端が熱膨張や熱収縮をしないことがわかる。

次に、実施例 2 を示す。

本実施例は本装置の時間分解能を示すものである。図 3 は、本装置の時間分解能評価に使用した測定系を示す図である。n 型 GaAs (100) 基板を試料に用いた。なお、n 型 GaAs のキャリア寿命は十分長く、本実施例の遅延時間範囲ではほとんど緩和しない。図 3 (a) は、n 型 GaAs である試料 18 と、プローブ 19 の先端と、試料 18 とプローブ 19 の先端の間のギャップ 17 とで構成されるエネルギーバンド構造を示す図である。図 3 (b) は、図 3 (a) の構成において、プローブ 19 の先端を基準として n 型 GaAs 18 間に印加したバイアス電圧 (横軸) に対するプローブ電流 (縦軸) の変化を示

10

20

30

40

50

す図であり、点線は、光照射無しの場合、実線は光照射がある場合を示す。電圧が負の場合はトンネルギャップに形成されるショットキーバリアの順方向にバイアスがかかるため、 n 型GaAs表面近傍のエネルギー障壁が薄くなり、それに伴いトンネル確率が大きくなり、プローブ19の先端へ n 型GaAsから電子がトンネルしてプローブ電流が流れる。この状態は、図3(b)の負電圧領域の点線に対応する。電圧が正の場合には、図3(a)の点線で示すように、 n 型GaAs表面近傍にエネルギー障壁が存在するためトンネル確率が小さいままで、プローブ19の先端から n 型GaAsへのプローブ電流が流れない。この状態は図3(b)の正電圧領域の点線に対応する。電圧が正の場合に光照射すると、図3(a)の黒い太矢印で示したように、キャリアが励起され n 型GaAs表面近傍のエネルギー障壁が薄くなり、それに伴いトンネル確率が大きくなり n 型GaAsからプローブ19に電子がトンネルしてプローブ電流が流れる。この状態は、図3(b)の正電圧領域の実線に対応する(黒い太矢印で示す)。

本実施例では、上記の電圧が正の場合の系を用いて本装置の時間分解能評価を行った。図4は、本装置の時間分解能を示す図である。図4(a)は、2つに分割した超短光パルス間の遅延時間 $t_d^{(0)}$ (横軸)に対するプローブ電流(縦軸)を示す。遅延時間 $t_d^{(0)}$ が0、すなわち、二つの超短光パルスが重なった状態から約1fsずつ遅延時間を増大(及び減少)させて測定した。図から明らかなように、プローブ電流が超短光パルスの波長800nmに対応する周期2.68fsで振動していることから、プローブ電流の振動は二つの超短光パルスの干渉強度に基づくものであることがわかる。また、全体の包絡線は超短光パルスのパルス幅に対応する約30fsの半値幅を有していることがわかる。これらの結果から、本装置は、遅延時間を1fsの精度で制御できていることがわかる。図4(b)は、図4(a)と同一の条件で、振幅 t_d が0.5fs、変調周波数が400Hzで遅延時間変調してプローブ電流の、プローブ電流変化率にを比例する変化量(式2で表される量)を測定した図である。図4(b)の波形は図4(a)の波形の微分波形になっていることがわかる。すなわち、本装置は、1fsの精度で、遅延時間に依存するプローブ電流、すなわち遅延時間に依存するプローブ信号を測定できることがわかる。このように、本装置は、遅延時間を1fsの精度で制御でき、かつ1fsの精度で遅延時間に依存するプローブ信号を測定できるので、超短光パルス幅と同程度の精度で、プローブ信号の遅延時間依存性を測定できることがわかる。

次に、本発明の第2の実施の形態を説明する。

上記説明では、波長が同一な超短光パルス間の遅延時間を変化させ、かつ、遅延時間を変調して、プローブ信号の変化量を直接測定する装置について説明したが、次に、波長の異なる複数の超短光パルス間の遅延時間を変化させ、かつ、遅延時間を変調して、プローブ信号の変化量を直接測定する装置を説明する。

図5は、本発明の第2の実施の形態の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置の構成を示す図である。図において、第2の実施の形態の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置20は、超短光レーザーパルス装置21と、超短光レーザーパルス装置21の発生する超短光パルス22から複数の波長の異なる超短光パルス23, 24を発生し、かつ、波長の異なる複数の超短光パルス23, 24間の遅延時間を所望の値に設定できる超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置25と、複数の超短光パルス23, 24の波長を設定し、複数の超短光パルス間の遅延時間を設定し、かつ、遅延時間を一定タイミングで変調する変調制御信号27を、超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置25の二次元空間振幅変調器と二次元空間位相変調器に送出し、かつ、遅延時間変調タイミングをロックイン検出の参照信号28としてロックイン検出器8に送出する、波長・遅延時間・変調タイミング制御装置26と、波長・遅延時間・変調タイミング制御装置26で制御されて超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置25から出力する複数の超短光パルス23, 24が照射される試料18の直上に、プローブ19の先端と試料18との間にトンネル接合が形成されるようにプローブ19を配置し、かつ試料18の面上でプローブ19を走査する走査プローブ顕微鏡7と、超短光パルス23, 24が照射される走査プローブ顕微鏡7のプローブ信号11を変調タイミングを参照信号28としてロ

10

20

30

40

50

クイン検出するロックイン検出装置 8 とを有することを特徴としている。

なお、図 5 において、波長、遅延時間が選択された超短光パルスは、23, 24 の 2 つの場合を示しているが、2 つに限らず、さらに多くの複数であっても良い。また、12 はロックイン検出装置 8 から画像表示装置 13 へ送出する測定データを示す。

図 6 は、超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置の構成を示す図である。なお、この図 6 は P C T - 国際公開番号 W O 0 1 / 4 4 8 6 3 A 1 号公報に記載の図 1 に基づいた図である。

超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置は、上記特許文献に詳細に記載されているので、ここではこの装置の概略を説明するに止める。なお、説明を簡潔にするため、図の紙面に垂直な方向を y 軸とし、紙面平行方向を x 軸として説明する。図において、超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置 25 は、超短光レーザーパルス発生装置 21 の発生する超短光パルス 22 を超広帯域光パルスに変換する超広帯域光パルス発生装置 31 と、複数の円柱面レンズ 32, 33 及び平面ミラー 34 からなり、超広帯域化された超短光パルスを y 軸方向に広げるビーム拡張装置 35 と、グレーティング 36 と x 方向に曲率を持つ円柱面レンズ 37 とからなり、y 軸方向に広げられた超短光パルスを x 方向に波長分散させ且つコリメートする波長分散装置 38 と、コリメートされた超短光パルスの x - y 面上の各点の透過率を所望の値に設定する二次元空間振幅変調器 39 と、二次元空間振幅変調器 39 を透過した超短光パルスの x - y 面上の各点の位相を所望の値に設定する二次元空間位相変調器 40 と、x 方向に曲率を持つ円柱面レンズ 41 とグレーティング 42 とからなり、二次元空間位相変調器 40 を透過した超短光パルスを x 方向に縮めた後、任意のパルス波形に整形するビーム縮小波形整形装置 43 とから成っている。

超広帯域光パルス発生装置 31 は、非線形光学媒質の高次の非線形効果を利用するものであり、中央部分を非常に細くしたテーパ状の石英ファイバを用いた場合には、チタン・サファイア・レーザの高繰り返し超短光パルス(中心波長 790 nm)を 500 nm から 1000 nm の波長帯域に広げることができる。

二次元空間振幅変調器 39 は、液晶からなるピクセルを x - y 平面上に配列したものであり、個々の液晶ピクセルを個々の電圧で制御して、個々の液晶ピクセルの透過率を独立に制御する。

二次元空間位相変調器 40 は、二次元空間振幅変調器 39 と同様に、液晶からなるピクセルを x - y 平面上に配列したものであり、個々の液晶ピクセルを個々の電圧で制御して、個々の液晶ピクセルを透過することによって付加される位相を独立に制御する。

図 7 は、二次元空間振幅変調器 39 の透過率の設定例を示す図である。図 7 (a) は、ピクセルが x 方向に 20 個配列した行が、y 方向に 4 列 (y 1 , y 2 , y 3 , y 4) 配列した例を示している。黒く塗りつぶしたピクセル 51 は、透過率を 0 に設定したピクセルであり、白いピクセル 52 は透過率が 0 ではない所望の値に設定したピクセルである。

図 7 (b) は、図 7 (a) に示すようにピクセルの透過率を設定した場合に、二次元空間振幅変調器 39 を透過した超短光パルスの波長及び強度の空間分布を示す図である。次に、この装置の作用の概略を例を用いて説明する。

図 6 で説明したように、二次元空間振幅変調器 39 に入射する超短光パルスは、y 方向に広げられ、かつ x 方向に波長分散しているから、図 7 (a) に示すような、すなわち、行 y 1 は左側の複数のピクセルが透過するように、行 y 2 はやや中心付近の複数のピクセルが透過するように、行 y 3 は中心付近の複数のピクセルが透過するように、また、行 y 4 は右側の複数のピクセルが透過するように設定し、また、透過する各行の複数のピクセルの内、中心付近のピクセルの透過率をもっとも高くして、左右のピクセルの透過率を徐々に小さく設定した場合には、超短光パルスを二次元空間振幅変調器 39 を透過させることによって、図 7 (b) に示すような、空間的に分離され且つ波長の異なる複数の超短光パルスに変換できる。

図 8 は二次元空間位相変調器 40 の位相の設定例を示す図である。図 8 (a) は、ピクセルが x 方向に 20 個配列した行が、y 方向に 4 列 (y 1 , y 2 , y 3 , y 4) 配列した例を示している。白いピクセル 61 は二次元空間振幅変調器 39 から透過してくる波長の異

なる複数の超短光パルスの位置に対応しており、所望の位相が設定されている。図8(b)は、ピクセル61毎に異なった位相を付加されたピクセル毎の部分波をx軸方向に合成した場合に得られる時間軸(t)上の超短光パルス波形を示している。

二次元空間振幅変調器39を出力した超短光パルスは、二次元空間位相変調器40の各ピクセル61によって部分波に分解され、各々の部分波に所望の位相を付加することによって時間軸上で部分波を所望の順序で並べることができるから、時間軸上で所望の形状を有する超短光パルスを出力できる。例えば、図7(b)のy1行に示した超短光パルスは、図8(a)のy1行の左側の白い複数のピクセルに所望の位相を設定し、図6の円柱面レンズ41とグレーティング42でx方向に合成することにより、図8(b)のy1行に示した時間軸上で所望の遅延時間 t_d を有する2つの超短光パルスを形成できる。

10

また、同様に、図7(b)のy2行、y3行の超短光パルスを、図8(a)のy2行、y3行の白い複数のピクセル61で部分波に分解し、各々の部分波に所望の位相を付加して時間軸上で部分波を所望の順序で並べることによって、図8(b)のy2行に示した波長 λ_2 の超短光パルスとy3行に示した波長 λ_3 の超短光パルスとが任意の遅延時間 t_d を有するようになることができる。

このように、超短光パルスをy方向に広げ、かつx方向に波長分散し、二次元空間位相変調器39で波長毎に分解し、二次元空間位相変調器40で部分波毎に所望の位相を付加し、円柱面ミラー41とグレーティング42でx方向に合成するので、所望の波長、所望の遅延時間を有する超短光パルス列が得られる。

図5に示した波長・遅延時間・変調タイミング制御装置26は、上記の空間位相変調器39、及び、二次元空間位相変調器40に所望の波長及び所望の遅延時間を有する超短光パルス列を実現するための変調制御信号27を送出する。さらに、遅延時間のみが(1)式で示した t_d だけ異なる変調制御信号27も一定周期で上記変調制御信号と交互に送出して遅延時間 t_d を一定周期で変調する。また、 t_d だけ異なる変調制御信号を送出するタイミング(周波数を f_M とする)を参照信号28としてロックイン検出器8に送出する。

20

このようにして、本発明の第2の実施形態の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置によれば、複数の超短光パルスの波長を選択し、複数の超短光パルス間の遅延時間を変化させ、遅延時間を一定周期で変調し、遅延時間変調周波数でロックイン検出するので、複数の波長の異なる超短光パルス照射による遅延時間に依存したプローブ電流の変化量を直接測定することができる。この装置によれば、例えば図10に示したような、3つ以上のエネルギー準位が関与する光励起物理現象の知見を得ることができる。

30

なお、本発明は例示的な実施例について説明したものであり、本発明の要旨及び範囲を逸脱することなく、実施例での種々の変更、省略、追加が可能である。従って本発明は上記した幾つかの実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された要素によって規定される範囲及びその均等範囲を包含するものとして理解されなければならない。

産業状上の利用可能性

上記説明から理解されるように本発明によれば、プローブ信号の超短光パルス間の遅延時間に依存する成分を直接検出することができ、超短光パルス強度の揺らぎによる影響を受けずに検出することができ、かつ、超短光パルスの照射によってプローブの先端が熱膨張、熱収縮することがない。従って、フェムト秒オーダーの時間分解能及びオングストロームオーダーの空間分解能で光励起物理現象を測定することができる。また、プローブ信号の、波長の異なる超短光パルス間の遅延時間に依存する成分を直接検出することができる。従って、さらに高度な光励起物理現象の知見を得ることができる。

40

本発明は、ナノスケールの局所領域のフェムト秒オーダーの光励起物理現象を解明するために用いられれば極めて有用である。

【図面の簡単な説明】

本発明は以下の詳細な説明及び本発明の実施例を示す添付図面によって、よりよく理解されるものとなる。なお添付図面に示す実施例は本発明を特定するものではなく、説明及び理解を容易とするものである。

50

第 1 の目的に対応して、図中、

図 1 は、本発明の第 1 の実施の形態の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置の構成を示す図である。

図 2 は、本発明の装置により、マイカ上に堆積した Au (1 1 1) 薄膜のプローブ電流を測定した結果を示す図である。

図 3 は、本発明の装置の時間分解能評価に使用した測定系を示す図である。

図 4 は、本発明の装置の時間分解能を示すグラフである。

第 2 の目的に対応して、図中、

図 5 は、本発明の第 2 の実施の形態の遅延時間変調型フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡装置の構成を示す図である。

図 6 は、超広帯域可変波長多重パルス波形整形装置の構成を示す図である。

図 7 は、二次元空間振幅変調器の透過率の設定例を示す図である。

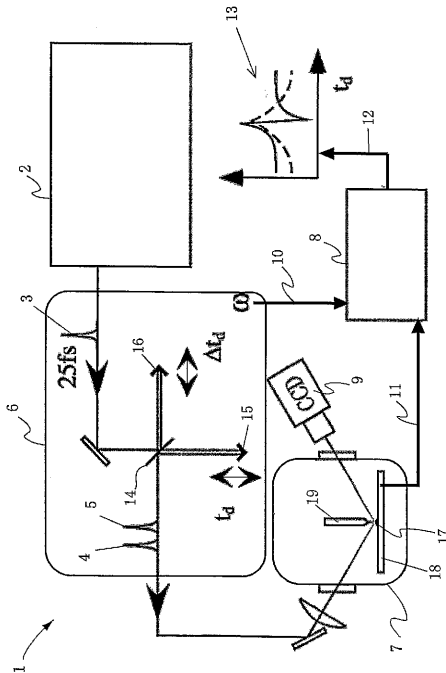
図 8 は、二次元空間位相変調器の位相の設定例を示す図である。

図 9 は、従来装置の構成を示す図である。

図 1 0 は、3 準位系の励起を示す図である。

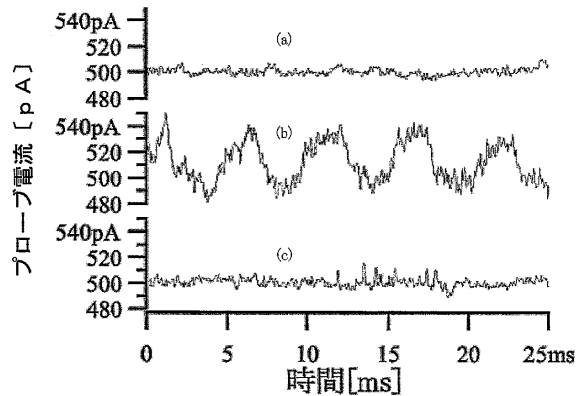
【 図 1 】

図 1



【 図 2 】

図 2



【 図 3 】

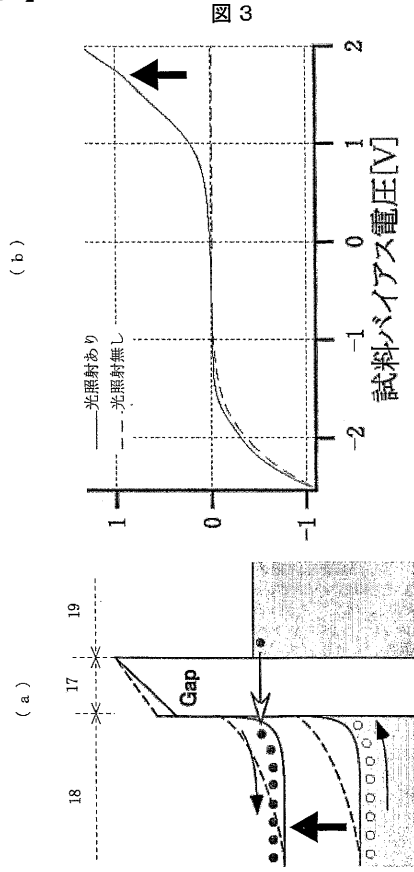


図 3

【 図 4 】

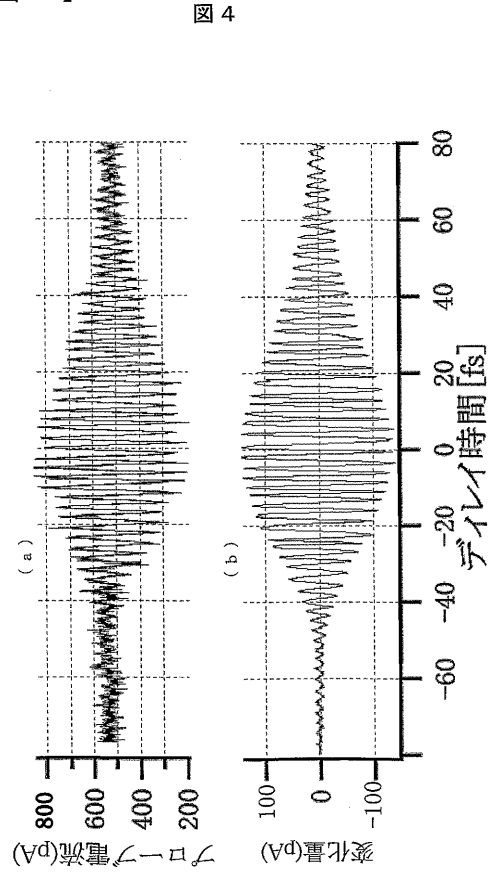


図 4

【 図 5 】

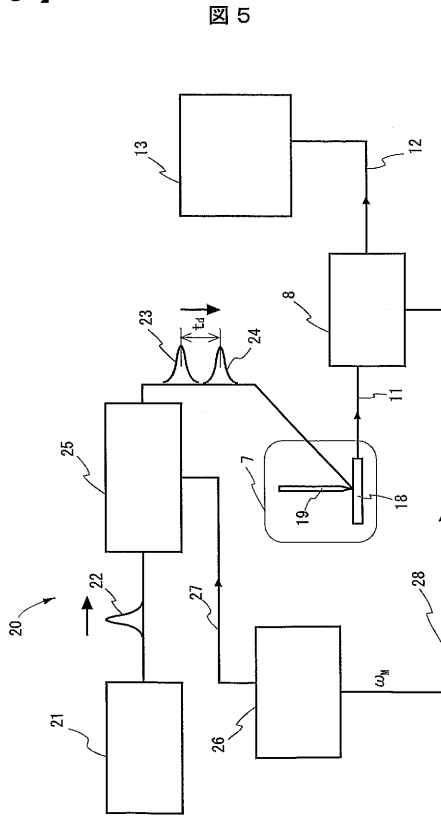


図 5

【 図 6 】

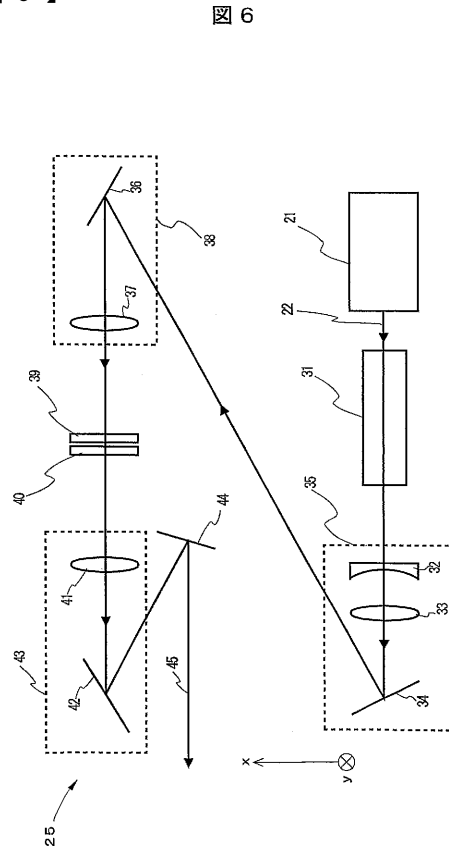
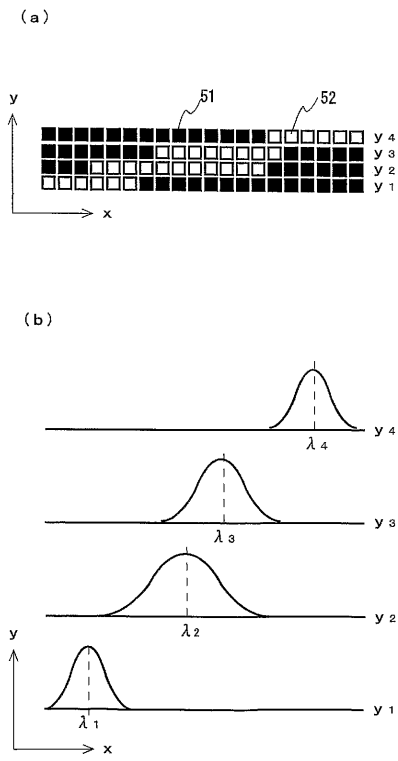


図 6

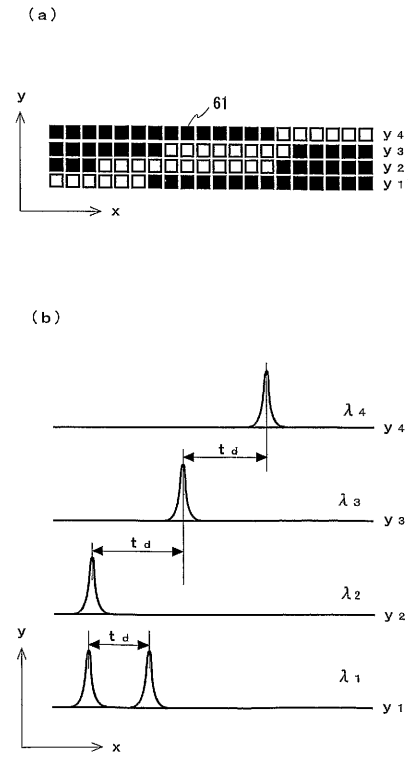
【 図 7 】

図 7



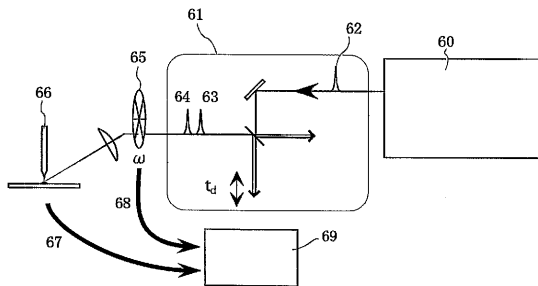
【 図 8 】

図 8



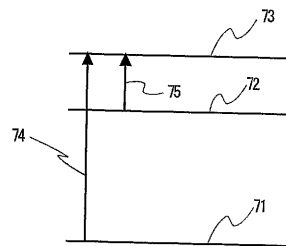
【 図 9 】

図 9



【 図 10 】

図 10



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/12273

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁷ G01N13/12, 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.Cl ⁷ G01N13/10-13/24		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JICST FILE (JOIS)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GERSTNER, V., KNOLL, A., PFEIFFER, W., THON, A., and GERBER, G., Femtosecond laser assisted scanning tunneling microscopy, J.Appl.Phys., 15 October, 2000 (15.10.00), Vol.88, No.8, pages 4851 to 4859	1-9
A	Hidemi SHIGEKAWA, "Hikari Reiki STM", Journal of the Surface Science Society of Japan, 10 May, 1999 (10.05.99), Vol.20, No.5, pages 336 to 343	1-9
A	GERBER, G., SATTLER, F., VOGLER, S., GRAND, J.Y., LEIDERER P., and MOELLER, R., Femtosecond Time Resolution in Scanning Tunneling Microscopy, Springer Series in Chemical Physics, 1994, Vol.60, No.8, pages 149 to 151	1-9
A	KELLER, U., Ultrashort Time Optics: An Overview, NATO ASI Series E, 1995, Vol.300, pages 295 to 305	1-9
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 document 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 14 February, 2003 (14.02.03)	Date of mailing of the international search report 25 February, 2003 (25.02.03)	
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer	
Facsimile No.	Telephone No.	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/12273

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PFEIFFER, W., SATTLER, F., VOGLER, S., GERBER, G., GRAND, J.Y., and MOELLER, R., Photoelectron emission in femtosecond laser assisted scanning tunneling microscopy, Appl.Phys.B., 1997, Vol.64, No.2, pages 265 to 268	1-9
A	Koji SAKAGUCHI, "Kyoekikei Kobunshi Hakumaku Denkyoku no Fento Byo Nanometer Hikari Kino, Kozo Kisei Kino Kaimen no Kochiku to Denkyoku Hanno", Heisei 10 Nendo Seika Hokokusho, 1999, pages 197 to 198	1-9
A	VOELCKER, M., KRIEGER, W., and WALTHER, H., Laser-Driven Scanning Tunneling Microscope, Phys. Rev. Lett., 01 April, 1991 (01.04.91), Vol.66, No.13, pages 1717 to 1720	1-9
A	US 4918309 A (International Business Machines Corp.), 17 April, 1990 (17.04.90), Full text; Figs. 1 to 7 & JP 7-3397 B2 Full text; Figs. 1 to 7 & JP 64-12201 A Full text; Figs. 1 to 7 & EP 296262 A Full text; Figs. 1 to 7	1-9
A	JP 3200263 B2 (Sharp Corp.), 15 June, 2001 (15.06.01), Full text; Fig. 1 & JP 7-134134 A Full text; Fig. 1	1-9
A	JP 3145329 B2 (Japan Science and Technology Corp.), 05 January, 2001 (05.01.01), Full text; Figs. 1 to 11 & JP 10-221060 A Full text; Figs. 1 to 11	1-9
A	JP 2001-174764 A (Japan Science and Technology Corp.), 29 June, 2001 (29.06.01), Full text; Figs. 1 to 8 & WO 01/44863 A1 Full text; Figs. 1 to 8	1-9
P,X P,A	TAKEUCHI, O., MORITA, R., YAMASHITA, M. and SHIGEKAWA, H., Development of Time-Resolved Scanning Tunneling Microscopy in Femtosecond Range, Jpn.J.Appl.Phys., July 2002, Vol.41, Part 1, No.7B, pages 4994 to 4997	1-5 6-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/12273

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	GRAFSTROEM, S., Photoassisted scanning tunneling microscopy, J.Appl.Phys., 15 February, 2002 (15.02.02), Vol.91, No.4, pages 1717 to 1753	1-9

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JPO2/12273									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))											
Int. Cl ⁷ G01N13/12, 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											
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											
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2003年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2003年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2003年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2003年	日本国登録実用新案公報	1994-2003年	日本国実用新案登録公報	1996-2003年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2003年										
日本国登録実用新案公報	1994-2003年										
日本国実用新案登録公報	1996-2003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)											
JICSTファイル (JOIS)											
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									
A	GERSTNER, V., KNOLL, A., PFEIFFER, W., THON, A., and GERBER, G., Femtosecond laser assisted scanning tunneling microscopy, J. Appl. Phys., 15 October 2000, Vol. 88, No. 8, pages 4851-4859	1-9									
A	重川秀実, 光励起STM, 表面科学, 1999. 05. 10, 第20巻, 第5号, p. 336-343	1-9									
A	GERBER, G., SATTLER, F., VOGLER, S., GRAND, J. Y., LEIDERER, P., and MOELLER, R., Femtosecond Time Resolution in Scanning Tunneling Microscopy, Springer Series in Chemical Physics, 1994, Vol. 60, No. 8, pages 149-151	1-9									
<input checked="" 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		の日の後に公表された文献									
「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		「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									
「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		「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									
「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)		「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									
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」 同一パテントファミリー文献									
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願											
国際調査を完了した日 14. 02. 03		国際調査報告の発送日 25.02.03									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 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) 速藤 孝徳 電話番号 03-3581-1101 内線 3250									

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JPO2/12273
C (続き) 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
A	KELLER, U., Ultrashort Time Optics: An Overview, NATO ASI Series E, 1995, Vol. 300, pages 295-305	1-9
A	PFEIFFER, W., SATTLER, F., VOGLER, S., GERBER, G., GRAND, J. Y., and MOELLER, R., Photoelectron emission in femtosecond laser assisted scanning tunneling microscopy, Appl. Phys. B, 1997, Vol. 64, No. 2, pages 265-268	1-9
A	坂口浩司, 共役系高分子薄膜電極のフェムト秒ナノメートル光機能, 構造規制機能界面の構築と電極反応 平成10年度成果報告書, 1999, p. 197-198	1-9
A	VOELCKER, M., KRIEGER, W., and WALTHER, H., Laser-Driven Scanning Tunneling Microscope, Phys. Rev. Lett., 1 April 1991, Vol. 66, No. 13, pages 1717-1720	1-9
A	US 4918309 A (International Business Machines Corporation) 1990. 04. 17, 全文, 第1-7図 & JP 7-3397 B2, 全文, 第1-7図 & JP 64-12201 A, 全文, 第1-7図 & EP 296262 A, 全文, 第1-7図	1-9
A	JP 3200263 B2 (シャープ株式会社) 2001. 06. 15 全文, 第1図 & JP 7-134134 A, 全文, 第1図	1-9
A	JP 3145329 B2 (科学技術振興事業団) 2001. 01. 05 全文, 第1-11図 & JP 10-221060 A, 全文, 第1-11図	1-9
A	JP 2001-174764 A (科学技術振興事業団) 2001. 06. 29, 全文, 第1-8図 & WO 01/44863 A1, 全文, 第1-8図	1-9
P, X P, A	TAKEUCHI, O., MORITA, R., YAMASHITA, M. and SHIGEKAWA, H., Development of Time-Resolved Scanning Tunneling Microscopy in Femtosecond Range, Jpn. J. Appl. Phys., July 2002, Vol. 41, Part 1, No. 7B, pages 4994-4997	1-5 6-9
P, A	GRAFSTROEM, S., Photoassisted scanning tunneling microscopy, J. Appl. Phys., 15 February 2002, Vol. 91, No. 4, pages 1717-1753	1-9

フロントページの続き

(72)発明者 森田 隆二

北海道札幌市北区北27条西6-1-25-102

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。