

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6294696号
(P6294696)

(45) 発行日 平成30年3月14日 (2018. 3. 14)

(24) 登録日 平成30年2月23日 (2018. 2. 23)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 N 21/3581 (2014. 01)

GO 1 N 21/3581

GO 2 F 1/39 (2006. 01)

GO 2 F 1/39

GO 2 F 1/37 (2006. 01)

GO 2 F 1/37

GO 1 N 21/27 (2006. 01)

GO 1 N 21/27

A

請求項の数 25 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2014-26037 (P2014-26037)
 (22) 出願日 平成26年2月14日 (2014. 2. 14)
 (65) 公開番号 特開2015-152405 (P2015-152405A)
 (43) 公開日 平成27年8月24日 (2015. 8. 24)
 審査請求日 平成28年11月28日 (2016. 11. 28)

(73) 特許権者 501387839
 株式会社日立ハイテクノロジーズ
 東京都港区西新橋一丁目2 4 番 1 4 号
 (74) 代理人 100091096
 弁理士 平木 祐輔
 (74) 代理人 100118773
 弁理士 藤田 節
 (74) 代理人 100102576
 弁理士 渡辺 敏章
 (72) 発明者 志村 啓
 東京都港区西新橋一丁目2 4 番 1 4 号
 株式会社 日立ハイ
 テクノロジーズ内
 審査官 森口 正治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 遠赤外撮像装置、および遠赤外撮像方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の遠赤外光を発生する波長可変遠赤外光源と、
 前記遠赤外光を試料上の線状の領域に照射する照明光学系と、
 前記試料の像を形成する遠赤外光結像光学系と、
 前記遠赤外光結像光学系の像面付近に配置され、前記試料からの第 2 の遠赤外光をポン
 プ光を用いて近赤外光に変換する検出用非線形光学結晶と、
 像を検出するアレイセンサと、
 前記検出用非線形光学結晶から射出される光を前記アレイセンサ上に導く検出光学系と
 、
 前記試料を搭載し少なくとも一方向に移動させることが可能なステージと、を有し、
 前記検出用非線形光学結晶における前記ポンプ光が入射する面は前記第 2 の遠赤外光の
 光軸と実質的に平行である遠赤外撮像装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、
 前記波長可変遠赤外光源は、波長の異なる 2 本のレーザ光を非線形光学結晶に入射させ
 て前記第 1 の遠赤外光を発生させる遠赤外撮像装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の遠赤外撮像装置において、
 前記照明光学系は、前記波長可変遠赤外光源によって形成される線状の発光領域を前記

線状の領域に結像させる結像光学系である遠赤外撮像装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記照明光学系はアフォーカル光学系である遠赤外撮像装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記遠赤外結像光学系は、試料側がテレセントリックな片側テレセントリック結像光学系、または両側テレセントリックな結像光学系である遠赤外撮像装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記検出光学系は、前記線状の領域に沿った第 1 の断面内では前記検出用非線形光学結晶の射出面付近を前記アレイセンサに結像させる遠赤外撮像装置。

10

【請求項 7】

請求項 6 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記第 1 の断面内では前記検出光学系の少なくとも前記検出用非線形光学結晶側はテレセントリックな光学系である遠赤外撮像装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記検出光学系は、前記線状の領域に直交する第 2 の断面内では前記検出用非線形光学結晶から射出される光を前記アレイセンサに集光する遠赤外撮像装置。

20

【請求項 9】

請求項 8 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記検出光学系は、前記第 2 の断面内では前記検出用非線形光学結晶の射出面付近を前記アレイセンサに結像させる遠赤外撮像装置。

【請求項 10】

請求項 8 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記ポンプ光は前記線状の領域に対応した楕円ビームである遠赤外撮像装置。

【請求項 11】

請求項 8 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記ポンプ光は前記線状の領域に対応した離散ビーム列である遠赤外撮像装置。

30

【請求項 12】

請求項 11 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記第 1 の遠赤外光の偏光方向を 90 度回転させる素子を有する遠赤外撮像装置。

【請求項 13】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記照明光学系は、前記波長可変遠赤外光源によって形成される線状の発光領域を前記線状の領域に結像させる結像光学系である遠赤外撮像装置。

【請求項 14】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記照明光学系はアフォーカル光学系である遠赤外撮像装置。

40

【請求項 15】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記遠赤外結像光学系は、試料側がテレセントリックな片側テレセントリック結像光学系、または両側テレセントリックな結像光学系である遠赤外撮像装置。

【請求項 16】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、
前記検出用非線形光学結晶における前記ポンプ光が入射する面は前記第 2 の遠赤外光の光軸と実質的に平行である遠赤外撮像装置。

【請求項 17】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、

50

前記検出光学系は、前記線状の領域に沿った断面内では前記検出用非線形光学結晶の射出面付近を前記アレイセンサに結像させる遠赤外撮像装置。

【請求項 18】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、

前記線状の領域に沿った断面内では前記検出光学系の少なくとも前記検出用非線形光学結晶側はテレセントリックな光学系である遠赤外撮像装置。

【請求項 19】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、

前記検出光学系は、前記線状の領域に直交する断面内では前記検出用非線形光学結晶から射出される光を前記アレイセンサに集光する遠赤外撮像装置。

10

【請求項 20】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、

前記検出光学系は、前記線状の領域に直交する断面内では前記検出用非線形光学結晶の射出面付近を前記アレイセンサに結像させる遠赤外撮像装置。

【請求項 21】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、

前記ポンプ光は前記線状の領域に対応した楕円ビームである遠赤外撮像装置。

【請求項 22】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、

前記ポンプ光は前記線状の領域に対応した離散ビーム列である遠赤外撮像装置。

20

【請求項 23】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、

前記第 1 の遠赤外光の偏光方向を 90 度回転させる素子を有する遠赤外撮像装置。

【請求項 24】

請求項 1 に記載の遠赤外撮像装置において、

前記第 2 の遠赤外光は前記試料を透過した遠赤外光、または前記試料を反射した遠赤外光である遠赤外撮像装置。

【請求項 25】

遠赤外光を発生する波長可変遠赤外光源からの照明光を照明光学系を用いて試料上の線状の領域に照射し、

30

前記試料の像を遠赤外光結像光学系によって形成し、

前記試料を透過した遠赤外光、または前記試料で反射された遠赤外光をポンプ光とともに検出用非線形光学結晶に入射させて近赤外光に変換し、

前記検出用非線形光学結晶から射出される光をアレイセンサ上に導き、

前記試料を少なくとも一方向に移動させながら前記像を得る遠赤外撮像方法であって、

前記検出用非線形光学結晶における前記ポンプ光が入射する面は、前記試料を透過した遠赤外光または前記試料で反射された遠赤外光の光軸と実質的に平行である遠赤外撮像方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、試料中の化学物質成分分布の分析や異種成分あるいは異物の検査等の検査工程において、遠赤外領域の光を用いて試料の画像を撮影する遠赤外撮像装置およびそれを用いた撮像方法に関する。

【背景技術】

【0002】

波長 2.5 μm から 4 mm 程度にわたる遠赤外領域の電磁波は、テラヘルツ波とも呼ばれ、電波の透過性と光の直進性を兼ね備え、かつこの領域の吸収スペクトルが多く物質に固有のピークを持つことから、物質の同定に有効であると期待されている。しかし、従来はこの領域で発光する小型で使いやすい光源がなく、検出器も液体ヘリウム等で冷却する

50

ものが必要で扱いにくかったため、限られた研究用途にしか用いられていなかった。

【 0 0 0 3 】

1990年代になり、小型で冷却を必要としないフェムト秒レーザを用いた光源および検出器が実用化されたことによって、実用化に向けた研究開発が盛んになった。現在では、時間領域分光法に基づく汎用の分光測定装置も市販されており、セキュリティ、バイオセンシング、医療・製薬、工業、農業などの様々な分野の用途への適用研究開発が進められている（例えば、非特許文献1参照）。また、2000年頃からコンパクトで広帯域に周波数可変なコヒーレント光源の研究も盛んになり、高出力化が進んでいる（例えば、非特許文献2参照）。さらに、非線形光学結晶を用いて高SNで検出する技術も開発されている（例えば、非特許文献3参照）。

10

【 0 0 0 4 】

産業応用に当たって、多くの分野で試料の画像を取得することが求められている。これを実現する手段として、従来は試料をXYステージに搭載し、点検出の分光分析装置を用いて試料を動かしながら測定を繰り返し、画像を取得する方法が知られている（例えば、非特許文献1参照）。また、2次元アレイの遠赤外光検出器を用いる方法（例えば、特許文献1参照）や、電気光学結晶と可視光用の2次元アレイのCCDカメラを用いて画像を取得する方法（例えば、特許文献2参照）が提案されている。さらに、1次元アレイの遠赤外光検出器を用いる方法が提案されている（例えば、非特許文献4参照）。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

20

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 3 - 7 5 2 5 1 号 公 報

【 特許文献 2 】 特表 2 0 0 0 - 5 1 4 5 4 9 号 公 報

【 非特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 非特許文献 1 】 テラヘルツテクノロジーフォーラム編 テラヘルツ技術総覧, p.426-456, 発行所 (有)エヌジーティー, 2007年11月29日発行

【 非特許文献 2 】 四方他, テラヘルツ波の発生と制御, 電子情報通信学会論文誌C, Vol. J85-C, No.2, p.52-63 (2002)

【 非特許文献 3 】 S. Hayashi et. al., "High-peak-power and tunable terahertz-wave generation and sensitive detection by using nonlinear parametric conversion", Proc. of 37th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), Mon-B-1-2, Sept. 24 (2012)

30

【 非特許文献 4 】 Michael Herrmann et. al., "Multi-channel Signal Recording with Photoconductive Antennas for THz Imaging", Proc. of 10th IEEE International Conference on THz Electronics (THz2002), p.28-31 (2002)

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

産業応用では、多くの試料の検査や大きな試料の検査が求められるため、画像取得のスピードが要求される。ところが、従来の点測定を基本とし、試料をXYに動かして画像にする方法では、1枚の画像取得に数時間かかることもあり、実用化を妨げる要因となっている。

40

【 0 0 0 8 】

高速化のためには、高出力の光源を用い、測定点により大きな光エネルギーを照射して1点あたりの測定時間を短縮し、XY走査も高速化することが必要である。ところが、点測定で高出力の光を測定点にあてると、光エネルギーの吸収により生じる熱で試料が損傷したり、光の電場の強さのため非線形効果が生じてしまい、測定結果が変わってしまう可能性があった。

【 0 0 0 9 】

50

一方、2次元アレイの検出器を用いる方法は、試料のXY走査を不要とするか、その頻度を大幅に削減することができ、高速化に適している。しかし、照明光の照度を保ったまま大面積を照明することが必要となり、さらに高出力の光源を必要とするという問題があった。あるいは、光源の出力が足りない場合には、1箇所の画像を取得するために必要な露光時間が長くなり、十分な高速化の効果が得られないという問題があった。

【0010】

また、フェムト秒レーザを用いた光源を用いる場合には、1点の分光測定データを取得するために、検出光の光路長を変えながら多数のデータを取得する必要があり、高出力の光源と2次元アレイの検出器を用いたとしても測定に時間がかかるという問題があった。

【0011】

本発明の目的は、遠赤外光をもちいた撮像において、撮像対象物である試料に損傷あるいは非線形現象を起こさず、高速に撮像できるようにした撮像方法およびその装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成するために、本発明では、高出力化が進んでいる周波数可変なコヒーレント光源を用い、光源からの照明光を照明光学系を用いて撮像対象物上の線状の領域に照射し、透過光あるいは反射光を用いて、撮像対象物の像を形成し、非線形光学結晶を用いて波長変換し、1次元あるいは2次元のアレイセンサを用いて、撮像対象物少なくとも一方向に移動させながら撮像する。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、高出力の光源を用い、撮像対象物である試料に損傷あるいは非線形現象を起こさず、高速に撮像することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施例1における遠赤外領域の光を用いた撮像装置の構成例を示す図

【図2】実施例1における検出用ポンプ光整形光学系の例を示す図

【図3】実施例1における検出用ポンプ光整形光学系の第二の例を示す図

【図4】実施例1における検出用非線形結晶の例を示す図

【図5】検出用非線形結晶の構成例を示す図（従来例）

【図6】実施例2における遠赤外領域の光を用いた撮像装置の構成例を示す図

【図7】実施例3における遠赤外領域の光を用いた撮像装置の構成例を示す図（実施例3）

【図8】遠赤外領域の光を用いた撮像装置の構成例を示す図（従来例）

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施例について、添付図面を参照して説明する。

【実施例1】

【0016】

図1に実施例1における撮像装置の全体構成の例を示す。試料200を透過した光を用いて試料200の像を撮像する装置の構成例である。この装置は、波長可変遠赤外光源100、照明光学系155、ステージ202、遠赤外光結像光学系182、検出用非線形光学結晶132、検出光学系245、光検出器290、ポンプ光照射光学系220、制御部500、信号処理部400、で構成される。

【0017】

波長可変遠赤外光源100としては、非線形光学結晶に波長の異なるレーザ光を2本入れて差周波発生あるいはパラメトリック発生によって遠赤外光を発生させる遠赤外光源を用いる。例えば、非線形光学結晶130としてMgO:LiNbO3を用い、ポンプ光115の光源110として、短パルスのQスイッチYAGレーザを用い、波長可変光源120からの光をシード光125とし

10

20

30

40

50

て非線形光学結晶130に入れると、パラメトリック発生によって遠赤外光を得ることができる。非線形光学結晶130にSiプリズム140を取り付ければ、発生した遠赤外光を効率よく取り出すことができる。シード光125の波長を1066nm～1076nm程度の間で変化させ、また、非線形光学結晶130への入射角を調整すれば、発生する遠赤外光の周波数を0.5THz～3THz程度の範囲で変えることができる。

【0018】

こうして得られた遠赤外光を照明光学系155を用いて試料200上の線状照明領域205に照射する。照明光学系155は、少なくとも2枚のレンズ150,170から構成される結像光学系を用いる。具体的には、レンズ150の前側焦点面に遠赤外光の発光領域を配置し、レンズ150の後側焦点面とレンズ170の前側焦点面が一致するようにレンズ170を配置し、さらにレンズ170の後側焦点面に試料200を配置する。レンズ150の後側焦点面（すなわちレンズ170の前側焦点面でもある）に開口絞りを設置すると両側テレセントリックな光学系となるが、ここでは開口絞りは必須ではない。波長可変遠赤外光源100から射出される遠赤外光は、ポンプ光115のビームに沿った光線状の光源となっており、図1(a)面内では広がるが、図1(b)面内では平行な光束となる。図1(a)面内では、レンズ150によって平行光束に変換され、遠赤外光の偏光方向を90度回転させる偏光回転光学素子160、レンズ170を経て試料上の線状領域に収束される。一方、図1(b)面内では、レンズ150によって一旦集光され、遠赤外光の偏光方向を90度回転させる偏光回転光学素子160透過後、レンズ170で再び平行光束とされ試料上に照射される。照明光学系をアフォーカル系とする（すなわち、レンズ150の後側焦点面とレンズ170の前側焦点面が一致するようにレンズ170を配置する）ことで、非線形光学結晶130内で発生する図1(b)の面内でほぼ平行な遠赤外光をそのまま平行光束として試料200に照射することが可能となり、試料を透過した遠赤外光を効率よく遠赤外光結像光学系182に取り込むことが可能となる。

【0019】

この様に、照明光学系155を結像光学系とすることによって、波長可変遠赤外光源100から射出される遠赤外光の波長を変えた場合の照明の安定性を確保することが可能となる。遠赤外光の波長を変えるためには、シード光125の波長を変え入射角を調整するが、その際、発生する遠赤外光の射出方向が図1(b)の紙面内方向で変化する。（例えば、図1中の1～2。）照明光学系155を結像光学系とし、遠赤外光の発光領域と試料200面を共役関係（結像関係）とすることで、試料200面上でも遠赤外光のスポットが移動しないようにすることができる。遠赤外光の波長を変えても位置がずれないため、照明光量変化も生じず、安定した照明を確保することが可能となる。これに対し、照明光学系155を結像光学系としない場合には、照明光の照明位置が全く異なってしまう可能性もあり、安定した撮像が難しくなる。ただし、波長固定で撮像する場合や、波長の変化範囲が小さく、遠赤外光の方位の変化が十分小さい場合には、この限りではない。

【0020】

偏光回転光学素子160は、Siプリズム140から射出される図1(b)の紙面に垂直な方向(x方向)に振動する遠赤外光の偏光面を図1(b)の紙面内のy方向に振動する偏光に変換する。ここで偏光面を回転させるのは、検出用の非線形光学結晶132に入射する遠赤外光の偏光方向を、非線形光学結晶132の向きに合わせて検出に必要な方向にするためである。遠赤外光の波長を変える範囲を広くとる場合には、アクロマティックな波長板の様な波長依存性の少ない偏光回転系が必要となる。波長変更範囲が狭く偏光回転性能の波長依存性が気にならない場合は、偏光回転素子160として石英の複屈折を利用した1/2波長板を用いると良い。位相差を利用するため偏光回転性能に波長依存性が残るが、光学系を小型にすることができる。

【0021】

撮像対象の試料200は、ステージ202に搭載し、少なくとも1方向に移動可能な構成とする。線状照明領域205の長手方向に直交する方向(x方向)に試料200を移動させながら線状領域のデータを取得することで、試料200の面のデータ(画像)を取得することができる。試料200上の撮像したい領域が線状照明領域205の長手方向の長さより長い場合には、

ステージ202としてx y ステージを用い、x 方向の走査とy 方向の送りを組み合わせること
とで、より広い領域を撮像することができる。

【 0 0 2 2 】

試料200を透過した遠赤外光の検出は、遠赤外光を非線形光学結晶132で波長1066nm ~ 1076nm付近の近赤外光に波長変換し、それを検出光学系245で光検出器290に導き、近赤外に感度のある光検出器290で光電変換することで行う。近赤外の検出器は、1Dあるいは2Dアレイの検出器も比較的入手が容易で、応答速度も速く、常温で使用できるため産業応用に適している。

【 0 0 2 3 】

試料200を透過してきた遠赤外光は、遠赤外光結像光学系182を用いて検出用非線形光学結晶132に導く。遠赤外光結像光学系182は、少なくとも2枚のレンズ180,190と開口絞り185から構成される両側テレセントリックな結像光学系とし、試料200面の像をSiプリズム140を通して非線形光学結晶132内に形成する。試料200面上では、線状の領域205に遠赤外光が照射されているので、この部分が非線形光学結晶132内の線状の領域に結像される。非線形光学結晶132としては、LiNbO3あるいはMgO: LiNbO3を用いると良い。

【 0 0 2 4 】

波長変換に必要なポンプ光235は、波長可変遠赤外光源100で遠赤外光発生に用いたポンプ光をポンプ光照射光学系220、1/2波長板230を経て、非線形光学結晶132に入射させる。ポンプ光照射光学系220は、図2に示す様に1/2波長板227、光パルスのタイミングを合わせるための遅延光学系228、ビームを複数に分割する回折光学素子226、分割されたビームを平行ビーム列に戻すレンズ224から構成される。分割されたビームの1本1本が図8に示した従来例の単一チャンネル検出系で用いられる検出用ポンプ光ビームとなる。分割されたビームは、1/2波長板230によって偏光方向を非線形光学結晶132の軸方向(図1のy軸方向)に一致する様に調整され、非線形光学結晶132に導かれる。

【 0 0 2 5 】

図3にポンプ光照射光学系220の別の実施例を示す。図2との違いはビームを複数に分割する回折光学素子226の代わりにシリンドリカルレンズ222を用い、平行ビーム列に戻すレンズ224の代わりにシリンドリカルレンズ225を用いて、ビームを一方向に拡大し楕円のビームとする点である。ポンプ光が離散ビームでなく連続したビームになるため、波長変換された近赤外光も連続になることが期待され、横方向分解能の高い検出が可能となる。

【 0 0 2 6 】

なお、ここでは、1/2波長板227をポンプ光照射光学系220内部に、1/2波長板230をポンプ光照射光学系220の後に、それぞれ配置する例を示したが、どちらか一方を省略しても構わない。両者を用いれば、光学系レイアウト設計の自由度を高くとることができるが、偏光方向の制約を考慮した特定のレイアウトを採用できる場合には、どちらか一方を省略することが可能となる。また、ポンプ光照射光学系220の1/2波長板227は、ビームを分割する前に配置されるので有効開口の小さい1/2波長板を使用することが可能である。ポンプ光照射光学系220の後に1/2波長板230を配置する場合には、その後に光学素子が入らないため偏光方向が乱されることが無く、最適な偏光のポンプ光を非線形光学結晶132に導入することが可能となる。

【 0 0 2 7 】

また、ここでは、波長変換に必要なポンプ光235は、波長可変遠赤外光源100で遠赤外光発生に用いたポンプ光を再利用する例を示したが、ポンプ光の光源110の出力に余裕がある場合には、非線形光学結晶130の手前でポンプ光115を2分岐し、遠赤外光発生用と検出の際の波長変換用にそれぞれ用いてもよい。こうすると検出の際の波長変換用にプロファイルのきれいなビームを用いることができるため、波長変換の効率を高め、検出感度を高めることが可能となる。

【 0 0 2 8 】

本実施例で用いる検出用の非線形光学結晶132の例を図4に示す。また、比較のため従来用いられている非線形光学結晶132の例を図5に示す。非線形光学結晶132の上にSiプリ

10

20

30

40

50

ズム140が設けられており、ここから試料200を透過した遠赤外光195を入射させる。ポンプ光照射光学系220でビームを楕円あるいは離散ビーム列に整形されたポンプ光235は、非線形光学結晶132の端面から結晶に導入される。この2つのビームの相互作用により、波長変換が起こり入射した遠赤外光の波長に対応した近赤外光237が結晶端面から射出される。本実施例では、非線形光学結晶132として、ポンプ光235入射端を遠赤外光195の入射光軸に平行にした結晶を用いる。この様な形状とすることで、結晶内でポンプ光235が存在し、かつ遠赤外光が存在しない領域を減らすことが可能となる。一般的に、非線形光学結晶に強いポンプ光が入射すると遠赤外光が存在しなくても、ポンプ光によって励起された原子からポンプ光と異なる波長の光の自然放出が起こり、それが増幅されて光ノイズとして検出されてしまうことがある。従来例(図5)では、ポンプ光235の光路に沿った距離dの部分(10)がノイズ源となっていた。本実施例ではこのノイズ源となりうる結晶の不要部分を減らすことで、ノイズ成分を低減し、高いSNでの遠赤外光信号の検出が可能となる。なお、非線形光学結晶132の入射端の面の傾きは、遠赤外光195の入射光軸に厳密に平行である必要はない。実質的に、結晶内でポンプ光235が存在し、かつ遠赤外光が存在しない領域を減らすことが可能となっていればよい。また、本実施例では、ポンプ光235を非線形光学結晶132内で図4(a)中で上下の面に概略平行に伝播させる必要があるが、本実施例の場合は、ポンプ光235を、入射面での屈折を考慮し非線形光学結晶132の上下の面に対して斜めに入射させるとよい。

【0029】

非線形光学結晶132で波長変換されて生じる近赤外光は、検出用のポンプ光235の形状に依存して楕円ビームあるいは離散ビーム列となる。これらは、光軸を通る直交する2断面で結像関係のこととなる検出光学系245で光検出器290に導かれる。(20)

【0030】

検出光学系245は、図1(a)のA-A'断面(すなわち線状照明に沿った断面)図上では少なくとも非線形光学結晶132側がテレセントリックな結像光学系とし、これに直交する図1(a)面(すなわち線状照明に直交する断面)上では波長変換されて生じる近赤外光のビームを光検出器290上に集光する構成とするとよい。図1はA-A'断面は両側テレセントリックな例であるが、シリンドリカルレンズ250,280と開口絞り270を用いて図示するように構成するとよい。図1(a)面上では、ビームを単に光検出器290上に集光すればよいので、シリンドリカルレンズ260を用いてその焦点面近傍に光検出器290を配置すればよい。図1(a)のA-A'断面に示した波長変換されて生じる近赤外光237は光軸から外れたある1点から射出される近赤外光の光束の例を示している。この近赤外光は、A-A'断面ではポンプ光235に沿って光軸に平行に進むため、検出光学系245を非線形光学結晶132側がテレセントリックな系とすることで効率よく光検出器290に導くことが可能となる。さらに、開口絞り270で迷光を遮光することにより、近赤外光を高いSN比で検出することが可能となる。なお、非線形光学結晶132の射出端からはポンプ光235の残りの光も射出される。光強度が強いため、迷光とならない様にビームダンプ240を用いて適切に終端処理することが望ましい。(30)

【0031】

光検出器290は、波長1066nm~1076nm付近に感度のある1次元アレイあるいは2次元アレイを用いる。Siを用いた裏面照射型のCCDセンサやInGaAsセンサを用いると良い。(40)

【0032】

本実施例の構成では、遠赤外光の波長を変えた場合に、非線形光学結晶132から射出され光検出器290上に集光される近赤外光のスポットが、遠赤外光の波長に依存して図1(a)面内方向に移動する。このため光検出器290として2次元アレイセンサを用いると、スポット位置から検出されている遠赤外光の波長を計測することが可能となり、吸収スペクトルの正確な測定が可能となる。一方、波長計測が不要な場合には、1次元アレイセンサを用いてもよい。この場合、1次元アレイセンサを図1(a)のA-A'断面に画素が配列する様に配置する。試料200上の線状照明領域205の長手方向に対応する向きに画素が配置され、線状照明領域205を一度に撮像することが可能となる。なお、スポットが移動しても画素におさまるように、画素列に直交する方向の画素幅が画素ピッチより大きい幅広の画素を(50)

もった１次元アレイセンサを用いるとよい。１次元アレイセンサを用いると、センサから出力される情報量が減るため、あとの情報処理が軽くなり、高速な処理あるいは簡単な回路での処理が可能となる。

【００３３】

なお、検出光学系245は、図１(a)のA-A'断面（すなわち線状照明に沿った断面）図上では少なくとも非線形光学結晶132側がテレセントリックな結像光学系とし、これに直交する図１(a)面（すなわち線状照明に直交する断面）上は単純な結像光学系としてもよい。これは、図１に示す構成で、シリンドリカルレンズ260を非線形光学結晶132の射出面と光検出器290面が結像関係になるように配置するだけで実現できる。図１(a)面上で、非線形光学結晶132の射出端面を光検出器290面に結像させる構成とすることで、遠赤外光の波長を変えた場合にも非線形光学結晶132から射出される近赤外光を光検出器290の同じ位置に固定することが可能となり、光検出器290として１次元アレイセンサを用いてシンプルな系を構成することが可能となる。また、センサから出力される情報量が減るため、あとの情報処理が軽くなり、高速な処理あるいは簡単な回路での処理が可能となる。

【００３４】

制御部500は、装置全体を制御するとともに、ユーザインターフェースとして機能する。制御部500は、波長可変遠赤外光源100、ステージ202、ポンプ光照射光学系220、信号処理部400を制御するとともに、信号処理部400で処理された信号およびデータを表示する。波長固定で撮像する場合には、波長可変遠赤外光源100を制御して指定の遠赤外光を発生させ、ステージ202の移動と光検出器290でのデータ取得の同期を制御する。また、波長を変えてデータを取得する場合には、波長設定、ステージ202移動と光検出器290でのデータ取得の同期を制御する。さらに、試料200の厚さによってポンプ光照射光学系220の遅延光学系228の光路長を制御し、試料200を透過した遠赤外光195とポンプ光235のタイミングを合わせ高SNでの検出を実現する。

【００３５】

信号処理部400は、光検出器290で光電変換された信号を取り込み、信号取り込み時のステージ202位置情報をもとに試料200の画像を生成する。光検出器290として１次元アレイセンサを用いた場合には、波長可変遠赤外光源100に指定された波長情報を統合して波長毎の画像あるいは分光情報を統合した画像を生成する。光検出器290として２次元アレイセンサを用いた場合には、光検出器290からの出力データから照明光の波長情報とそれに対応した試料200の透過率あるいは反射率の情報を抽出し、波長毎の画像あるいは分光情報を統合した画像を生成する。信号処理部400の記憶域に蓄積された試料の無いときの分光画像データ（参照データ）と比較処理することで、吸収スペクトルを算出し、吸収スペクトルの２次元分布（吸収スペクトル画像）を得ることもできる。

【００３６】

なお、本実施例では、波長可変遠赤外光源100のポンプ光115の光源110として、短パルスのQスイッチYAGレーザを用いる例を示したが、基本となるスペクトルの線幅が狭ければ良いので、モードロックレーザを用いても良い。繰り返し時間が早いので、より高速な測定が可能となる。

【実施例２】

【００３７】

図６に実施例２における撮像装置の構成例を示す。試料200の反射光を用いて撮像する構成である。試料200面を中心に波長可変遠赤外光源100から照明光学系155までと、遠赤外結像光学系182以降を折り曲げ、試料200に対して斜めに遠赤外光を入射させ、その反射光を検出する。こうすることで、透過率の低い試料の測定や、試料表面の分光特性の測定が可能となる。また、照明系と結像光学系の入射角を変えることが可能な機構系を構築すれば、分光特性の入射角依存性の測定も可能となる。

【実施例３】

【００３８】

図７に実施例３における撮像装置の構成例を示す。試料200に垂直入射で遠赤外光を入

10

20

30

40

50

射させ反射光を用いて撮像する構成である。試料200面を中心に波長可変遠赤外光源100から照明光学系155までと、遠赤外結像光学系182以降をビームスプリッタ206で重ね合わせ、試料200に対して垂直に遠赤外光を入射させ、その反射光を検出する。ビームスプリッタ206として偏光ビームスプリッタを用いれば、偏光回転光学素子160を無くすることも可能である。さらに、ビームスプリッタ206として偏光ビームスプリッタを用い、そのあとに1/4波長板を入れ、入射光と反射光を偏光分離する系としてもよい。こうすることで、分光特性の入射角依存性の大きい試料においても、入射角依存性を気にせずに基本特性を測定することが可能となる。

【0039】

なお、本実施例では、撮像のために遠赤外光を照明光学系155を用いて試料200上の線状照明領域205に照射し、検出用のポンプ光に離散ビーム列を用いて検出する例を示したが、線状照明領域205の一部を試料のない領域に当てることによって、吸光度測定の参照データ取得に用いてもよい。参照データを試料透過光あるいは反射光と同時に取得することが可能となるため、レーザ光源の出力変動や検出系の回路に混入する電気ノイズなどの外乱の影響を低減し、精度良い測定を実現することが可能となる。

【符号の説明】

【0040】

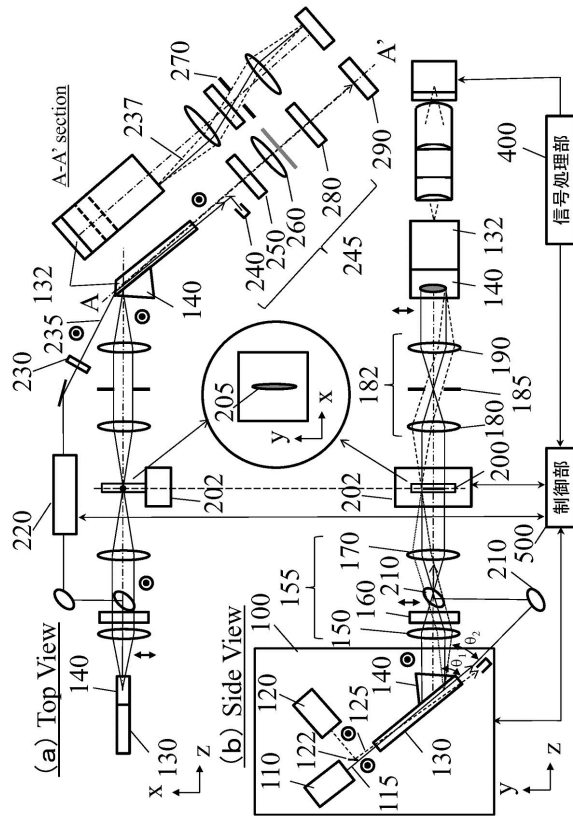
- 100 波長可変遠赤外光源
- 200 試料
- 155 照明光学系
- 205 線状照明領域
- 182 遠赤外光結像光学系
- 185, 270 開口絞り
- 235, 115 ポンプ光
- 130, 132 非線形光学結晶
- 245 検出光学系
- 290 光検出器、アレイセンサ
- 202 ステージ
- 110, 120 レーザ光源
- 115, 125 レーザビーム
- 140 Siプリズム
- 160 偏光回転素子
- 220 ポンプ光照射光学系
- 226 回折光学素子
- 227, 230 1/2波長板

10

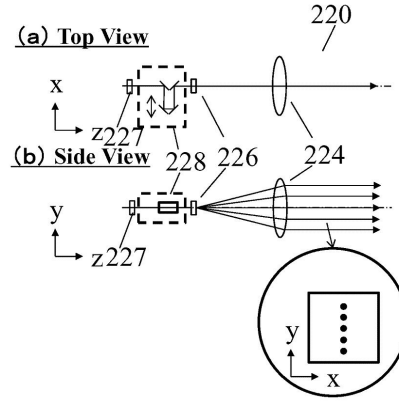
20

30

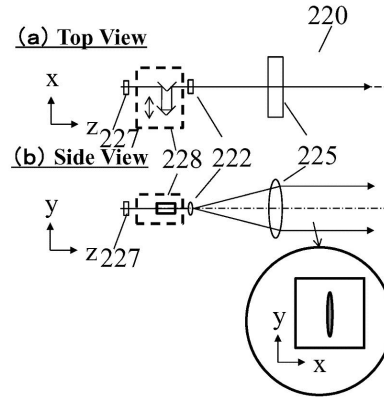
【図 1】



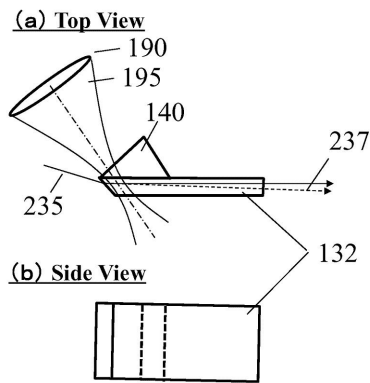
【図 2】



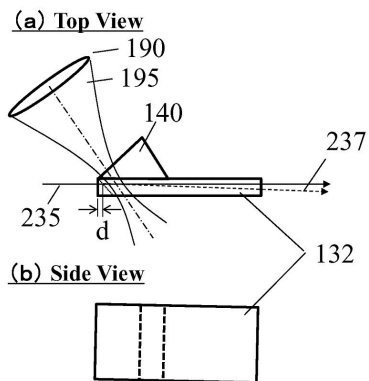
【図 3】



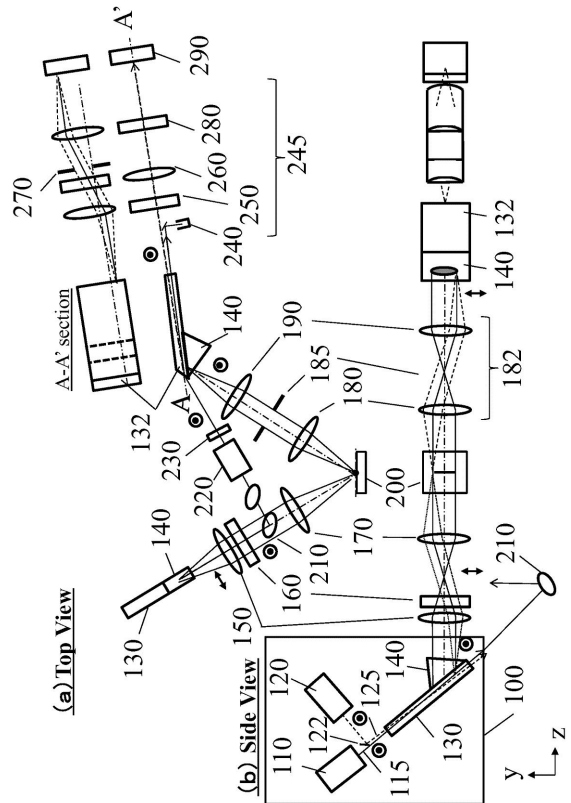
【図 4】



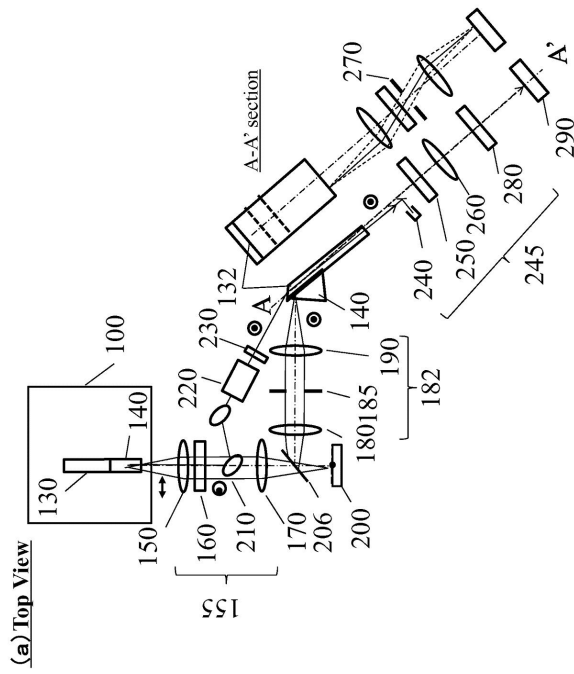
【図 5】



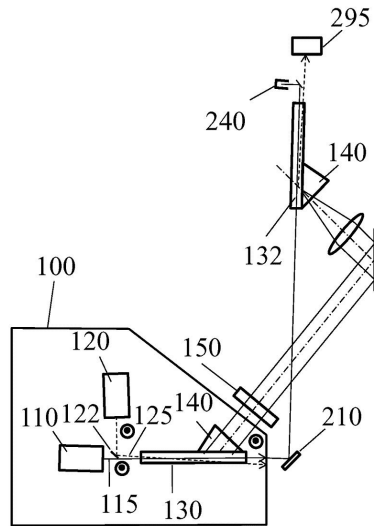
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 1 2 - 0 2 6 9 4 3 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 0 9 6 2 1 0 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 0 7 5 5 8 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 N	2 1 / 0 0 - 2 1 / 9 5 8
G 0 2 F	1 / 3 7
G 0 2 F	1 / 3 9