(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5109076号
(P5109076)

(45)発行日　平成24年12月26日(2012.12.26)　(24)登録日　平成24年10月19日(2012.10.19)

(51)Int.Cl.　　F I
G02B 5/18 (2006.01)　　G02B 5/18
C03C 23/00 (2006.01)　　C03C 23/00　D

請求項の数 1　(全 18 頁)

(21)出願番号　特願2005-206265 (P2005-206265)
(22)出願日　平成17年7月15日 (2005.7.15)
(65)公開番号　特開2007-25177 (P2007-25177A)
(43)公開日　平成19年2月1日 (2007.2.1)
審査請求日　平成20年7月15日 (2008.7.15)

(73)特許権者　000240477
並木精密宝石株式会社
東京都足立区新田３丁目８番２２号
(72)発明者　柴田　大輔
秋田県湯沢市愛宕町４丁目６番５６号　並木精密宝石株式会社秋田湯沢工場内
(72)発明者　中谷　隆幸
東京都足立区新田３丁目８番２２号　並木精密宝石株式会社内
(72)発明者　武田　秀俊
東京都足立区新田３丁目８番２２号　並木精密宝石株式会社内
(72)発明者　畑澤　亮仁
秋田県湯沢市愛宕町４丁目６番５６号　並木精密宝石株式会社秋田湯沢工場内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】屈折率制御型回折光学素子及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
シリカガラスまたは単結晶サファイヤの内部に書き込まれる２次元的な屈折率分布を有する回折光学素子であって、
当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤに屈折率ｎ１，幅ｄ１を有する第１の屈折率領域が形成され、
以下、２≦ｉ≦ｘにおけるｉの各整数値について、屈折率ｎｉ（ｎｉ≠ｎｉ－１とする），幅ｄｉを有する第ｉの屈折率領域が、第（ｉ－１）の屈折率領域について第（ｉ－２）の屈折率領域とは反対側に（ｉ＝２のときは任意の側に）隣接して形成されており、
第１の屈折率領域が、当該第ｘの屈折率領域について第（ｘ－１）の屈折率領域とは反対側に隣接しており、
第１～第ｘの屈折率領域の屈折率が、ｎ１からｎｘに至るまで、一定値ずつ漸増又は漸減し、
当該回折光学素子がバイナリレンズとして用いられるものであり、
当該２次元的な屈折率分布が，第１～第ｘの屈折率領域が屈折率の小さい順又は大きい順に同心円状に並ぶような繰返しパターンを有するものであって、
当該同心円の中央には、第ｊ（１≦ｊ≦ｘ）の屈折率領域が第１の同心円を外周とした円形に形成されており、
以下、（１）１≦ｉ≦（ｘ－１）の場合には、第ｉの屈折率領域の外周

に隣接して第（ｉ ＋ １） の屈折率領域がリング状に形成され、
（２） ｉ ＝ ｘ の場合には、第ｉ の屈折率領域の外周に隣接して、第１ の屈折率領域がリング状に形成されており、
当該第１ ～ 第ｘ の屈折率領域の幅ｄ１～ ｄｘが当該リングの内周と外周との半径の差であり、同心円の中央からｍ 番目のリングの内周の半径及び（ ｍ － １ ） 番目のリングの外周の半径を表す半径ｒ が、レンズの焦点距離をｆ ， 回折させる光の波長λ として、以下の式

$$r = \sqrt{\frac{2fm\lambda}{L} - \left(\frac{m\lambda}{L}\right)^2}$$

で表されることを特徴とする、屈折率制御型回折光学素子。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、透明材料の内部に形成し、屈折率を変化させた領域の相互間、もしくは屈折率を変化させた領域と屈折率を変化させない領域との間における回折現象を利用した屈折率制御型回折光学素子及びその製造方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
透明材料に、基板周囲とは屈折率が異なる領域によって形成される屈折率分布型光学素子は、光通信や光学デバイスをはじめとした、広範な用途に用いられている。その中でも、屈折率分布型レンズは、通常の球面レンズでは製作が不可能であるような、極めて多数かつ高集積度のアレイ体を容易に得ることができるので、ＣＤやＤＶＤのピックアップ部品等の用途に用いられている。
【０００３】
こうした屈折率分布型レンズの中でも、光の回折現象を応用したバイナリレンズは、レンズの厚さが薄くなるため、応用デバイスの小型軽量化が可能になるという利点がある。特に、パルスレーザの多光子吸収により屈折率分布型光学素子を形成すると、透明材料の内部に屈折率の変化した領域を作ることが出来るため、光学素子の堅牢さの面からも好ましい。
【０００４】
そして、ガラスやサファイヤなどの透明物質の内部にバイナリレンズを形成する方法として、例えば特許文献１が知られている。これは、ガラス内部に所定ピッチで同心円状に屈折率を変化させた、複数のリング状の領域と、当該領域の周囲に形成したリング状の屈折率を変化させない領域とが交互に形成されていることを特徴とするバイナリレンズであり、ガラス内部に一定のレーザ出力を有するパルスレーザ光を一定速度で走査させた例が示されている。
【０００５】
また、バイナリレンズの回折効率をより向上させ、或いはより複雑な光制御に対応させるため、非特許文献１に示すような技術が知られている。これは、透明材料であるシリカガラスに対し、屈折率を一定量だけ変化させた領域を、被回折光の進行方向に対して階段状に作製することで、バイナリレンズ等の回折レンズにするものであり、回折面に対して擬似的にブレーズ化を行い、回折光の進行方向を制限しているものである。
【０００６】
【特許文献１】特開２００３－３５８０９号公報（００１３～００１５段落）
【０００７】

【非特許文献１】Ｙａｍａｄａ　Ｋ.，ｅｔ　ａｌ.，Ｏｐｔｉｃｓ　ｌｅｔ.　Ｖｏｌ.２９　Ｎｏ.１６（２００４）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

しかしながら、上記特許文献１の例におけるバイナリレンズでは、ガラス内部に一定のレーザ出力を有するパルスレーザ光を一定速度で走査させており、この場合、屈折率が一定量変化した領域と未変化の領域とによってバイナリレンズが形成される。そのため、図１に示すように、理想の曲面形状に相当した屈折率分布に比べても誤差が生じるため、当該バイナリレンズの回折効率が、ひいては当該バイナリレンズの性能が、限定的になるという問題点があった。

【０００９】

また、非特許文献１に係る技術では、透明材料内部の屈折率を変化させた領域のステップの段数が増えることで、加工プロセスも大幅に増えてしまう。そのため、加工に要する時間が大幅に増加するという問題点があった。

【００１０】

また、非特許文献１に係る技術では、透明材料内部に屈折率を変化させた領域のステップを形成させると、当該領域が当該回折光学素子の光軸に対して非対称になっていた。さらに、特に屈折率を変化させた領域のステップの段数が増加すると、バイナリレンズの焦点距離が理論値から大きくずれてしまうという問題点があった。

【００１１】

さらに、非特許文献１に係る技術では、透明材料内部の屈折率を変化させた領域のステップの段数を増やすと、屈折率を変化させた領域の厚さもそれだけ大きくなり、バイナリレンズそのものの厚みが大きくなってしまう。それにより、バイナリレンズ最大の長所である薄型化の効果を弱めてしまうという問題点があった。

【００１２】

このことは、バイナリレンズに限らず、回折素子全般についても同様のことがいえる。特定次数への回折効率を高めるために、透明材料内部の屈折率を変化させた領域のステップの段数を増やしてブレーズ化のレベルを高めようとすると、当該ステップの段数に応じてパルスレーザの走査回数が増加するために製造工程は煩雑になって加工時間が大幅に増加し、形成される回折素子も厚いものとなってしまうという問題点があった。

【００１３】

本発明は上記問題点に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、特定次数への回折効率の高さと素子そのものの薄さとを併せ持った、回折光学素子を得ることである。

【課題を解決するための手段】

【００１４】

本発明者は、回折光学素子の薄さを維持しつつ、当該素子のより高効率な回折光学素子を形成するには、種々のレーザ出力のパルスレーザ，種々のレーザ走査速度，又は種々のパルスレーザの走査間隔によって、種々の屈折率を有する領域を透明材料内に形成することが重要であることを見出し、本発明を完成させた。

【００１５】

すなわち、請求項１記載の発明は、シリカガラスまたは単結晶サファイヤの内部に書き込まれる２次元的な屈折率分布を有する回折光学素子であって、当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤに屈折率ｎ１，幅ｄ１を有する第１の屈折率領域が形成され、以下、２≦ｉ≦ｘにおけるｉの各整数値について、屈折率ｎｉ（ｎｉ≠ｎｉ－１とする），幅ｄｉを有する第ｉの屈折率領域が、第（ｉ－１）の屈折率領域について第（ｉ－２）の屈折率領域とは反対側に（ｉ＝２のときは任意の側に）隣接して形成されており、

第１の屈折率領域が、当該第ｘの屈折率領域について第（ｘ－１）の屈折率領域とは反対側に隣接しており、第１～第ｘの屈折率領域の屈折率が、ｎ１からｎｘに至るまで、一

定値ずつ漸増又は漸減し、
当該回折光学素子がバイナリレンズとして用いられるものであり、
当該２次元的な屈折率分布が，第１～第ｘの屈折率領域が屈折率の小さい順又は大きい順に同心円状に並ぶような繰返しパターンを有するものであって、
当該同心円の中央には、第ｊ（１≦ｊ≦ｘ）の屈折率領域が第１の同心円を外周とした円形に形成されており、
以下、（１）１≦ｉ≦（ｘ－１）の場合には、第ｉの屈折率領域の外周に隣接して第（ｉ＋１）の屈折率領域がリング状に形成され、
（２）ｉ＝ｘの場合には、第ｉの屈折率領域の外周に隣接して、第１の屈折率領域がリング状に形成されており、
当該第１～第ｘの屈折率領域の幅ｄ１～ｄｘが当該リングの内周と外周との半径の差であり、
同心円の中央からｍ番目のリングの内周の半径及び（ｍ－１）番目のリングの外周の半径を表す半径ｒが、レンズの焦点距離をｆ，回折させる光の波長λとして、以下の式
【数１】

$$r = \sqrt{\frac{2fm\lambda}{L} - \left(\frac{m\lambda}{L}\right)^2}$$

で表されることを特徴とする、屈折率制御型回折光学素子である。
【００１７】
ここで、第１～第ｘの屈折率領域の一部について、屈折率を変化させない領域で構成すると、当該未変化領域にあたる部分に係る形成工程を省略することが出来るため好ましい。また、上記した屈折率領域の数ｘの値は、２以上（但し、パルスレーザにより屈折率を変化させない領域を屈折率領域として用いる場合は、３以上）の整数を適用することが可能である。
【００１９】
ここで、屈折率を変化させたときの屈折率がもとの屈折率よりも大きくなるような加工条件では、第１又は第ｘの屈折率領域を屈折率未変化領域とし、各屈折率領域の屈折率が、第ｘ又は第１の屈折率領域に至るまで漸増するように構成することが好ましい。また、屈折率を変化させたときの屈折率がもとの屈折率よりも小さくなるような加工条件では、第１又は第ｘの屈折率領域を屈折率未変化領域とし、各屈折率領域の屈折率が、第ｘ又は第１の屈折率領域に至るまで漸減するように構成することが好ましい。
【００２３】
ここで、上記バイナリレンズは、第１の屈折率領域から第ｘの屈折率領域に至るまで、各屈折率領域の屈折率が外側に向かって漸増するようなパターンを繰返すような構成を取る場合、当該バイナリレンズは、凹レンズと同様の作用を有するものとなる。
【００２４】
ここで、上記バイナリレンズは、第１の屈折率領域から第ｘの屈折率領域に至るまで、各屈折率領域の屈折率が外側に向かって漸減するようなパターンを繰返すような構成を取る場合、当該バイナリレンズは、凸レンズと同様の作用を有するものとなる。
【発明の効果】
【００３５】
本発明に係る屈折率制御型回折光学素子によれば、複数の屈折率を有した屈折率領域を用いて２次元的な屈折率分布を形成させる構成を用いることにより、シリカガラスまたは単結晶サファイヤ内部に形成させる各屈折率領域の屈折率を細分化し、当該回折光学素子のブレーズ化のレベルを高めることが出来る。そのため、当該回折光学素子の特定次数へ

の回折効率の向上と、回折光学素子の薄型化を両立させることが出来るという効果を奏する。

【００３６】

また、本発明に係る屈折率制御型回折光学素子によれば、第１～第ｘの屈折率領域がシリカガラスまたは単結晶サファイヤの内部に形成されていることにより、回折光学素子の薄型化を実現しつつ、各屈折率領域が露出することなく当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤの表面により保護することが出来るため、当該屈折率領域が劣化することを防止することが出来るという効果を奏する。

【００３７】

また、本発明に係る屈折率制御型回折光学素子によれば、シリカガラスまたは単結晶サファイヤを用いることにより、当該回折光学素子を薄型化させても、充分な機械的強度を維持することが出来るという効果を奏する。

【００３８】

また、本発明に係る屈折率制御型回折光学素子によれば、第１の屈折率領域を当該第ｘの屈折率領域について第（ｘ－１）の屈折率領域とは反対側に隣接させて、第１～第ｘの屈折率領域を繰返しパターンとすることで、同一の屈折率を有する領域を同一回折光学素子内で複数用いることにより、各屈折率領域を形成するときの屈折率の管理が容易になるという効果を奏する。

【００４０】

また、本発明に係る屈折率制御型回折光学素子によれば、特定の屈折率領域を当該同心円の中央に円形に形成し、その周囲に各屈折率領域を各々リング状に形成し、これらをそれぞれ所定の式により求められる大きさとすることで、光の入射する面が表裏のいずれかであるかによらずに高い回折効率を有し、なおかつ光軸方向に薄型化することで、焦点距離の高精度なバイナリレンズを得ることが出来るという効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【００４４】

以下、本発明を実施するための最良の形態について説明する。

本実施形態は、パルスレーザ３の集光照射によって生じる多光子吸収により、シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１の内部に２次元の屈折率パターン４を形成した、屈折率制御型回折光学素子の製造方法である。

【００４５】

本実施形態に用いるシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１としては、パルスレーザ３の照射により屈折率が変化する材料を用いることが出来る。ここで特に、シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１の内部に屈折率パターン４を形成させる場合には、パルスレーザ３をシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１に多光子吸収させる必要があるため、集光照射するパルスレーザ３の波長域における吸収が小さく、当該多光子吸収時に屈折率変化が生じるような材料である必要がある。具体的には、シリカガラスやホウケイ酸ガラス等のガラス、石英やサファイヤ単結晶等の酸化物結晶を用いることが可能である。

【００４６】

ここで、波長８００ｎｍのチタンーサファイヤレーザをパルスレーザ３として用いた場合には、シリカガラスまたは単結晶サファイヤを用いることにより、当該回折光学素子の機械的強度が強くなり、当該回折光学素子を薄型化させても充分な機械的強度を維持することが出来るため好ましい。その一方で、パルスレーザ３の集光照射による屈折率の変化量を大きくすることができるため、最終的に形成される回折光学素子について、より長い波長の光に対応したものを形成することが可能であり好ましい。

【００４７】

なお、特に回折させる光の波長が長い場合等のように、パルスレーザ３の集光照射による屈折率の変化量が充分に得られない場合には、当該屈折率パターン４を厚さ方向に二重に並べて形成させることで、これを補うことが可能である。その際には、先に形成された屈折率領域による悪影響を防ぐため、パルスレーザ発光源３ａから遠い側から順次加工を

行っていくことが好ましい。

【００４８】

当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１は、パルスレーザ３の集光照射に先立って、予め表面を研磨等により平坦にしておく。当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１の表面を平坦に整えることで、パルスレーザ３を集光させた時の焦点３ｃの位置を安定させ、より高精度に回折光学素子を形成できるためである。研磨等の手段としては、固定砥粒を用いた手段，流動砥粒を用いた手段等、公知の方法を適用することが出来る。

【００４９】

表面を平坦にしたシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１は、パルスレーザ照射装置の載置台２に載せる。そして、レーザ発光源３ａから発生させたパルスレーザ３を集光レンズ３ｂによって集光させ、当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１に照射させる。

【００５０】

ここで、シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１に集光照射させるパルスレーザ３としては、当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１に対して多光子吸収を起こさせる性質を有するものを用いることが好ましく、具体的には、１００ｆｓ（１ｆｓ＝１０－１５ｓ）～１ｐｓのパルス幅を有することが好ましい。当該パルス幅を持つレーザは１０ＴＷ／ｃｍ２以上のレーザ強度を有しており、このようなレーザ強度を持つパルスレーザ３の焦点３ｃの近傍において、多光子吸収によってシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１を改質させることが出来る。

【００５１】

このような多光子吸収によるシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１の改質の場合には、当該多光子吸収部の近辺への熱拡散は殆ど発生せず、当該パルスレーザ３の焦点３ｃの近傍のみを改質させることができるため、微小な屈折率パターン４の形成には非常に好適である。このような条件を満たすパルスレーザ３としては、チタンーサファイヤレーザが好適である。

【００５２】

また、当該パルスレーザ３の繰返し周期は、当該パルスレーザ３の各パルスによって加工される領域の重なりが最適になるように、走査速度に応じて変化させることが好ましい。ここで特に、繰返し周期が１ｋＨｚ以下であると、当該パルスレーザ３による加工速度が極端に遅くなり、好ましくない。

【００５３】

一方で、当該パルスレーザ３は、シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１の内部に焦点３ｃが来るように集光させ照射させることが好ましい。シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１の内部にパルスレーザ３を集光照射させることで、屈折率パターン４をシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１の内部に形成された回折光学素子を形成させることが出来る。それにより、回折光学素子の薄型化を実現しつつ、当該屈折率パターン４が露出することなく、当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１の表面によって、素子部分を保護することが出来る。

【００５４】

このようにして、パルスレーザ３をシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１に集光照射させるとともに、載置台２に取り付けられたＸＹＺステージ等の手段により、当該パルスレーザ３に対して当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１を所定の速度で相対的に運動させて当該集光点を走査させて、当該集光点の走査した部分の近傍で当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１の屈折率を変化させ、屈折率パターン４を形成させていく。

【００５５】

このとき、当該屈折率パターン４は、例えば図２に示すように、２次元的に複数の屈折率に変化した形状を有するようにする。具体的には、幅ｄ１を有する第１の屈折率領域４ａを有し、以下、２≦ｉ≦ｘにおけるｉの各整数値について、第（ｉ－１）の屈折率領域について第（ｉ－２）の屈折率領域とは反対側に（ｉ＝２のときは任意の側に）隣接するように、第ｉの屈折率領域４ｉを有する形状である。ここで、第１～第ｘの屈折率領域４

ａ～４ｘにおける屈折率は、隣接する屈折率領域における屈折率とは異なるようにする。

【００５６】

さらに、当該第１の屈折率領域４ａを、当該第ｘの屈折率領域４ｘについて第（ｘ－１）の屈折率領域とは反対側に隣接させて形成し、第１～第ｘの屈折率領域４ａ～４ｘの間で、各屈折率領域の屈折率が、第１の屈折率領域の屈折率ｎ１から第ｘの屈折率領域の屈折率ｎｘに至るまで、一定値ずつ漸増又は漸減していくような構成の繰返しパターンにして、屈折率そのものを階段状の分布にすることで、屈折率の管理が容易になるため好ましい。

【００５７】

ここで、各屈折率変化領域を形成させる際には、第１～第ｘの屈折率領域のうち１つ以上の領域について、屈折率を変化させない領域で構成すると、当該未変化領域にあたる部分に係る形成工程を省略することが出来るため好ましい。

【００５８】

上記第１～第ｘの屈折率領域４ａ～４ｘを形成させるに当たり、パルスレーザ３の照射により、単一のシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１に対して複数の屈折率に変化させる方法としては、以下の第１～第３の方法を用いることが好ましい。

【００５９】

第１の方法は、当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１と当該パルスレーザ３との相対的な走査速度を適宜変えながら、当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１に当該パルスレーザ３を集光照射させて、第１～第ｘの屈折率領域４ａ～４ｘを形成させる方法である。

【００６０】

ここで、シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１へのパルスレーザ３の相対的な走査速度の変化によって屈折率変化量を調節する場合、屈折率変化量の小さいところでは当該走査速度を速く、屈折率変化量の大きいところでは当該走査速度を遅くする。そして当該走査速度は、各屈折率領域の形成に先立って、当該回折光学素子に用いるシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１について、走査速度と屈折率変化との関係を求めておき、その結果を基に決定する。

【００６１】

この方法における当該パルスレーザ３の走査速度は、例えばシリカガラスをシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１として用いたときは、概ね０．０１～１ｍｍ／ｓとなる。この方法では、レーザ出力を変化させる必要がないため、より安定したレーザ出力を得られ、より高精度な屈折率変化を当該回折光学素子に対して行わせることが出来る。

【００６２】

第２の方法は、当該パルスレーザ３のレーザ強度を適宜変えながら、当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１に当該パルスレーザ３を集光照射させることにより、第１～第ｘの屈折率領域４ａ～４ｘを形成させる方法である。

【００６３】

ここで、パルスレーザ３のレーザ強度の変化によって屈折率変化量を調節する場合、屈折率変化量の小さいところでは当該レーザ強度を小さく、屈折率変化量の大きいところでは当該レーザ強度を大きくする。そして当該レーザ強度は、各屈折率領域の形成に先立って、当該回折光学素子に用いるシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１について、レーザ強度と屈折率変化との関係を求めておき、その結果を基に決定する。

【００６４】

この方法における当該パルスレーザ３のレーザ強度は、例えばシリカガラスをシリカガラスまたは単結晶サファイヤ１として用いたときは、概ね１００～１０００ｍＷの範囲内で用いることが好ましい。ここで、レーザ強度を１０００ｍＷよりも大きくすると、シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１にクラックが走りやすくなるため好ましくない。レーザ強度を逐次変化させるこの方法では、レーザ加工速度を落とす必要がない。

【００６５】

第３の方法は、当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１に対して当該パルスレーザ３を走査させる間隔を適宜変えながら、当該シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１に当該パルスレーザ３を集光照射させ、第１～第ｘの屈折率領域４ａ～４ｘを形成させる方法である。

【００６６】

ここで、シリカガラスまたは単結晶サファイヤ１に対して当該パルスレーザ３を走査させる間隔を変えることによって屈折率変化量を調節する場合、例えば屈折率の変化量を大きくするようなレーザ出力でパルスレーザ３を設定し、屈折率変化量の小さいところでは当該間隔を広く、屈折率変化量の大きいところでは当該間隔を狭くする。この方法では、回折光学素子の製造に必要なパルスレーザ３の条件を変える必要がない。

【００６７】

上記第１～第３の方法等の手段によって各屈折率領域を形成する際、例えば当該回折光学素子をグレーティングとして形成するときは、各屈折率領域が互いに平行に形成されるように各屈折率領域を形成し、一方で、当該回折光学素子をバイナリレンズとして形成するときは、任意の屈折率領域を円形に形成し、その周囲に各屈折率領域を同心円状となるようにリング状に形成する。

【００６８】

ここで、当該回折光学素子をグレーティングとして形成するときには、例えばｘ＝４の場合における構成が図３に示されるように、当該第１～第ｘの屈折率領域４ａ～４ｘの幅ｄ１～ｄｘが相等しく（＝ｄ）なるように形成させる。そのため、同一の屈折率領域同士の間隔Ｄは、屈折率領域の数であるｘについて、

【数２】

$$D=(x-1)\,d$$

【００６９】

一方で、当該回折光学素子をバイナリレンズとして形成するときには、当該２次元的な屈折率分布を，第１～第ｘの屈折率領域が屈折率の小さい順又は大きい順に同心円状に並ぶような繰返しパターンとして構成し、当該同心円の中央には、第ｊ（１≦ｊ≦ｘ）の屈折率領域を第１の同心円を外周とした円形に形成し、さらに以下のような構成を取るようなものが好ましい。

（１）１≦ｉ≦（ｘ－１）の場合には、第ｉの屈折率領域の外周に隣接して第（ｉ＋１）の屈折率領域をリング状に形成する。

（２）ｉ＝ｘの場合には、第ｉの屈折率領域の外周に隣接して、第１の屈折率領域をリング状に形成する。

【００７０】

ここで、当該バイナリレンズにおける各屈折率領域の配置は、当該バイナリレンズを凹レンズとして構成する際には、上記構成に加え、第１の屈折率領域から第ｘの屈折率領域に至るまで、各屈折率領域の屈折率が外側に向かって漸増するようなパターンを繰返すような構成にする。また、当該バイナリレンズを凸レンズとして構成する際には、反対に、各屈折率領域の屈折率が外側に向かって漸減するようなパターンを繰返すような構成にする。

【００７１】

そして、当該第１～第ｘの屈折率領域４ａ～４ｘの幅ｄ１～ｄｘは、例えばｘ＝４の場合における構成として図４が示すように、当該バイナリレンズの外側に行くほど小さくなるように構成する。具体的には、同心円の中央からｍ番目にあるリングの内周の半径，及び（ｍ－１）番目にあるリングの外周の半径を表す半径ｒが

【数３】

$$r = \sqrt{\frac{2fm\lambda}{L} - \left(\frac{m\lambda}{L}\right)^2}$$

のように表され、各屈折率領域の幅ｄ１～ｄｘは、各屈折率領域の外周と内周との半径差となり、ｍが大きくなるほど小さくなる。ここで、ｆは当該バイナリレンズの焦点距離、λは回折させる光の波長である。また、Ｌは回折素子のレベル数と呼ばれる値であり、第１～第ｘの屈折率領域４ａ～４ｘの間で、各屈折率領域の屈折率が、第１の屈折率領域の屈折率ｎ１から第ｘの屈折率領域の屈折率ｎｘに至るまで、一定値ずつ漸増又は漸減していくような構成を取るならば、屈折率領域の数であるｘの値と等しくなる。このＬの値は、２以上（当該屈折率領域に、屈折率を変化させない領域を含む場合には、３以上）の整数を適用することが可能であるが、この値は大きいほど、例えば８レベル以上になると回折効率は９５％を超え、回折効率をより高めることが出来るので好ましい。

【００７２】

ここで、当該凹レンズ又は凸レンズの中心部に形成する円形の屈折率領域は、第１～第ｘの屈折率領域４ａ～４ｘのうち任意の屈折率領域を用いて構成させることが可能であるが、当該中心部は最も面積が大きくなることから、屈折率を変化させない領域を当該領域に充当させれば、当該凹レンズ又は凸レンズの形成工程に要する時間を短縮化させることが出来るため好ましい。

【００７３】

このようにして、各屈折率領域を形成した透明材料１は、グレーティング又はバイナリレンズ、ひいては回折光学素子として、産業上の利用に供することが出来る。

【実施例】

【００７４】

本発明を、以下の実施例及び図６，図８を用いて詳細に説明する。

［実施例１］

本実施例は、図６に示すように、透明材料１として合成石英を用い、その内部に、第１～第４の屈折率領域４ａ～４ｄからなり、位相変化量が４種類の領域からなる、いわゆる４レベルのグレーティングを形成したものである。

【００７５】

本実施例で用いる合成石英としては、厚さ４ｍｍの平板状のものを用い、予めその両面に研磨を行って表面を平坦にした。そして、当該合成石英を載置台２に設置し、パルス幅１５０ｆｓ、繰返し周期２００ｋＨｚ、レーザ出力５５０ｍＷのパルスレーザ３をレーザ発光源３ａから発生させ、当該パルスレーザ３について集光レンズ３ｂを用いて当該合成石英の厚さの中心部分に集光させて焦点３ｃを形成させた。そして、当該焦点３ｃを走査させ、各屈折率領域を２次元的に作成した。

【００７６】

ここで、第１の屈折率領域４ａは、屈折率を変化させない領域とした。また第２の屈折率領域４ｂは、パルスレーザ３の走査間隔を２．５０μｍとして、走査速度４００μｍ／ｓで形成した。また第３の屈折率領域４ｃは、パルスレーザ３の走査間隔を０．６３μｍとして、走査速度４００μｍ／ｓで形成した。さらに第４の屈折率領域４ｄは、パルスレーザ３の走査間隔を０．６３μｍとして、走査速度１００μｍ／ｓで形成した。ここで、各屈折率領域は各々等しい幅になるように形成し、図５（ａ）に示すように、第１の屈折率領域４ａ、第２の屈折率領域４ｂ、第３の屈折率領域４ｃ、第４の屈折率領域４ｄの順に、繰返しパターンを形成し、屈折率パターン４とした。第１～第４の屈折率領域４ａ～４ｄの幅はそれぞれ６．２５μｍで各々等しくなるようにして、これらは各々平行に形成

されるようにした。

【００７７】

その結果、形成されたグレーティングの正面の写真は図６（ａ）のような縞状のパターンになった。一方で、当該グレーティングの断面の写真は図６（ｂ）のようになり、加工領域の厚さは１３０μｍとなった。そして、グレーティングの表側から入射した場合，グレーティングの裏側から入射した場合のいずれにおいても、１次回折光の回折効率は共に４５％であり、光の入射する面の表裏で同様の回折効率を有するグレーティングが形成された。

【００７８】

［比較例１］

比較例として、図７に示すように、上記手順で準備された平板状の合成石英に対し、実施例に用いたものと同じ条件のパルスレーザ３を用いて、屈折率パターン４を被回折光の進行方向に対して階段状に形成した。

【００７９】

ここで、当該屈折率パターン４は、本実施例に係る第２の屈折率領域と同じ条件、すなわち、パルスレーザ３の走査間隔を２．５０μｍとして、走査速度４００μｍ／ｓで当該パルスレーザ３を走査させて形成した。そして、第３，第４の屈折率領域に相当する部分は、当該屈折率パターン４の厚さがそれぞれ２倍，３倍となるように、加工領域を２層，３層に重ねることで形成した。ここで、加工領域が０層（屈折率未変化領域），１層，２層，３層重なった領域は各々等しい幅になるように形成し、図５（ｂ）に示すように、屈折率未変化領域４Ａ，加工領域が１層重なった領域４Ｂ，加工領域が２層重なった領域４Ｃ，屈折率変化層が３層重なった領域４Ｄの順に、繰返しパターンを形成した。領域４Ａ～４Ｄの幅はそれぞれ６．２５μｍで各々等しくなるようにして、これらは各々平行に形成されるようにした。

【００８０】

その結果、形成されたグレーティングの正面の写真は図７（ａ）のように、上記実施例１と同様の縞状のパターンになった。一方で、当該グレーティングの断面の写真は図７（ｂ）のようになり、加工領域の厚さは２５０μｍとなり、上記実施例１の約２倍の厚さになった。そして、グレーティングの表側から入射した場合の１次回折光の回折効率は４６％となった。その一方で、グレーティングの裏側から入射した場合の１次回折光の回折効率は３７％であり、形成されたグレーティングの回折効率は、光の入射する面の表裏で異なるものとなった。

【００８１】

［実施例２］

本実施例は、図８に示すように、透明材料１として合成石英を用い、その内部に、第１～第４の屈折率領域４ａ～４ｄからなり、位相変化量が４種類の領域からなる、いわゆる４レベルのバイナリレンズを形成したものである。

【００８２】

本実施例で用いる合成石英としては、厚さ４ｍｍの平板状のものを用い、予めその両面に研磨を行って表面を平坦にした。そして、当該合成石英を載置台２に設置し、パルス幅１５０ｆｓ、繰返し周期２００ｋＨｚのパルスレーザ３をレーザ発光源３ａから発生させ、当該パルスレーザ３について集光レンズ３ｂを用いて当該合成石英の厚さの中心部分に集光して焦点３ｃを形成させた。そして、当該焦点３ｃを走査速度２５μｍ／ｓで走査させ、当該パルスレーザ３の走査間隔を２．５μｍとして、各屈折率領域を２次元的に作成した。

【００８３】

ここで、第１の屈折率領域４ａは、屈折率を変化させない領域とした。また第２の屈折率領域４ｂは、パルスレーザ３のレーザ出力を３４６ｍＷで形成した。また、第３，第４の屈折率領域４ｃ，４ｄは、当該レーザ出力をそれぞれ４７４ｍＷ，８００ｍＷとして形成した。そして、図５（ａ）に示すように、内側から第１の屈折率領域４ａ、第２の屈折

率領域４ｂ、第３の屈折率領域４ｃ、第４の屈折率領域４ｄの順に、設計焦点距離を１５ｍｍとして、上記［数１］に示す式に従って繰返しパターンを形成して、これらを屈折率パターン４とした。

【００８４】

その結果、形成されたバイナリレンズの正面の写真は図８（ａ）のような同心円状のパターンになった。当該バイナリレンズの直径は１．０６ｍｍである。一方で、当該バイナリレンズの断面の写真は図８（ｂ）のようになり、加工領域の厚さは１１０μｍとなった。そして、直径１．０６ｍｍ、焦点距離１５ｍｍ、当該バイナリレンズの焦点位置におけるスポット径が１９μｍのバイナリレンズが形成された。また、本実施例におけるバイナリレンズの加工時間は約３時間３０分であった。

【００８５】

［比較例２］

一方、実施例２の比較例として、図９に示すように、上記手順で準備された厚さ４ｍｍの平板状の合成石英に対し、実施例に用いたものと同じ条件のパルスレーザ３を用いて、屈折率パターン４を被回折光の進行方向に対して階段状に形成した。

【００８６】

ここで、当該屈折率変化層は、本実施例に係る第２の屈折率領域と同じ条件、すなわち、パルスレーザ３のレーザ出力を３４６ｍＷとして形成した。そして、上記第３，第４の屈折率領域に相当する部分は、当該屈折率領域の厚さをそれぞれ２倍，３倍となるように、当該屈折率変化層を２層，３層に重ねることで形成した。ここで、図５（ｂ）に示すように、内側から屈折率変化層を０層重ねた領域（屈折率未変化領域）４Ａ，屈折率変化層を１層重ねた領域４Ｂ，屈折率変化層を２層重ねた領域４Ｃ，屈折率変化層を３層重ねた領域４Ｄの順に、設計焦点距離を１５ｍｍとして、上記［数１］に示す式に従って繰返しパターンを形成し、これらを屈折率パターン４とした。

【００８７】

その結果、形成されたバイナリレンズの正面の写真は図９（ａ）のように、上記実施例２と同様の同心円状のパターンになった。当該バイナリレンズの直径は、上記実施例２と同様に１．０６ｍｍである。一方で、当該バイナリレンズの断面の写真は図９（ｂ）のようになり、加工領域の厚さは２６０μｍとなり、上記実施例２の２倍以上の厚さになった。ここで、当該バイナリレンズの加工領域は厚くなったため、当該バイナリレンズは、１７．９ｍｍのところで焦点を結んだ。このときの焦点位置におけるスポット径が１９μｍである。また、本実施例におけるバイナリレンズの加工時間は約６時間３０分であった。

【図面の簡単な説明】

【００８８】

【図１】本実施形態に係る、パルスレーザによるシリカガラスまたは単結晶サファイヤの加工工程を説明する図である。

【図２】本実施形態に係る回折光学素子の一例を示す概略図である。

【図３】本実施形態におけるグレーティングのうち４レベルのものについて、正面から見た態様を示す概略図である。

【図４】本実施形態におけるバイナリレンズのうち４レベルのものについて、正面から見た態様を示す概略図である。

【図５】各実施例及び比較例に係る回折光学素子について、パルスレーザによって形成する各屈折率領域について、素子の厚さ方向の配置について示した断面図である。

【図６】実施例１に係るグレーティングの正面及び断面を撮影した、光学顕微鏡像である。

【図７】比較例１に係るグレーティングの正面及び断面を撮影した、光学顕微鏡像である。

【図８】実施例２に係るバイナリレンズの正面及び断面を撮影した、光学顕微鏡像である。

【図９】比較例２に係るバイナリレンズの正面及び断面を撮影した、光学顕微鏡像である

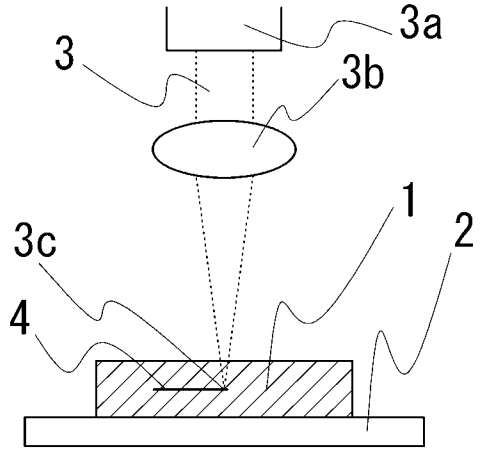
。

【符号の説明】

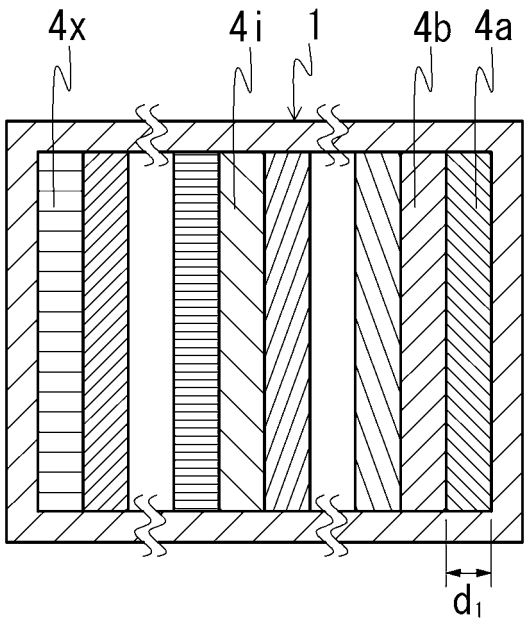
【００８９】

１　　透明材料
２　　載置台
３　　パルスレーザ
３ａ　レーザ発光源
３ｂ　集光レンズ
３ｃ　焦点
４　　屈折率パターン
４ａ　第１の屈折率領域

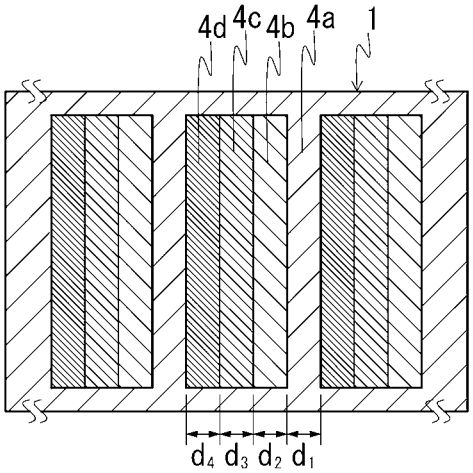
【図１】



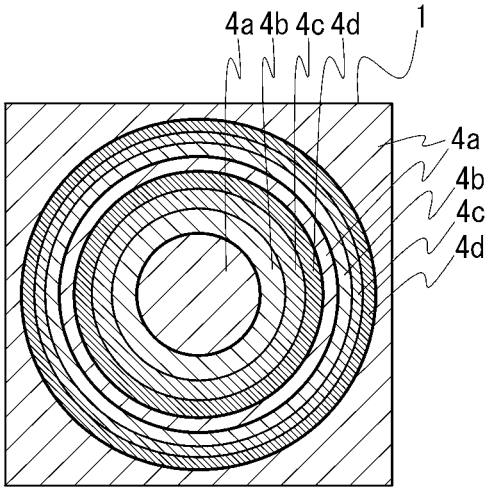

【図２】



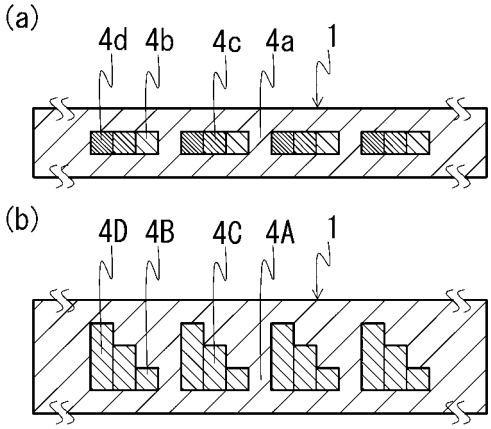
【図３】


4d
4c
4b
4a
1
d4
d3
d2
d1

【図４】

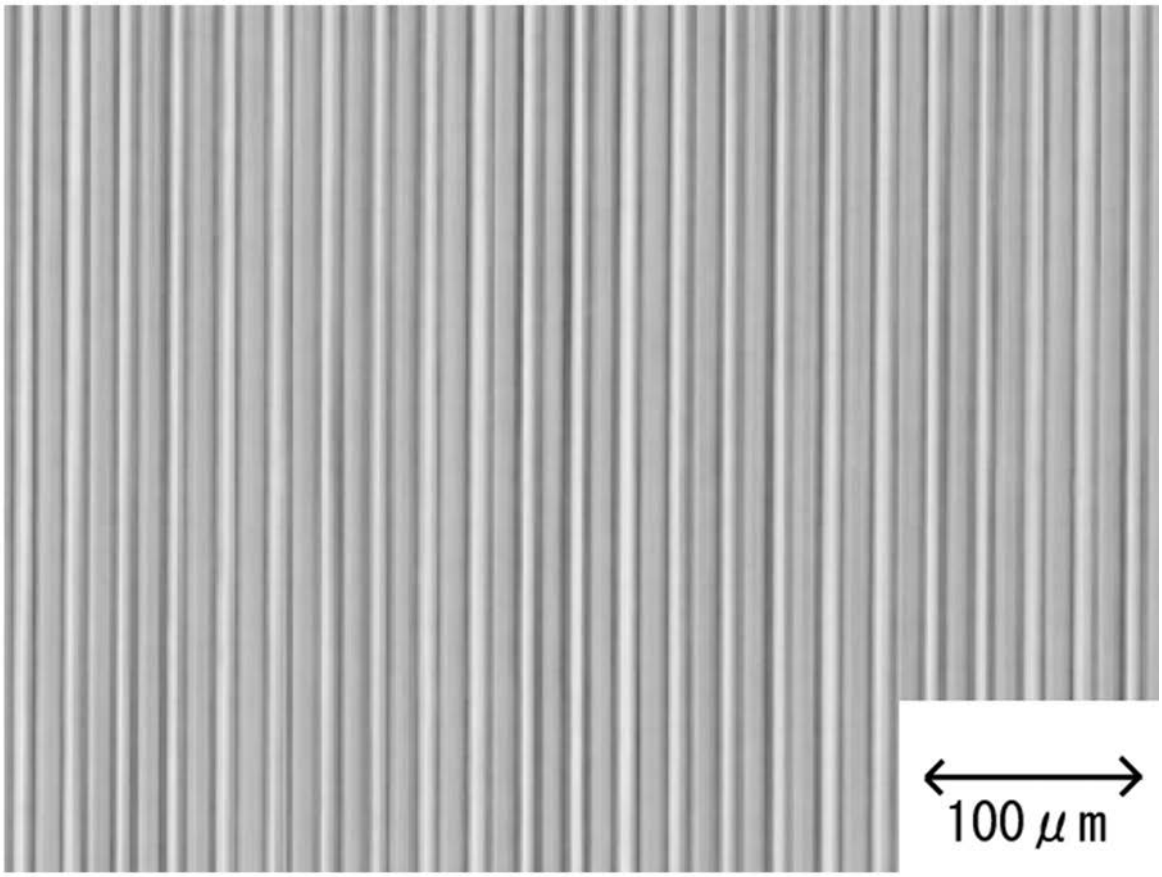

4a
4b
4c
4d
1
4a
4b
4c
4d

【図５】

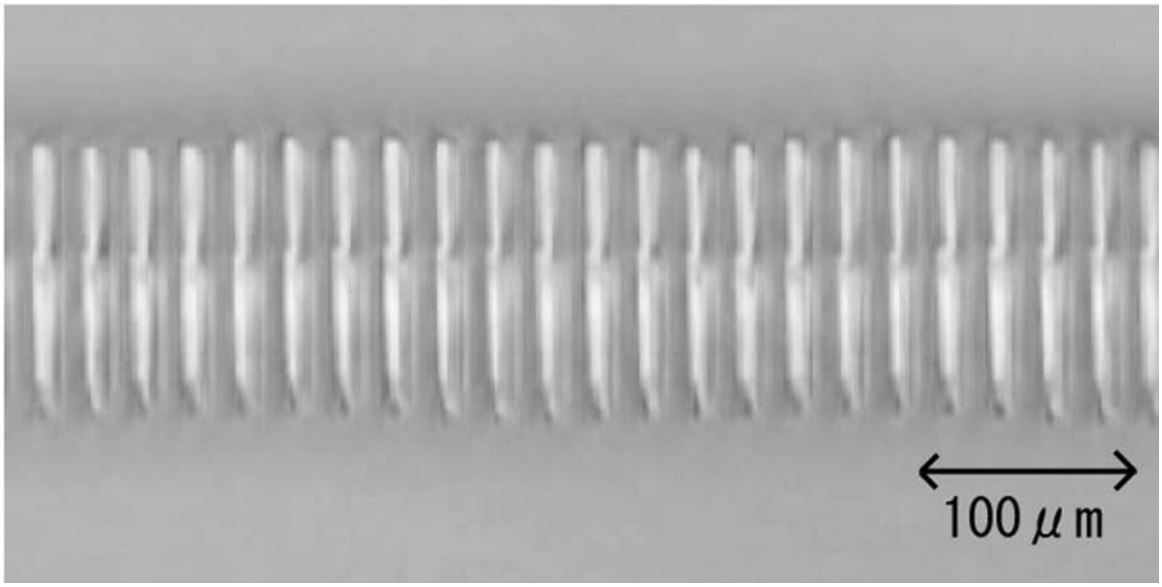

(a)
4d
4b
4c
4a
1
(b)
4D
4B
4C
4A
1

【図６】

(a)

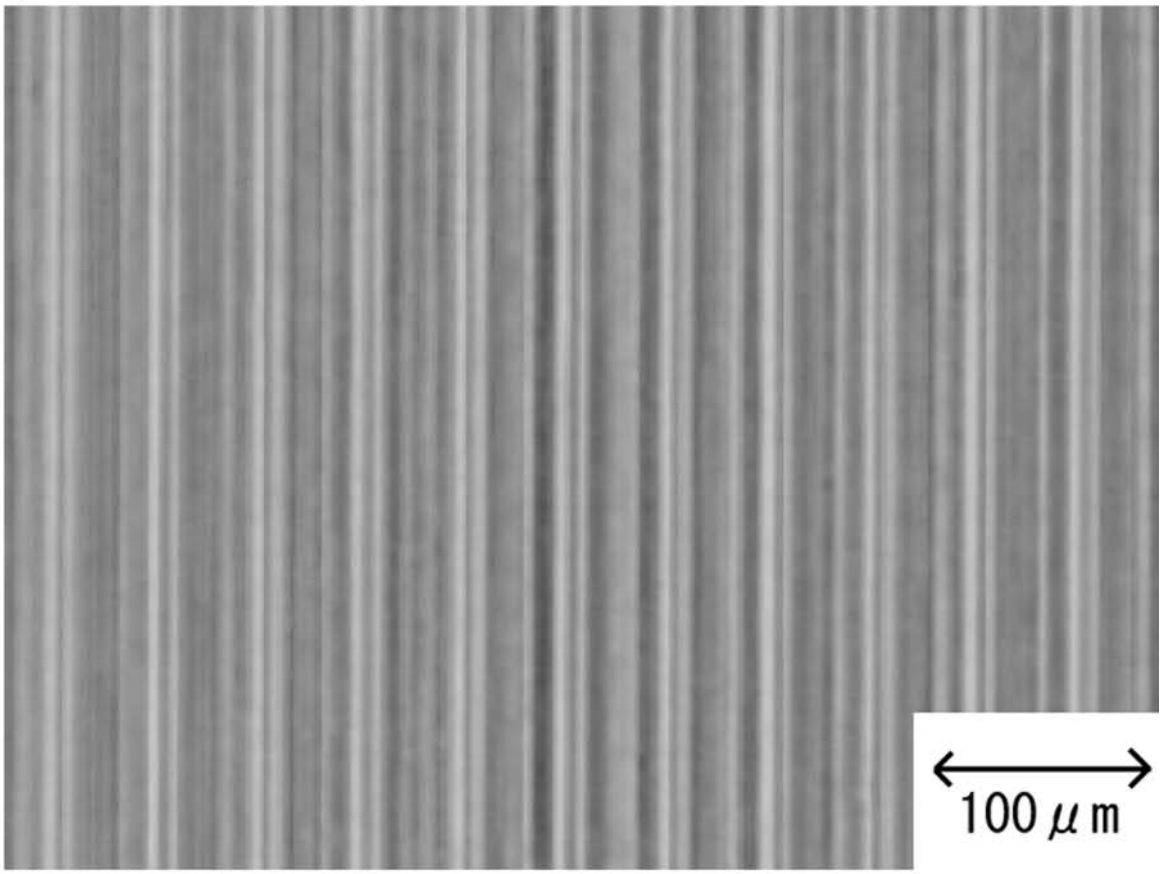



(b)

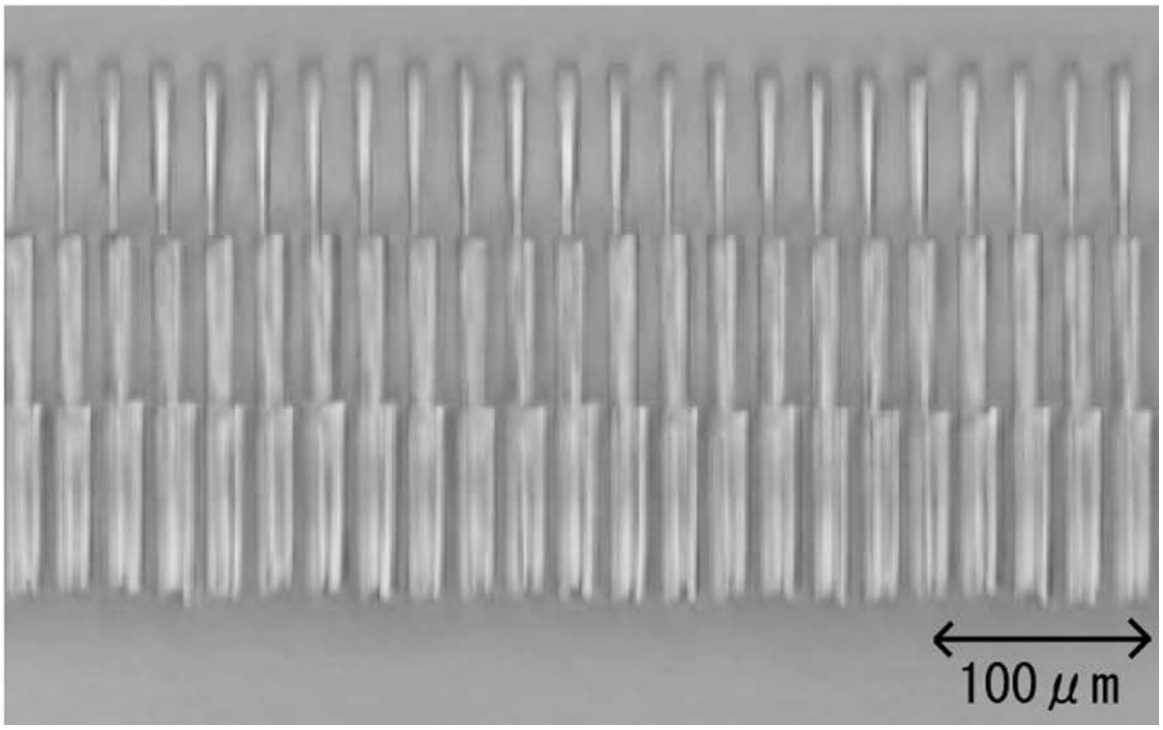


【図７】

(a)

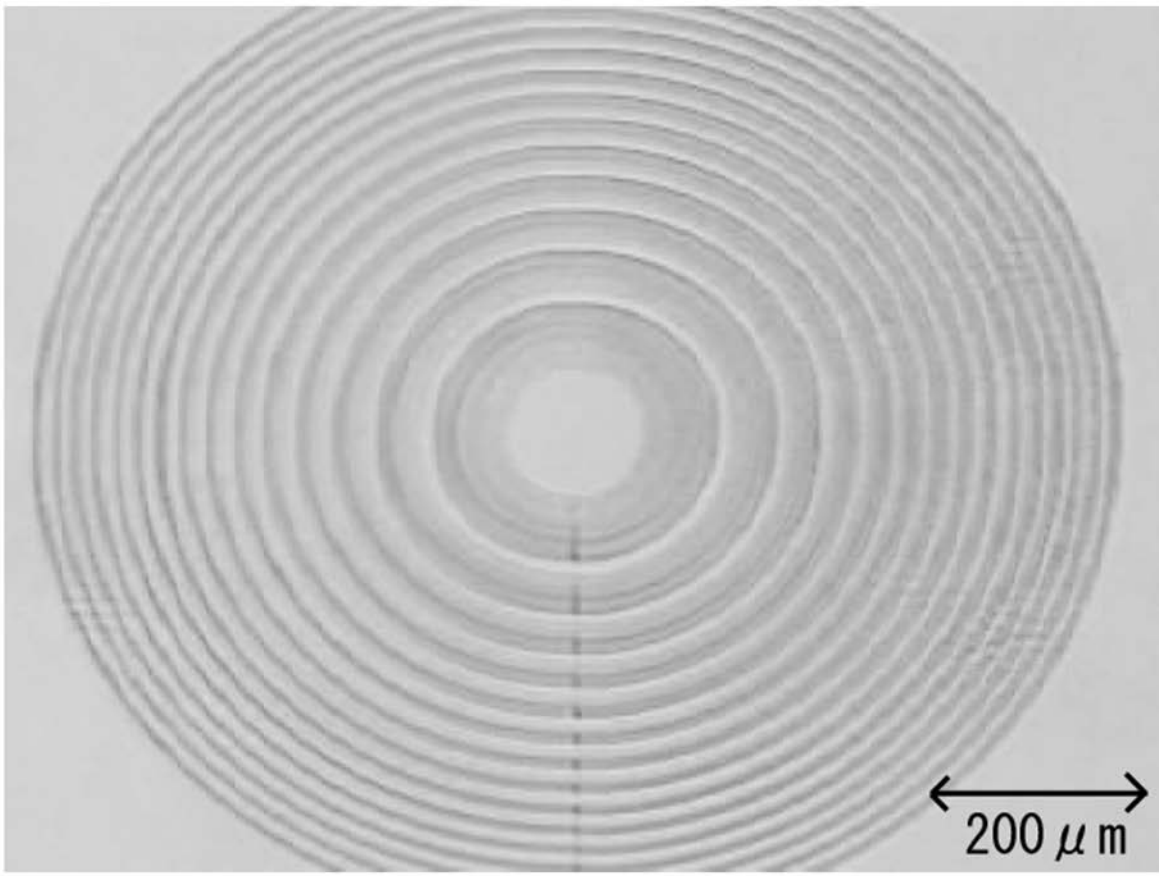



(b)

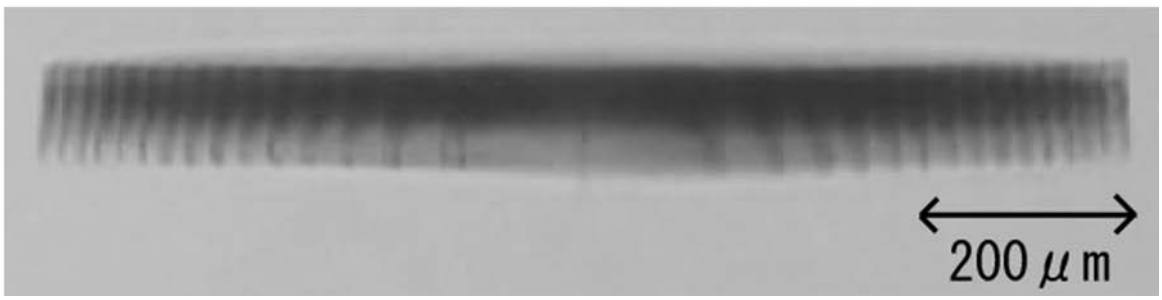


【図８】

(a)

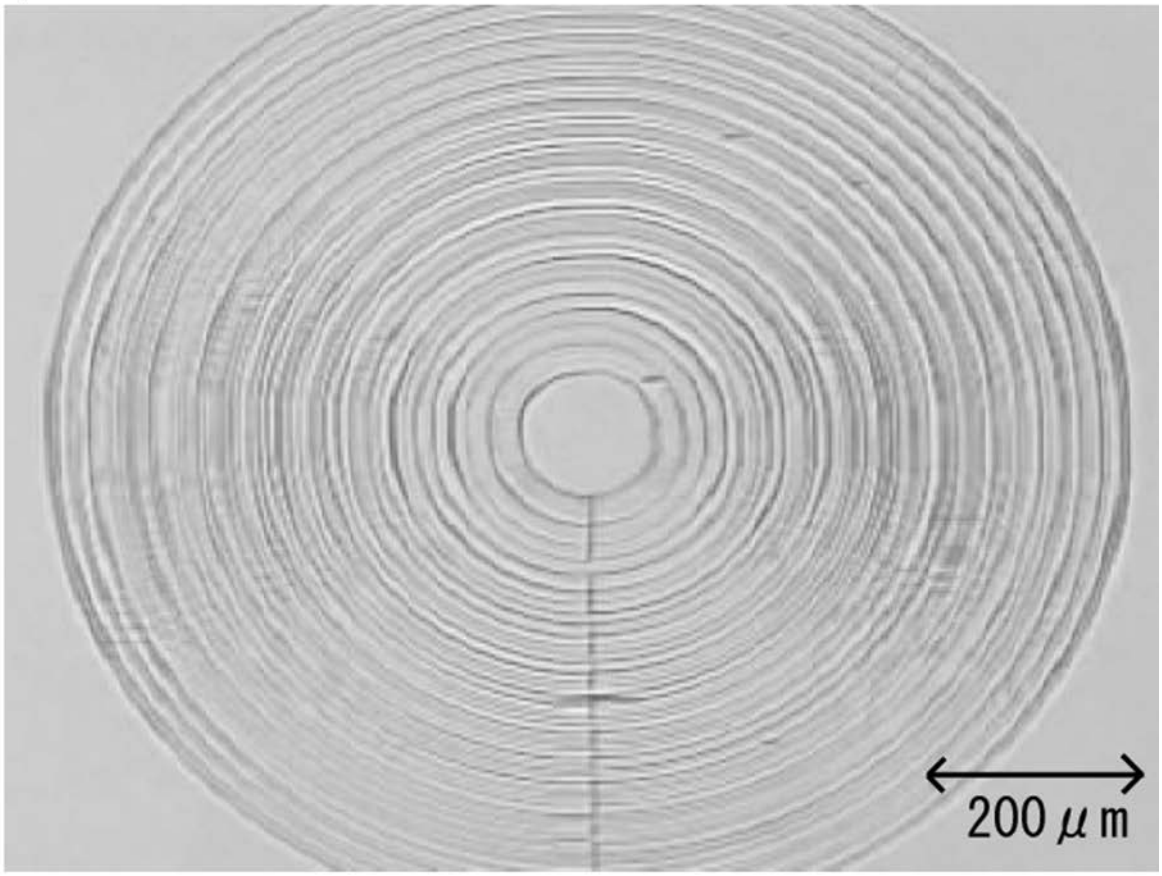



(b)

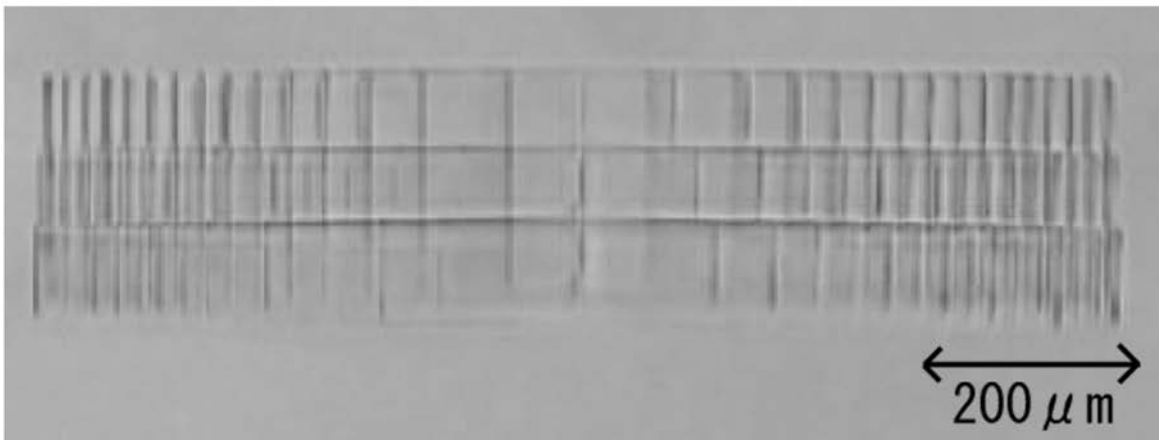


【図９】

(a)




(b)



フロントページの続き

(72)発明者　古滝　敏郎
東京都足立区新田３丁目８番２２号　並木精密宝石株式会社内

審査官　竹村　真一郎

(56)参考文献　特開２００３－０３５８０９（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－０５６１１２（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－２７６９８５（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２００３／０１９０１２１（ＵＳ，Ａ１）
特開２００３－１５６６１３（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－１４２６０４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０２Ｂ　　５／１８
Ｃ０３Ｃ　２３／００