

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5786934号
(P5786934)

(45) 発行日 平成27年9月30日 (2015. 9. 30)

(24) 登録日 平成27年8月7日 (2015. 8. 7)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 2 B	13/00	(2006. 01)	GO 2 B 13/00
GO 2 B	3/08	(2006. 01)	GO 2 B 3/08
GO 2 B	5/18	(2006. 01)	GO 2 B 5/18
GO 2 B	6/42	(2006. 01)	GO 2 B 6/42
HO 1 S	5/022	(2006. 01)	HO 1 S 5/022

請求項の数 11 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2013-505916 (P2013-505916)
 (86) (22) 出願日 平成24年3月14日 (2012. 3. 14)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2012/056530
 (87) 国際公開番号 W02012/128142
 (87) 国際公開日 平成24年9月27日 (2012. 9. 27)
 審査請求日 平成26年3月10日 (2014. 3. 10)
 (31) 優先権主張番号 特願2011-61054 (P2011-61054)
 (32) 優先日 平成23年3月18日 (2011. 3. 18)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000001270
 コニカミノルタ株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号
 (74) 代理人 100107272
 弁理士 田村 敬二郎
 (74) 代理人 100109140
 弁理士 小林 研一
 (72) 発明者 三森 満
 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コ
 ニカミノルタ株式会社内
 審査官 森内 正明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光通信用のレンズ及び半導体モジュール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体レーザから出射された波長 λ の光束を集光する光通信用のレンズであって、
 前記レンズはプラスチック製であり、
 前記レンズの光学面において前記半導体レーザからの光束が出射する面にのみ、温度変化時の焦点位置変動を抑制する光路差付与構造を形成しており、
 前記光路差付与構造は、前記レンズの光軸を中心とする複数の輪帯を含み、前記レンズの光軸を通る面で切断した前記輪帯の断面形状はブレード型形状であって、
 前記半導体レーザからの光束が入射する側の NA は、条件式 (2) を満たし、

$$0.35 < NA < 0.85 \quad (2)$$

 前記光路差付与構造により、前記レンズを通過した光束の瞳透過率分布が条件式 (1) を満たすことを特徴とする光通信用のレンズ。

$$0.5 < T1 / T0 < 0.85 \quad (1)$$

但し、

T0：前記レンズの光軸近傍における透過率

T1：前記レンズの周辺における透過率

【請求項 2】

前記光路差付与構造は、前記レンズの光軸を向いた段差を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光通信用のレンズ。

【請求項 3】

前記光路差付与構造は、前記波長 の略整数倍の光路差を、通過する光束に付与することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光通信用のレンズ。

【請求項 4】

前記光路差付与構造は、前記レンズの有効径の全範囲で、前記波長 の 1 倍の光路差を、通過する光束に付与することを特徴とする請求項 3 に記載の光通信用のレンズ。

【請求項 5】

前記光路差付与構造は、前記レンズの光軸近傍の中央領域では、前記波長 の X 倍の光路差を付与し、前記レンズの中央領域の外側の周辺領域では、前記波長 の Y 倍の光路差を、通過する光束に付与し、X の小数点一ケタを四捨五入にして整数とした値は、Y の小数点一ケタを四捨五入にして整数とした値よりも、小さいことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の光通信用のレンズ。

10

【請求項 6】

前記 X の小数点一ケタを四捨五入にして整数とした値が 1 であり、前記 Y の小数点一ケタを四捨五入にして整数とした値が 2 であることを特徴とする請求項 5 に記載の光通信用のレンズ。

【請求項 7】

前記レンズは光ファイバの端面に、前記半導体レーザから出射された光束を集光する光結合レンズであることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の光通信用のレンズ。

【請求項 8】

前記結合レンズは光学系倍率 M が下記の条件式 (3) を満たすことを特徴とする請求項 7 に記載の光通信用のレンズ。

20

$$1.0 < M < 4.0 \quad (3)$$

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の光通信用のレンズと、半導体レーザを一体的に組み付けてなることを特徴とする半導体モジュール。

【請求項 10】

前記レンズは、前記半導体レーザを密封する筐体に取り付けられていることを特徴とする請求項 9 に記載の半導体モジュール。

【請求項 11】

前記レンズは、前記半導体レーザを密封する筐体と一体であることを特徴とする請求項 9 に記載の半導体モジュール。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光通信等に用いられ、例えば半導体レーザのレーザ光を光ファイバに結合する光通信用のレンズ及び半導体モジュールに関する。

【背景技術】

【0002】

光通信等において、半導体レーザまたは光受光素子と光ファイバとを効率よく結合させることが求められている。このため、半導体レーザからの光束を集光するために光結合レンズが用いられている。ところで、従来の光結合レンズでは主にガラスレンズを用いているが、非球面を有するガラスレンズは一般的に高価であり、コスト高を招くという問題がある。そこで、高精度な非球面の成形が容易で大量生産が可能なプラスチック製の光結合レンズが開発されている。ところが、プラスチックは熱膨張係数がガラスと比較して大きく、またプラスチック素材の屈折率が温度によって変化するという問題がある。このためプラスチックレンズを使用すると、半導体レーザとレンズ間距離を固定した場合、環境温度の変化に応じて焦点距離すなわち光ファイバ方向の結像位置が変化するため、結合効率が低下することとなる。これに対し、レンズを光軸方向に移動させるアクチュエータを用いることも考えられるが、可動部の増大によりコスト高を招くことになり、また給電をどうするかという問題もある。

40

50

【 0 0 0 3 】

これに対し、特許文献 1 には、プラスチックレンズの両面に回折構造を設けた光通信用の半導体モジュールが開示されている。特許文献 1 の技術によれば、プラスチックレンズの両面に回折構造を設けることで、回折ピッチが小さくなりすぎること抑制し、レンズの成形を容易にできる。

【 0 0 0 4 】

また、特許文献 2 には、プラスチックレンズの片面にレリーフ型の回折構造を設けることでレンズ中心部から周辺部までの回折効率の分布を抑えつつ、温度による焦点位置変動を抑えることを実現している。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特開平 1 1 - 2 7 4 6 4 6 号公報

【 特許文献 2 】 国際公開第 0 0 / 1 7 6 9 1 号パンフレット

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

ところで、特許文献 1 のレンズにおける 1 つの問題は、2 面で回折構造を用いた結果、それぞれの面の回折形状の誤差が積で影響をもち、不要な回折光が発生する等、却って製造誤差が出やすくなり好ましくない。また、特許文献 2 におけるレンズの問題は、レリーフ形状の回折構造を有するため回折効率が低く、そのため光ファイバーへの結合効率も低くなり、かつ、不要な回折光が多く発生し、ピンホール等で不要な光束を遮蔽する必要が生じるため使用上、好ましくないということである。

【 0 0 0 7 】

本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであり、半導体モジュールをコンパクトなものとし、シンプルな構成でありながら、温度変化等の感度を小さく抑えることにより結合効率の変動を抑えることができる光通信用のレンズ及びそれを用いた半導体モジュールを提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

請求項 1 に記載の光通信用のレンズは、半導体レーザから出射された波長 λ の光束を集光する光通信用のレンズであって、前記レンズはプラスチック製であり、前記レンズの光学面において前記半導体レーザからの光束が出射する面にのみ、温度変化時の焦点位置変動を抑制する光路差付与構造を形成しており、前記光路差付与構造は、前記レンズの光軸を中心とする複数の輪帯を含み、前記レンズの光軸を通る面で切断した前記輪帯の断面形状はブレード型形状であって、前記半導体レーザからの光束が入射する側の NA は、条件式 (2) を満たし、

$$0.35 \leq NA \leq 0.85 \quad (2)$$

前記光路差付与構造により、前記レンズを通過した光束の瞳透過率分布が条件式 (1) を満たすことを特徴とする。

$$0.5 \leq T1 / T0 \leq 0.85 \quad (1)$$

但し、 $T0$: 前記レンズの光軸近傍における透過率、 $T1$: 前記レンズの周辺における透過率。

【 0 0 0 9 】

尚、「光軸近傍」とは、光軸を 0、レンズ光学面外周を 1 としたとき、 $0 \sim 0.05$ の範囲内であることが好ましく、「周辺」とは、 $0.95 \sim 1$ の範囲内であることが好ましい。

【 0 0 1 0 】

本発明者は、鋭意研究の結果、ブレード型形状の光路差付与構造を用いることで回折効率を高くでき、また光学面の 1 面にのみ光路差付与構造を設けることで、結合効率の変動

10

20

30

40

50

を抑制することを見出した。まず、ブレード型の回折構造は、特許文献2のレンズに設けられたレリーフ形状の回折構造に比べると、不要な回折光が少なく、また回折効率をより高く確保できるというメリットがある。即ち、ブレード型形状の光路差付与構造においては、特に影の影響が生じやすく、かつ、輪帯間の段差を制御することで回折効率を制御しやすいのである。

【0011】

更に、例えば特許文献1では、回折ピッチを広げるためにレンズの両面に回折構造を設けている。これに対し本発明者は、レンズの1面にのみ光路差付与構造を設けることで、あえて回折ピッチを細かくすることを試みた。回折ピッチを細かくすると、条件式(1)のように、特にレンズの周辺部では、屈折面との組み合わせにより光束の影の影響が増大する。かかる影響について説明する。

10

【0012】

図1を参照して、ここでは光路差付与構造としてブレード型形状の回折構造をレンズに形成した例で説明する。図1(a)は、半導体レーザ側に回折構造を設けたレンズの拡大断面図であり、図1(b)は、半導体レーザ側に回折構造を設けたレンズの拡大断面図である。図1において、輪帯状の回折構造DSは、不図示の光軸(図1で下側)を向いた段差面STと、隣接する段差面STの光軸方向外側端と内側端とを連結する斜面CPとを有している。ここで、斜面CPを通過する光束は、レンズの屈折面の屈折パワーと、回折構造DSの回折パワーとの和で、トータルのパワーを発揮し、集光に用いられるが、段差面STを通過する光束は集光に用いられず、透過率の減少を招く。これを影の影響という。しかるに、レンズの光軸近傍では光軸に平行に光束が出射するので、影の影響による光量ロスは小さいのに対し、レンズの周辺部では母非球面としての屈折面が倒れてくるので、光軸に対して傾いた光束が入射しやすくなり、また金型の抜き勾配の影響による段差面STの傾きとも相まって、図1に示すように影の影響による光量ロスが大きくなる。ここで、集光スポットにおいて、レンズの光軸近傍を通過した光量に対し、周辺部の光量が低くなると、スポットの太りが生じ、すなわち実効NAが低下する。実効NAを低下できると、温度変化が生じた場合における結合効率の変動を小さくすることができる。つまり、回折構造で影の効果や、回折効率の分布で、あえてレンズ中心部と周辺部での分布を持たせることで、結合効率の変動が小さい光通信用のレンズを提供できるのである。また、影の効果のみで周辺部の効率低下ができない場合は、各輪帯間の段差を微調整することで回折効率を調整し、影の効果で不足する分の中心部と周辺部の分布を持たせることが可能となる。但し、 $T1/T0$ の値が(1)式の下限を越えてしまうと、NAの低下分が大きくなりすぎてしまい、好ましくない。より好ましくは、 $0.6 < T1/T0 < 0.85$ を満たすことである。

20

30

【0014】

条件式(2)を満たすことで、半導体レーザからの取り込み光量を確保しつつ適切な集光スポットの径を確保できる。

【0015】

請求項2に記載の光通信用のレンズは、請求項1に記載の発明において、前記光路差付与構造は、前記レンズの光軸を向いた段差を有することを特徴とする。このような光路差付与構造において、温度変化時の焦点位置抑制ができ、かつ、特に影の影響が生じやすいからである。

40

【0016】

請求項3に記載の光通信用のレンズは、請求項1又は2に記載の発明において、前記光路差付与構造は、前記波長の略整数倍の光路差を、通過する光束に付与することを特徴とする。これにより高い回折効率を有しつつ温度変化時のレンズ屈折率変化に起因した焦点位置ズレを抑制できる。

【0017】

請求項4に記載の光通信用のレンズは、請求項3に記載の発明において、前記光路差付与構造は、前記レンズの有効径の全範囲で、前記波長の1倍の光路差を、通過する光束

50

に付与することを特徴とする。なるべく小さな光路差を付与するようにすることで、光路差付与構造の段差の高さを抑えて成形誤差等を抑制することにより、光線透過率を向上できる。

【0018】

請求項5に記載の光通信用のレンズは、請求項1～4のいずれかに記載の発明において、前記光路差付与構造は、前記レンズの光軸近傍の中央領域では、前記波長のX倍の光路差を付与し、前記レンズの中央領域の外側の周辺領域では、前記波長のY倍の光路差を、通過する光束に付与し、Xの小数点一ケタを四捨五入にして整数とした値は、Yの小数点一ケタを四捨五入にして整数とした値よりも、小さいことを特徴とする。これにより、ピッチが狭くなりがちな周辺領域の光路差付与構造を転写する金型の加工を容易にできる。

10

【0019】

請求項6に記載の光通信用のレンズは、請求項5に記載の発明において、前記Xの小数点一ケタを四捨五入にして整数とした値が1であり、前記Yの小数点一ケタを四捨五入にして整数とした値が2であることを特徴とする。

【0020】

請求項7に記載の光通信用のレンズは、請求項1～6のいずれかに記載の発明において、前記レンズは光ファイバの端面に、前記半導体レーザから出射された光束を集光する光結合レンズであることを特徴とする。

【0021】

請求項8に記載の光通信用のレンズは、請求項7に記載の発明において、前記結合レンズは光学系倍率Mが下記の条件式(3)を満たすことを特徴とする。

$$1.0 < M < 4.0 \quad (3)$$

【0022】

これにより、一般的なシングルモードファイバーに取り込み可能なNA0.1からNA0.12程度に、最適な効率を提供することが可能となる。特に好ましくは、以下の式を満たすことである。

$$2.0 < M < 4.0 \quad (3')$$

【0023】

請求項10に記載の光通信用のレンズは、請求項1～9のいずれかに記載の発明において、前記光路差付与構造は、前記半導体レーザからの光束が出射する面に設けられていることを特徴とする。

30

【0024】

図1(a)では、半導体レーザ側に回折構造DSが設けられているために、段差面STに入射する光束の割合が高くなり、影の影響が大きくなる。一方、図1(b)では、半導体レーザとは反対側に回折構造DSが設けられているために、輪帯の段差面STに沿った方向に光束が進行しがちであり、すなわち段差面STに入射する光束の割合が相対的に低くなり、影の影響は小さくなる。つまり、半導体レーザからの光束が出射する面に回折構造をもつことにより、製造誤差により輪帯の段差面STが傾いた場合でも結合効率が低下しにくく、製造誤差に強いレンズを実現でき、又、レーザ側にくらべ光ファイバ側の光学面は相対的に面積が広がるため、回折構造を設ける面積が広がるから、その分、輪帯のピッチを広くすることが可能となり、透過率の低下を抑制しやすくなる。

40

【0025】

請求項9に記載の半導体モジュールは、請求項1～8のいずれかに記載の光通信用のレンズと、半導体レーザを一体的に組み付けてなることを特徴とする。

【0026】

請求項10に記載の半導体モジュールは、請求項9に記載の発明において、前記レンズは、前記半導体レーザを密封する筐体に取り付けられていることを特徴とする。

【0027】

請求項11に記載の半導体モジュールは、請求項9に記載の発明において、前記レンズ

50

は、前記半導体レーザを密封する筐体と一体であることを特徴とする。

【0028】

「半導体レーザ」とは、半導体の再結合発光を利用したレーザであり、一般的には環境温度が上昇すると発振波長が長くなり、環境温度が低下すると発振波長が短くなる。

【0029】

レンズとは、半導体レーザから出射された光束を集光するレンズ、光ファイバの端面から出射された光束を集光するレンズ、特に半導体レーザから出射された光束を光ファイバの端面に集光する光結合レンズや、光ファイバの端面から出射された光束を受光素子の受光面に集光する光結合レンズを含む。レンズはプラスチック製である。

【0030】

本明細書でいう光路差付与構造とは、入射光束に対して光路差を付加する構造の総称である。光路差付与構造には、位相差を付与する位相差付与構造も含まれる。また、位相差付与構造には回折構造が含まれる。本発明の光路差付与構造は回折構造であることが好ましい。光路差付与構造は、段差を有し、好ましくは段差を複数有する。この段差により入射光束に光路差及び/又は位相差が付加される。光路差付与構造により付加される光路差は、入射光束の波長の整数倍であっても良いし、入射光束の波長の非整数倍であっても良い。段差は、光軸垂直方向に周期的な間隔をもって配置されていてもよいし、光軸垂直方向に非周期的な間隔をもって配置されていてもよい。また、光路差付与構造を設けたレンズが単玉非球面レンズの場合、光軸からの高さによって光束のレンズへの入射角が異なるため、光路差付与構造の段差量は各輪帯毎に若干異なることとなる。例えば、レンズが単玉非球面の凸レンズである場合、同じ光路差を付与させる光路差付与構造であっても、一般的に光軸から離れる程、段差量が大きくなる傾向となる。

【0031】

また、本明細書でいう回折構造とは、段差を有し、回折によって光束を収束あるいは発散させる作用を持たせる構造の総称である。例えば、単位形状が光軸を中心として複数並ぶことによって構成されており、それぞれの単位形状に光束が入射し、透過した光の波面が、隣り合う輪帯毎にズレを起こし、その結果、新たな波面を形成することによって光を収束あるいは発散させるような構造を含むものである。回折構造は、段差を複数有し、段差は光軸垂直方向に周期的な間隔をもって配置されていてもよいし、光軸垂直方向に非周期的な間隔をもって配置されていてもよい。また、回折構造を設けたレンズが単玉非球面レンズの場合、光軸からの高さによって光束のレンズへの入射角が異なるため、回折構造の段差量は各輪帯毎に若干異なることとなる。例えば、レンズが単玉非球面の凸レンズである場合、同じ回折次数の回折光を発生させる回折構造であっても、一般的に光軸から離れる程、段差量が大きくなる傾向となる。

【0032】

ところで、光路差付与構造は、光軸を中心とする同心円状の複数の輪帯を有することが好ましい。また、光路差付与構造は、一般に、様々な断面形状（光軸を含む面での断面形状）をとり得、光軸を含む断面形状がブレード型構造と階段型構造とに大別される。

【0033】

ブレード型構造とは、図2(a)、(b)に示されるように、光路差付与構造を有する光学素子の光軸を含む断面形状が、鋸歯状の形状ということである。尚、図2の例においては、上方が光源側、下方が光ディスク側であって、母非球面としての平面に光路差付与構造が形成されているものとする。ブレード型構造において、1つのブレード単位の光軸垂直方向の長さをピッチPという(図2(a)、(b)参照)。また、ブレードの光軸に平行方向の段差の長さを段差量Bという(図2(a)参照)。尚、ブレード型形状において、図1に示すように、例えば、金型をバイトで削りやすくするために段差面を、光軸と平行とはせず、若干斜めにしてもよいが、その場合、一つのブレードの頂点の位置が、光軸直交方向ピッチの0~25%の範囲内にあることが好ましい。

【0034】

また、階段型構造とは、図2(c)、(d)に示されるように、光路差付与構造を有す

10

20

30

40

50

る光学素子の光軸を含む断面形状が、小階段状のもの（階段単位と称する）を複数有するということである。尚、本明細書中、「Vレベル」とは、階段型構造の1つの階段単位において光軸垂直方向に対応する（向いた）輪帯状の面（以下、テラス面と称することもある）が、段差によって区分けされV個の輪帯面毎に分割されていることをいい、特に3レベル以上の階段型構造は、小さい段差と大きい段差を有することになる。

【0035】

例えば、図2(c)に示す光路差付与構造を、5レベルの階段型構造といい、図2(d)に示す光路差付与構造を、2レベルの階段型構造(バイナリ構造ともいう)という。2レベルの階段型構造について、以下に説明する。光軸を中心とした同心円状の複数の輪帯を含み、対物レンズの光軸を含む複数の輪帯の断面の形状は、光軸に平行に延在する複数の段差面Pa、Pbと、隣接する段差面Pa、Pbの光源側端同士を連結する光源側テラス面Pcと、隣接する段差面Pa、Pbの光ディスク側端同士を連結する光ディスク側テラス面Pdとから形成され、光源側テラス面Pcと光ディスク側テラス面Pdとは、光軸に交差する方向に沿って交互に配置される。

10

【0036】

尚、光路差付与構造は、ある単位形状が周期的に繰り返されている構造であることが好ましい。ここでいう「単位形状が周期的に繰り返されている」とは、同一の形状が同一の周期で繰り返されている形状は当然含む。さらに、周期の1単位となる単位形状が、規則性を持って、周期が徐々に長くなったり、徐々に短くなったりする形状も、「単位形状が周期的に繰り返されている」ものに含まれているとする。

20

【0037】

光路差付与構造が、ブレード型構造を有する場合、単位形状である鋸歯状の形状が繰り返された形状となる。図2(a)に示されるように、同一の鋸歯状形状が繰り返されてもよいし、図2(b)に示されるように、光軸から離れる方向に進むに従って、徐々に鋸歯状形状のピッチ(回折ピッチともいう)が長くなっていく形状、又は、ピッチが短くなっていく形状であってもよい。加えて、ある領域においては、ブレード型構造の段差が光軸(中心)側とは逆を向いている形状とし、他の領域においては、ブレード型構造の段差が光軸(中心)側を向いている形状とし、その間に、ブレード型構造の段差の向きを切り替えるために必要な遷移領域が設けられている形状としてもよい。なお、このようにブレード型構造の段差の向きを途中で切り替える構造にする場合、輪帯ピッチを広げることが可能となり、光路差付与構造の製造誤差による透過率低下を抑制できる。

30

【0038】

光路差付与構造が、階段型構造を有する場合、図2(c)で示されるような5レベルの階段単位が、繰り返されるような形状等があり得る。さらに、光軸から離れる方向に進むに従って、徐々に階段単位のピッチが長くなっていく形状や、徐々に階段単位のピッチが短くなっていく形状であってもよい。なお、ブレード型形状を階段型形状で近似した場合、回折効率の低下はあるものの、本発明と同様の効果を得ることが可能となる。

【0039】

光路差付与構造は、レンズの光軸を向いた段差を有すると好ましい。「段差が光軸を向いている」とは、図3(a)のような状態を言う。

40

【0040】

光路差付与構造は、波長 λ の略整数倍の光路差を、通過する光束に付与すると好ましい。略整数倍とは、0を除く整数をNとしたときに、 $(N - 0.4)$ 以上、 $(N + 0.4)$ 以下をいう。光路差付与構造は、レンズの有効径の全範囲で、波長 λ の1倍の光路差を付与するか、或いは、レンズの光軸近傍の中央領域では、波長 λ の1倍の光路差を付与し、レンズの中央領域の外側の周辺領域では、波長 λ の2倍の光路差を付与すると好ましい。中央領域と周辺領域の境界は、例えば有効径の2/3の光軸からの高さであると好ましい。

【0041】

レンズを通過した光束の瞳透過率分布が条件式(1)を満たすと好ましい。瞳透過率分

50

布とは、射出瞳面の透過率分布であって、均一強度の入射光束に対する射出瞳面の輝度分布に相当する。尚、レンズの光軸近傍とは、例えば有効径の $1/3$ の光軸からの高さ以内であり、より好ましくは 0.2 以内であり、レンズの周辺とは、例えば有効径の $2/3$ の光軸からの高さより外側であり、より好ましくは 0.8 より外側である。

$$0.4 \quad T1 / T0 \quad 0.8 \quad (1)$$

但し、

$T0$: 前記レンズの光軸近傍における透過率

$T1$: 前記レンズの周辺における透過率

【0042】

半導体レーザからの光束が入射する側の NA は、条件式 (2) を満たすと好ましい。

$$0.30 \quad NA \quad 0.85 \quad (2)$$

さらに好ましくは条件式 (4) を満たすことが好ましい。

$$0.35 \quad NA \quad 0.65 \quad (4)$$

【発明の効果】

【0043】

本発明によれば、半導体モジュールをコンパクトなものとし、更に光ファイバー側の集光スポットの実効 NA を小さく抑えることにより結合効率の変動を抑えることができる光通信用のレンズ及びそれを用いた半導体モジュールを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0044】

【図1】(a) は、半導体レーザ側に回折構造を設けたレンズの拡大断面図であり、(b) は、半導体レーザ側に回折構造を設けたレンズの拡大断面図である。

【図2】光路差付与構造の例を示す拡大断面図であり、(a)、(b) はブレード型構造の例を示し、(c)、(d) は階段型構造の例を示す図である。

【図3】(a) は段差が光軸の方向を向いている状態を示し、(b) は段差が光軸とは逆の方向を向いている状態を示す図である。

【図4】(a) は、第1の実施の形態にかかる半導体モジュール LM の光軸方向断面図であり、(b) は、矢印 IVB で示すレンズ表面を拡大して示す図である。

【図5】(a) は、第2の実施の形態にかかる半導体モジュール LM の光軸方向断面図であり、(b) は、矢印 VB で示すレンズ表面を拡大して示す図である。

【図6】(a) は、第3の実施の形態にかかる光結合レンズ CL の光軸方向断面図であり、(b) は、矢印 VIB で示すレンズ表面を拡大して示す図である。

【図7】実施例1~4と比較例における結合効率のグラフである。

【図8】実施例5~8と比較例における結合効率のグラフである。

【図9】実施例9における結合効率のグラフである。

【図10】回折構造の段差で付与する位相差と回折効率との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0045】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。図4は、第1の実施の形態にかかる半導体モジュール LM の光軸方向断面図である。給電用の3本の脚部 LG を有するベース BS に、半導体レーザ LD の基板が取り付けられており、波長 λ の光束を出射する半導体レーザ LD は、開口 AP を有するカバー(筐体) CV により覆われている。開口 AP は、内側から透明なカバーガラス CG により遮蔽されており、半導体レーザ LD を外気より密封している。

【0046】

開口 AP の外側を覆うようにして、光結合レンズ CL のフランジ部 FL がカバー CV に接着されている。プラスチック製の光結合レンズ CL は、半導体レーザ側の屈折面である光学面 $S1$ と、その反対側の光学面 $S2$ とを有し、光学面 $S2$ には屈折面上に回折構造 DS が形成されている。光学面 $S1$ の曲率半径は、光学面 $S2$ の曲率半径より大きい。ブレード型形状の回折構造 DS は、波長 λ の光束が入射したときに、波長 λ の整数倍の光路差

10

20

30

40

50

を付与するようになっている。

【0047】

半導体モジュールLMのベースBSは、不図示の筐体を介して、所定の距離で光ファイバOFに接続される。尚、光ファイバOFは、外皮SLにより覆われている。

【0048】

本実施の形態の半導体モジュールLMの動作を説明する。脚部LGを介して給電が行われると、半導体レーザLDが発光し、その出射光束は、カバーガラスCG及び開口APを通過して、光結合レンズCLに入射する。光結合レンズCLに入射した光束は、屈折面で屈折すると共に、回折構造DSを通過して出射し、光ファイバOFの端面に集光し、その後光ファイバOF内を伝播することとなる。

10

【0049】

環境温度が上昇（又は低下）すると、半導体レーザLDの発振波長が増大（又は低下）するので、それに応じて回折構造DSから生じる回折光の回折角が変化し、これにより環境温度変化による光結合レンズCLの屈折率の変化に起因した焦点位置ズレを補正することができる。又、本実施の形態によれば、光結合レンズCLの片面にのみ回折構造DSを設けたので、全体的に回折ピッチが狭くなり、光結合レンズCLにより光ファイバOFの端面に集光されたスポットにおいて、レンズの光軸近傍を通過した光量に対し、周辺部の光量が低くなるので、スポットの太りが生じ実効NAが低下する。これにより、温度変化が生じた場合における結合効率の変動が小さくなるのである。

【0050】

20

図5は、第2の実施の形態にかかる半導体モジュールLMの光軸方向断面図である。給電用の3本の脚部LGを有するベースBSに、半導体レーザLDの基板が取り付けられている。本実施の形態では、波長の光束を出射する半導体レーザLDを密封的に覆うカバー（筐体）CVは、プラスチック製のカップ状であり、その遮蔽端側に光結合レンズ部CLを一体的に形成している。

【0051】

光結合レンズ部CLは、半導体レーザ側の屈折面である光学面S1と、その反対側の屈折面である光学面S2とを有し、光学面S2には屈折面上に回折構造DSが形成されている。光学面S1の曲率半径は、光学面S2の曲率半径より大きい。ブレード型形状の回折構造DSは、波長の光束が入射したときに、波長の整数倍の光路差を付与するようになっている。

30

【0052】

半導体モジュールLMのベースBSは、不図示の筐体を介して、所定の距離で光ファイバOFに接続される。尚、光ファイバOFは、外皮SLにより覆われている。

【0053】

本実施の形態の半導体モジュールLMの動作を説明する。脚部LGを介して給電が行われると、半導体レーザLDが発光し、その出射光束は直接光結合レンズ部CLに入射する。光結合レンズ部CLに入射した光束は、屈折面で屈折すると共に、回折構造DSを通過して出射し、光ファイバOFの端面に集光し、その後光ファイバOF内を伝播することとなる。

40

【0054】

環境温度が上昇（又は低下）すると、半導体レーザLDの発振波長が増大（又は低下）するので、それに応じて回折構造DSから生じる回折光の回折角が変化し、これにより環境温度変化による光結合レンズ部CLの屈折率の変化に起因した焦点位置ズレを補正することができる。又、温度上昇（又は低下）により、レンズが膨張（又は収縮）することで、さらに焦点位置ズレを補正することができる。本実施の形態によれば、光結合レンズ部CLの外側面にのみ回折構造DSを設けたので、全体的に回折ピッチが狭くなり、光結合レンズ部CLにより光ファイバOFの端面に集光されたスポットにおいて、レンズの光軸近傍を通過した光量に対し、周辺部の光量が低くなるので、スポットの太りが生じ実効NAが低下する。これにより、温度変化が生じた場合における結合効率の変動が小さくなる

50

のである。

【 0 0 5 5 】

図 6 は、第 3 の実施の形態にかかる光結合レンズ C L の光軸方向断面図である。本実施の形態においては、不図示の半導体レーザから光ファイバ O F を介して伝播され、その端面から出射される光束を、光結合レンズ C L を介して、フォトダイオード P D の受光面 P D a に集光するようになっている。光結合レンズ C L の片方の光学面（光ファイバ O F 側の光学面）S 1 の屈折面上に、温度変化時の焦点位置ズレを補正するブレード型の回折構造 D S を設けている。他方の光学面 S 2 は屈折面のみからなる。光学面 S 1 の曲率半径は、光学面 S 2 の曲率半径より小さい。尚、C G はフォトダイオードのカバーガラスである。

10

【 0 0 5 6 】

本実施の形態によれば、光結合レンズ C L の片面 S 1 にのみブレード型の回折構造 D S を設けたので、全体的に回折ピッチが狭くなり、光結合レンズ C L によりフォトダイオード P D の受光面 P D a に集光されたスポットにおいて、レンズの光軸近傍を通過した光量に対し、周辺部の光量が低くなるので、スポットの太りが生じ実効 N A が増大する。これにより、温度変化が生じた場合における結合効率の変動が小さくなるのである。その他の効果は、上述した実施の形態と同様である。

【 0 0 5 7 】

（実施例）

以下、上述した実施の形態に用いることができる実施例について説明する。実施例 1 ~ 4 は、いずれも樹脂レンズであり、図 4 に示す半導体モジュールに好適な光結合レンズである。また、比較例として、回折構造のないガラスレンズと樹脂レンズを参照する。表 1 に、実施例 1 ~ 4 の半導体モジュールの仕様を示し、表 2 に、実施例 5 ~ 8 の半導体モジュールの仕様を示し、表 3 に、実施例 9 の半導体モジュールの仕様を示し、表 4 に、実施例 1 ~ 4 の各素材の屈折率を示し、表 5 に、実施例 5 ~ 8 の各素材の屈折率を示し、表 6 に、実施例 9 の各素材の屈折率を示す。

20

【 0 0 5 8 】

【表 1】

半導体モジュールの仕様

LD半値全角	32	度
NA	0.4	
結合倍率	4	倍
温度変化時の波長変動	0.2	nm/degC

30

【 0 0 5 9 】

【表 2】

半導体モジュールの仕様

LD半値全角	32	度
NA	0.4	
結合倍率	2.5	倍
温度変化時の波長変動	0.2	nm/degC
線膨張係数	0.00006	cm/cm°C

40

【 0 0 6 0 】

【表 3】

半導体モジュールの仕様

LD半値全角	32	度
NA	0.4	
結合倍率	4	倍
温度変化時の 波長変動	0.2	nm/degC

【 0 0 6 1 】

10

【表 4】

実施例における屈折率

温度(°C)	波長(nm)	屈折率 (ガラス)	屈折率 (樹脂)
0	1305	1.52313	1.52504
25	1310	1.52311	1.52311
40	1313	1.52309	1.52179
60	1317	1.52307	1.51946
80	1321	1.52305	1.51671

【 0 0 6 2 】

20

【表 5】

実施例における屈折率

温度(°C)	波長(nm)	屈折率 (ガラス)	屈折率 (樹脂)
0	1305	1.52313	1.52504
25	1310	1.52311	1.52311
40	1313	1.52309	1.52179
60	1317	1.52307	1.51946
80	1321	1.52305	1.51671

【 0 0 6 3 】

30

【表 6】

実施例における屈折率

温度(°C)	波長(nm)	屈折率 (ガラス)	屈折率 (樹脂)
0	1305	1.52313	1.52504
25	1310	1.52311	1.52311
40	1313	1.52309	1.52179
60	1317	1.52307	1.51946
80	1321	1.52305	1.51671

【 0 0 6 4 】

40

尚、光結合レンズの光学面は、それぞれ数 1 式に表に示す係数を代入した数式で規定される、光軸の周りに軸対称な非球面に形成されている。

【 0 0 6 5 】

【数 1】

$$X(h) = \frac{(h^2/r)}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)(h/r)^2}} + \sum_{i=0}^{10} A_{2i} h^{2i}$$

【 0 0 6 6 】

50

ここで、X(h)は光軸方向の軸(光の進行方向を正とする)、は円錐係数、Aiは非球面係数、hは光軸からの高さ、rは近軸曲率半径である。

【0067】

また、回折構造を用いた実施例の場合、その回折構造により各波長の光束に対して与えられる光路差は、数2式の光路差関数に、表に示す係数を代入した数式で規定される。

【0068】

(数2)

(h) = B2 h^2 x x m / B

ここで、:使用波長、m:回折次数、B:ブレイズ化波長、h:光軸から光軸垂直方向の距離である。

【0069】

実施例1~4と比較例のレンズデータを表7に示し、実施例5~8のレンズデータを表8に示し、実施例9のレンズデータを表9に示す。実施例における各回折構造のピッチ、段差は表7, 8, 9に示す光路差関数、回折次数、ブレイズ化波長により最適化した形状となる。

【0070】

【表7】

Table with 7 columns: Material, Glass Lens, Resin Lens, Example 1, Example 2, Example 3, Example 4. Rows include 0, 1 (Cover Glass), 2, 3 (Lens In Surface), 4 (Lens Out Surface), 5 (Optical Fiber).

Table with 7 columns: Parameter, Glass Lens, Resin Lens, Example 1, Example 2, Example 3, Example 4. Rows include S3 Lens In Surface (r, k, A4, A6) and S4 Lens Out Surface (r, k, A4, A6, A8, B2, 回折次数, λb).

【0071】

【表8】

Table with 7 columns: Material, Glass Lens, Resin Lens, Example 5, Example 6, Example 7, Example 8. Rows include 0, 1 (Lens In Surface), 2 (Lens Out Surface), 3 (Optical Fiber).

Table with 7 columns: Parameter, Glass Lens, Resin Lens, Example 5, Example 6, Example 7, Example 8. Rows include S3 Lens In Surface (r, k, A4, A6) and S4 Lens Out Surface (r, k, A4, A6, A8, B2, 回折次数, λb).

【0072】

10

20

30

40

50

【表 9】

		実施例9	材質
0		0.3	
1	カバーガラス	0.3	BK7
2		0.53	
3	レンズ入射面	1.25	表 参照
4	レンズ出射面	6.64	
5	光ファイバー		

		実施例9
S3 レンズ入射面	r	2.252103
	k	-0.500000
	A4	-0.098687
	A6	0.024088
S4 レンズ出射面	r	-1.444797
	k	-1.527693
	A4	-0.021871
	A6	0.006893
	A8	-0.003541
	B2	-0.125000
	回折次数	1
λb	1310	

10

20

【0073】

図1を参照して説明したように、回折構造を有するレンズは、回折輪帯の段差製造誤差に応じて増大する影の影響で結合効率の低下がおきる。結合効率低下は輪帯のピッチが狭くなるほど大きくなる傾向があり、本実施例においては、中心部の透過率を100%としたとき、それに対するレンズ有効径近傍の低下度合い($T1/T0$)を表10~12に示す。回折構造のないガラスレンズと樹脂レンズでは、理論上、レンズ有効径近傍で透過率の減少は生じないが、実施例1~9では少なくとも15%以上の透過率減少が生じていることが分かる。

【0074】

30

【表10】

	ガラスレンズ	樹脂レンズ	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4
$T1/T0(\%)$	100	100	59	64	79	84

【0075】

【表11】

	実施例5	実施例6	実施例7	実施例8
$T1/T0(\%)$	85	75	68	60

【0076】

40

【表12】

	実施例9
$T1/T0(\%)$	80

【0077】

次に、図7~図9に実施例と比較例における結合効率のグラフを示す。図7~図9において、縦軸が結合効率であり、横軸が環境温度である。図7~図9を参照するに、ガラスレンズは温度による屈折率変動が皆無であるため、効率の変動が少ないことが分かる。但し、高価であるため半導体モジュールのコストを押し上げるという問題がある。次に、回折構造のない樹脂レンズは、環境温度による屈折率変動の影響により、大きな効率変動を

50

持つことがわかり、例えば環境温度 80 で結合効率が 10% を下回る。

【0078】

これに対し、回折構造を有する実施例 1 ~ 9 は、すべて回折構造を有する樹脂レンズであるが、回折構造のない樹脂レンズにくらべ、効率変動を小さく抑えることができていることがわかる。特に、実施例 2 においては、効率変動のみを考慮するとガラスレンズ相当に抑えられている。尚、実施例 4 では、環境温度が 0 では、結合効率が 20% 以下であるが、それでも回折構造のない樹脂レンズよりも結合率の変動は小さい。更に、実施例 4 では高温側の 60 前後で、他の実施例よりも結合効率が高くなる。つまり、半導体レーザー LD の発光により半導体モジュールの温度が上昇して、常に 60 前後で用いられるような環境の場合には、実施例 4 が有効となる。更に、実施例 9 は、環境温度変化による結合効率変化を抑えつつ、60 前後で用いられる場合には結合効率 10% を実現できるレンズである。尚、影の影響の利用だけでなくブレードの深さを考慮してレンズを製造することで、影の効果のみでは、 $T1/T0$ が約 80% になるところを、図 10 に示すような位相差と回折効率の関係から、有効径近傍で約 50% の効率になる位相差である 0.6 または 1.4 の段差となるように位相差を調整し、 $T1/T0 = 80\% \times 50\% = 40\%$ を実現している。このとき、光軸付近は 1 とし、有効径までの間の段差については、段階的に位相差を調整し徐々に 0.6 または 1.4 となるようにしている。

10

【0079】

一方、実施例 7, 8 は、図 4 に示す実施の形態に好適なものであり、環境温度が上昇（又は低下）した場合、半導体レーザー LD の発振波長が増大（又は低下）することに依りて回折構造 DS から生じる回折光の回折角を変化させる作用に加え、カバー CV の熱膨張による光源と光結合レンズ CL 間の距離を調整することで、環境温度変化による光結合レンズ CL の屈折率の変化に起因した焦点位置ズレを補正することができるものである。ここで、カバー CV の線膨張係数は、 0.00006 cm/cm である。

20

【0080】

図 8 から明らかであるが、実施例 7, 8 においては、効率変動のみを考慮するとガラスレンズ相当に抑えられている。

【0081】

本発明は、明細書に記載の実施例に限定されるものではなく、他の実施例・変形例を含むことは、本明細書に記載された実施例や思想から本分野の当業者にとって明らかである。

30

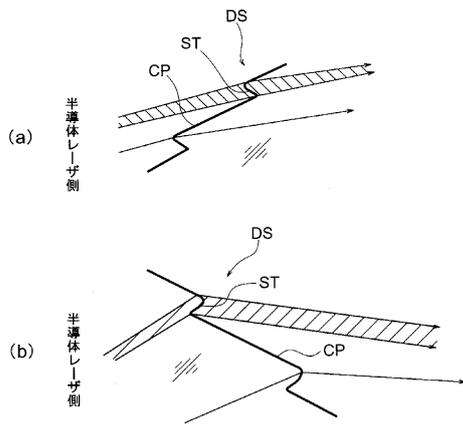
【符号の説明】

【0082】

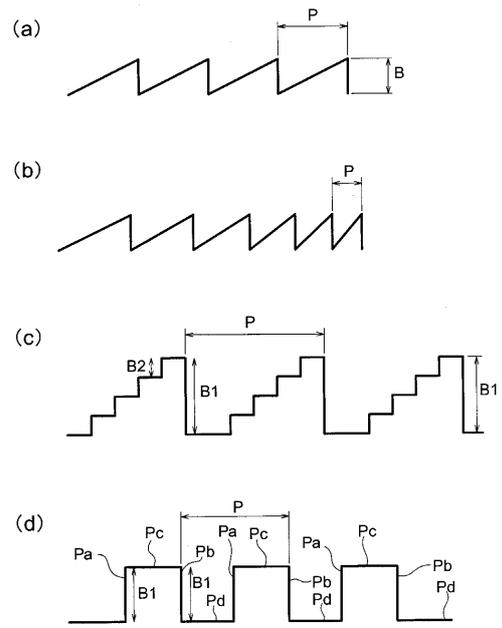
- AP 開口
- BS ベース
- CG カバーガラス
- CL 光結合レンズ又は光結合レンズ部
- CV カバー
- DS 回折構造
- FL フランジ部
- LD 半導体レーザー
- LG 脚部
- LM 半導体モジュール
- OF 光ファイバ
- PD フォトダイオード
- PDa 受光面
- S1 半導体レーザー側光学面
- S2 反半導体レーザー側光学面

40

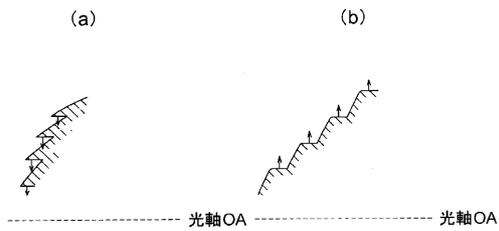
【図1】



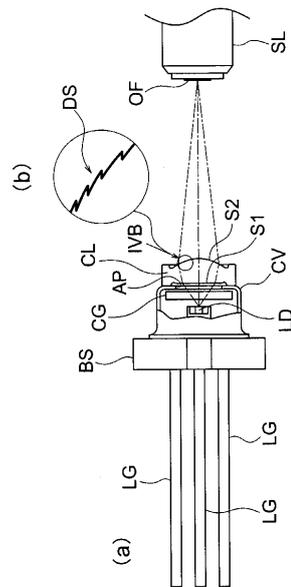
【図2】



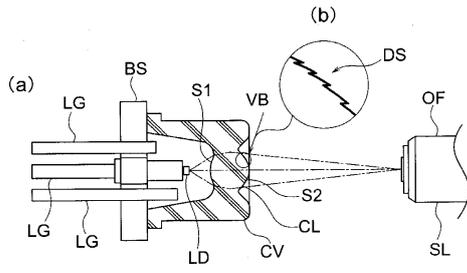
【図3】



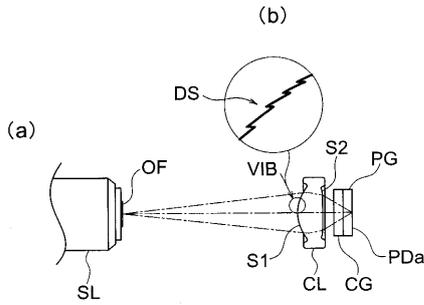
【図4】



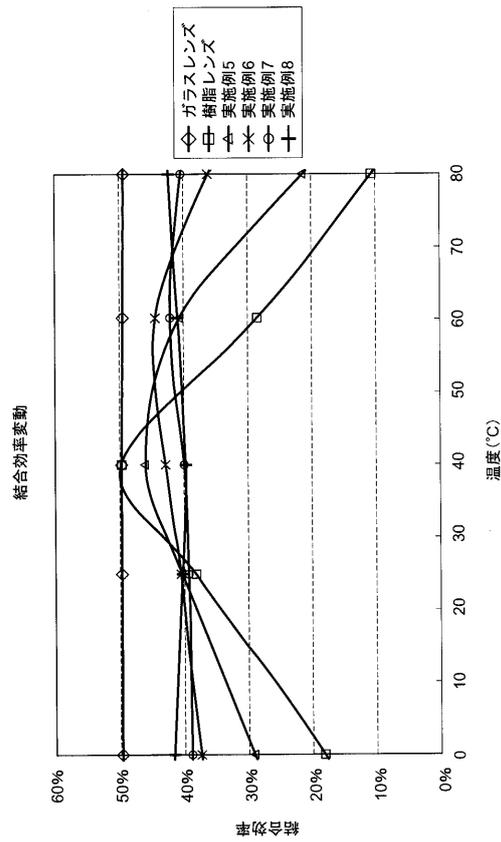
【図5】



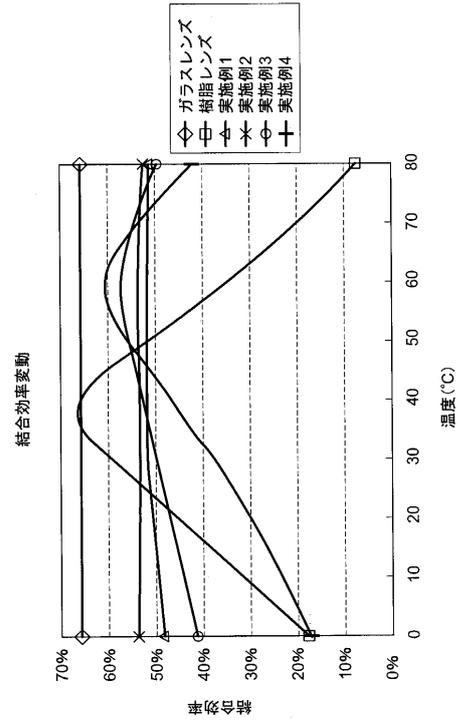
【図6】



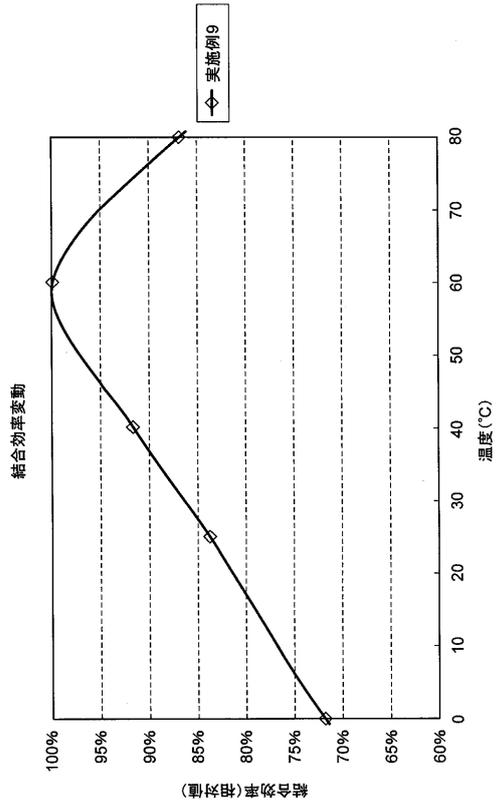
【図8】



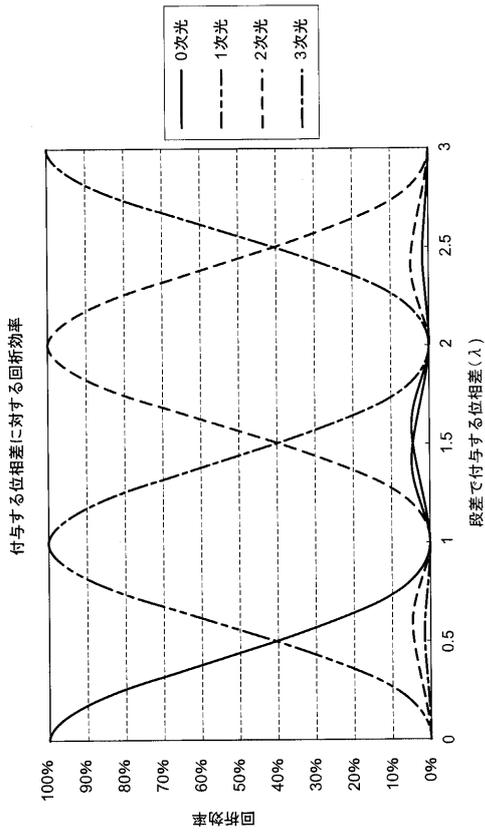
【図7】



【図9】



【 図 10 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平4 - 114104 (JP, A)
特開平11 - 274646 (JP, A)
国際公開第2010/071125 (WO, A1)
特許第3921348 (JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B	3/00	-	3/14
G02B	5/18		
G02B	5/32		
G02B	6/26	-	6/43
G02B	9/00	-	17/08
G02B	21/02	-	21/04
G02B	25/00	-	25/04
H01S	5/00	-	5/30