

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年2月27日(27.02.2020)



(10) 国際公開番号

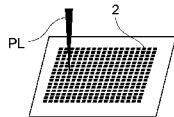
WO 2020/039620 A1

- (51) 国際特許分類:
G21K 1/06 (2006.01) *G21K 1/00* (2006.01)
G02B 5/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/006264
- (22) 国際出願日: 2019年2月20日(20.02.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2018-154009 2018年8月20日(20.08.2018) JP
- (71) 出願人: ウシオ電機株式会社 (USHIO DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1008150 東京都千代田区丸の内一丁目6番5号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 野本 憲太郎 (NOMOTO Kentaro); 〒1008150 東京都千代田区丸の内1丁目6番5号 ウシオ電機株式会社内 Tokyo (JP). 土井聖将 (DOI Kiyomasa); 〒1008150 東京都千代田区丸の内1丁目6番5号 ウシオ電機株式会社内 Tokyo (JP). 那脇 洋平 (NAWAKI Yohei); 〒1008150 東京都千代田区丸の内1丁目6番5号 ウシオ電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 小西 恵, 外 (KONISHI, Kay et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂2-2-1 - 8 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,

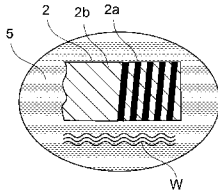
(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING MICROHOLE OPTICAL ELEMENT, AND OPTICAL DEVICE

(54) 発明の名称: 微細穴光学素子の製造方法および光学装置

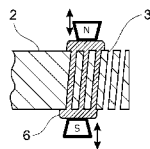
[図7A]



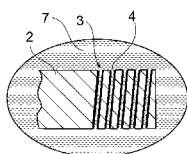
[図7B]



[図7C]



[図7D]



(57) Abstract: LEO is easily produced with stable quality. In one embodiment of a method for manufacturing a microhole optical element, a plurality of holes are formed side by side in a substrate, the extension lines in the depth direction of each hole are directed to a common intersection point located outside the substrate, and the holes intersect a common spherical surface centered on the intersection point, the method comprising: a hole forming step for forming the plurality of holes in the substrate, and a reflective layer forming step for forming a reflective layer on the inner wall of each of the plurality of holes.

(57) 要約: LEOを、品質が安定し且つ簡便に製造する。微細穴光学素子の製造方法の一態様は、基板に複数の穴が並んで穿たれ、各穴の深さ方向の延長線が基板外に位置した共通の交点へと向かうとともに、各穴は当該交点を中心とした共通の球面と交わる微細穴光学素子の製造方法であって、上記基板に対して上記複数の穴を形成する穴形成工程と、上記複数の穴それぞれの内壁に反射層を形成する反射層形成工程と、を備える。

MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）
- 一 補正された請求の範囲及び説明書（条約第19条(1)）

明 細 書

発明の名称：微細穴光学素子の製造方法および光学装置

技術分野

[0001] 本発明は、微細穴光学素子の製造方法および光学装置に関する。

背景技術

[0002] X線は、可視光とは異なり、直入射光学系の利用が困難である。このため、金属のX線に対する屈折率が1よりも小さいことを利用した金属面の全反射による斜入射光学系が用いられている。この場合の全反射の臨界角は1度程度と小さいため、反射面の有効面積を大きくとるために、直径の異なる金属製の円筒状の反射鏡を、同軸状に多数配置する方法が知られている。しかしながら、この方法ではX線反射装置全体の重量が増大するため（1 m²あたり1トン以上の重量）、宇宙空間で利用する場合に、地上からの輸送に支障を来すという問題があった。

[0003] 特許文献1（特許第4025779号公報）には、軽量かつ比較的容易に製造できるX線光学系基材として、異方性エッチングによるシリコンウェハ壁面をX線反射鏡として利用するX線光学系基材が提案されている。これは、薄いウェハに微細な穴を開けるため、従来よりも一桁以上軽い鏡となるうえ、一度のエッチングにより鏡を大量に生産できるという利点もある。しかし、異方性エッチングで形成できる穴は、直線的なスリット状の穴に限られるため、X線光学系を作る際には、反射鏡としての理想曲面を直線で近似する必要があり、集光性能が制限される。また、理想曲面に近づけるため、X線光学系を小さくして理想曲面に沿って配置することになるので、多数のX線光学系が必要になり、製作に要する労力・コストが大きい。

[0004] また、天球上のどの方角から素子を見た場合にもミラー面が存在する光学素子として、ロブスターアイ型光学素子（LEO）が知られている。LEOは、特許文献1（特許第4025779号公報）に記載のウォルター型光学系に比べ、観測範囲が広いことが利点である。

[0005] 特許文献2（特表2009-503506号公報）には、ロブスターアイ型光学素子（LEO）の構成例が開示されている。また、従来、天文学的な物体、すなわち無限遠（ $x = \infty$ ）に存在する物体の観測に使用されていたLEOを、非天文学的な物体、すなわちLEOのレンズ半径Rと比較可能な有限の距離（ $x \sim R$ ）に存在する物体の撮影に応用することが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特許第4025779号公報

特許文献2：特表2009-503506号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 従来のLEOの製造方法は、下記工程を経て製造される。

工程1．中実のコア材および中空のクラッド材を準備する。

工程2．クラッド材の内部にコア材を挿入して一体化し、アセンブリを複数作成する。

工程3．複数のアセンブリを引き延ばしつつ束ねて積層体を形成する。

工程4．工程3で得た積層体を軸方向に対し直交方向に薄くスライスした後に、所定の曲率を持つように曲げる。

なお、上記3および4の工程に代えて、以下の工程を実施する場合もある。

工程3'．工程2で得た複数のアセンブリを束ねた積層体を所定の曲率を持つように曲げる。

工程4'．工程3'後の積層体を軸方向に対し直交方向に薄くスライスする。

[0008] しかし、このような製造方法は、アセンブリを束ねる工程や、積層体をスライス後に曲げる工程において、素子に力学的な変形が生じるので品質が安

定しないという問題があった。品質に問題がある場合は、結像イメージが理想的な十字形状から崩れる。

そこで、本発明は、ＬＥＯを、品質が安定し且つ簡便に製造することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決するために、本発明に係る微細穴光学素子の製造方法の一態様は、基板に複数の穴が並んで穿たれ、各穴の深さ方向の延長線が基板外に位置した共通の交点へと向かうとともに、各穴は当該交点を中心とした共通の球面と交わる微細穴光学素子の製造方法であって、上記基板に対して上記複数の穴を形成する穴形成工程と、上記複数の穴それぞれの内壁に反射層を形成する反射層形成工程と、を備える。

[0010] このような微細穴光学素子の製造方法によれば、基板に穴を形成することでＬＥＯを作成することができる。また、基板に対する力学的な変形が生じないためＬＥＯ素子の品質が安定する。更には、従来のようなアセンブリが不要であると共に、積層体のスライスも不要であるので製造が容易である。なお、基板に対する穴の形成としては、例えば後述するようなビームによる方法など簡便な方法が採用可能である。

[0011] 上記微細穴光学素子の製造方法において、上記基板が透明基板であって、上記穴形成工程が更に、上記穴が形成される箇所について上記透明基板中にビームを照射して多光子吸収を生じさせることで改質する改質工程と、上記改質工程で改質された箇所を除去して上記穴を形成する除去工程とを備えてもよい。改質工程と除去工程とを備えることにより、アスペクト比の高い穴の形成が容易であり、ビーム照射による多光子吸収は透明基板中での位置分解能が高いため精細な穴形状が容易に実現される。

また、上記微細穴光学素子の製造方法は、上記基板が平板状の基板であってもよい。平板状の基板であると穴の形成位置の制御などが容易である。

[0012] また、上記微細穴光学素子の製造方法は、上記基板が上記共通の球面に沿って湾曲した基板であってもよい。共通球面に沿った湾曲基板であると、基

板 1 枚で得られる視野範囲が広い。

[0013] また、上記穴形成工程は、上記基板の表面から裏面まで貫通した、断面形状が四角形の貫通穴を形成してもよい。このような四角形の貫通穴が形成されることでいわゆるエンジェル型の L E O が得られる。

[0014] また、上記穴形成工程は、上記基板の上記表面に沿って線状に延びた複数の第 1 スリット穴を当該基板の厚み方向の途中まで形成すると共に、当該基板の上記裏面に沿って当該複数の第 1 スリット穴に交わる方向に線状に延びた複数の第 2 スリット穴を当該途中から当該基板の裏面まで形成してもよい。このように第 1 スリット穴と第 2 スリット穴が形成されることにより、いわゆるシュミット型の L E O が得られる。また、エンジェル型の四角穴に比べ、シュミット型のスリット穴の方が高い加工精度で形成可能である。

[0015] また、上記微細穴光学素子の製造方法において、上記基板が透明基板であって、上記穴形成工程が更に、上記穴が形成される箇所について上記透明基板中にビームを照射して多光子吸収を生じさせることで改質する改質工程と、上記改質工程で改質された箇所を除去して上記穴を形成する除去工程とを備え、上記改質工程が、上記基板の表裏面のうち片面側からビームを照射して上記第 1 スリット穴と上記第 2 スリット穴との双方の箇所を改質してもよい。上記第 1 スリット穴と上記第 2 スリット穴との双方が基板の片面側から改質されることにより、基板を裏返す工程などが省略されるので工程数が減少する。

[0016] また、このように上記第 1 スリット穴と上記第 2 スリット穴との双方が基板の片面側から改質される微細穴光学素子の製造方法においては、上記改質工程が、上記第 1 スリット穴と上記第 2 スリット穴とのうち、上記ビームの進行方向前方側に位置するスリット穴の箇所から先に改質することが好ましい。この製造方法によれば、改質済みの箇所によるビームの乱れが回避されるので改質箇所の精度が向上する。

[0017] また、上記微細穴光学素子の製造方法において、上記反射層形成工程を経た複数の上記基板を支持フレーム上に並べて固定する固定工程を備えること

も好ましい。固定工程を備えることにより、多数の基板を当該基板の面方向に沿って敷き詰めることで、広視野の光学装置が容易に得られる。

[0018] 本発明に係る光学装置の一態様は、基板に複数の穴が並んで穿たれ、各穴の深さ方向の延長線が基板外に位置した共通の交点へと向かうとともに、各穴は当該交点を中心とした共通の球面と交わる微細穴光学素子と、上記微細穴光学素子からの通過光が抜ける枠穴が複数穿たれ、各枠穴を囲った各枠で各微細穴光学素子を支持する支持フレームと、を備える。

このような構成の光学装置によれば、多数の基板を当該基板の面方向に沿って敷き詰めることで、広い視野の装置が容易に得られる。

[0019] 本発明に係る光学装置の別の態様は、基板に複数の穴が並んで穿たれ、各穴の深さ方向の延長線が基板外に位置した共通の交点へと向かうとともに、各穴は当該交点を中心とした共通の球面と交わる微細穴光学素子と、複数の上記微細穴光学素子を、上記共通の球面に沿って並べて支持する支持フレームと、を備える。

このような構成の光学装置によれば、広い視野で品質が安定した装置が得られる。

発明の効果

[0020] 本発明の微細穴光学素子の製造方法によれば、LEOを、品質が安定し且つ簡便に製造することができる。

上記した本発明の目的、態様及び効果並びに上記されなかった本発明の目的、態様及び効果は、当業者であれば添付図面及び請求の範囲の記載を参照することにより下記の発明を実施するための形態（発明の詳細な説明）から理解できるであろう。

図面の簡単な説明

[0021] [図1A]図1Aは、微細穴光学素子の第1実施形態を概念的に示す正面図である。

[図1B]図1Bは、微細穴光学素子の第1実施形態を概念的に示す側面図である。

[図2]図2は、図1B中の部分Pにおける拡大断面図である。

[図3]図3は、微細穴光学素子における各貫通穴の向きを示す図である。

[図4]図4は、LEOにおける集光作用の説明図である。

[図5]図5は、LEOにおける理想的な集光イメージを示す図である。

[図6]図6は、微細穴光学素子へと異なる方向から入射した光の集光形態を示す図である。

[図7A]図7Aは、微細穴光学素子の製造工程(A)を示す図である。

[図7B]図7Bは、微細穴光学素子の製造工程(B)を示す図である。

[図7C]図7Cは、微細穴光学素子の製造工程(C)を示す図である。

[図7D]図7Dは、微細穴光学素子の製造工程(D)を示す図である。

[図8]図8は、図7Aに示す改質工程を実行するレーザ改質装置の構造を示す図である。

[図9A]図9Aは、レーザ改質装置で実行される改質工程の段階(A)を示す図である。

[図9B]図9Bは、レーザ改質装置で実行される改質工程の段階(B)を示す図である。

[図9C]図9Cは、レーザ改質装置で実行される改質工程の段階(C)を示す図である。

[図9D]図9Dは、レーザ改質装置で実行される改質工程の段階(D)を示す図である。

[図9E]図9Eは、レーザ改質装置で実行される改質工程の段階(E)を示す図である。

[図10]図10は、微細穴光学素子が組み込まれた光学装置を示す図である。

[図11]図11は、光学装置の光学系部分の組み立て図である。

[図12]図12は、フレームに対する微細穴光学素子の固定方法を示す断面図である。

[図13]図13は、フレームに対する微細穴光学素子の固定方法を示す正面図である。

[図14]図14は、微細穴光学素子の第2実施形態を示す図である。

[図15A]図15Aは、微細穴光学素子の第3実施形態を概念的に示す正面図である。

[図15B]図15Bは、微細穴光学素子の第3実施形態を概念的に示す側面図である。

[図16]図16は、図15B中の部分Pにおける拡大斜視図である。

[図17]図17は、改質工程における第1の手順を示す図である。

[図18]図18は、改質工程における第2の手順を示す図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図1Aおよび図1Bは、微細穴光学素子の第1実施形態を概念的に示す図である。図1Aは、正面図、図1Bは、側面図である。

[0023] 微細穴光学素子1は、一辺が例えば40mmで厚さが例えば0.5mm以上5mm以下の方形状の外形を有した透明基板2に対して多数の四角形状の貫通穴3が縦横に並べられて配備された構造となっている。透明基板2は例えばガラスや透明樹脂などからなり、特に熔融石英のガラスであると、後述する製造方法における貫通穴3の加工が容易となる。

貫通穴3は、本発明にいう穴の一例に相当する。なお、本発明にいう穴は、スリット状の穴であってもよく、基板の途中で他の穴に繋がった穴であってもよい。

[0024] 図1Aでは貫通穴3の密度が実際よりも粗く描かれており、実際の貫通穴3は穴の幅が20 μ m以上200 μ m以下に形成されるとともに、貫通穴3相互間に位置するガラスや樹脂の部分の幅が6 μ m以上30 μ m以下に形成されている。

図2は、図1B中の部分Pにおける拡大断面図である。

[0025] 微細穴光学素子1の各貫通穴3は、微細穴光学素子1の表側（図1Bの上方）から裏側（図1Bの下方）へと貫通しており、微細穴光学素子1に対して表側からX線や真空紫外線などの光Lが入射し、裏側から光Lが出射する

。各貫通穴3における光Lの進行方向の長さ h_1 と、光Lがスリット3から出射する箇所における穴の幅 h_2 との比 h_1/h_2 は例えば20以上50以下という大きな値となっている。

[0026] 各貫通穴3の内壁には金属の反射層4が形成されている。反射層4は例えば酸化ハフニウム等の重金属からなる単層膜や多層膜である。各貫通穴3に入射した光Lは、貫通穴3に対する光Lの入射角度に応じて0～2回、反射層4で反射される。

[0027] 反射層4の材料の例としては、上記の酸化ハフニウムのほか、酸化物では、酸化タンタル、酸化チタニウム、酸化ランタン、酸化亜鉛等、窒化物では、窒化チタン、窒化タンタル、窒化ハフニウム等、金属では、ルビジウム、銅、タングステン、モリブデン、白金、イリジウム、金が挙げられる。単層膜の反射層4は、例えば数百～数千Åの膜厚で形成される。

[0028] また、反射層4は、重金属から成る薄膜と軽金属から成る薄膜から構成される多層膜であってもよく、この場合の最外層は、重金属から成る薄膜で構成される。軽金属から成る薄膜としては例えば酸化アルミニウムが用いられるが、その他に酸化珪素が用いられてもよい。更に、反射層4は、白金／炭素、モリブデン／珪素、タングステン／珪素等といったペア材料の多層膜であってもよい。これらのペア材料による多層膜の場合、1ペアについて例えば数十Åの膜厚で数十～数百層が積層されて形成される。

微細穴光学素子1はいわゆるエンジェル型のロブスターアイ型光学素子（LEO）となっており、光Lを焦点に集めることができる。

図3は、微細穴光学素子1における各貫通穴3の向きを示す図である。

[0029] 微細穴光学素子1における各貫通穴3は、深さ方向の各延長線Mが、各貫通穴3に対して共通の交点Pを向いている。この結果、各延長線Mは共通の交点Pに集まる。また、この共通の交点Pを中心とする半径が100mm以上1000mm以下の球面Sが各貫通穴3と交わっている。このような貫通穴3の配置が、いわゆるロブスターアイ型光学素子（LEO）における配置であり、各貫通穴3の内壁で反射された光が以下説明するように集光される

。

図4は、LEOにおける集光作用の説明図である。

[0030] LEOである微細穴光学素子1では、上述したように、貫通穴3の内壁（の反射層4）で光Lが0～2回反射され、反射パターンに応じた集光パターンで光Lが集光される。ここで、微細穴光学素子1には同一方向から平行に光Lが入射するものとする。同一方向から平行に微細穴光学素子1へと入射した光Lであっても、入射した箇所によって反射パターンが変わる。

[0031] 例えば、貫通穴3の内壁で0回反射された光Ld（即ち反射されずに貫通穴3を通過した光Ld）は、入射方向へとそのまま進んで焦点面FP上の各所に、集光されずに到達する。

[0032] また、貫通穴3の内壁のうち、図の横方向に向かい合った内壁で1回反射された光Lbは、図の横方向について集光され、図の縦方向については入射方向のままとなるので、図の縦方向へと延びる線状の領域に集光される。

[0033] また、貫通穴3の内壁のうち、図の縦方向（紙面の奥行方向）に向かい合った内壁で1回反射された光Lcは、図の縦方向について集光され、図の横方向については入射方向のままとなるので、図の横方向へと延びる線状の領域に集光される。

[0034] また、貫通穴3の内壁で2回反射された光La（即ち、図の縦方向に向かい合った内壁と図の横方向に向かい合った内壁とで1回ずつ反射された光La）は、縦横両方向で集光されるので中心箇所に点状に集光される。

図5は、LEOにおける理想的な集光イメージを示す図である。

[0035] 上述した反射パターンの結果、同一の入射方向から微細穴光学素子1へと入射した光束は、集光面FP上に、十字形状の集光イメージを形成する。即ち、集光面FP上には、十字形状の背景の各所に広がるハローHと、十字の縦横を成す集光ラインFLと、十字の中心に位置する集光スポットFSとが形成される。このような集光イメージが受光装置で測定されることにより、例えば点光源からの光が検出される。

図6は、微細穴光学素子1へと異なる方向から入射した光の集光形態を示

す図である。

ここでは一例として、3方向のそれぞれから微細穴光学素子1へと入射した光 L_1 、 L_2 、 L_3 が示されている。

[0036] 各方向からの光 L_1 、 L_2 、 L_3 は、上述した共通の球面 S と交わる各貫通穴3の反射層4によって反射されることにより、焦点面 FP 上の異なる箇所に集光される。集光された各箇所において、上述した十字形状の集光パターンが形成される。

[0037] 共通の球面 S と交わる各貫通穴3は、言い換えると、球面 S に沿って並んでいることになり、焦点面 FP は球面状となっている。また、焦点面 FP の半径は、共通の球面 S における半径 R の半分となる。

このように、 LEO である微細穴光学素子1は、各方向から入射してくる光 L_1 、 L_2 、 L_3 の何れについても同様に集光することができるので視野が広い。

次に、このような微細穴光学素子1の製造工程について説明する。

図7A～図7Dは、微細穴光学素子1の製造工程を示す図である。

図7A～図7Dに示す製造工程は、それぞれ改質工程(A)、エッチング工程(B)、研磨工程(C)、反射層形成工程(D)である。

[0038] 改質工程(A)では、透明基板2にパルスレーザ光 PL が照射され、パルスレーザ光 PL によって透明基板2が改質される。パルスレーザ光 PL の照射エリアの形状・位置・角度はCADデータに基いて決定される。

[0039] 本実施形態では、透明基板2の改質は、パルスレーザ光 PL における多光子吸収によって実現される。透明基板2中で多光子吸収が起きると多光子吸収を起こした部分が特異的に改質される。透明基板2が例えばガラス基板である場合は、珪素(Si)原子と酸素(O)原子との結合による局所構造が多光子吸収によって分断されて構造変化等が生じ、化学的に反応しやすい状態となる。また、改質に必要なエネルギーは、アブレーションなどといった破壊的な作用を生じるレーザ加工に必要なエネルギーよりも少なく済む。改質工程(A)については後で詳述する。

- [0040] エッチング工程（B）では、透明基板2がエッチャント5に浸され、エッチング処理によって改質領域2aが選択的に除去される。透明基板2が例えばガラス基板である場合は、エッチャント5として弗酸（HF）溶液や水酸化カリウム溶液が用いられる。
- [0041] 本実施形態では、エッチング処理として、処理の手間が少ないウェットエッチングが採用されているが、エッチング処理としてはフッ素（F₂）系ガスを用いたドライエッチングも採用可能である。また、本実施形態では、処理の安定化や迅速化のために、エッチャント5中の透明基板2に対して超音波Wを当てる超音波洗浄も併用される。エッチングの条件は、HF濃度が例えば2.5～5%であり、透明基板2のサイズによって異なるがエッチング時間は例えば1時間～数時間である。
- [0042] エッチング工程（B）では、改質領域2a以外の部分についてもエッチャント5と透明基板2が反応するが、改質領域2aと、改質領域2a以外の領域2bとではエッチングレートが大きく異なる。このため、エッチング工程（B）の開始後速やかに改質領域2aは完全に除去されて貫通穴3が形成される。なお、ここに示す例では、透明基板2に貫通穴3が形成されるので改質領域2aは透明基板2を貫いて形成されるが、透明基板2に有底のスリット（非貫通穴）が形成される場合であれば、改質領域2aは透明基板2の表面に一端のみが達するように形成される。
- [0043] このように、パルスレーザを用いた多光子吸収現象を利用した改質工程（A）とエッチング工程（B）とを経ることにより、貫通穴3の形状・深さ等を簡単にコントロールすることができ、しかも、基板に対して、物理的な穴あけ加工を行う場合に比べて、基板へのダメージが少ない。
- [0044] 研磨工程（C）では、各貫通穴3の側壁を平滑化するために、磁性流体と研磨材との混合液6が用いられる。磁性流体は、磁場が印加されることで粘性が変化する流体であり、既に光学部品の研磨などに実用化されている。具体的には、平均粒径が約0.01μmの磁性流体と、粒径が例えば1μmのダイヤモンドスラリーとの混合液6が各貫通穴3に流し込まれ、透明基板2

と垂直に変動磁場が印加される。

[0045] 混合液 6 は磁場の変動に合わせて貫通穴 3 内をランダムに移動する。透明基板 2 を中心軸の周りに回転させて、混合液 6 と貫通穴 3 の側壁との相対運動を促進することも可能である。混合液 6 が各貫通穴 3 の側壁面を研磨することにより、側壁面の粗さが平滑化され、例えば 1 ～ 2 nm の面粗さが実現される。

[0046] 反射層形成工程 (D) では、透明基板 2 が金属蒸気と反応物質との混合気体 7 中に置かれ、原子層堆積 (ALD) 法によって貫通穴 3 の内壁に金属の反射層 4 が形成される。原子層堆積法では、貫通穴 3 の内壁全体に原子層が 1 層ずつ形成されるので、アスペクト比の高い貫通穴 3 であっても反射層 4 が均等に形成される。

[0047] 上記改質工程 (A) とエッチング工程 (B) と研磨工程 (C) とを併せたものが、本発明にいう穴形成工程の一例に相当し、上記反射層形成工程 (D) が、本発明にいう反射層形成工程の一例に相当する。また、上記改質工程 (A) は、本発明にいう改質工程の一例に相当し、上記エッチング工程 (B) は、本発明にいう除去工程の一例に相当する。

このような製造方法により、図 1 A および図 1 B に示す微細穴光学素子 1 が実現される。

次に、上述した改質工程 (A) について更に詳しく説明する。

図 8 は、図 7 A に示す改質工程 (A) を実行するレーザ改質装置 10 の構造を示す図である。

[0048] レーザ改質装置 10 は、パルスレーザ光を発するレーザ発振器 101 を備えている。レーザ発振器 101 としては、パルス幅が例えば 200 fs 以上 500 fs 以下で、パルスエネルギーが 1 μ J 以下で、繰り返し周波数が 5 MHz 以下のものが用いられる。このようなレーザ発振器 101 は、高ピークパワーを持った超短パルスのレーザ光を発するので、そのパルスレーザ光がガラスなどの透明基板 2 に集光されることで容易に多光子吸収等の非線形効果を生じる。

[0049] レーザ改質装置 10 は、パルスレーザ光を改質に適したエネルギーに減光するためのアテネータ 103 を備えている。また、加工物（ワーク）である透明基板 2 上で必要なスポットサイズが得られるように、ビーム拡大系 104 と絞り用レンズ（ $f\theta$ レンズ） 106 が備えられている。この結果、集光系の NA 値は例えば 0.26 などといった大きな値となる。

[0050] レーザ改質装置 10 は、透明基板 2 上の指定された箇所に指定された角度の貫通穴、もしくは非貫通穴を形成させるため、透明基板 2 を立体的に移動させる XYZ 軸ステージ 108 を備えるとともに、パルスレーザ光をスキャンする 2 軸のガルバノミラー 105 も備えている。これら XYZ 軸ステージ 108 およびガルバノミラー 105 によってパルスレーザ光は透明基板 2 中の指定された箇所に集光されて集光スポットを形成する。

図 9A～図 9E は、レーザ改質装置 10 で実行される改質工程（A）の手順例を示す図である。

図 9A～図 9E には、改質工程（A）で透明基板 2 中に改質領域 2a が形成される手順の一例として、段階（A）から段階（E）までの手順が模式的に示されている。

[0051] 図 9A の段階（A）では、XYZ 軸ステージ 108 が、CAD データに基づいたスタート箇所に位置決めされることで、透明基板 2 の裏面直上にパルスレーザ PL の焦点が結ばれ、改質領域 2a の形成が開始される。

[0052] 図 9B の段階（B）では、XYZ 軸ステージ 108 が図の下方へと移動することでパルスレーザ PL の焦点が透明基板 2 の内部側へと移動し、その結果、改質領域 2a が透明基板 2 の内部側に延びる。

図 9C の段階（C）および図 9D の段階（D）では、更に XYZ 軸ステージ 108 が移動して改質領域 2a が透明基板 2 の表面側へと更に延びていく。

[0053] 図 9E の段階（E）では、XYZ 軸ステージ 108 がエンド箇所まで移動し、パルスレーザ PL の焦点が透明基板 2 の表面直下まで達する。これにより、透明基板 2 の表面から裏面に至る改質領域 2a が形成される。

[0054] 以上の手順で、図 1 A に示すように配列された貫通穴 3 のうち、透明基板 2 上の 1 箇所に対応する部分が改質される。従って、図 9 A ～図 9 E に示す手順が、透明基板 2 上の各所で繰り返されることで、図 1 A に示すように配列され図 2 に示すような断面形状と図 3 に示すような各向きとを有した各貫通穴 3 に相当する改質領域 2 a が形成されることになる。なお、本実施形態の微細穴光学素子 1 は、平板状の基板 2 を有するので、X Y Z 軸ステージ 1 0 8 によるパルスレーザ P L の焦点位置の制御が容易である。

[0055] このように、本実施形態の微細穴光学素子 1 の製造方法では、理想的な形状と向きを有する貫通穴 3（および反射層 4）が簡便な工程で透明基板 2 に高精度に形成され、貫通穴 3（および反射層 4）の形成に際して透明基板 2 には応力などが加えられない。このため微細穴光学素子 1 は、広い視野を有するとともに結像性能（品質）も高い。

次に、このように製造される微細穴光学素子 1 が組み込まれた光学装置について説明する。

図 1 0 は、微細穴光学素子 1 が組み込まれた光学装置 1 0 0 を示す図である。

光学装置 1 0 0 は例えば天体を観測する装置であり、光学系部分 1 1 0 と電子系部分 1 2 0 とを備えている。

[0056] 電子系部分 1 2 0 は、光学系部分 1 1 0 に対向する位置に受光装置 1 2 1 を備えている。受光装置 1 2 1 の受光面は、上述した焦点面 F P に沿った球面状の面である。また、電子系部分 1 2 0 の本体部分 1 2 2 には、受光装置 1 2 1 の電源や制御回路などが組み込まれている。

[0057] 光学系部分 1 1 0 はフレーム 1 1 1 を有し、そのフレーム 1 1 1 上に複数の微細穴光学素子 1 が並べて固定され、それら複数の微細穴光学素子 1 がフレーム 1 1 1 で支持されている。

図 1 1 は、光学装置 1 0 0 の光学系部分 1 1 0 の組み立て図である。

[0058] フレーム 1 1 1 には枠穴 1 1 2 が設けられており、各枠穴 1 1 2 に各微細穴光学素子 1 が対応付けられて微細穴光学素子 1 が取り付けられる。各微細

穴光学素子 1 からの通過光は、フレーム 1 1 1 の枠穴 1 1 2 を通り抜け、受光装置 1 2 1 の受光面上に上述した集光パターンで集光される。

[0059] フレーム 1 1 1 が各微細穴光学素子 1 を支持する部分の全体的な形状は、上述した共通の球面 S に沿った球面状の形状となっており、各微細穴光学素子 1 は共通の球面 S に沿った球面状に並べられて支持される。この結果、複数の微細穴光学素子 1 の全体で 1 つの L E O として機能し、例えば 3 0 度といった広い視野が実現される。つまり、平板状の微細穴光学素子 1 が球面状に配置されることにより、製造が容易で広視野の光学装置が実現される。

図 1 2、図 1 3 は、フレーム 1 1 1 に対する微細穴光学素子 1 の固定方法を示す図であり、図 1 2 には断面図が示され、図 1 3 には正面図が示されている。

[0060] 微細穴光学素子 1 は、四角形の角の部分が押さえ部材 1 1 3 によって押さえられ、押さえ部材 1 1 3 はピン 1 1 4 によってフレーム 1 1 1 に固定される。このような固定構造により、微細穴光学素子 1 は、貫通穴 3 が設けられて集光に寄与する領域が光に対して広く露出した状態でフレーム 1 1 1 に固定される。

次に、微細穴光学素子の第 2 実施形態について説明する。

図 1 4 は、微細穴光学素子の第 2 実施形態を示す図である。

[0061] 第 2 実施形態の微細穴光学素子 2 0 では、湾曲した基板 2 2 に、第 1 実施形態と同様に貫通穴 3 が形成されている。第 2 実施形態における基板 2 2 は、上述した共通の球面 S に沿って湾曲しているので、第 2 実施形態の微細穴光学素子 2 0 では、第 1 実施形態よりも広い範囲に亘って貫通穴 3 が形成可能であり、1 枚の微細穴光学素子 2 0 における視野が広い。なお、湾曲した基板 2 2 は、平板状のガラス材料からの研磨やガラスモールドなどによって容易に形成される。

次に、微細穴光学素子の第 3 実施形態について説明する。

図 1 5 A および図 1 5 B は、微細穴光学素子の第 3 実施形態を概念的に示す図である。図 1 5 A は、正面図、図 1 5 B は、側面図である。

[0062] 第3実施形態の微細穴光学素子30は、いわゆるシュミット型のロブスターアイ型光学素子（LEO）となっており、一辺が例えば40mmで厚さが例えば1mmの方形状の外形を有した透明基板32に対して各々の深さが例えば0.5mmの上段のスリット穴33aと下段のスリット穴33bが形成された構造となっている。透明基板32の材質は第1実施形態と同様である。

[0063] 各スリット穴33a, 33bのスリット幅は例えば20 μ mに形成され、スリット穴33a, 33bの相互間に位置するガラスや樹脂の部分の幅が例えば6 μ mに形成されている。

図16は、図15B中の部分Pにおける拡大斜視図である。

[0064] 上段のスリット穴33aと下段のスリット穴33bは、例えば互いに直交する方向に延びている。また、2段のスリット穴33a, 33bを経ることで、実質的に貫通穴が透明基板32に形成されている。また、各スリット穴33a, 33bの内壁には第1実施形態と同様の反射層が形成されているが図示は省略されている。

[0065] 2段のスリット穴33a, 33bのうち上段のスリット穴33aの内壁は、図4の横方向に対向した内壁と同様に光を反射し、2段のスリット穴33a, 33bのうち下段のスリット穴33bの内壁は、図4の縦方向に対向した内壁と同様に光を反射する。この結果、シュミット型のLEOである第3実施形態の微細穴光学素子30でも、図5に示すような十字型の集光パターンが得られる。

[0066] このようなシュミット型のLEOである第3実施形態の微細穴光学素子30は、図7A～図7Dに示す製造工程と同様の製造工程によって製造される。但し、改質工程における手順が第1実施形態とは異なるので、以下、改質工程における手順について説明する。

図17は、改質工程における第1の手順を示す図である。

[0067] ここでは一例として、パルスレーザPLが透明基板32の上段側から入射される場合について説明する。図17に示す第1の手順では、2段のスリッ

ト穴 33a, 33b のうち、パルスレーザ PL の入射方向で前方側に位置する下段のスリット穴 33b に相当する箇所について改質が行われる。

[0068] 下段のスリット穴 33b が延びる方向（即ち図の左右方向）にパルスレーザ PL が移動されながら改質が行われることで、スリット穴 33b に相当する領域が精度のよい直線状に改質される。

図 18 は、改質工程における第 2 の手順を示す図である。

[0069] 2 段のスリット穴 33a, 33b のうち下段のスリット穴 33b に相当する箇所が改質された後、パルスレーザ PL の入射方向で手前側に位置する上段のスリット穴 33a に相当する箇所が改質される。このように、パルスレーザ PL の入射方向で手前側に位置する方のスリット穴 33a の箇所が後で改質されることにより、透明基板 32 の改質済みの箇所でパルスレーザ PL の進行が乱される虞が回避され、高い位置精度で改質が行われる。

[0070] 上段のスリット穴 33a が延びる方向（即ち図の上下方向）にパルスレーザ PL が移動されながら改質が行われることで、スリット穴 33a に相当する領域が精度のよい直線状に改質される。

[0071] 図 17、図 18 に示す手順で改質された透明基板 32 が、その後、図 7B ～図 7D に示す各工程（B）～（D）を経ることで、シュミット型の微細穴光学素子 30 が容易に製造される。なお、図 17、図 18 に示す手順では、透明基板 32 の両面のうち片面側からパルスレーザ PL が照射されるので、透明基板 32 を裏返す手間や位置合わせの手間などが省かれて望ましいが、本発明にいう改質工程は、透明基板 32 の両面それぞれから 2 段のスリット穴 33a, 33b それぞれの箇所にパルスレーザ PL を照射して改質する工程であってもよい。

[0072] このように製造された第 3 実施形態の微細穴光学素子 30 は、図 10 に示す光学装置 100 に、第 1 実施形態の微細穴光学素子 1 に替えて取り付けられてもよい。シュミット型の微細穴光学素子 30 が図 10 に示す光学装置 100 に取り付けられた場合にも、広視野の装置が容易に得られる。

[0073] なお、上記説明では、本発明にいう穴形成工程の一例として、レーザによ

る改質工程と除去工程とを備える穴形成工程が示されているが、本発明にいう穴形成工程は、例えば不透明な基板に対して改質工程を経ずにレーザ加工などによって穴を直接形成する工程であってもよいし、レーザ照射以外の手段による改質工程を備える穴形成工程であってもよい。

[0074] また、上記説明では、天体観測用に用いられる微細穴光学素子が例示されているが、本発明にいう微細穴光学素子は、非天文学的な物体の観測や撮像に用いられてもよい。

[0075] また、上記説明では、２段のスリット穴 3 3 a, 3 3 b それぞれの延びる方向が互いに直交する例や、四角形の貫通穴の互いに隣り合う内壁同士が互いに直交する例が示されているが、本発明にいう微細穴光学素子は、直交以外の角度でスリット穴同士や内壁同士が交わるものであってもよい。

[0076] また、上記説明では、基板として単一形成の基板が例示されているが、本発明にいう基板は、例えば厚さ方向に複数の基板部分が重ねられた基板や、広がり方向に複数の基板部分が継ぎ合わされた基板であってもよい。

[0077] なお、上記において特定の実施形態が説明されているが、当該実施形態は単なる例示であり、本発明の範囲を限定する意図はない。本明細書に記載された装置及び方法は上記した以外の形態において具現化することができる。また、本発明の範囲から離れることなく、上記した実施形態に対して適宜、省略、置換及び変更をなすこともできる。かかる省略、置換及び変更をなした形態は、請求の範囲に記載されたもの及びこれらの均等物の範疇に含まれ、本発明の技術的範囲に属する。

符号の説明

[0078] 1, 2 1, 3 0…微細穴光学素子、2, 2 2, 3 2…透明基板、3…貫通穴、3 3 a, 3 3 b…スリット穴、4…反射層、1 0 0…光学装置、1 1 1…フレーム

請求の範囲

- [請求項1] 基板に複数の穴が並んで穿たれ、各穴の深さ方向の延長線が基板外に位置した共通の交点へと向かうとともに、各穴は当該交点を中心とした共通の球面と交わる微細穴光学素子の製造方法であって、
前記基板に対して前記複数の穴を形成する穴形成工程と、
前記複数の穴それぞれの内壁に反射層を形成する反射層形成工程と、
、
を備えることを特徴とする微細穴光学素子の製造方法。
- [請求項2] 前記基板が透明基板であって、
前記穴形成工程が更に、
前記穴が形成される箇所について前記透明基板中にビームを照射して多光子吸収を生じさせることで改質する改質工程と、
前記改質工程で改質された箇所を除去して前記穴を形成する除去工程とを備えることを特徴とする請求項1に記載の微細穴光学素子の製造方法。
- [請求項3] 前記基板が平板状の基板であることを特徴とする請求項1または2に記載の微細穴光学素子の製造方法。
- [請求項4] 前記基板が前記共通の球面に沿って湾曲した基板であることを特徴とする請求項1または2に記載の微細穴光学素子の製造方法。
- [請求項5] 前記穴形成工程が、前記基板の表面から裏面まで貫通した、断面形状が四角形の貫通穴を形成することを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の微細穴光学素子の製造方法。
- [請求項6] 前記穴形成工程が、前記基板の表面に沿って線状に延びた複数の第1スリット穴を当該基板の厚み方向の途中まで形成すると共に、当該基板の裏面に沿って当該複数の第1スリット穴に交わる方向に線状に延びた複数の第2スリット穴を当該途中から当該基板の裏面まで形成することを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の微細穴光学素子の製造方法。

[請求項7] 前記基板が透明基板であって、
前記穴形成工程が、
前記スリット穴が形成される箇所について前記透明基板中にビームを照射して多光子吸収を生じさせることで当該透明基板を改質する改質工程と、
前記改質工程で改質された箇所を除去して前記スリット穴を形成する除去工程とを備え、
前記改質工程が、前記基板の表裏面のうち片面側からビームを照射して前記第1スリット穴と前記第2スリット穴との双方の箇所を改質することを特徴とする請求項6に記載の微細穴光学素子の製造方法。

[請求項8] 前記改質工程が、前記第1スリット穴と前記第2スリット穴のうち、前記ビームの進行方向前方側に位置するスリット穴の箇所から先に改質することを特徴とする請求項7に記載の微細穴光学素子の製造方法。

[請求項9] 前記反射層形成工程を経た複数の前記基板を支持フレーム上に並べて固定する固定工程を備えることを特徴とする請求項1から8のいずれか1項に記載の微細穴光学素子の製造方法。

[請求項10] 基板に複数の穴が並んで穿たれ、各穴の深さ方向の延長線が基板外に位置した共通の交点へと向かうとともに、各穴は当該交点を中心とした共通の球面と交わる微細穴光学素子と、
前記微細穴光学素子からの通過光が抜ける枠穴が複数穿たれ、各枠穴を囲った各枠で各微細穴光学素子を支持する支持フレームと、
を備えたことを特徴とする光学装置。

[請求項11] 基板に複数の穴が並んで穿たれ、各穴の深さ方向の延長線が基板外に位置した共通の交点へと向かうとともに、各穴は当該交点を中心とした共通の球面と交わる微細穴光学素子と、
複数の前記微細穴光学素子を、前記共通の球面に沿って並べて支持する支持フレームと、

を備えたことを特徴とする光学装置。

補正された請求の範囲
[2019年8月7日(07.08.2019)国際事務局受理]

[請求項 1] (補正後) 所定形状の基板に複数の穴が並んで穿たれた微細穴光学素子の製造方法であって、

前記所定形状の基板に対して複数の穴を形成する穴形成工程と、
前記複数の穴それぞれの内壁に反射層を形成する反射層形成工程と、
を備え、

前記穴形成工程によって形成された各穴の深さ方向の延長線が基板外に位置した共通の交点へと向かうとともに、各穴は当該交点を中心とした共通の球面と交わることを特徴とする微細穴光学素子の製造方法。

[請求項 2] 前記基板が透明基板であって、

前記穴形成工程が更に、

前記穴が形成される箇所について前記透明基板中にビームを照射して多光子吸収を生じさせることで改質する改質工程と、

前記改質工程で改質された箇所を除去して前記穴を形成する除去工程とを備えることを特徴とする請求項 1 に記載の微細穴光学素子の製造方法。

[請求項 3] 前記基板が平板状の基板であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の微細穴光学素子の製造方法。

[請求項 4] (削除)

[請求項 5] (補正後) 前記穴形成工程が、前記基板の表面から裏面まで貫通した、断面形状が四角形の貫通穴を形成することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の微細穴光学素子の製造方法。

[請求項 6] (補正後) 前記穴形成工程が、前記基板の表面に沿って線状に延びた複数の第 1 スリット穴を当該基板の厚み方向の途中まで形成すると共に、当該基板の裏面に沿って当該複数の第 1 スリット穴に交わる方向に線状に延びた複数の第 2 スリット穴を当該途中から当該基板の裏面まで形成することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の微細穴

光学素子の製造方法。

[請求項 7]

前記基板が透明基板であって、

前記穴形成工程が、

前記スリット穴が形成される箇所について前記透明基板中にビームを照射して多光子吸収を生じさせることで当該透明基板を改質する改質工程と、

前記改質工程で改質された箇所を除去して前記スリット穴を形成する除去工程とを備え、

前記改質工程が、前記基板の表裏面のうち片面側からビームを照射して前記第 1 スリット穴と前記第 2 スリット穴との双方の箇所を改質することを特徴とする請求項 6 に記載の微細穴光学素子の製造方法。

[請求項 8]

前記改質工程が、前記第 1 スリット穴と前記第 2 スリット穴のうち、前記ビームの進行方向前方側に位置するスリット穴の箇所から先に改質することを特徴とする請求項 7 に記載の微細穴光学素子の製造方法。

[請求項 9] (補正後)

前記反射層形成工程を経た複数の前記基板を支持フレーム上に並べて固定する固定工程を備えることを特徴とする請求項 1 から 3, 5 から 8 のいずれか 1 項に記載の微細穴光学素子の製造方法。

[請求項 10]

基板に複数の穴が並んで穿たれ、各穴の深さ方向の延長線が基板外に位置した共通の交点へと向かうとともに、各穴は当該交点を中心とした共通の球面と交わる微細穴光学素子と、

前記微細穴光学素子からの通過光が抜ける枠穴が複数穿たれ、各枠穴を囲った各枠で各微細穴光学素子を支持する支持フレームと、
を備えたことを特徴とする光学装置。

[請求項 11]

基板に複数の穴が並んで穿たれ、各穴の深さ方向の延長線が基板外に位置した共通の交点へと向かうとともに、各穴は当該交点を中心とした共通の球面と交わる微細穴光学素子と、

複数の前記微細穴光学素子を、前記共通の球面に沿って並べて支持

する支持フレームと、
を備えたことを特徴とする光学装置。

条約第 19 条（1）に基づく説明書

請求の範囲第 1 項は、出願時の第 1 項および段落 [0039] - [0043]、[0054]、[0055] に記載された事項に基づく限定を付加し、穴形成工程で形成される各穴が、微細穴光学素子として必要な方向などを有していることを明確化した。

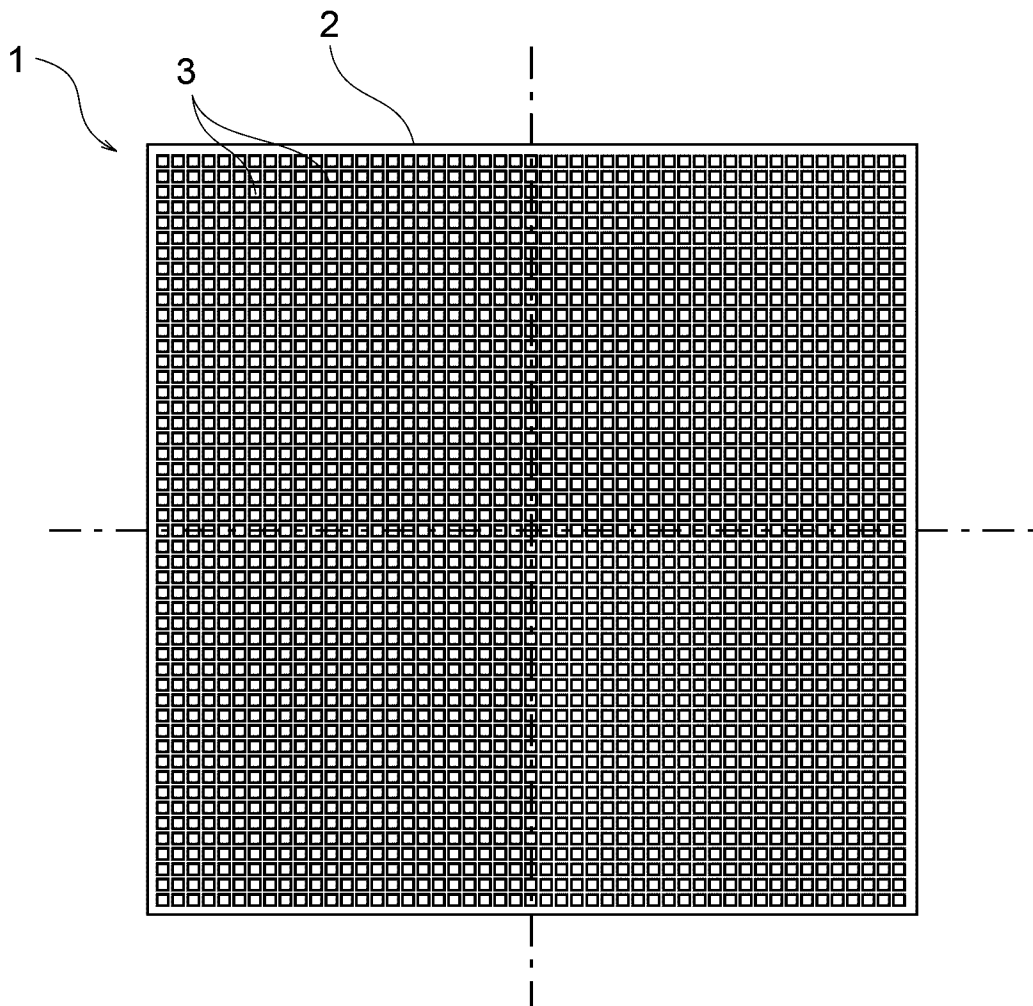
第 4 項は削除した。

第 5 項、第 6 項および第 9 項は、引用元を修正した。

第 2 項、第 3 項、第 7 項、第 8 項、第 10 項、第 11 項は変更していない。

以上

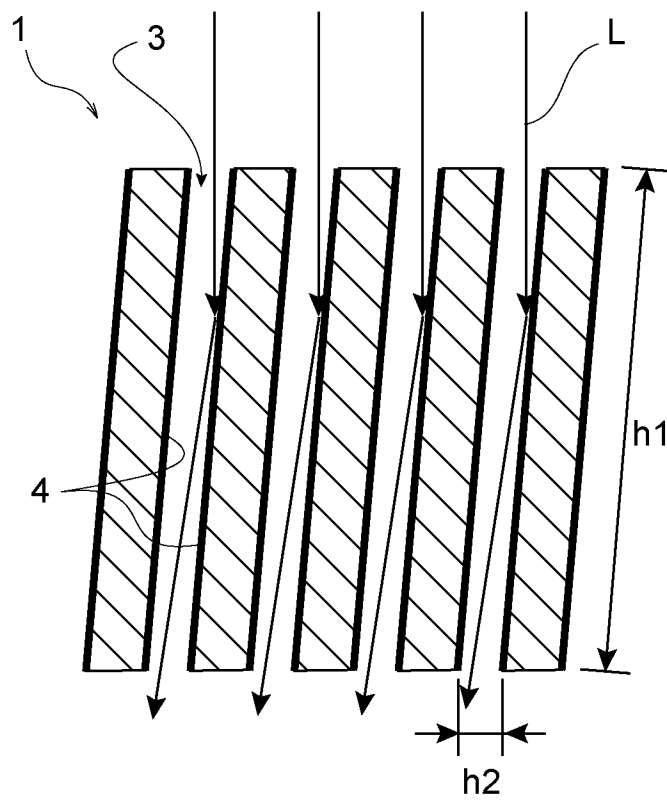
[図1A]



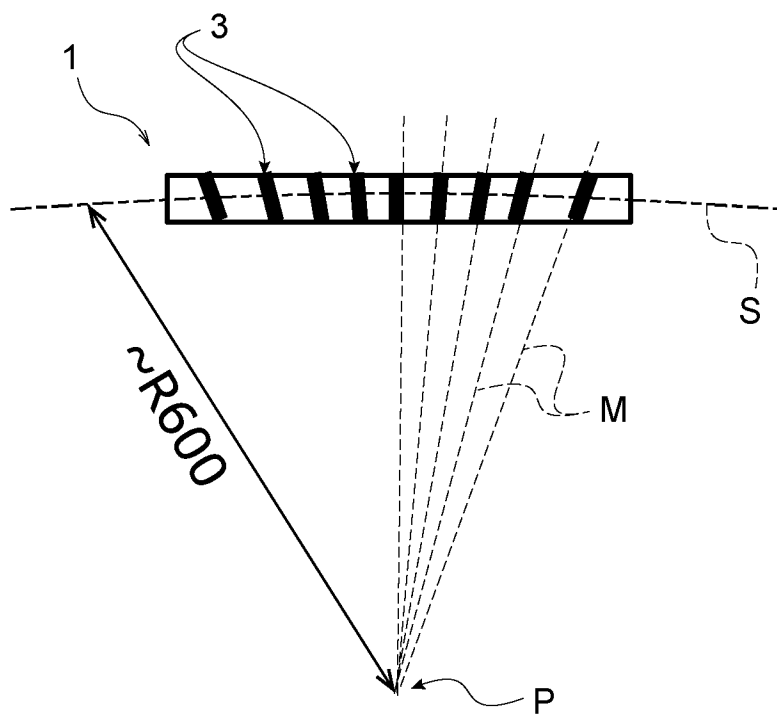
[図1B]



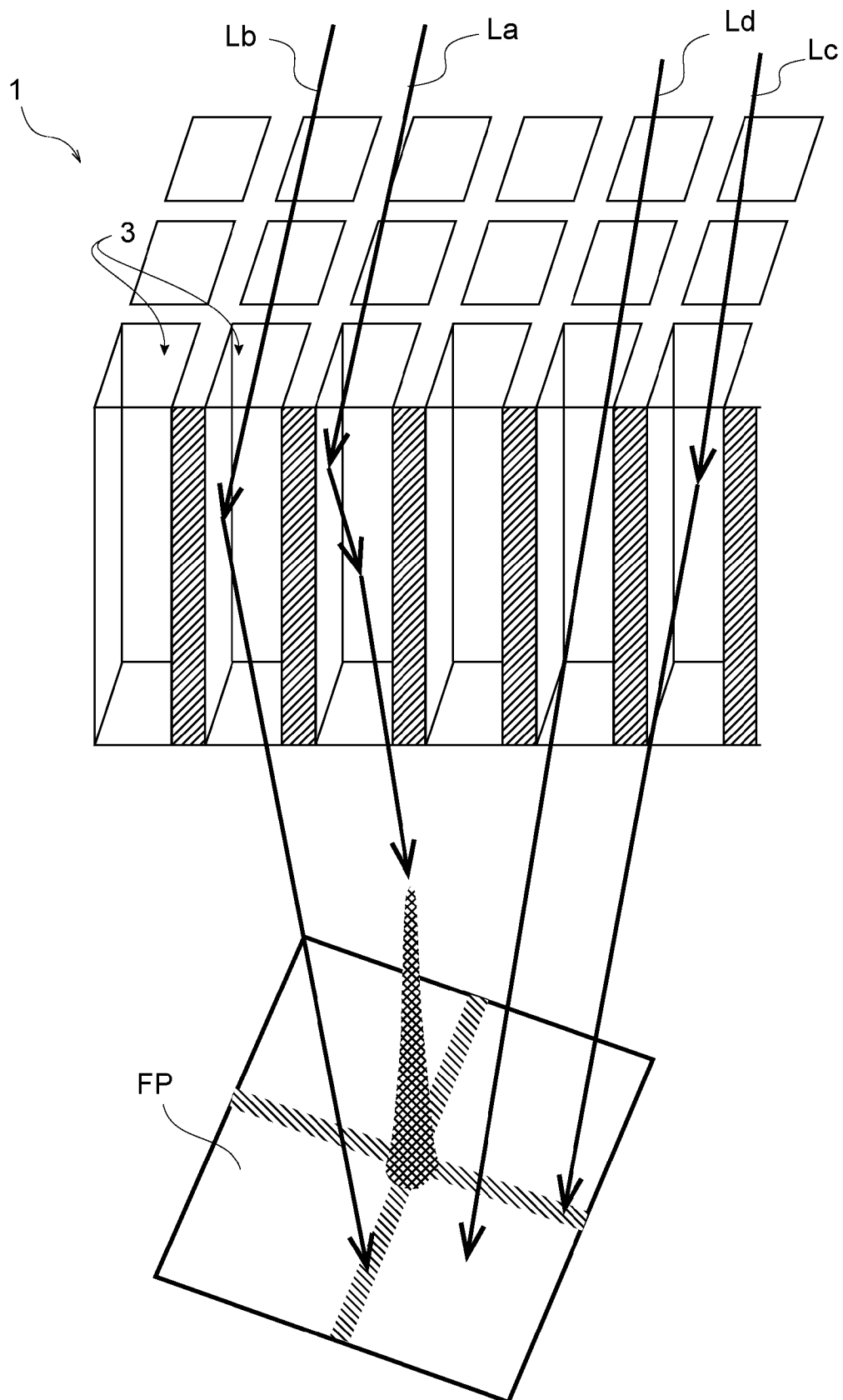
[図2]



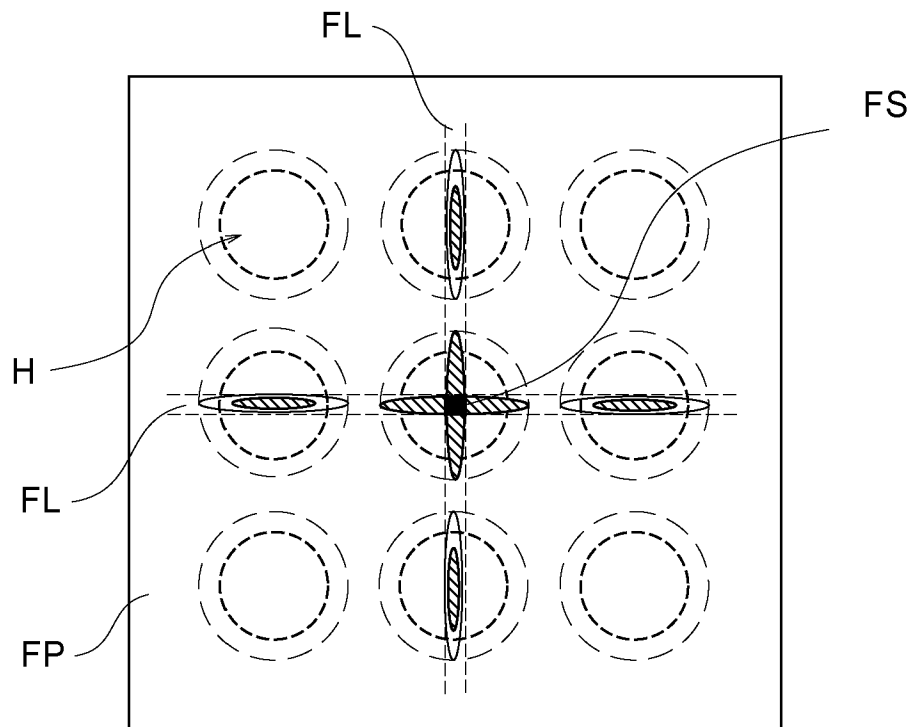
[図3]



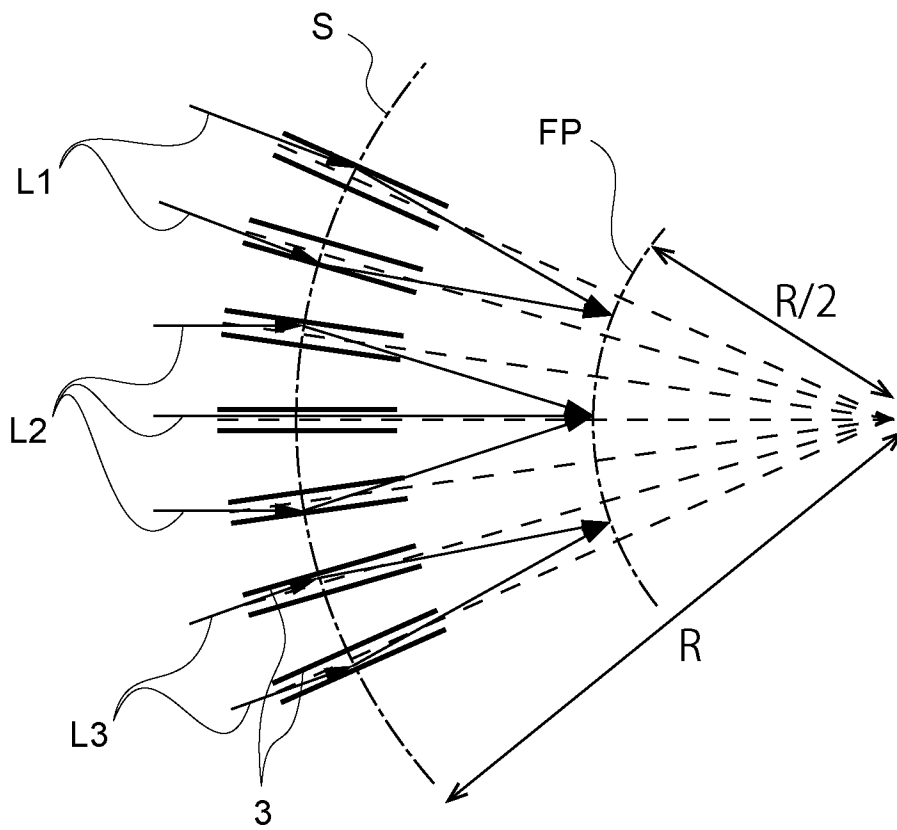
[図4]



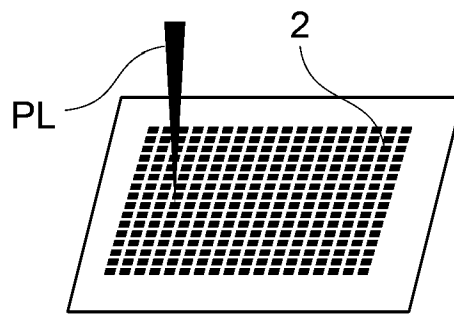
[図5]



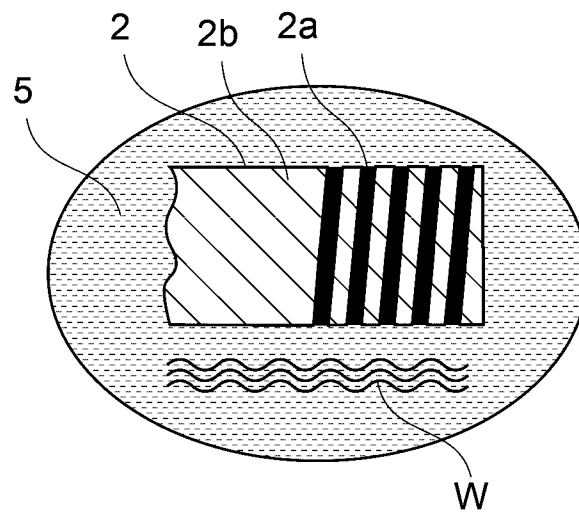
[図6]



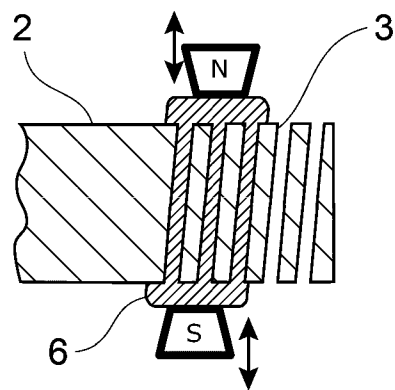
[図7A]



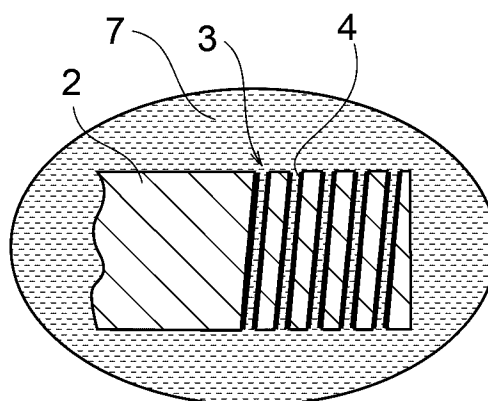
[図7B]



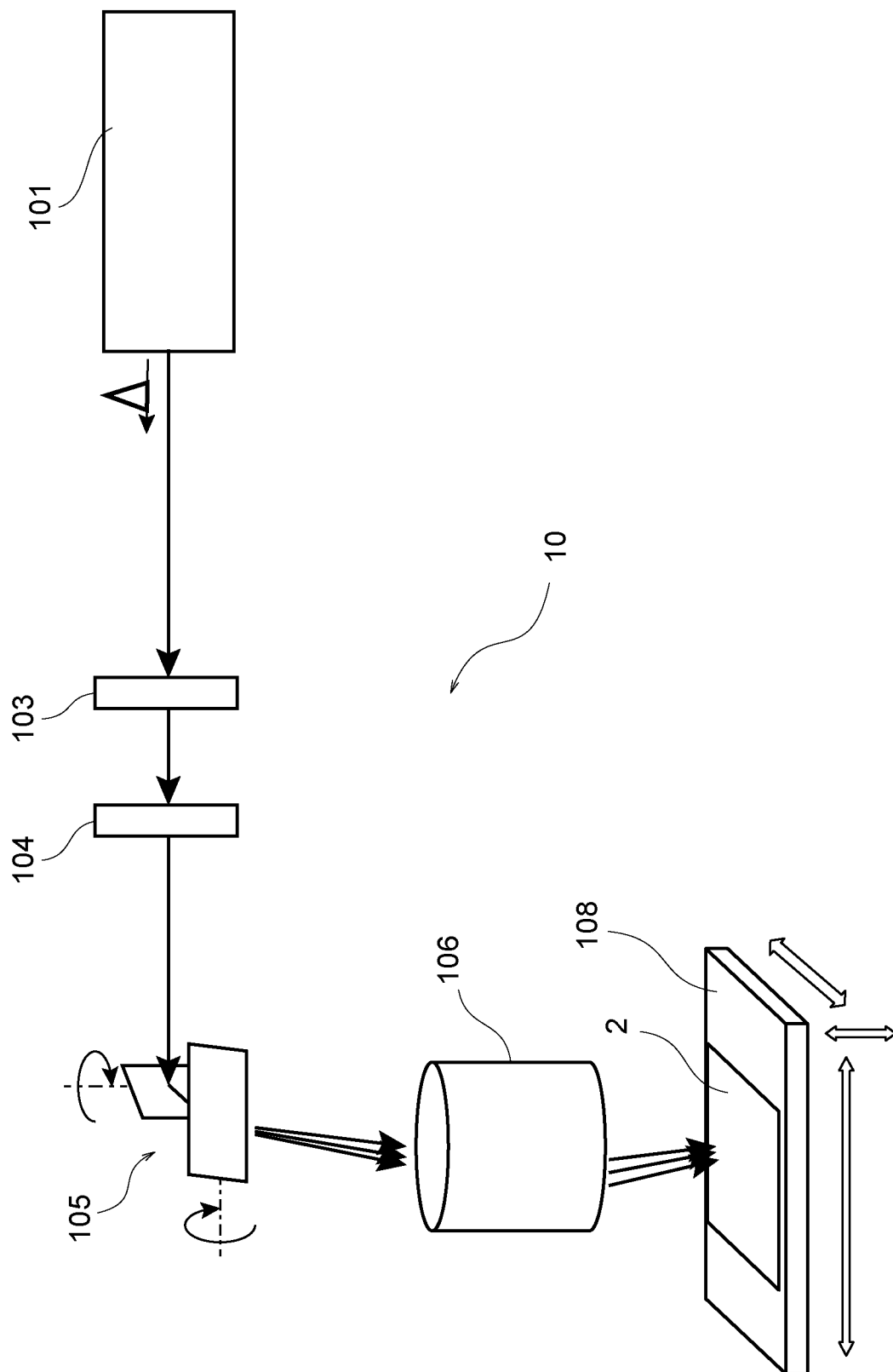
[図7C]



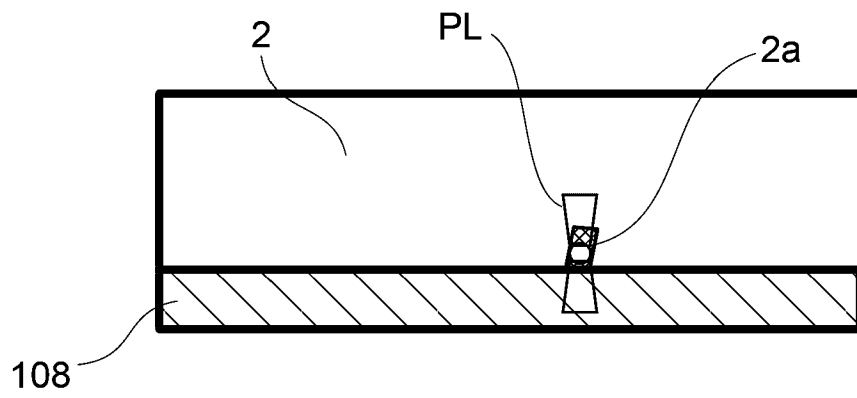
[図7D]



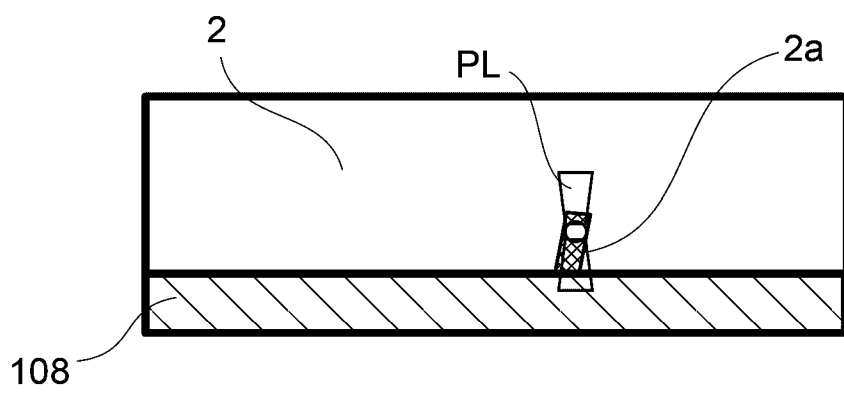
[図8]



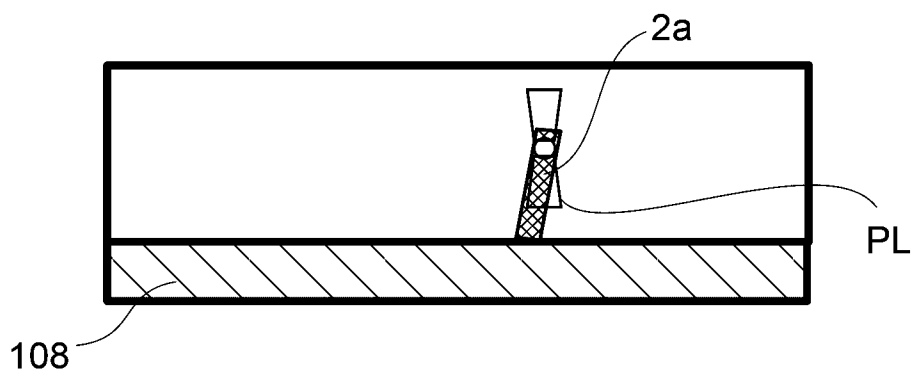
[図9A]



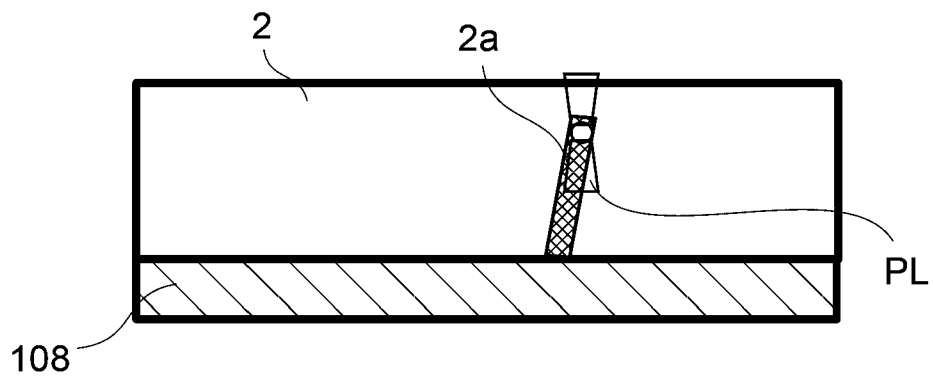
[図9B]



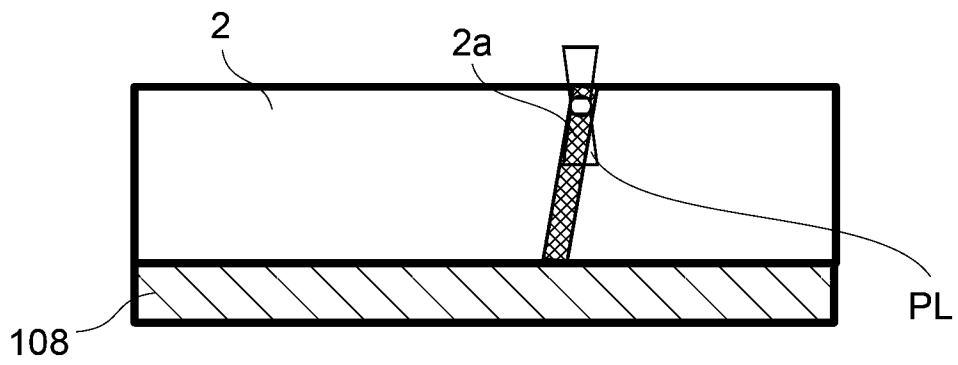
[図9C]



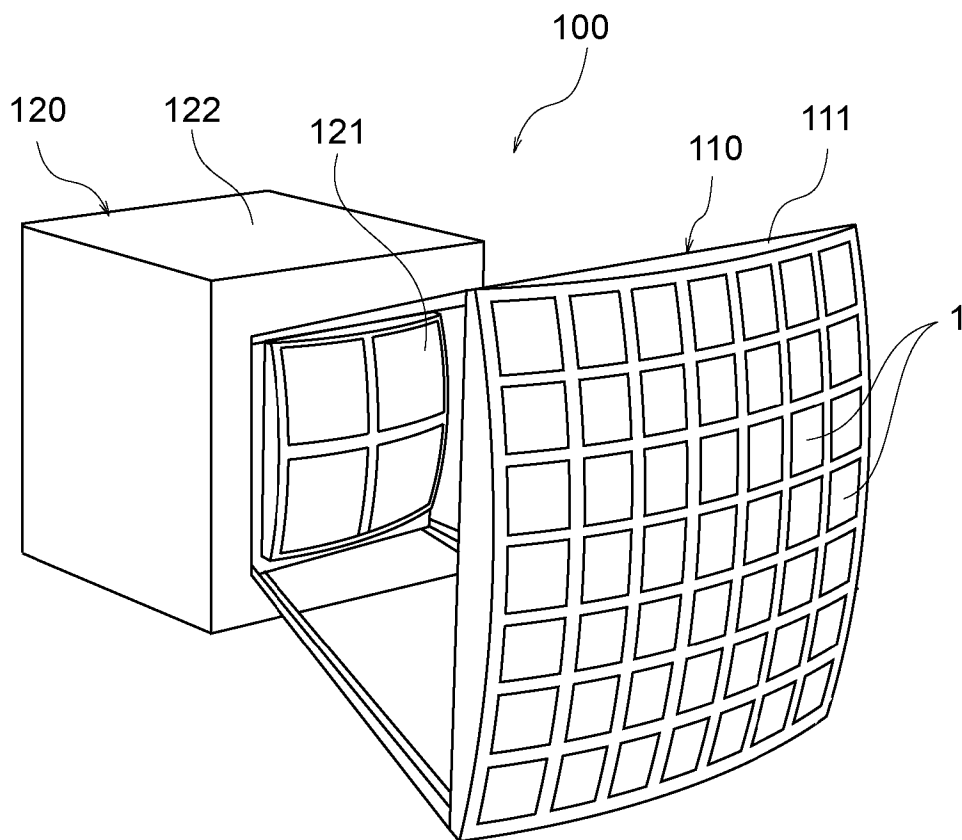
[図9D]



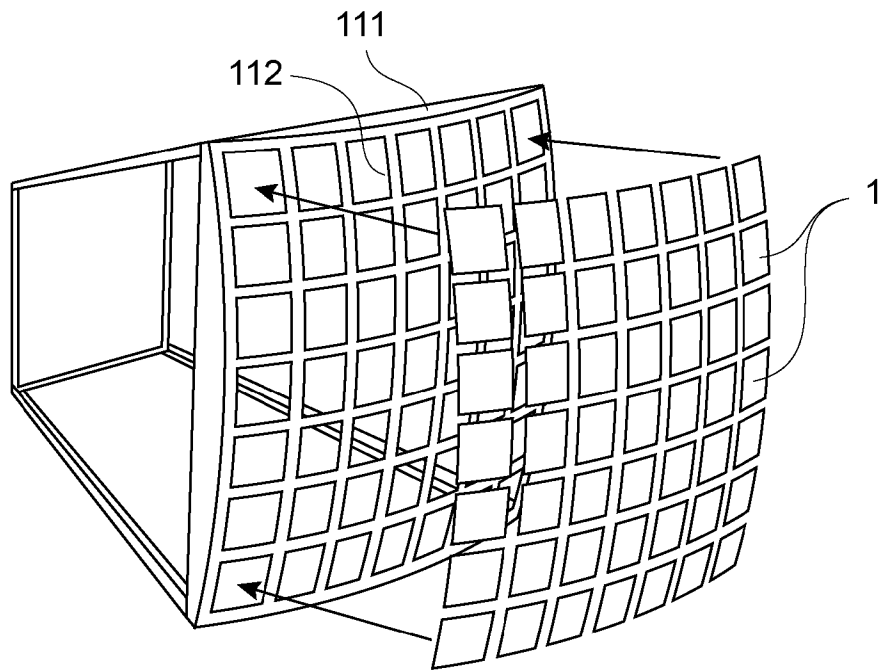
[図9E]



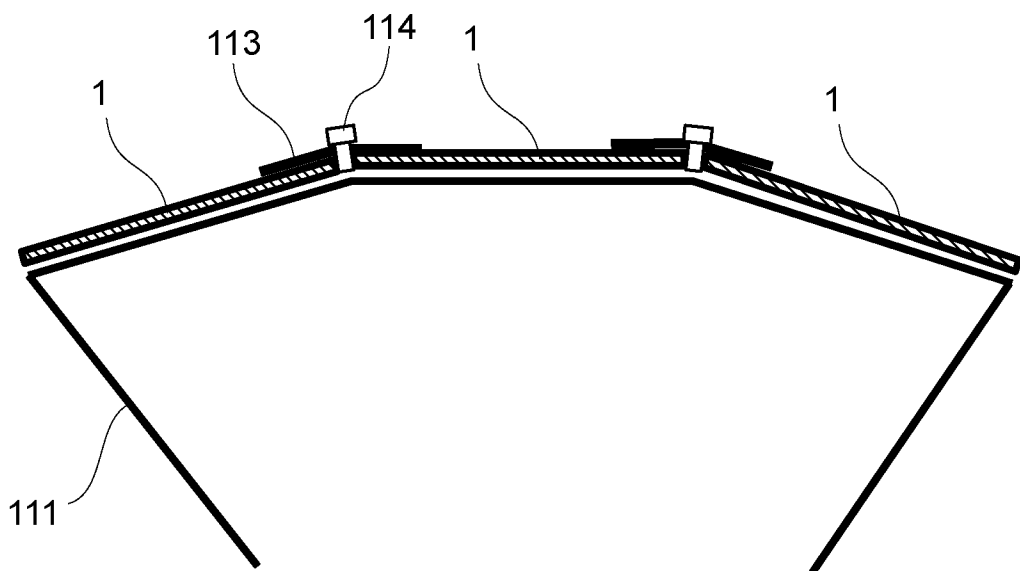
[図10]



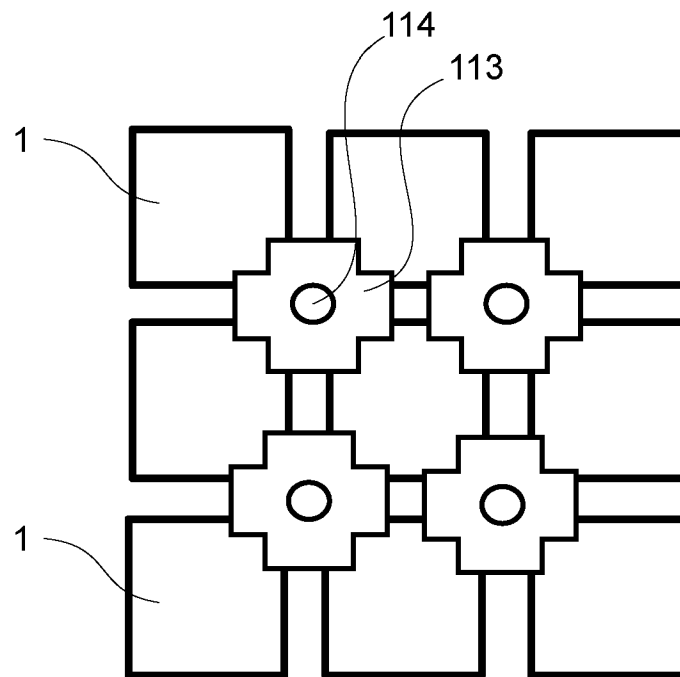
[図11]



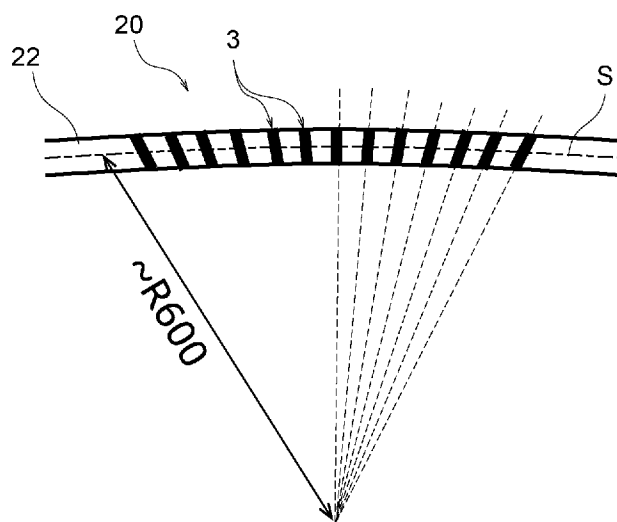
[図12]



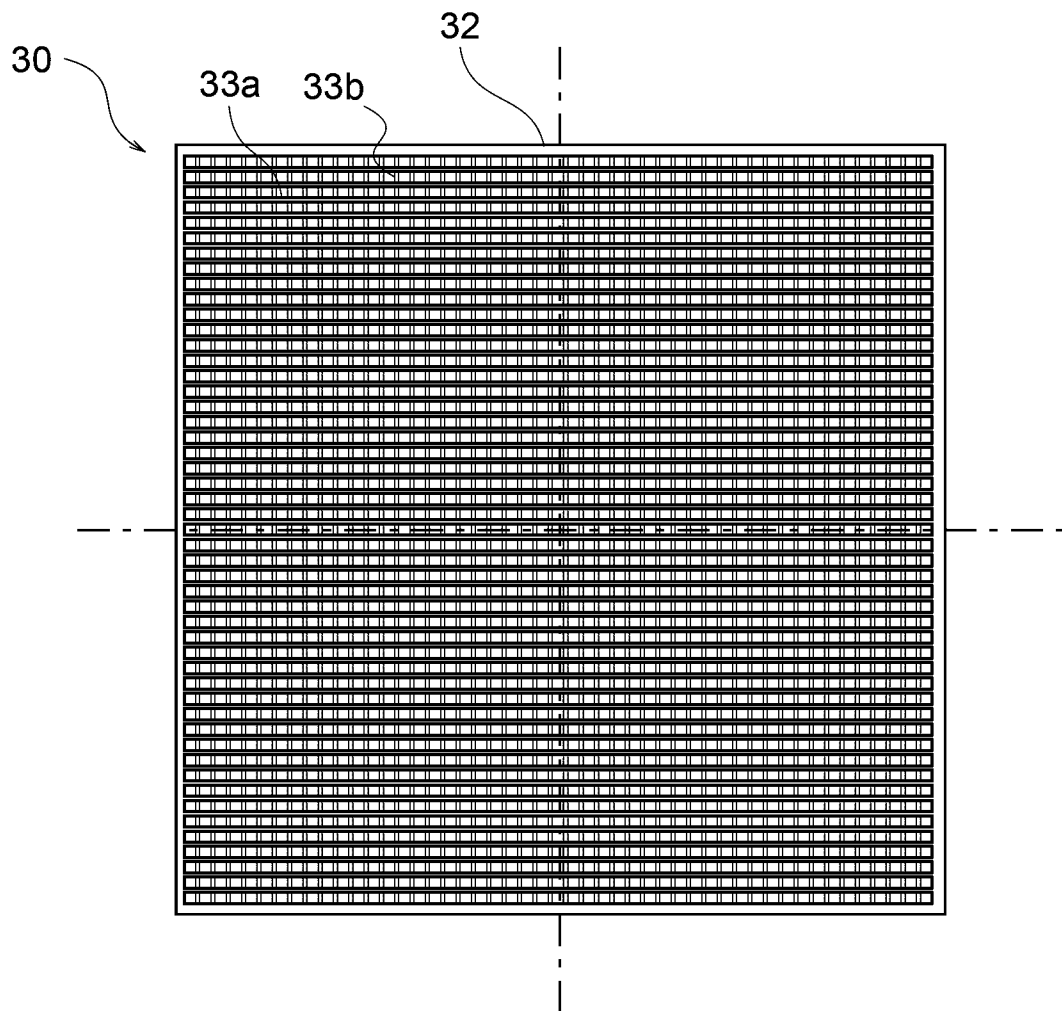
[図13]



[図14]



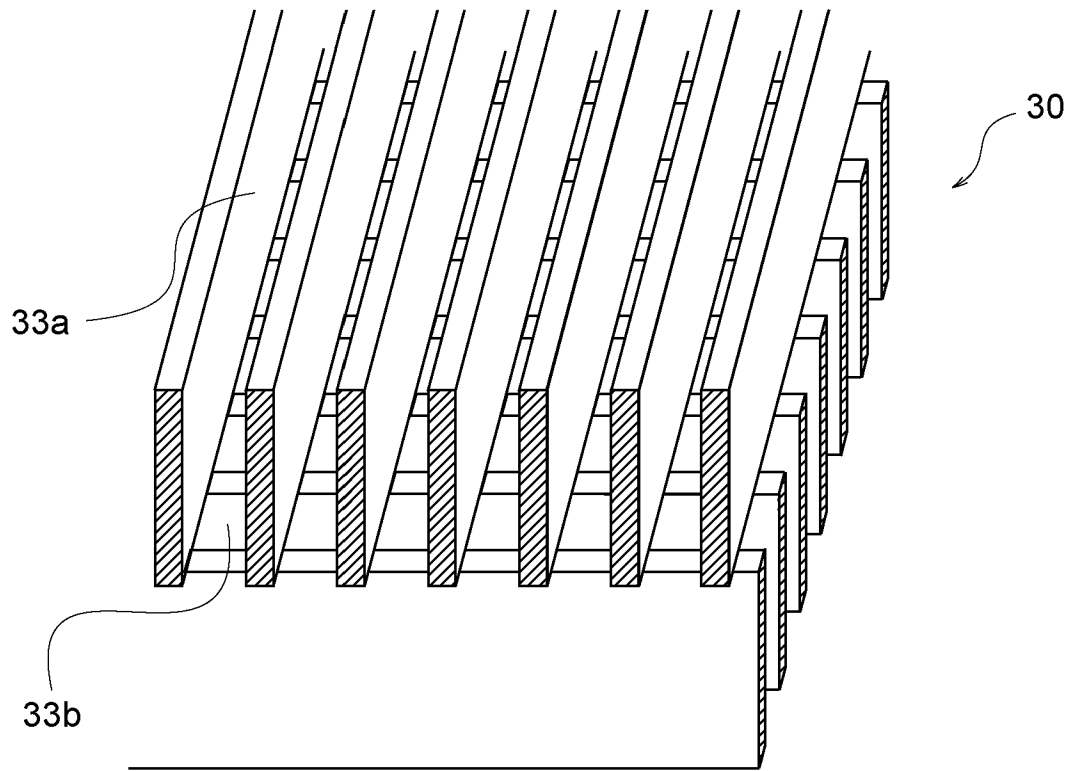
[図15A]



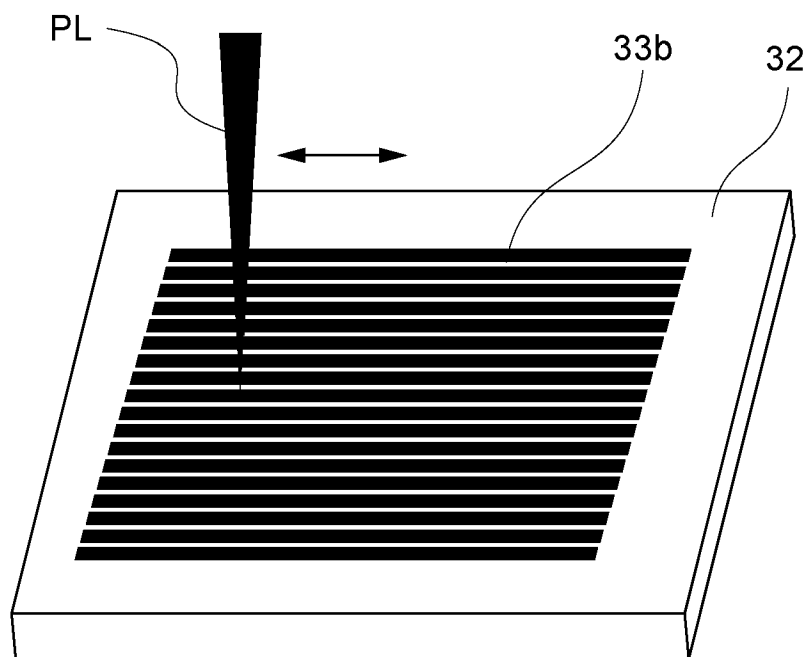
[図15B]



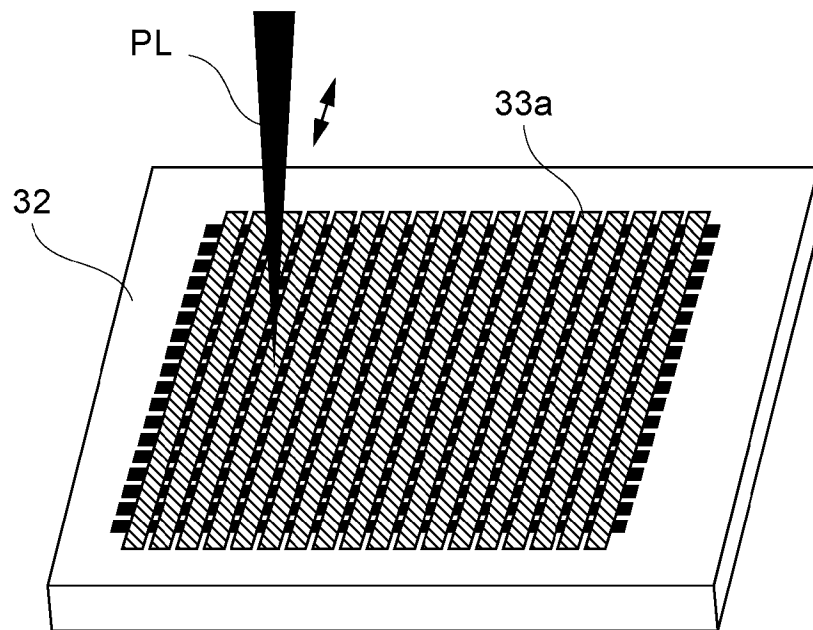
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/006264

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G21K1/06 (2006.01) i, G02B5/08 (2006.01) i, G21K1/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G21K1/06, G02B5/08, G21K1/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2015-7647 A (TOKYO METROPOLITAN UNIV., JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY) 15 January 2015, paragraphs [0025], [0029]-[0033], [0036]-[0037], fig. 2, 10 & JP 2012-37440 A	1, 3-4 5, 9-11 2, 6-8
Y	JP 4025779 B2 (JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY) 26 December 2007, paragraph [0033], fig. 1, 6 & US 2006/0158755 A1, paragraph [0044], fig. 1, 6 & US 2009/0262900 A1 & EP 1688963 A2	5, 9-11
A	JP 2015-510581 A (RIGAKU INNOVATIVE TECHNOLOGIES, INC.) 09 April 2015, paragraph [0027], fig. 2 & US 2013/0164457 A1, paragraph [0027], fig. 2 & WO 2013/101571 A1 & EP 2798646 A1 & CA 2861582 A1	2, 7-8
A	JP 2016-31340 A (TOKYO METROPOLITAN UNIV., JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY) 07 March 2016, paragraphs [0025]-[0028] (Family: none)	6-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 May 2019 (08.05.2019)

Date of mailing of the international search report
21 May 2019 (21.05.2019)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/006264

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/006264

<Continuation of Box No. III>

Document 1: JP 2015-7647 A (TOKYO METROPOLITAN UNIV., JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY) 15 January 2015, paragraphs [0025], [0029]-[0033], [0036]-[0037], fig. 2, 10 & JP 2012-37440 A

(Invention 1) Claims 1-5 and 9-11

Document 1 discloses "a method for manufacturing a fine hole optical element, the method being characterized by comprising: a hole formation step for forming a plurality of holes in the substrate; and a reflective layer formation step for forming a reflective layer on an inner wall of each of the plurality of holes". Accordingly, claims 1 and 3-4 lack novelty in light of document 1, and thus do not have a special technical feature. However, claim 2 dependent on claim 1 has the special technical feature of "comprising: a modification step for irradiating the transparent substrate with a beam to generate multiphoton absorption, thereby modifying sections in which the holes are supposed to be formed; and a removal step for removing the sections modified by the modification step to form the holes". Thus, claims 1-4 are classified as invention 1.

Also, the invention in claims 5 and 9-11 is inventively associated with claim 1, and is thus classified as invention 1.

(Invention 2) Claims 6-8

It cannot be said that claims 6-8 have a technical feature identical or corresponding to that of claims 1-5 and 9-11 classified as invention 1.

Also, although claims 6-8 are dependent on claim 1 classified as invention 1, the technical feature added to claim 1 in which "during the hole formation step, a plurality of first slit holes, extending in a line shape along the surface of the substrate, are formed up to an inner point of the substrate in the thickness direction, and a plurality of second slit holes, extending in a line shape along the back surface of the substrate and in a direction crossing the plurality of the first slit holes, are formed from said inner point to the back surface of the substrate" has little technical relevance to the technical feature of claim 1 of comprising the hole formation step and the reflective layer formation step. Accordingly, claims 6-8 are not considered to be inventively associated with claim 1.

Also, claims 6-8 are not substantially identical or equivalent to any of the claims classified as invention 1.

Thus, claims 6-8 cannot be classified as invention 1.

Also, claims 6-8 have the special technical feature in which "during the hole formation step, a plurality of first slit holes, extending in a line shape along the surface of the substrate, are formed up to an inner point of the substrate in the thickness direction, and a plurality of second slit holes, extending in a line shape along the back surface of the substrate and in a direction crossing the plurality of the first slit holes, are formed from said inner point to the back surface of the substrate", and are thus classified as invention 2.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G21K1/06(2006.01)i, G02B5/08(2006.01)i, G21K1/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G21K1/06, G02B5/08, G21K1/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2015-7647 A（公立大学法人首都大学東京、独立行政法人 宇宙航空研究開発機構）2015.01.15, [0025]、[0029] - [0033]、[0036] - [0037]、図2, 10 & JP 2012-37440 A	1, 3-4 5, 9-11 2, 6-8
Y	JP 4025779 B2（独立行政法人 宇宙航空研究開発機構）2007.12.26, [0033]、図1, 6 & US 2006/0158755 A1, [0044], Fig.1, 6 & US 2009/0262900 A1 & EP 1688963 A2	5, 9-11

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08.05.2019

国際調査報告の発送日

21.05.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

鳥居 祐樹

2G

4070

電話番号 03-3581-1101 内線 3226

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2015-510581 A (リガク イノベイティブ テクノロジーズ インコーポレイテッド) 2015.04.09, [0027]、図2 & US 2013/0164457 A1, [0027], Fig.2 & WO 2013/101571 A1 & EP 2798646 A1 & CA 2861582 A1	2, 7-8
A	JP 2016-31340 A (公立大学法人首都大学東京、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構) 2016.03.07, [0025] - [0028] (ファミリーなし)	6-8

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T 規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。
（特別ページ参照）

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

文献 1 : JP 2015-7647 A (公立大学法人首都大学東京、独立行政法人 宇宙航空研究開発機構) 2015.01.15, [0025]、[0029] – [0033]、[0036] – [0037]、図 2, 10 & JP 2012-37440 A

(発明 1) 請求項 1 – 5, 9 – 11

文献 1 には「前記基板に対して前記複数の穴を形成する穴形成工程と、前記複数の穴それぞれの内壁に反射層を形成する反射層形成工程と、を備えることを特徴とする微細穴光学素子の製造方法」が記載されており、請求項 1, 3 – 4 は、文献 1 により新規性が欠如しているため、特別な技術的特徴を有しない。しかしながら、請求項 1 の従属請求項である請求項 2 は、「前記穴が形成される箇所について前記透明基板中にビームを照射して多光子吸収を生じさせることで改質する改質工程と、前記改質工程で改質された箇所を除去して前記穴を形成する除去工程とを備える」という特別な技術的特徴を有している。したがって、請求項 1 – 4 を発明 1 に区分する。

また、請求項 5, 9 – 11 に係る発明は、請求項 1 に対して発明の連関性を有しているため、発明 1 に区分する。

(発明 2) 請求項 6 – 8

請求項 6 – 8 は、発明 1 に区分された請求項 6 – 8 と、同一の又は対応する技術的特徴を有しているとはいえない。

また、請求項 6 – 8 は、発明 1 に区分された請求項 1 の従属請求項であるが、請求項 1 に対して追加された技術的特徴である「前記穴形成工程が、前記基板の表面に沿って線状に延びた複数の第 1 スリット穴を当該基板の厚み方向の途中まで形成すると共に、当該基板の裏面に沿って当該複数の第 1 スリット穴に交わる方向に線状に延びた複数の第 2 スリット穴を当該途中から当該基板の裏面まで形成すること」は、請求項 1 の技術的特徴である「穴形成工程と反射層形成工程とを備えること」と、技術的関連性が低い。このため、請求項 6 – 8 が請求項 1 に対して発明の連関性を有しているとは認められない。

さらに、請求項 6 – 8 は、発明 1 に区分されたいずれの請求項に対しても実質同一又はそれに準ずる関係にはない。

したがって、請求項 6 – 8 は発明 1 に区分できない。

そして、請求項 6 – 8 は、「前記穴形成工程が、前記基板の表面に沿って線状に延びた複数の第 1 スリット穴を当該基板の厚み方向の途中まで形成すると共に、当該基板の裏面に沿って当該複数の第 1 スリット穴に交わる方向に線状に延びた複数の第 2 スリット穴を当該途中から当該基板の裏面まで形成する」という特別な技術的特徴を有しているので、発明 2 に区分する。