

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5327731号
(P5327731)

(45) 発行日 平成25年10月30日(2013.10.30)

(24) 登録日 平成25年8月2日(2013.8.2)

(51) Int.Cl.		F I	
GO2F 1/39	(2006.01)	GO2F 1/39	
HO1S 3/10	(2006.01)	HO1S 3/10	Z
GO2B 13/00	(2006.01)	GO2B 13/00	
GO2B 5/04	(2006.01)	GO2B 5/04	C
GO2B 5/18	(2006.01)	GO2B 5/18	

請求項の数 10 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2007-176655 (P2007-176655)
 (22) 出願日 平成19年7月4日(2007.7.4)
 (65) 公開番号 特開2009-15014 (P2009-15014A)
 (43) 公開日 平成21年1月22日(2009.1.22)
 審査請求日 平成22年5月25日(2010.5.25)

(73) 特許権者 503359821
 独立行政法人理化学研究所
 埼玉県和光市広沢2番1号
 (74) 代理人 100087000
 弁理士 上島 淳一
 (72) 発明者 海老塚 昇
 埼玉県和光市広沢2番1号 独立行政法人
 理化学研究所内
 (72) 発明者 和田 智之
 埼玉県和光市広沢2番1号 独立行政法人
 理化学研究所内
 (72) 発明者 大谷 知行
 埼玉県和光市広沢2番1号 独立行政法人
 理化学研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分散光学システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入射光を分散する分散光学システムにおいて、
 入射光を入射して分散する分散プリズムと、
 前記分散プリズムの後段に配置され、前記分散プリズムから出射された光を入射して、
 該入射した光を出射して焦点面上に結像する結像レンズと、
 前記結像レンズの後段において前記結像レンズの略前記焦点面に配置され、前記結像レ
 ンズから出射された光を入射して、該入射した光の分散を拡大して出射する分散拡大レン
 ズと、

前記分散拡大レンズの後段に配置された凸レンズまたは凹面鏡と
 を有し、

前記凸レンズまたは凹面鏡は、前記分散拡大レンズからの出射光を結像する位置に配置
 され、

前記分散拡大レンズは、前記結像レンズから出射される前記分散プリズムにより分散さ
 れた光について、屈折角が大きいスペクトルの青側の光が前記分散拡大レンズの光軸近傍
 に入射して前記光軸近傍に結像し、屈折角が小さいスペクトルの赤側の光が前記分散拡大
 レンズのコバ側に入射して前記コバ側に結像するように配置し、

前記分散拡大レンズは、前記赤側の光の分散を前記青側の光の分散よりも大きくなるよ
 うにする

ことを特徴とする分散光学システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の分散光学システムにおいて、

前記分散拡大レンズは、前記結像レンズの後段において前記結像レンズの前記焦点面近傍に配置されるとともに、前記結像レンズから出射される前記分散プリズムにより分散された光について、屈折角が大きいスペクトルの青側の光が前記分散拡大レンズの光軸上に入射して前記光軸上に結像するように配置された

ことを特徴とする分散光学システム。

【請求項 3】

入射光を分散する分散光学システムにおいて、

入射光を入射して分散する回折格子と、

前記回折格子の後段に配置され、前記回折格子から出射された光を入射して、該入射した光を出射して焦点面上に結像する結像レンズと、

前記結像レンズの後段において前記結像レンズの略前記焦点面に配置され、前記結像レンズから出射された光を入射して、該入射した光の分散を拡大して出射する分散拡大レンズと、

前記分散拡大レンズの後段に配置された凸レンズまたは凹面鏡と

を有し、

前記凸レンズまたは凹面鏡は、前記分散拡大レンズからの出射光を結像する位置に配置され、

前記分散拡大レンズは、前記結像レンズから出射される前記回折格子により分散された光について、前記分散拡大レンズに入射して回折角を拡大するように配置し、

前記分散拡大レンズは、前記回折角の小さな光の分散を前記回折角の大きな光の分散よりも大きくするようにする

ことを特徴とする分散光学システム。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の分散光学システムにおいて、

前記分散拡大レンズは、前記結像レンズの後段において前記結像レンズの前記焦点面近傍に配置されるとともに、前記結像レンズから出射される前記回折格子により分散された光について、長波長側の光が前記分散拡大レンズの光軸上あるいは光軸近傍に入射して、短波長側の光が前記分散拡大レンズのコバ側に入射するように配置された

ことを特徴とする分散光学システム。

【請求項 5】

請求項 1 または 2 のいずれか 1 項に記載の分散光学システムにおいて、

前記分散プリズムは、三角プリズムであり、

前記分散プリズムが二等辺三角形あるいは正三角形の場合に前記分散プリズムに入射する入射光は、前記分散プリズムの底面と平行になるように入射角 θ_0

$$\theta_0 = \sin^{-1} \{ n_1(\theta_0) \sin(\alpha/2) \}$$

$n_1(\theta_0)$: θ_0 の屈折角

α : 分散プリズムの角度

を有するものとし、

前記入射光のうち波長 λ の光は、前記分散プリズム中に入射の際の屈折角 $\theta_1(\lambda)$ が

$$\theta_1(\lambda) = \sin^{-1} \{ \sin \theta_0 / n_1(\lambda) \}$$

$n(\lambda)$: λ の屈折角

であり、

前記入射光が前記分散プリズムより出射する際の出射角 $\theta_{out}(\lambda)$ は

$$\theta_{out}(\lambda) = \sin^{-1} [n_1(\theta_0) \sin \{ \theta_0 - \theta_1(\lambda) \}]$$

であり、

前記出射角 $\theta_{out}(\lambda)$ を有する出射光は、前記結像レンズを出射後に、前記結像レンズの光軸から高さ方向における距離 x だけ離れた結像位置から前記分散拡大レンズに入射するものであって、

10

20

30

40

50

前記 x は、

$$x(\theta) = f \cdot \tan\{\theta_{out}(\theta) - \theta\}$$

: 任意の角度

であり、

前記分散拡大レンズに入射する入射角 $\theta_{in}(\theta)$ は

$$\theta_{in}(\theta) = \sin^{-1}\{(x+a)/R\}$$

a : 結像レンズと分散拡大レンズの光軸の距離

R : 分散拡大レンズの曲率半径

であり、

前記分散拡大レンズ内における光軸となす角 $\theta_1(\theta)$ は

$$\theta_1(\theta) = \sin^{-1}[\sin\{\theta_{in}(\theta)/n_2(\theta)\}]$$

$n_2(\theta)$: 分散拡大レンズに対する屈折率

であり、

前記分散拡大レンズより出射される光の出射角 $\theta_{out}(\theta)$ は

$$\theta_{out}(\theta) = \sin^{-1}[n_2(\theta)\sin\{\theta_{in}(\theta) - \theta_1(\theta)\}]$$

である

ことを特徴とする分散光学システム。

【請求項 6】

請求項 1、2、3、4 または 5 のいずれか 1 項に記載の分散光学システムにおいて、
前記分散拡大レンズは、凸形状である

ことを特徴とする分散光学システム。

【請求項 7】

請求項 1、2、3、4 または 5 のいずれか 1 項に記載の分散光学システムにおいて、
前記分散拡大レンズは、凹形状である

ことを特徴とする分散光学システム。

【請求項 8】

請求項 6 または 7 のいずれか 1 項に記載の分散光学システムにおいて、
前記分散拡大レンズは、シリンドリカルレンズである

ことを特徴とする分散光学システム。

【請求項 9】

請求項 1、2、3、4 または 5 のいずれか 1 項に記載の分散光学システムにおいて、
前記分散拡大レンズは、非球面や自由曲面を備えたレンズである

ことを特徴とする分散光学システム。

【請求項 10】

請求項 1、2、3、4 または 5 のいずれか 1 項に記載の分散光学システムにおいて、
前記分散拡大レンズは、1 または複数のレンズよりなる

ことを特徴とする分散光学システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、分散光学システムに関し、さらに詳細には、フェムト秒レーザーの位相整合器用の分散光学ユニットやテラヘルツ波発生器の光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器 (is-TPG 方式) の非線形光学結晶に入射させるシード光の分散光学ユニットなどとして用いて好適な分散光学システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来より、フェムト秒レーザー光を発生させる際には、非線形光学結晶により発生した広い波長領域のパルス光を位相整合してパルス幅の圧縮を行うようになされている。

【0003】

図 1 には、こうした位相整合を行うための従来のフェムト秒レーザー用位相整合光学シ

10

20

30

40

50

ステムの一例の概念構成説明図が示されている。

【 0 0 0 4 】

即ち、この図 1 に示す従来のフェムト秒レーザー用位相整合光学システム 1 0 0 は、非線形光学結晶により発生した広い波長領域のパルス光を入射して当該入射したパルス光を反射させる第 1 ミラー 1 0 2 と、第 1 ミラー 1 0 2 により反射されたパルス光を分散させる第 1 回折格子 1 0 4 と、第 1 回折格子 1 0 4 により分散されたパルス光を反射させる第 2 ミラー 1 0 6 と、第 2 ミラー 1 0 6 により反射されたパルス光を反射させ波長ごとに平行光束にする第 1 凹面鏡 1 0 8 と、第 1 凹面鏡 1 0 8 の焦点位置に配置されるとともに第 1 凹面鏡 1 0 8 により波長ごとに平行光束にされたパルス光の位相を波長ごとに変調する空間光変調器 (Spatial Light Modulator : SLM) 1 1 0 と、空間光位相変調器 1 1 0 により変調されたパルス光を反射して回折格子 1 1 6 上に集光する第 2 凹面鏡 1 1 2 と、第 2 凹面鏡 1 1 2 により集光されたパルス光を反射させる第 3 ミラー 1 1 4 と、第 3 ミラー 1 1 4 により集光された分散しているパルス光を合成する第 2 回折格子 1 1 6 と、第 2 回折格子 1 1 6 により合成されたパルス光を反射して外部へ出射する第 4 ミラー 1 1 8 とを有して構成されている。

10

【 0 0 0 5 】

以上の構成において、上記した従来のフェムト秒レーザー用位相整合光学システム 1 0 0 によれば、非線形光学結晶により発生した広い波長領域のパルス光を内部に取り込み、内部へ取り込んだパルス光を位相整合してパルス幅の圧縮を行って外部へ出射することにより、フェムト秒レーザー光を発生させることができる。

20

【 0 0 0 6 】

なお、非線形光学結晶により発生したパルス光の波長領域が広いほど、パルス幅を圧縮することが可能である。

【 0 0 0 7 】

しかしながら、上記した従来のフェムト秒レーザー用位相整合光学システム 1 0 0 のように回折格子を用いたシステムにおいては、回折格子自体が広い波長領域において高い効率を得ることが困難であり、また、回折格子の出射光として 2 倍の波長 (1 オクターブ) の光が 2 次回折光として重なってしまい、広帯域の波長領域において高効率でフェムト秒レーザー光を発生させることが困難であるという問題点があった。

30

【 0 0 0 8 】

一方、上記したフェムト秒レーザー用位相整合光学システム 1 0 0 のように回折格子を用いたシステムとは異なり、回折格子の代わりにプリズムを用いたフェムト秒レーザー用位相整合光学システムも知られている。

【 0 0 0 9 】

しかしながら、プリズムは分散の波長依存性が大きいいため、長波長領域では大きな分散を得ることが困難であるという新たな問題点を招来するものであった。

【 0 0 1 0 】

40

具体的には、フェムト秒レーザー光を得るために、パルスレーザー光のパルス幅を数 1 0 フェムト秒に圧縮するには、波長 3 0 0 ~ 1 2 0 0 nm の波長領域において効率約 8 0 % で 2 次回折光などの高次回折光が発生しないような分散素子あるいは分散光学システムが必要となる。

【 0 0 1 1 】

ところが、従来のフェムト秒レーザー用位相整合光学システム 1 0 0 において、第 1 回折格子 1 0 4 および第 2 回折格子 1 1 6 として、ブレイズ波長が 5 0 0 nm である格子数 1 5 0 本 / mm の反射型回折格子を用いた場合には、波長 5 0 0 nm における効率は 7 5 % 程度であるが、波長 3 0 0 nm における効率は 1 5 % 程度と低く、また、波長 1 2 0 0

50

nmにおける効率は25%程度と低いものであり、さらに、波長300~600nmの位置に波長600~1200nmの2次回折光が重なってしまうという問題点があった。

【0012】

一方、テラヘルツ波を発生させるための光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器(is-TPG方式)は、その内部に非線形光学結晶が配置されており、この非線形光学結晶にシード光およびポンプ光を入射してテラヘルツ光を得るものである。

【0013】

図2には、従来の光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器の概念構成説明図が示されている。 10

【0014】

この図2に示す光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器200においては、非線形光学結晶208に入射させるシード光の入射角調整光学システムとして、回折格子を用いた分散光学システム204が用いられている。

【0015】

上記した従来の光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器200は、シード光を発生するシード光発生用光源202と、シード光発生用光源202により発生されたシード光を分散させる分散光学システム204と、ポンプ光を発生するポンプ光発生用光源(図示せず)と、ポンプ光発生用光源により発生されたポンプ光を反射するミラー206と、入射されたシード光およびポンプ光からテラヘルツ波を生成する非線形光学結晶208と、非線形光学結晶208上に載置されるとともに非線形光学結晶208により生成されたテラヘルツ波を取り出すカップラ210とを有して構成されている。 20

【0016】

また、上記した分散光学システム204は、シード光発生用光源202により発生されたシード光を分散する表面レリーフ型の回折格子204aと、回折格子204aにより分散された光を入射して各波長の光束を平行に出射する凸レンズ204bと、凸レンズ204bより出射された各波長の光束を後焦点に収斂する凸レンズ204cとを有して構成されている。

【0017】

なお、非線形光学結晶としては、適宜の材料を選択すればよく、例えば、MgO:LiNbO₃を用いることができる。 30

【0018】

ところで、こうした光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器200の分散光学システム204に用いられる回折格子204aは、格子間隔を狭くすることにより大きな分散が得られるようになるものであるが、格子間隔が波長に近づくと回折効率が急激に低下してしまうことが知られている。

【0019】

ここで、分散光学システムの各構成部材の寸法や配置は回折格子204aの格子間隔に依存するものであり、従ってその小型化には限界があるという問題点があった。 40

【0020】

例えば、図2に示した光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器200の分散光学システム204により約0.27°/nmの角度分散を得るためには、回折格子204aとして格子数1200本/mmを有する表面レリーフ型の回折格子と、焦点距離がf=750mmの凸レンズ204bと、焦点距離がf=250mmの凸レンズ204cとを用い、回折格子204aと凸レンズ204bとの間隔を750mmとし、凸レンズ204bと凸レンズ204cとの間隔を750mm+250mmとし、凸レンズ204cと非線形光学結晶208との間隔を250mmとする必要があるため、分散光学システム204の距離が約2mに及ぶ長さになり、装置全体が極めて大型化するという問題点があった。 50

【 0 0 2 1 】

なお、本願出願人が特許出願時に知っている先行技術は、上記において説明したようなものであって文献公知発明に係る発明ではないため、記載すべき先行技術情報はない。

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 2 2 】

本発明は、上記したような従来の技術の有する種々の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、波長依存性が少なく、高効率で大きな分散が得られるような小型の分散光学システムを提供しようとするものである。

10

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 2 3 】

上記目的を達成するために、本発明による分散光学システムは、分散プリズムより出射された分散光を結像する結像レンズ後段において、当該結像レンズの焦点面近傍に分散拡大レンズを配置し、さらに、結像レンズより出射された光のうち分散プリズムにおける屈折角が大きい光を分散拡大レンズの光軸付近に入射し、分散プリズムにおける屈折角が小さい光を分散拡大レンズの縁付近に入射するようにしたものである。

【 0 0 2 4 】

従って、本発明によれば、広い波長範囲内で高次回折光を発生することなく高効率で大きな分散を得ることができるようになる。

20

【 0 0 2 5 】

即ち、本発明のうち請求項 1 に記載の発明は、入射光を分散する分散光学システムにおいて、入射光を入射して分散する分散プリズムと、上記分散プリズムの後段に配置され、上記分散プリズムから出射された光を入射して、該入射した光を出射して焦点面上に結像する結像レンズと、上記結像レンズの後段において上記結像レンズの略上記焦点面に配置され、上記結像レンズから出射された光を入射して、該入射した光の分散を拡大して出射する分散拡大レンズと、上記分散拡大レンズの後段に配置された凸レンズまたは凹面鏡とを有し、上記凸レンズまたは凹面鏡は、上記分散拡大レンズからの出射光を結像する位置に配置され、上記分散拡大レンズは、上記結像レンズから出射される上記分散プリズムにより分散された光について、屈折角が大きいスペクトルの青側の光が上記分散拡大レンズの光軸近傍に入射して上記光軸近傍に結像し、屈折角が小さいスペクトルの赤側の光が上記分散拡大レンズのコバ側に入射して上記コバ側に結像するように配置し、上記分散拡大レンズは、上記赤側の光の分散を上記青側の光の分散よりも大きくなるようにしたものである。

30

【 0 0 2 6 】

また、本発明のうち請求項 2 に記載の発明は、本発明のうち請求項 2 に記載の発明において、上記分散拡大レンズは、上記結像レンズの後段において上記結像レンズの上記焦点面近傍に配置されるとともに、上記結像レンズから出射される上記分散プリズムにより分散された光について、屈折角が大きいスペクトルの青側の光が上記分散拡大レンズの光軸上に入射して上記光軸上に結像するように配置されるようにしたものである。

40

【 0 0 2 7 】

また、本発明のうち請求項 3 に記載の発明は、入射光を分散する分散光学システムにおいて、入射光を入射して分散する回折格子と、上記回折格子の後段に配置され、上記回折格子から出射された光を入射して、該入射した光を出射して焦点面上に結像する結像レンズと、上記結像レンズの後段において上記結像レンズの略上記焦点面に配置され、上記結像レンズから出射された光を入射して、該入射した光の分散を拡大して出射する分散拡大レンズと、上記分散拡大レンズの後段に配置された凸レンズまたは凹面鏡とを有し、上記凸レンズまたは凹面鏡は、上記分散拡大レンズからの出射光を結像する位置に配置され、上記分散拡大レンズは、上記結像レンズから出射される上記回折格子により分散された光について、上記分散拡大レンズに入射して回折角を拡大するように配置し、上記回折角の

50

小さな光の分散を上記回折角の大きな光の分散よりも大きくなるようにしたものである。

【0028】

また、本発明のうち請求項4に記載の発明は、本発明のうち請求項3に記載の発明において、上記分散拡大レンズは、上記結像レンズの後段において上記結像レンズの前記焦点面近傍に配置されるとともに、上記結像レンズから出射される上記回折格子により分散された光について、長波長側の光が上記分散拡大レンズの光軸上あるいは光軸近傍に入射して、短波長側の光が上記分散拡大レンズのコバ側に入射するように配置されるようにしたものである。

【0029】

また、本発明のうち請求項5に記載の発明は、本発明のうち請求項1または2のいずれか1項に記載の発明において、上記分散プリズムは、三角プリズムであり、上記分散プリズムが二等辺三角形あるいは正三角形の場合に上記分散プリズムに入射する入射光は、上記分散プリズムの底面と平行になるように入射角 θ_0

$$\theta_0 = \sin^{-1} \{ n_1(\theta_0) \sin(\alpha/2) \}$$

$n_1(\theta_0)$: θ_0 の屈折角

α : 分散プリズムの角度

を有するものとし、上記入射光のうち波長 λ の光は、上記分散プリズム中に入射の際の屈折角 $\theta_1(\lambda)$ が

$$\theta_1(\lambda) = \sin^{-1} \{ \sin \theta_0 / n_1(\lambda) \}$$

$n_1(\lambda)$: λ の屈折角

であり、上記入射光が上記分散プリズムより出射する際の出射角 $\theta_{out}(\lambda)$ は

$$\theta_{out}(\lambda) = \sin^{-1} [n_1(\theta_0) \sin \{ \theta_0 - \theta_1(\lambda) \}]$$

であり、上記出射角 $\theta_{out}(\lambda)$ を有する出射光は、上記結像レンズを出射後に、上記結像レンズの光軸から高さ方向における距離 x だけ離れた結像位置から上記分散拡大レンズに入射するものであって、上記 x は、

$$x(\lambda) = f \cdot \tan \{ \theta_{out}(\lambda) - \theta_0 \}$$

f : 任意の角度

であり、上記分散拡大レンズに入射する入射角 $\theta_{in}(\lambda)$ は

$$\theta_{in}(\lambda) = \sin^{-1} \{ (x + a) / R \}$$

a : 結像レンズと分散拡大レンズの光軸の距離

R : 分散拡大レンズの曲率半径

であり、上記分散拡大レンズ内における光軸となす角 $\theta_2(\lambda)$ は

$$\theta_2(\lambda) = \sin^{-1} [\sin \{ \theta_{in}(\lambda) / n_2(\lambda) \}]$$

$n_2(\lambda)$: λ の分散拡大レンズに対する屈折率

であり、上記分散拡大レンズより出射される光の出射角 $\theta_{out}(\lambda)$ は

$$\theta_{out}(\lambda) = \sin^{-1} [n_2(\lambda) \sin \{ \theta_{in}(\lambda) - \theta_2(\lambda) \}]$$

であるようにしたものである。

【0030】

また、本発明のうち請求項6に記載の発明は、本発明のうち請求項1、2、3、4または5のいずれか1項に記載の発明において、上記分散拡大レンズは凸形状であるようにしたものである。

【0031】

また、本発明のうち請求項7に記載の発明は、本発明のうち請求項1、2、3、4または5のいずれか1項に記載の発明において、上記分散拡大レンズは凹形状であるようにしたものである。

【0032】

また、本発明のうち請求項8に記載の発明は、本発明のうち請求項6または7のいずれか1項に記載の発明において、上記分散拡大レンズはシリンダカルレンズであるようにしたものである。

【0033】

10

20

30

40

50

また、本発明のうち請求項 9 に記載の発明は、本発明のうち請求項 1、2、3、4 または 5 のいずれか 1 項に記載の発明において、上記分散拡大レンズは非球面や自由曲面を備えたレンズであるようにしたものである。

【0034】

また、本発明のうち請求項 10 に記載の発明は、本発明のうち請求項 1、2、3、4 または 5 のいずれか 1 項に記載の発明において、上記分散拡大レンズは 1 または複数のレンズよりなるようにしたものである。

【発明の効果】

【0035】

本発明は、以上説明したように構成されているので、波長依存性が少なく、高効率で大きな分散が得られる小型の分散光学システムを提供することができるという優れた効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0036】

以下、添付の図面を参照しながら、本発明による分散光学システムの実施の形態の一例を詳細に説明するものとする。

【0037】

図 3 には、本発明による分散光学システムの第 1 の実施の形態の概念構成説明図が示されている。

【0038】

この本発明の第 1 の実施の形態による分散光学システム 10 は、例えば、フェムト秒レーザーの位相整合器用の分散光学ユニットとして用いることができるものである。

【0039】

即ち、分散光学システム 10 は、非線形光学結晶により発生した広い波長領域のパルス光などの入射光を分散させる分散プリズム 12 と、分散プリズム 12 により分散された光束を結像する結像レンズ 14 と、結像レンズ 14 の出射面 14 a より出射された光の焦点位置である結像レンズ 14 の結像面近傍（焦点面近傍）に設置されるとともに入射した光の分散を拡大する分散拡大レンズ 16 とを有して構成されている。

【0040】

なお、この分散光学システム 10 においては、分散プリズム 12 として各頂角が 60° を有する石英製の正三角柱形状の三角プリズムを用い、また、結像レンズ 14 として焦点距離が 100 mm である平凸レンズを用い、また、分散拡大レンズ 16 として曲率半径が 17 mm の石英からなる凸形状のシリンドリカルレンズを用いた。

【0041】

また、分散光学システム 10 は、上記した各構成部材により構成されてなるものであるが、これら各構成部材は、以下に説明するように配置されている。

【0042】

即ち、結像レンズ 14 の出射面 14 a から出射される分散プリズム 12 により分散された光束について、屈折角が大きいスペクトルの短波長側、即ち、青色光（図 3 において破線以示す。）を分散拡大レンズ 16 の光軸近傍上に入射して光軸近傍上に結像させ、屈折角が小さいスペクトルの長波長側、即ち、赤色光（図 3 において一点鎖線以示す。）を分散拡大レンズ 16 のコバ側、即ち、縁近傍に入射してコバ側、即ち、縁近傍に結像させるように配置する。

【0043】

なお、分散光学システム 10 においては、波長 300 nm の光が分散拡大レンズ 16 の光軸上を通るように設計されている。

【0044】

以上の構成において、分散光学システム 10 によれば、分散プリズム 12 により分散さ

10

20

30

40

50

れた光束を結像レンズ 14 で波長毎に結像させ、結像面近傍に分散拡大レンズ 16 が配置されていることにより、分散拡大レンズ 16 で波長分散を拡大して分散の波長依存性を制御することができる。

【0045】

即ち、分散光学システム 10 は、分散プリズム 12 により分散された光束について、屈折角が大きいスペクトルの短波長側、即ち、青色光（図 3 において破線で示す。）を分散拡大レンズ 16 の光軸近傍上に入射させ、屈折角が小さいスペクトルの長波長側、即ち、赤色光（図 3 において一点鎖線で示す。）を分散拡大レンズ 16 のコバ側、即ち、縁近傍に入射させているので、分散プリズム 12 により分散された光束のなかでスペクトルの長波長側の光束の分散を大きくすることができる。

10

【0046】

従って、分散光学システム 10 においては、分散拡大レンズ 16 の曲率半径の選択と入射角（光軸からの距離）の調整とを行うことにより、表面刻線型の回折格子より大きな分散や、波長あるいは波数に対してほぼ線形と見なすことができる分散特性を得ることができる。

【0047】

なお、分散拡大レンズ 16 として、複数のレンズを組み合わせたり、非球面や自由曲面を備えたレンズを採用することにより、波長あるいは波数に対して任意の分散特性を得ることができるようになる。

20

【0048】

また、分散光学システム 10 において、分散プリズム 12 に代えて回折格子を用いることにより、1 オクターブ以内の波長範囲において極めて大きな分散を得ることが可能である。

【0049】

次に、分散光学システム 10 によって光を分散させる際の作用について、図 4 および図 5 を合わせて参照しながら詳細に説明することとする。

【0050】

まず、分散プリズム 12 への入射光として、例えば、非線形光学結晶により発生した広い波長領域のパルス光などの入射光が分散プリズム 12 に入射すると、当該入射光は分散プリズム 12 により分散されてスペクトルが得られる。

30

【0051】

なお、図 3 乃至図 5 においては、本発明の理解を容易にするために、赤色光（図 3 乃至図 5 において一点鎖線で示す。）、緑色光（図 3 乃至図 5 において二点鎖線で示す。）および青色光（図 3 乃至図 5 において破線で示す。）のみを図示するものとし、以下の説明においても、上記した赤色光、緑色光および青色光に関して説明する。

【0052】

ここで、分散プリズム 12 により分散されて出力される赤色光、緑色光および青色光のなかで、青色光に対する屈折率が最も大きく、また、赤色光に対する屈折率が最も小さいものであり、図 3 に示されているようにそれぞれの角度に屈折した赤色光、緑色光および青色光が分散プリズム 12 から出射される。

40

【0053】

次に、分散プリズム 12 より出射した赤色光、緑色光および青色光（以下、これら赤色光、緑色光および青色光を総称して「分散光」と称する。）は、分散プリズム 12 の後段に配置された結像レンズ 14 に入射し、結像レンズ 14 の出射面 14 a より出射される。

【0054】

そして、結像レンズ 14 を出射した分散光はそれぞれ、結像レンズ 14 の焦点面付近に配置された分散拡大レンズ 16 に入射し、青色光は分散拡大レンズ 16 の光軸近傍に結像し、また、赤色光は分散拡大レンズ 16 のコバ側、即ち、縁近傍に結像する。

50

【 0 0 5 5 】

上記のようにして分散拡大レンズ 16 に入射された分散光は、分散拡大レンズ 16 から出射されて、分散光学システム 10 の外部へ取り出されるものである。

【 0 0 5 6 】

上記において説明したように、本発明による分散光学システム 10 は、分散プリズム 12 により分散された光束を波長ごとに結像させるため、結像レンズ 14 の後段に分散拡大レンズ 16 を設けるとともに、分散プリズム 12 により大きく屈折した波長の光は分散拡大レンズ 16 の光軸近傍に入射するようにし、分散プリズムにより小さく屈折した波長の光は分散拡大レンズの縁近傍に入射するようになされており、分散プリズムと結像レンズのみから得られる光の分散よりも、光の分散をより拡大することができる。

10

【 0 0 5 7 】

即ち、分散光学システム 10 においては、青色光が分散拡大レンズ 16 の光軸近傍に収束し、赤色光が分散拡大レンズ 16 の縁近傍に収束しており、波長の分散を大きくとることができるものである。

【 0 0 5 8 】

こうした分散光学システム 10 は、分散拡大レンズ 16 に光が入射する際に、分散拡大レンズ 16 における光の入射位置によって屈折角が異なる球面収差のため、光軸近傍は屈折角が小さくなり、光軸から離れて縁近傍に行くに従って屈折角が大きくなることを利用している。

20

【 0 0 5 9 】

より詳細には、分散プリズム 12 から出射された光束のなかで、短波長の光束は大きく屈折し、長波長の光束は小さく屈折するものであるので、分散拡大レンズ 16 に入射する際には、分散プリズム 12 における屈折率とは逆となるように、即ち、短波長の光は屈折角を小さくさせるように分散拡大レンズ 16 の光軸近傍に入射させ、長波長の光は屈折角を大きくさせるように分散拡大レンズ 16 の縁近傍に入射させるように制御することによって、それぞれの波長の波長分散を調整することができるものである。

【 0 0 6 0 】

ここで、図 4 および図 5 を参照しながら、分散光学システム 10 の分散拡大レンズ 16 における入射位置および出射光の屈折角についての関数を詳細に説明する。

30

【 0 0 6 1 】

なお、図 4 は分散プリズム 12 における入射角と内部屈折角と出射角とを図示する概念説明図であり、図 5 は分散拡大レンズ 16 における入射角と内部屈折角と出射角とを図示する概念説明図である。

【 0 0 6 2 】

分散光学システム 10 における分散プリズム 12 として用いられる三角プリズムの形状が二等辺三角形もしくは正三角形の場合に、分散プリズム 12 内において、任意の波長（例えば、中心波長） λ_0 の光束を図 4 に示すように分散プリズム 12 の底辺と平行に進行させるためには、入射面における光束の入射角 θ_0 は、分散プリズム 12 の頂角 α と波長 λ_0 の屈折率 $n_1(\lambda_0)$ とを用いて式 1 で示すことができる。

40

【 0 0 6 3 】

$$\theta_0 = \sin^{-1} \{ n_1(\lambda_0) \sin(\alpha / 2) \} \quad \dots \text{式 1}$$

即ち、波長 λ_0 の光を上記式 1 より得られた入射角 θ_0 で入射させると、光は分散プリズム 12 内を分散プリズム 12 の底面と平行に進行することになる。

【 0 0 6 4 】

より具体的には、例えば、石英で形成されているとともに頂角 $\alpha = 60^\circ$ を有する分散プリズム 12 を用いた分散光学システムにおいて、中心波長 $\lambda_0 = 400 \text{ nm}$ の光を入射

50

させた場合には、屈折率 n_1 は $n_1(400\text{ nm}) = 1.4701$ であるので、上記の式 1 より入射角 θ_0 を求めると、以下の値が得られる。

【0065】

$$\theta_0 = \sin^{-1} \{ 1.401 \times \sin(60/2) \} = 47.312^\circ$$

従って、中心波長 $\lambda = 400\text{ nm}$ の光を分散プリズム 12 に入射する際に、入射角 θ_0 を 47.312° とすると、分散プリズム 12 内を分散プリズム 12 の底面と平行な状態で入射光が進行する。

【0066】

上記により算出された入射角 θ_0 を用いて、入射光の各波長 () における分散プリズム 12 内の屈折角 θ_1 () を表すと、以下の式 2 で示すことができる。

【0067】

$$\theta_1(\lambda) = \sin^{-1} \{ \sin \theta_0 / n_1(\lambda) \} \quad \dots \text{式 2}$$

さらに、分散プリズム 12 より出射した出射光の屈折角 $\theta_{out}(\lambda)$ は、上記式 2 により表された各波長の屈折率 $n_1(\lambda)$ を用いて、式 3 によって表される。

【0068】

$$\theta_{out}(\lambda) = \sin^{-1} [n_1(\lambda) \sin \{ \theta_1(\lambda) \}] \quad \dots \text{式 3}$$

分散プリズム 12 より出射し、式 3 より得られた出射角 $\theta_{out}(\lambda)$ を有する光は、結像レンズ 14 に入射したのち、分散拡大レンズ 16 に入射する。

【0069】

そのときの、分散拡大レンズ 16 上の結像レンズ 14 焦点面における結像位置 $x(\lambda)$ が式 4 から求められる。より詳細には、結像位置 $x(\lambda)$ は、分散プリズム 12 からの出射光の屈折角 $\theta_{out}(\lambda)$ から任意の角度 (例えば θ_0 の出射後の屈折角 $\theta_{out}(\lambda_0) = \theta_0$) を差し引いた際に得られる値と、結像レンズ 14 の焦点距離 f とを用いて算出される。

【0070】

$$x(\lambda) = f \cdot \tan \{ \theta_{out}(\lambda) - \theta_0 \} \quad \dots \text{式 4}$$

こうして得られた各波長の結像位置 $x(\lambda)$ より、分散拡大レンズ 16 における各波長の光の入射位置がわかるものである。

【0071】

さらに、分散拡大レンズ 16 に入射する際の入射角 $\theta_{in}(\lambda)$ は、結像位置 $x(\lambda)$ の値に結像レンズ 14 と分散拡大レンズ 16 との光軸の距離 a を加えて得られる値と、分散拡大レンズ 16 の曲率半径 R とを用いて式 5 により表される。

【0072】

$$\theta_{in}(\lambda) = \sin^{-1} \{ (x + a) / R \} \quad \dots \text{式 5}$$

そして、上記式 5 より得られた分散拡大レンズ 16 への入射角 $\theta_{in}(\lambda)$ と、屈折率 $n_2(\lambda)$ とを用いて、分散拡大レンズ 16 内における入射光と光軸とのなす角 $\theta_1(\lambda)$ が式 6 により求められる。

【0073】

10

20

30

40

50

$$\theta_1(\lambda) = \sin^{-1} [\sin \{ \theta_{in}(\lambda) / n_2(\lambda) \}] \cdots \text{式 6}$$

さらに、式 5 から得られた分散拡大レンズ 16 への入射角 $\theta_{in}(\lambda)$ と、式 6 から得られた分散拡大レンズ 16 の光軸となす角 $\theta_1(\lambda)$ とを用いて、分散拡大レンズ 16 を出射した各波長の出射角 $\theta_{out}(\lambda)$ は、以下の式 7 より得られる。

【 0 0 7 4 】

$$\theta_{out}(\lambda) = \sin^{-1} [n_2(\lambda) \sin \{ \theta_{in}(\lambda) - \theta_1(\lambda) \}] \cdots \text{式 7}$$

10

ここで、上記した本発明による分散光学システム 10 における分散特性について、図 6 (a) (b) を参照しながら以下に説明する。

【 0 0 7 5 】

まず、図 6 (a) には、本発明による分散光学システム 10 を用いて光を分散させた場合における各波長の屈折角を表した分散曲線が示されている。これは、波長に対する分散特性 (波長分散) を示すものである。

【 0 0 7 6 】

なお、図 6 (a) には、本発明による分散光学システム 10 の分散特性と比較するために、格子数 150 本/mm の回折格子のみを用いて垂直入射させた光を分散させた際の波長に対する分散特性 (波長分散) と、各頂角が 60° で石英からなる分散プリズムのみを用いて光を分散させた際の波長に対する分散特性 (波長分散) とがあわせて示されている。

20

【 0 0 7 7 】

一方、図 6 (b) には、本発明による分散光学システム 10 を用いて光を分散させた場合における波数に対する屈折角をプロットした波数に対する分散特性 (波数分散) が示されている。

【 0 0 7 8 】

なお、図 6 (b) には、図 6 (a) と同様に、本発明による分散光学システム 10 と比較するために、図 6 (a) に示す上記回折格子および上記分散プリズムを用いて光を分散させた場合の波数に対する分散特性 (波数分散) とがあわせて示されている。

30

【 0 0 7 9 】

図 6 (a) に示されているように、本発明の分散光学システム 10 の波長に対する分散特性は、長波長になるにつれて分散し難くなり、波長依存性が高いものであることがわかる。

【 0 0 8 0 】

一方、回折格子の分散特性は、波長に対する屈折角を直線で表すことができ、一定の分散が得られることがわかる。また、プリズムの分散特性は、短波長領域での分散については回折格子の場合より大きい、長波長になるにつれて分散が小さくなることがわかる。

40

【 0 0 8 1 】

また、図 6 (b) に示されているように、本発明の分散光学システム 10 の波数に対する分散特性は、波長に対する分散特性よりもより直線的であり、一定に近い分散が得られていることがわかる。

【 0 0 8 2 】

一方、回折格子の波数に対する分散特性は一定ではない (非線形である。) ことがわかる。また、プリズムの分散特性は、直線的であり、一定の分散が得られているが、本発明による分散光学システム 10 に比べると分散が小さいことがわかる。

【 0 0 8 3 】

50

ここで、フェムト秒レーザーを発生させる場合には、広い波長領域において高い効率を維持できるとともに、パルス圧縮の効率や制御の点で、広い波数領域において一定の波数分散特性を示す分散素子が望まれているため、上記した分散特性から判断すると本発明による分散光学システム10はフェムト秒レーザーの発生に適していると認められる。

【0084】

すなわち、本発明による分散光学システム10は、分散が大きい回折格子のみの場合の利点と波数特性が直線的で分散が一定であるプリズムのみの場合利点とを兼ね備えているものである。

【0085】

10

次に、図7(a)(b)を参照しながら、本発明による分散光学システム10の第1の変形例および第2の変形例について説明する。

【0086】

即ち、図7(a)は、上記した第1の実施の形態による分散光学システム10(図3参照)において、結像レンズ14から出射した光束のうち波長300nmの光束が分散拡大レンズの光軸より10mm上の位置に入射するようにした第1の変形例の各波長における屈折角を表した分散曲線、即ち、波長に対する分散特性(波長分散)が示されている。

【0087】

なお、図7(a)には、上記した第1の変形例の分散特性と比較するために、格子数150本/mmの回折格子のみを用いて垂直入射させた光を分散させた際の波長に対する分散特性(波長分散)と、各頂角が60°で石英からなる分散プリズムのみを用いて光を分散させた際の波長に対する分散特性(波長分散)とがあわせて示されている。

20

【0088】

この図7(a)から、上記した第1の変形例の波長に対する分散特性は、上記した第1の実施の形態による分散光学システム10や回折格子あるいはプリズムのみの場合と比較して直線性が増していることから、得られる分散がより一定であるとともに、各波長における屈折角も増加していることから大きい分散が得られ、高い効率で分散光を得ることができることが認められる。

【0089】

30

次に、図7(b)は、上記した第1の実施の形態による分散光学システム10(図3参照)において、分散拡大レンズ16として第1の実施の形態とは曲率半径が異なる分散拡大レンズ、具体的には、曲率半径が6.5mmの石英製凸形状レンズを用いるようにした第2の変形例の各波長における屈折角を表した分散曲線、即ち、波長に対する分散特性(波長分散)が示されている。

【0090】

なお、図7(b)には、上記した第2の変形例の分散特性と比較するために、格子数150本/mmの回折格子のみを用いて垂直入射させた光を分散させた際の波長に対する分散特性(波長分散)と、各頂角が60°で石英からなる分散プリズムのみを用いて光を分散させた際の波長に対する分散特性(波長分散)とがあわせて示されている。

40

【0091】

この図7(b)から、上記した第2の変形例の波長に対する分散特性は、上記した第1の実施の形態による分散光学システム10、第1の変形例ならびに回折格子あるいはプリズムのみの場合と比較して、各波長における屈折角が大きく増加しており、大きい分散が得られることが認められる。また、波長600~1000nmの領域における分散曲線はほぼ線形であることから、この波長領域において一定の分散が得られることが認められる。

【0092】

次に、図8を参照しながら、本発明による分散光学システムの第2の実施の形態につい

50

て説明する。

【0093】

なお、以下の説明においては、図3を参照しながら説明した本発明の第1の実施の形態による分散光学システム10と同一または相当する構成については、上記において用いた符号と同一の符号を用いることにより、その構成ならびに作用の詳細な説明は適宜に省略することとする。

【0094】

この図8に示す第2の実施の形態の分散光学システム40は、上記した第1の実施の形態の分散光学システム10(図3参照)と比較すると、分散拡大レンズとして凹形状のシリンドリカルレンズを用いている点においてのみ異なっている。

10

【0095】

即ち、この第4の実施の形態の分散光学システム40は、分散プリズム12と、結像レンズ14と、結像レンズ14から出射された光の焦点位置に設置されて入射した光の分散を拡大する分散拡大レンズ46とを有して構成されており、分散拡大レンズ46としては、曲率半径が17mmのBK7製凹形状レンズシリンドリカルを用いている。

【0096】

こうした凸形状の分散拡大レンズ16を有する分散光学システム10および凹形状の分散拡大レンズ46を有する分散光学システム40は、分散プリズム12の代わりに回折格子を配置することで、1オクターブ以内の波長範囲において、極めて大きな分散を得ることも可能になる。

20

【0097】

次に、図9を参照しながら、本発明による分散光学システム10の使用例として、分散光学システム10を用いたフェムト秒レーザー用位相整合光学システムについて説明することとする。

【0098】

この図9に示す本発明による分散光学システム10を用いたフェムト秒レーザー用位相整合光学システム300は、従来のフェムト秒レーザー用位相整合光学システム100と比較すると、第1の回折格子104および第2の116に代えて、本発明による分散光学システム10を用いて構成した点において、従来のフェムト秒レーザー用位相整合光学システム100と異なっている。

30

【0099】

なお、以下の説明においては、図1を参照しながら説明した従来のフェムト秒レーザー用位相整合光学システム100と同一または相当する構成については、上記において用いた符号と同一の符号を用いることにより、その構成ならびに作用の詳細な説明は適宜に省略することとする。

【0100】

40

即ち、分散光学システム10を用いたフェムト秒レーザー用位相整合光学システム300は、第1のミラー102と、第1のミラー102の後段に配置される第1の分散光学システム10と、分散光学システム10の後段に配置される第2のミラー106と、第1の凹面鏡108と、空間光位相変調器110と、第2の凹面鏡と、第3のミラー114と、第2の分散光学システム10と、第2の分散光学システム10の後段に配置された第4のミラー118とを有して構成されている。

【0101】

上記したように、本発明による分散光学システム10は、図6(a)に示す分散特性を有する分散光学ユニットであり、こうした分散光学システム10を用いることにより、波長300nm~1200nmの領域においては、80%以上の効率が得られるものである

50

。

【0102】

さらに、回折格子を用いた従来のフェムト秒レーザー用位相整合光学システム100の場合と比べると、パルス幅の圧縮に重要な短波長において分散が大きいいため、位相整合の精度を向上することが可能である。

【0103】

次に、本発明による分散光学システム40の使用例として、従来の光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器200内に本発明による分散光学システム40を用いた光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器400について、図10を参照しながら説明することとする。

10

【0104】

この図10に示す本発明による分散光学システム40を用いた光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器400は、従来の光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器200と比較すると、分散光学システム204に代えて、本発明による分散光学システム40が用いられている点において異なっている。

【0105】

また、上記した第2の実施の形態の分散光学システム40においては、分散光学システム40内に分散プリズム12を用いたが、光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器400における分散光学システム40においては、分散プリズム12に代えて格子数300本/mmの表面レリーフ型回折格子12'を用いている。

20

【0106】

なお、以下の説明においては、図2を参照しながら説明した従来の光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器200と同一または相当する構成については、上記において用いた符号と同一の符号を用いることにより、その構成ならびに作用の詳細な説明は適宜に省略することとする。

【0107】

即ち、図10には本発明による分散光学システム40を用いた光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器400の概念構成説明図が示されており、この光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器400は、シード光源202と、分散光学システム40と、ポンプ光源(図示せず。)と、ミラー206と、非線形光学結晶208と、カップラ210とを有して構成されている。

30

【0108】

さらに、分散光学システム40は、回折格子12'と、結像レンズ14と、分散拡大レンズ46と、凸レンズ18とを有して構成されている。

【0109】

こうした光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器400は、回折格子と非線形光学結晶との距離が0.8mとすることができ、従来の光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器200と比較すると、従来の40%の距離で構成されるため装置を小型化することが可能である。

40

【0110】

次に、図11には、こうした光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器400に用いた本発明による分散光学システムの分散特性が示されている。

【0111】

即ち、使用波長領域(波長1060nm~1080nm)において、波長に対して直線的な分散特性を得られることから、分散が一定で、かつ、効率の良く分散できるものであることが認められる。

50

【 0 1 1 2 】

また、従来の光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器 2 0 0 は格子数 1 2 0 0 本 / m m の回折格子 2 0 4 a を用いていたが、本発明による分散光学システム 4 0 とともに格子数 3 0 0 本 / m m の回折格子を用いることにより、格子数 1 2 0 0 本 / m m の回折格子を用いた場合に対して、5 0 ~ 2 0 0 % 程度の効率向上が期待できるものである。

なお、上記した実施の形態においては、分散光学システム 1 0 に分散プリズム 1 2 を用いたが、これに限られるものではないことは勿論であり、分散プリズム 1 2 の代わりに回折格子を用いて光の分散を行ってもよいものである。ただし、図 9 に示す本発明による分散光学システム 1 0 を用いたフェムト秒レーザー用位相整合光学システム 3 0 0 の場合においては、分散光学システム 1 0 の構成を変更せずに分散プリズム 1 2 を用いるものとする。

10

【産業上の利用可能性】

【 0 1 1 3 】

本発明は、レーザー関連機器、テラヘルツ波発生光源、各種計測・分析装置あるいは光通信機器などに用いることができ、例えば、フェムト秒レーザーの位相整合器用の分散光学システム、テラヘルツ波発生器の光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器の非線形光学結晶に入射させるシード光を分散させる分散光学システム、差周波テラヘルツ波発生器の非線形光学結晶用の分散光学システム、光通信用波長弁別および混合器、単色光源あるいは分光光度計などに利用することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 1 1 4 】

【図 1】図 1 は、従来のフェムト秒レーザー用位相整合光学システムの一例の概念構成説明図である。

【図 2】図 2 は、従来の光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器の概念構成説明図である。

【図 3】図 3 は、本発明による分散光学システムの第 1 の実施の形態の概念構成説明図である。

【図 4】図 4 は、図 3 に示す分散光学システムの分散プリズムにおける入射角と内部屈折角と出射角とを図示する概念説明図である。

30

【図 5】図 5 は、図 3 に示す分散光学システムの分散拡大レンズにおける入射角と内部屈折角と出射角とを図示する概念説明図である。

【図 6】図 6 (a) は、本発明による分散光学システムの第 1 の実施の形態を用いて光を分散させた場合における波長に対する屈折角をプロットした波長に対する分散特性 (波長分散) を示すグラフであり、図 6 (b) は、本発明による分散光学システムの第 1 の実施の形態を用いて光を分散させた場合における波数に対する屈折角をプロットした波数に対する分散特性 (波数分散) を示すグラフである。

【図 7】図 7 (a) は、本発明による分散光学システムの第 1 の実施の形態の第 1 の変形例を用いて光を分散させた場合における波長に対する屈折角をプロットした波長に対する分散特性 (波長分散) を示すグラフであり、図 7 (b) は、本発明による分散光学システムの第 1 の実施の形態の第 2 の変形例を用いて光を分散させた場合における波長に対する屈折角をプロットした波長に対する分散特性 (波長分散) を示すグラフである。

40

【図 8】図 8 は、本発明による分散光学システムの第 2 の実施の形態の概念構成説明図である。

【図 9】図 9 は、本発明による分散光学システムを用いたフェムト秒レーザー用位相整合光学システムの概念構成説明図である。

【図 1 0】図 1 0 は、本発明による分散光学システムを用いた光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器の概念構成説明図である。

【図 1 1】図 1 1 は、図 1 0 に示した光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器に用いた

50

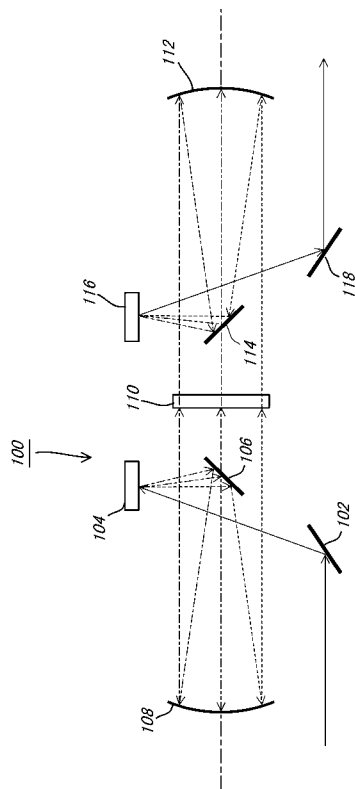
分散光学システムの分散特性を示すグラフである。

【符号の説明】

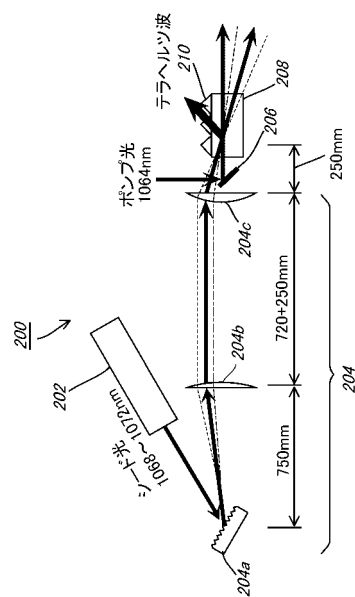
【 0 1 1 5 】

- 1 0、4 0 分散光学システム
- 1 2 分散プリズム
- 1 4 結像レンズ
- 1 6、4 6 分散拡大レンズ
- 1 0 0、3 0 0 フェムト秒レーザー用位相整合光学システム
- 1 0 2、1 0 6、1 1 4、1 1 8 ミラー
- 1 0 4、1 1 6 回折格子
- 1 0 8、1 1 2 凹面鏡
- 1 1 0 空間光位相変調器
- 2 0 0、4 0 0 光注入テラヘルツ波パラメトリック発生器
- 2 0 2 シード光源
- 2 0 4 分散光学システム
- 2 0 6 ミラー
- 2 0 8 非線形光学結晶
- 2 1 0 カップラ

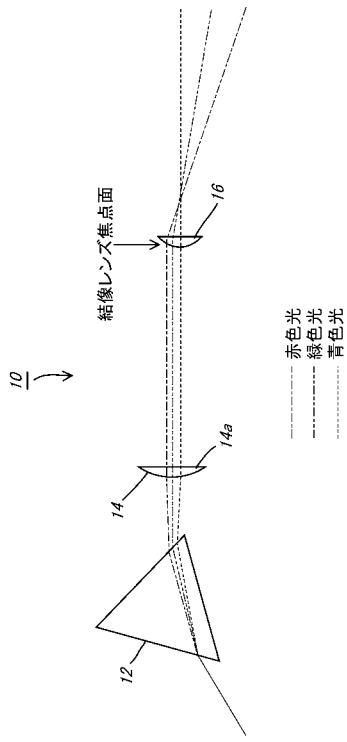
【 図 1 】



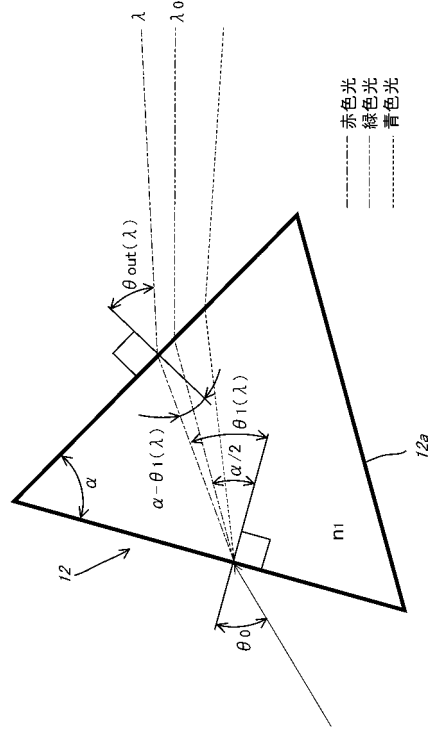
【 図 2 】



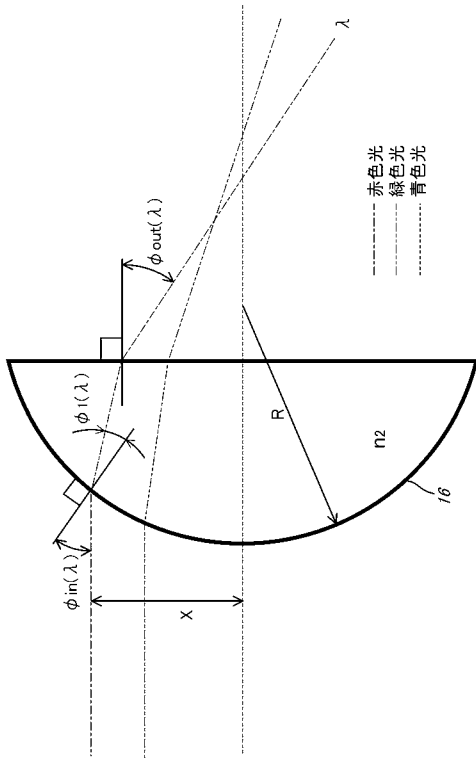
【 図 3 】



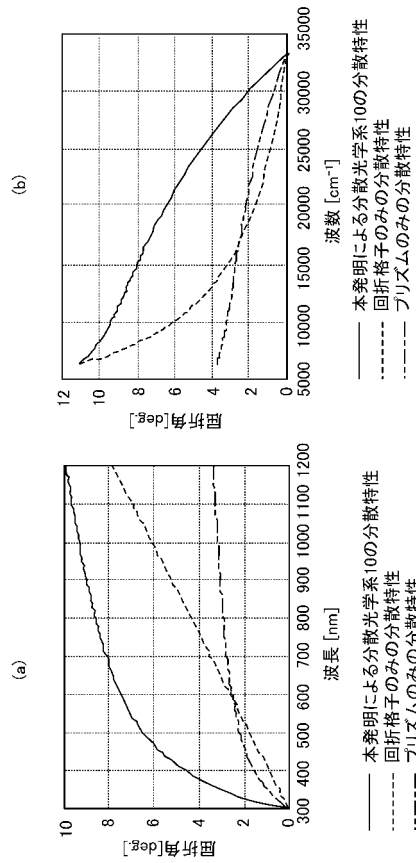
【 図 4 】



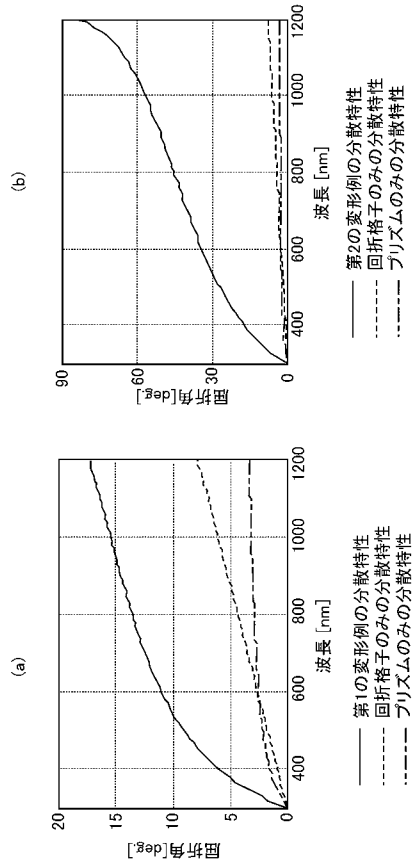
【 図 5 】



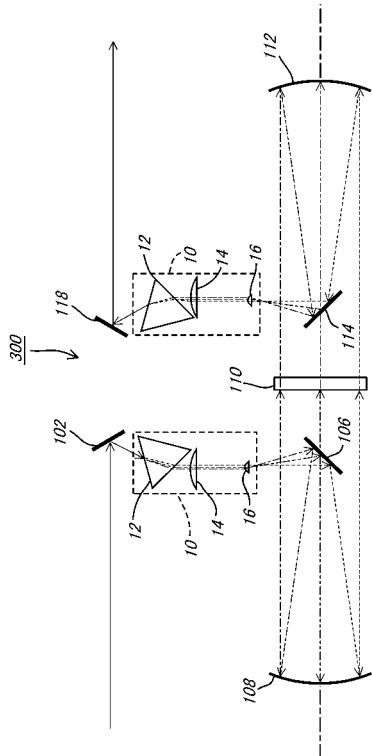
【 図 6 】



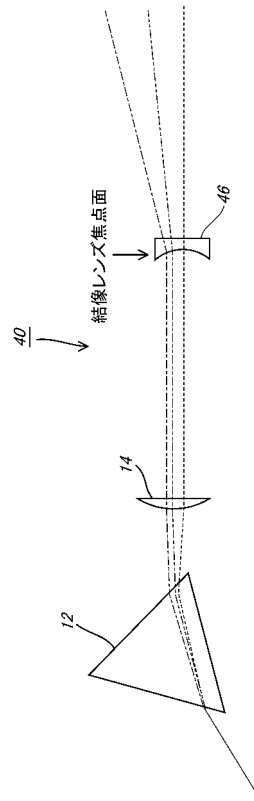
【図7】



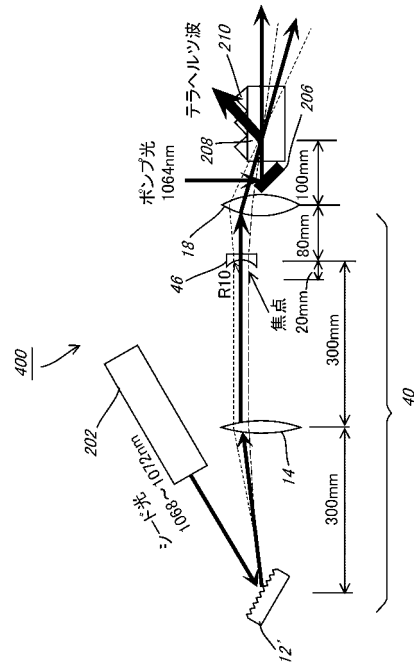
【図9】



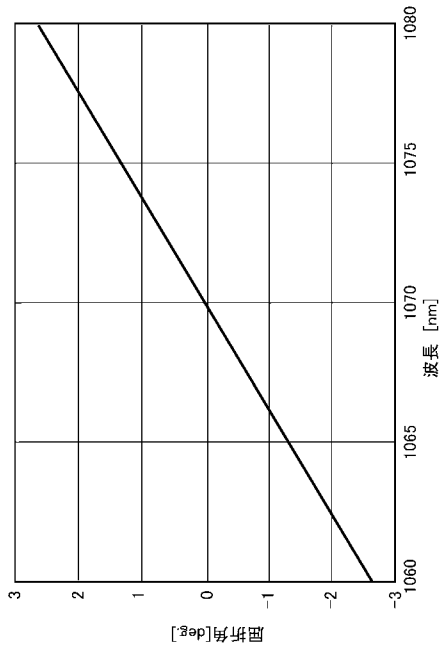
【図8】



【図10】



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 山下 幹雄
北海道札幌市白石区栄通14-2-12-305
- (72)発明者 佐藤 修二
愛知県名古屋市名東区松井町136

審査官 岡田 吉美

- (56)参考文献 特開2003-302666(JP,A)
特開2005-321480(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02F1/29-7/00