

(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
2014年7月3日(03.07.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/104105 A1

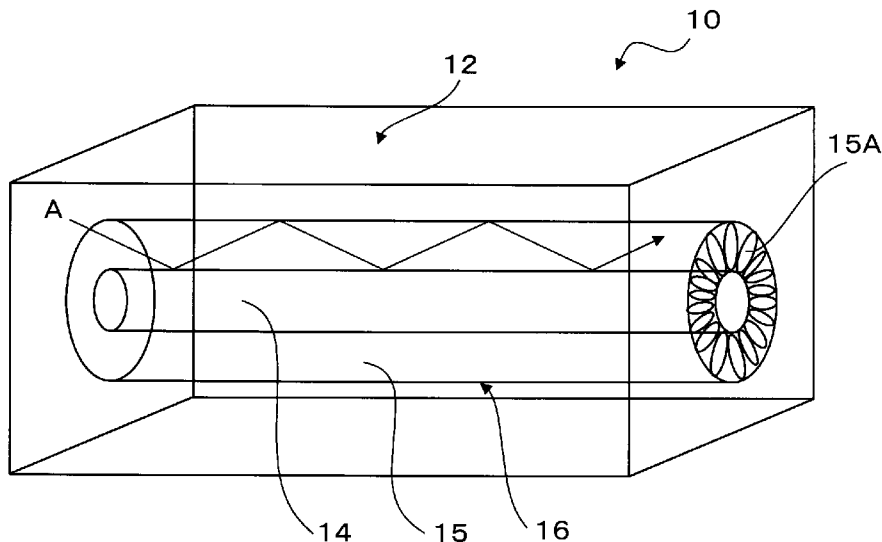
- (51) 国際特許分類:
G02B 6/122 (2006.01) G02F 1/13 (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/084692
- (22) 国際出願日: 2013年12月25日(25.12.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-288590 2012年12月28日(28.12.2012) JP
- (71) 出願人: シチズンホールディングス株式会社
(CITIZEN HOLDINGS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1888511
東京都西東京市田無町六丁目1番12号 Tokyo
(JP).
- (72) 発明者: 加藤 聖子(KATO, Seiko); 〒1888511 東京
都西東京市田無町六丁目1番12号 シチズン
ホールディングス株式会社内 Tokyo (JP). 井出
昌史(IDE, Masafumi); 〒1888511 東京都西東京市田
無町六丁目1番12号 シチズンホールディン
グス株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 青木 篤, 外(AOKI, Atsushi et al.); 〒
1058423 東京都港区虎ノ門三丁目5番1号 虎
ノ門37森ビル青和特許法律事務所 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, 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, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, 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

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL ELEMENT

(54) 発明の名称: 光学素子

図1



(57) Abstract: Provided is an optical element having an optical waveguide region that can propagate azimuthally polarized light and radially polarized light while maintaining the direction of polarization. The optical element has a resin layer and an optical waveguide region that is formed in the resin layer and guides light in the lengthwise direction of the resin layer. Liquid crystal molecules are oriented in an approximately radiating shape in cross-sections perpendicular to the lengthwise direction in the optical waveguide region, and the refractive index of the optical waveguide region is greater than that of the resin layer.

(57) 要約: 偏光方向を保持したままラジアル偏光またはアジマス偏光を伝搬させることができる光導波領域を有する光学素子を提供する。光学素子は、樹脂層と、樹脂層内に形成され、樹脂層の長手方向に光が導波される光導波領域とを有し、光導波領域では、長手方向に垂直な断面において略放射状に液晶分子が配向し、光導波領域の屈折率が樹脂層の屈折率より大きい。

WO 2014/104105 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 國際調查報告 (條約第 21 條(3))

明 細 書

発明の名称：光学素子

技術分野

[0001] 本発明は、樹脂層と樹脂層内に形成された光導波領域とを有する光学素子に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、ホーリーファイバの孔中に液晶が充填された液晶充填光ファイバを備えた光ファイバに対して、充填された液晶に磁場を印加して液晶の配向状態を変化させることにより光伝送特性を制御する光ファイバシステムが記載されている。

[0003] 非特許文献1には、通気孔の周囲にある環状で高屈折率の光学コアと、低屈折率の光学クラッドと、高屈折率の被覆層とを有するキャピラリ光ファイバ (capillary optical fiber) が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2006-162678号公報

非特許文献

[0005] 非特許文献1：R. ROMANIUK, “Capillary optical fiber - design, fabrication, characterization and application”, BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES TECHNICAL SCIENCES, 2008, Vol. 56, No. 2, p.87-102

発明の概要

[0006] 樹脂材料で作製された従来の光導波路は、等方性か、または特定の一方方向のみに配向した異方性をもつ。このため、そうした光導波路では、偏光方向を保持したままラジアル偏光またはアジマス偏光を伝搬させることができない。ここでいうラジアル偏光とは、進行方向に垂直な面内で偏光方向が径方向に放射状に分布している光である。また、アジマス偏光とは、進行方向に垂直な面内で偏光方向が周方向に分布している光である。

- [0007] 放射状に配向した構造をもつ光導波路であればラジアル偏光またはアジマス偏光に対応することができるが、そうした光導波路を簡単に作製することは難しい。そこで、本発明の目的は、偏光方向を保持したままラジアル偏光またはアジマス偏光を伝搬させることができる光導波領域を有する光学素子を提供することである。
- [0008] 光学素子は、樹脂層と、樹脂層内に形成され樹脂層の長手方向に光が導波される光導波領域とを有し、光導波領域では、長手方向に垂直な断面において略放射状に液晶分子が配向し、光導波領域の屈折率が樹脂層の屈折率より大きいことを特徴とする。
- [0009] 上記の光学素子では、樹脂層内に形成された、略円形の断面を有する管状の空間をさらに有し、光導波領域が、管状の空間と接するように形成され、光導波領域では、略円形の断面の径方向に沿って略放射状に液晶分子が配向していることが好ましい。
- [0010] 上記の光学素子によれば、偏光方向を保持したままラジアル偏光またはアジマス偏光を伝搬させることができる。

図面の簡単な説明

- [0011] [図1]光学素子10の模式図である。
- [図2] (A) ~ (C) は、光学素子10の製造方法を説明するための模式図である。
- [図3]光学素子10の製造方法を示したフローチャートである。
- [図4]空洞14の形成位置および大きさを説明するための模式図である。
- [図5] (A) ~ (D) は、光学素子10の長手方向に平行な面を偏光顕微鏡により観察したときの写真である。
- [図6] (A) ~ (D) は、光学素子10の長手方向に垂直な断面を偏光顕微鏡により観察したときの写真である。
- [図7] (A) ~ (D) は、光学素子10の長手方向に垂直な断面を偏光顕微鏡により観察したときの写真である。
- [図8] (A) および (B) は、光学素子10の導波シミュレーションの条件を

説明するための図である。

[図9] (A) ~ (D) は、中心領域 3 4 が空洞の場合の導波シミュレーションの結果を示した図である。

[図10] (A) ~ (D) は、中心領域 3 4 に水が充填されている場合の導波シミュレーションの結果を示した図である。

[図11] (A) および (B) は、光学素子 1 0 を応用した SPR センサを説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、添付図面を参照して、光学素子について詳細に説明する。ただし、本発明の技術的範囲はそれらの実施の形態に限定されず、特許請求の範囲に記載された発明とその均等物に及ぶ点に留意されたい。

[0013] 図 1 は、光学素子 1 0 の模式図である。光学素子 1 0 は、光導波領域のクラッド部分として、樹脂層 1 2 を有する。光学素子 1 0 では、樹脂層 1 2 としてアクリル樹脂を用いる。樹脂層 1 2 の内部には、略円形の断面を有する管状の空間である空洞 1 4 が形成されている。「略円形」とは、矩形のように尖った部分も凹みもなく、最大径に対する最大径と最小径との差の比率が例えば 1 0 % 以下である形状をいう。

[0014] また、光学素子 1 0 は、光導波領域のコア部分として、空洞 1 4 と接する部分（境界付近）の樹脂層 1 2 内に形成された液晶領域 1 5 を有する。光学素子 1 0 では、液晶として P 型液晶を用いる。液晶領域 1 5 では、略円形の断面を有する空洞 1 4 の径方向に沿って、略放射状に液晶分子が配向している。図 1 では、空洞 1 4 を中心として、略円形の断面における径方向に略放射状に配置された多数の楕円 1 5 A で、この液晶分子の配向を表している。

「略放射状」とは、全体的に見て、中心の空洞 1 4 から樹脂層 1 2 の外側に広がる状態をいう。このため、必ずしも、液晶領域 1 5 の全体で液晶分子が厳密な放射状に配向していなくてもよい。

[0015] 光学素子 1 0 は、液晶領域 1 5 が光導波領域として機能し、液晶領域 1 5 内で光を伝搬させることが可能である。液晶領域 1 5 は樹脂層 1 2 よりも大

きな屈折率をもつため、樹脂層 12 と液晶領域 15 の間に屈折率の差ができる。したがって、液晶領域 15 内に光を入射すると、小さな入射角で液晶領域 15 からその外側の樹脂層 12 に向かう光は、液晶領域 15 と樹脂層 12 の境界面 16 で全反射する。

[0016] 同様に、液晶領域 15 は、内側の空洞 14 よりも大きな屈折率をもつため、空洞 14 と液晶領域 15 の間に屈折率の差ができる。したがって、小さな入射角で液晶領域 15 からその内側の空洞 14 に向かう光も、液晶領域 15 と空洞 14 の境界面で全反射する。このように光が液晶領域 15 内を伝搬する（図 1 の矢印 A を参照）ので、光学素子 10 は、液晶領域 15 内に光を閉じ込めることができる。

[0017] 実際には、液晶領域 15 では液晶分子の濃度勾配があるため、空洞 14 との境界面から径方向に遠ざかるにつれて、屈折率も減少していく。この屈折率の分布があることから、光学素子 10 は、特に G I (graded-index) 型導波路として使用可能である。

[0018] なお、図 1 では説明のため樹脂層 12 と液晶領域 15 の境界面 16 を示しているが、この境界面 16 は実際にははっきり定まらないと考えられる。しかしながら、液晶領域 15 を伝搬する光は、液晶領域 15 の外側の屈折率がより小さい領域に到達するまでに反射して、液晶領域 15 内を伝搬していく。

[0019] 図 2 (A) ~ 図 2 (C) は、光学素子 10 の製造方法を説明するための模式図である。図 3 は、光学素子 10 の製造方法を示したフローチャートである。図 1 ~ 図 3 を用いて本製造方法の各工程を説明する。

[0020] まず、図 2 (A) に示すように、基板 1 を用意し、基板 1 の上に未硬化の硬化性樹脂 2 の層を形成する (S1)。この層は、図 1 の樹脂層 12 に相当する。未硬化の状態では硬化性樹脂 2 には流動性があるため、周囲を囲う枠体（図示せず）を用意し、その内部に硬化性樹脂 2 を注入する。ここでは、硬化性樹脂 2 として、紫外線硬化樹脂であるアクリル樹脂を用いる。ただし、硬化性樹脂 2 として熱硬化性樹脂を用いてもよい。なお、図 1 の空洞 14

の直径を数百 μm 程度とする際は、硬化性樹脂2の厚さdは1000 μm 程度あればよい。

[0021] 続いて、液晶を注入可能なニードル（針体）3を硬化性樹脂2の中に差し込む（S2）。ニードル3は、注射針のように中空で先端に向けて尖った形状を有し、先端に開口部（図示せず）を有する。その際、ニードル3を差し込む深さは、例えば硬化性樹脂2の厚さdの半分程度とする。なお、この開口部が先端付近の側面に設けられたニードルを用いてもよい。

[0022] 次に、図2（B）に示すように、ニードル3を移動させながら、ニードル3を介して硬化性樹脂2の中に管状に液晶4を注入する（S3）。ここでは、液晶4として、P型液晶を用いる。例えば、直線状の流路を形成したい場合は、図2（B）に示すX方向に沿って、ニードル3を平行移動させる。そして、ニードル3を移動させながら、ニードル3の上部から圧力をかけることにより、ニードル3の先端の開口部から硬化性樹脂2の層内に液晶4を注入する。硬化性樹脂2の層内では、液晶4は、表面張力によりX方向に垂直な断面が略円形になる。

[0023] 液晶4を注入し終わったら、ニードル3を硬化性樹脂2内から抜き取る（S4）。このとき硬化性樹脂2はまだ硬化していないため、ニードル3を抜き取ると、ニードル3によって硬化性樹脂2にできていた穴がふさがる。これにより、硬化性樹脂2の中に液晶4が閉じ込められ、管状に配置された状態になる。

[0024] そして、紫外線照射により硬化性樹脂2を硬化させて、硬化性樹脂2内に液晶4を閉じ込める。これにより、図2（C）に示すように、液晶4が存在する部分を液晶の流路4Aとする（S5）。硬化性樹脂2として熱硬化性樹脂を用いる場合は、加熱することにより硬化性樹脂2を硬化させる。こうして、液晶4が注入された管状の領域に、断面が略円形である流路4Aが形成される。

[0025] 硬化性樹脂2を硬化させる前でも硬化性樹脂2内への液晶4の浸み込みが起こり得るが、硬化直後は、流路4A内に液晶4が残っている。そこで、こ

の状態です。一定時間据え置き、硬化性樹脂 2 の層内への液晶 4 の浸み込みを完了させる (S 6)。時間経過とともに、液晶 4 と硬化性樹脂 2 の境界面において濃度勾配により液晶 4 が樹脂内へと拡散し、図 1 に示したように、その拡散方向に液晶分子が配向する。硬化により樹脂の鎖が固定され、その間に液晶分子が入り込んでいくことにより、流路 4 A の周囲で略放射状に液晶分子が配向した領域 (図 1 の液晶領域 1 5) が得られる。流路 4 A の中から液晶 4 がなくなると、流路 4 A の領域は、図 1 の空洞 1 4 になる。

[0026] 液晶 4 が硬化性樹脂 2 内に完全に閉じ込められていると、液晶 4 の種類によっては、樹脂内への浸み込みが起こるまでに数日程度の時間がかかる。一方、ニードル 3 による穴がふさがらず開いたままとなった場合か、または意図的に硬化性樹脂 2 の層に穴を開けて液晶 4 が外気に触れる状態とした場合は、液晶 4 がより速く樹脂内に浸み込む。

[0027] 一定時間の経過後も流路 4 A 内に液晶 4 が残っている場合には、硬化性樹脂 2 の一部を切除して、硬化性樹脂 2 内に閉じ込められている液晶 4 を抜き取る。流路 4 A が空洞となった場合でも、硬化性樹脂 2 の一部を切除して、流路 4 A の内部を洗浄する (S 7)。以上の工程により、硬化性樹脂 2 の層内に図 1 の空洞 1 4 と液晶領域 1 5 ができ、図 1 の光学素子 1 0 が得られる。

[0028] 上記のように、硬化性樹脂 2 としてアクリル樹脂を、液晶 4 として P 型液晶をそれぞれ使用し、図 3 の各工程を実行すると、図 1 の光学素子 1 0 が得られることがわかった。しかしながら、樹脂と液晶の組合せには、略円形の流路 4 A を形成できないもの、または液晶が樹脂内に放射状に拡散しないものもあると考えられる。例えば、硬化性樹脂 2 の粘度、または硬化性樹脂 2 と液晶 4 の密度の差によっては、注入された液晶 4 が樹脂層の表面に浮き出してしまうことがある。また、液晶 4 は複数の化合物からなる混合物である場合も多く、成分によって拡散係数が異なる。このため、硬化性樹脂 2 と液晶 4 は、粘度と密度の関係で硬化性樹脂 2 の内部に液晶 4 を管状に注入可能であり、かつ液晶 4 が硬化性樹脂 2 の内部に拡散して略放射状に配向するよう

な組合せを選択する必要がある。

[0029] また、図3のS6の工程で、硬化性樹脂2を硬化させた後でも液晶4の浸み込みが起こることから、樹脂内に既に形成された空洞に液晶を注入しても、光学素子10が得られると考えられる。そこで、光学素子10の別の製造方法についても説明する。

[0030] この方法では、まず断面が略円形の空洞が予め内部に形成された樹脂層を用意する。そして、その樹脂内にニードルを差し込んで空洞内に液晶を注入し、ニードルを抜き取る。この後は、図3のS6およびS7と同様の工程を行う。すなわち、一定時間かけて樹脂内に液晶を浸み込ませ、その後、樹脂層の一部を切除し、液晶が注入されていた空洞内部を洗浄する。以上の工程でも、光学素子10が得られる。

[0031] なお、図3の製造方法で円形流路を形成できなくても、上記した別の製造方法で使用可能な樹脂と液晶の組合せもある。例えば、硬化性樹脂2としてエポキシ樹脂を用いると、図3の製造方法では液晶の流路を形成できないが、硬化したエポキシ樹脂内に既に形成された流路に液晶を注入すれば、液晶が樹脂内に拡散して、略放射状の配向が得られると考えられる。したがって、光学素子10の樹脂層12の材料としては、例えば、エポキシ樹脂などの他の紫外線硬化樹脂、尿素樹脂、メラミン樹脂またはフェノール樹脂などの熱硬化性樹脂でもよい。

[0032] 以下では、液晶領域15内で液晶分子が略放射状に配向していることを確かめた実験について説明する。この実験では、図2(A)～図2(C)の硬化性樹脂2としてアクリル樹脂を使用し、液晶4としてメルク製のP型液晶であるMLC-7018およびMDA-003461を使用した。そして、図3の製造方法により、アクリル樹脂層の内部に、P型液晶を直線状にディスプレイした。

[0033] この実験で用いたアクリル樹脂の屈折率は1.50であり、メルク製のP型液晶MLC-7018の屈折率は、異常光屈折率 n_e が1.55、常光屈折率 n_o が1.47である。このとき、異常光屈折率 n_e はアクリル樹脂の

屈折率より大きいことから、略放射状に配向した液晶分子の n_e 方向に平行な偏光であるラジアル偏光が伝搬される。

[0034] 同様に、メルク製のP型液晶MDA-003461を用いた場合、液晶の異常光屈折率 n_e が1.77、常光屈折率 n_o が1.54である。これらはアクリル樹脂の屈折率1.50より大きいため、液晶の配向に従って、異常光線の固有偏光および常光線の固有偏光とも光閉じ込め効果を持つため、ラジアル偏光またはアジマス偏光の伝搬が可能となる。

[0035] 図4は、この実験で形成された空洞14の形成位置および大きさを説明するための模式図である。実験では、樹脂層12の厚さを1000 μm とし、その樹脂層12の中に、ニードル3を500 μm の深さまで差し込んだ。そして、ニードル3を樹脂層12の面方向に沿って速度20mm/秒で直線状に移動させながら、10kPaのディス Pens 圧を加えて、断面が直径200 μm の略円形の空洞14ができるように、P型液晶をディス Pens した。

[0036] そして、ニードル3を抜き取った後で、樹脂層12を紫外線硬化させることにより、流路を形成した。このような樹脂層12を2つ用意し、一方は形成された流路に開口部を設け、他方は内部の液晶を完全に封入したままとした。その後数日間据え置き、液晶を樹脂層12内に浸み込ませた。なお、この実験では、光学素子として使用するときより、流路（空洞14）の直径を大きくしている。

[0037] 図5(A)～図5(D)は、上記のように作製された光学素子10の長手方向に平行な面を偏光顕微鏡により観察したときの写真である。図5(A)および図5(B)は、偏光板角度45°に対し、光学素子10の長手方向の角度が0°のときの写真である。図5(C)および図5(D)は、偏光板角度45°に対し、光学素子10の長手方向の角度が45°のときの写真である。

[0038] 図5(A)は、流路4Aに開口部（図示せず）を設けて液晶を浸み込ませた樹脂層12を示す。図5(A)では、液晶が樹脂層12内に浸み込むとともに揮発し、流路4Aは空洞化している。流路4Aの外側の液晶領域15内

が明るくなっており、光が透過していることがわかる。また、流路4 Aの直径と同じくらいの深さまで液晶が浸み込み、液晶領域15の外側では濃度勾配があることがわかる。

[0039] 図5 (B) は、液晶4を完全に封入したままで浸み込ませた樹脂層12を示す。図5 (B) では、液晶4は、樹脂層12内に浸み込むとともに、流路4 Aにも残っている。流路4 Aの外側の液晶領域15内だけでなく、流路4 A内部でも光が透過していることがわかる。図5 (A) と同様に、流路4 Aの直径と同じくらいの深さまで液晶が浸み込み、液晶領域15の外側では濃度勾配があることがわかる。

[0040] 図5 (C) は、図5 (A) の樹脂層12について、光学素子10の長手方向を角度45°に傾けたときの写真である。図5 (A) で光学素子10の長手方向の角度が0°のとき光が透過していた液晶領域15では、光が透過しなくなる。

[0041] 図5 (D) は、図5 (B) の樹脂層12について、光学素子10の長手方向を角度45°に傾けたときの写真である。流路4 Aの部分では、光学素子10の長手方向の角度が0°のときの図5 (B) と同様に光が透過するが、液晶領域15では光が透過しなくなる。

[0042] このように、空洞化した流路と内部に液晶4が残っている流路のどちらでも、流路4 Aとの境界付近の液晶領域15内では、偏光板と光学素子10の長手方向とのなす角度が45°のときに光が透過し、偏光板と光学素子10の長手方向とのなす角度を0°にすると光が透過しなくなる。このことから、液晶領域15内では、液晶分子が高い配向性をもって浸み込んでいることがわかる。

[0043] 図6 (A) ~図6 (D) および図7 (A) ~図7 (D) は、上記のように作製された光学素子10の長手方向に垂直な断面を偏光顕微鏡により観察したときの写真である。図6 (A) ~図6 (D) および図7 (A) ~図7 (D) は、それぞれ光学素子10を0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°、315°に回転させたときの写真である。

- [0044] 樹脂層 12 は、図 5 (A) と同じ、流路の内部が空洞化したものを用いた。どの回転角度のときも、空洞 14 との境界付近の液晶領域 15 内では、水平線に対して 45° の直線方向と 135° の直線方向だけ光が透過せず暗いが、他の部分では光が透過していることがわかる。光学素子 10 の回転角度によって透過のパターンが変わらないことから、液晶領域 15 内では、液晶分子が略放射状に配向していることが推察される。
- [0045] 次に、光学素子 10 の偏光特性を調べるための導波シミュレーションを行った結果について説明する。この導波シミュレーションでは、FDTD法（時間領域差分法）を用いて、光学素子 10 と同様の構成を有する図 8 (A) および図 8 (B) の矩形領域内を伝搬する光の電界強度をそれぞれ計算した。
- [0046] 図 8 (A) および図 8 (B) は、光学素子 10 の導波シミュレーションの条件を説明するための図である。図 8 (A) および図 8 (B) にそれぞれ示すように、導波シミュレーションの対象の矩形領域は、中心領域 34 と、中心領域 34 を取り囲む円環領域 35 と、円環領域 35 の外側にある外側領域 32 とを有する。中心領域 34、円環領域 35 および外側領域 32 は、光学素子 10 の空洞 14、液晶領域 15 および樹脂層 12 にそれぞれ対応する。
- [0047] 図 8 (A) の円環領域 35 では、光学素子 10 と同様に、液晶分子の長軸方向が放射状に配向しており異方性があると仮定した。図 8 (A) における放射状の太い矢印は、液晶分子の配向方向を表している。一方、図 8 (B) の円環領域 35 では、比較例として、液晶分子は配向しておらず等方性があると仮定した。なお、外側領域 32 については、図 8 (A) と図 8 (B) のどちらの場合も等方性があると仮定した。
- [0048] 中心領域 34 の屈折率は、空洞（真空）に対応する $n = 1.00$ または水に対応する $n = 1.33$ とし、外側領域 32 の屈折率は、アクリル樹脂に対応する $n = 1.50$ とした。中心領域 34 と外側領域 32 の屈折率の設定は、図 8 (A) と図 8 (B) で同じとした。一方、図 8 (A) の円環領域 35 については、太い矢印方向の異常光屈折率を $n_e = 1.55$ とし、太い矢印

方向に垂直な方向の常光屈折率を $n_o = 1.47$ とした。図 8 (B) の円環領域 35 の屈折率は、 $n = 1.55$ とした。

[0049] また、入射光は、図 8 (A) と図 8 (B) のどちらの場合も、偏光方向が矢印 a 方向である単波長の平面波 (TE 波) を用いた。

[0050] 図 9 (A) ~ 図 9 (D) は、中心領域 34 が空洞の場合の導波シミュレーションの結果を示した図である。図 9 (A) および図 9 (B) は図 8 (A) に示した条件での結果であり、図 9 (C) および図 9 (D) は図 8 (B) に示した条件での結果である。それぞれの図は、電界強度が高い点ほど濃い色で、電界強度が低い点ほど薄い色で示している。また、図 9 (A) と図 9 (C) では、円環領域 35 に対応する部分を破線で示している。

[0051] 図 9 (A) および図 9 (B) に示すように、配向性がある場合には、円環領域 35 の右側部分と左側部分の電界強度が最も高くなっている。すなわち、屈折率が高い円環領域 35 の中に光が閉じ込められており、特に液晶分子の配向方向が入射光の偏光方向 (図 8 (A) の矢印 a 方向) に平行な円環領域 35 の右側部分と左側部分で、光が導波することがわかる。一方、図 9 (C) および図 9 (D) に示すように、配向性がない場合には、円環領域 35 で均一に電界強度が高くなっている。すなわち、屈折率が高い円環領域 35 の全周にわたって光が導波することがわかる。

[0052] したがって、液晶分子に配向性があると本実施例の液晶材料ではその配向方向に平行な方向の偏光のみが光閉じ込め効果を持ち導波されるので、液晶分子が略放射状に配向した液晶領域 15 を有する光学素子 10 では、ラジアル偏光の偏光特性を保ったまま光を導波させることが可能であると言える。つまり、液晶の異常光屈折率 n_e が 1.55、常光屈折率 n_o が 1.47 であり、図 8 (A) の外側領域 32 の屈折率は $n = 1.50$ なので、液晶の異常光屈折率 n_e だけが樹脂の屈折率より大きい。よって、異常光線の固有偏光のみが光閉じ込め効果を持つため、この場合はラジアル偏光のみが光閉じ込め効果を受けることになる。

[0053] 図 10 (A) ~ 図 10 (D) は、中心領域 34 に水が充填されている場合

の導波シミュレーションの結果を示した図である。図9 (A) ~ 図9 (D) と同様に、図10 (A) および図10 (B) は図8 (A) に示した条件での結果であり、図10 (C) および図10 (D) は図8 (B) に示した条件での結果である。それぞれの図は、電界強度が高い点ほど濃い色で、電界強度が低い点ほど薄い色で示している。また、図10 (A) と図10 (C) では、円環領域35に対応する部分を破線で示している。

[0054] 図10 (A) ~ 図10 (D) では、全体的な濃淡差は図9 (A) ~ 図9 (D) よりも少なくなっており、円環領域35の光導波領域としての機能は中心領域34が空洞の場合の方がよいと言える。しかしながら、中心領域34が水 ($n = 1.33$) の場合も、各領域の屈折率の大小関係は中心領域34が空洞 ($n = 1.00$) の場合と変わらないため、屈折率が高い円環領域35の中に光が閉じ込められており、図9 (A) ~ 図9 (D) と同様の傾向が見られる。すなわち、配向性がある場合の図10 (A) および図10 (B) では、円環領域35の右側部分と左側部分で光が導波しており、配向性がない場合の図10 (C) および図10 (D) では、円環領域35の全周にわたって光が導波している。したがって、光学素子10の空洞14の内部に水を流した場合も、空洞14の内部が真空である場合と同様の偏光導波の効果を得られる。

[0055] 以上説明した通り、光学素子10では、管状の空間である空洞14の略円形の断面の径方向に沿って略放射状に液晶分子が配向した構造を有する。これにより、光学素子10は、液晶分子の配向に沿って偏光したラジアル偏光を、その偏光方向を保持したまま伝搬させることができる。また、光学素子10は、異常光屈折率および常光屈折率の両方が周囲のクラッド部分の屈折率より大きい液晶材料を用いることで、径方向に略放射状に配向した液晶分子に対して 90° の角度をなす周方向に偏光したアジマス偏光も、偏光方向を保持したまま伝搬させることができる。

[0056] 最後に、光学素子10の応用例について、説明する。光学素子10の応用例には、例えば、表面プラズモン共鳴 (Surface Plasmon Resonance) 現象を

利用した屈折率センサ（SPRセンサ）がある。表面プラズモン共鳴は、媒体に接触している金属薄膜の内表面に全反射角度以上で光が入射したときに、金属薄膜と接触している媒体の屈折率に応じた波長および角度の光が吸収される現象である。

[0057] 図11（A）および図11（B）は、光学素子10を応用したSPRセンサを説明するための図である。図11（A）は、従来の導波路型SPRセンサ20の例を示す。SPRセンサ20は、上面に金属薄膜21が設けられた光導波路22を有する。測定時には、金属薄膜21の上に測定対象の試料Sを置き、光導波路22の入射面23から光を入射する。光は光導波路22内で全反射を繰り返しながら伝搬し、試料Sの屈折率に応じて減衰する。このため、出射面24から出射される光を検出し、透過光量または入射光に対する出射光のスペクトル変化を見ることにより、試料Sによる屈折率変化を測定することができる。

[0058] 図11（B）は、図1の光学素子10を応用した導波路型SPRセンサを示す。光学素子10は、空洞14の内壁を金属薄膜17で被覆し、空洞14内に試料Sを流し、その周辺の液晶領域15内に光を伝搬させることによって、SPRセンサとして利用できる。空洞14を金属薄膜17で被覆すれば、空洞14と液晶領域15の境界面全体をセンサとして使用できるので、上記のSPRセンサ20より、センサの表面積が大きくなる。すると、光学素子10を用いたSPRセンサでは、その面積比に比例して、より微細な屈折率の変化を測定できるようになる。特に、液晶領域15における液晶分子の配向性を利用して、センサ部分である金属薄膜17への入射光の偏光を制御することにより、SPRセンサの感度を向上させることが可能になる。

符号の説明

[0059] 10 光学素子
12 樹脂層
14 空洞
15 液晶領域

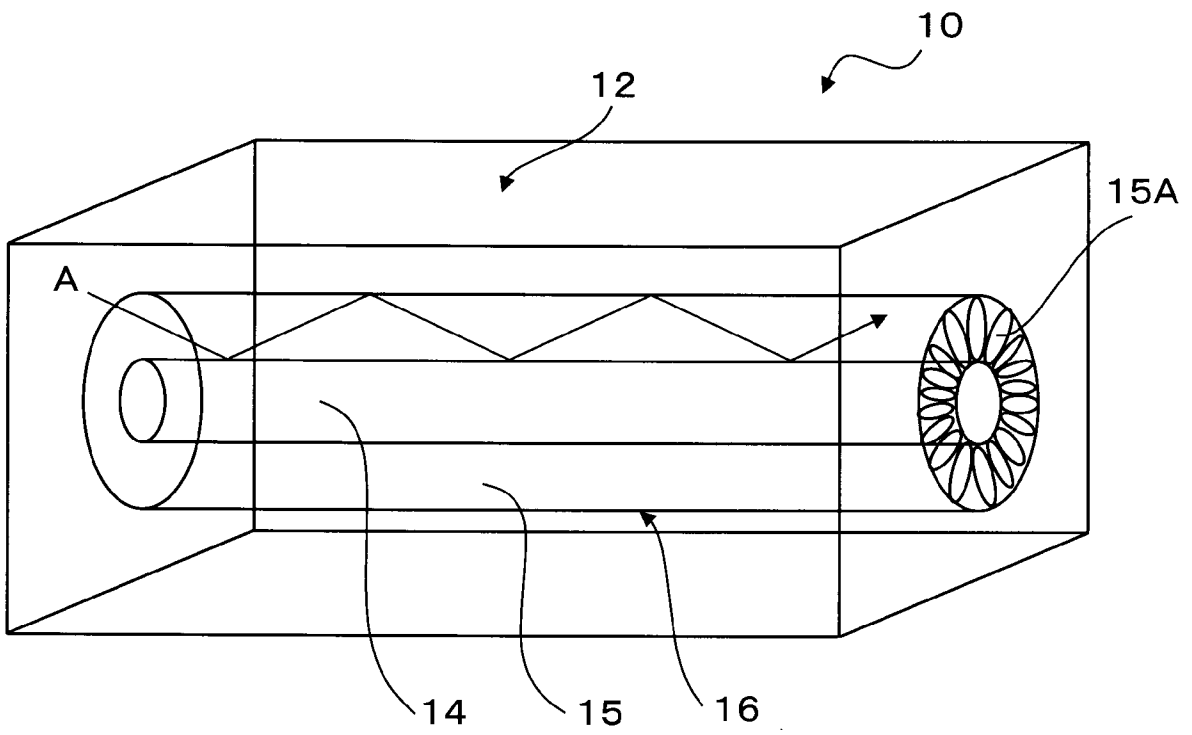
1 6 境界面

請求の範囲

- [請求項1] 樹脂層と、
前記樹脂層内に形成され前記樹脂層の長手方向に光が導波される光導波領域と、を有し、
前記光導波領域では、前記長手方向に垂直な断面において略放射状に液晶分子が配向し、
前記光導波領域の屈折率が前記樹脂層の屈折率より大きい、
ことを特徴とする光学素子。
- [請求項2] 前記樹脂層内に形成された、略円形の断面を有する管状の空間をさらに有し、
前記光導波領域が、前記管状の空間と接するように形成され、
前記光導波領域では、前記略円形の断面の径方向に沿って略放射状に液晶分子が配向している、請求項1に記載の光学素子。
- [請求項3] 前記樹脂層がアクリル樹脂層であり、前記液晶がP型液晶である、
請求項1または2に記載の光学素子。

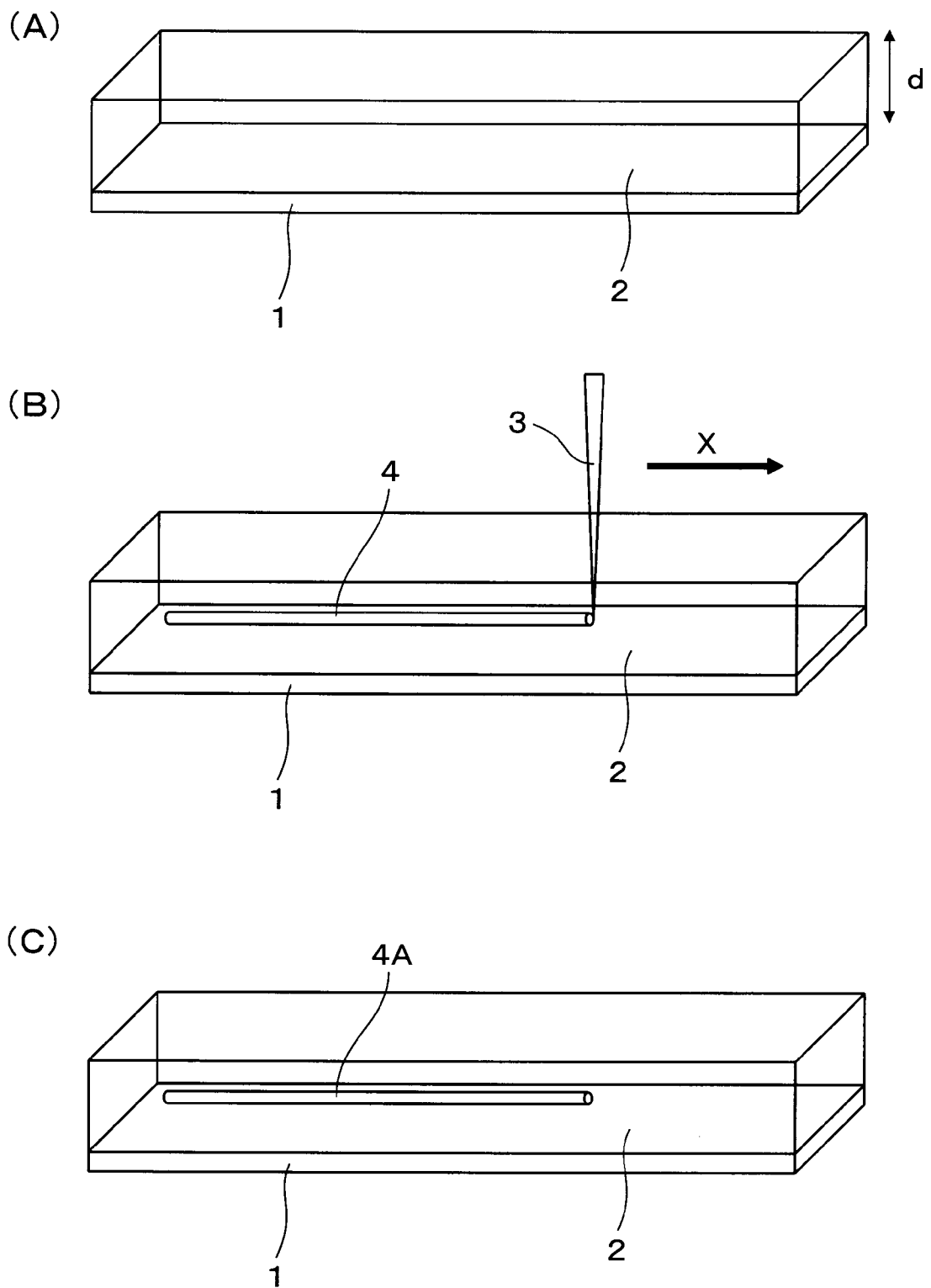
[図1]

図1



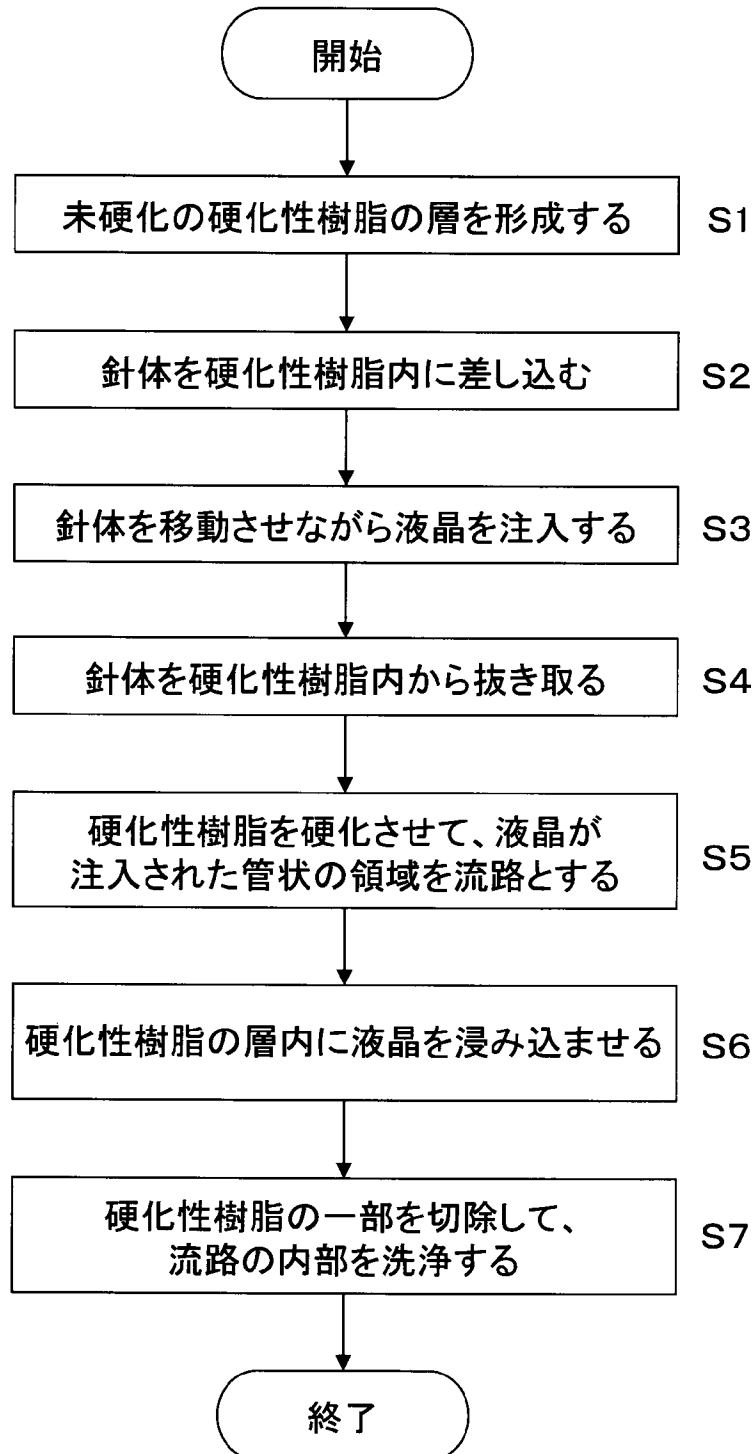
[図2]

図2



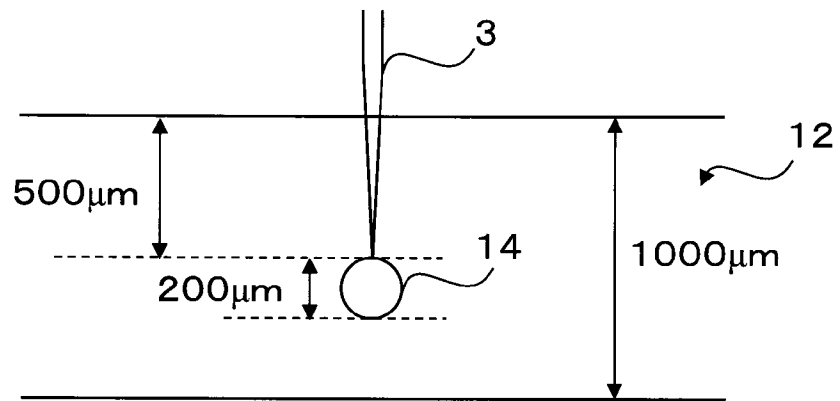
[図3]

図3

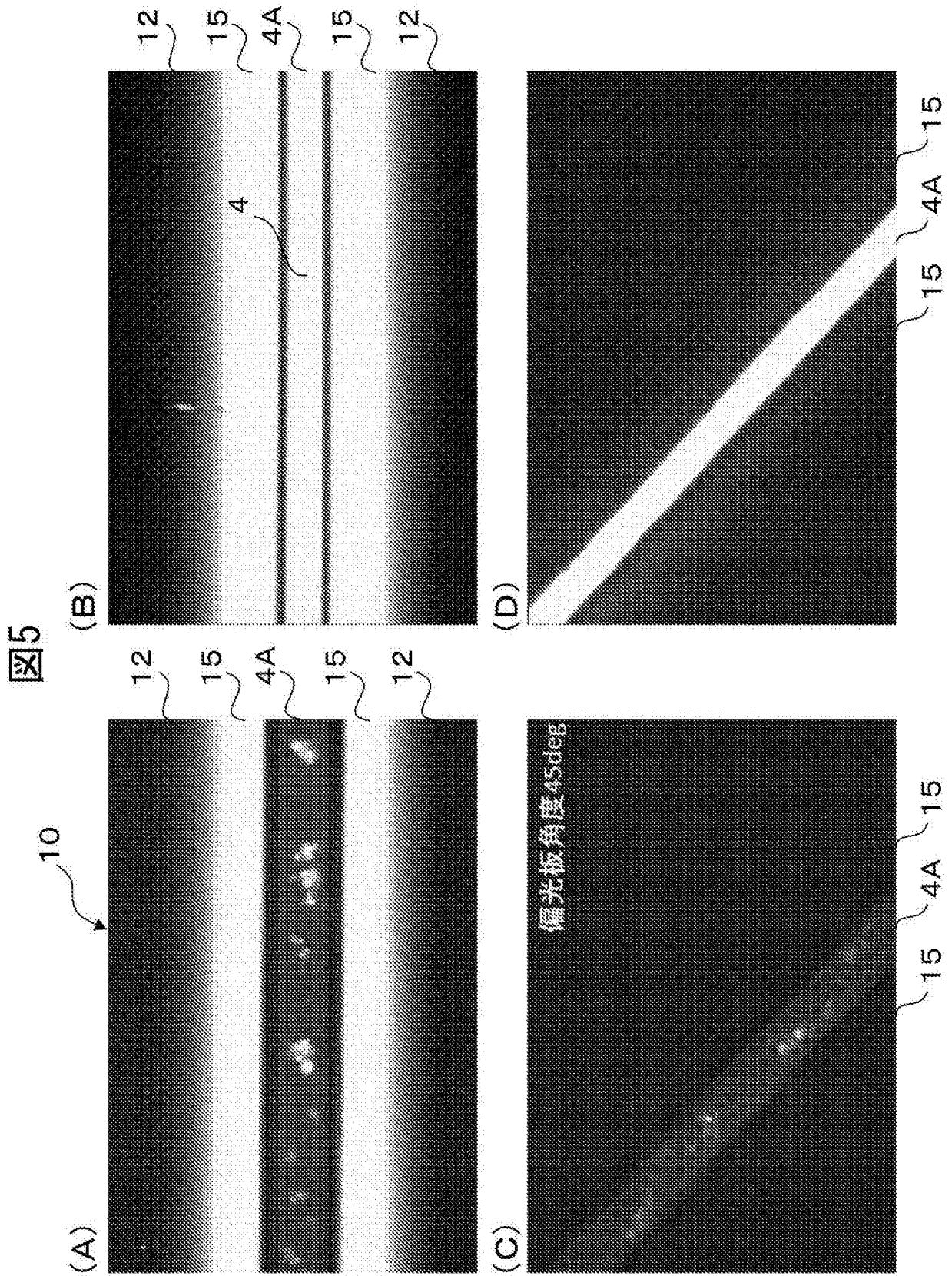


[図4]

図4

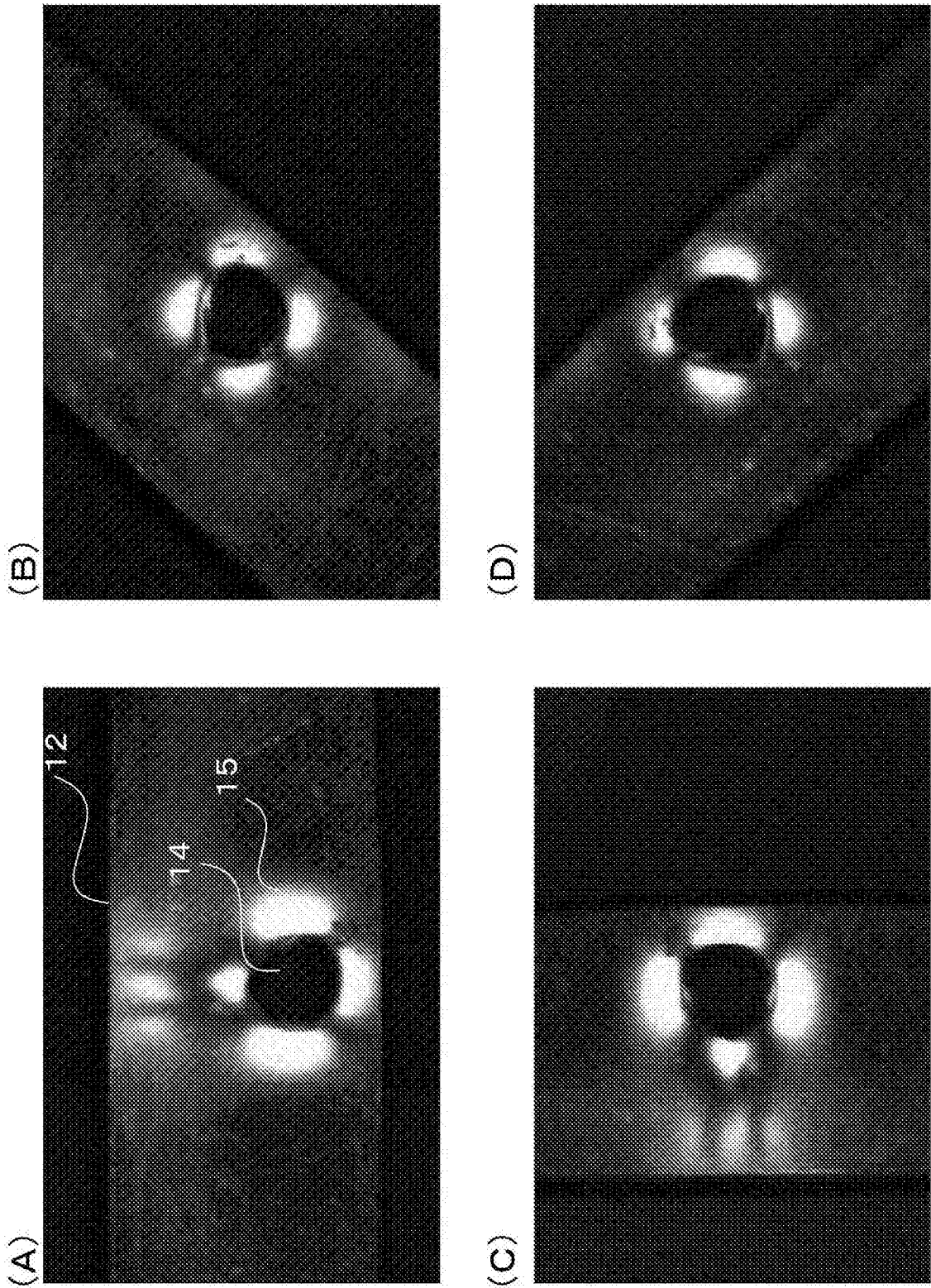


[图5]



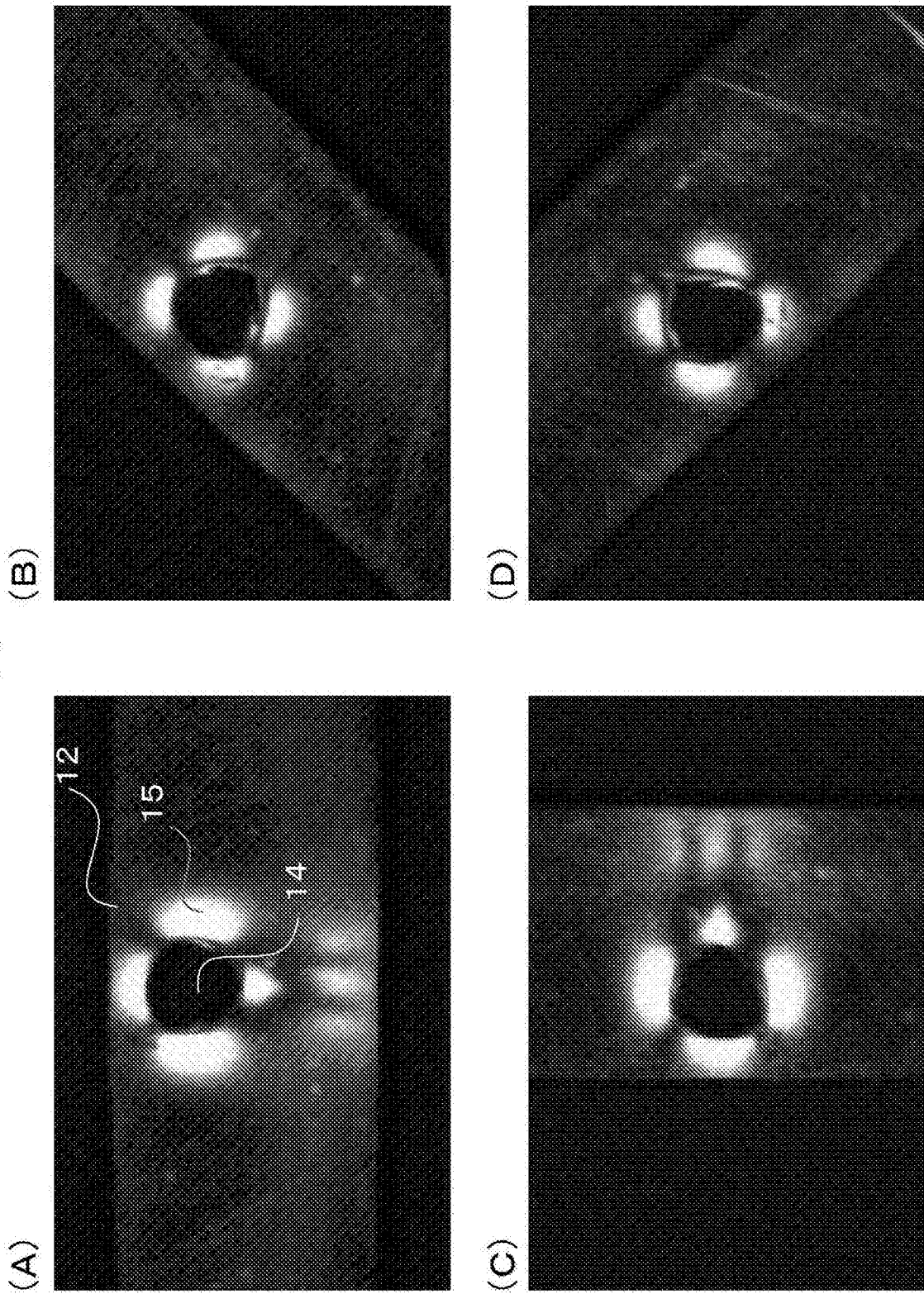
[図6]

図6



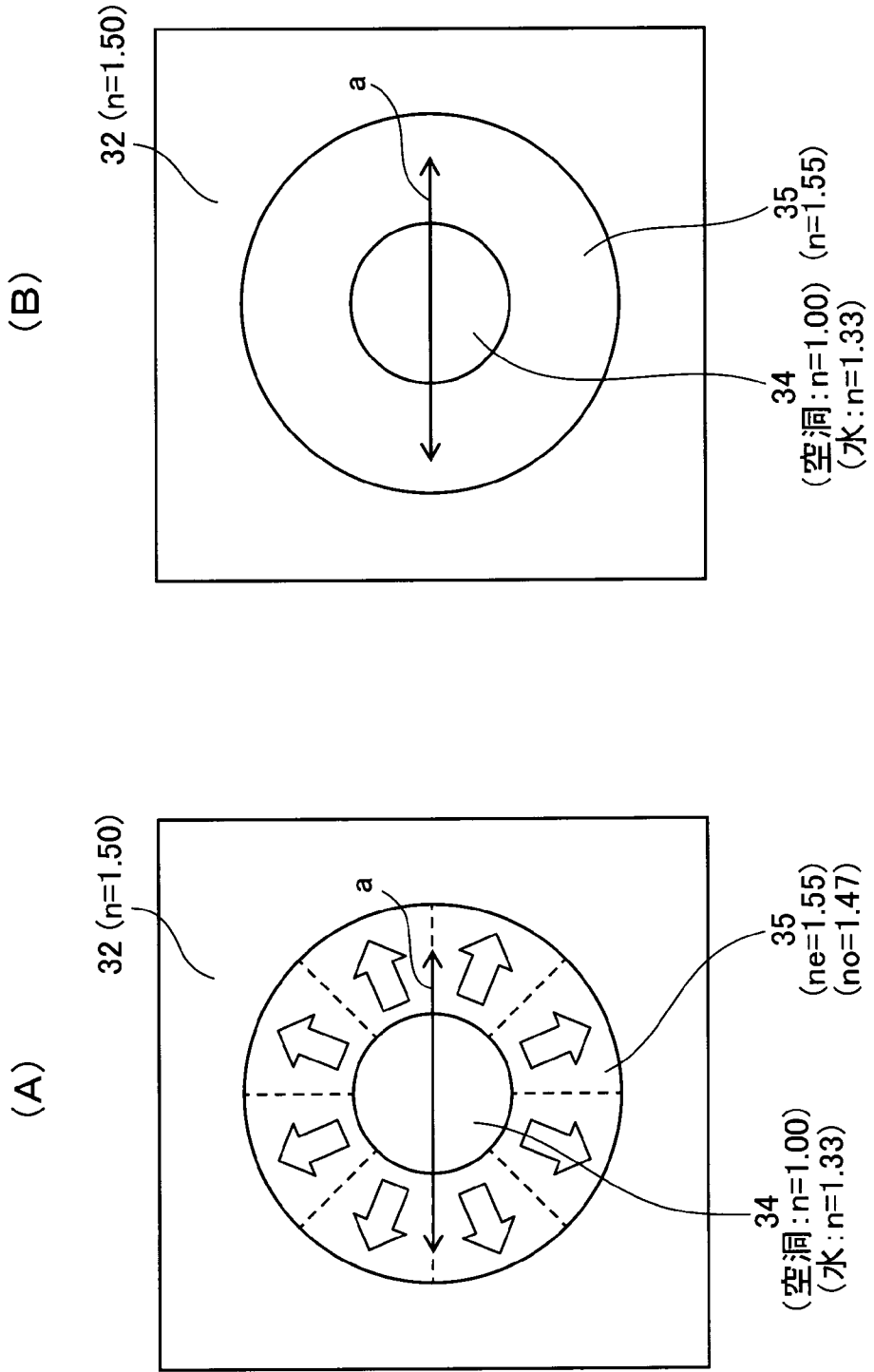
[図7]

図7

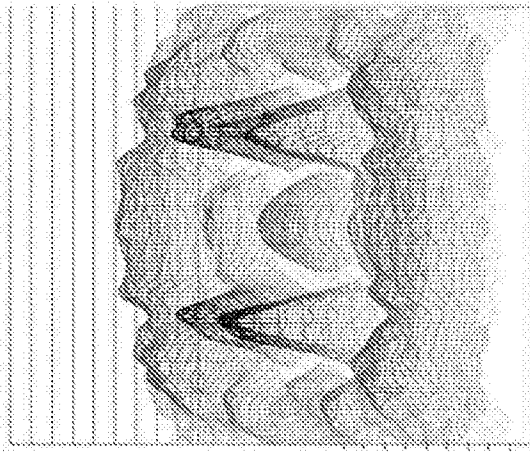


[図8]

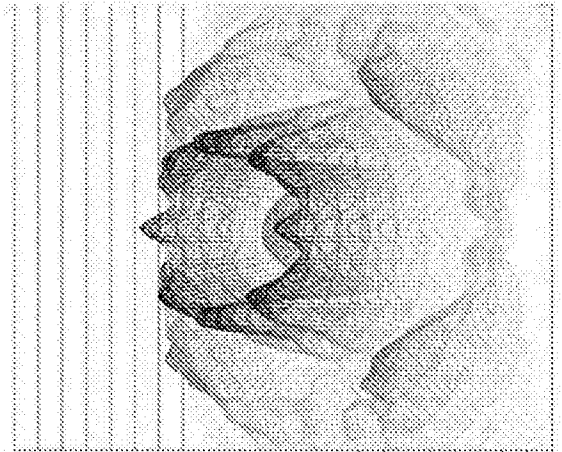
[図8]



[図9]

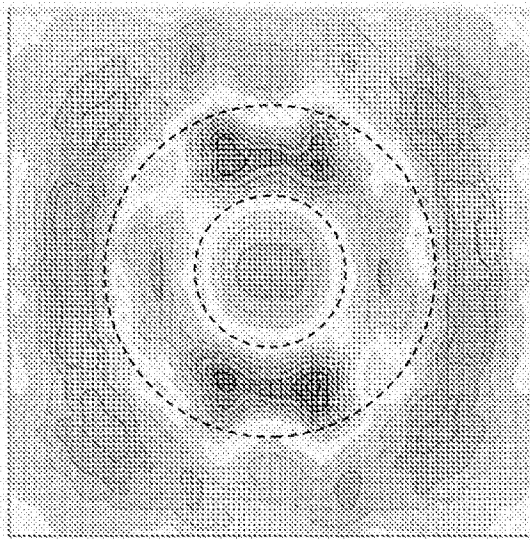


(B)

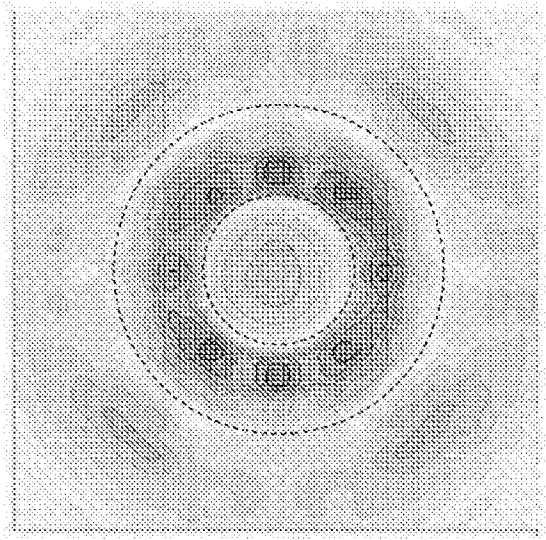


(D)

[図9]

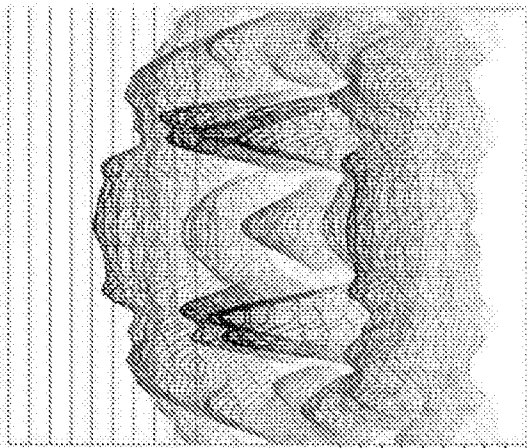


(A)

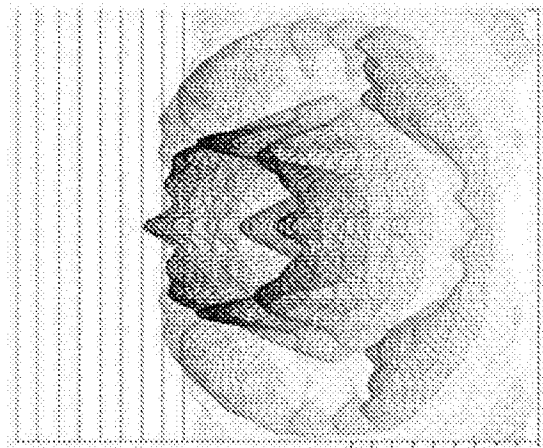


(C)

[図10]

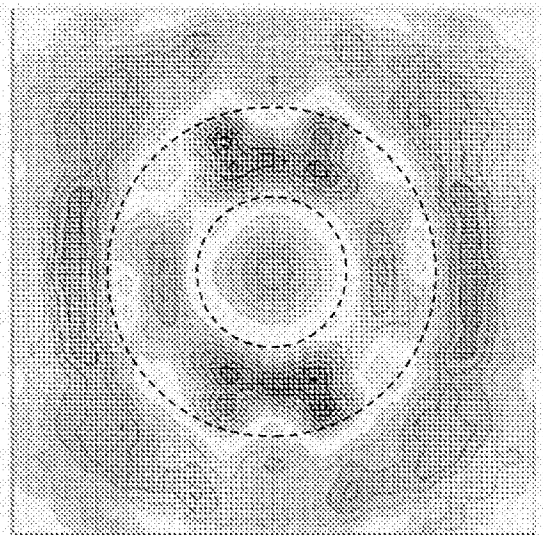


(B)

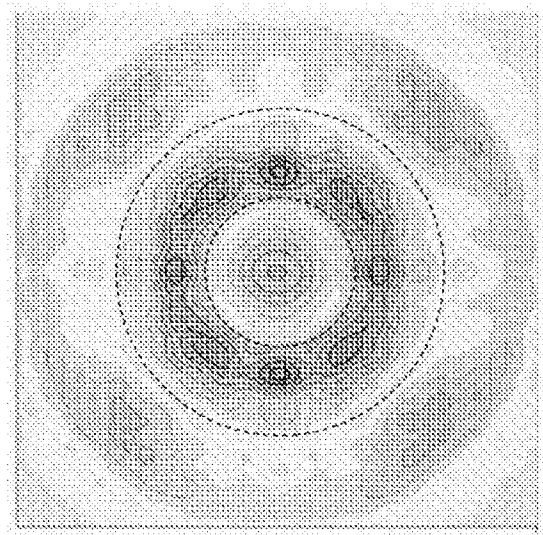


(D)

図10



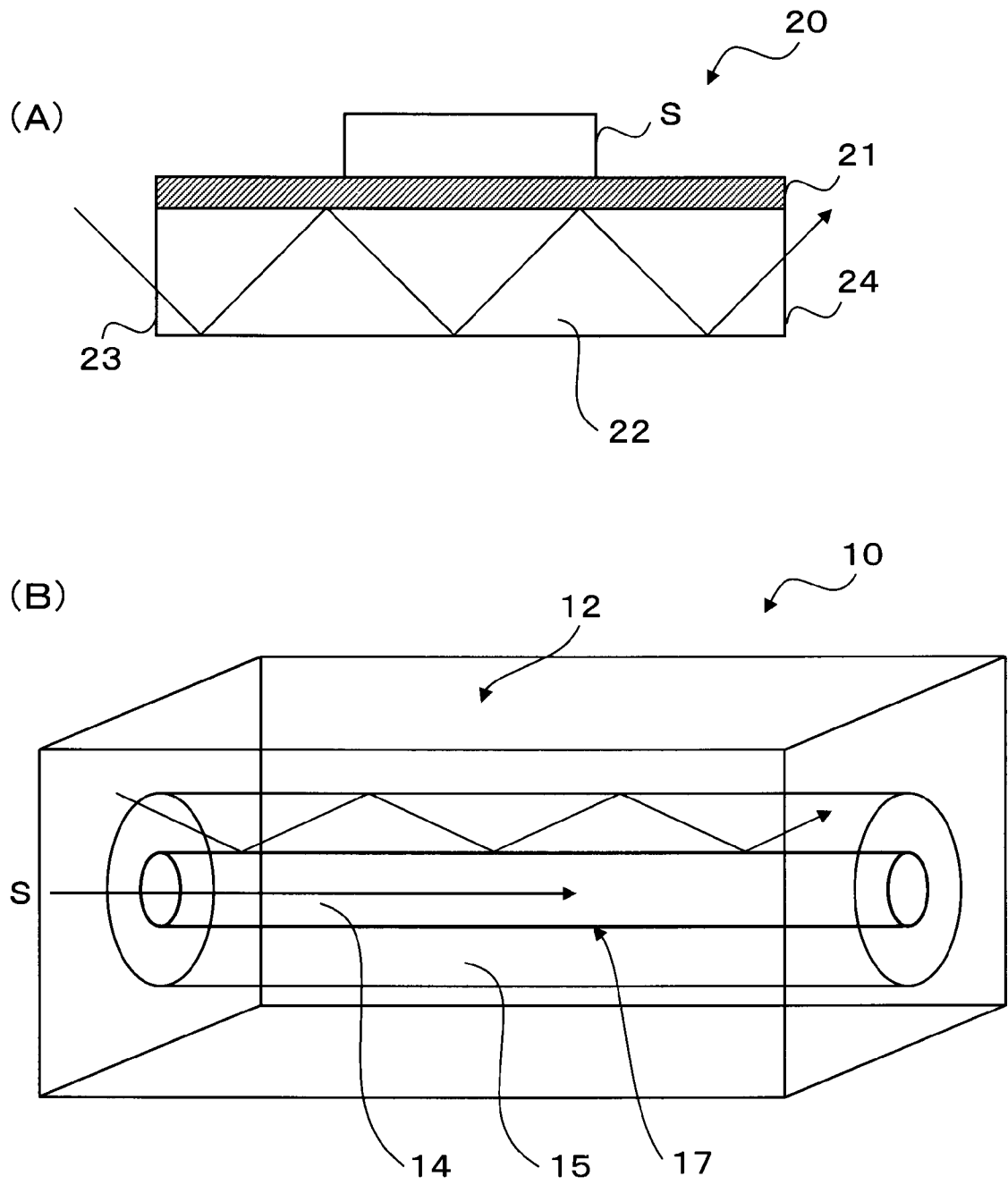
(A)



(C)

[図11]

図11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/084692

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G02B6/122(2006.01)i, G02B6/12(2006.01)i, G02F1/13(2006.01)i</i></p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>											
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) <i>G02B6/00-6/44, G02F1/13</i></p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched <i>Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2014</i> <i>Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014</i></p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) <i>JSTPlus (JDreamIII), JST7580 (JDreamIII)</i></p>											
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">Category*</th> <th style="width:70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width:20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">A</td> <td>US 5586205 A (NATIONAL SCIENCE COUNCIL), 17 December 1996 (17.12.1996), entire text; fig. 3a to 4b (Family: none)</td> <td align="center">1-3</td> </tr> <tr> <td align="center">A</td> <td>JP 2008-530766 A (Stichting Voor de Technische Wetenschappen), 07 August 2008 (07.08.2008), paragraphs [0047] to [0049], [0104], [0105]; fig. 4 to 5b & JP 2008-536953 A & US 2009/0027872 A1 & US 2009/0044861 A1 & EP 1854150 A2 & EP 1854151 A2 & WO 2006/088369 A2 & WO 2006/088370 A2 & KR 10-2007-0120956 A & CN 101138100 A & CN 101840077 A & CN 101138101 A</td> <td align="center">1-3</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	US 5586205 A (NATIONAL SCIENCE COUNCIL), 17 December 1996 (17.12.1996), entire text; fig. 3a to 4b (Family: none)	1-3	A	JP 2008-530766 A (Stichting Voor de Technische Wetenschappen), 07 August 2008 (07.08.2008), paragraphs [0047] to [0049], [0104], [0105]; fig. 4 to 5b & JP 2008-536953 A & US 2009/0027872 A1 & US 2009/0044861 A1 & EP 1854150 A2 & EP 1854151 A2 & WO 2006/088369 A2 & WO 2006/088370 A2 & KR 10-2007-0120956 A & CN 101138100 A & CN 101840077 A & CN 101138101 A	1-3
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.									
A	US 5586205 A (NATIONAL SCIENCE COUNCIL), 17 December 1996 (17.12.1996), entire text; fig. 3a to 4b (Family: none)	1-3									
A	JP 2008-530766 A (Stichting Voor de Technische Wetenschappen), 07 August 2008 (07.08.2008), paragraphs [0047] to [0049], [0104], [0105]; fig. 4 to 5b & JP 2008-536953 A & US 2009/0027872 A1 & US 2009/0044861 A1 & EP 1854150 A2 & EP 1854151 A2 & WO 2006/088369 A2 & WO 2006/088370 A2 & KR 10-2007-0120956 A & CN 101138100 A & CN 101840077 A & CN 101138101 A	1-3									
<p><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>											
<table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%; vertical-align: top;"> <p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </td> <td style="width:50%; vertical-align: top;"> <p>"T" 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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p> </td> </tr> </table>			<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" 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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>							
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" 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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>										
<p>Date of the actual completion of the international search 31 January, 2014 (31.01.14)</p>		<p>Date of mailing of the international search report 10 February, 2014 (10.02.14)</p>									
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office</p>		<p>Authorized officer</p>									
<p>Facsimile No.</p>		<p>Telephone No.</p>									

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/084692

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2003/0103708 A1 (PHOTINTECH INC.), 05 June 2003 (05.06.2003), paragraphs [0054], [0056]; fig. 4b & WO 2003/046646 A1	1-3
A	STUMP, A. et al., Optical waveguides structured with photoaligning polymers, Optics Letters, 2005.06.01, Vol.30, No.11, p.1333-1335	1-3
A	JP 2006-162678 A (Asahi Glass Co., Ltd.), 22 June 2006 (22.06.2006), entire text; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-3
A	US 2005/0169590 A1 (CRYSTAL FIBRE A/S), 04 August 2005 (04.08.2005), paragraph [0173]; fig. 8 (Family: none)	1-3

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G02B6/12(2006.01)i, G02B6/12(2006.01)i, G02F1/13(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. G02B6/00-6/44, G02F1/13

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 1971-2014年
 日本国実用新案登録公報 1996-2014年
 日本国登録実用新案公報 1994-2014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)
 JSTPlus(JDreamIII), JST7580(JDreamIII)

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
A	US 5586205 A (NATIONAL SCIENCE COUNCIL) 1996. 12. 17, 全文, 第 3a-4b 図 (ファミリーなし)	1-3
A	JP 2008-530766 A (シュティヒティン・ボール・デ・テヒニシェ・ ベテンシャッペン) 2008. 08. 07, 段落【0047】-【0049】, 【0104】, 【0105】, 第 4-5b 図 & JP 2008-536953 A & US 2009/0027872 A1 & US 2009/0044861 A1 & EP 1854150 A2 & EP 1854151 A2 & WO 2006/088369 A2 & WO 2006/088370 A2 & KR 10-2007-0120956 A & CN 101138100 A & CN 101840077 A & CN 101138101 A	1-3

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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 31. 01. 2014	国際調査報告の発送日 10. 02. 2014
----------------------------	----------------------------

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) ▲高▼ 芳徳 電話番号 03-3581-1101 内線 3294	2 X	9 8 1 3
--	---	-----	---------

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	US 2003/0103708 A1 (PHOTINTECH INC.) 2003.06.05, 段落[0054], [0056], 第4b図 & WO 2003/046646 A1	1-3
A	STUMP, A. et al., Optical waveguides structured with photoaligning polymers, Optics Letters, 2005.06.01, Vol. 30, No. 11, p.1333-1335	1-3
A	JP 2006-162678 A (旭硝子株式会社) 2006.06.22, 全文, 第1-7図 (ファミリーなし)	1-3
A	US 2005/0169590 A1 (CRYSTAL FIBRE A/S) 2005.08.04, 段落[0173], 第8図 (ファミリーなし)	1-3