

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3677246号

(P3677246)

(45) 発行日 平成17年7月27日(2005.7.27)

(24) 登録日 平成17年5月13日(2005.5.13)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

GO 1 J 3/12

GO 1 J 3/12

GO 1 J 9/00

GO 1 J 9/00

GO 2 F 1/39

GO 2 F 1/39

請求項の数 1 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2002-46627 (P2002-46627)  
 (22) 出願日 平成14年2月22日(2002.2.22)  
 (65) 公開番号 特開2003-247890 (P2003-247890A)  
 (43) 公開日 平成15年9月5日(2003.9.5)  
 審査請求日 平成15年5月23日(2003.5.23)

(73) 特許権者 000003078  
 株式会社東芝  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号  
 (74) 代理人 100088487  
 弁理士 松山 允之  
 (72) 発明者 石田 浩一  
 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
 式会社東芝 研究開発センター内

審査官 ▲高▼場 正光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光増幅型分光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

非線形光学特性を有する光学素子と、この光学素子に被測定光と比べて波長が短く、強度の強いポンプ光を照射してパラメトリック発生を起こさせるレーザー光源と、前記被測定光を前記ポンプ光と同じタイミングで、光軸を一致させて前記光学素子に入射させる光学手段とを備え、前記被測定光の波長に依存した出射角で放出されるパラメトリック増幅光を用いて分光を行う光増幅型分光装置において、

前記被測定光の偏光方向を変えることによるパラメトリック増幅光の強度変化、または前記ポンプ光の偏光方向及び前記光学素子をポンプ光の光軸を回転軸として回転を行うことによるパラメトリック増幅光の強度変化を検出することを特徴とする光増幅型分光装置

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光量の少ない被測定光を増幅しながら波長分布に関して分光を行なう光増幅型分光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

光の性質を表すパラメーターの1つに波長分布がある。この波長分布を測定するには、光の波長の違いによる物質の屈折率が異なるという性質を用いたプリズム、回折格子による

20

光の干渉を用いたグレーティングなどの分散型の分光装置が用いられている。これらの手法は共に、検出したい光をプリズムまたはグレーティングにより空間的に分離した後、スリットを用いて必要な光のみを得るまたは、空間的に分離した光をCCDを用いて検出するものである。

#### 【0003】

また、光パラメトリック増幅を用いた波長測定装置としては、特開平6-235950号が知られている。これは、レーザ光源から、非線形光学特性を有する光学素子に励起光を照射して2本のパラメトリック発光を起こさせ、少なくとも一方の発生光の光軸に一致させて被測定光を光学素子に入射させ、パラメトリック増幅された被測定光の情報を持った2本のパラメトリック増幅光が、パラメトリック発生光の発生方向と近似する波長に応じた方向に出力することから、いずれか一方の増幅光の出射角を検出し、被測定光の波長分布を測定するものである。

10

#### 【0004】

##### 【発明が解決しようとする課題】

上述した分散型の分光装置では、プリズム、グレーティング等、装置内での光の損失のため、特に被測定光の強度が弱い場合には測定が困難であるという問題点があった。また、特開平6-235950号で開示されるような光パラメトリック増幅を用いた波長測定装置では、検出光を増幅して検出を行なうことができるが、被測定光の入射方向に強く増幅されるので、一度に広い波長範囲で、増幅かつ分光を行なうことが困難であった。そこで、本発明の目的は、上記した技術的課題を解決するためになされたものであり、一度に広い波長範囲で、増幅かつ分光を行なうことができる光増幅型分光装置を提供することにある。

20

#### 【0005】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明は、このような課題を解決するために成された光増幅型分光装置である。すなわち、本発明の光増幅型分光装置は、非線形光学特性を有する光学素子と、この光学素子に被測定光と比べて波長が短く、強度の強いポンプ光を照射してパラメトリック発生を起こさせるレーザ光源と、前記被測定光を前記ポンプ光と同じタイミングで、光軸を一致させて前記光学素子に入射させる光学手段とを備え、前記被測定光の波長に依存した出射角で放出されるパラメトリック増幅光を用いて分光を行う光増幅型分光装置において、前記被測定光の偏光方向を変えることによるパラメトリック増幅光の強度変化、または前記ポンプ光の偏光方向及び前記光学素子をポンプ光の光軸を回転軸として回転を行うことによるパラメトリック増幅光の強度変化を検出することを特徴とする。

30

本発明によれば、被測定光の光強度が弱い場合において、今まで分光装置内で損失してしまっていた光を増幅しながら分光測定ができる。また、円形状に光が広がっているので、例えば、CCDを用いて検出でき、再度光を集めることもできることから、必要としない迷光の強度が強く、十分な分光ができなかった場合には、必要のない光を空間的に除去した後、再度分光を行うことが可能である。

さらに、本発明の光増幅型分光装置は、被測定光の偏光方向を変えることによるパラメトリック増幅光の強度変化、または、ポンプ光の偏光方向及び光学素子を光の入射角を中心とした、回転を行うことによるパラメトリック増幅光の強度変化を検出することにより、被測定光に関する偏光情報を得ることができる。

40

#### 【0008】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施例を図面を参照して説明する。尚、各図において同一箇所については同一の符号を付してある。

図1は本発明の一実施例に係る光増幅型分光装置の構成を示すブロック図である。図1に示すように、本実施形態の光増幅型分光装置は、非線形光学特性を有する光学素子10と、パラメトリック増幅を起こさせるレーザ光20と、被測定光21と、これらレーザ光20と被測定光21を受光し光軸を合わせるためのハーフミラー13と、レーザ光20及び

50

被測定光 2 1 を共軸上で光学素子 1 0 に集光照射を行なうレンズ 1 1 を備えている。さらに、被測定光 2 1 がパラメトリック増幅により増幅され、被測定光 2 1 の波長に依存する出射角を有して円形状に発生するパラメトリック増幅光 2 2 により分光を行なう機構と光学素子 1 0 を通過したレーザー光 2 0 を取り除くプリズム 1 2 を備えている。このように構成した光増幅型分光装置において、レーザー光 2 0 及び被測定光 2 1 は同じタイミングで光学素子 1 0 に入射するようになっている。

【 0 0 0 9 】

本実施形態では、レーザー光 2 0 及び被測定光 2 1 を共軸にして、非線形光学特性を有する光学素子 1 0 に入射させることにより、被測定光 2 1 の波長に依存する出射角で円形状に発生するパラメトリック増幅光 2 2 を得ている。

10

波長による検出角度は以下の原理に基づき算出される。

一軸性の非線形光学素子を用いた場合、常光線での屈折率  $n_o$ 、異常光線での屈折率  $n_e$  が存在する。これらの屈折率は、光の波長により異なる値をとる。常光線方向から異常光線方向に 度異なった方向の屈折率  $n^e$  ( ) は、次の数式 ( 1 ) となる。

【 0 0 1 0 】

【 数 1 】

$$n^e(\theta) = \sqrt{\frac{1 + \tan^2(\theta)}{1 + (n_o/n_e)^2 \tan^2(\theta)}} \quad (1)$$

20

【 0 0 1 1 】

パラメトリック増幅では、シグナル光  $\omega_1$ 、 $k_1$ 、アイドラ光  $\omega_2$ 、 $k_2$ 、ポンプ光  $\omega_3$ 、 $k_3$  と呼ばれる 3 つの光の相互作用により光増幅が起こる。それぞれの  $\omega$  及び  $k$  は光の波長、波数ベクトルを示しており、添え字は 1 がシグナル光、2 がアイドラ光、3 がポンプ光を表している。パラメトリック増幅が起こる場合には、次の条件の条件が満たされる。

【 0 0 1 2 】

【 数 2 】

$$\frac{1}{\lambda_3} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \quad (2)$$

30

【 数 3 】

$$\mathbf{k}_3 = \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2 \quad (3)$$

【 0 0 1 3 】

ここで、 $k$  はベクトル量であり、式 ( 3 ) の条件を図で表すと、図 2 のようになる。また、波数ベクトル  $k$  は、 $n$  を屈折率とすると次の数式 ( 4 ) と示される。

【 0 0 1 4 】

40

【 数 4 】

$$|\mathbf{k}| = \frac{2\pi n}{\lambda} \quad (4)$$

【 0 0 1 5 】

一般的に、パラメトリック増幅は波長可変のレーザを作成する場合に用いられる。その場合には、式 ( 1 ) 乃至 ( 4 ) を満たし、かつ波数ベクトル  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  の方向が同じとなるように、光の入射方向と光学素子 1 0 の結晶方向を合わせた条件で発生する強い増幅光を利用している。

50

## 【 0 0 1 6 】

本発明においては、ポンプ光であるレーザ光 2 0 が異常光線方向に偏光成分を持ち、シグナル光である被測定光 2 1 及びアイドラ光が常光線方向に偏光成分を持つ場合を考えている。レーザ光 2 0 の入射方向は、非線形光学特性を有する光学素子 1 0 に対し、ある結晶方向と一致するので、被測定光 2 1 のパラメトリック増幅は、式 ( 1 ) 乃至 ( 4 ) から計算できることになる。被測定光 2 1 によるパラメトリック増幅光 2 2 のレーザ光 2 0 に対する出射角度の違いは、次の数式 ( 5 ) で与えられる。

## 【 0 0 1 7 】

## 【 数 5 】

$$\cos \gamma = \frac{(n^{e,\lambda_3}(\theta)/\lambda_3)^2 + (n_o^{\lambda_1}/\lambda_1)^2 - (n_o^{\lambda_2}/\lambda_2)^2}{2(n^{e,\lambda_3}(\theta)/\lambda_3)(n_o^{\lambda_1}/\lambda_1)} \quad (5)$$

10

## 【 0 0 1 8 】

以上のことから、本発明に係る分光装置の分光特性が求められる。

## 【 0 0 1 9 】

パラメトリック増幅光 2 2 のレーザ光 2 0 に対する出射角度の違いは、光学素子 1 0 の結晶軸に対する被測定光 2 1 及びレーザ光 2 0 の入射角により、異なる値をとるため、結晶軸方向を変えることにより測定波長範囲を選定することができる。また、上記出射角度の違いは、非線形光学特性を有する光学素子 1 0 の屈折率やレーザ光 2 0 の波長の違いによっても異なる値をとるため、測定波長範囲を選定することができることを示している。

20

## 【 0 0 2 0 】

また、式 ( 5 ) は、レーザ光 2 0 、被測定光 2 1 の偏光方向の違いにより異なった式となるため、被測定光 2 1 の偏光解析が可能となる。

## 【 0 0 2 1 】

## 【 実施例 】

本発明の実施例を図 3 を用いて説明する。図 3 は本実施例を具体的な機器で構成した射視図である。本実施例では、非線形光学特性を有する光学素子として、光学軸を 3 0 度にカットした B B O (  $\text{-BaB}_2\text{O}_4$  ) 結晶 4 0 を使用し、これをレーザ光 2 0 、被測定光 2 1 に対し入射角度を変えられるように回転ステージ 3 1 を設置してある。尚、非線形光学特性を有する光学素子 4 0 は B B O 結晶に限られず、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ( K D P )、 $\text{LiNbO}_3$  など、パラメトリック発生を起こすものであれば使用可能である。使用する光学素子によって分光が可能な波長範囲は異なるので、被測定波長領域から選定することになる。レーザ装置にはチタンサファイアレーザ 3 0 を用いている。被測定光 2 1 は、ハーフミラー 1 3 を用いてレーザ光 2 0 と共軸上に合わせられ、光学レンズ 1 1 を用いて B B O 結晶 4 0 に集光照射される。

30

## 【 0 0 2 2 】

本実施例では、レーザ光源 3 0 は、チタンサファイアレーザの第二高調波 ( 波長、4 0 0 n m ) を使用した。レーザ光 2 0 及び被測定光 2 1 は B B O 結晶 4 0 に対し垂直に入射している。レーザ光 2 0 は回転ステージ 3 1 の回転軸に垂直な偏光をもち、被測定光 2 1 は回転ステージ 3 1 の回転軸に平行な偏光をしている。B B O 結晶 4 0 を通過した後のレーザ光 2 0 は、プリズム 1 2 を用いて光を除去している。

40

## 【 0 0 2 3 】

被測定光 2 1 として、5 5 0 n m、5 7 0 n m の光を入射したところ、被測定光 2 1 によるパラメトリック増幅光 2 2 は、レーザ光 2 0 に対して出射角度  $\gamma = 3.18$  度の方向に円形状に放出された 5 5 0 n m 光が観測され、出射角度  $\gamma = 3.11$  度の方向に円形状に放出された 5 7 0 n m の光が観測された。

## 【 0 0 2 4 】

50

次いで、回転ステージ 31 を用いて BBO 結晶 40 を回転させ、結晶軸 29 度の方向からレーザ光 20 及び被測定光 21 が入射するようにした場合、被測定光 21 によるパラメトリック増幅光 22 は、レーザ光 20 に対して、550 nm の光は出射角度 = 2.70 度に変化し、570 nm の光は = 2.53 度に出射角度がそれぞれ変化した。

尚、被測定光 21 が偏光情報を含んでいる場合、BBO 結晶 40 に入射する被測定光 21 の偏光方向を回転させることにより、偏光情報を含んだパラメトリック増幅光を得ることができる。また、レーザ光 20 の偏光方向を変化させ、あるいは BBO 結晶 40 を回転させ、相対的に被測定光 21 光の偏光方向を BBO 結晶 40 に対し変化させてもよいことは勿論である。

#### 【0025】

図 4 は図 3 の装置を用いて観測を行なった、エタノール溶液中に溶解したローダミン B の蛍光スペクトルを示している。ローダミン B を溶解したエタノール溶液中にレーザ光を照射し、得られた蛍光をレンズを用いて集光し、BBO 結晶 40 に照射をした。被測定光 21 は光学軸に対し 30 度で、かつ、レーザ光 20 と同じタイミングで入射を行なった。図 4 は、被測定光 21 及びレーザ光 20 が、BBO 結晶 40 を透過し 30 cm 進んだ位置を中心として、レーザ光 20 の進行方向に垂直な平面内の円の半径位置における増幅光 22 の光強度をプロットしたものである。増幅光 22 には、シグナル光、アイドラ光が含まれているので、図 4 の測定では、アイドラ光を除去するフィルターを通過させた後、検出をおこなった。

#### 【0026】

エタノール溶液中に溶解したローダミン B では、590 nm 近傍をピークトップに持つ線幅の広い蛍光スペクトルが発生する。590 nm の波長の光は 1.58 cm の位置に検出されると考えられる。図 4 に示すように、本実施例では、1.58 cm を中心としたローダミン B の蛍光スペクトルが観測されている。図 4 の測定では、520 nm の波長の光が 1.7 cm に、720 nm の波長の光が 1.3 cm の位置に検出されると考えられる。

#### 【0027】

図 5 は図 4 と同様の実験条件において、検出光としてアイドラ光を用いた結果である。測定は、シグナル光を除去するフィルターを通過させた後、検出をおこなった。590 nm の光を被測定光として入射した場合に発生するアイドラ光は、3.4 cm の位置に検出されると考えられることから、中心から 3 cm の位置に観測されている光は、ローダミン B の蛍光を基にして、図 3 の分光装置により発生したアイドラ光である。図 5 の測定では、540 nm の波長の光に伴って発生するアイドラ光が 4.5 cm の位置に、740 nm の波長の光に伴って発生するアイドラ光が 1.5 cm の位置に検出されると考えられる。

#### 【0028】

このようにして、被測定光を本発明の光増幅型分光装置を用いることにより分光しながら、光を増幅することが可能である。

また、レーザ光 20 がパルスレーザであり、かつ被測定光 21 光もパルスレーザを光源としたパルス光である場合、レーザ光 20 に光遅延回路を設けることにより、レーザパルスの重なった時のみパラメトリック増幅が発生することを利用して時間分解測定を行なうことができる。

本発明は上記実施例に限定されることなく、特許請求の範囲に記載した発明の範囲内で、種々の変形が可能であり、それらも本発明の範囲内に含まれるものであることはいうまでもない。

#### 【0029】

##### 【発明の効果】

本発明にかかる光増幅型分光装置によれば、入射した光の波長に依存した出射角で放出される円形状のパラメトリック増幅光を用いて光を増幅しながら分光を行なうことが可能となる。また、パラメトリック増幅光の出射角が、非線形光学特性を有する光学素子材料に対する被測定光およびポンプ光の入射角度に依存することを利用して、被測定光の測定波長領域を変化させることができる。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【図 1】本実施態様に係る光増幅型分光装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】パラメトリック発光がおこる波数ベクトルの条件を示した図である。

【図 3】本実施例を具体的な機器で構成した射視図である。

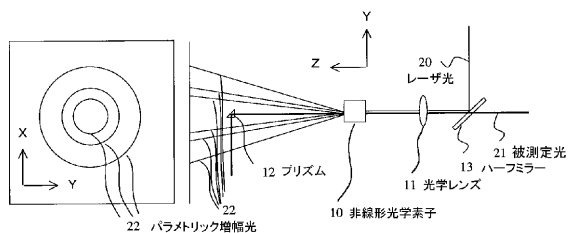
【図 4】本実施例の分光装置を用いて測定したローダミン B の蛍光スペクトルを示す図である。

【図 5】本実施例の分光装置において、測定光としてアイドラ光を用いた場合に、測定されるローダミン B の蛍光スペクトルを示す図である。

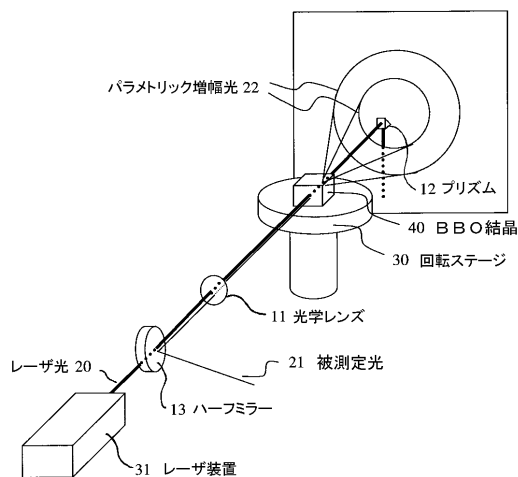
【符号の説明】

- 10：非線形光学素子
- 11：光学レンズ
- 12：プリズム
- 13：ハーフミラー
- 20：レーザー光
- 21：被測定光
- 22：パラメトリック増幅光
- 30：回転ステージ
- 31：レーザー装置
- 40：BBO結晶

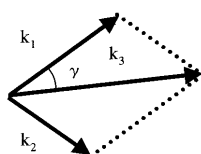
【図 1】



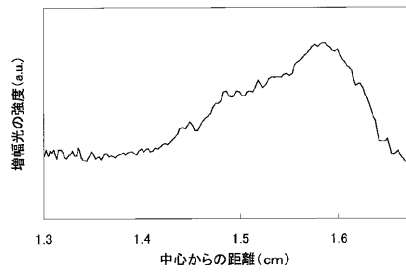
【図 3】



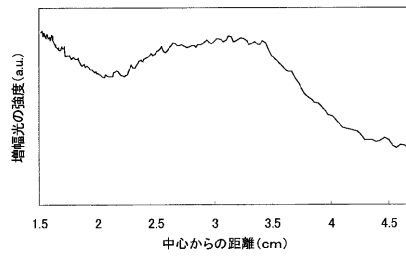
【図 2】



【 図 4 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平06-235950(JP,A)

F.Devaux, E.Lantz, "Parametric amplification of a polychromatic image", J. Opt. Soc. Am. B, 1995年11月, Vol.12, No.11, pp.2245-2252

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

G01J3/00-3/52

G01J9/00-9/04

JICSTファイル(JOIS)

Web of Science