

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3809908号  
(P3809908)

(45) 発行日 平成18年8月16日(2006.8.16)

(24) 登録日 平成18年6月2日(2006.6.2)

(51) Int. Cl. F I  
GO2F 1/31 (2006.01) GO2F 1/31

請求項の数 4 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2002-275713 (P2002-275713)	(73) 特許権者	301021533
(22) 出願日	平成14年9月20日(2002.9.20)		独立行政法人産業技術総合研究所
(65) 公開番号	特開2004-109892 (P2004-109892A)		東京都千代田区霞が関1-3-1
(43) 公開日	平成16年4月8日(2004.4.8)	(73) 特許権者	000002820
審査請求日	平成15年9月29日(2003.9.29)		大日精化工業株式会社
			東京都中央区日本橋馬喰町1丁目7番6号
		(74) 代理人	100075258
			弁理士 吉田 研二
		(74) 代理人	100096976
			弁理士 石田 純
		(72) 発明者	上野 一郎
			神奈川県伊勢原市高森3丁目5番5号

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光路切替装置および光路切替方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも制御光が焦点を結ぶように配置された光吸収層膜と、  
 少なくとも前記光吸収層膜に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれる波長の制御光と、前記光吸収層膜が吸収しない波長帯域から選ばれる波長の信号光とを各々収束させて照射する手段と、  
 前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で出射する状態と、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で出射する状態とを、前記制御光の照射の有無に対応させて実現させる熱レンズ形成素子と、  
 通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記通常の開き角度を変更させた後、通過させる穴を設けた鏡であって、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から拡がりながら出射する前記信号光をそのまま、または、前記受光レンズによって前記通常よりも大きい開き角度を変更させた後、反射することによって光路を変更させる鏡と、  
 を備えることを特徴とする光路切替装置。

【請求項2】

少なくとも制御光が焦点を結ぶように配置された光吸収層膜と、

10

20

少なくとも前記光吸収層膜に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれる波長の制御光と、前記光吸収層膜が吸収しない波長帯域から選ばれる波長の信号光とを各々収束させて照射する手段と、

前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が収束されたまま出射する状態と、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で出射する状態とを、前記制御光の照射の有無に対応させて実現させる熱レンズ形成素子と、

収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する前記収束された信号光が通過する穴を設けた鏡であって、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、前記開き角度を変更させるために設けられた受光レンズを透過させた後、反射することによって光路を変更させる鏡と、  
を備えることを特徴とする光路切替装置。

#### 【請求項3】

少なくとも光吸収層膜を含む熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれる波長の制御光と、前記光吸収層膜が吸収しない波長帯域から選ばれる波長の信号光とを各々収束させて照射し、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結ぶように前記光吸収層膜の配置を調整し、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態と、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態とを、前記制御光の照射の有無に対応させて実現させ、

制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記通常の開き角度を変更させた後、前記信号光が通過する穴を設けた鏡の穴を通して直進させ、

一方、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から拡がりながら出射する前記信号光をそのまま、あるいは、受光レンズによって前記拡がりの開き角度を変更させた後、前記穴付ミラーの反射面を用いて反射することによって光路を変更させることを特徴とする光路切替方法。

#### 【請求項4】

少なくとも光吸収層膜を含む熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれる波長の制御光と、前記光吸収層膜が吸収しない波長帯域から選ばれる波長の信号光とを各々収束させて照射し、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結ぶように前記光吸収層膜の配置を調整し、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する状態と、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態とを、前記制御光の照射の有無に対応させて実現させ、

制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は、収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する前記収束された信号光を、信号光が通過する穴を設けた鏡の穴を通して直進させ、

一方、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光の光路をそのまま、または、受光レンズによって前記拡がりの開き角度を変更させた後、前記穴付ミラーの反射面を用いて反射することによって光路を変更させることを特徴とする光路切替方法。

10

20

30

40

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信分野および光情報処理分野で用いられる光路切替装置および光路切替方法に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

インターネットおよび会社内・家庭内イントラネットの普及にともなうネットワークトラフィックの爆発的増加に対応するため、電気信号を経由しない光路切替装置（光スイッチ）、すなわち、光-光直接スイッチが求められている。光ファイバー、光導波路、あるいは、空間を伝搬する光の進む道筋、すなわち、光路を切り替える装置・方法としては、例えば、光導波路内または光導波路間で光路を切り替える空間分割型、多重化された複数の波長の光を波長に応じた光路へ分割して切り替える波長分割多重型、一定時間毎に時分割多重化された光の光路を切り替える時分割多重型、空間を伝搬する光の光路を鏡やシャッターなどを用いて空間的に分割・合成するフリースペース型などの方式が知られている。これらの方式は、各々多重化することも複数を組み合わせて使用することもできる。

10

## 【0003】

空間分割型光スイッチには、方向性結合器を利用するもの、光分岐器で光信号のコピーを作り、ゲート素子により光をオン・オフするもの、交差またはY分岐の交差部分で導波路の屈折率を変化させることで、導波路を伝搬してきた光を透過させたり反射させるものなどが提案されているが、まだ研究開発段階である。マツハツエンダー干渉計型光導波路スイッチの導波路の屈折率を変化させるために電気ヒーター加熱による熱光学効果を用いるものが実用化に近づいているといわれているが、応答速度が1ミリ秒程度と遅いだけでなく、光スイッチを動作させるために電気信号を用いなければならない、という欠点を有する。

20

## 【0004】

フリースペース型光スイッチには、マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システム（Micro Electro Mechanical System; MEMSと略記される。）、励起子吸収・反射スイッチ（Exciton Absorption Reflection Switch; EARSスイッチと略記される）、多段ビームシフト型光スイッチ、ホログラム型光スイッチ、液晶スイッチなどが検討されている。これらは、機械的可動部分がある、偏波依存性があるなどの課題があり、まだ充分実用段階にあるとはいえない。

30

## 【0005】

一方、光学素子に光を照射することで引き起こされる透過率変化や屈折率変化を利用し、直接、光で光の強度や周波数を変調する、全光型光学素子や光制御方式の研究が盛んに行われている。本発明者らは、全光型光学素子等による新たな情報処理技術の開発を目指して、有機色素凝集体をポリマーマトリックスに分散した有機ナノパーティクル光熱レンズ形成素子（非特許文献1参照）を用いて、光制御方式の研究を行って来た。現在、制御光（633nm）により信号光（780nm）の変調を行う方式で、制御光と信号光を同軸・同焦点入射させることを特徴とし、制御光の吸収により過渡的に形成される熱レンズにより信号光が屈折されるという動作原理の素子を開発しており、約20ナノ秒の高速応答が達成されている。光応答性組成物からなる光学素子に制御光を照射し、制御光とは異なる波長帯域にある信号光の透過率および/または屈折率を可逆的に変化させることにより前記光学素子を透過する前記信号光の強度変調および/または光束密度変調を行う光制御方法であって、前記制御光および前記信号光を各々収束させて前記光学素子へ照射し、かつ、前記制御光および前記信号光のそれぞれの焦点の近傍（ビームウエスト）の光子密度が最も高い領域が前記光学素子中において互いに重なり合うように前記制御光および前記信号光の光路を調整することを特徴とする光制御方法が開示されている（特許文献1から特許文献7参照）。光応答性組成物からなる光学素子に、互いに波長の異なる制御光および信号光を照射し、前記制御光の波長は前記光応答性組成物が吸収する波長帯域から選ばれ

40

50

るものとし、前記光応答性組成物が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に発生する温度上昇に起因する密度変化の分布に基づいた熱レンズを可逆的に形成させ、前記熱レンズを透過する信号光の強度変調および/または光束密度変調を行う光制御方法が開示されている(特許文献8参照)。そして、上記光学素子として例えば色素/樹脂膜や色素溶液膜が用いられ、制御光のパワー2ないし25mWにおける制御光照射に対する信号光の応答時間は、2マイクロ秒未満と記載されている(特許文献8参照)。

【0006】

ここで熱レンズ効果とは、光吸収の中心部分において光を吸収した分子などが光を熱に変換し、この熱が周囲に伝搬されることにより温度分布が生じ、その結果、光透過媒体の屈折率が光吸収中心から外部へ向けて球状に変化して光吸収中心の屈折率が低く外部へ向けて屈折率が高くなる分布を生じ、これが凹レンズのように機能するような光の屈折効果を示す。熱レンズ効果は分光分析の分野で古くから利用されており、現在では分子1個による光吸収をも検出するような超高感度分光分析も可能になっている(非特許文献2及び非特許文献3参照)。

10

【0007】

熱レンズ効果ないし熱による屈折率変化を用いて光路を偏向させる方式として、発熱抗体で媒体に熱を与え、媒体内に屈折率分布を生じさせ、光を偏向する方法が開示されている(特許文献9参照)。しかしながら、上述の手法は、発熱抗体で発熱させ、熱伝導で媒体を加熱することになるので、「熱の拡がり」という問題を本来的に有する。つまり、熱の拡がりにより、広い面積内で微細な熱勾配を与えることができず、所望の屈折率分布を得るのが困難である。更に、発熱抗体の微細加工は半導体集積回路で用いられているフォトリソグラフィ技術を採用しても、現実には一定の限界を有し、素子が大型化せざるを得ない。素子が大型化すれば、それにともない光学系も複雑かつ大型化する。また、発熱抗体で発熱させ、熱伝導で媒体を加熱することになるので、応答が遅く、屈折率変化の周波数を上げることができないという不具合を本質的な問題として有している。

20

【0008】

また、光応答組成物からなる光学素子と、該光学素子にくさび形の光強度分布で光を照射するための強度分布調整手段とから少なくとも構成され、制御光により前記光学素子中に屈折率分布を形成し、該屈折率分布により前記制御光とは異なる波長の信号光の偏向を行うことを特徴とする光学素子を用いた偏向素子が開示されている(特許文献10参照)。この方式は、光で光を制御する点では優れたものであるが、偏向角度が30度以内という制約があり、光路切替方向を自由に設定することができないという問題がある。

30

【0009】

【非特許文献1】

平賀隆、田中教雄、早水紀久子、守谷哲郎著、色素会合体・凝集体の作成・構造評価・光物性、「電子技術総合研究所彙報」、通商産業省工業技術院電子技術総合研究所発行、第59巻、第2号、29-49頁(1994年)

【非特許文献2】

藤原祺多夫、不破敬一郎、小林孝嘉著、レーザー誘起熱レンズ効果とその比色法への応用、「化学」、化学同人発行、第36巻、第6号、432-438頁(1981年)

40

【非特許文献3】

北森武彦、澤田嗣郎著、光熱変換分光分析法、「ぶんせき」、日本分析化学会発行、1994年3月号、178-187頁

【特許文献1】

特開平8-286220号公報

【特許文献2】

特開平8-320535号公報

【特許文献3】

特開平8-320536号公報

【特許文献4】

50

特開平 9 - 3 2 9 8 1 6 号公報

【特許文献 5】

特開平 1 0 - 9 0 7 3 3 号公報

【特許文献 6】

特開平 1 0 - 9 0 7 3 4 号公報

【特許文献 7】

特開平 1 0 - 1 4 8 8 5 2 号公報

【特許文献 8】

特開平 1 0 - 1 4 8 8 5 3 号公報

【特許文献 9】

特開昭 6 0 - 1 4 2 2 1 号公報

【特許文献 1 0】

特開平 1 1 - 1 9 4 3 7 3 号公報

【0 0 1 0】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、電気回路や機械的可動部分を用いずに故障のない、耐久性の高い、偏波依存性のない、光路切替の角度および方向を自由に設定可能な、信号光の光強度減衰が少なく多重連結使用が可能な光路切替装置および光路切替方法を提供することを目的とする。

【0 0 1 1】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、本発明の光路切替装置は、少なくとも制御光が焦点を結ぶように配置された光吸収層膜と、少なくとも前記光吸収層膜に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれる波長の制御光と、前記光吸収層膜が吸収しない波長帯域から選ばれる波長の信号光とを各々収束させて照射する手段と、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で拡がりながら出射する状態と、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で出射する状態とを、前記制御光の照射の有無に対応させて実現させる熱レンズ形成素子と、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記通常の開き角度を変更させた後、通過させる穴を設けた鏡であって、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から拡がりながら出射する前記信号光をそのまま、または、前記受光レンズによって前記通常よりも大きい開き角度を変更させた後、反射することによって光路を変更させる鏡と、を備えることを特徴とするものである。

【0 0 1 2】

上記の目的を達成するため、本発明の他の光路切替装置は、また、少なくとも制御光が焦点を結ぶように配置された光吸収層膜と、少なくとも前記光吸収層膜に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれる波長の制御光と、前記光吸収層膜が吸収しない波長帯域から選ばれる波長の信号光とを各々収束させて照射する手段と、前記光吸収層膜を含み、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が収束されたまま出射する状態と、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で出射する状態とを、前記制御光の照射の有無に対応させて実現させる熱レンズ形成素子と、収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する前記収束された信号光が通過する穴を設けた鏡であって、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、あるいは、前記開き角度を変更させるために設けられた受光レンズを透過させた後、反射することによって光路を変更させる鏡と、を備えることを特徴とするものである。

10

20

30

40

50

## 【0013】

上記の目的を達成するため、本発明の光路切替方法は、少なくとも光吸収層膜を含む熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれる波長の制御光と、前記光吸収層膜が吸収しない波長帯域から選ばれる波長の信号光とを各々収束させて照射し、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結ぶように前記光吸収層膜の配置を調整し、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態と、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が通常の開き角度よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態とを、前記制御光の照射の有無に対応させて実現させ、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記通常の開き角度を変更させた後、前記信号光が通過する穴を設けた鏡の穴を通して直進させ、一方、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は、通常よりも大きい開き角度で前記熱レンズ形成素子から拡がりながら出射する前記信号光をそのまま、または、受光レンズによって前記拡がりの開き角度を変更させた後、前記穴付ミラーの反射面を用いて反射することによって光路を変更させることを特徴とするものである。

10

## 【0014】

上記の目的を達成するため、本発明の他の光路切替方法は、また、少なくとも光吸収層膜を含む熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に、前記光吸収層膜が吸収する波長帯域から選ばれる波長の制御光と、前記光吸収層膜が吸収しない波長帯域から選ばれる波長の信号光とを各々収束させて照射し、少なくとも前記制御光が前記光吸収層膜内において焦点を結ぶように前記光吸収層膜の配置を調整し、前記光吸収層膜が前記制御光を吸収した領域およびその周辺領域に起こる温度上昇に起因して可逆的に生ずる屈折率の分布に基づいた熱レンズを用いることによって、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は前記収束された信号光が収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する状態と、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は前記収束された信号光が通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する状態とを、前記制御光の照射の有無に対応させて実現させ、制御光が照射されて熱レンズが形成される場合は、収束されたまま前記熱レンズ形成素子から出射する前記収束された信号光を、信号光が通過する穴を設けた鏡の穴を通して直進させ、一方、制御光が照射されず熱レンズが形成されない場合は、通常の開き角度で前記熱レンズ形成素子から出射する前記信号光の光路をそのまま、または、受光レンズによって前記拡がりの開き角度を変更させた後、前記穴付ミラーの反射面を用いて反射することによって光路を変更させることを特徴とするものである。

20

30

## 【0015】

## 【発明の実施の形態】

## 〔熱レンズ形成素子〕

本発明において、熱レンズ形成素子としては例えば積層膜型構造を有するものを好適に用いることができ、その積層膜の構成としては例えば以下のような組み合わせを挙げることができる。

40

## 【0016】

(1) 光吸収層膜単独。ただし、光吸収層膜は、文字通り「光吸収膜」単独の単層膜、あるいは、「光吸収膜/熱レンズ形成層」という2層構造、または、「光吸収膜/熱レンズ形成層/光吸収膜」という3層構造の積層型薄膜のいずれであっても良い。なお、以下の(2)から(10)の「光吸収層膜」も上記同様の構造を含むものとする。

## 【0017】

- (2) 光吸収層膜/保温層膜
- (3) 保温層膜/光吸収層膜/保温層膜
- (4) 光吸収層膜/伝熱層膜

50

- (5) 伝熱層膜 / 光吸収層膜 / 伝熱層膜  
 (6) 光吸収層膜 / 保温層膜 / 伝熱層膜  
 (7) 伝熱層膜 / 光吸収層膜 / 保温層膜  
 (8) 伝熱層膜 / 光吸収層膜 / 保温層膜 / 伝熱層膜  
 (9) 伝熱層膜 / 保温層膜 / 光吸収層膜 / 保温層膜  
 (10) 伝熱層膜 / 保温層膜 / 光吸収層膜 / 保温層膜 / 伝熱層膜  
 (11) 屈折率分布型レンズ / (光透過層 / ) 上記(1)ないし(10)の熱レンズ形成素子  
 (12) 屈折率分布型レンズ / (光透過層 / ) 上記(1)ないし(10)の熱レンズ形成素子 / (光透過層 / ) 屈折率分布型レンズ

10

なお、上記「(光透過層 / )」とは、必要に応じて光透過層を設けることを意味する。更に、必要に応じて光の入射面および出射面に反射防止膜(A Rコート膜)を設けても良い。

#### 【0018】

熱レンズ形成素子の構成の一例を例示した断面図を図5に示す。図5に例示するように、熱レンズ形成素子500は、制御光509および信号光508の入射側から、例えば、屈折率分布型レンズ507 / 光透過層506 / 伝熱層膜501 / 光吸収層膜503 / 熱レンズ形成層505 / 光吸収層膜504 / 伝熱層膜502の順に積層されてなる。なお、図5に示す制御光509の光線は模式的なものであり、各層膜間における屈折を省略している。

20

#### 【0019】

光吸収層膜、熱レンズ形成層、保温層膜、伝熱層膜、光透過層、および屈折率分布型レンズの材料、作成方法、各々の膜厚などについて、以下に、順を追って説明する。

#### 【0020】

なお、本発明で用いられる光吸収層膜、熱レンズ形成層、保温層膜、伝熱層膜、光透過層、および屈折率分布型レンズの材料は、その機能に支障をきたさない範囲において、加工性を向上させたり、光学素子としての安定性・耐久性を向上させるため、添加物として公知の酸化防止剤、紫外線吸収剤、一重項酸素クエンチャー、分散助剤などを含有しても良い。

#### 【0021】

##### [光吸収層膜の材料]

本発明で用いられる熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に用いられる光吸収性の材料としては、公知の種々のものを使用することができる。

30

#### 【0022】

本発明で用いられる熱レンズ形成素子中の光吸収層膜に用いられる光吸収性材料の例を具体的に挙げるならば、例えば、GaAs、GaAsP、GaAlAs、InP、InSb、InAs、PbTe、InGaAsP、ZnSeなどの化合物半導体の単結晶、前記化合物半導体の微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、異種金属イオンをドープした金属ハロゲン化物(例えば、臭化カリウム、塩化ナトリウムなど)の単結晶、前記金属ハロゲン化物(例えば、臭化銅、塩化銅、塩化コバルトなど)の微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、銅などの異種金属イオンをドープしたCdS、CdSe、CdSeS、CdSeTeなどのカドミウムカルコゲナイドの単結晶、前記カドミウムカルコゲナイドの微粒子をマトリックス材料中に分散したもの、シリコン、ゲルマニウム、セレン、テルルなどの半導体単結晶薄膜、多結晶薄膜ないし多孔質薄膜、シリコン、ゲルマニウム、セレン、テルルなどの半導体微粒子をマトリックス材料中へ分散したもの、ルビー、アレキサンドライト、ガーネット、Nd:YAG、サファイア、Ti:サファイア、Nd:YLFなど、金属イオンをドープした宝石に相当する単結晶(いわゆるレーザー結晶)、金属イオン(例えば、鉄イオン)をドープしたニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)、LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、KTiOPO<sub>4</sub>、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、KNbO<sub>3</sub>、BaB<sub>2</sub>O<sub>2</sub>などの強誘電性結晶、金属イオン(例えば、ネオジウムイオン、エルビウムイオンなど)をドープした石

40

50

英ガラス、ソーダガラス、ホウケイ酸ガラス、その他のガラスなどのほか、マトリックス材料中に色素を溶解または分散したもの、および、非晶質の色素凝集体を好適に使用することができる。

【0023】

これらの中でも、マトリックス材料中に色素を溶解または分散したものは、マトリックス材料および色素の選択範囲が広く、かつ熱レンズ形成素子への加工も容易であるため、特に好適に用いることができる。

【0024】

本発明の光路切替装置および光路切替方法で用いることができる色素の具体例としては、例えば、ローダミンB、ローダミン6G、エオシン、フロキシシンBなどのキサンテン系色素、10  
 アクリジンオレンジ、アクリジンレッドなどのアクリジン系色素、エチルレッド、メチルレッドなどのアゾ色素、ポルフィリン系色素、フタロシアニン系色素、3,3'-ジエチルチアカルボシアニンヨージド、3,3'-ジエチルオキサジカルボシアニンヨージドなどのシアニン色素、エチル・バイオレット、ビクトリア・ブルーRなどのトリアリールメタン系色素、ナフトキノロン系色素、アントラキノロン系色素、ナフトレンテトラカルボン酸ジイミド系色素、ペリレンテトラカルボン酸ジイミド系色素などを好適に使用することができる。

【0025】

本発明の光路切替装置および光路切替方法では、これらの色素を単独で、または、2種以上を混合して使用することができる。

【0026】

本発明の光路切替装置および光路切替方法で用いることのできるマトリックス材料は、  
 (1) 本発明の光路切替装置および光路切替方法で用いられる光の波長領域で透過率が高いこと、  
 (2) 本発明の光路切替装置および光路切替方法で用いられる色素または種々の微粒子を安定性良溶解または分散できること、  
 という条件を満足するものであれば任意のものを使用することができる。

【0027】

無機系のマトリックス材料としては、例えば金属ハロゲン化物の単結晶、金属酸化物の単結晶、金属カルコゲナイドの単結晶、石英ガラス、ソーダガラス、ホウケイ酸ガラスなどの他、いわゆるゾルゲル法で作成された低融点ガラス材料などを使用することができる。

【0028】

また、有機系のマトリックス材料としては、例えば種々の有機高分子材料を使用することができる。その具体例としては、ポリスチレン、ポリ( -メチルスチレン)、ポリインデン、ポリ(4-メチル-1-ペンテン)、ポリビニルピリジン、ポリビニルホルマール、ポリビニルアセタール、ポリビニルブチラール、ポリ酢酸ビニル、ポリビニルアルコール、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリビニルメチルエーテル、ポリビニルエチルエーテル、ポリビニルベンジルエーテル、ポリビニルメチルケトン、ポリ(N-ビニルカルバゾール)、ポリ(N-ビニルピロリドン)、ポリアクリル酸メチル、ポリアクリル酸エチル、ポリアクリル酸、ポリアクリロニトリル、ポリメタクリル酸メチル、ポリメタクリル酸エチル、ポリメタクリル酸ブチル、ポリメタクリル酸ベンジル、ポリメタクリル酸シクロヘキシル、ポリメタクリル酸、ポリメタクリル酸アミド、ポリメタクリロニトリル、ポリアセトアルデヒド、ポリクロラール、ポリエチレンオキシド、ポリプロピレンオキシド、ポリエチレンテレフタレート、ポリブチレンテレフタレート、ポリカーボネート類(ビスフェノール類+炭酸)、ポリ(ジエチレングリコール・ビスアリルカーボネイト)類、6-ナイロン、6,6-ナイロン、12-ナイロン、6,12-ナイロン、ポリアスパラギン酸エチル、ポリグルタミン酸エチル、ポリリジン、ポリプロリン、ポリ( -ベンジル-L-グルタメート)、メチルセルロース、エチルセルロース、ベンジルセルロース、ヒドロキシエチルセルロース、ヒドロキシプロピルセルロース、アセチルセルロース、セルローストリアセテート、セルローストリブチレート、アルキド樹脂(無水フタル

10

20

30

40

50



酸 + グリセリン)、脂肪酸変性アルキド樹脂(脂肪酸 + 無水フタル酸 + グリセリン)、不飽和ポリエステル樹脂(無水マレイン酸 + 無水フタル酸 + プロピレングリコール)、エポキシ樹脂(ビスフェノール類 + エピクロルヒドリン)、ポリウレタン樹脂、フェノール樹脂、尿素樹脂、メラミン樹脂、キシレン樹脂、トルエン樹脂、グアナミン樹脂などの樹脂、ポリ(フェニルメチルシラン)などの有機ポリシラン、有機ポリゲルマンおよびこれらの共重合・共重縮合体が挙げられる。また、二硫化炭素、四フッ化炭素、エチルベンゼン、パーフルオロベンゼン、パーフルオロシクロヘキサンまたはトリメチルクロロシラン等、通常では重合性のない化合物をプラズマ重合して得た高分子化合物などを使用することができる。更に、これらの有機高分子化合物に色素の残基をモノマー単位の側鎖として、もしくは架橋基として、共重合モノマー単位として、または重合開始末端として結合させたものをマトリックス材料として使用することもできる。更に、前記の色素残基とマトリックス材料が化学結合を形成していても良い。

10

#### 【0029】

これらのマトリックス材料中へ色素を溶解または分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、色素とマトリックス材料を共通の溶媒中へ溶解して混合した後、溶媒を蒸発させて除去する方法、ゾルゲル法で製造する無機系マトリックス材料の原料溶液へ色素を溶解または分散させてからマトリックス材料を形成する方法、有機高分子系マトリックス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、色素を溶解または分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、色素と有機高分子系マトリックス材料を共通の溶媒中に溶解した溶液を、色素および熱可塑性の有機高分子系マトリックス材料の両方が不溶の溶剤中へ滴下し、生じた沈殿を濾別し乾燥してから加熱・溶融加工する方法などを好適に用いることができる。色素とマトリックス材料の組み合わせおよび加工方法を工夫することで、色素分子を凝集させ、「H会合体」や「J会合体」などと呼ばれる特殊な会合体を形成させられることが知られているが、マトリックス材料中の色素分子をこのような凝集状態もしくは会合状態を形成する条件で使用しても良い。

20

#### 【0030】

また、これらのマトリックス材料中へ前記の種々の微粒子を分散させるには公知の方法を用いることができる。例えば、前記微粒子をマトリックス材料の溶液、または、マトリックス材料の前駆体の溶液に分散した後、溶媒を除去する方法、有機高分子系マトリックス材料のモノマー中へ、必要に応じて溶媒を用いて、前記微粒子を分散させてから該モノマーを重合ないし重縮合させてマトリックス材料を形成する方法、微粒子の前駆体として、例えば過塩素酸カドミウムや塩化金などの金属塩を有機高分子系マトリックス材料中へ溶解または分散した後、硫化水素ガスで処理して硫化カドミウムの微粒子を、または、熱処理することで金の微粒子を、それぞれマトリックス材料中に析出させる方法、化学的気相成長法、スパッタリング法などを好適に用いることができる。

30

#### 【0031】

色素を単独で、光散乱の少ない非晶質状態(アモルファス)の薄膜として存在させることができる場合は、マトリックス材料を用いずに、非晶質色素膜を光吸収層膜として用いることもできる。

40

#### 【0032】

また、色素を単独で、光散乱を起こさない微結晶凝集体として存在させることができる場合は、マトリックス材料を用いずに、色素の微結晶凝集体を光吸収層膜として用いることもできる。本発明で用いられる熱レンズ形成素子におけるように、光吸収層膜としての色素微結晶凝集体が、熱レンズ形成層(樹脂など)、伝熱層膜(ガラスなど)および/または保温層膜(樹脂など)と積層されて存在する場合、前記色素微小結晶の粒子径が前記信号光の波長と制御光の波長を比べて短い方の波長の1/5を超えない大きさであれば、実質的に光散乱を起こさない。

#### 【0033】

[光吸収層膜の材料、信号光の波長帯域、および制御光の波長帯域の組み合わせ]

50

本発明の光路切替装置および光路切替方法で使用される光吸収層膜の材料、信号光の波長帯域、および制御光の波長帯域は、これらの組み合わせとして、使用目的に応じて適切な組み合わせを選定し用いることができる。

【 0 0 3 4 】

具体的な設定手順としては、例えば、まず、使用目的に応じて信号光の波長ないし波長帯域を決定し、これを制御するのに最適な光吸収層膜の材料と制御光の波長の組み合わせを選定すれば良い。または、使用目的に応じて信号光と制御光の波長の組み合わせを決定してから、この組み合わせに適した光吸収層膜の材料を選定すれば良い。

【 0 0 3 5 】

[ 光吸収層膜の材料の組成、光吸収層膜中の光吸収層膜の膜厚、および熱レンズ形成層の膜厚 ] 10

本発明の光路切替装置および光路切替方法で用いられる熱レンズ形成素子において、光吸収層膜は、「光吸収膜」単独の単層膜、あるいは、「光吸収膜/熱レンズ形成層」という2層構造、または、「光吸収膜/熱レンズ形成層/光吸収膜」という3層構造の積層型薄膜のいずれであっても良く、光吸収層膜全体の厚さは、収束された前記制御光の共焦点距離の2倍を超えないことが好ましい。更に、一層高速な応答速度を目指す場合は、前記積層型薄膜からなる光吸収層膜の厚さは、収束された前記制御光の共焦点距離の1倍を超えないことが好ましい。

【 0 0 3 6 】

このような条件の中で、本発明で用いられる光吸収層膜の材料の組成および光吸収層膜中の光吸収膜（1または2枚）の膜厚については、これらの組み合わせとして、光吸収層膜を透過する制御光および信号光の透過率を基準にして設定することができる。例えば、まず、光吸収層膜の材料の組成の内、少なくとも制御光あるいは信号光を吸収する成分の濃度を決定し、次いで、熱レンズ形成素子を透過する制御光および信号光の透過率が特定の値になるよう光吸収層膜中の光吸収膜（1または2枚）の膜厚を設定することができる。または、まず、例えば装置設計上の必要に応じて、光吸収層膜中の光吸収膜（1または2枚）の膜厚を特定の値に設定した後、熱レンズ形成素子を透過する制御光および信号光の透過率が特定の値になるよう光吸収層膜の材料の組成を調整することができる。

【 0 0 3 7 】

本発明の光路切替装置および光路切替方法で用いられる熱レンズ形成素子から、できる限り低い光パワーで十分な大きさおよび高速度の熱レンズ効果を引き出すために最適な、光吸収層膜を透過する制御光および信号光の透過率の値は、それぞれ、次に示す通りである。

【 0 0 3 8 】

本発明の光路切替装置および光路切替方法で用いられる熱レンズ形成素子においては、熱レンズ形成素子中の光吸収層膜を伝播する制御光の透過率が90%ないし0%になるよう光吸収層膜中の光吸収成分の濃度および存在状態の制御、光吸収層膜中の光吸収膜（1または2枚）の膜厚設定を行うことが推奨される。

【 0 0 3 9 】

一方、制御光を照射しない状態において、熱レンズ形成素子中の光吸収層膜を伝播する信号光の透過率が下限として10%以上、また、上限としては100%に限りなく近づくよう光吸収層膜中の光吸収成分の濃度および存在状態の制御、光吸収層膜中の光吸収膜（1または2枚）の膜厚設定を行うことが推奨される。

【 0 0 4 0 】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層膜厚の下限は、以下に記載するように、熱レンズ形成層の材料に応じて選定される。

【 0 0 4 1 】

[ 光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料および熱レンズ形成層の膜厚 ]  
単層の光吸収膜そのものが、熱レンズ形成層として作用しても良いが、光吸収と熱レンズ形成の機能を別々の材料に分担させて、各々選択された最適の材料を積層して使用するこ 50

とが好ましい。

【0042】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料としては液体、液晶、および、固体の材料を用いることができる。特に、熱レンズ形成層が、非晶質の有機化合物、有機化合物液体、および液晶からなる群から選ばれる有機化合物からなると好適である。なお、熱レンズ形成層の材質が液晶および液体の場合、例えば、光吸収膜および/または伝熱層膜を自己形態保持性の材質で作成し、熱レンズ形成層の厚さに相当する空乏を設け、そこへ流動状態の熱レンズ形成層材料を注入することで、熱レンズ形成層を作成することができる。一方、熱レンズ形成層の材質が固体の場合は、熱レンズ形成層の片面または両面に光吸収膜を積層させて作成すれば良い。

10

【0043】

熱レンズ形成層の材質は単一でなくとも良く、例えば、複数種類の固体の積層膜であっても良く、また、固体と液体を積層させたものであっても良い。

【0044】

熱レンズ形成層の厚さは、用いる材料の種類にもよるが、数ナノメートルから数百 $\mu\text{m}$ の範囲の厚さであれば良く、数十ナノメートルから数十 $\mu\text{m}$ の範囲であれば特に好適である。

【0045】

前述のように、熱レンズ形成層と1または2枚の光吸収膜を積層してなる光吸収層膜の合計の厚さは、収束された前記制御光の共焦点距離の2倍を超えないことが好ましい。

20

【0046】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料としては液体、液晶、および、固体の材料を用いることができるが、いずれの場合も屈折率の温度依存性が大きい材料が好ましい。

【0047】

代表的な有機化合物液体および水の屈折率温度依存性の物性値は文献 [D.Solimini: J.Appl. Phys., vol.37,3314(1966)] に記載されている。波長633nmの光に対する屈折率の温度変化 [単位:  $1/K$ ] は、水 ( $0.8 \times 10^{-4}$ ) よりもメタノール ( $3.9 \times 10^{-4}$ ) などのアルコールが大きく、更に、シクロペンタン ( $5.7 \times 10^{-4}$ )、ベンゼン ( $6.4 \times 10^{-4}$ )、クロロホルム ( $5.8 \times 10^{-4}$ )、ベンゼン ( $6.4 \times 10^{-4}$ )、二硫化炭素 ( $7.7 \times 10^{-4}$ ) などの非水素結合性有機溶剤が大きい。

30

【0048】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料として液晶を用いる場合、液晶としては、公知の任意のものを使用することができる。具体的には、種々のコレステロール誘導体、4'-n-ブトキシベンジリデン-4-シアノアニリン、4'-n-ヘキシルベンジリデン-4-シアノアニリンなどの4'-アルコキシベンジリデン-4-シアノアニリン類、4'-エトキシベンジリデン-4-n-ブチルアニリン、4'-メトキシベンジリデンアミノアゾベンゼン、4-(4'-メトキシベンジリデン)アミノビフェニル、4-(4'-メトキシベンジリデン)アミノスチルベンなどの4'-アルコキシベンジリデンアニリン類、4'-シアノベンジリデン-4-n-ブチトキシアニリン、4'-シアノベンジリデン-4-n-ヘキシルオキシアニリンなどの4'-シアノベンジリデン-4-アルコキシアニリン類、4'-n-ブトキシカルボニルオキシベンジリデン-4-メトキシアニリン、p-カルボキシフェニル・n-アミルカーボネイト、n-ヘプチル・4-(4'-エトキシフェノキシカルボニル)フェニルカーボネイトなどの炭酸エステル類、4-n-ブチル安息香酸・4'-エトキシフェニル、4-n-ブチル安息香酸・4'-オクチルオキシフェニル、4-n-ペンチル安息香酸・4'-ヘキシルオキシフェニルなどの4-アルキル安息香酸・4'-アルコキシフェニルエステル類、4,4'-ジ-n-アミルオキシアゾキシベンゼン、4,4'-ジ-n-ノニルオキシアゾキシベンゼンなどのアゾキシベンゼン誘導体、4-シアノ-4'-n-オクチルビフェニル、4-シアノ-4'-n-ドデシルビフェニルなどの4-シアノ-4'-アルキルビフェニル類などの液晶、および(2S,3S)-3-メチル-2-クロロペンタノイック酸・4',4''-オクチルオキシビフェニ

40

50

ル、4'-（2-メチルブチル）ビフェニル-4-カルボン酸・4-ヘキシルオキシフェニル、4'-オクチルビフェニル-4-カルボン酸・4-（2-メチルブチル）フェニルなどの強誘電性液晶を使用することができる。

【0049】

光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料として固体の材料を用いる場合は、光散乱が小さく屈折率の温度依存性の大きな、非晶質の有機化合物が特に好適である。具体的には、前記マトリックス材料と同様に、種々の有機高分子材料の中から光学用樹脂として公知のものを選定して使用することができる。文献[技術情報協会編、「最新光学用樹脂の開発、特性と高精度部品の設計、成形技術」、技術情報協会(1993)、P.35]に記載されている光学用樹脂の屈折率の温度変化[単位: 1/K]は、例えば、ポリ(メタクリル酸メチル)  $1.2 \times 10^{-4}$ 、ポリカーボネート  $1.4 \times 10^{-4}$ 、ポリスチレン  $1.5 \times 10^{-4}$  である。これらの樹脂を光吸収層膜中の熱レンズ形成層の材料として好適に使用することができる。

10

【0050】

前記有機溶剤の屈折率温度依存性は前記光学用樹脂の場合よりも大きいというメリットがある反面、制御光照射による温度上昇が有機溶剤の沸点に到達すると沸騰してしまうという問題がある(高沸点の溶剤を用いる場合は問題ない)。これに対して、揮発性不純物を徹底的に除去した光学用樹脂は、例えばポリカーボネートの場合、制御光照射による温度上昇が250を超えようような過酷な条件においても使用可能である。

【0051】

[保温層膜]

保温層膜として気体を用いる場合は、空気その他、窒素、ヘリウム、ネオン、アルゴンなどの不活性ガスを好適に用いることができる。

20

【0052】

保温層膜として液体を用いる場合は、熱伝導率が光吸収層膜と同等か光吸収層膜よりも小さい材質であって、かつ、制御光および信号光を透過し、光吸収層膜の材質を溶解または腐食しないものであれば、任意の液体を用いることができる。例えば、光吸収層膜がシアニン色素を含有したポリメタクリル酸メチルからなる場合、流動性パラフィンを用いることができる。

【0053】

保温層膜として固体を用いる場合は、熱伝導率が光吸収層膜(光吸収膜および熱レンズ形成層)と同等か光吸収層膜よりも小さい材質であって、かつ、制御光および信号光を透過し、光吸収層膜や伝熱層膜の材質と反応しないものであれば、任意の固体を用いることができる。例えば、光吸収膜がシアニン色素を含有したポリメタクリル酸メチルからなる場合、色素を含まないポリメタクリル酸メチル[300Kにおける熱伝導率  $0.15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]を保温層膜として用いることができる。

30

【0054】

[伝熱層膜の材料]

伝熱層膜としては、熱伝導率が光吸収層膜よりも大きい材質が好ましく、制御光および信号光を透過し、光吸収層膜や保温層膜の材質と反応しないものであれば、任意のものを用いることができる。熱伝導率が高く、かつ、可視光線の波長帯域における光吸収が小さい材質として、例えば、ダイヤモンド[300Kにおける熱伝導率  $900 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]、サファイア[同  $46 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]、石英単結晶[c軸に平行方向で同  $10.4 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]、石英ガラス[同  $1.38 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]、硬質ガラス[同  $1.10 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ]などを伝熱層膜として好適に用いることができる。

40

【0055】

[光透過層の材料]

本発明で用いられる熱レンズ形成素子は、前記制御光の収束手段としての屈折率分布型レンズが、光透過層を介して前記制御光の入射側に積層されて設けられていても良いが、光透過層の材質としては、固体の保温層膜および/または伝熱層膜の材質と同様のものを使

50

用することができる。光透過層は、文字通り、前記制御光および信号光を効率良く透過させるだけでなく、屈折率分布型レンズを熱レンズ形成素子構成要素として接着するためのものである。いわゆる紫外線硬化型樹脂や電子線硬化型樹脂の内、前記制御光および信号光の波長帯域の光透過率の高いものを特に好適に用いることができる。

【0056】

[熱レンズ形成素子の作成方法]

本発明で用いられる熱レンズ形成素子の作成方法は、熱レンズ形成素子の構成および使用する材料の種類に応じて任意に選定され、公知の方法を用いることができる。

【0057】

例えば、熱レンズ形成素子中の光吸収膜に用いられる光吸収性の材料が、前述のような単結晶の場合、単結晶の切削・研磨加工によって、光吸収膜を作成することができる。

10

【0058】

例えば、色素を含有したマトリックス材料からなる光吸収膜、光学用樹脂からなる熱レンズ形成層、および光学ガラスを伝熱層膜として組み合わせて用いた「伝熱層膜/光吸収膜/熱レンズ形成層/光吸収膜/伝熱層膜」という構成の熱レンズ形成素子を作成する場合、以下に列挙するような方法によって、まず、伝熱層膜上に光吸収膜を作成することができる。

【0059】

色素およびマトリックス材料を溶解した溶液を、伝熱層膜として用いられるガラス板上に塗布法、ブレードコート法、ロールコート法、スピコート法、ディッピング法、スプレー法などの塗工法で塗工するか、あるいは、平版、凸版、凹版、孔版、スクリーン、転写などの印刷法で印刷して光吸収膜を形成する方法を用いても良い。この場合、光吸収膜の形成にゾルゲル法による無機系マトリックス材料作成方法を利用することもできる。

20

【0060】

電着法、電解重合法、ミセル電解法（特開昭63-243298号公報）などの電気化学的成膜手法を用いることができる。

【0061】

更に、水の上に形成させた単分子膜を移し取るラングミア・プロジェクト法を用いることができる。

【0062】

原料モノマーの重合ないし重縮合反応を利用する方法として、例えば、モノマーが液体の場合、キャスト法、リアクション・インジェクション・モールド法、プラズマ重合法、および、光重合法などが挙げられる。

30

【0063】

昇華転写法、蒸着法、真空蒸着法、イオンビーム法、スパッタリング法、プラズマ重合法、CVD法、有機分子線蒸着法、などの方法を用いることもできる。

2成分以上の有機系光学材料を溶液または分散液状態で各成分毎に設けた噴霧ノズルから高真空容器内に噴霧して基板上に堆積させ、加熱処理することを特徴とする複合型光学薄膜の製造方法（特許公報第2599569号）を利用することもできる。

【0064】

以上のような固体の光吸収膜の作成方法は、例えば、固体の有機高分子材料からなる保温層膜を作成する場合にも、好適に使用することができる。

40

【0065】

次いで、熱可塑性の光学用樹脂を用いて熱レンズ形成層を作成する場合、真空ホットプレス法（特開平4-99609号公報）を用いて「伝熱層膜/光吸収膜/熱レンズ形成層/光吸収膜/伝熱層膜」という構成の熱レンズ形成素子を作成することができる。すなわち、熱可塑性光学用樹脂の粉末またはシートを、上記の方法で表面に光吸収膜を形成した2枚の伝熱層膜（ガラス板）で挟み、高真空下、加熱・プレスすることによって、上記構成の積層型薄膜素子を作成することができる。

【0066】

50

〔屈折率分布型レンズの材料と作成方法〕

本発明で用いられる熱レンズ形成素子は、前記制御光の収束手段としての屈折率分布型レンズが、光透過層を介して前記制御光の入射側に積層されて設けられていても良いが、この屈折率分布型レンズの材料と作成方法としては、公知の、任意のものを使用することができる。

【0067】

例えば、モノマーの浸透・拡散現象を利用して、屈折率分布型の屈折率分布型レンズを有機高分子系材質で作成することができる [ M.Oikawa, K.Iga, T.Sanada: Jpn.J.Appl.Phys, 20(1), L51-L54(1981) ]。すなわち、モノマー交換技術によって、屈折率分布レンズを平坦な基板上にモノリシックに作ることができ、例えば、低屈折率プラスチックとしてのメタクリル酸メチル ( $n = 1.494$ ) を、 $3.6 \text{ mm}$  の円形ディスクのマスクのまわりから、高屈折率をもつポリイソフタル酸ジアクリル ( $n = 1.570$ ) の平坦なプラスチック基板中へ拡散させる。

10

【0068】

また、無機イオンの拡散現象を利用し、屈折率分布型の屈折率分布型レンズを無機ガラス系材質で作成することができる [ M.Oikawa, K.Iga: Appl.Opt., 21(6), 1052-1056(1982) ]。すなわち、ガラス基板にマスクを付けてからフォトリソグラフィの手法により直径百  $\mu\text{m}$  前後の円形窓を設け、熔融塩に浸けてイオン交換により屈折率分布を形成させるに当たり、数時間に渡って電界を印加してイオン交換を促進させることによって、例えば、直径  $0.9 \text{ mm}$ 、焦点距離  $2 \text{ mm}$ 、開口数  $NA = 0.23$  のレンズを形成させることができる。

20

【0069】

〔ビームウエスト直径の計算〕

本発明の光路切替装置および光路切替方法において熱レンズ効果を有効に利用するためには、焦点（集光点）近傍の光子密度が最も高い領域、すなわち「ビームウエスト」における前記信号光のビーム断面積が、ビームウエストにおける前記制御光のビーム断面積を超えないように前記信号光および前記制御光のビーム断面の形状および大きさをそれぞれ設定することが好ましい。

【0070】

以下、進行方向ビーム断面の電場の振幅分布、すなわち光束のエネルギー分布がガウス分布となっているガウスビームの場合について述べる。なお、以下の説明では、ビーム収束手段として集光レンズ（屈折率分布型レンズ）を用いる場合について説明するが、収束手段が凹面鏡や屈折率分散型レンズであっても同様である。

30

【0071】

ガウスビームを、図1などの集光レンズ31などで、開き角 $2\theta$ で収束させたときの焦点301近傍における光線束および波面300の様子を図12に示す。ここで、波長 $\lambda$ のガウスビームの直径 $2w_0$ が最小になる位置を「ビームウエスト」という。以下、ビームウエスト直径を $2w_0$ で表すものとする。光の回折作用のため、 $2w_0$ はゼロにはならず、有限の値をもつ。なお、ビーム半径 $w_0$ や $z_0$ の定義は、ガウスビームのビーム中心部分のエネルギーを基準として、エネルギーが $1/e^2$ （ $e$ は自然対数の底）になる位置をビーム中心から測ったときの距離であり、ビーム直径は $2w_0$ または $2z_0$ で表される。いうまでもなく、ビームウエストの中心において、光子密度は最も高い。

40

【0072】

ガウスビームの場合、ビームウエストから十分に遠方でのビーム拡がり角 $\theta$ は波長 $\lambda$ およびビームウエスト径 $2w_0$ と、次の式〔1〕で関係付けられる。

【0073】

〔数1〕

$$\theta = \frac{\lambda}{2w_0} \quad \dots \text{〔1〕}$$

ここで、 $\pi$ は円周率である。

【0074】

50

「ビームウエストから十分に遠方」という条件を満たす場合に限りこの式を用いて、集光レンズに入射するビーム半径、集光レンズの開口数および焦点距離から、集光レンズで集光されたビームウエスト径 $r_0$ を計算することができる。

【0075】

更に一般的に、有効開口半径 $a$ および開口数 $NA$ の集光レンズで、ビーム半径 $r$ の平行ガウスビーム(波長 $\lambda$ )を収束させた場合のビームウエスト直径 $2r_0$ は、次の式〔2〕で表すことができる。

【0076】

【数2】

$$2r_0 = k \cdot \lambda / NA \quad \dots [2]$$

10

【0077】

ここで、係数 $k$ は代数的に解くことができないため、レンズ結像面での光強度分布についての数値解析計算を行うことによって決定することができる。

【0078】

集光レンズに入射するビーム半径 $r$ と集光レンズの有効開口半径 $a$ の比率を変えて、数値解析計算を行うと、式〔2〕の係数 $k$ の値は以下のように求まる。

【0079】

【数3】

$a/r = 1$	のとき	$k$	$0.92$
$a/r = 2$	のとき	$k$	$1.3$
$a/r = 3$	のとき	$k$	$1.9$
$a/r = 4$	のとき	$k$	$3$

20

【0080】

すなわち、集光レンズの有効開口半径 $a$ よりもビーム半径 $r$ が小さければ小さい程、ビームウエスト径 $r_0$ は大きくなる。

【0081】

例えば、集光レンズとして開口数 $0.25$ 、有効開口半径約 $5\text{ mm}$ のレンズを用い、波長 $780\text{ nm}$ の信号光を収束したとき、集光レンズに入射するビーム半径 $r$ が $5\text{ mm}$ であれば $a/r$ は約 $1$ で、ビームウエストの半径 $r_0$ は $1.4\text{ }\mu\text{m}$ 、 $r$ が $1.25\text{ mm}$ であれば $a/r$ は約 $4$ で $r_0$ は $4.7\text{ }\mu\text{m}$ と計算される。同様にして波長 $633\text{ nm}$ の制御光を収束したとき、ビーム半径 $r$ が $5\text{ mm}$ であれば $a/r$ は約 $1$ で、ビームウエストの半径 $r_0$ は $1.2\text{ }\mu\text{m}$ 、 $r$ が $1.25\text{ mm}$ であれば $a/r$ は約 $4$ で $r_0$ は $3.8\text{ }\mu\text{m}$ と計算される。

30

【0082】

この計算例から明らかなように、集光レンズの焦点近傍の光子密度が最も高い領域、すなわちビームウエストにおける光ビームの断面積を最小にするには、集光レンズに入射する光ビームの強度分布が平面波に近くなるまで、ビーム直径を拡大(ビームエキスパンド)すれば良い。また、集光レンズへ入射するビーム直径が同一の場合、光の波長が短い程、ビームウエスト径は小さくなることも判る。

【0083】

前述のように、本発明の光路切替装置および光路切替方法において熱レンズ効果を有効に利用するためには、ビームウエスト近傍の光子密度が最も高い領域における前記信号光のビーム断面積が、ビームウエストにおける前記制御光のビーム断面積を超えないように前記信号光および前記制御光のビーム断面の形状および大きさをそれぞれ設定することが好ましい。信号光および制御光ともにガウスビームを用いる場合であれば、以上の説明および計算式にしたがって、集光レンズなどの収束手段で収束する前の平行ビームの状態、波長に応じて、信号光および制御光のビーム直径を、必要に応じてビームエキスパンドするなどして、調節することによって、ビームウエスト近傍の光子密度が最も高い領域における前記信号光のビーム断面積が、ビームウエストにおける前記制御光のビーム断面積を超えないようにすることができる。ビームエキスパンドの手段としては、公知のもの、例

40

50

えば2枚の凸レンズからなるケプラー型の光学系を用いることができる。

【0084】

[共焦点距離  $Z_c$  の計算]

一般に、ガウスビームの場合、凸レンズなどの収束手段で収束された光束のビームウエスト近傍、すなわち、焦点を挟んで共焦点距離  $Z_c$  の区間においては、収束ビームはほぼ平行光と見なすことができ、共焦点距離  $Z_c$  は、円周率  $\pi$ 、ビームウエスト半径  $r_0$ 、および波長  $\lambda$  を用いた式〔3〕で表すことができる。

【0085】

【数4】

$$Z_c = \frac{2r_0^2}{\lambda} \dots [3]$$

10

式〔3〕の  $r_0$  に式〔2〕を代入すると、式〔4〕が得られる。

【0086】

【数5】

$$Z_c = \frac{2}{\lambda} \left( \frac{k}{NA} \right)^2 / 4 \dots [4]$$

【0087】

例えば、集光レンズとして開口数0.25、有効開口半径約5mmのレンズを用い、波長780nmの信号光を収束したとき、集光レンズに入射するビーム半径  $r_0$  が5mmであれば  $a/r_0$  は約1で、ビームウエストの半径  $r_0$  は1.4  $\mu\text{m}$ 、共焦点距離  $Z_c$  は8.3  $\mu\text{m}$ 、 $r_0$  が1.25mmであれば  $a/r_0$  は約4で  $r_0$  は4.7  $\mu\text{m}$ 、共焦点距離  $Z_c$  は88  $\mu\text{m}$ と計算される。同様にして波長633nmの制御光を収束したとき、ビーム半径  $r_0$  が5mmであれば  $a/r_0$  は約1で、ビームウエストの半径  $r_0$  は1.2  $\mu\text{m}$ 、共焦点距離  $Z_c$  は6.7  $\mu\text{m}$ 、 $r_0$  が1.25mmであれば  $a/r_0$  は約4で  $r_0$  は3.8  $\mu\text{m}$ 、共焦点距離  $Z_c$  は71  $\mu\text{m}$ と計算される。

20

【0088】

[集光レンズおよび受光レンズの開口数]

本発明の光路切替装置および光路切替方法においては、信号光および制御光を同軸で集光レンズによって収束させて熱レンズ形成素子中に焦点を結ぶように照射しているが、熱レンズ形成素子から通常よりも大きい開き角度で出射する光を受光レンズで受光して平行光にコリメートする場合、この受光レンズの開口数(以下、NAと呼ぶ。)は、集光レンズのNAよりも大きくなるよう設定することが推奨される。更に受光レンズのNAは、集光レンズのNAの2倍以上が好ましい。ただし、集光レンズに入射するビーム半径  $r_0$  よりも集光レンズの有効開口半径  $a$  が大きい(すなわち  $a/r_0 > 1$ ) の場合は、集光レンズの実質的開口数は集光レンズの開口数よりも小さい。よって、受光レンズの開口数は、集光レンズ開口数ではなく集光レンズの実質的開口数よりも大きく、2倍以上に設定することが好ましい。受光レンズのNAを、集光レンズのNAの2倍以上とすることによって、信号光のビーム直径が熱レンズ形成素子へ入射する際の2倍以上まで拡大されても、損失なしに受光することが可能となる。

30

【0089】

[光吸収層膜の最適膜厚]

光吸収層膜を構成する1または2枚の光吸収膜の厚さを変えず、熱レンズ形成層の厚さを変えて試料を作製し、光学濃度一定で膜厚の異なる複数の熱レンズ形成素子について実験した結果、上記のようにして計算される共焦点距離  $Z_c$  の2倍を光吸収層膜の膜厚の上限としたとき、熱レンズ効果の光応答速度が充分高速になることが判った。

40

【0090】

光吸収層膜の膜厚の下限については、熱レンズ効果が発揮できる限りにおいて、薄ければ薄いほど好ましい。

【0091】

[保温層膜の膜厚]

保温層膜の膜厚には、光応答の大きさおよび/または速度を最大にするような最適値(下限値および上限値)が存在する。その値は熱レンズ形成素子の構成、光吸収層膜の材質お

50



よび厚さ、保温層膜の材質、伝熱層膜の材質および厚さなどに応じて、実験的に決定することができる。例えば、伝熱層膜として通常の硼硅酸ガラス、保温層膜および熱レンズ形成層の材質としてポリカーボネート、光吸収膜としてプラチナフタロシアニンの蒸着膜を用い、ガラス（伝熱層膜、膜厚 $150\mu\text{m}$ ）/ポリカーボネート樹脂層（保温層）/プラチナフタロシアニン蒸着膜（光吸収膜、膜厚 $0.2\mu\text{m}$ ）/ポリカーボネート樹脂層（熱レンズ形成層、膜厚 $20\mu\text{m}$ ）/プラチナフタロシアニン蒸着膜（光吸収膜、膜厚 $0.2\mu\text{m}$ ）/ポリカーボネート樹脂層（保温層）/ガラス（伝熱層膜、膜厚 $150\mu\text{m}$ ）という構成の熱レンズ形成素子を作成した場合、保温層膜の膜厚は好ましくは $5\text{nm}$ から $5\mu\text{m}$ であり、更に好ましくは $50\text{nm}$ から $500\text{nm}$ である。

【0092】

10

〔伝熱層膜の膜厚〕

伝熱層膜の膜厚にも、光応答の大きさおよび/または速度を最大にするような最適値（この場合は下限値）が存在する。その値は熱レンズ形成素子の構成、光吸収層膜の材質および厚さ、保温層の材質および厚さ、伝熱層膜の材質などに応じて、実験的に決定することができる。例えば、伝熱層膜として通常の硼硅酸ガラス、保温層膜および熱レンズ形成層の材質としてポリカーボネート、光吸収膜としてプラチナフタロシアニンの蒸着膜を用い、ガラス（伝熱層膜、膜厚 $150\mu\text{m}$ ）/ポリカーボネート樹脂層（保温層）/プラチナフタロシアニン蒸着膜（光吸収膜、膜厚 $0.2\mu\text{m}$ ）/ポリカーボネート樹脂層（熱レンズ形成層、膜厚 $20\mu\text{m}$ ）/プラチナフタロシアニン蒸着膜（光吸収膜、膜厚 $0.2\mu\text{m}$ ）/ポリカーボネート樹脂層（保温層）/ガラス（伝熱層膜、膜厚 $150\mu\text{m}$ ）という構成の熱レンズ形成素子を作成した場合、伝熱層膜の厚さの下限は、好ましくは $10\mu\text{m}$ 、更に好ましくは $100\mu\text{m}$ である。なお、伝熱層膜の膜厚の上限については光応答の大きさおよび/または速度からの制約はないが、用いられる集光レンズおよび受光レンズの方式、焦点距離および作動距離（ワーキングディスタンス）と整合させて設計する必要がある。

20

【0093】

【実施例】

以下、本発明の実施形態について、実施例を参照しながら詳細に説明する。

【0094】

〔実施例1〕

30

図1には、実施例1の光路切替装置の概略構成が示されている。図1の光路切替装置は、「制御光光源、ダイクロイックミラー、集光レンズ、熱レンズ形成素子、受光レンズ、および穴付ミラー」からなる光路切替ユニットを3段直列に連結した場合を例示したものである。光路切替ユニットの連結数は、原理的には1個以上であれば特に制限はないが、実際には、光路切替ユニット1段当たりの信号光の透過率、光路切替装置に入射する信号光の初期強度、および、最終的に必要な信号光強度から連結可能な段数が計算される。例えば、光路切替ユニット1段当たりの透過率が80%であれば、3段直列連結の場合の総合透過率は51%となる。

【0095】

以下、図1に示す3段直列構成の光路切替装置を例にして、詳細に説明する。なお、図1における集光レンズ31および熱レンズ形成素子1の部分抜き部分図を図2および図3に、更に受光レンズ41および穴付きミラー61を加えた部分図を図4に示す。図1ないし図4において、熱レンズ形成素子1を「伝熱層膜91/光吸収層膜92/伝熱層膜93」という3層構造として図示するが、これに限定されない。

40

【0096】

光ファイバー100からの入射信号光110をコリメートレンズ30でビーム半径 $5.0\text{mm}$ のほぼ平行光線になるようにしている。本実施例では、信号光の光源として、発振波長 $780\text{nm}$ の半導体レーザーを用いている。発振波長 $1350\text{nm}$ 、 $1550\text{nm}$ の半導体レーザー光を用いても良い。本実施例では、熱レンズ形成素子1, 2および3に各々熱レンズを形成させるための制御光121, 122および123の制御光光源21, 22

50

および23として、いずれも発振波長650nmの半導体レーザーを用い、制御光の断続によって信号光光路の切替を行っている。制御光121, 122および123は、いずれもビーム半径4.5mmの平行光線になるように、ビーム成形して用いている。制御光光源のレーザーパワーは、集光レンズ31, 32または33のいずれの手前においても2ないし10mWとしている。

【0097】

制御光121, 122および123、および、信号光110, 111および112を共通の集光レンズ31, 32および33で各々収束させて熱レンズ形成素子1, 2および3へそれぞれ照射している。制御光および信号光の各々のビームウエストが、熱レンズ形成素子中において互いに重なり合うように、信号光と制御光をダイクロイックミラー51, 52および53を用いて同一光軸、かつ、信号光と制御光が互いに平行になるように調整している。このようにすることによって、制御光ビームウエスト位置における光吸収によって形成された熱レンズ効果を、効率良く信号光の進行方向変更利用することが可能になる。

10

【0098】

レーザー光をレンズで集光すると、ビームウエスト(集光点; 焦点)での光強度分布は、ガウス分布となる。光吸収膜で吸収される波長帯域のレーザー光を制御光として、前記光吸収膜を含む熱レンズ形成素子に集光レンズを通して照射し、熱レンズ形成層を含む光吸収層膜中で収束させると、光吸収膜がレーザー光を吸収して熱レンズ形成層の温度が上昇し、その結果、屈折率が下がる。上記のようにガウス分布した光を照射すると、光強度の強いガウス分布の中心部分が収束されて照射されたところが「光吸収の中心」となり、その部分の温度が最も高く、かつ、屈折率が一番小さくなる。光吸収の中心部分から外周へ向けての光吸収が熱に変わり、更に周囲に伝搬される熱により熱レンズ形成層を含む光吸収層膜の屈折率が光吸収中心から外部へ向けて球状に変化して光吸収中心の屈折率が低く外部へ向けて屈折率が高くなる分布を生じ、これが凹レンズのように機能する。すなわち、光は、屈折率の大きいところよりも小さいところで、速度が大きく、したがって、光強度の強いガウス分布の中心部分が照射されたところを通過するときの光速は、光強度の弱いガウス分布の周辺部分が照射されたところを通過するときの光速よりも大きい。よって光は、光強度の弱いガウス分布の周辺部分が照射された方向に曲がる。これは、大気中の凹レンズと同じ動作である。

20

30

【0099】

本実施例では、熱レンズ形成素子1, 2および3を通過した信号光を受光レンズ41, 42および43でほぼ平行光にコリメートしている。この受光レンズの開口数(以下、NAと呼ぶ。)は、集光レンズのNAよりも大きくなるよう設定している。本実施例では、集光レンズのNAは0.25、受光レンズのNAは0.55を用いている。受光レンズのNAは、集光レンズのNAの2倍以上が好ましい。この関係が満足されれば、集光レンズとコリメートレンズのNAの組み合わせは、この実施例に限らない。受光レンズのNAを、集光レンズのNAの2倍以上とすることによって、信号光のビーム直径が熱レンズ形成素子へ入射する際の2倍以上まで拡大されても、損失なしに受光することが可能となる。なお、本実施例では集光レンズと受光レンズの焦点距離は同一とし、集光レンズの有効直径は約10mmのものを用いた。

40

【0100】

受光レンズ41, 42および43でコリメートした信号光を穴付ミラー61, 62および63に入射させている。後に詳細に説明するように、この穴付ミラーを設けることで信号光の光路を切り替えることが可能となる。

【0101】

光吸収層膜の吸収帯域にある波長の制御光と透過帯域の波長である信号光とを、図2(a)に示すように熱レンズ形成素子1の光吸収層膜の入射面に近い位置5において焦点を結ぶように同時に照射すると、図3(a)に示すように制御光により入射面に近い位置に形成された熱レンズ50により、信号光は断面がリング状に拡がるように拡散された出射光

50

201として通常の出射光200よりも大きい開き角度で出射する。一方、図2(b)に示すように熱レンズ形成素子の光吸収層膜の出射面に近い位置6において焦点を結ぶように同時に照射すると、図3(b)に示すように制御光により出射面に近い位置に形成された熱レンズ60により、信号光は収束された出射光117として出射する。図2(a)および図2(b)のいずれの場合も、制御光を照射しないと、図3(a)および図3(b)に点線で示すように信号光は熱レンズ50または60の影響を受けることなく、信号光のみが通常の開き角度の出射光200として出射する。

#### 【0102】

このような熱レンズ効果を調べるため、熱レンズ効果の有無と集光点位置の相違に対応した信号光ビーム断面における光強度分布の相違の測定を行った。すなわち、図1または図4に概要を示す装置において、受光レンズ41の開口数0.55、集光レンズ31の開口数0.25とし、穴付きミラー61の代わりに図7に概要を示すような光強度分布測定器700を設置し、熱レンズ形成素子1を透過した信号光ビームの全てを受光レンズ41で受光し、平行光線として前記光強度分布測定器の受光部701(有効直径20mm)へ入射させ、信号光ビーム断面の光強度分布を測定した。測定結果を図8、図9、および、図10に示す。ここで、光強度分布測定器は、図7に示すように、受光部701(有効直径20mm)に対して幅1mmの第一のスリット702を設け、第一のスリットの長さ方向、すなわち図7において点710から点720の向きに、幅25 $\mu$ mの第二のスリット703を一定速度で移動させて、2枚のスリットが作る1mm $\times$ 25 $\mu$ mの長方形の窓を通過した光の強度を、前記窓の移動位置に対応させて測定する装置である。前記窓の移動位置に対応させて光強度を測定するには、例えば、第二のスリット703の移動速度に同期させたストレージオシロスコープ上に、前記窓を通過した光を受光した検出器の出力を記録すれば良い。図8～図10は、以上のようにして、ストレージオシロスコープ上に記録された信号光の光ビーム断面についての光強度分布を示すものであり、横軸(光ビーム断面内の位置)は受光部701の中心を0として、図7の点710を負方向、点720を正方向と座標を定めて表した位置に対応し、縦軸は光強度を表す。

#### 【0103】

図8は、図4(a)の場合に対応し、熱レンズ形成素子1に制御光が入射せず、信号光のみが入射した場合の前記信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の強度が強く、周辺にいくにしたがって強度が弱まる分布(おおむね「ガウス分布」)である。したがって、この場合に十分な大きさの穴161を有する穴付きミラー61が図4(a)のように設置されていると、信号光ビーム111の全てが穴付きミラーの穴161を通過することができる。ここで、平行光として集光レンズ31(焦点距離 $f_1$ )へ入射する信号光のビーム直径を $d_1$ 、受光レンズ41(焦点距離 $f_2$ )によって平行光とされた信号光ビーム111のビーム直径を $d_2$ とすると、

#### 【数6】

$$f_1 : f_2 = d_1 : d_2 \quad \dots [5]$$

であるから、 $d_2$ は次の式によって求めることができる。

#### 【0104】

#### 【数7】

$$d_2 = (f_2 / f_1) \times d_1 \quad \dots [6]$$

#### 【0105】

穴付きミラー61は、本実施例1では、信号光の光軸と45度の角度をもって設置されている。また、穴161を通過する信号光の断面は円形である。したがって、穴161の形状は短径 $D_1$ 、長径 $D_2$ の楕円である必要があり、 $D_1$ と $D_2$ は次の式[7]の関係にある。

#### 【0106】

#### 【数8】

$$D_2 = D_1 \times 2 \quad \dots [7]$$

#### 【0107】

ここで、穴付きミラー61の楕円形穴161の短径 $D_1$ は、式[6]から求められる信号

10

20

30

40

50

光ビーム 1 1 1 のビーム直径  $d_2$  よりも大きければ良い。ただし、 $D_1$  が大きすぎると制御光の照射によってリング状に拡大された信号光の一部も通過してしまう。すなわち、 $D_1$  の最適値は  $d_2$  の 1.02 倍ないし 1.2 倍であり、より好ましくは 1.01 倍ないし 1.1 倍である。

【0108】

本実施例 1 において、集光レンズ 3 1 の焦点距離  $f_1$  と受光レンズ 4 1 の焦点距離  $f_2$  は同一とした。したがって、集光レンズ 3 1 に入射する信号光 1 1 0 のビーム直径  $d_1$  と受光レンズによって平行光とされた信号光 1 1 1 のビーム直径  $d_2$  は同一であり、前述のように 10 mm である。したがって、本実施例 1 における穴付きミラー 6 1 の楕円形穴 1 6 1 の短径  $D_1$  は 10.2 mm ないし 12 mm が好ましく、より好ましくは 10.1 mm ないし 11 mm であり、実際には 10.5 mm とした。 $D_2$  は式〔7〕から 14.8 mm である。また、ミラーのサイズは、直径 30 mm のビームを 45 度反射可能な大きさ (50 m m 角) のものを用いた。

10

【0109】

図 9 は、焦点 (集光点) を熱レンズ形成素子 1 の集光レンズ 3 1 に近い位置 5 (光の入射側) に設定し、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合の光強度分布は、中心部分の光強度が弱く、周辺でリング状に光強度が増大する分布になっている。信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および熱レンズ形成素子 1 と焦点の位置関係に依存して減少し、制御光強度が増すにしたがって、ゼロに近づいていく。また、信号光強度の極大位置は、元のビーム直径よりも大きな値 (直径約 15 mm ) であった。

20

【0110】

図 10 に対応する熱レンズ効果の利用については、実施例 2 に記載する。

【0111】

以上、まとめると、図 3 (a) の光学配置において、制御光照射の有無に対応して、熱レンズ形成素子を通じた信号光のビーム断面の光強度分布が図 9 のリング状分布 (制御光照射の場合) と図 8 のガウス分布 (制御光非照射の場合) の間で切り替えられ、これを、信号光ビーム断面の光強度分布の形状に適合した穴付きミラーによって、それぞれ別個に取り出すことによって、信号光の光路の切替が可能となる。

【0112】

穴付きミラー 6 1 は、本実施例 1 では、信号光の光軸と 45 度の角度をもって設置されている。穴付きミラー 6 1 のミラー面は、ガラス面上にアルミニウム膜をスパッターまたは蒸着して作成した。穴付きミラー 6 1 の穴 1 6 1 の部分は、ガラスに楕円状の穴を、45 度傾けて開けて作成した。穴を開ける替わりに、楕円状にアルミニウム反射膜を付けなくても良いが、ガラス面には反射が数%あって信号光の減衰かつクロストークが起こるので、穴を開ける方が好ましい。また、反射膜は、アルミニウムに限らず、用いる制御光と信号光に反射がある材料であれば良く、金、銀等でも良い。

30

【0113】

光路切替によって、信号光本来の進行方向から 90 度方向変換して取り出した信号光 (スイッチ信号光) 2 1 1, 2 1 2 および 2 1 3 は、集光レンズ 7 1, 7 2 および 7 3 で集光して光ファイバー 1 1, 1 2 および 1 3 に入射させている。

40

【0114】

制御光の光源 2 1, 2 2 および 2 3 の全てが消灯している場合、信号光は熱レンズ効果を受けず、信号光 1 1 1, 1 1 2、次いで 1 1 3 として出射する。出射信号光 1 1 3 を集光レンズ 4 0 によって集光して光ファイバー 1 0 1 に入射させている。

【0115】

なお、光ファイバー 1 1, 1 2, 1 3、または、1 0 1 の代わりに検出器等に入射させて、情報を電気信号に変換して取り出しても良い。

【0116】

ここで、熱レンズ形成素子 1, 2 および 3 における制御光の透過率が 0% でない限り、透

50

過率に相当する分の制御光も熱レンズ形成素子 1, 2 および 3 を透過し、出射して来る。この制御光が後段の熱レンズ形成素子に入射して誤動作ないしクロストークを起こすことを避けるため、熱レンズ形成素子 1, 2 および 3 における制御光の透過率を 0% に限りなく近づける必要がある。更に、熱レンズ形成素子 1, 2 および 3 の後ろまたは集光レンズ 4 1, 4 2, および 4 3 の後ろに波長選択透過フィルター（図示せず）を、設けることが好ましい。これらの波長選択透過フィルターとしては、制御光の波長帯域の光を完全に遮断し、一方、信号光の波長帯域の光を効率良く透過することのできるような波長選択透過フィルターであれば、公知の任意のものを使用することができる。例えば、色素で着色したプラスチックやガラス、表面に誘電体多層蒸着膜を設けたガラスなどを用いることができる。このような波長選択透過フィルター用材料からなる薄膜を集光レンズ 4 1, 4 2, および 4 3 の表面に塗工法、スパッタリング法などの手法で形成し、前記波長選択透過フィルターとしての機能を発揮させても良い。

10

#### 【0117】

本実施例の光路切替装置は、「制御光光源、ダイクロイックミラー、集光レンズ、熱レンズ形成素子、受光レンズ、および穴付ミラー」からなる光路切替ユニットを 3 段直列に連結したものである。したがって、制御光を全て消灯している場合は信号光は直進して光ファイバー 1 0 1 へ入射するのに対し、制御光 2 1 を点灯した場合は信号光 2 1 1 が光ファイバー 1 1 へ、制御光 2 1 を消灯し制御光 2 2 を点灯した場合は信号光 2 1 2 が光ファイバー 1 2 へ、更に、制御光 2 1 および 2 2 を消灯し制御光 2 3 を点灯した場合は信号光 2 1 3 が光ファイバー 1 3 へ、光路が切り替えられて出射する。

20

#### 【0118】

本実施例 1 で用いている熱レンズ形成素子 1 を図 6 では熱レンズ形成素子 6 0 0 としてその概略構成を表す断面図を示す。熱レンズ形成素子 6 0 0 へ信号光 6 0 8 および制御光 6 0 9 が集光レンズ 6 1 0 によって集光されて照射される。なお、図 6 に示す制御光 6 0 9 の光線は模式的なものであり、各層膜間における屈折を省略している。

#### 【0119】

図 6 に示す伝熱層膜 6 0 1 / 光吸収膜 6 0 3 / 熱レンズ形成層 6 0 5 / 光吸収膜 6 0 4 / 伝熱層膜 6 0 2 という構成の熱レンズ形成素子 6 0 0 は、例えば以下の手順で作成することができる。

#### 【0120】

真空蒸着装置にゲート弁を経由して接続された基板洗浄用真空容器の内部に中心波長 1 8 5 n m、出力 5 W の紫外線ランプを 2 灯および中心波長 2 5 4 n m、出力 5 W の紫外線ランプ 2 灯を、紫外線が基板表面に照射されるような配置で取り付け、基板（伝熱層膜 6 0 1 および 6 0 2）としてガラス板（2 4 m m × 3 0 m m × 0 . 1 5 m m）を 1 枚以上、搬入した後、真空容器内部に、大気圧下、直径 0 . 0 5 μ m の微粒子を 1 0 0 % 捕集するガスフィルターを通過させた清浄な窒素ガスを満たして、内部に浮遊粉塵（直径 0 . 1 μ m 以上）および汚染性ガスが検出されなくなるまで雰囲気的清浄化してから直径 0 . 0 5 μ m の微粒子を 1 0 0 % 捕集するガスフィルターを通過させた酸素ガスを導入し、酸素濃度を 6 0 % 以上まで高めてから紫外線ランプを点灯し、1 時間に渡り、基板表面の紫外線照射処理およびオゾン処理を行った。以上の浄化処理終了後、基板洗浄用真空容器内部を排気し、 $10^{-4}$  Pa 以下の高真空状態にしてから、同じく  $10^{-4}$  Pa 以下の高真空状態の真空蒸着装置内へ基板を移送した。予め蒸着源に導入しておいたプラチナフタロシアニン（組成式  $C_{32}H_{16}N_8Pt$ ）を抵抗線によって加熱し、6 0 0 °C まで加熱して、上記基板上へ真空蒸着した。基板温度の制御は特に行わなかった。蒸着の進行を水晶振動子式膜厚計でモニターし、膜厚が 0 . 2 μ m に到達した時点で蒸着源のシャッターを閉じ、蒸着を終了した。

30

40

#### 【0121】

このようにして基板上に作成した蒸着膜表面の走査型電子顕微鏡写真を撮影したところ、上記条件で真空蒸着したプラチナフタロシアニンは外径 3 0 ないし 5 0 n m の粒子状態で存在していることが判った。この粒子径は本実施例 1 における信号光の波長（7 8 0 n m

50

）および制御光の波長（633 nm）の1/10未満であり、光散乱を起こさない大きさである。

【0122】

一方、ポリカーボネート樹脂（帝人化成製パンライトL1250（登録商標））1gをジクロロメタン19gに溶解した溶液を攪拌しながらn-ヘキサン300ml中へ注ぎ、析出した樹脂小塊を濾過し、n-ヘキサン30mlにて洗浄し、清浄な空气中で溶剤を除去し、粒子外径が50μm未満の微粉末になるよう粉碎した。このポリカーボネート樹脂微粉末を $10^{-4}$  Pa以下の高真空容器中、徐々に加熱して100 から120 の温度範囲で48時間、脱気処理した。

【0123】

清浄な雰囲気下、先に作成したガラス基板上のプラチナフタロシアン蒸着膜の上に、高真空脱気処理した樹脂微粉末を散布し、その上にもう1枚のガラス基板上のプラチナフタロシアン蒸着膜を重ねて置き、これを高真空容器内に設置した加熱ステージ上に置き、 $10^{-4}$  Pa以下まで排気し、240ないし260 まで加熱し、一方、240ないし260 まで加熱した加圧板を押しつけ、5 kgf/cm<sup>2</sup> の圧力で真空ホットプレスを行った。

【0124】

以上の手順によって、ガラス（伝熱層膜601、膜厚150μm）/プラチナフタロシアン蒸着膜（光吸収膜603、膜厚0.2μm）/ポリカーボネート樹脂層（熱レンズ形成層605、膜厚20μm）/プラチナフタロシアン蒸着膜（光吸収膜604、膜厚0.2μm）/ガラス（伝熱層膜602、膜厚150μm）という構成の積層型熱レンズ形成素子を作成した。この熱レンズ形成素子の透過率は、波長780nmの信号光について81%、波長633nmの制御光について0.09%（事実上0%）であった。

【0125】

なお、熱レンズ形成層の膜厚は、樹脂粉末の散布量、加熱温度および加圧処理時間（数分から数時間）を調整することによって、制御した。

【0126】

本実施例1の光路切替装置の光応答速度を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光を周波数数Hzから100kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の大小を比較した。

【0127】

図1に示す制御光光源21からの制御光121を光検出器に導いてオシロスコープ上で測定した制御光の波形1210および制御光121の明滅に対応して光路切替された信号光211を光検出器に導いてオシロスコープ上で測定した信号光の波形2110を図13および図14に示す。なお、図14の縦軸は図13の場合の3倍に拡大されている。また、制御光121を断続する矩形波の周波数を200Hzないし100kHzに設定し、そのときの信号光の断続に対応する信号光の波形2110の振幅Lを測定した結果を図15に示す。

【0128】

図13において制御光121（図1）を断続する矩形波の周波数500Hzであり、このときの信号光の断続に対応する信号光の波形2110の振幅Lを基準の1とすると、制御光121（図1）を断続する矩形波の周波数範囲0.2から2kHzにおいて、振幅Lは、ほぼ1であった。すなわち、500マイクロ秒で完全な光路切替が可能であることが確認された。これは、電気ヒーターを用いた熱光学効果を用いた光スイッチ（応答速度はミリ秒オーダー）に比べ、2倍以上の高速応答である。

【0129】

更に周波数を高めた場合の例として、周波数20kHzにおける信号光の波形2110を図14に示す。図14から判るように熱レンズ効果による光路切替が完了しない内に制御光を消灯すると、信号光の波形はのこぎりの刃状になり、振幅Lは小さくなっていく。すなわち、熱レンズ効果の応答速度を超えると光路の切替は不完全になり、信号光の一部は

10

20

30

40

50

光路切替されずに直進する。

【0130】

本実施例1の光路切替装置の耐久性を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光を周波数数1kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の時間を比較した。その結果、連続1万時間経過しても、信号光の強度振幅は減衰しなかった。

【0131】

本実施例1の光路切替装置の偏波依存性を検証するため、信号光および制御光に1枚の偏光素子を挿入し、偏光角を種々変化させる実験を行ったが、偏波依存性は全く認められなかった。

【0132】

[実施例2]

信号光ビーム断面における光強度分布の一例を表す図10は、図3(b)および図11(b)に示すような光学配置の場合に対応し、焦点(集光点)を図2(b)に示す熱レンズ形成素子1の受光レンズ41に近い位置6(光の出射側)に設定し、制御光を照射したときの信号光ビーム断面の光強度分布である。この場合は、中心部分の光強度が、制御光を照射しない場合の中心部分の光強度(図8)より強くなっている。この場合、信号光ビーム断面の中心部の光強度は、制御光強度および熱レンズ形成素子1と焦点6との位置関係に依存するが、制御光非照射時の数倍にも達する。

【0133】

したがって、この場合に穴付きミラー61が設置されていると、信号光ビームの大部分が穴付きミラーの穴161を通過する。ここで、穴付きミラー61の穴161の大きさが最適化(本実施例2の場合、直径2mm)されていると、穴付きミラー61によって反射される信号光を事実上ゼロにすることができる。しかしながら、穴付きミラー61の穴161の大きさを最適化しても、制御光を照射しない場合(図4(a)、図8)において、図11(a)に示すような信号光の中心部分が穴161を漏れ信号光116として通過してしまうことは防げない。すなわち、本実施例2の光路切替装置においては、信号光ビーム断面の光強度分布がガウス分布ないしガウス分布に近い場合、必ず、ある程度の漏れ信号光116(クロストーク)が発生する。

【0134】

しかるに、熱レンズ形成素子へ入射する信号光ビーム断面の光強度分布を変更することによって、このような漏れ信号光を事実上ゼロにすることができる。すなわち、図1に示すように、光ファイバー100から出射した信号光110をコリメートレンズ30を用いて整形する際、レンズの形状(例えば、円錐形レンズの利用)または構成(凸レンズと凹レンズの組み合わせ)を工夫することで信号光ビーム断面の光強度分布を図9に相当するようなリング状の分布にすることが容易にできる。このような断面光強度分布の信号光110を集光レンズ31にて焦点位置6(図11(a))を通過するように収束して熱レンズ形成素子1を透過させた後、受光レンズ41で平行光線に戻すと、その光ビーム断面の光強度分布は図9に相当するように周辺部分で強く、中心部分が事実上ゼロの「リング状」となるため、穴付きミラー61を設置した場合、その穴161を通過する信号光のモレを事実上、なくすることができる。信号光ビーム断面の光強度分布がこのように「リング状」であっても、図4(b)のように制御光を照射して熱レンズ60を過渡的に形成させた場合には、信号光ビーム断面の光強度分布は鋭いビーム状の直進収束出射信号光111として穴付きミラー61の穴161を通過していく。

【0135】

図11に例示するような光学配置において、制御光および信号光の焦点が熱レンズ形成素子の出射側に近い位置6になるよう調整し、更に信号光ビーム断面の光強度分布をリング状にすることによって、制御光非照射のとき、信号光本来の進行方向から90度、光路を切り替えて信号光を出射させること、また、制御光照射時に信号光を直進させることができる。

10

20

30

40

50

## 【0136】

本実施例2の光路切替装置の光応答速度を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光を周波数数Hzから100kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の大小を比較した。その結果、1Hzのときの信号光の強度振幅を基準として、2kHzまで、強度振幅は変化せず、更に周波数を高めた場合、強度振幅は徐々に減衰し、10kHzのとき半減した。すなわち、500マイクロ秒で完全な光路切替が可能であることが確認された。これは、電気ヒーターを用いた熱光学効果を用いた光スイッチに比べ、2倍以上の高速応答である。

## 【0137】

本実施例2の光路切替装置の耐久性を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光を周波数数1kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の時間を比較した。その結果、連続1万時間経過しても、信号光の強度振幅は減衰しなかった。

## 【0138】

## [実施例3]

実施例1における穴付きミラー61の設置角度(信号光110の光軸に対して45度)を変更し、楕円状穴161の形状(短径に対する長径の長さ)を設置角度に基づいて三角関数を用いて計算して決定することによって、信号光110の光軸に対する光路切替の角度を、おおよそ5度から175度の範囲で自由に変更することができる。

## 【0139】

また、信号光110の光軸を回転軸として、穴付きミラー61の設置位置を回転し、集光レンズ71等の位置を移動することによっても、信号光110の光軸に対する光路切替の方向を、0から360度の範囲で自由に変更することができる。

## 【0140】

## [実施例4]

実施例1におけるプラチナフタロシアニン蒸着膜を光吸収層膜とした熱レンズ形成素子の代わりに、次に記載の方法で作成される熱レンズ生成素子を用いた他は実施例1と同様にして、本実施例4の光路切替装置を作成し、光路切替方法を試みたところ、実施例1の場合と同等以上の結果を得ることができた。

## 【0141】

まず、テトラアミノ銅フタロシアニンを濃塩酸中でジアゾ化し、そこへ、メタクリル酸メチル、メタクリル酸ブチル、および、メタクリル酸2-ヒドロキシエチルのモノマー混合物(モル比4:1:1)を加え、徐々に加熱して銅フタロシアニンを含有する重合体結合色素を合成した(全重量中の銅フタロシアニン部分の重量約60%)。これを2-ブタノンに溶解し、酸および不溶解物質を除去した後、空气中に曝して活性度を低下させたアルミナ(平均粒子径約50 $\mu$ m)を充填剤としたカラムに2-ブタノンを溶剤として展開し、精製した。この重合体結合色素をジクロロメタン中でポリカーボネート樹脂と混合し、樹脂に対する重合体結合色素の含有量0.5重量%の混合物を得、溶剤を除去し、微粉末状に粉碎した後、 $10^{-4}$ Pa以下の高真空状態において室温から200 $^{\circ}$ Cまで徐々に昇温して脱気処理した。

## 【0142】

一方、真空蒸着装置にゲート弁を經由して接続された基板洗浄用真空容器の内部に中心波長185nm、出力5Wの紫外線ランプを2灯および中心波長254nm、出力5Wの紫外線ランプ2灯を、紫外線が基板表面に照射されるような配置で取り付け、基板(伝熱層膜601および602)としてガラス板(24mm $\times$ 30mm $\times$ 0.15mm)を1枚以上、搬入した後、真空容器内部に、大気圧下、直径0.05 $\mu$ mの微粒子を100%捕集するガスフィルターを通過させた清浄な窒素ガスを満たして、内部に浮遊粉塵(直径0.1 $\mu$ m以上)および汚染性ガスが検出されなくなるまで雰囲気的清浄化してから直径0.05 $\mu$ mの微粒子を100%捕集するガスフィルターを通過させた酸素ガスを導入し、酸素濃度を60%以上まで高めてから紫外線ランプを点灯し、1時間に渡り、基板表面の紫

10

20

30

40

50



外線照射処理およびオゾン処理を行った。以上の浄化処理終了後、基板洗浄用真空容器内部を排気し、 $10^{-4}$  Pa 以下の高真空状態にしてから、同じく  $10^{-4}$  Pa 以下の高真空状態の真空ホットプレス装置内へ基板を移送した。

【0143】

表面を浄化した上記ガラス板2枚の間に、上記の銅フタロシアニン含有重合体結合色素とポリカーボネートの混合粉末を置き、 $10^{-4}$  Pa 以下の高真空状態において250℃にて、ホットプレス加工を行った後、室温まで冷却した。

【0144】

以上の手順によって、ガラス(伝熱層膜601、膜厚150 $\mu$ m)/銅フタロシアニン含有重合体結合色素とポリカーボネートの混合物からなる光吸収層膜兼熱レンズ形成層(膜厚25 $\mu$ m)/ガラス(伝熱層膜601、膜厚150 $\mu$ m)という構成の熱レンズ形成素子を作成した。

10

【0145】

本実施例4の光路切替装置の光応答速度を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光を音響光学素子によって周波数数Hzから100kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の大小を比較した。その結果、1Hzのときの信号光の強度振幅を基準として、3kHzまで、強度振幅は変化せず、更に周波数を高めた場合、強度振幅は徐々に減衰し、12kHzのとき半減した。すなわち、333マイクロ秒で完全な光路切替が可能であることが確認された。これは、電気ヒーターを用いた熱光学効果を用いた光スイッチに比べ、3倍以上の高速応答である。

20

【0146】

本実施例4の光路切替装置の耐久性を測定するため、信号光を連続光とし、一方、制御光を音響光学素子によって周波数数1kHzで、デューティ比1:1の矩形波断続光線として照射し、光路切替された信号光の強度振幅の時間を比較した。その結果、連続2万時間経過しても、信号光の強度振幅は減衰しなかった。

【0147】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したように、本発明によって、電気回路や機械的可動部分を用いずに、耐久性の高い、偏波依存性のない、光路切替の角度および方向を自由に設定可能な、信号光の光強度減衰が少なく多重連結使用が可能で、充分実用的な応答速度の光路切替装置および光路切替方法を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施例1の光路切替装置の概略構成図である。

【図2】 熱レンズが形成されない場合の光の進み方を示した図である。

【図3】 熱レンズが形成された場合の光の進み方を示した図である。

【図4】 実施例1における光路切替の原理を示した模式図である。

【図5】 熱レンズ形成素子の構成例を例示した断面図である。

【図6】 熱レンズ形成素子の構成例を例示した断面図である。

【図7】 信号光ビーム断面の光強度分布測定に用いたスリットと光ビームとの関係を示す図である。

40

【図8】 信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図9】 信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図10】 信号光のビーム断面の光強度分布を表した図である。

【図11】 実施例2における光路切替の原理を示した模式図である。

【図12】 集光レンズなどで収束されたガウスビームの焦点近傍における様子を表した模式図である。

【図13】 オシロスコープで観察した制御光および信号光の波形を表した図である。

【図14】 オシロスコープで観察した制御光および信号光の波形を表した図である。

【図15】 制御光を断続する周波数と光路切替された信号光の強度(振幅)の関係を表した図である。

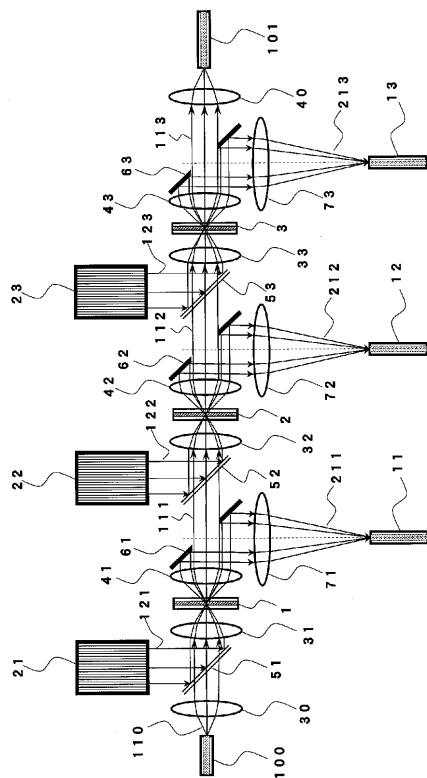
50

【符号の説明】

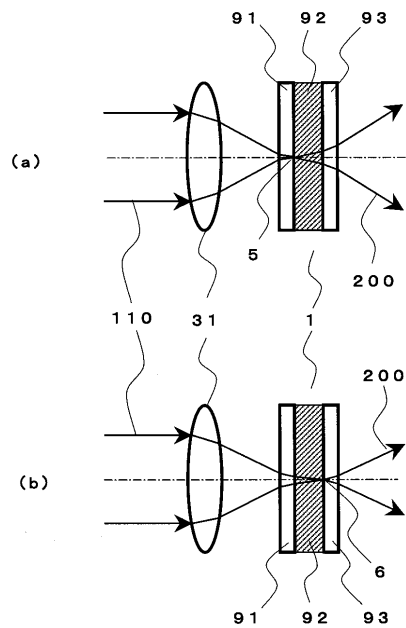
1, 2, 3 熱レンズ形成素子、5, 6 ビームウエスト(焦光点)、11, 12, 13 光路切替後の出射信号光ファイバー、21, 22, 23 制御光光源、30 コリメートレンズ、31, 32, 33 集光レンズ、40 直進出射信号光の集光レンズ、41, 42, 43 受光レンズ、50 入射側熱レンズ、51, 52, 53 ダイクロイックミラー、60 出射側熱レンズ、61, 62, 63 穴付ミラー、71, 72, 73 光路切替後の出射信号光集光レンズ、91 伝熱層膜、92 光吸収層膜、93 伝熱層膜、100 入射信号光の光ファイバー、101 直進出射信号光の光ファイバー、110 入射信号光、111, 112, 113 直進信号光、116 漏れ信号光、117 収束直進信号光、121, 122, 123 制御光、141, 142, 143 波長選択透過フィルタ、161 穴付きミラーの穴、200 通常の開き角度の出射信号光、201 リング状に広がる出射信号光、211, 212, 213 光路切替後の出射信号光、300 波面、301 焦点(集光点)、500 熱レンズ形成素子、501 伝熱層膜、502 伝熱層膜、503 光吸収膜、504 光吸収膜、505 熱レンズ形成層、506 光透過層、507 屈折率分布型レンズ、508 信号光、509 制御光、600 熱レンズ形成素子、601 伝熱層膜、602 伝熱層膜、603 光吸収膜、604 光吸収膜、605 熱レンズ形成層、608 信号光、609 制御光、610 集光レンズ、700 光強度分布測定器、1210 制御光の波形、2110 信号光の波形。

10

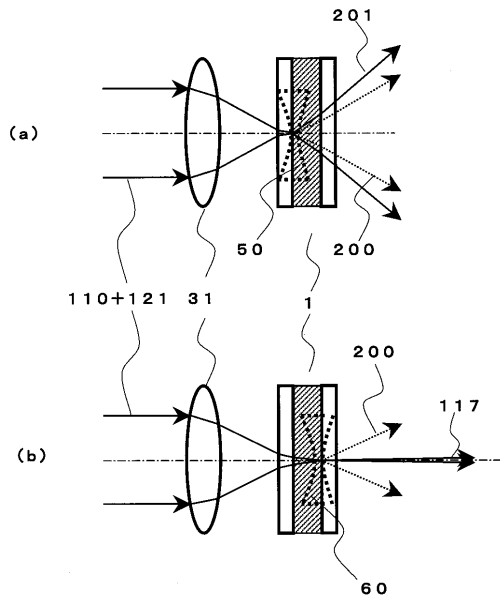
【図1】



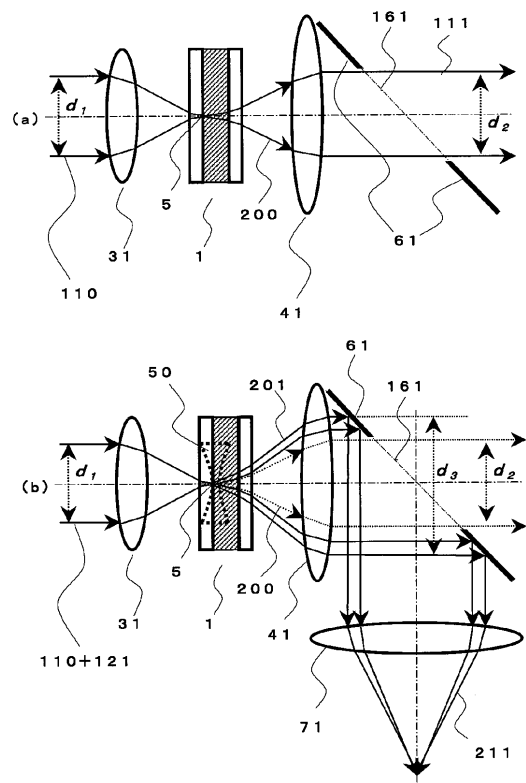
【図2】



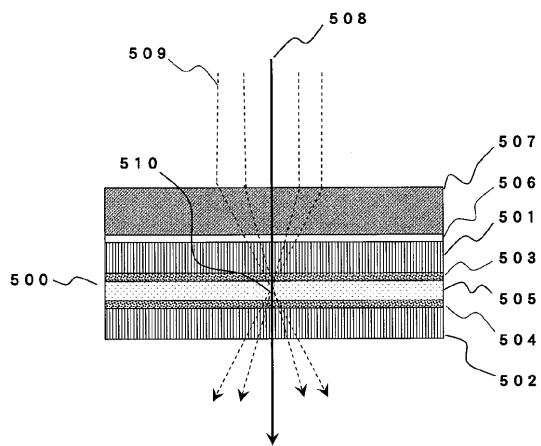
【 図 3 】



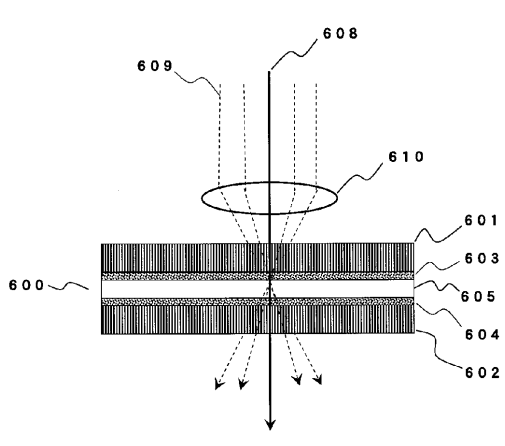
【 図 4 】



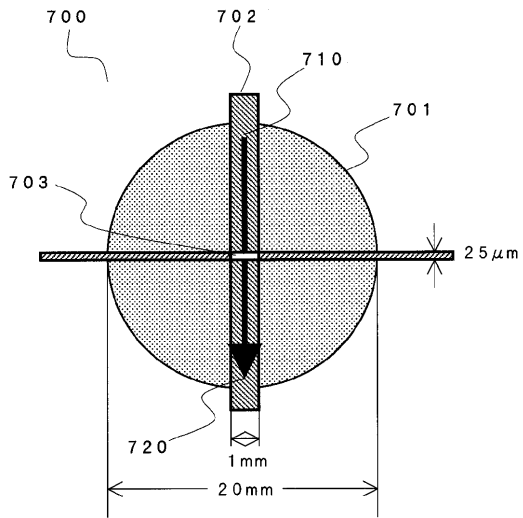
【 図 5 】



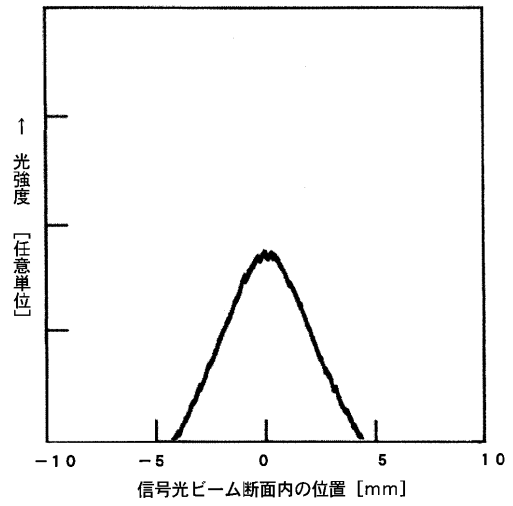
【 図 6 】



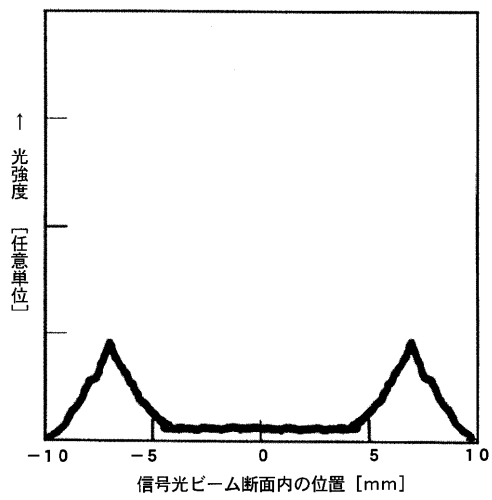
【 図 7 】



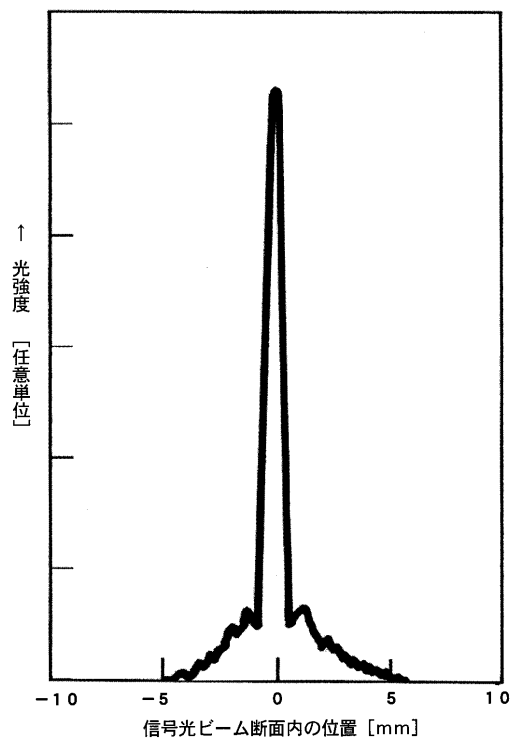
【 図 8 】



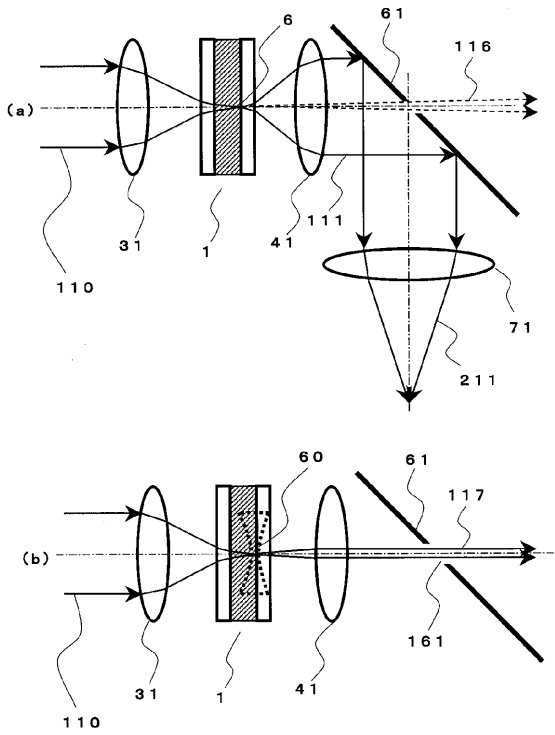
【 図 9 】



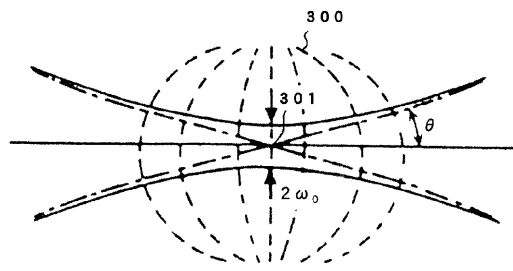
【 図 10 】



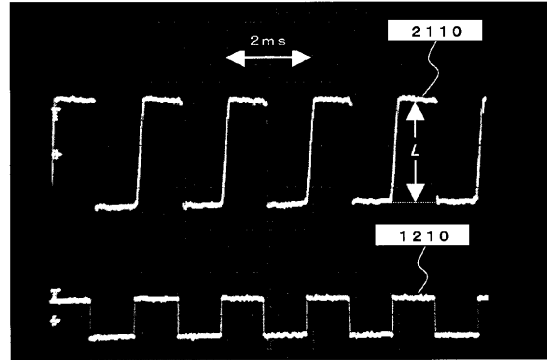
【 図 1 1 】



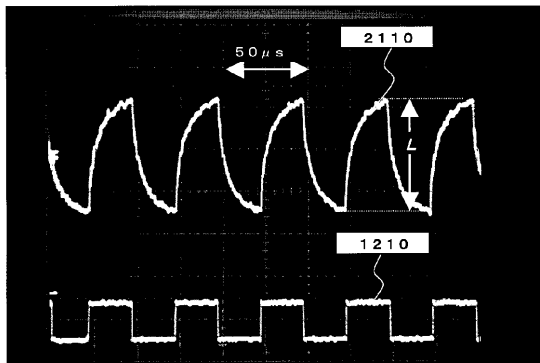
【 図 1 2 】



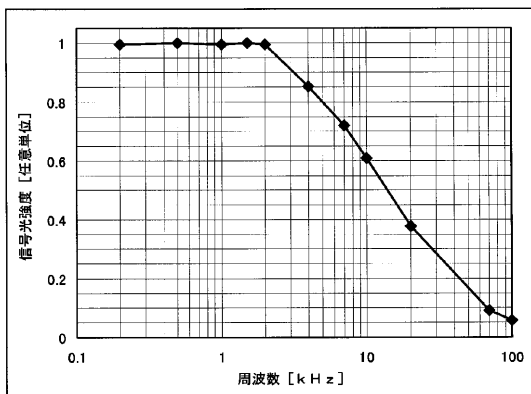
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



## フロントページの続き

- (72)発明者 平賀 隆  
大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内
- (72)発明者 溝黒 登志子  
大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内
- (72)発明者 山本 典孝  
大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内
- (72)発明者 望月 博孝  
大阪府池田市緑丘1丁目8番31号 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター内
- (72)発明者 田中 教雄  
東京都中央区日本橋馬喰町1丁目7番6号 大日精化工業株式会社内

審査官 河原 正

- (56)参考文献 特開平11-52435(JP,A)  
特開平11-119174(JP,A)  
藤原祺多夫他, レーザ誘起熱レンズ効果とその比色法への応用, 化学, 日本, 化学同人, 1981年, Vol.36, No.6, p.432-438  
L.C.M.Miranda, On the use of the Thermal Lens Effect as a Thermo-Optical Spectroscopy of Solids, Applied Physics A, 米国, Institute of Physics, 1983年, Vol.32, p.88-93

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/29-1/335  
G02F 1/00-1/125  
H04B 10/00  
JST7580(JDream2)  
JSTPlus(JDream2)