(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
2019年7月25日(25.07.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/142914 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 21/17 (2006.01)　*G01Q 60/10* (2010.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2019/001480

(22) 国際出願日：　2019年1月18日(18.01.2019)

(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 2018-007557　2018年1月19日(19.01.2018)　JP

(71) 出願人: Ｇセラノスティックス株式会社 (**GTHERANOSTICS CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒1600016 東京都新宿区信濃町３　Ｓコート２０２ Tokyo (JP).

(72) 発明者: 重川　秀実 (**SHIGEKAWA, Hidemi**); 〒3058577 茨城県つくば市天王台１－１－１ 国立大学法人筑波大学内 Ibaraki (JP).

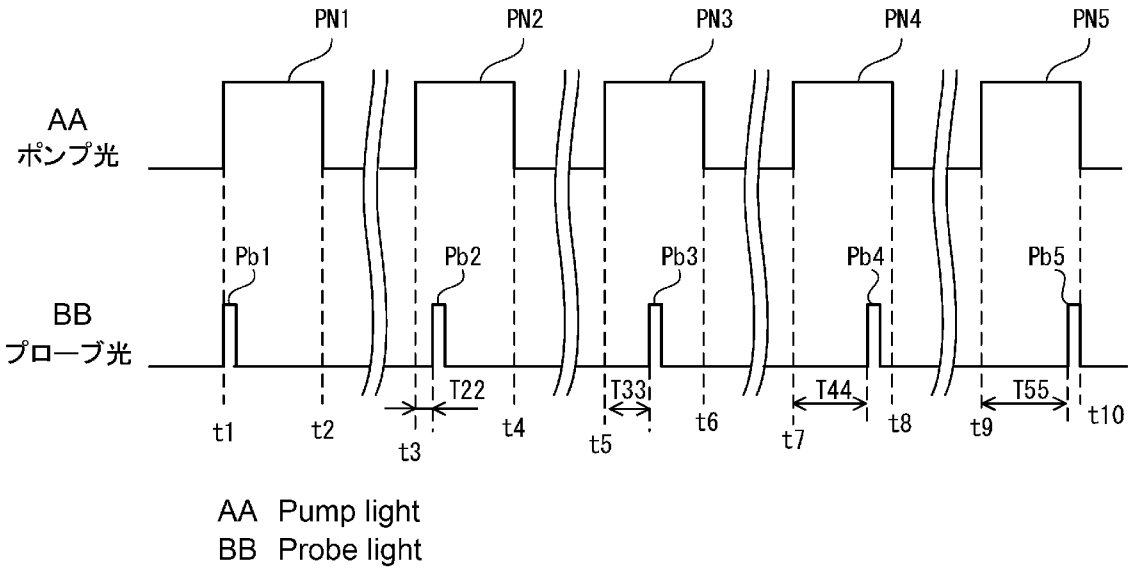
(74) 代理人: 大賀 眞司(**OHGA, Shinji**); 〒1400002 東京都品川区東品川二丁目３番１２号 シーフォートスクエアセンタービルディング１６階 サンネクスト国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

(54) **Title:** SCANNING PROBE MICROSCOPE

(54) 発明の名称： 走査プローブ顕微鏡

【図4】



(57) **Abstract:** This scanning probe microscope is provided with: a pump light output unit for performing a plurality of rounds of pump light irradiation where a sample is irradiated with pump light having a first predetermined phase and the sample is excited; a probe light output unit for irradiating the sample once with probe light having a second predetermined phase while the sample is being excited by one round of pump light irradiation; and a scanning probe for detecting, from the sample, a probe signal corresponding to each round of irradiation with the probe light. The pump light output unit or

WO 2019/142914 A1

［続葉有］

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, ST, 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).

規則4.17に規定する申立て:
一 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則4.17(v))

添付公開書類:
一 国際調査報告 (条約第21条(3))

the probe light output unit includes a delay time adjustment unit for adjusting a delay time from after irradiation with the pump light is started up until irradiation with the probe light is started.

(57) 要約: 走査プローブ顕微鏡は、試料に第1の所定の位相を有するポンプ光を照射し試料を励起するポンプ光照射を複数回行うポンプ光出力部と、試料が1回のポンプ光照射により励起されている間に試料に第2の所定の位相を有するプローブ光を1回照射するプローブ光出力部と、1回ごとのプローブ光の照射に対応するプローブ信号を試料から検出する走査プローブとを備え、ポンプ光出力部またはプローブ光出力部は、ポンプ光の照射が開始されてからプローブ光の照射が開始されるまでの遅延時間を調整する遅延時間調整部を含む。

明　細　書

発明の名称 ： 走査プローブ顕微鏡

技術分野

[0001] 本発明は、走査プローブ顕微鏡に関する。

背景技術

[0002] 従来、試料の情報を原子レベル、分子レベルで時間分解して取得する装置として、光学的ポンプ・プローブ走査トンネル顕微鏡(Optical Pump-Probe Scanning Tunneling Microscopy、OPP-STM)が提案されている。OPP-STMでは、探針直下にパルス対列を照射しながら、探針と試料との間を流れるトンネル電流をプローブ信号として読み取る。これによりフェムト秒領域で試料の表面現象を解析できる。たとえば特許文献１には、ポンプ光となる第１の超短光パルス列と、該ポンプ光に対して第１の遅延時間を有していてプローブ光となる第２の超短光パルス列と、該ポンプ光に対して第２の遅延時間を有していてプローブ光となる第３の超短光パルス列と、を発生させる超短光パルスレーザー発生部と、上記第２及び第３の超短光パルス列が入射される光シャッタ部と、上記光シャッタ部を制御する光シャッタ制御部と、上記ポンプ光及びプローブ光を試料に照射する照射光学系と、該試料からのプローブ信号を検出するセンサーと、該センサーに接続される位相敏感検出手段と、を含む検出部と、を備え、上記第２の超短光パルス列と上記第３の超短光パルス列とが、光シャッタ制御部によって上記ポンプ光に対する上記プローブ光の遅延時間が周期的に変調されて交互にプローブ光として上記試料に照射され、上記プローブ信号を上記遅延時間の周期的変調に同期して上記位相敏感検出手段で検出することを特徴とする、ポンププローブ測定装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開特開２０１３－３２９９３号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 発明者らは、ナノスケールの科学技術をさらに発展し、新たな機能を開拓するためには電荷移動や遷移、伝導などを含む光誘起キャリアの量子ダイナミクスを精密に評価することが必要であるという新たな課題を見出した。しかし特許文献１に記載されている発明では、量子ダイナミクスを制御して観察できない。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明の第１の態様による走査プローブ顕微鏡は、試料に第１の所定の位相を有するポンプ光を照射し前記試料を励起するポンプ光照射を複数回行うポンプ光出力部と、前記試料が１回の前記ポンプ光照射により励起されている間に前記試料に第２の所定の位相を有するプローブ光を１回照射するプローブ光出力部と、１回ごとの前記プローブ光の照射に対応するプローブ信号を前記試料から検出する走査プローブとを備え、前記ポンプ光出力部または前記プローブ光出力部は、前記ポンプ光の照射が開始されてから前記プローブ光の照射が開始されるまでの遅延時間を調整する遅延時間調整部を含む。

本発明の第２の態様による走査プローブ顕微鏡は、試料に第１の所定の位相を有するポンプ光を照射し前記試料を励起するポンプ光照射を１回以上行うポンプ光出力部と、前記試料が１回の前記ポンプ光照射により励起されている間に前記試料に第２の所定の位相を有するプローブ光を１回以上照射するプローブ光出力部と、１回ごとの前記プローブ光の照射に対応するプローブ信号を前記試料から検出する走査プローブとを備える。

発明の効果

[0006] 本発明によれば、量子ダイナミクスを制御して観察できる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]第１の実施の形態における電子顕微鏡１の概要構成を示す図

[図2]走査プローブ５の先端部付近の拡大図

[図3]図３（ａ）はポンプ光２１の時間波形を示す図、図３（ｂ）はポンプ光２１の周波数スペクトルを示す図

[図4]第１の実施の形態におけるポンプ光２１およびプローブ光３１の時間変化を示す模式図

[図5]変形例１におけるカンチレバーの先端と試料９００との距離を示す図

[図6]変形例５における、ポンプ光２１およびプローブ光３１の時間変化を示す模式図

[図7]第２の実施の形態における電子顕微鏡１Ａの概要構成を示す図

[図8]オンオフ変調を行う場合の変調部３Ｂの構成を示す図

[図9]位相変調を行う場合の変調部３Ｂの構成を示す図

[図10]第３の実施の形態におけるポンプ光２１およびプローブ光３１の時間変化を示す模式図

[図11]第３の実施の形態の変形例２における、ポンプ光２１およびプローブ光３１の時間変化を示す模式図

発明を実施するための形態

[0008] ―第１の実施の形態―

以下、図１～図４を参照して、本発明にかかる走査プローブ顕微鏡である電子顕微鏡の第１の実施の形態を説明する。

[0009] 図１は電子顕微鏡１の概要構成を示す図である。電子顕微鏡１は、ポンプ光出力部２と、プローブ光出力部３と、走査プローブ５とを備える。ポンプ光出力部２およびプローブ光出力部３は後述するように同期して動作する。プローブ光出力部３は遅延時間を調整する遅延時間調整部３Ａを備える。

[0010] 図２は走査プローブ５の先端部付近の拡大図である。試料９００は電子顕微鏡１の観察対象であり走査プローブ５の先端部付近に配される。走査プローブ５は探針５１を備える。探針５１と試料９００の間に電圧を印加すると、探針５１の先端部である探針先端部５１ａと試料９００の表面との間にトンネル電流が流れる。この探針先端部５１ａでは探針増強により電場が増強され、その増強幅は様々であるがたとえば１０の５～６乗に増強される場合

もある。

[0011] ポンプ光出力部２はポンプ光２１を試料９００に照射し、プローブ光出力部３はプローブ光３１を試料９００に照射する。試料９００はポンプ光２１が照射されると励起され、後述するように試料９００が励起されている間にプローブ光３１が照射される。プローブ光３１により探針５１と試料９００との間に電圧が印加されるので、探針先端部５１ａと試料９００の表面との間に流れるトンネル電流がプローブ信号として取得される。走査プローブ５は不図示の記憶部を備え、取得したプローブ信号を記録する。

[0012] 遅延時間調整部３Ａは、ポンプ光２１の試料９００への照射が開始されてから、プローブ光３１の試料９００への照射が開始されるまでの遅延時間を調整する。前述のとおりポンプ光出力部２およびプローブ光出力部３は同期して動作するので、遅延時間調整部３Ａにより電子顕微鏡１は遅延時間を任意に設定できる。第１の実施の形態では、遅延時間調整部３Ａを用いて遅延時間を複数とおりに変化させて測定を行う。

[0013] ポンプ光出力部２は、所定の位相を有し、探針先端部５１ａと試料９００の表面で生成されるトンネル接合への照射に適した強度の光を出力できればよく、構成は特に限定されない。ポンプ光出力部２は、たとえばレーザー光源と、非線形光学結晶とを備え、レーザー光源が発生するレーザーパルスを非線形光学結晶に照射し、テラヘルツ波を生成させる。このテラヘルツ波は、毎回同一の位相を有する。レーザー光源としては、チタン・サファイアレーザーを用いることができる。非線形光学結晶としては、ニオブ酸リチウム（$LiNbO_3$）の結晶を用いることができる。なおポンプ光出力部２は、複数の光学系をさらに含んで構成されてもよい。

[0014] 図３（ａ）は、繰り返し周波数１ＭＨｚ、パルス持続時間１３０ｆｓ、中心波長８００ｎｍのチタンサファイアレーザーを光源とし、このチタンサファイアレーザーを$LiNbO_3$の結晶に透過させて得られたポンプ光２１の時間波形を示す図である。図３（ｂ）は図３（ａ）の周波数スペクトルを示す図である。図３（ａ）および図３（ｂ）ではレーザー光源が出力した１つの

パルスに対応するポンプ光２１の時間波形および周波数スペクトルを示しており、本実施の形態ではこれを「１回に出力するポンプ光２１」と呼ぶ。このレーザー光源は繰り返し周波数が１ＭＨｚなので、ポンプ光出力部２は、１μｓごとに図３に示す同一の位相のポンプ光２１を出力する。

[0015] ポンプ光出力部２は位相を調整する機構を備えないが、その物理的な特性として、出力するポンプ光２１の位相は同一となる。すなわち換言すると、ポンプ光出力部２は、第１の所定の位相を有するポンプ光２１を出力する。

[0016] 図３（ａ）に示す電場強度の時間変化は次のとおりである。すなわち図示左端の０ｐｓでは０ｋｖ／ｃｍであり、４ｐｓあたりでマイナス側に大きくになり、５ｐｓ付近で反転して急激に増加して１０ｋｖ／ｃｍに達している。その後に電場強度は－６ｋｖ／ｃｍ程度まで減少した後に０ｋｖ／ｃｍ付近で小さく増減を繰り返している。電場強度の時間変化を詳細に見ると上記のとおりであるが、図３（ａ）に示す１回に出力するポンプ光２１を１０ｋｖ／ｃｍの振幅を有する周期約２ｐｓの正弦波に注目すれば、半周期が含まれるのみである。また電場強度の大きさが探針５１と試料９００の間のバイアス電圧、すなわちトンネル電流に影響することを考慮すれば、波の中で、相対的に振幅が大きい領域（部分）により決まることになる。

[0017] そのため、１回に出力するポンプ光２１は、その波の中で相対的にある大きな振幅を有する正弦波の半周期のみから構成されるとみなすことができる。これは言い換えると、１回に出力するポンプ光２１は、支配的な強度を有する波の半周期のみから構成されることになる。また図３（ａ）の６ｐｓ付近には－６ｋｖ／ｃｍのマイナス値が存在するが、１回に出力するポンプ光２１は、ある大きな振幅を有する電場の１周期から構成されるとみなすことができる。

[0018] 図３（ｂ）に示すように、ポンプ光２１は幅広い周波数成分を含んでいるので、ポンプ光２１により多様な反応を発生させることができる。

[0019] プローブ光出力部３は、ポンプ光出力部２と同様に、たとえばレーザー光源と、非線形光学結晶とを備え、レーザー光源が発生するレーザーパルスを

非線形光学結晶に照射して、光を生成させる。ただしプローブ光３１はポンプ光２１よりも周期が短い必要があるので、使用するレーザー光源および非線形光学結晶の少なくとも一方はポンプ光出力部２と異なる。プローブ光出力部３は、レーザー光源としては、パルス持続時間１０ｆｓのチタンサファイアレーザを用いることができる。非線形光学結晶としては、セレン化ガリウム（ＧａＳｅ）を用いることができる。なおプローブ光出力部３は、複数の光学系をさらに含んで構成されてもよい。プローブ光３１の波形は図３（ａ）に示したものと略同一である。ただしプローブ光３１はポンプ光２１よりも周期が短く、およそ３０ｆｓ（３０ｘ１０＾－１５秒）である。

[0020] またプローブ光出力部３はポンプ光出力部２と同様に位相を調整する機構を備えないが、その物理的な特性として、出力するプローブ光３１の位相は同一となる。すなわち換言すると、プローブ光出力部３は、第２の所定の位相を有するプローブ光３１を出力する。ポンプ光２１の位相とプローブ光３１の位相との関係は任意であり、両者が同一であることを要しない。本実施の形態では、ポンプ光２１およびプローブ光３１の位相が変化しないことが重要である。

[0021] ポンプ光出力部２およびプローブ光出力部３は、出力を同期させる。同期させる手段は、それぞれのレーザー光源を同期させて動作させてもよいし、それぞれのレーザー光源からの出力を同一の、または連動して動作するスリットを通過させてもよい。

[0022] 探針５１は、たとえば直径０．３ｍｍの白金イリジウム（８０／２０％）ワイヤで作成され、探針先端５１ａの直径は４０ｎｍである。

[0023] 図４は第１の実施の形態において、ポンプ光２１およびプローブ光３１の時間変化を示す模式図である。図４の上段は試料９００に照射されるポンプ光２１の強度の時間変化を示す図であり、図４の下段は試料９００に照射されるプローブ光３１の強度の時間変化を示す図である。ただし図４の下段では視認性の向上のために、プローブ光３１の照射時間を実際よりも長く示している。また図４では作図の都合によりポンプ光２１およびプローブ光３１

の強度を矩形波としているが、実際は図３に示したとおりである。また図４には、ポンプ光２１の位相が一定であること、およびプローブ光３１の位相が一定であることが示されている。

[0024] 図４に示す例では、遅延時間を５とおりに設定している。すなわち、時刻ｔ１～ｔ２として示す第１のパターン、時刻ｔ３～ｔ４として示す第２のパターン、時刻ｔ５～ｔ６として示す第３のパターン、時刻ｔ７～ｔ８として示す第４のパターン、時刻ｔ９～ｔ１０として示す第５のパターンである。ただしｔ１～ｔ１０は連続した時系列でもよいし連続していなくてもよい。たとえばｔ１～ｔ２に示す第１のパターンで１００万回続けて測定した後に第２のパターンで１００万回続けて測定し、さらに次に第３のパターンで１００万回・・・としてもよい。

[0025] いずれのパターンでも、ポンプ光２１が照射されている時間は２ｐｓで共通し、プローブ光３１が照射されている時間は３０ｆｓで共通する。いずれのパターンでも、ポンプ光２１が１回照射されている間に、プローブ光３１が１回照射される。第１のパターンでは、ポンプ光２１とプローブ光３１が遅延なく試料９００に照射されるので、遅延時間はゼロである。第２～第５のパターンではそれぞれ遅延時間がＴ２２、Ｔ３３、Ｔ４４、Ｔ５５である。これらは、Ｔ２２＜Ｔ３３＜Ｔ４４＜Ｔ５５の関係を有する。そしてＰＮ５の立下りとＰｂ５の立下り、すなわちパターン５のポンプ光２１の照射の終了とプローブ光３１の照射の終了は同時である。

[0026] 上述した第１の実施の形態によれば、次の作用効果が得られる。

（１）電子顕微鏡１は、試料９００にポンプ光２１を照射し試料９００を励起するポンプ光照射を複数回行うポンプ光出力部２と、試料９００が１回のポンプ光照射により励起されている間に試料９００にプローブ光３１を１回照射するプローブ光出力部３と、１回ごとのプローブ光３１の照射に対応するプローブ信号を試料９００から検出する走査プローブ５とを備える。プローブ光出力部３は、ポンプ光の照射が開始されてからプローブ光の照射が開始されるまでの遅延時間を調整する遅延時間調整部３Ａを含む。そのためポ

ンプ光２１を試料９００に照射して試料の状態を励起し、その励起中にプローブ光３１を照射してプローブ信号を得ることで、励起中の状態、すなわち量子ダイナミクスを制御して観察できる。またプローブ信号は探針５１の直下、すなわちナノスケールから原子スケールの非常に狭い領域の状態を表すので、電子顕微鏡１を用いることで局所の量子ダイナミクスを制御して観察できる。

[0027] （２）ポンプ光出力部２が１回に出力するポンプ光２１は、支配的な強度を有する波を１周期未満含む。またそれぞれのポンプ光２１の中で電場の位相が定まっており、その位相を制御することができる。そのため照射したポンプ光２１により生じる試料９００の変化を精密に制御できる。仮に１回に照射されるポンプ光２１の位相が定まっていなければ、ポンプ光２１の再現性に乏しく、とくにポンプ光２１の照射開始から経時変化が一定ではないのでプローブ信号が再現しない。具体的にはたとえば図４の時刻ｔ１～ｔ２に示す計測を行った場合に得られるプローブ信号が毎回異なる。もちろんこの場合に試料９００の特性が全く得られないわけではないが、いわば平均化されてぼやけた測定値しか得られない。したがって、ポンプ光２１で制御した変化の途中を観察することができず、ポンプ光２１により励起された後の緩和過程を測定することになる。これに対して本実施の形態ではポンプ光２１は支配的な強度を有する波を１周期未満含み、位相が定まっていて制御されているので、同一条件における複数回の試行において定まった状態のプローブ信号が得られることから、いわば特定の条件における鮮明な測定値が得られる。

[0028] （３）プローブ光出力部３が１回に出力するプローブ光３１は、支配的な強度を有する波を１周期未満含み、定まった位相を制御することができる。そのためプローブ光３１がプローブ信号に与える影響を高精度に算出可能であり、得られたプローブ信号を精度よく解析できる。

[0029] （変形例１）

原子間力顕微鏡の一種である周波数変調原子力顕微鏡（ＦＭ－ＡＦＭ：Fre

quency Modulation-Atomic Force Microscope）に本発明を適用してもよい。ただしこのＦＭ－ＡＦＭは、引力領域のみで動作させる非接触モードで動作させる。本変形例では走査プローブ５は、探針５１がカンチレバーの先端に設けられた構成を有する。そしてこの探針５１を外力により振動させ、カンチレバーに光を照射して試料９００が変化する影響を振幅や振動数から読み取る。すなわち本変形例ではプローブ光３１を使用せず、ポンプ光２１で試料９００を励起してからある遅延時間後のカンチレバーの振動の変化を読み取ることで、局所の量子ダイナミクスを制御して観察する。

[0030] 本変形例では探針５１と試料９００の距離を以下のように精密に設定する必要がある。原子間力は一般に１ｎｍ以下と言われている相互作用距離以下で作用するため、カンチレバーと試料９００の距離およびカンチレバーの振幅を適切に設定することで、適切なタイミングで試料９００の状態を測定できる。

[0031] 図５（ａ）は変形例１における適切な距離設定を示す図であり、図５（ｂ）および図５（ｃ）は不適切な距離設定を示す図である。図５（ａ）～図５（ｃ）はいずれも横軸が時間、縦軸が試料９００とカンチレバー先端の距離を示している。ここでは相互作用距離を１ｎｍとしている。カンチレバーは振動しているため、試料９００とカンチレバー先端との距離は周期的に変動する。

[0032] 仮に図５（ｂ）のようにカンチレバーの位置および振幅を設定すると、カンチレバーの先端位置は常に相互作用距離よりも遠く、試料９００の状態を測定できない。また仮に図５（ｃ）のようにカンチレバーの位置および振幅を設定すると、カンチレバーの先端位置は常に相互作用距離よりも近く、常に試料９００の影響を受ける。図５（ｃ）に示す状態は、第１の実施の形態においてプローブ光３１を常に照射している状態に相当する。

[0033] 図５（ａ）のようにカンチレバーの位置および振幅を設定すると、カンチレバーの振動周期のうち、ｔｓ～ｔｅの時間だけカンチレバーの先端位置が相互作用距離以下になり、試料９００の影響を受ける。すなわち図５（ａ）

のｔｓ～ｔｅの時間は、第１の実施の形態におけるプローブ光３１を照射する時間、たとえば図４のＰｂ１の幅の時間に相当する。そのため図４におけるＰＮ１とＰｂ１の関係のように、ｔｓ～ｔｅの時間よりも長い時間のポンプ光２１を照射することで、ＦＭ－ＡＦＭを用いて第１の実施の形態と同様の作用効果が得られる。また本変形例によれば非導電体も試料９００とすることができる。

[0034] なおカンチレバーを振動させる周波数は、カンチレバーの共振周波数が望ましく、カンチレバーの共振周波数はカンチレバーの素材や形状などにより定まるものである。また相互作用力が働く時間を短くする場合は、カンチレバーが受ける影響が軽微なので感度のよい信号の検出、換言するとノイズを低減させる工夫が必要となる。

[0035]（変形例２）

上述した第１の実施の形態では、第１のパターンではポンプ光２１の照射開始とプローブ光３１の照射開始が同時であり、第５のパターンではポンプ光２１の照射の終了とプローブ光３１の照射終了が同時であった。しかし第１のパターンにおいてポンプ光２１の照射開始とプローブ光３１の照射開始とが一致しなくてもよく、第５のパターンにおいてポンプ光２１の照射の終了とプローブ光３１の照射終了が一致しなくてもよい。また遅延時間調整部３Ａが調整する遅延時間は５とおりでなくてもよく、少なくとも１つあればよい。またプローブ光出力部３は、ポンプ光出力部２がポンプ光２１を照射していない間にプローブ光３１をさらに照射してもよい。

[0036]（変形例３）

上述した第１の実施の形態ではプローブ光出力部３が遅延時間調整部３Ａを備えた。しかしポンプ光出力部２が遅延時間調整部３Ａと同様の構成を備えてもよい。換言すると第１の実施の形態ではポンプ光２１の出力タイミングは第１のパターン～第５のパターンのいずれでも一定でありプローブ光３１の出力タイミングを変化させたが、プローブ光３１の出力タイミングを一定としてポンプ光２１の出力タイミングを変化させてもよい。ポンプ光２１

とプローブ光３１の相対関係、すなわち遅延時間の長さが重要であり、いずれを基準にするかは設計事項に過ぎないからである。

[0037]（変形例４）

上述した第１の実施の形態では、プローブ光出力部３はレーザー光源と非線形光学結晶とを備えた。しかしレーザー光源の出力がそのままプローブ光として使用できる場合は、プローブ光出力部３は非線形光学結晶を備えなくてもよい。たとえば波長が８００ｎｍ程度の中赤外領域では、レーザー光源が出力するパルス幅が５ｆｓよりも短ければ、そのレーザー光を非線形光学結晶に照射することなくプローブ光として用いてもよい。

[0038]（変形例５）

上述した第１の実施の形態では、１回に出力されるポンプ光２１は、支配的な強度を有する波を１周期未満含んだ。しかし１回に出力されるポンプ光２１は、同一の強度を有する波を複数周期含んでもよい。

[0039] 図６は変形例５における、ポンプ光２１およびプローブ光３１の時間変化を示す模式図である。図６に示す例では、１回に出力されるポンプ光２１は、第１の実施の形態とは異なり、ある一定の振幅を有する波を３．５周期含んでいる。その一方で、１回に出力されるプローブ光３１は、第１の実施の形態と同様に、支配的な強度を有する波を１周期未満含む。具体的には、たとえば時刻ｔ１～ｔ２に示す第１のパターンで１００万回続けて測定した後に、時刻ｔ３～ｔ４に示す第２のパターンで１００万回続けて測定し、さらに次に時刻ｔ５～ｔ６に示す第３のパターンで１００万回測定する。このときプローブ光３１の照射開始タイミングは、第１のパターンでは、１周期目のプローブ光ＰＮ１－１の照射と同時である。第２のパターンでは、同じく１周期目のプローブ光ＰＮ２－１の照射開始から第１の所定の時間遅延している。第３のパターンでは、同じく１周期目のプローブ光ＰＮ３－１の照射開始からさらに遅延して第２の所定の時間遅延している。

[0040] このように１回に出力されるポンプ光２１が、所定の強度を有する波を複数周期含む場合は、プローブ光３１の照射タイミングをポンプ光２１の特定

の周期にあわせることで、第１の実施の形態と同様の作用効果が得られる。すなわち本変形例ではプローブ光３１はポンプ光２１の１周期目とタイミングを合わせたが、２周期目とタイミングを合わせてもよいし３周期目とタイミングをあわせてもよい。

[0041] （変形例６）

上述した第１の実施の形態では、プローブ光３１は、支配的な強度を有する波を１周期未満含んだ。しかしプローブ光３１は、電場の極性の正負が非対称であることを条件に加えてもよいし、また一方の極性のみを有する半周期未満を含むことを条件に加えてもよい。正負が非対称であることを条件に加えるのは、正負対称の場合は電場強度が積分するとゼロになり好ましくないからである。また積分した際の正負相殺を防止するために、正または負の一方の極性のみとし半周期未満としてもよい。

[0042] ―第２の実施の形態―

図７～図８を参照して、本発明にかかる走査プローブ顕微鏡である電子顕微鏡の第２の実施の形態を説明する。以下の説明では、第１の実施の形態と同じ構成要素には同じ符号を付して相違点を主に説明する。特に説明しない点については、第１の実施の形態と同じである。本実施の形態では、主に、プローブ光の変調を行う点で、第１の実施の形態と異なる。

[0043] 図７は第２の実施の形態における電子顕微鏡１Ａの概要構成を示す図である。本実施の形態におけるプローブ光出力部３は、第１の実施の形態の構成に加えて、オンオフ変調または位相変調を行う変調部３Ｂを備える。走査プローブ５は、第１の実施の形態の構成に加えてロックインアンプ５Ａを備える。ロックインアンプ５Ａは、変調部３Ｂと信号線５Ｂにより接続される。変調部３Ｂは信号線５Ｂを介してロックインアンプ５Ａに参照信号を出力する。ロックインアンプ５Ａは、変調部３Ｂから入力される参照信号を用いて、プローブ信号からプローブ光３１に同期した成分を抽出する。

[0044] （変調部３Ｂ）

変調部３Ｂは、たとえばスリットを用いてオンオフ変調を実現できる。特

に円周方向に開口部を有する後述するスリット板１１０を回転させることで、周期的なプローブ光３１の遮断を容易に実現できる。

[0045] 図８はオンオフ変調を行う場合の変調部３Ｂの構成を示す図である。変調部３Ｂは、スリット板１１０を用いてオンオフ変調を実現できる。スリット板１１０は、切り欠き部１１３を備える。ハッチングで示す符号ＯＰはプローブ光３１の光路を示している。図８において光路ＯＰの位置は一定であり、スリット板１１０が回転して切り欠き部１１３が光路ＯＰの位置に達するとプローブ光３１が試料９００に照射される。

[0046] 変調部３Ｂは、たとえば以下に説明する符号１２１と符号１２２で示す２つのレンズを用いて位相、すなわちキャリアエンベロープ位相（Carrier-envelope phase、ＣＥＰ）を制御できる。

[0047] 図９は位相変調を行う場合の変調部３Ｂの構成を示す図である。図９においてハッチングで示す符号ＯＰはプローブ光３１の光路を示している。図９に示すように、第一のレンズ１２１と第二のレンズ１２２とが光路ＯＰに互いに対向して配置される。プローブ光３１を第一のレンズ１２１と第二のレンズ１２２とを透過させることにより、プローブ光３１を所望のＣＥＰに制御できる。

[0048] 第一のレンズ１２１と第二のレンズ１２２の材料は、いずれもプローブ光３１に対する透過性を備えるものであればよく、透過性が高いものほど好ましい。第一のレンズ１２１と第二のレンズ１２２との形状は同じであることが好ましく、所望のＣＥＰの態様に応じて、球面レンズや円柱レンズを選択できる。変調部３Ｂに、第一および第二のレンズとして球面レンズが配置される場合、ｃｏｓｉｎ型（$\phi cep=0$）のプローブ光３１を反転ｃｏｓｉｎ型（$\phi cep=\pi$）のものに変換できる。一方、第一および第二のレンズとして円柱レンズが配置される場合は、ｃｏｓｉｎ型のプローブ光３１をｓｉｎ型（$\phi cep=\pi/2$）のものに変換できる。プローブ光３１の位相を制御することにより、電場の方向を制御することができる。

[0049] そしてプローブ光３１を第一のレンズ１２１と第二のレンズ１２２とを透

過させるか否かにより、プローブ光３１の位相を切り替えることができる。たとえばｃｏｓｉｎ型（φｃｅｐ＝０）のプローブ光３１をそのまま出力するか、１組のレンズを透過させて反転ｃｏｓｉｎ型（φｃｅｐ＝π）として出力するか、またはφｃｅｐ＝π／２として出力するかなどを切り替える。

[0050] 第一のレンズ１２１と第二のレンズ１２２とは、それぞれ少なくとも一つの入射面と出射面とを有する。第一のレンズ１２１の出射面１２１ｂと第二のレンズ１２２の入射面１２２ａとを対向させて配置させる。球面レンズを配置する態様の具体例である図９では、第一のレンズ１２１と第二のレンズ１２２とを、第一のレンズ１２１の出射面１２１ｂと第二のレンズ１２２の入射面１２２ａとを対向させ、ＴＨｚ波が第一のレンズ１２１の入射面１２１ａから出射面１２１ｂへと透過後、第二のレンズ１２２の入射面１２２ａから出射面１２２ｂへと透過するように配置される。円柱レンズを用いる場合も同じ要領で配置することが好ましい。

[0051] 上述した第２の実施の形態によれば、次の作用効果が得られる。

（４）プローブ光出力部３は、プローブ光を変調する変調部３Ｂを含む。電子顕微鏡１Ａはプローブ信号から変調部３Ｂが変調したプローブ光に同期した成分を抽出するロックインアンプ５Ａを備える。そのためプローブ信号にノイズが含まれていても所望の信号を得ることができる。なおプローブ光３１が有するエネルギー量が比較的少ない場合は、実施が容易なオンオフ変調を用いることができる。しかしプローブ光３１が有するエネルギー量が比較的多い場合にはオンオフ変調を行うと、プローブ光３１のオンオフに連動して探針５１が伸縮し大きな影響、すなわち新たなノイズ源となってしまう。このような場合は位相変調を用いる。

[0052]（第２の実施の形態の変形例１）

変調部３Ｂは、オンオフ変調および位相変調以外の変調を行ってもよい。たとえば変調部３Ｂは、遅延時間変調をおこなってもよい。

[0053]（第２の実施の形態の変形例２）

上述した第２の実施の形態では、プローブ光出力部３が変調部３Ｂを備え

た。しかしポンプ光出力部２が変調部を備えてもよい。本変形例においても、プローブ信号にノイズが含まれていても所望の信号を得ることができるという効果が得られる。

[0054] ―第３の実施の形態―

図１０を参照して、本発明にかかる走査プローブ顕微鏡である電子顕微鏡の第３の実施の形態を説明する。以下の説明では、第１の実施の形態と同じ構成要素には同じ符号を付して相違点を主に説明する。特に説明しない点については、第１の実施の形態と同じである。本実施の形態では、主に、ポンプ光を１回照射している間にプローブ光を複数回照射する点で、第１の実施の形態と異なる。

[0055] 第３の実施の形態における電子顕微鏡１の構成は第１の実施の形態と同様である。ただしプローブ光出力部３が出力するプローブ光３１の時間間隔は第１の実施の形態よりも短い。また走査プローブ５はプローブ光３１が１回照射されるたびに測定を行う。すなわち本実施の形態ではプローブ光３１が照射される時間間隔が第１の実施の形態よりも短いので、走査プローブ５が測定し記録する応答時間は、第１の実施の形態よりも短いことが求められる。

[0056] 図１０は、ポンプ光２１およびプローブ光３１の時間変化を示す模式図である。図１０は第１の実施の形態における図４に相当する。ポンプ光２１の照射時間は、たとえば第１の実施の形態と同様に２ｐｓであり、プローブ光３１の照射時間は、たとえば第１の実施の形態と同様に３０ｆｓである。本実施の形態では、ポンプ光２１が照射されている間にプローブ光３１が複数回、たとえば図１０に示すようにＰｂ１～Ｐｂ５の合計５回照射される。走査プローブ５は、プローブ光３１のそれぞれに対応するプローブ信号を測定して記録する。

[0057] 上述した第３の実施の形態によれば、次の作用効果が得られる。

（５）電子顕微鏡１は、試料９００にポンプ光２１を照射し試料を励起するポンプ光照射を１回以上行うポンプ光出力部２と、試料９００が１回のポン

プ光照射により励起されている間に試料９００にプローブ光３１を２回以上照射するプローブ光出力部３と、１回ごとのプローブ光３１の照射に対応するプローブ信号を試料から検出する走査プローブ５とを備える。そのため第１の実施の形態と同様の効果が短時間で得られる。換言すると第３の実施の形態における電子顕微鏡１は、短時間で量子ダイナミクスを制御して観察できる。

[0058]（第３の実施の形態の変形例１）

上述した第３の実施の形態では、ポンプ光２１の照射開始とプローブ光３１の１回目の照射開始が同時であり、ポンプ光２１の照射の終了とプローブ光３１の５回目の照射終了が同時であった。しかしポンプ光２１の照射開始とプローブ光３１の１回目の照射開始とが一致しなくてもよく、ポンプ光２１の照射の終了とプローブ光３１の５回目の照射終了が一致しなくてもよい。またポンプ光２１が１回照射されている間に照射するプローブ光３１の回数は５回でなくてもよく、２回以上であればよい。すなわち、ポンプ光２１の照射中にプローブ光３１が少なくとも２回照射され、両者の照射開始のタイミング差が明らかであればよい。またポンプ光２１を照射していない間にプローブ光３１をさらに照射してもよい。

[0059]（第３の実施の形態の変形例２）

上述した第３の実施の形態では、１回に出力されるポンプ光２１は、支配的な強度を有する波を１周期未満含んだ。しかし１回に出力されるポンプ光２１は、同一の強度を有する波を複数周期含んでもよい。この場合にプローブ光３１は、１回のポンプ光２１に含まれる周期と同じ回数だけ出力される。

[0060] 図１１は変形例６における、ポンプ光２１およびプローブ光３１の時間変化を示す模式図である。図１１に示す例では、１回に出力されるポンプ光２１は、第１の実施の形態とは異なり、ある一定の振幅を有する波を３周期含んでいる。図１１における破線は、ポンプ光２１に含まれる１周期の始期および終期を示している。時刻ｔ１～ｔ４に示す第１のパターンでは、プロー

ブ光３１はポンプ光２１の各周期の出力が開始されると同時にプローブ光３１が出力される。時刻ｔ５以降に示す第２のパターンでは、プローブ光３１はポンプ光２１の各周期の出力が開始されると所定の遅延時間後にプローブ光３１が出力される。ただし第２のパターンは図示の都合により途中で途切れている。

[0061] 第１のパターンが何度も、たとえば１０万回繰り返された後に第２のパターンが開始されてもよいし、第１のパターンが１回のみ行われた後に第２のパターンが開始されてもよい。

[0062] 本変形例によれば、第１の実施の形態における図４のｔ１～ｔ２に示すポンプ光２１およびプローブ光３１の出力が複数回繰り返されるので、得られるプローブ信号が第１の実施の形態よりも増強される利点を有する。

[0063] 上述した各実施の形態および変形例は、それぞれ組み合わせてもよい。上記では、種々の実施の形態および変形例を説明したが、本発明はこれらの内容に限定されるものではない。本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の態様も本発明の範囲内に含まれる。

符号の説明

[0064] １、１Ａ…電子顕微鏡
２…ポンプ光出力部
２１…ポンプ光
３…プローブ光出力部
３１…プローブ光
３Ａ…遅延時間調整部
３Ｂ…変調部
５…走査プローブ
５１…探針

請求の範囲

[請求項1] 試料に第１の所定の位相を有するポンプ光を照射し前記試料を励起するポンプ光照射を複数回行うポンプ光出力部と、

前記試料が１回の前記ポンプ光照射により励起されている間に前記試料に第２の所定の位相を有するプローブ光を１回照射するプローブ光出力部と、

１回ごとの前記プローブ光の照射に対応するプローブ信号を前記試料から検出する走査プローブとを備え、

前記ポンプ光出力部または前記プローブ光出力部は、前記ポンプ光の照射が開始されてから前記プローブ光の照射が開始されるまでの遅延時間を調整する遅延時間調整部を含む走査プローブ顕微鏡。

[請求項2] 試料に第１の所定の位相を有するポンプ光を照射し前記試料を励起するポンプ光照射を１回以上行うポンプ光出力部と、

前記試料が１回の前記ポンプ光照射により励起されている間に前記試料に第２の所定の位相を有するプローブ光を２回以上照射するプローブ光出力部と、

１回ごとの前記プローブ光の照射に対応するプローブ信号を前記試料から検出する走査プローブとを備える走査プローブ顕微鏡。

[請求項3] 請求項１または請求項２に記載の走査プローブ顕微鏡において、

前記ポンプ光出力部が１回に出力するポンプ光は、支配的な強度を有する波を１周期未満含む走査プローブ顕微鏡。

[請求項4] 請求項１から請求項３までのいずれか一項に記載の走査プローブ顕微鏡において、

前記プローブ光出力部が１回に出力するプローブ光は、支配的な強度を有する波を１周期未満含む走査プローブ顕微鏡。

[請求項5] 請求項１から請求項４までのいずれか一項に記載の走査プローブ顕微鏡において、

前記ポンプ光出力部は、ポンプ光を変調するポンプ光変調部を含み

、

前記プローブ信号から前記ポンプ光変調部が変調したポンプ光に同期した成分を抽出するロックイン検出器をさらに備える走査プローブ顕微鏡。

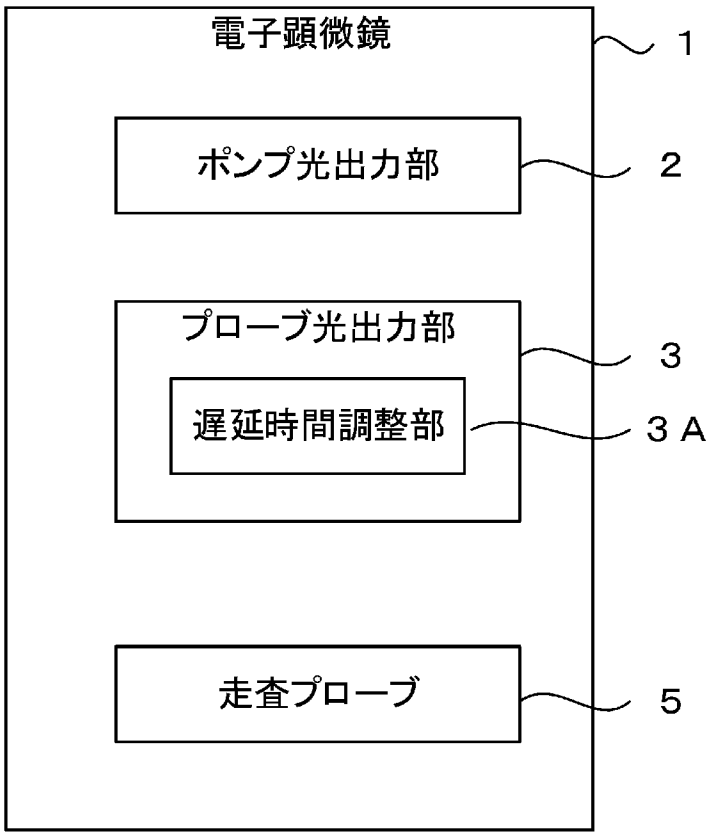
[請求項6] 請求項１から請求項５までのいずれか一項に記載の走査プローブ顕微鏡において、

前記プローブ光出力部は、プローブ光を変調するプローブ光変調部を含み、

前記プローブ信号から前記プローブ光変調部が変調したプローブ光に同期した成分を抽出するロックイン検出器をさらに備える走査プローブ顕微鏡。

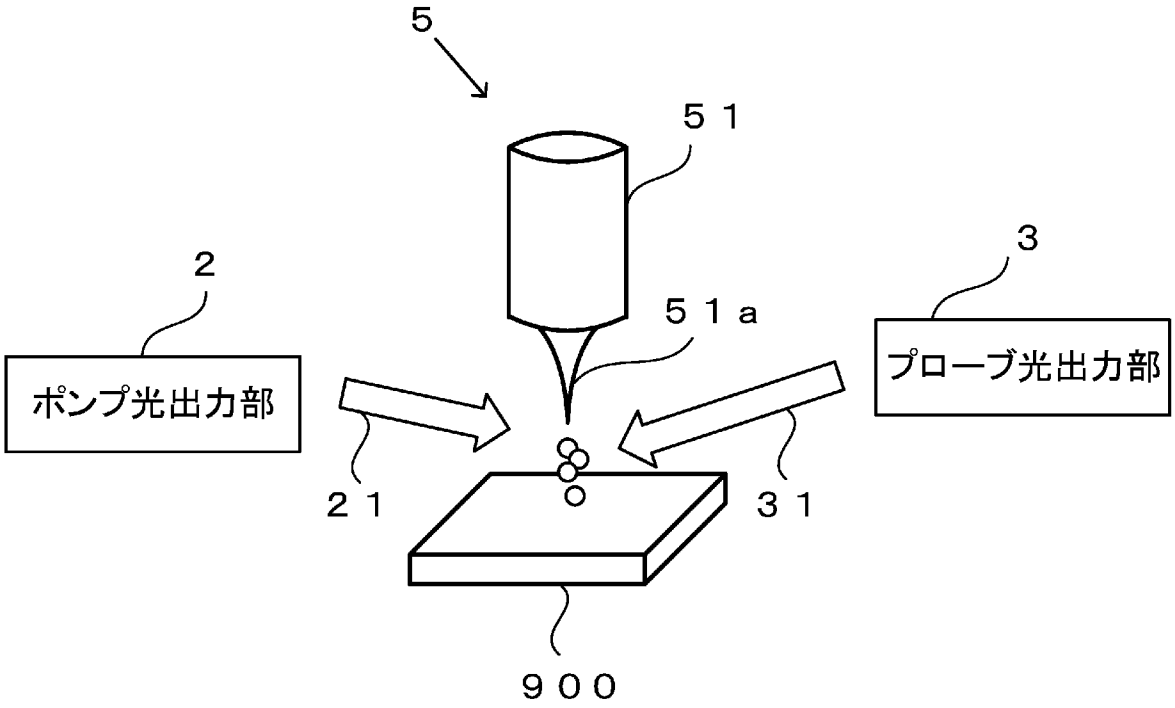
[図1]

【図１】

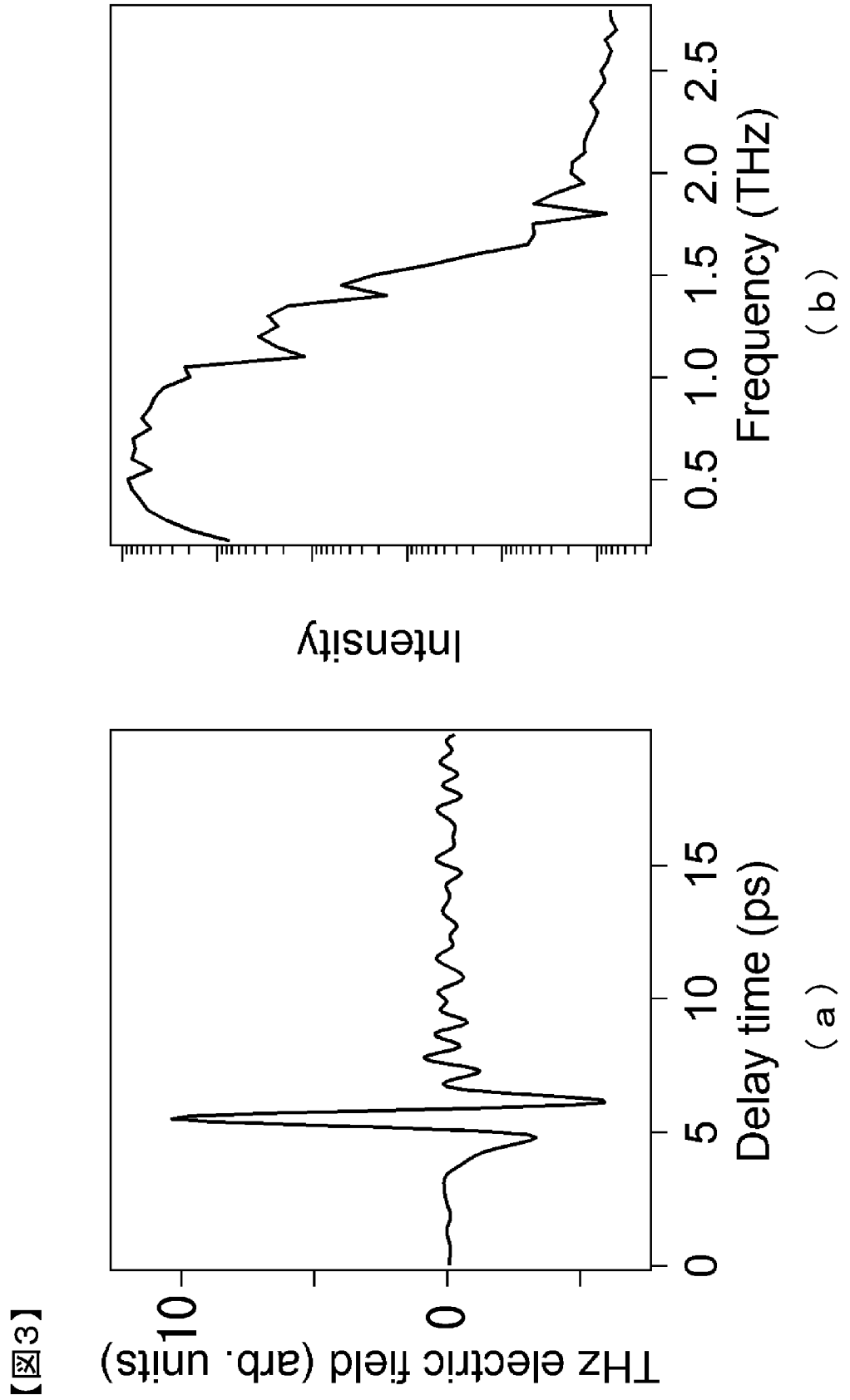


[図2]

【図2】

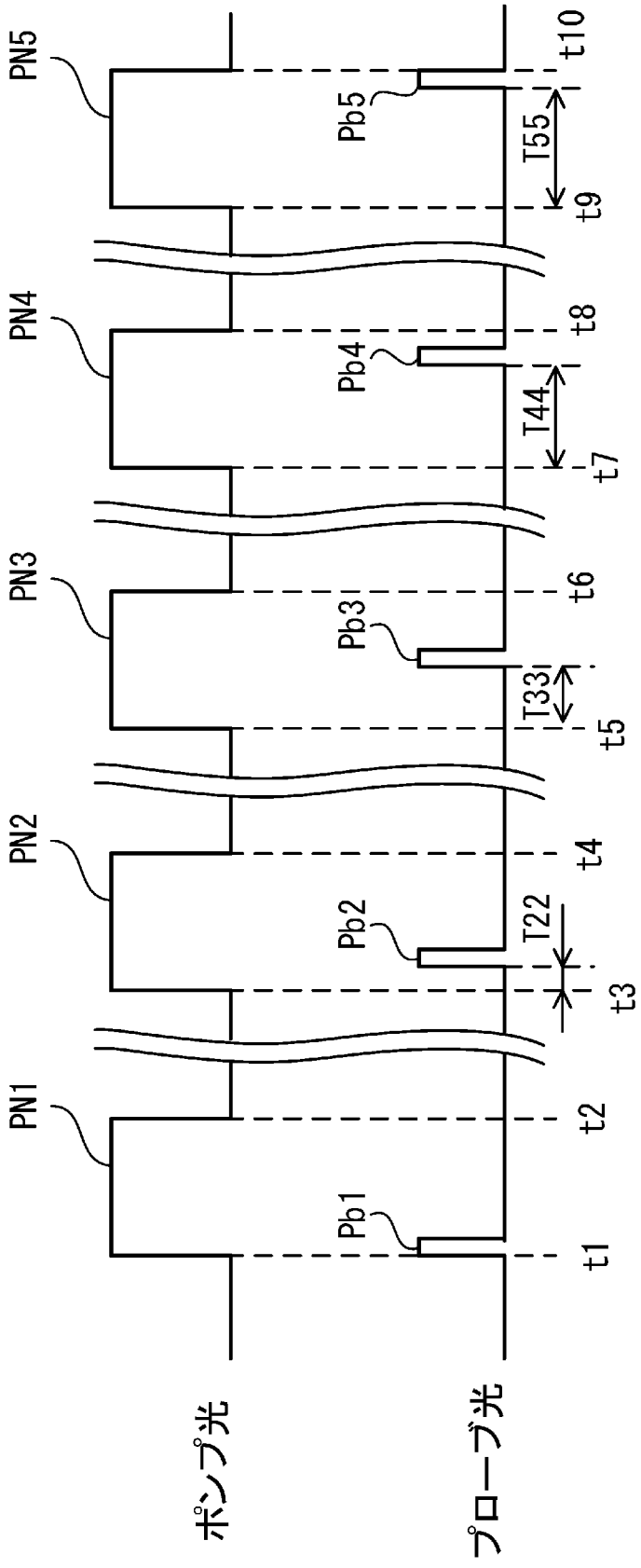


[図3]


THz electric field (arb. units)
10
0
0
5
10
15
Delay time (ps)
（a）
Intensity
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
Frequency (THz)
（b）

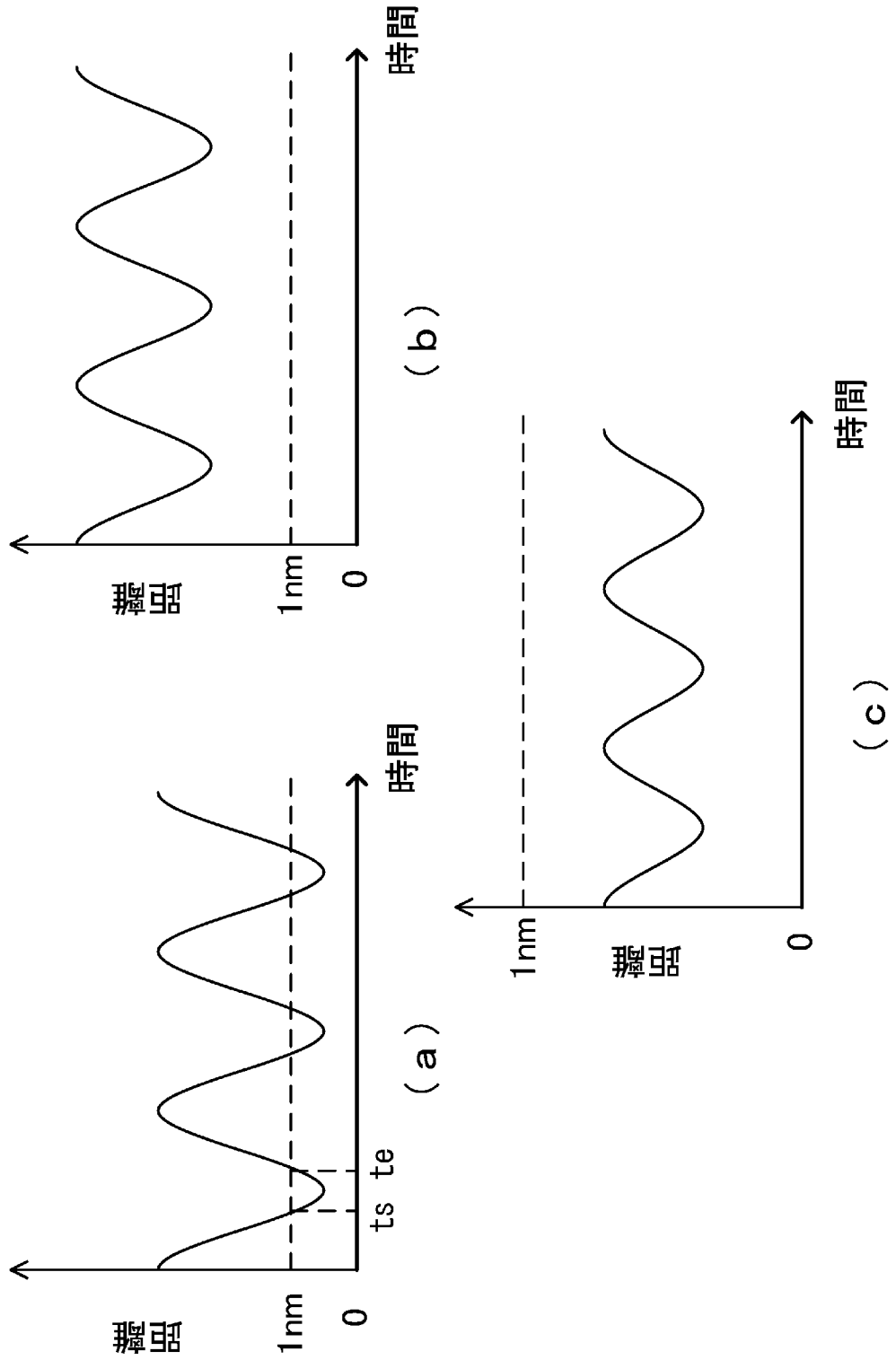
【図3】

[図4]


ポンプ光
プローブ光
PN1
PN2
PN3
PN4
PN5
Pb1
Pb2
Pb3
Pb4
Pb5
T22
T33
T44
T55
t1
t2
t3
t4
t5
t6
t7
t8
t9
t10

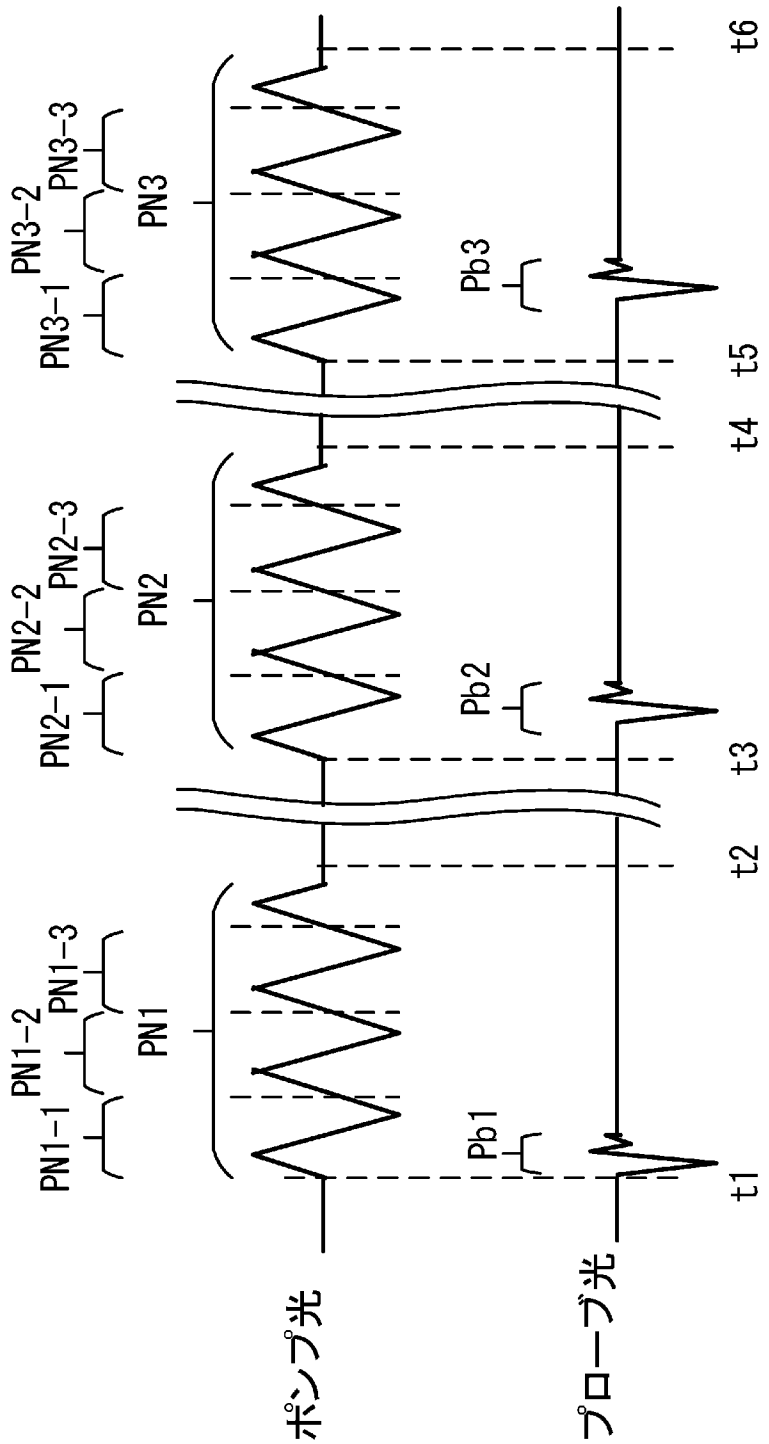
【図4】

[図5]



【図5】

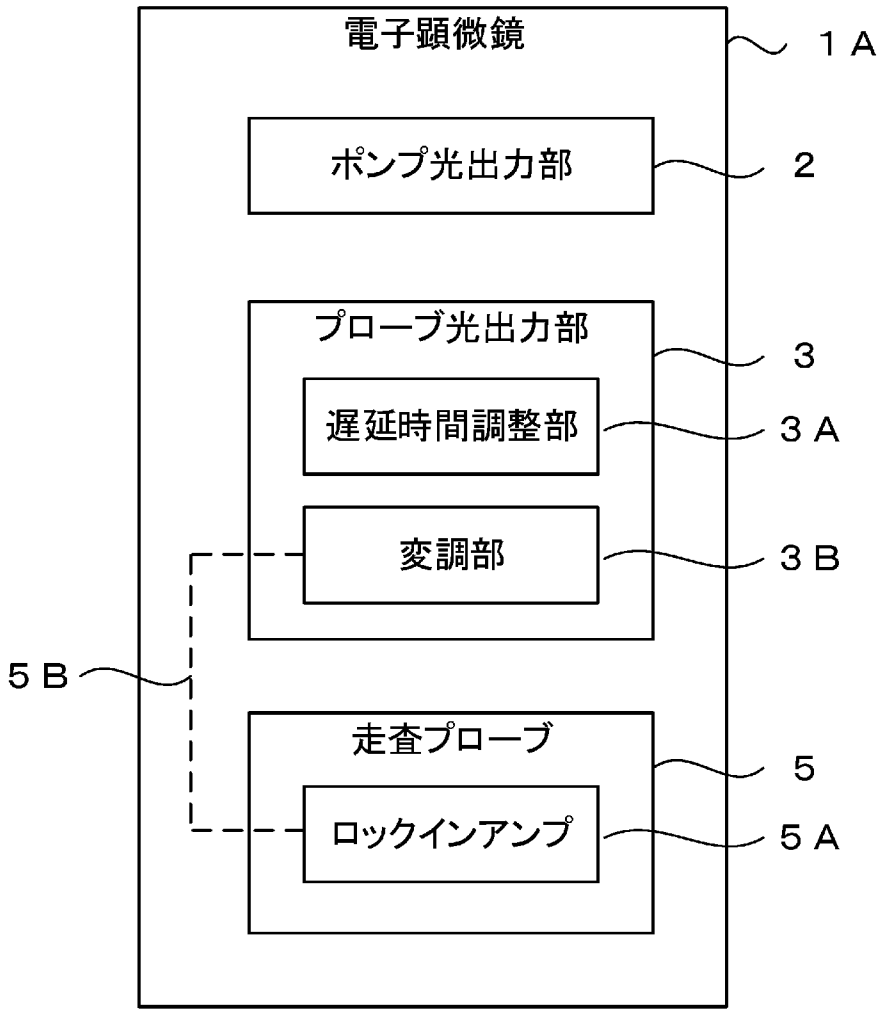
[図6]


ポンプ光
プローブ光
t1
t2
t3
t4
t5
t6
Pb1
Pb2
Pb3
PN1
PN1-1
PN1-2
PN1-3
PN2
PN2-1
PN2-2
PN2-3
PN3
PN3-1
PN3-2
PN3-3

【図6】

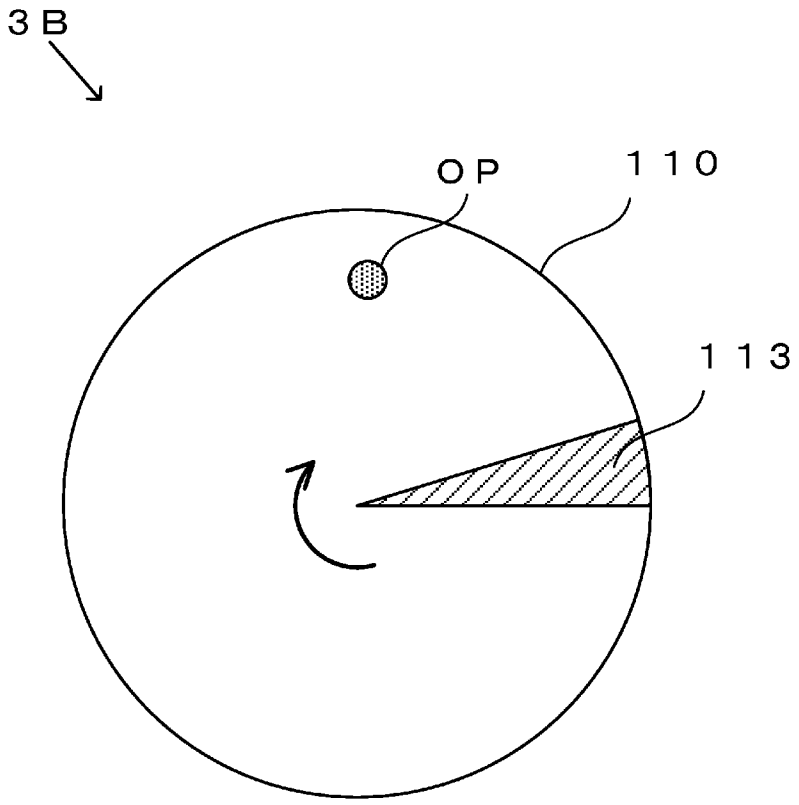
[図7]

【図7】

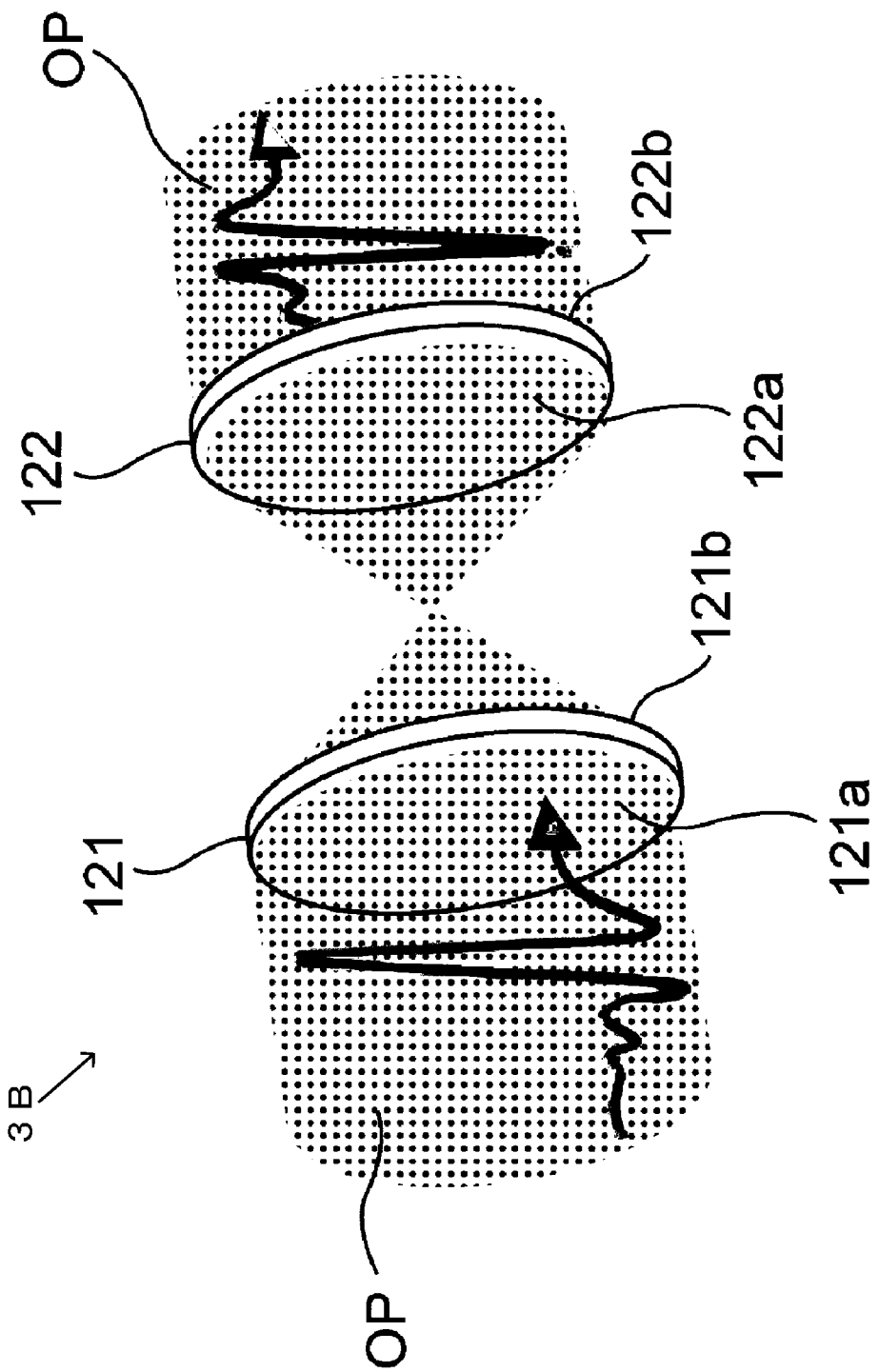

電子顕微鏡
１Ａ
ポンプ光出力部
２
プローブ光出力部
３
遅延時間調整部
３Ａ
変調部
３Ｂ
５Ｂ
走査プローブ
５
ロックインアンプ
５Ａ

[図8]

【図8】

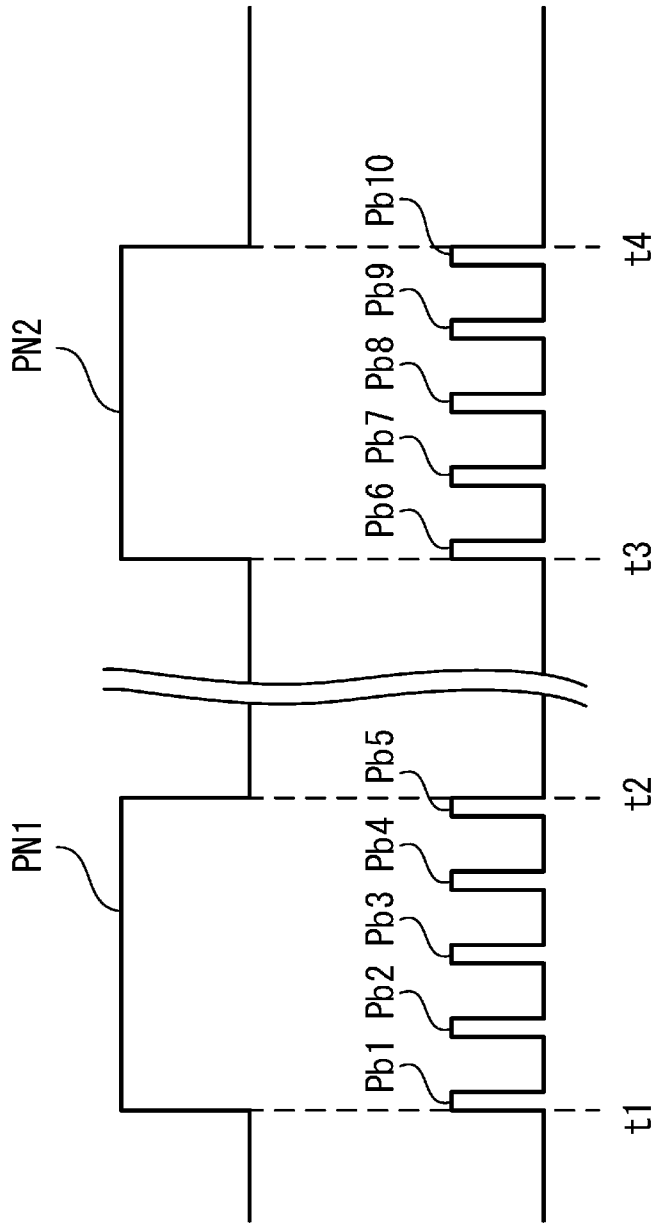


[図9]



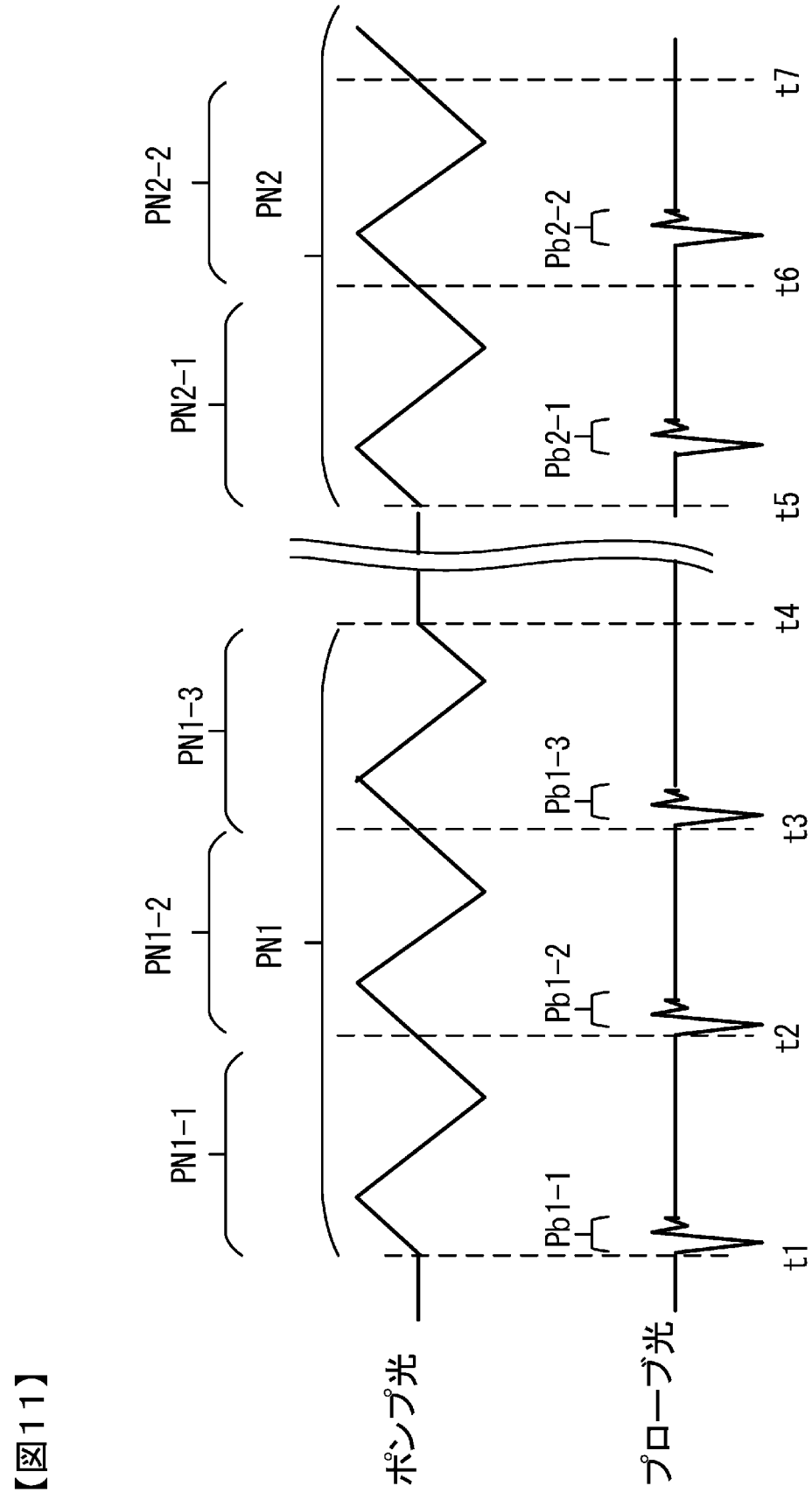
【図9】

[図10]


PN2
PN1
Pb10
Pb9
Pb8
Pb7
Pb6
Pb5
Pb4
Pb3
Pb2
Pb1
t4
t3
t2
t1
ポンプ光
プローブ光

【図10】

[図11]


PN1-1
PN1-2
PN1-3
PN1
PN2-1
PN2-2
PN2
Pb1-1
Pb1-2
Pb1-3
Pb2-1
Pb2-2
t1
t2
t3
t4
t5
t6
t7
ポンプ光
プローブ光

【図１１】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/001480

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. G01N21/17(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)
Int. Cl. G01N21/17, G01Q60/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019
Registered utility model specifications of Japan 1996-2019
Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
(JDreamIII) keywords: probe optics, pump optics, scanning probe microscope, and related terms

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2008-139028 A (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) 19 June 2008, claims, paragraphs [0012]-[0073], fig. 1-3, 7 & US 2010/0088787 A1, paragraphs [0011]-[0147], fig. 1-3, 7 & EP 2090880 A1 & KR 10-2009-0082934 A & CA 2670948 A & CN 101595379 A	1, 5 3-4
X Y	JP 2013-32993 A (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) 14 February 2013, paragraphs [0002]-[0071], fig. 1-4 & US 2014/0240710 A1, paragraphs [0002]-[0144], fig. 1-4 & WO 2013/018813 A1 & EP 2741072 A1 & TW 201315985 A & CN 103733045 A & KR 10-2014-0056304 A & CA 2880769 A	2, 6 3-4

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

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"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)
"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
"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
"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
"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
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
05.04.2019	16.04.2019
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/001480

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	重川秀実, 光ポンププローブ STM, 顕微鏡, vol. 52, no. 1, 2017, pp. 46-50 (SHIGEKAWA, Hidemi et al. Optical Pump-Probe STM. Kenbikyo.)	3-4
A	WO 2013/145020 A1 (HITACHI, LTD.) 03 October 2013, entire text, all drawings & US 2015/0028211 A1, entire text, all drawings	1-6
A	JP 2007-147620 A (BROWN UNIVERSITY RESEARCH FOUNDATION) 14 June 2007, entire text, all drawings & US 2002/0018210 A1, entire text, all drawings & EP 1242785 A1 & DE 19681741 T	1-6
A	WO 2003/046519 A1 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) 05 June 2003, entire text, all drawings & US 2005/0035288 A1, entire text, all drawings & EP 1460410 A1 & DK 1460410 T	1-6

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／００１４８０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01N21/17(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.　G01N21/17, G01Q60/10

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	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９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）

（JDreamⅢ）＆　キーワード：プローブ光、ポンプ光、走査プローブ顕微鏡及びそれに類する用語

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y	JP 2008-139028 A (独立行政法人科学技術振興機構) 2008.06.19, 特許請求の範囲, 段落［００１２］-［００７３］, 第１－３，７図 & US 2010/0088787 A1 段落［００１１］-［０１４７］, 第１－３，７図& EP 2090880 A1 & KR 10-2009-0082934 A & CA 2670948 A & CN 101595379 A	1,5 3-4
X Y	JP 2013-32993 A (独立行政法人科学技術振興機構) 2013.02.14, 段落［０００２］-［００７１］, 第１－４図 & US 2014/0240710 A1 段落［０００２］-［０１４４］, 第１－４図 & WO 2013/018813 A1 & EP	2,6 3-4

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　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の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
０５．０４．２０１９	１６．０４．２０１９

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）　２Ｊ　４４５５
野田　華代
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５２

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	関連する請求項の番号
	2741072 A1 & TW 201315985 A & CN 103733045 A & KR 10-2014-0056304 A & CA 2880769 A	
Y	重川　秀実，光ポンププローブＳＴＭ，顕微鏡，Ｖｏｌ．５２　，Ｎｏ．１，2017，Ｐ４６－Ｐ５０	3-4
A	WO 2013/145020 A1（株式会社日立製作所）2013.10.03，全文，全図 & US 2015/0028211 A1 全文，全図	1-6
A	JP 2007-147620 A（ブラウン　ユニバーシティ　リサーチ　ファウンデーション）2007.06.14，全文，全図 & US 2002/0018210 A1 全文，全図 & EP 1242785 A1 & DE 19681741 T	1-6
A	WO 2003/046519 A1（独立行政法人科学技術振興機構）2003.06.05，全文，全図 & US 2005/0035288 A1 全文，全図 & EP 1460410 A1 & DK 1460410 T	1-6