

(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
2022年6月9日(09.06.2022)



(10) 国際公開番号

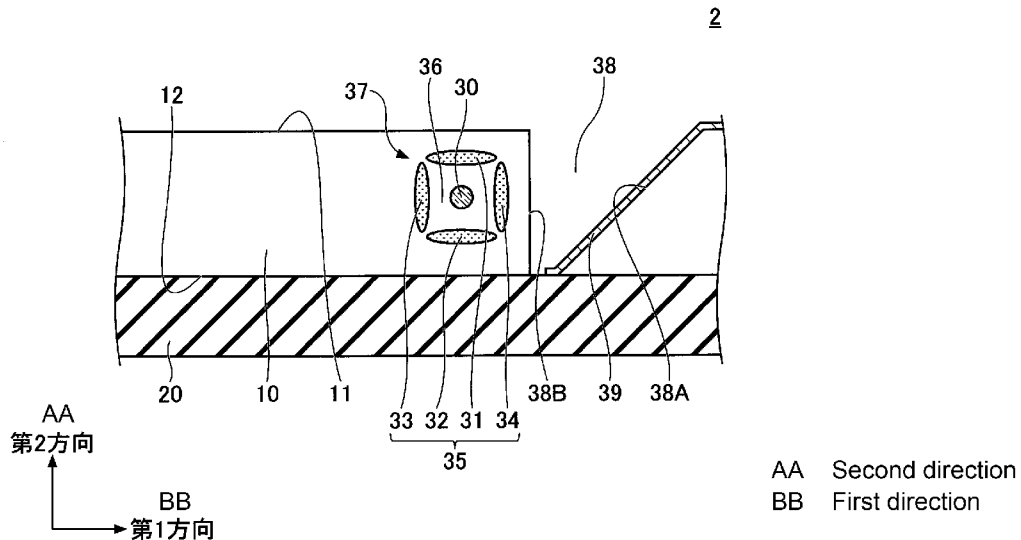
WO 2022/118366 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/122 (2006.01) *G02B 6/13* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/044622
- (22) 国際出願日: 2020年12月1日(01.12.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 富士通株式会社 (**FUJITSU LIMITED**)
[JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 宮 武 哲 也 (**MIYATAKE, Tetsuya**);
〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 伊東 忠重, 外 (**ITOH, Tadashige et al.**);
〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号 丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 16階 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, IT, JO, JP, 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,

(54) **Title:** QUANTUM CIRCUIT, QUANTUM COMPUTER, AND METHOD FOR PRODUCING QUANTUM CIRCUIT

(54) 発明の名称: 量子回路、量子コンピュータ及び量子回路の製造方法

[図24]



(57) **Abstract:** This method for producing a quantum circuit comprises a step for forming, in a diamond layer having a first principal surface and a second principal surface and including a color center, an optical waveguide to be optically coupled to the color center; the optical waveguide has a core region including the color center, and an optical confinement region provided around the core region, and the refractive index of the optical confinement region is lower than the refractive index of the core region. The step for forming the optical waveguide comprises: a step for forming, in the diamond layer,



WO 2022/118366 A1



ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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, 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))

an inclined surface separate from the color center; a step for forming a reflection film on the inclined surface; a step for forming a first region on the first principal surface side of the color center by irradiating a part of the reflection film with femtosecond laser light, and reducing the refractive index of a part of the diamond layer by concentrating the femtosecond laser light reflected by the reflection film onto the first principal surface side of the color center; a step for forming a second region on the second principal surface side of the color center by irradiating another part of the reflection film with femtosecond layer light, and reducing the refractive index of another part of the diamond layer by concentrating the femtosecond laser light reflected by the reflection film onto the second principal surface side of the color center; a step for forming a third region on one side of the core region in a first direction parallel to the first principal surface by irradiating a part of the first principal surface with femtosecond laser light, and reducing the refractive index of another part of the diamond layer by concentrating the femtosecond laser light onto the one side of the core region; and a step for forming a fourth region on the other side of the core region in the first direction by irradiating another part of the first principal surface with femtosecond laser light, and reducing the refractive index of another part of the diamond layer by concentrating the femtosecond laser light onto the other side of the core region.

(57) 要約: 量子回路の製造方法は、第1主面及び第2主面を有し、カラーセンターを含むダイヤモンド層中に、前記カラーセンターに光結合される光導波路を形成する工程を有し、前記光導波路は、前記カラーセンターを含むコア領域と、前記コア領域の周囲に設けられた光閉じ込め領域と、を有し、前記光閉じ込め領域の屈折率は、前記コア領域の屈折率よりも低く、前記光導波路を形成する工程は、前記ダイヤモンド層に、前記カラーセンターから離れた傾斜面を形成する工程と、前記傾斜面の上に反射膜を形成する工程と、前記反射膜の一部にフェムト秒レーザ光を照射し、前記反射膜により反射されたフェムト秒レーザ光を前記カラーセンターの前記第1主面側に集光させて前記ダイヤモンド層の一部の屈折率を低下させることで、前記カラーセンターの前記第1主面側に第1領域を形成する工程と、前記反射膜の他の一部にフェムト秒レーザ光を照射し、前記反射膜により反射されたフェムト秒レーザ光を前記カラーセンターの前記第2主面側に集光させて前記ダイヤモンド層の他の一部の屈折率を低下させることで、前記カラーセンターの前記第2主面側に第2領域を形成する工程と、前記第1主面の一部にフェムト秒レーザ光を照射し、前記第1主面に平行な第1方向で前記コア領域の一方側にフェムト秒レーザ光を集光させて前記ダイヤモンド層の他の一部の屈折率を低下させることで、前記コア領域の前記一方側に第3領域を形成する工程と、前記第1主面の他の一部にフェムト秒レーザ光を照射し、前記第1方向で前記コア領域の他方側にフェムト秒レーザ光を集光させて前記ダイヤモンド層の他の一部の屈折率を低下させることで、前記コア領域の前記他方側に第4領域を形成する工程と、を有する。

明 細 書

発明の名称：

量子回路、量子コンピュータ及び量子回路の製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、量子回路、量子コンピュータ及び量子回路の製造方法に関する。

背景技術

[0002] ダイヤモンド層中のカラーセンターを用いた量子回路について検討が行われている。また、カラーセンターにおける発光の伝搬のためにダイヤモンド層中に光導波路を形成する技術についても検討が行われている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：米国特許第9 1 5 7 8 5 9号明細書
特許文献2：米国特許第8 8 3 7 5 3 4号明細書
特許文献3：特表2 0 1 3－5 4 4 4 4 1号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：Integrated waveguides and deterministically positioned nitrogen vacancy centers in diamond created by femtosecond laser writing, Optics Letters, 43(15), 3586-3589 (2018)
非特許文献2：Diamond photonics platform enabled by femtosecond laser writing, Scientific Reports 6, 35566 (2016)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、従来の方法で形成された光導波路では、光信号の損失が大きくなってしまう。

[0006] 本開示の目的は、光信号の損失を低減することができる量子回路、量子コ

ンピュータ及び量子回路の製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示の一形態によれば、第1主面及び第2主面を有し、カラーセンターを含むダイヤモンド層中に、前記カラーセンターに光結合される光導波路を形成する工程を有し、前記光導波路は、前記カラーセンターを含むコア領域と、前記コア領域の周囲に設けられた光閉じ込め領域と、を有し、前記光閉じ込め領域の屈折率は、前記コア領域の屈折率よりも低く、前記光導波路を形成する工程は、前記ダイヤモンド層に、前記カラーセンターから離れた傾斜面を形成する工程と、前記傾斜面の上に反射膜を形成する工程と、前記反射膜の一部にフェムト秒レーザ光を照射し、前記反射膜により反射されたフェムト秒レーザ光を前記カラーセンターの前記第1主面側に集光させて前記ダイヤモンド層の一部の屈折率を低下させることで、前記カラーセンターの前記第1主面側に第1領域を形成する工程と、前記反射膜の他の一部にフェムト秒レーザ光を照射し、前記反射膜により反射されたフェムト秒レーザ光を前記カラーセンターの前記第2主面側に集光させて前記ダイヤモンド層の他の一部の屈折率を低下させることで、前記カラーセンターの前記第2主面側に第2領域を形成する工程と、前記第1主面の一部にフェムト秒レーザ光を照射し、前記第1主面に平行な第1方向で前記コア領域の一方側にフェムト秒レーザ光を集光させて前記ダイヤモンド層の他の一部の屈折率を低下させることで、前記コア領域の前記一方側に第3領域を形成する工程と、前記第1主面の他の一部にフェムト秒レーザ光を照射し、前記第1方向で前記コア領域の他方側にフェムト秒レーザ光を集光させて前記ダイヤモンド層の他の一部の屈折率を低下させることで、前記コア領域の前記他方側に第4領域を形成する工程と、を有す量子回路の製造方法が提供される。

発明の効果

[0008] 本開示によれば、光信号の損失を低減することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]図1は、参考例に係る量子回路の製造方法を示す図（その1）である。

[図2]図2は、参考例に係る量子回路の製造方法を示す図（その2）である。

[図3]図3は、参考例に係る量子回路の製造方法を示す図（その3）である。

[図4]図4は、参考例に係る量子回路の製造方法を示す図（その4）である。

[図5]図5は、参考例に係る量子回路の製造方法を示す図（その5）である。

[図6]図6は、参考例に係る量子回路の製造方法を示す図（その6）である。

[図7]図7は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その1）である。

[図8]図8は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その2）である。

[図9]図9は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その3）である。

[図10]図10は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その4）である。

[図11]図11は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その5）である。

[図12]図12は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その6）である。

[図13]図13は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その7）である。

[図14]図14は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その8）である。

[図15]図15は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その9）である。

[図16]図16は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その10）である。

[図17]図17は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その11）である。

[図18]図18は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その1

2) である。

[図19]図19は、第1実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その13）である。

[図20]図20は、カラーセンターを形成する方法を示す図（その1）である。

[図21]図21は、カラーセンターを形成する方法を示す図（その2）である。

[図22]図22は、第2実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その1）である。

[図23]図23は、第2実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その2）である。

[図24]図24は、第2実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その3）である。

[図25]図25は、第3実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その1）である。

[図26]図26は、第3実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その2）である。

[図27]図27は、第3実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その3）である。

[図28]図28は、第3実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その4）である。

[図29]図29は、第3実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その5）である。

[図30]図30は、第3実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その6）である。

[図31]図31は、第4実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その1）である。

[図32]図32は、第4実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その2）

）である。

[図33]図33は、第4実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その3）である。

[図34]図34は、第4実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その4）である。

[図35]図35は、第4実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その5）である。

[図36]図36は、第4実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その6）である。

[図37]図37は、第5実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その1）である。

[図38]図38は、第5実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その2）である。

[図39]図39は、第5実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その3）である。

[図40]図40は、第5実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図（その4）である。

[図41]図41は、量子コンピュータを示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本開示の実施形態について添付の図面を参照しながら具体的に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複した説明を省くことがある。

[0011] （参考例）

まず、参考例について説明する。図1～図6は、参考例に係る量子回路の製造方法を示す図である。

[0012] 参考例に係る量子回路の製造方法では、まず、図1に示すように、基材20の上に形成されたダイヤモンド層10を準備する。ダイヤモンド層10は

、基材20側の第2主面12と、第2主面12とは反対側の第1主面11とを有し、カラーセンター930を含む。次いで、第1主面11の一部にフェムト秒レーザ光Lを照射し、第1主面11に平行な第1方向でカラーセンター930の一方側にフェムト秒レーザ光Lを集光させる。この結果、ダイヤモンド層10のフェムト秒レーザ光Lが集光した部分に変質し、変質領域933が形成される。変質に伴い、変質領域933の屈折率は周囲の屈折率よりも低くなる。

[0013] その後、図2に示すように、第1主面11の他の一部にフェムト秒レーザ光Lを照射し、第1方向でカラーセンター930の他方側にフェムト秒レーザ光Lを集光させる。この結果、ダイヤモンド層10のフェムト秒レーザ光Lが集光した部分に変質し、変質領域934が形成される。変質に伴い、変質領域934の屈折率は周囲の屈折率よりも低くなる。

[0014] なお、フェムト秒レーザ光Lの照射は、例えば、ライン状に走査しながら行われる。このため、図3に示すように、変質領域933及び934は、例えば、間にカラーセンター930を挟むようにしてライン状に形成される。変質領域933及び934の間の領域の屈折率は、変質領域933及び934の屈折率よりも高い。従って、変質領域933及び934は、変質領域933及び934の間の領域に対して光閉じ込め効果を奏する。つまり、変質領域933及び934の間のコア領域936と、変質領域933及び934を備えた光閉じ込め領域935とを有する光導波路937が形成される。図2は、図3中のII-II線に沿った断面図に相当する。

[0015] このようにして、カラーセンター930に光結合される光導波路937を備えた量子回路を製造することができる。

[0016] ただし、この参考例により形成された光導波路937では、第1方向で光を閉じ込めることは可能であるが、第1主面11に垂直な第2方向では光閉じ込め効果が得られない。

[0017] 第2方向でも光を閉じ込めるために、同様のフェムト秒レーザ光Lの照射を行うことで、図4及び図5に示すように、カラーセンター930の第1主

面 1 1 側に変質領域 9 3 1 を形成し、カラーセンター 9 3 0 の第 2 主面 1 2 側に変質領域 9 3 2 を形成することも考えられる。図 4 は、図 5 中の IV-IV 線に沿った断面図に相当する。

[0018] しかしながら、変質領域 9 3 1 及び 9 3 2 は、光導波路 9 3 7 が延びる方向からの断面視で、照射方向である第 2 方向を長手方向とする形状を有し、変質領域 9 3 1 及び 9 3 2 の第 1 方向の寸法を大きくすることは困難である。このため、第 2 方向で十分な光閉じ込め効果を得ることができない。

[0019] また、図 6 に示すように、ダイヤモンド層の端面にフェムト秒レーザ光 L を照射することも考えられる。しかしながら、端面への照射により形成できる変質領域 9 3 8 の位置には限界があり、カラーセンター 9 3 0 と端面との間の距離が大きい場合、所望の位置に変質領域を形成することができない。

[0020] 本願発明者は、このような参考例を踏まえながら鋭意検討を行った結果、下記の実施形態に想到した。

[0021] (第 1 実施形態)

次に、第 1 実施形態について説明する。第 1 実施形態は、量子回路の製造方法に関する。図 7 ～図 1 9 は、第 1 実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図である。図 7、図 9、図 1 1、図 1 3、図 1 5、図 1 7 及び図 1 9 は断面図であり、図 8、図 1 0、図 1 2、図 1 4、図 1 6 及び図 1 8 は上面図である。第 1 実施形態では、カラーセンターを含むダイヤモンド層中に、カラーセンターに光結合される光導波路を形成する。

[0022] 第 1 実施形態では、まず、図 7 に示すように、基材 2 0 の上に形成されたダイヤモンド層 1 0 を準備する。基材 2 0 は、例えば Si 又は SiO_2 から構成される。ダイヤモンド層 1 0 は、例えば単結晶ダイヤモンドから構成される。ダイヤモンド層 1 0 は、基材 2 0 側の第 2 主面 1 2 と、第 2 主面 1 2 とは反対側の第 1 主面 1 1 とを有し、カラーセンター 3 0 を含む。カラーセンター 3 0 は、例えば窒素と空孔とから構成された窒素－空孔センター (NV センター) である。カラーセンター 3 0 が、ケイ素と空孔とから構成されたケイ素－空孔センター (SiV センター)、ゲルマニウムと空孔とから構成

されたゲルマニウム－空孔センター（GeVセンター）、スズと空孔とから構成されたスズ－空孔センター（SnVセンター）、鉛と空孔とから構成された鉛－空孔センター（PbVセンター）、又はホウ素と空孔とから構成されたホウ素－空孔センター（BVセンター）であってもよい。

[0023] 次いで、図8及び図9に示すように、ダイヤモンド層10に、カラーセンター30から離れた溝38を形成する。溝38は、形成しようとする光導波路に沿って形成する。溝38は、例えば、第1主面11に対して傾斜した側面38Aと、第1主面11に垂直な側面38Bとを有する。側面38Bをカラーセンター30と側面38Aとの間に位置させる。側面38Aは、第1主面11側から視認でき、例えば第1主面11に対して40度～50度、好ましくは45度傾斜するように形成する。側面38Aは傾斜面の一例である。図9は、図8中のIX-IX線に沿った断面図に相当する。

[0024] その後、図10及び図11に示すように、側面38Aの上にフェムト秒レーザ光を反射する反射膜39を形成する。ここでは、側面38Aの一部の上に反射膜39を形成する。反射膜39は、形成しようとする光導波路に沿って形成する。反射膜39は、例えばAu、Al等の金属からなる膜である。反射膜39の厚さは特に限定されないが、例えば0.1 μ m～1.0 μ m程度である。反射膜39は、例えばリフトオフ法により形成することができる。図11は、図10中のXI-XI線に沿った断面図に相当する。

[0025] 続いて、図12及び図13に示すように、反射膜39の一部にフェムト秒レーザ光Lを照射し、反射膜39により反射されたフェムト秒レーザ光Lをカラーセンター30の第1主面11側に集光させる。この結果、ダイヤモンド層10のフェムト秒レーザ光Lが集光した部分に変質し、変質領域31が形成される。ダイヤモンド層10の変質としては、例えばアモルファス化、カーボン化及びアブレーションが挙げられる。変質に伴い、変質領域31の屈折率は周囲の屈折率よりも低くなる。フェムト秒レーザ光Lの照射は、形成しようとする光導波路に沿って走査しながら行われ、変質領域31は、形成しようとする光導波路に沿って形成される。変質領域31は、断面視で、

照射方向である第1方向を長手方向とする形状を有する。変質領域31は第1領域の一例である。図13は、図12中のXIII-XIII線に沿った断面図に相当する。

[0026] 次いで、図14及び図15に示すように、反射膜39の他の一部にフェムト秒レーザ光Lを照射し、反射膜39により反射されたフェムト秒レーザ光Lをカラーセンター30の第2主面12側に集光させる。この結果、ダイヤモンド層10のフェムト秒レーザ光Lが集光した部分が変質し、変質領域32が形成される。変質に伴い、変質領域32の屈折率は周囲の屈折率よりも低くなる。フェムト秒レーザ光Lの照射は、形成しようとする光導波路に沿って走査しながら行われ、変質領域32は、形成しようとする光導波路に沿って形成される。変質領域32は、断面視で、照射方向である第1方向を長手方向とする形状を有する。変質領域32は第2領域の一例である。図15は、図14中のXV-XV線に沿った断面図に相当する。

[0027] その後、図16及び図17に示すように、第1主面11の一部にフェムト秒レーザ光Lを照射し、第1方向でカラーセンター30の一方側にフェムト秒レーザ光Lを集光させる。この結果、ダイヤモンド層10のフェムト秒レーザ光Lが集光した部分が変質し、変質領域33が形成される。変質に伴い、変質領域33の屈折率は周囲の屈折率よりも低くなる。フェムト秒レーザ光Lの照射は、形成しようとする光導波路に沿って走査しながら行われ、変質領域33は、形成しようとする光導波路に沿って形成される。変質領域33は、断面視で、照射方向である第2方向を長手方向とする形状を有する。変質領域33は第3領域の一例である。図17は、図16中のXVII-XVII線に沿った断面図に相当する。

[0028] 続いて、図18及び図19に示すように、第1主面11の他の一部にフェムト秒レーザ光Lを照射し、第1方向でカラーセンター30の他方側にフェムト秒レーザ光Lを集光させる。この結果、ダイヤモンド層10のフェムト秒レーザ光Lが集光した部分が変質し、変質領域34が形成される。変質に伴い、変質領域34の屈折率は周囲の屈折率よりも低くなる。フェムト秒レ

ーザ光Lの照射は、形成しようとする光導波路に沿って走査しながら行われ、変質領域34は、形成しようとする光導波路に沿って形成される。変質領域34は、断面視で、照射方向である第2方向を長手方向とする形状を有する。変質領域34は第4領域の一例である。図19は、図18中のXIX-XIX線に沿った断面図に相当する。

[0029] 変質領域31～34を形成する際のフェムト秒レーザ光Lの照射条件の一例は次の通りである。すなわち、波長は800nmであり、パルス幅は50fs～100fsであり、パルスエネルギーは50nJ～1000nJであり、繰り返し周波数は250kHz～500kHzである。

[0030] 上述のように、フェムト秒レーザ光Lの照射は、走査しながら行われる。このため、図19に示すように、変質領域31～34は、例えば、断面視でカラーセンター30を囲むようにしてライン状に形成される。変質領域31～34に囲まれた領域の屈折率は、変質領域31～34の屈折率よりも高い。従って、変質領域31～34は、変質領域31～34に囲まれた領域に対して光閉じ込め効果を奏する。つまり、変質領域31～34に囲まれたコア領域36と、変質領域31～34を備えた光閉じ込め領域35とを有する光導波路37が形成される。

[0031] このようにして、カラーセンター30に光結合される光導波路37を備えた量子回路1を製造することができる。

[0032] なお、変質領域31～34の形成順序は特に限定されない。例えば、変質領域33及び34を形成した後に、変質領域31及び32を形成してもよい。

[0033] 量子回路1においては、変質領域31及び32が断面視で第1方向を長手方向とする形状を有し、変質領域33及び34が断面視で第2方向を長手方向とする形状を有する。つまり、変質領域31及び32の第1方向の寸法は第2方向の寸法よりも大きく、変質領域33及び34の第2方向の寸法は第1方向の寸法よりも大きい。従って、変質領域31及び32によってコア領域36内の光を第2方向に閉じ込めることができ、変質領域33及び34に

よってコア領域 36 内の光を第 1 方向に閉じ込めることができる。このため、カラーセンター 30 からの発光を高効率に光導波路 37 に結合させ、光導波路 37 を通じて伝搬する光信号の損失を低減することができる。

[0034] また、量子回路 1 の製造にあたっては、側面 38 A を備えた溝 38 を形成し、側面 38 A の上に反射膜 39 を形成しているため、反射膜 39 を介して所望の位置に第 1 方向からフェムト秒レーザ光 L を集光させることができる。

[0035] カラーセンター 30 は、意図的に形成してもよい。図 20～図 21 は、カラーセンター 30 を形成する方法を示す図である。図 20 及び図 21 は断面図である。図 20 に示すように、ダイヤモンド層 10 に単発のフェムト秒レーザ光 L を集光することにより、空孔 30 X を形成する。次いで、窒素雰囲気中でアニールを行い、図 21 に示すように、空孔 30 X と窒素原子とが対になった NV センターをカラーセンター 30 として形成する。アニールの条件の一例は次の通りである。すなわち、温度は 1000℃であり、時間は 3 時間である。

[0036] (第 2 実施形態)

次に、第 2 実施形態について説明する。第 2 実施形態は、主に反射膜の配置の点で第 1 実施形態と相違する。図 22～図 24 は、第 2 実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図である。図 22 は上面図であり、図 23 及び図 24 は断面図である。

[0037] 第 2 実施形態では、まず、第 1 実施形態と同様にして、溝 38 の形成までの処理を行う（図 8 及び図 9 参照）。次いで、図 22 及び図 23 に示すように、側面 38 A の上と、溝 38 の底に露出する基材 20 の表面の上と、側面 38 A に繋がる第 1 主面 11 の上とに反射膜 39 を形成する。

[0038] その後、図 24 に示すように、第 1 実施形態と同様にして、変質領域 31～34 を形成する。

[0039] このようにして、カラーセンター 30 に光結合される光導波路 37 を備えた量子回路 2 を製造することができる。

[0040] 第2実施形態によっても第1実施形態と同様の効果を得ることができる。

また、反射膜39を溝38の底に露出する基材20の表面の上と、側面38Aに繋がる第1主面11の上にも形成しているため、ダイヤモンド層10の厚さ方向で変質領域31及び32を形成することができる範囲を拡大することができる。

[0041] (第3実施形態)

次に、第3実施形態について説明する。第3実施形態は、主にカラーセンター及び光導波路の数の点で第1実施形態と相違する。図25～図30は、第3実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図である。図25、図27、図29及び図30は断面図であり、図26及び図28は上面図である。第3実施形態では、2つのカラーセンターを含むダイヤモンド層中に、カラーセンターに個別に光結合される2つの光導波路を形成する。

[0042] 第3実施形態では、まず、図25に示すように、基材20の上に形成され、第1方向で離れて形成されたカラーセンター30及び40を含むダイヤモンド層10を準備する。カラーセンター40は、カラーセンター30と同様に、例えば、NVセンター、SiVセンター、GeVセンター、SnVセンター、PbVセンター又はBVセンターである。

[0043] 次いで、図26及び図27に示すように、ダイヤモンド層10に、カラーセンター30から離れた溝38及びカラーセンター40から離れた溝48を形成する。溝38及び48は、形成しようとする光導波路に沿って形成する。例えば、溝38及び48は、第1方向でカラーセンター30とカラーセンター40との間に形成し、溝38は溝48よりもカラーセンター30側に形成し、溝48は溝38よりもカラーセンター40側に形成する。溝48は、例えば、第1主面11に対して傾斜した側面48Aと、第1主面11に垂直な側面48Bとを有する。側面48Bをカラーセンター40と側面48Aとの間に位置させる。側面48Aは、第1主面11側から視認でき、例えば第1主面11に対して40度～50度、好ましくは45度傾斜するように形成する。側面48Aは傾斜面の一例である。図27は、図26中のXXVII-XXVII

線に沿った断面図に相当する。

[0044] その後、図28及び図29に示すように、側面38Aの上と、側面48Aの上と、側面38A及び側面48Aに繋がる第1主面11の上とにフェムト秒レーザ光を反射する反射膜49を形成する。反射膜49は、形成しようとする光導波路に沿って形成する。反射膜49は、例えばAu、Al等の金属からなる膜である。反射膜49の厚さは特に限定されないが、例えば0.1 μm ~ 1.0 μm 程度である。反射膜49は、例えばリフトオフ法により形成することができる。図29は、図28中のXXIX-XXIX線に沿った断面図に相当する。

[0045] 続いて、図30に示すように、第1実施形態と同様にして、変質領域31 ~ 34を形成する。また、それぞれ変質領域31 ~ 34の形成と同様の要領により、変質領域41 ~ 44を形成する。変質領域41 ~ 44は、例えば、断面視でカラーセンター40を囲むようにしてライン状に形成される。変質領域41 ~ 44に囲まれた領域の屈折率は、変質領域41 ~ 44の屈折率よりも高い。従って、変質領域41 ~ 44は、変質領域41 ~ 44に囲まれた領域に対して光閉じ込め効果を奏する。つまり、変質領域41 ~ 44に囲まれたコア領域46と、変質領域41 ~ 44を備えた光閉じ込め領域45とを有する光導波路47が形成される。

[0046] このようにして、カラーセンター30に光結合される光導波路37と、カラーセンター40に光結合される光導波路47とを備えた量子回路3を製造することができる。

[0047] なお、変質領域31 ~ 34及び41 ~ 44の形成順序は特に限定されない。

[0048] 第3実施形態によっても第1実施形態と同様の効果を得ることができる。また、光導波路47を通じて伝搬する光信号の損失も低減することができる。更に、量子回路3に含まれる量子ビットの数を増加させやすい。

[0049] また、量子回路3の製造にあたっては、溝38と溝48とを同時に形成することができる。また、反射膜を側面38A、48Aの上に個別に形成して

もよく、この場合でも、側面 38A の上と、側面 48A の上とに同時に反射膜を形成することができる。

[0050] (第 4 実施形態)

次に、第 4 実施形態について説明する。第 4 実施形態は、主に溝及び反射膜の配置の点で第 3 実施形態と相違する。図 31～図 36 は、第 4 実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図である。図 31、図 33、図 35 及び図 36 は断面図であり、図 32 及び図 34 は上面図である。第 4 実施形態では、第 3 実施形態と同様に、2つのカラーセンターを含むダイヤモンド層中に、カラーセンターに個別に光結合される 2つの光導波路を形成する。

[0051] 第 4 実施形態では、まず、図 31 に示すように、基材 20 の上に形成され、第 1 方向で離れて形成されたカラーセンター 30 及び 50 を含むダイヤモンド層 10 を準備する。カラーセンター 50 は、カラーセンター 30 と同様に、例えば、NV センター、SiV センター、GeV センター、SnV センター、PbV センター又は BV センターである。

[0052] 次に、図 32 及び図 33 に示すように、ダイヤモンド層 10 に、カラーセンター 30 から離れた溝 38 と、カラーセンター 50 から離れた溝 58 とを形成する。溝 38 及び 58 は、形成しようとする光導波路に沿って形成する。例えば、溝 38 は、第 1 方向でカラーセンター 30 とカラーセンター 50 との間に形成し、溝 58 は、カラーセンター 50 よりも溝 38 から離れるように形成する。溝 58 は、例えば、第 1 主面 11 に対して傾斜した側面 58A と、第 1 主面 11 に垂直な側面 58B とを有する。側面 58B をカラーセンター 50 と側面 58A との間に位置させる。側面 58A は、第 1 主面 11 側から視認でき、例えば第 1 主面 11 に対して 40 度～50 度、好ましくは 45 度傾斜するように形成する。側面 58A は傾斜面の一例である。図 33 は、図 32 中の XXXIII-XXXIII 線に沿った断面図に相当する。

[0053] その後、図 34 及び図 35 に示すように、側面 38A の上にフェムト秒レーザー光を反射する反射膜 39 を形成し、側面 58A の上にフェムト秒レーザー光を反射する反射膜 59 を形成する。ここでは、例えば、側面 38A の一部

の上に反射膜39を形成し、側面58Aの一部の上に反射膜59を形成する。反射膜39及び59は、形成しようとする光導波路に沿って形成する。反射膜59は、例えばAu、Al等の金属からなる膜である。反射膜59の厚さは特に限定されないが、例えば0.1 μ m～1.0 μ m程度である。反射膜59は、例えばリフトオフ法により形成することができる。反射膜39及び59は同時に形成することができる。図35は、図34中のXXXV-XXXV線に沿った断面図に相当する。

[0054] 続いて、図36に示すように、第1実施形態と同様にして、変質領域31～34を形成する。また、それぞれ変質領域31～34の形成と同様の要領により、変質領域51～54を形成する。変質領域51～54は、例えば、断面視でカラーセンター50を囲むようにしてライン状に形成される。変質領域51～54に囲まれた領域の屈折率は、変質領域51～54の屈折率よりも高い。従って、変質領域51～54は、変質領域51～54に囲まれた領域に対して光閉じ込め効果を奏する。つまり、変質領域51～54に囲まれたコア領域56と、変質領域51～54を備えた光閉じ込め領域55とを有する光導波路57が形成される。

[0055] このようにして、カラーセンター30に光結合される光導波路37と、カラーセンター50に光結合される光導波路57とを備えた量子回路4を製造することができる。

[0056] なお、変質領域31～34及び51～54の形成順序は特に限定されない。

[0057] 第4実施形態によっても第1実施形態と同様の効果を得ることができる。また、光導波路57を通じて伝搬する光信号の損失も低減することができる。更に、量子回路4に含まれる量子ビットの数を増加させやすい。

[0058] また、量子回路4の製造にあたっては、溝38と溝58とを同時に形成することができ、反射膜39と反射膜59とを同時に形成することができる。

[0059] (第5実施形態)

次に、第5実施形態について説明する。第5実施形態は、主にカラーセン

ター及び光導波路の数の点で第1実施形態と相違する。図37～図40は、第5実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図である。図37～図40は断面図である。第5実施形態に係る量子回路の製造方法を示す図である。第5実施形態では、4つのカラーセンターを含むダイヤモンド層中に、カラーセンターに個別に光結合される4つの光導波路を形成する。

[0060] 第5実施形態では、まず、図37に示すように、基材20の上に形成され、第1方向で離れて形成されたカラーセンター30、60、70及び80を含むダイヤモンド層10を準備する。カラーセンター60、70及び80は、カラーセンター30と同様に、例えば、NVセンター、SiVセンター、GeVセンター、SnVセンター、PbVセンター又はBVセンターである。ここでは、第1方向で、カラーセンター30とカラーセンター60とが互いに近く位置し、カラーセンター70とカラーセンター80とが互いに近く位置することとする。

[0061] 次いで、図38に示すように、ダイヤモンド層10に、カラーセンター30及び60から離れた溝68と、カラーセンター70及び80から離れた溝78とを形成する。溝68及び78は、形成しようとする光導波路に沿って形成する。例えば、溝68は、第1方向でカラーセンター30及び60とカラーセンター70及び80との間に形成し、溝78は、カラーセンター70及び80よりも溝68から離れるように形成する。溝68は、例えば、第1主面11に対して傾斜した側面68Aと、第1主面11に垂直な側面68Bとを有する。側面68Bをカラーセンター30及び60と側面68Aとの間に位置させる。側面68Aは、第1主面11側から視認でき、例えば第1主面11に対して40度～50度、好ましくは45度傾斜するように形成する。溝78は、例えば、第1主面11に対して傾斜した側面78Aと、第1主面11に垂直な側面78Bとを有する。側面78Bをカラーセンター70及び80と側面78Aとの間に位置させる。側面78Aは、第1主面11側から視認でき、例えば第1主面11に対して40度～50度、好ましくは45度傾斜するように形成する。側面68A及び78Aは傾斜面の一例である。

[0062] その後、図39に示すように、側面68Aの上にフェムト秒レーザ光を反射する反射膜69を形成し、側面78Aの上にフェムト秒レーザ光を反射する反射膜79を形成する。ここでは、例えば、側面68Aの一部の上に反射膜69を形成し、側面78Aの一部の上に反射膜79を形成する。反射膜69及び79は、形成しようとする光導波路に沿って形成する。反射膜69及び79は、例えばAu、Al等の金属からなる膜である。反射膜69及び79の厚さは特に限定されないが、例えば $0.1\mu\text{m}\sim 1.0\mu\text{m}$ 程度である。反射膜69及び79は、例えばリフトオフ法により形成することができる。反射膜69及び79は同時に形成することができる。

[0063] 続いて、図40に示すように、第1実施形態と同様にして、変質領域31～34を形成する。また、それぞれ変質領域31～34の形成と同様の要領により、変質領域61～64と、変質領域71～74と、変質領域81～84とを形成する。変質領域61～64は、例えば、断面視でカラーセンター60を囲むようにしてライン状に形成される。変質領域71～74は、例えば、断面視でカラーセンター70を囲むようにしてライン状に形成される。変質領域81～84は、例えば、断面視でカラーセンター80を囲むようにしてライン状に形成される。

[0064] 変質領域61～64に囲まれた領域の屈折率は、変質領域61～64の屈折率よりも高い。従って、変質領域61～64は、変質領域61～64に囲まれた領域に対して光閉じ込め効果を奏する。つまり、変質領域61～64に囲まれたコア領域66と、変質領域61～64を備えた光閉じ込め領域65とを有する光導波路67が形成される。

[0065] 変質領域71～74に囲まれた領域の屈折率は、変質領域71～74の屈折率よりも高い。従って、変質領域71～74は、変質領域71～74に囲まれた領域に対して光閉じ込め効果を奏する。つまり、変質領域71～74に囲まれたコア領域76と、変質領域71～74を備えた光閉じ込め領域75とを有する光導波路77が形成される。

[0066] 変質領域81～84に囲まれた領域の屈折率は、変質領域81～84の屈

折率よりも高い。従って、変質領域 8 1 ~ 8 4 は、変質領域 8 1 ~ 8 4 に囲まれた領域に対して光閉じ込め効果を奏する。つまり、変質領域 8 1 ~ 8 4 に囲まれたコア領域 8 6 と、変質領域 8 1 ~ 8 4 を備えた光閉じ込め領域 8 5 とを有する光導波路 8 7 が形成される。

[0067] このようにして、カラーセンター 3 0 に光結合される光導波路 3 7 と、カラーセンター 6 0 に光結合される光導波路 6 7 と、カラーセンター 7 0 に光結合される光導波路 7 7 と、カラーセンター 8 0 に光結合される光導波路 8 7 と、を備えた量子回路 5 を製造することができる。

[0068] なお、変質領域 6 1 ~ 6 4、7 1 ~ 7 4 及び 8 1 ~ 8 4 の形成順序は特に限定されない。

[0069] 第 5 実施形態によっても第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。また、光導波路 6 7、7 7、8 7 を通じて伝搬する光信号の損失も低減することができる。更に、量子回路 5 に含まれる量子ビットの数を増加させやすい。

[0070] 第 3 ~ 第 5 実施形態において、カラーセンター 4 0、5 0、6 0、7 0 及び 8 0 を、図 2 0 ~ 図 2 1 に示す方法で所望の位置に形成してもよい。

[0071] 各実施形態において、反射膜を目印として用いて、光導波路に結合する光検出器の位置合わせを行うことができる。特に、光導波路が延びる方向において、光導波路の終端の位置と反射膜の終端の位置とを一致させておくことで、光検出器を光導波路に高効率で結合させやすい。

[0072] 本開示の量子回路に含まれるカラーセンター及び光導波路の数は限定されない。

[0073] 図 4 1 に示すように、これら実施形態に係る量子回路 1、2、3、4、5 は、例えば、量子回路 1 0 1 として、量子コンピュータ 1 0 0 に内蔵させて用いることができる。

[0074] 以上、好ましい実施の形態等について詳説したが、上述した実施の形態等に制限されることはなく、請求の範囲に記載された範囲を逸脱することなく、上述した実施の形態等に種々の変形及び置換を加えることができる。

符号の説明

- [0075] 1、2、3、4、5 : 量子回路
- 10 : ダイヤモンド層
- 11 : 第1主面
- 12 : 第2主面
- 20 : 基材
- 30、40、50、60、70、80 : カラーセンター
- 31～34、41～44、51～54、61～64、71～74、81～84 : 変質領域
- 35、45、55、65、75、85 : 光閉じ込め領域
- 36、46、56、66、76、86 : コア領域
- 37、47、57、67、77、87 : 光導波路
- 38、48、58、68、78 : 溝
- 38A、48A、58A、68A、78A : 側面
- 39、49、59、69、79 : 反射膜
- 100 : 量子コンピュータ

請求の範囲

[請求項1]

第1主面及び第2主面を有し、カラーセンターを含むダイヤモンド層中に、前記カラーセンターに光結合される光導波路を形成する工程を有し、

前記光導波路は、

前記カラーセンターを含むコア領域と、

前記コア領域の周囲に設けられた光閉じ込め領域と、

を有し、

前記光閉じ込め領域の屈折率は、前記コア領域の屈折率よりも低く

、

前記光導波路を形成する工程は、

前記ダイヤモンド層に、前記カラーセンターから離れた傾斜面を備えた溝を形成する工程と、

前記傾斜面の上に反射膜を形成する工程と、

前記反射膜の一部にフェムト秒レーザー光を照射し、前記反射膜により反射されたフェムト秒レーザー光を前記カラーセンターの前記第1主面側に集光させて前記ダイヤモンド層の一部の屈折率を低下させることで、前記カラーセンターの前記第1主面側に第1領域を形成する工程と、

前記反射膜の他の一部にフェムト秒レーザー光を照射し、前記反射膜により反射されたフェムト秒レーザー光を前記カラーセンターの前記第2主面側に集光させて前記ダイヤモンド層の他の一部の屈折率を低下させることで、前記カラーセンターの前記第2主面側に第2領域を形成する工程と、

前記第1主面の一部にフェムト秒レーザー光を照射し、前記第1主面に平行な第1方向で前記コア領域の一方側にフェムト秒レーザー光を集光させて前記ダイヤモンド層の他の一部の屈折率を低下させることで、前記コア領域の前記一方側に第3領域を形成する工程と、

前記第 1 主面の他の一部にフェムト秒レーザ光を照射し、前記第 1 方向で前記コア領域の他方側にフェムト秒レーザ光を集光させて前記ダイヤモンド層の他の一部の屈折率を低下させることで、前記コア領域の前記他方側に第 4 領域を形成する工程と、

を有することを特徴とする量子回路の製造方法。

[請求項2] 前記第 1 領域及び前記第 2 領域の前記第 1 方向の寸法は、前記第 1 主面に垂直な第 2 方向の寸法よりも大きく、

前記第 3 領域及び前記第 4 領域の前記第 2 方向の寸法は、前記第 1 方向の寸法よりも大きいことを特徴とする請求項 1 に記載の量子回路の製造方法。

[請求項3] 前記カラーセンターは、窒素、ケイ素、ゲルマニウム、スズ、鉛又はホウ素と、空孔とから構成されることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の量子回路の製造方法。

[請求項4] 前記ダイヤモンド層は、前記カラーセンターを複数含み、
複数の前記カラーセンターに対して、共通の前記反射膜を用いて前記第 1 領域及び前記第 2 領域を形成することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の量子回路の製造方法。

[請求項5] 前記ダイヤモンド層は、前記カラーセンターを複数含み、
前記カラーセンター毎に異なる前記反射膜を用いて前記第 1 領域及び前記第 2 領域を形成することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の量子回路の製造方法。

[請求項6] 複数の前記カラーセンターの間で、前記第 1 主面からの距離が相違していることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の量子回路の製造方法。

[請求項7] 第 1 主面及び第 2 主面を有するダイヤモンド層中のカラーセンターと、

前記ダイヤモンド層中に形成され、前記カラーセンターに光結合された光導波路と、

を有し、
前記光導波路は、
前記カラーセンターを含むコア領域と、
前記コア領域の周囲に設けられた光閉じ込め領域と、
を有し、
前記光閉じ込め領域の屈折率は、前記コア領域の屈折率よりも低く、
前記光閉じ込め領域は、
前記コア領域の前記第 1 主面側に設けられた第 1 領域と、
前記コア領域の前記第 2 主面側に設けられた第 2 領域と、
前記第 1 主面に平行な第 1 方向で前記コア領域の一方側に設けられた第 3 領域と、
前記第 1 方向で前記コア領域の他方側に設けられた第 4 領域と、
を有し、
前記第 1 領域及び前記第 2 領域の前記第 1 方向の寸法は、前記第 1 主面に垂直な第 2 方向の寸法よりも大きく、
前記第 3 領域及び前記第 4 領域の前記第 2 方向の寸法は、前記第 1 方向の寸法よりも大きいことを特徴とする量子回路。

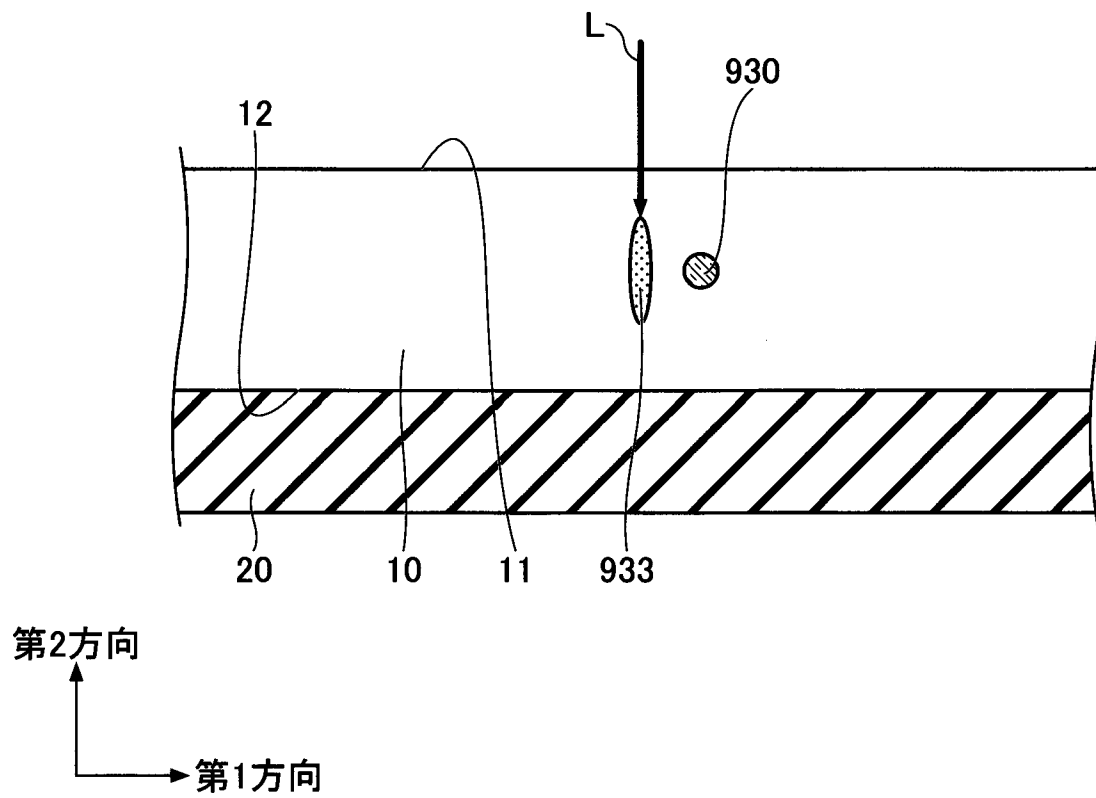
[請求項8] 前記カラーセンターは、窒素、ケイ素、ゲルマニウム、スズ、鉛又はホウ素と、空孔とから構成されることを特徴とする請求項 7 に記載の量子回路。

[請求項9] 前記ダイヤモンド層は、前記カラーセンターを複数含むことを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の量子回路。

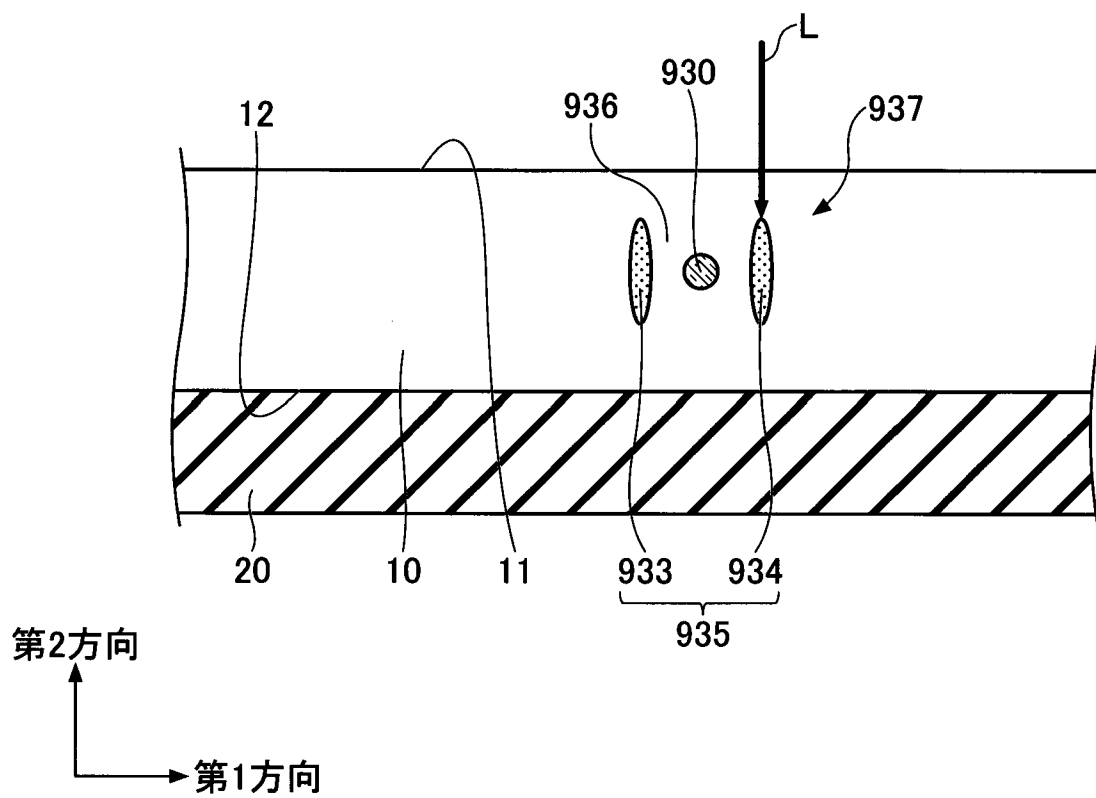
[請求項10] 複数の前記カラーセンターの間で、前記第 1 主面からの距離が相違していることを特徴とする請求項 9 に記載の量子回路。

[請求項11] 請求項 7 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の量子回路を含むことを特徴とする量子コンピュータ。

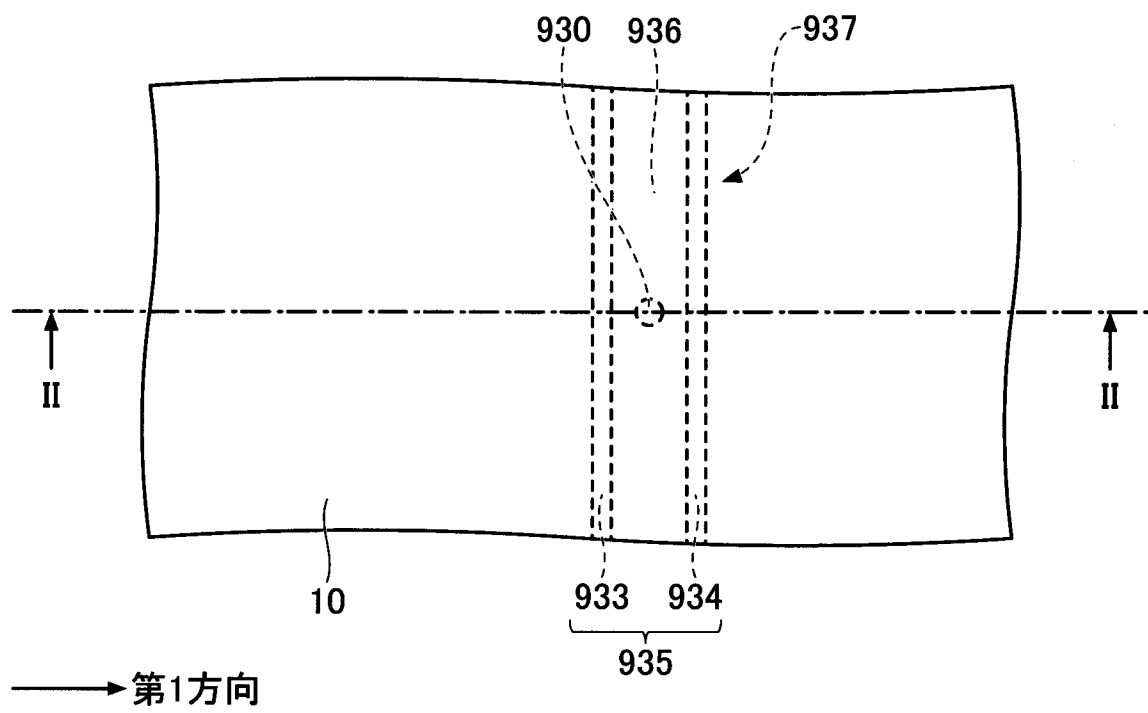
[図1]



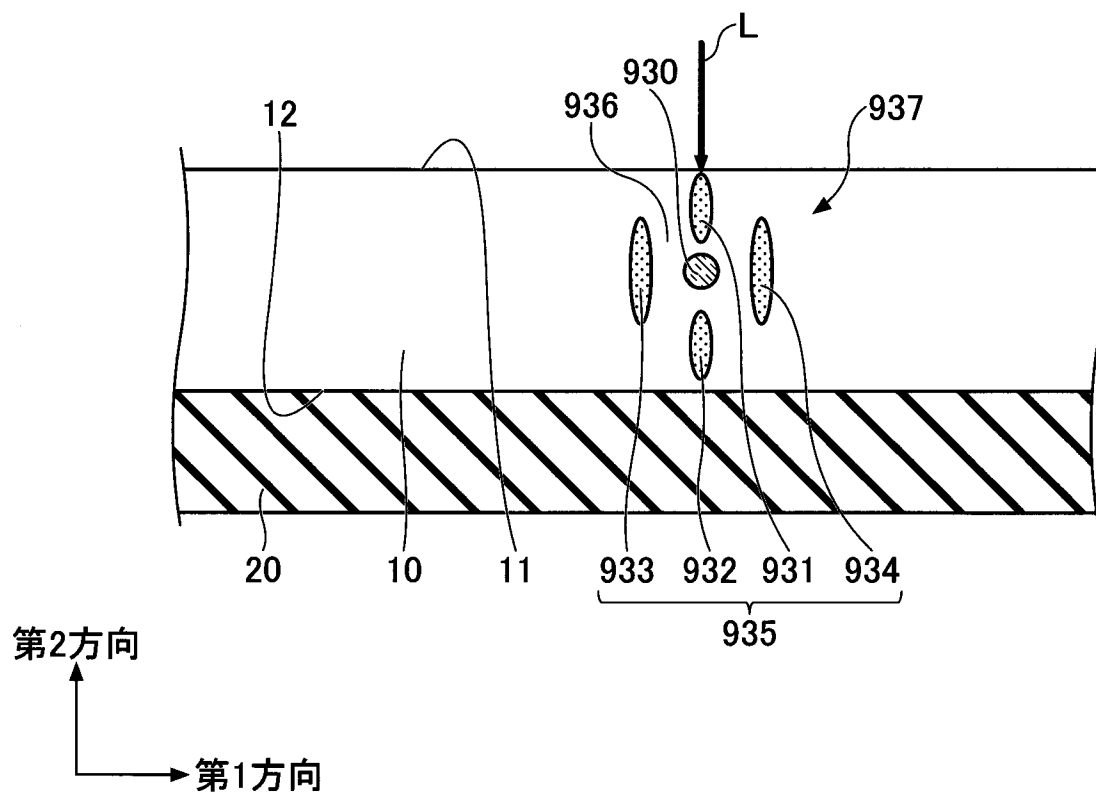
[図2]



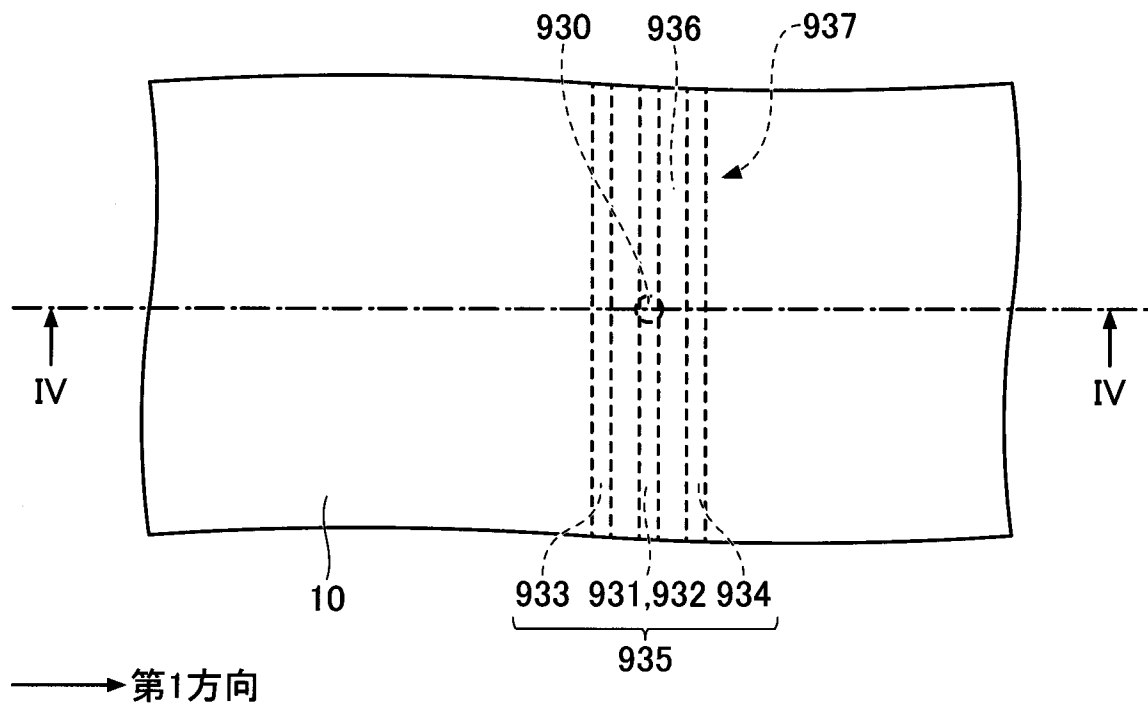
[図3]



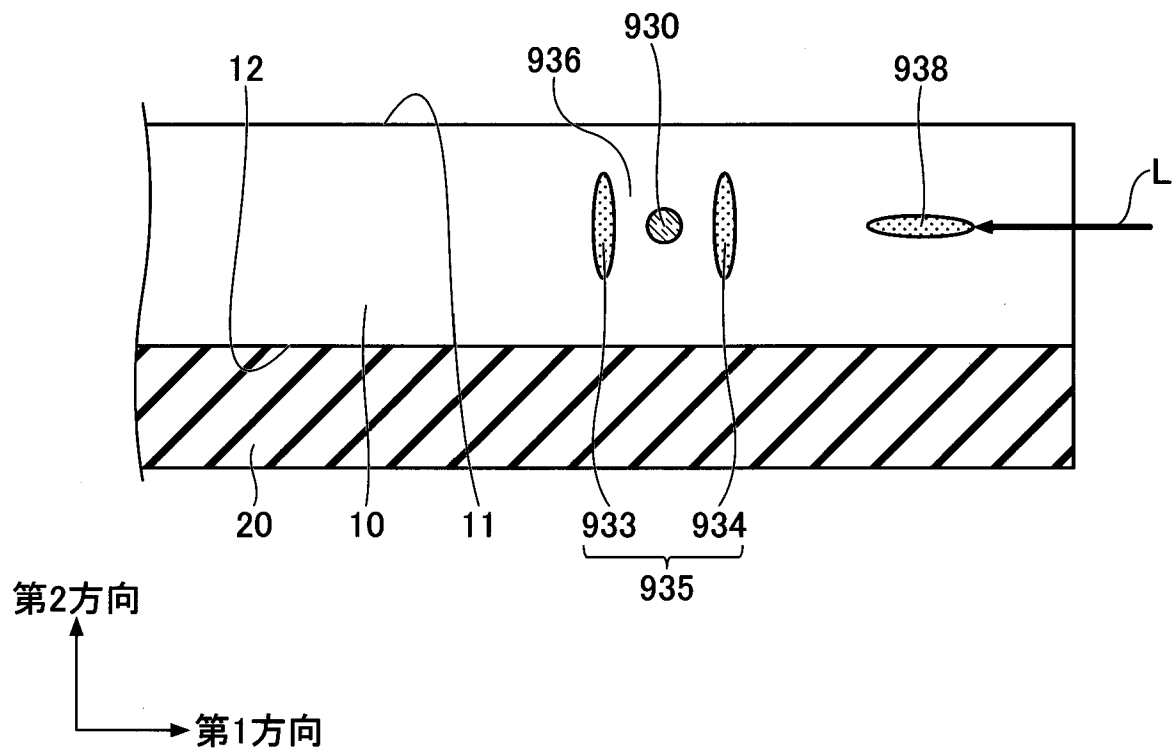
[図4]



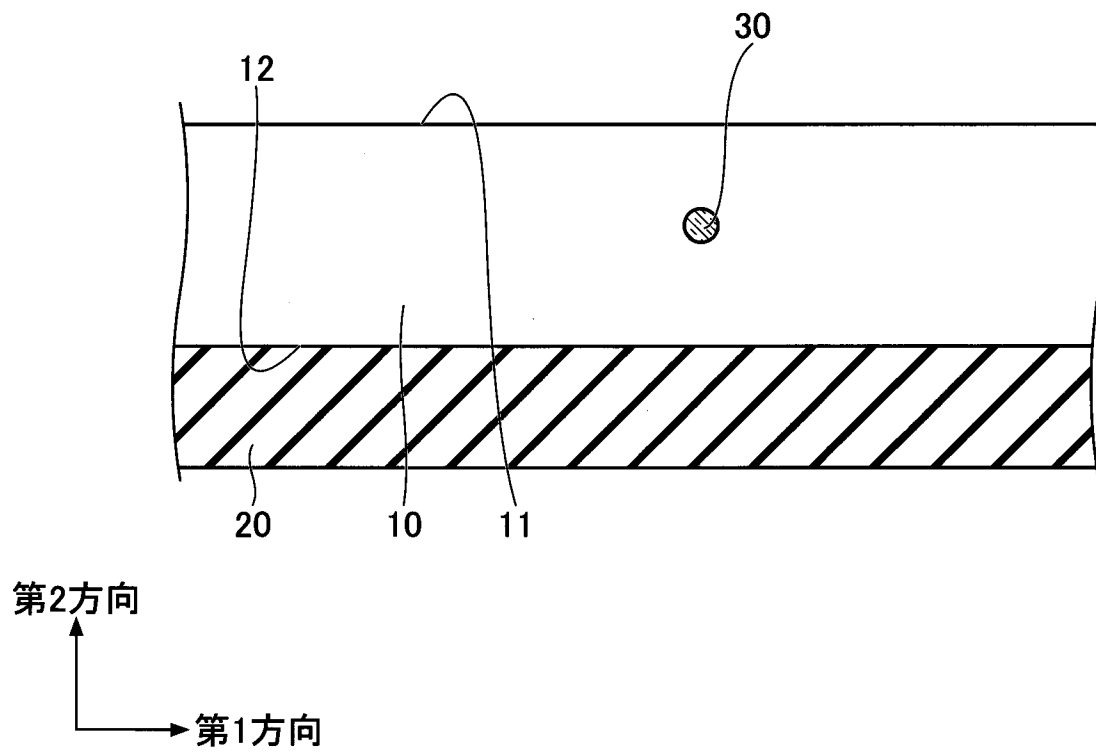
[図5]



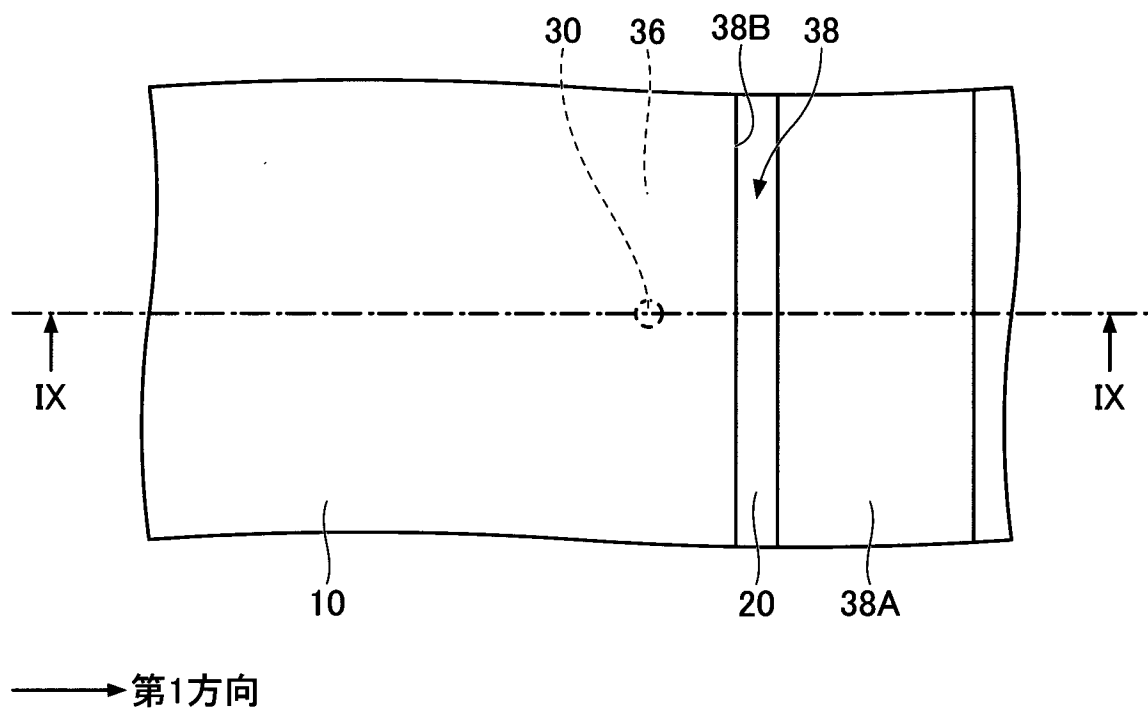
[図6]



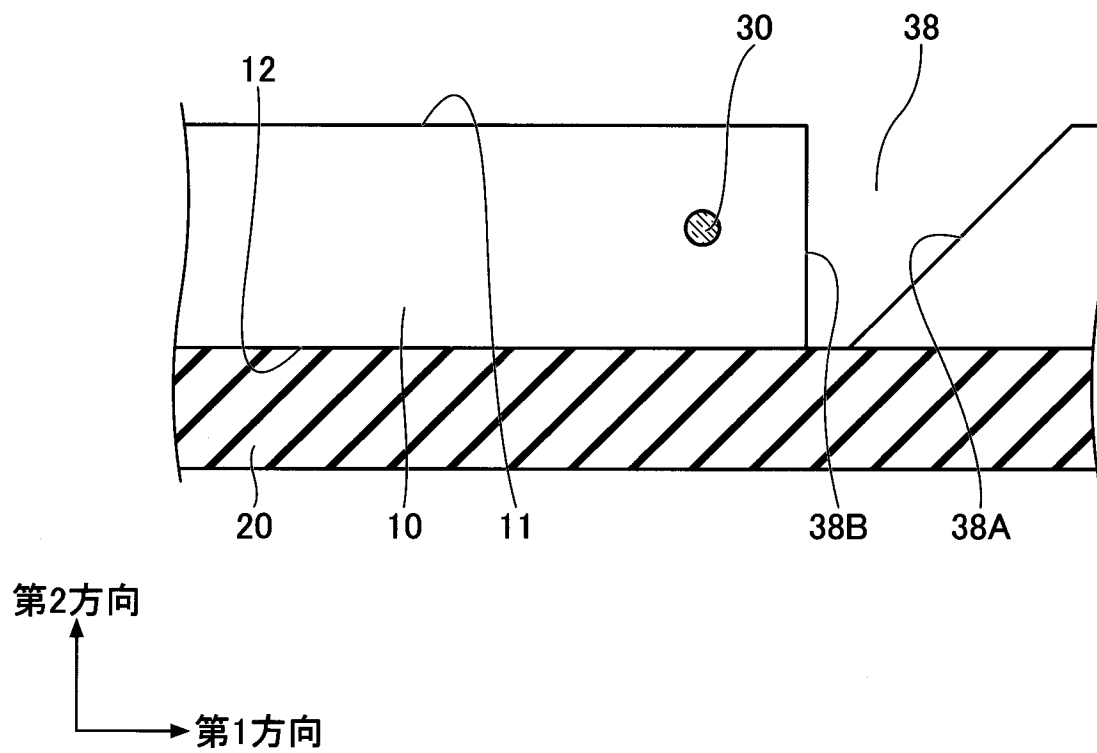
[図7]



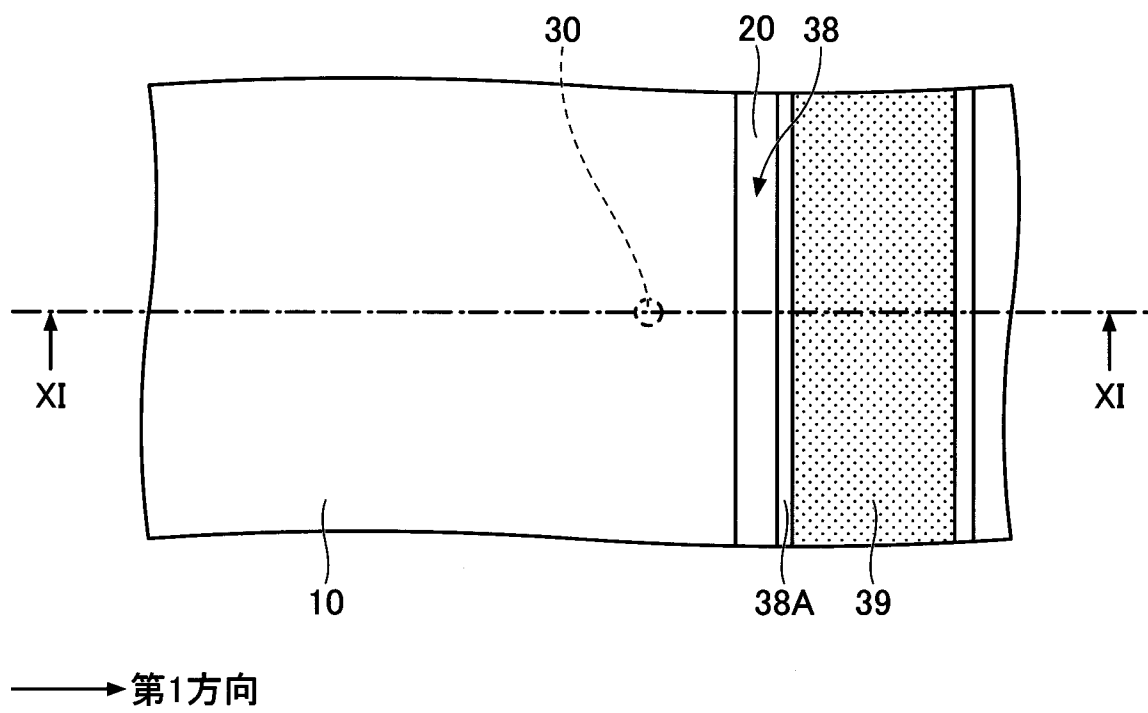
[図8]



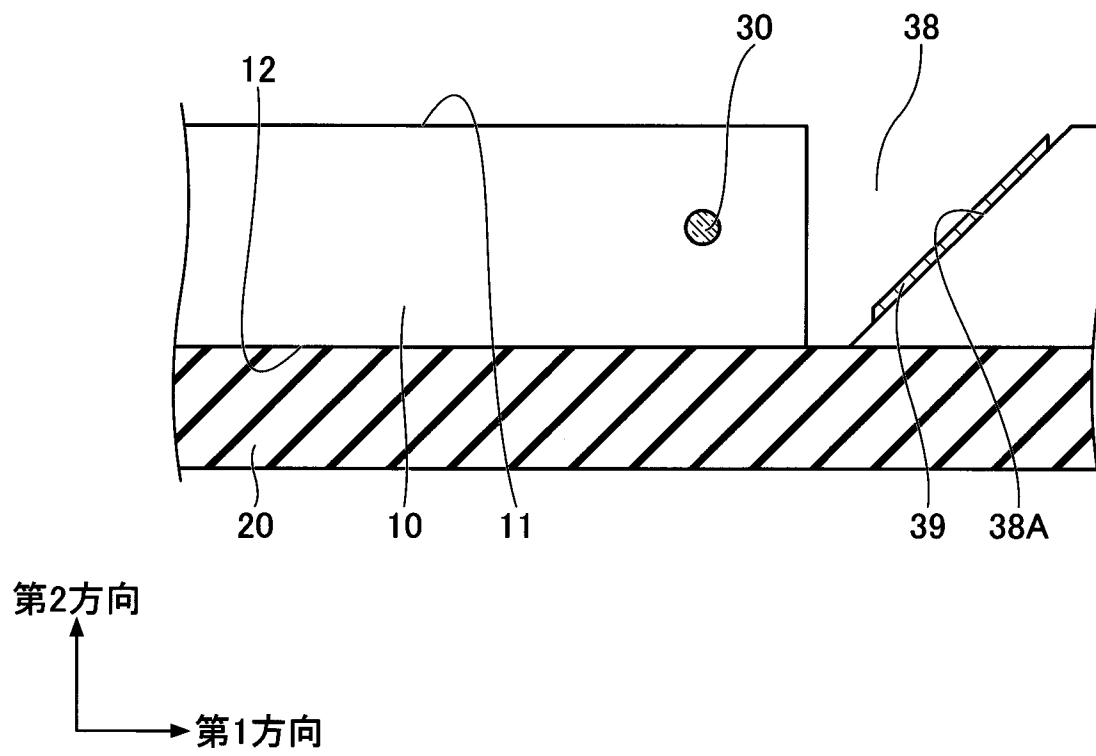
[図9]



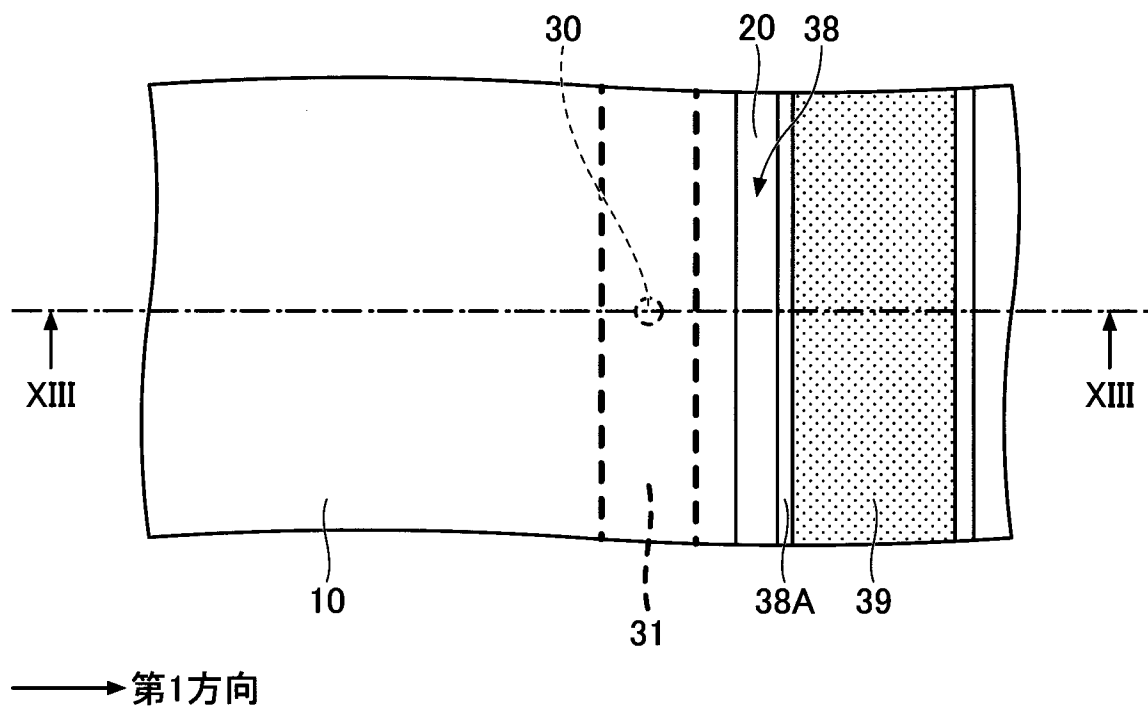
[図10]



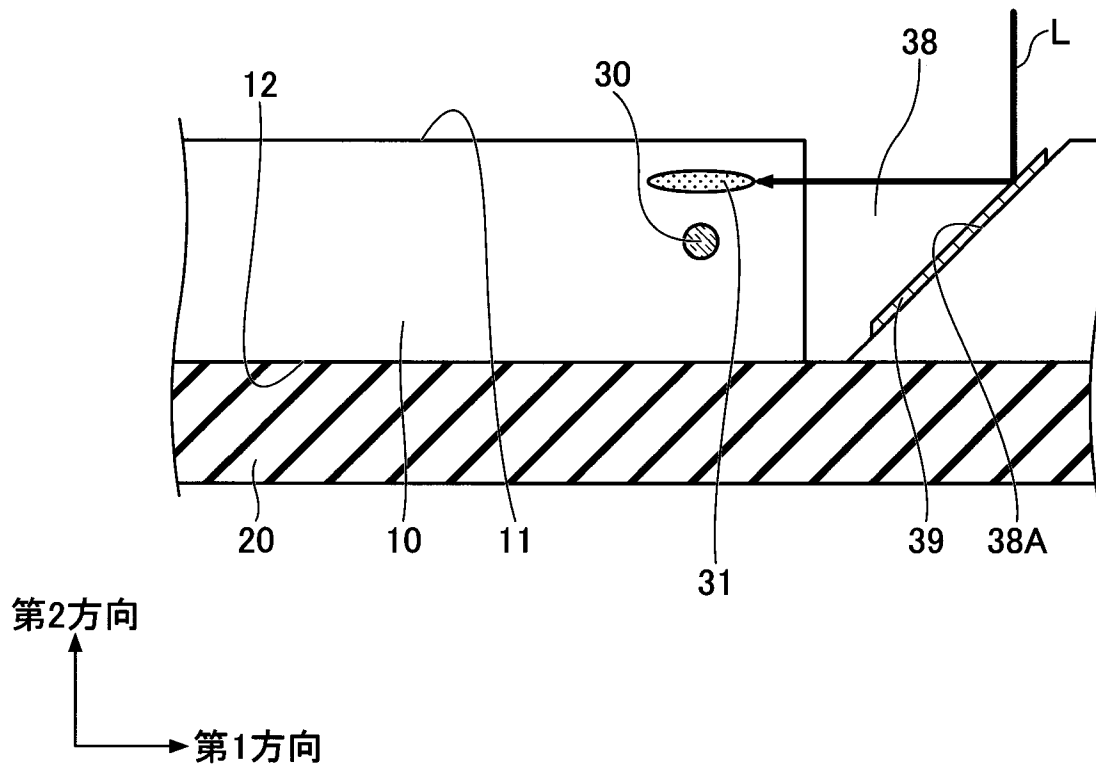
[図11]



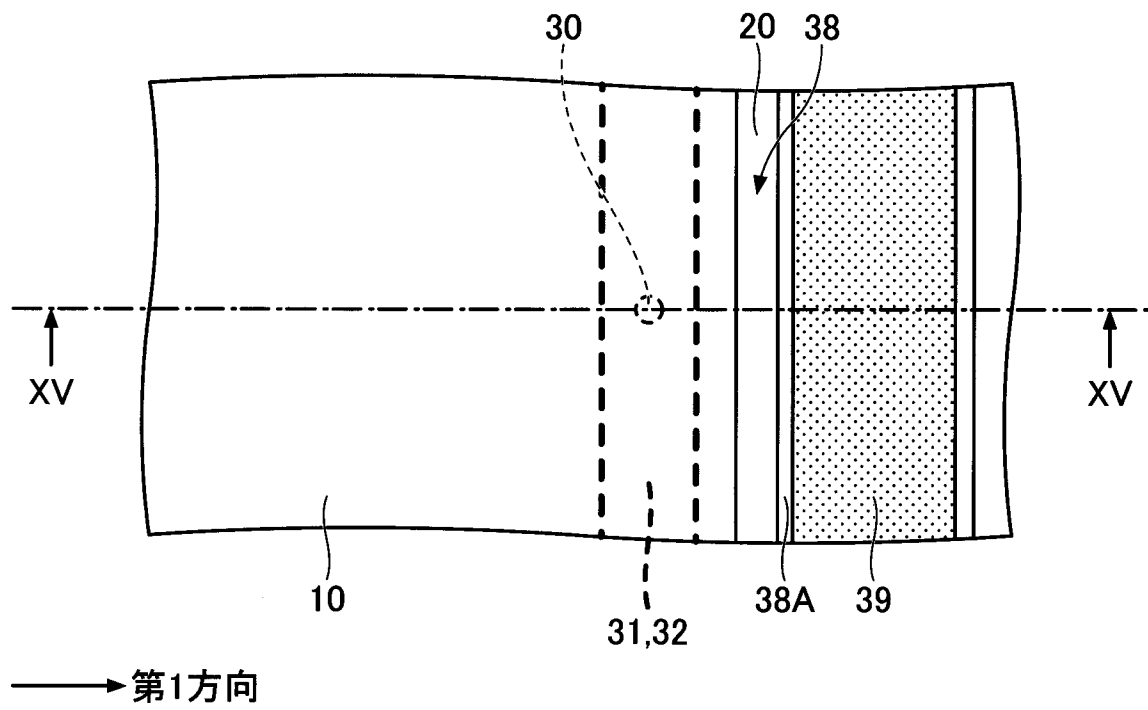
[図12]



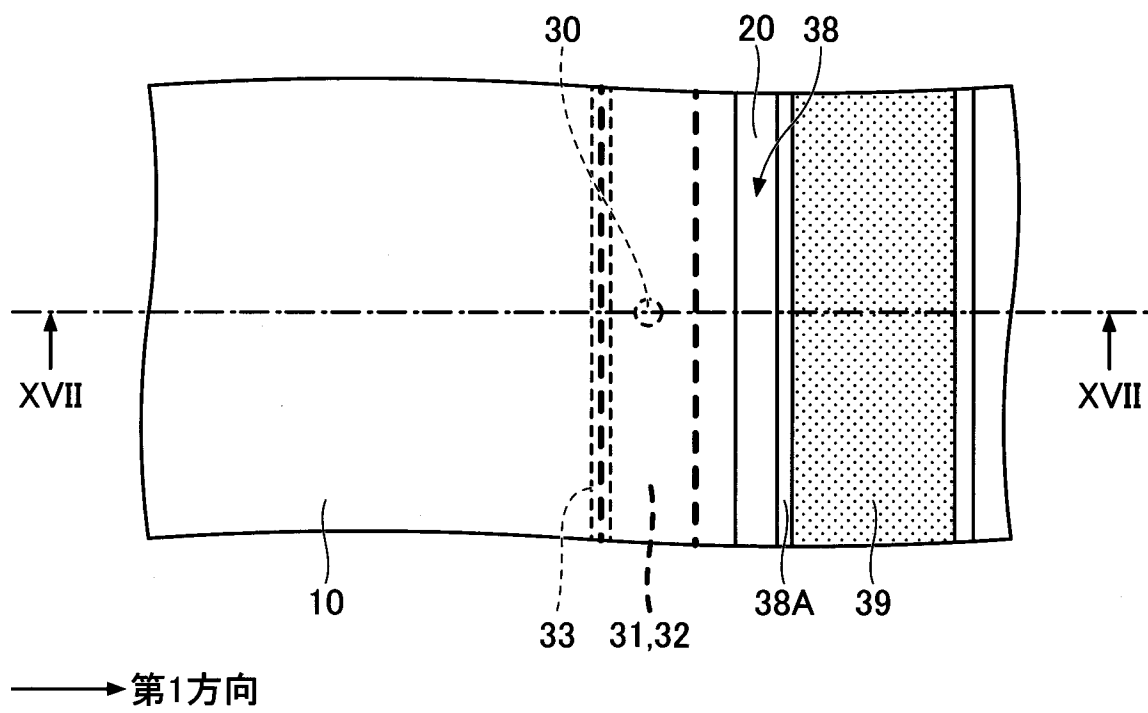
[図13]



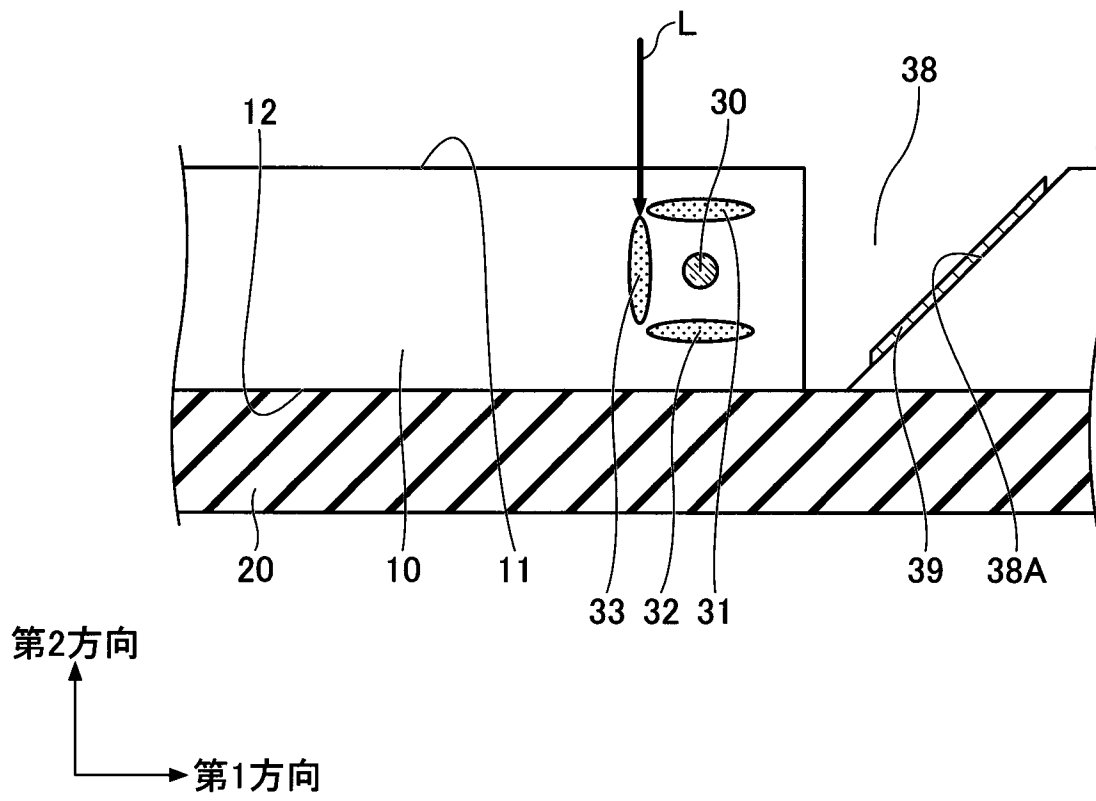
[図14]



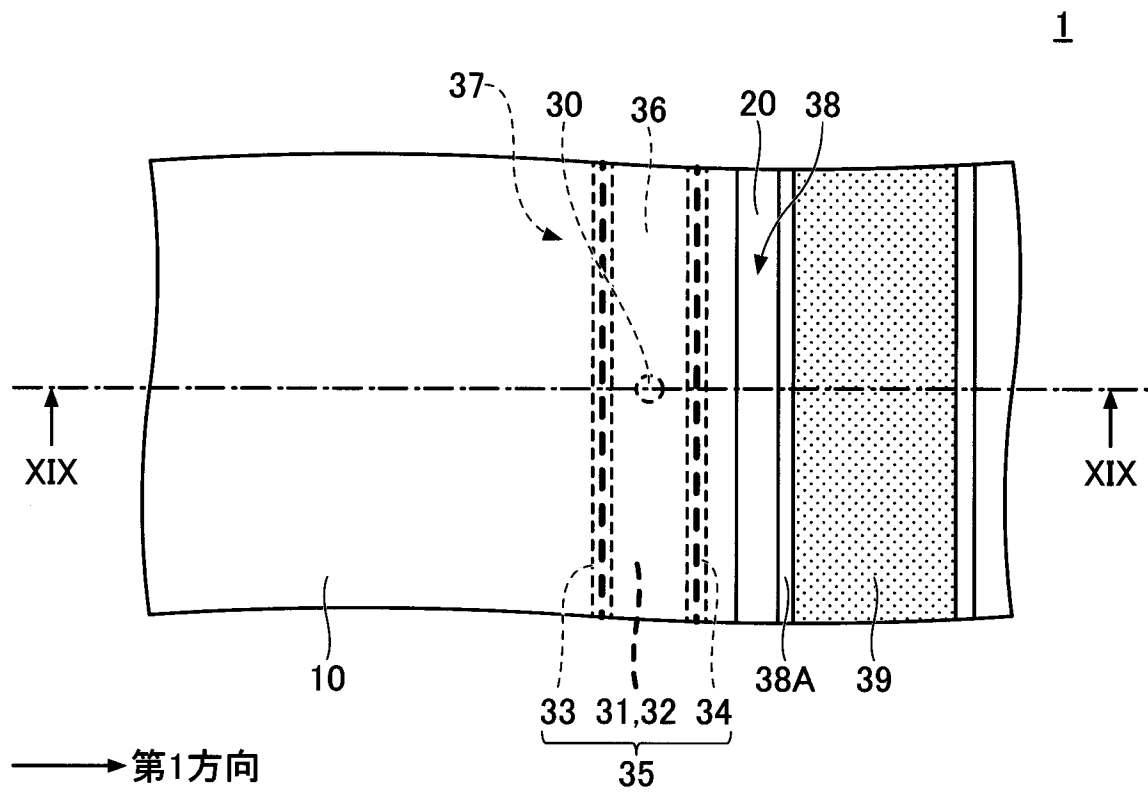
[図16]



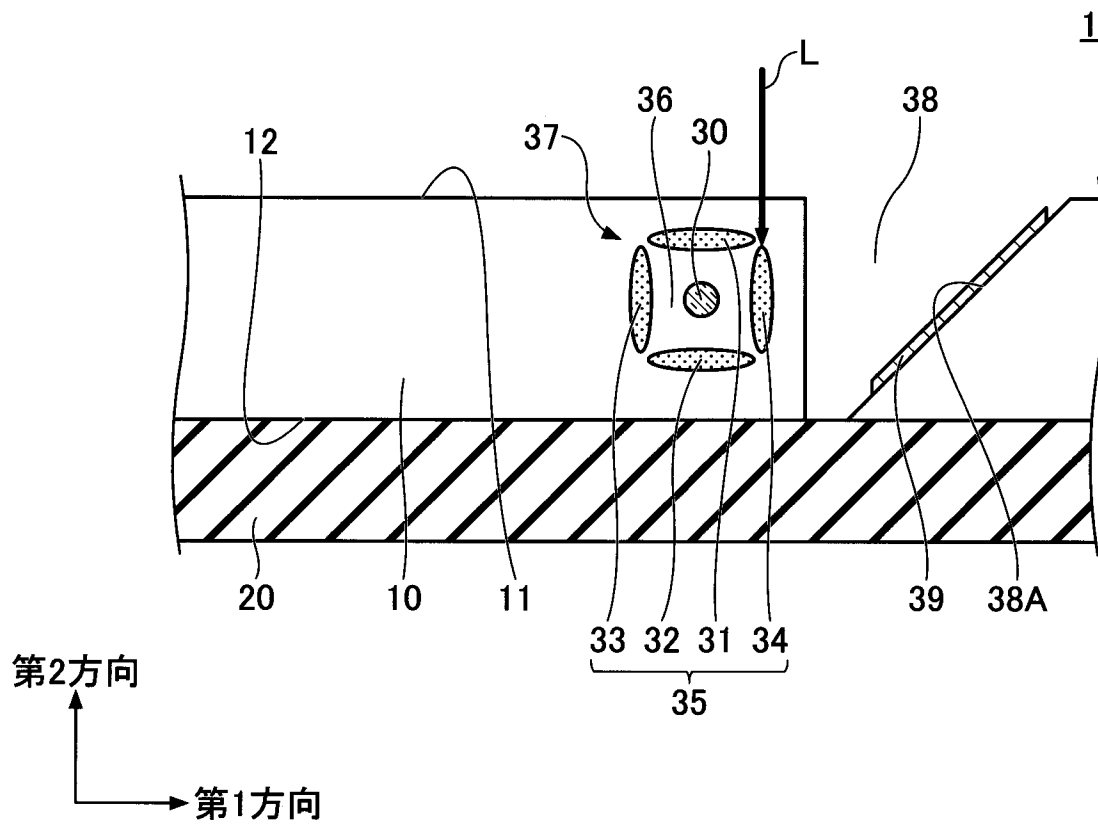
[図17]



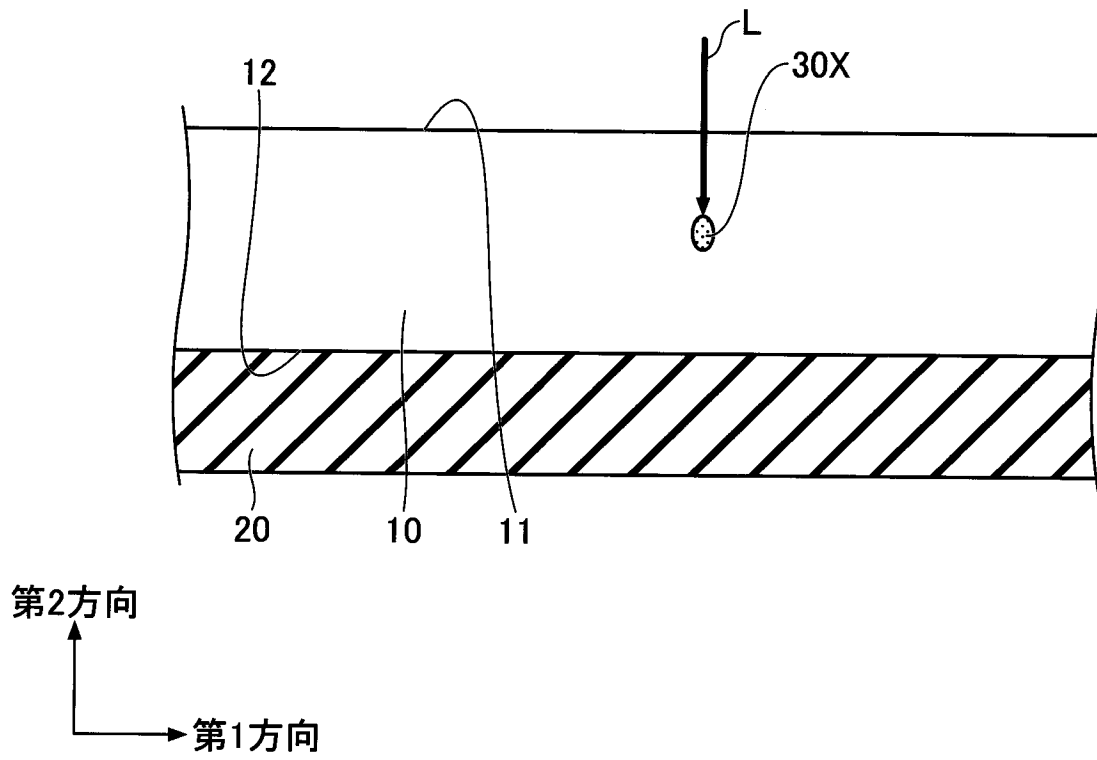
[図18]



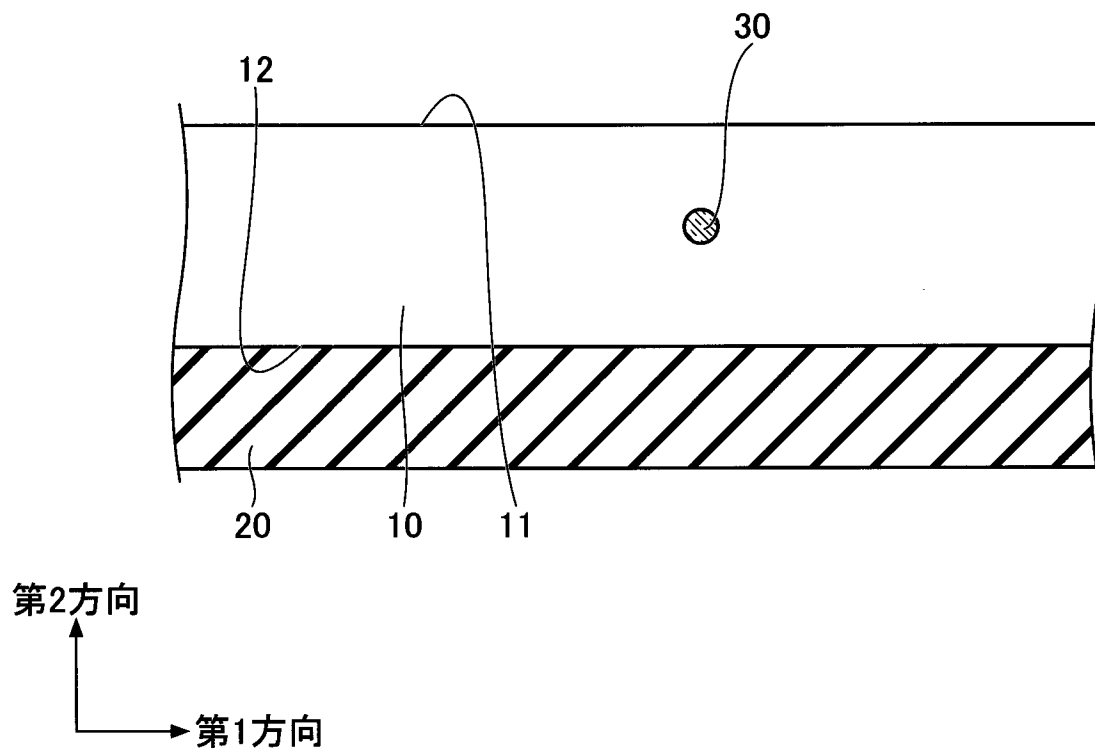
[図19]



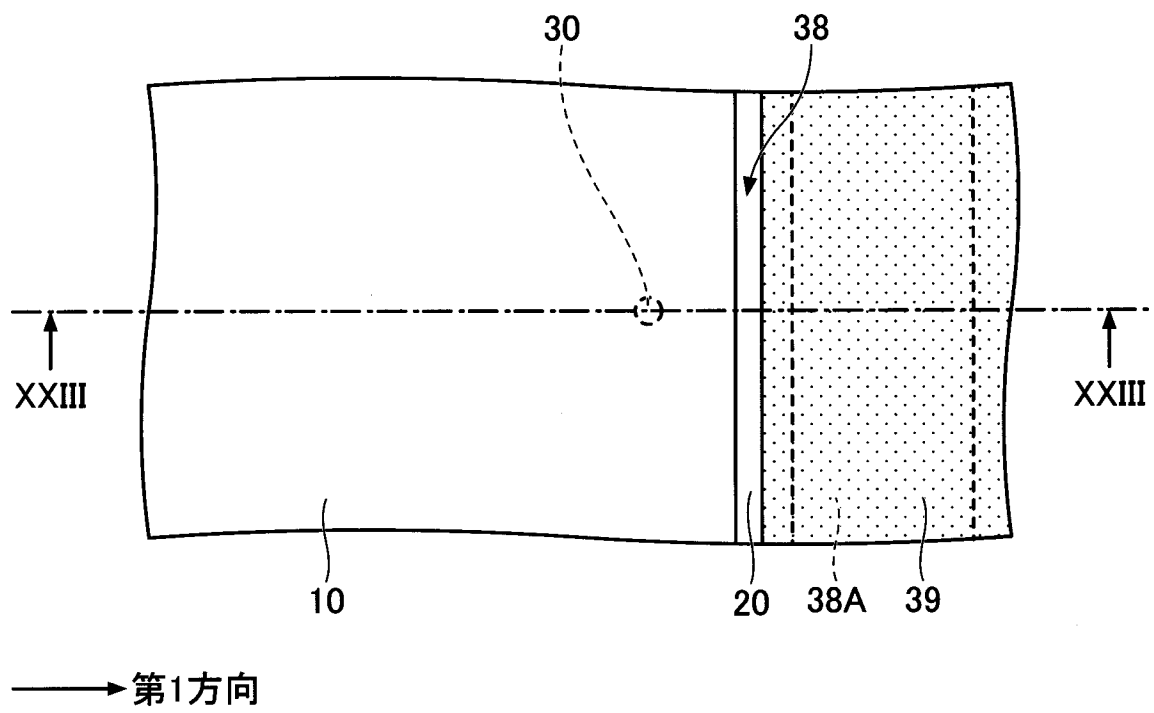
[図20]



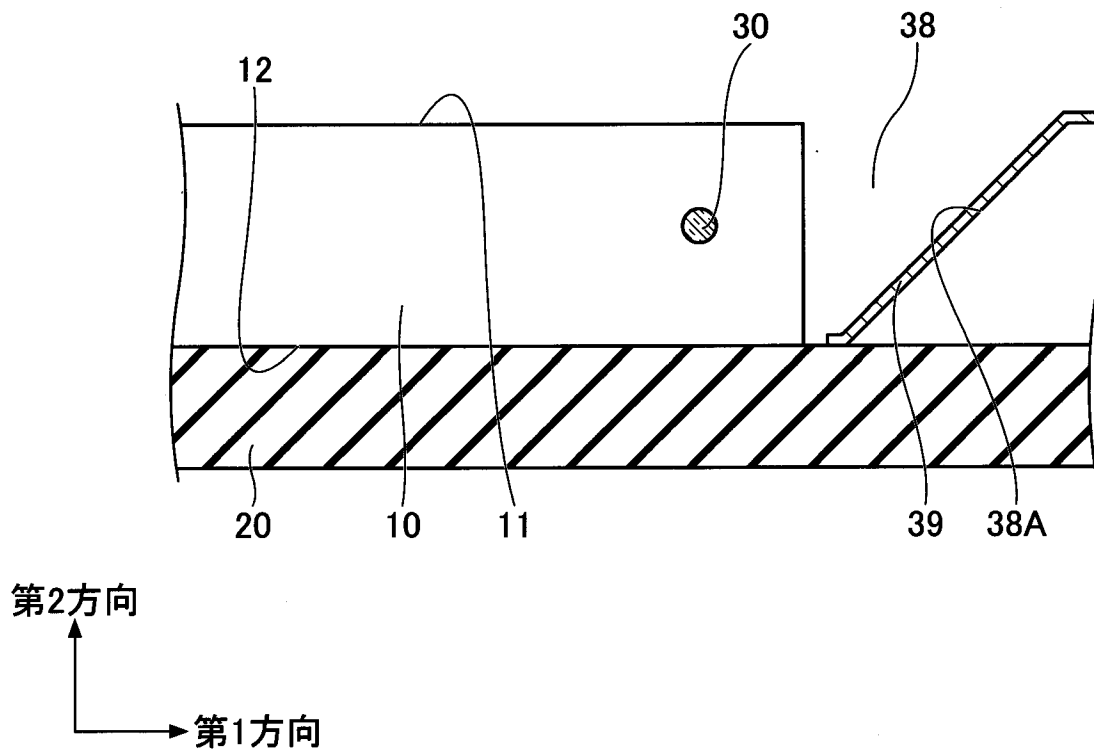
[図21]



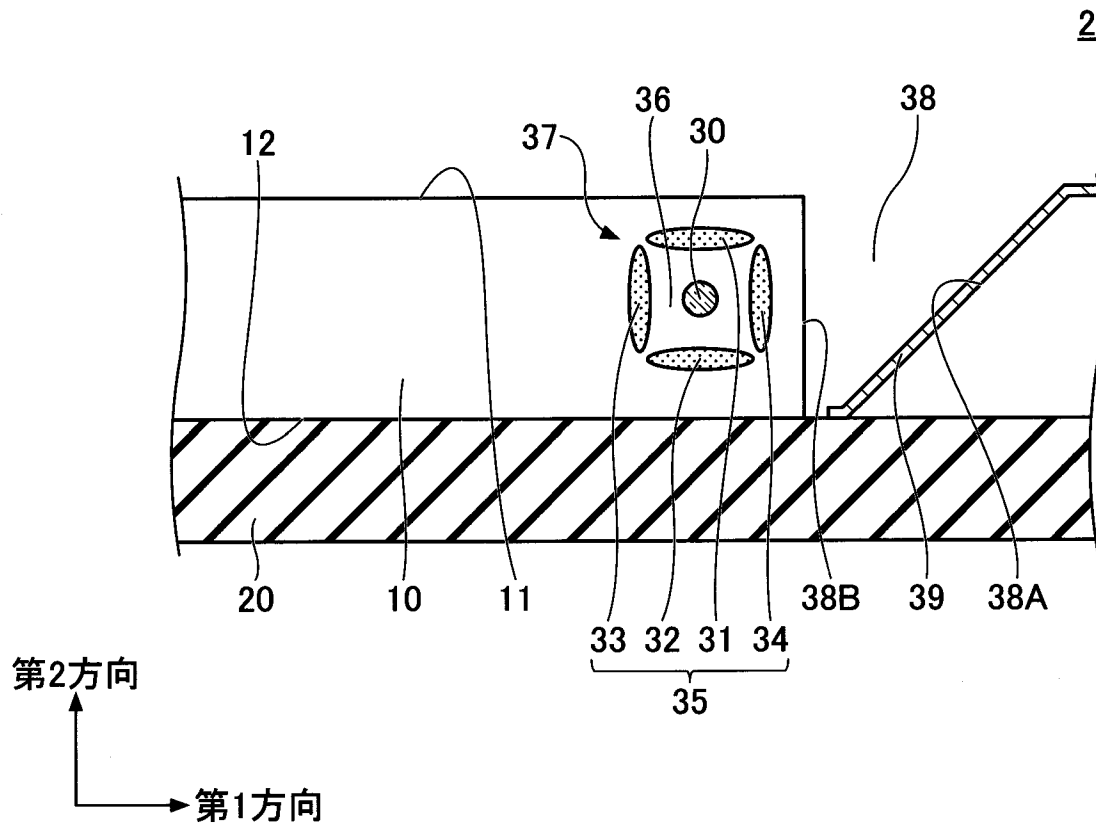
[図22]



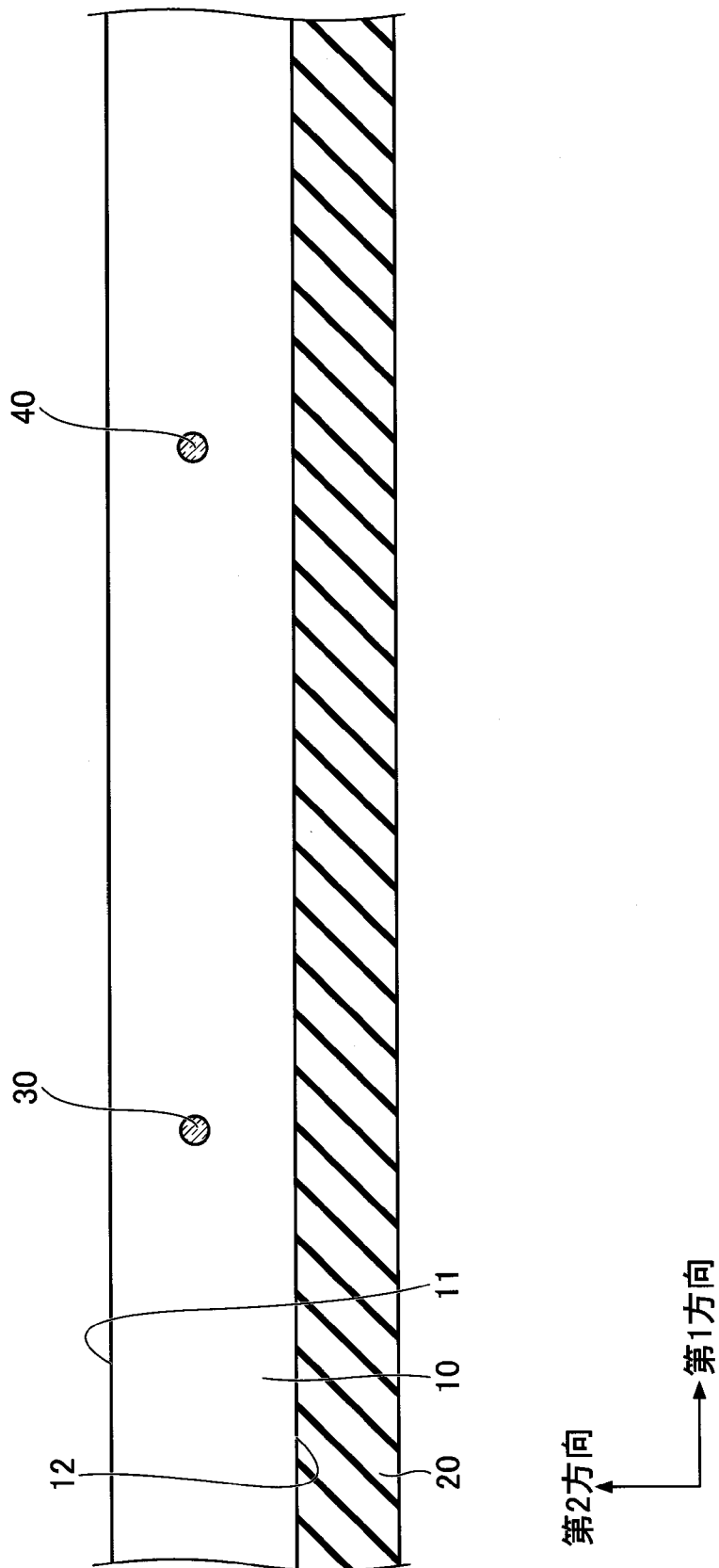
[図23]



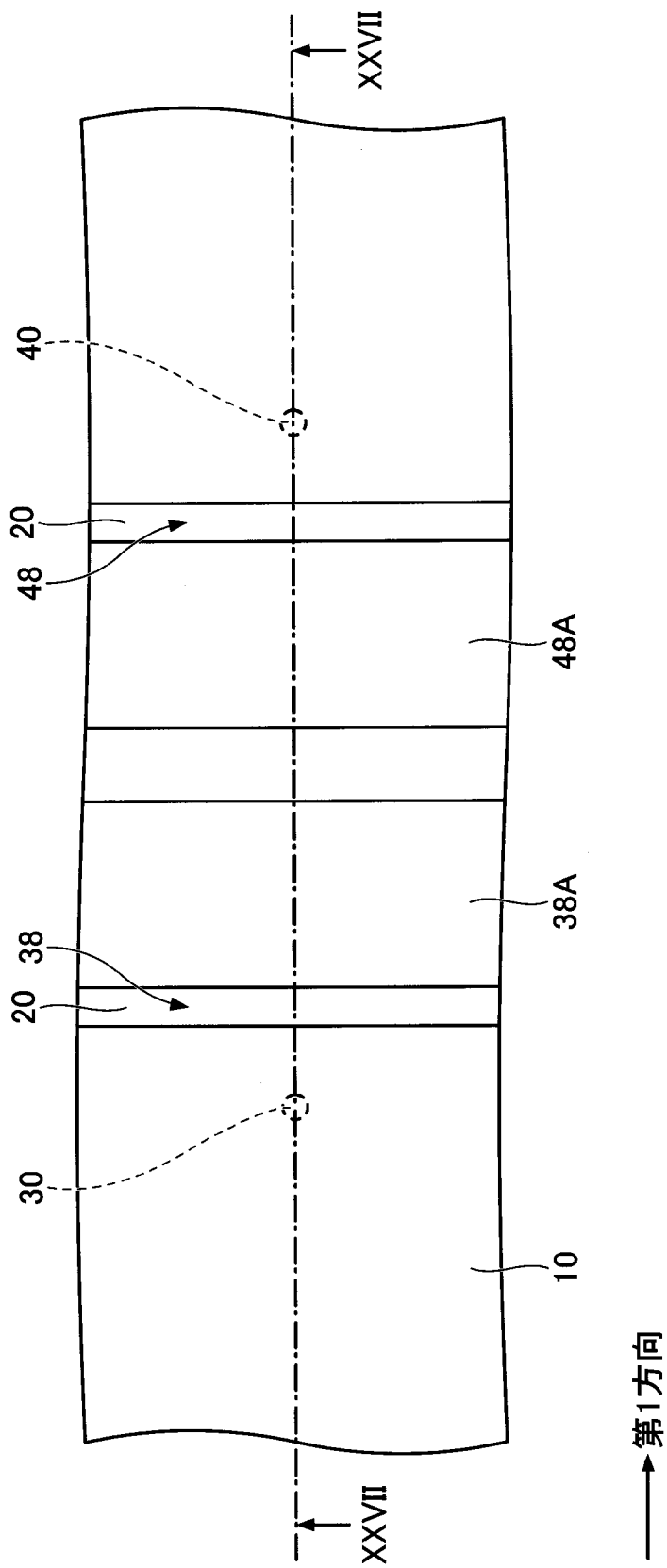
[図24]



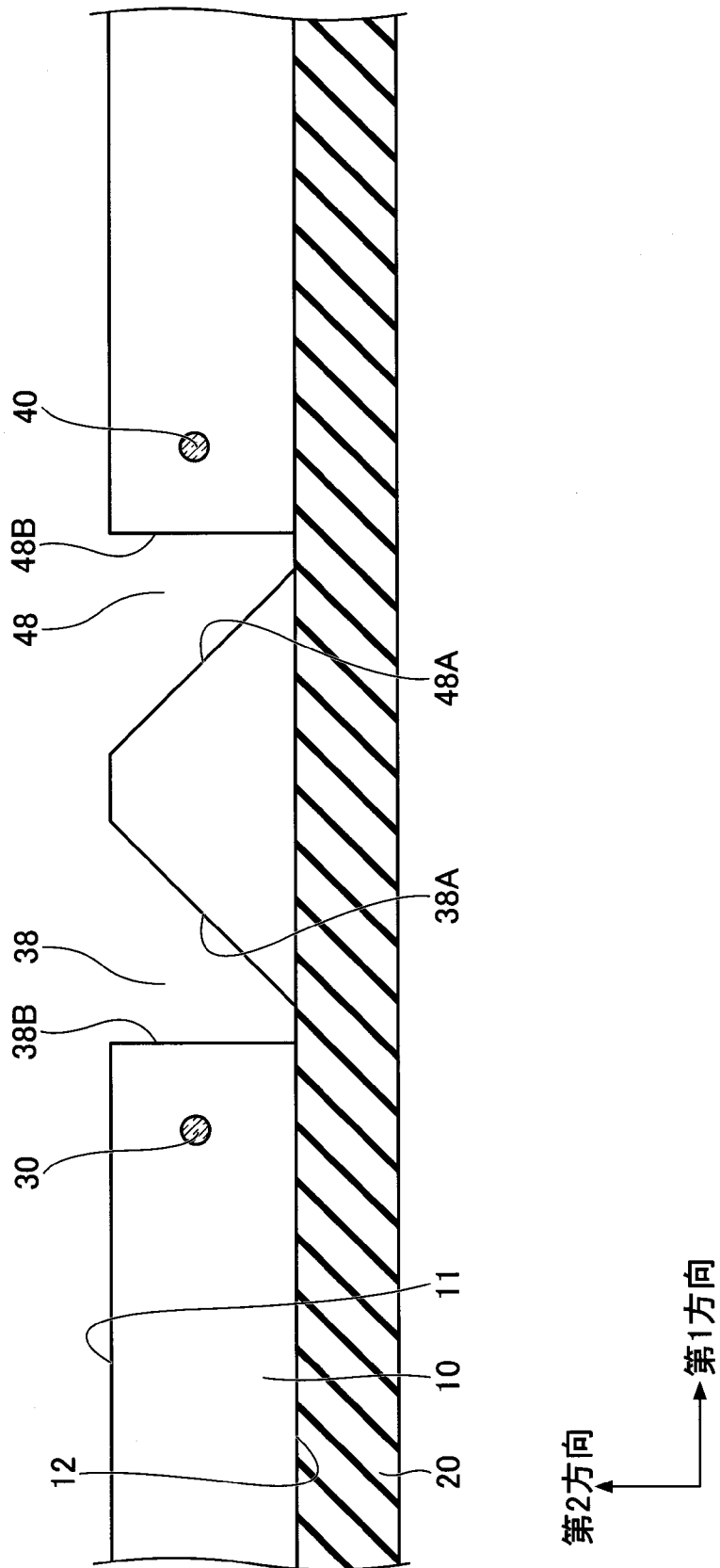
[図25]



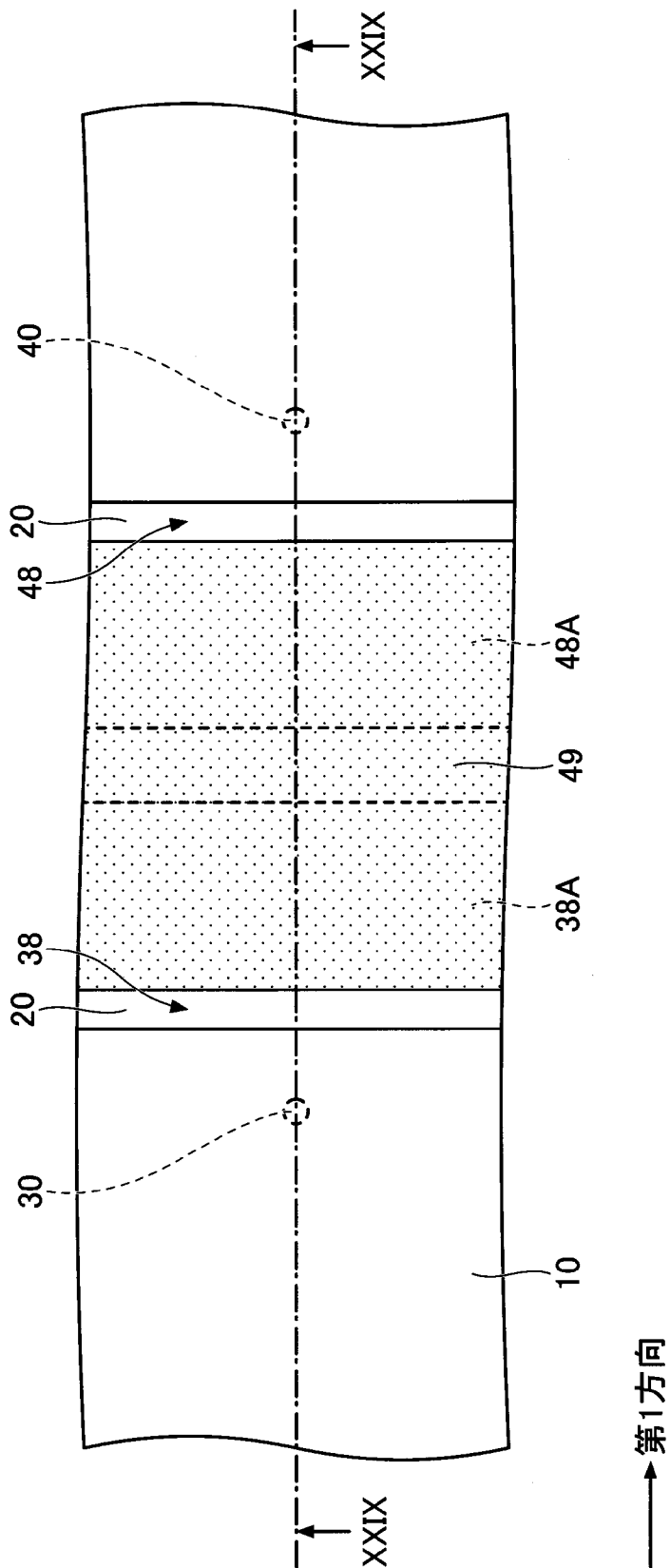
[図26]



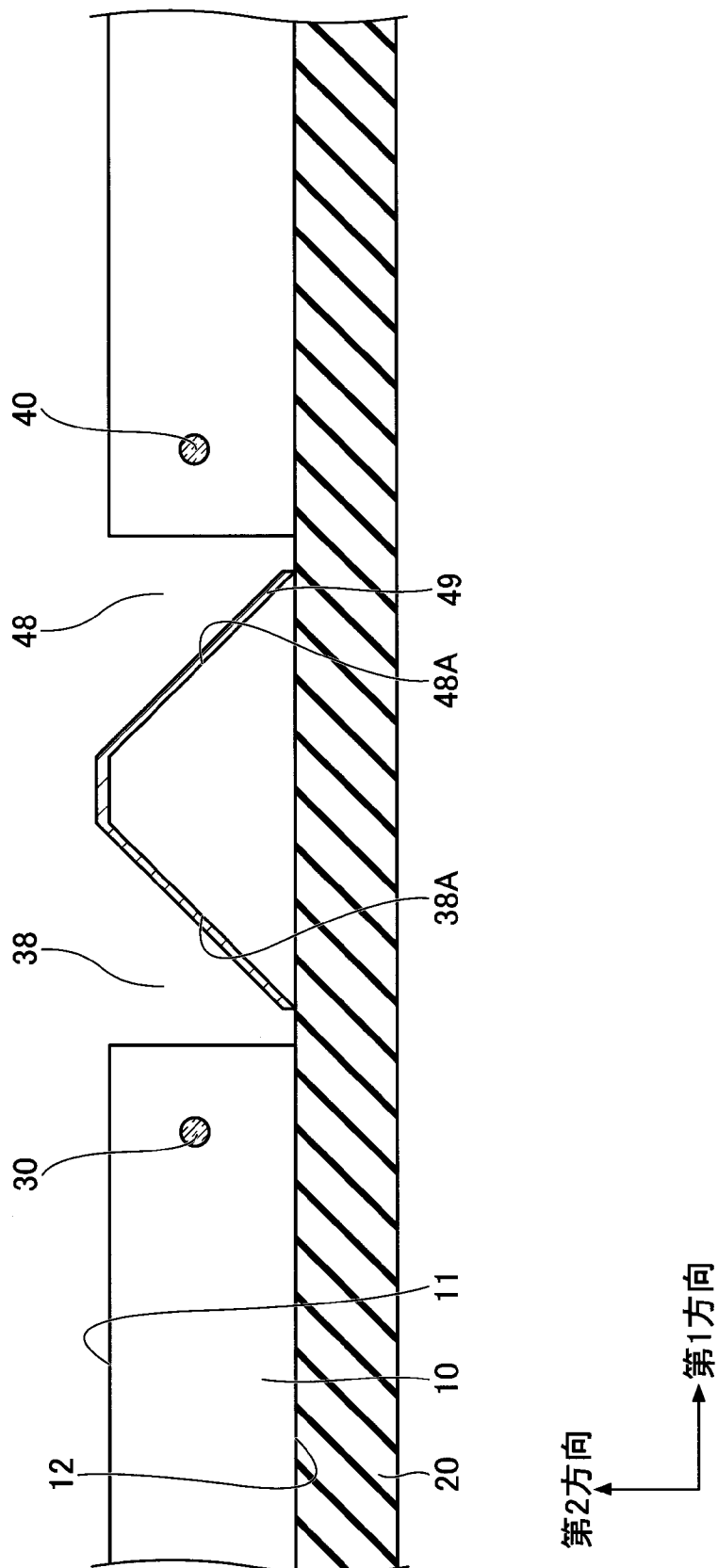
[図27]



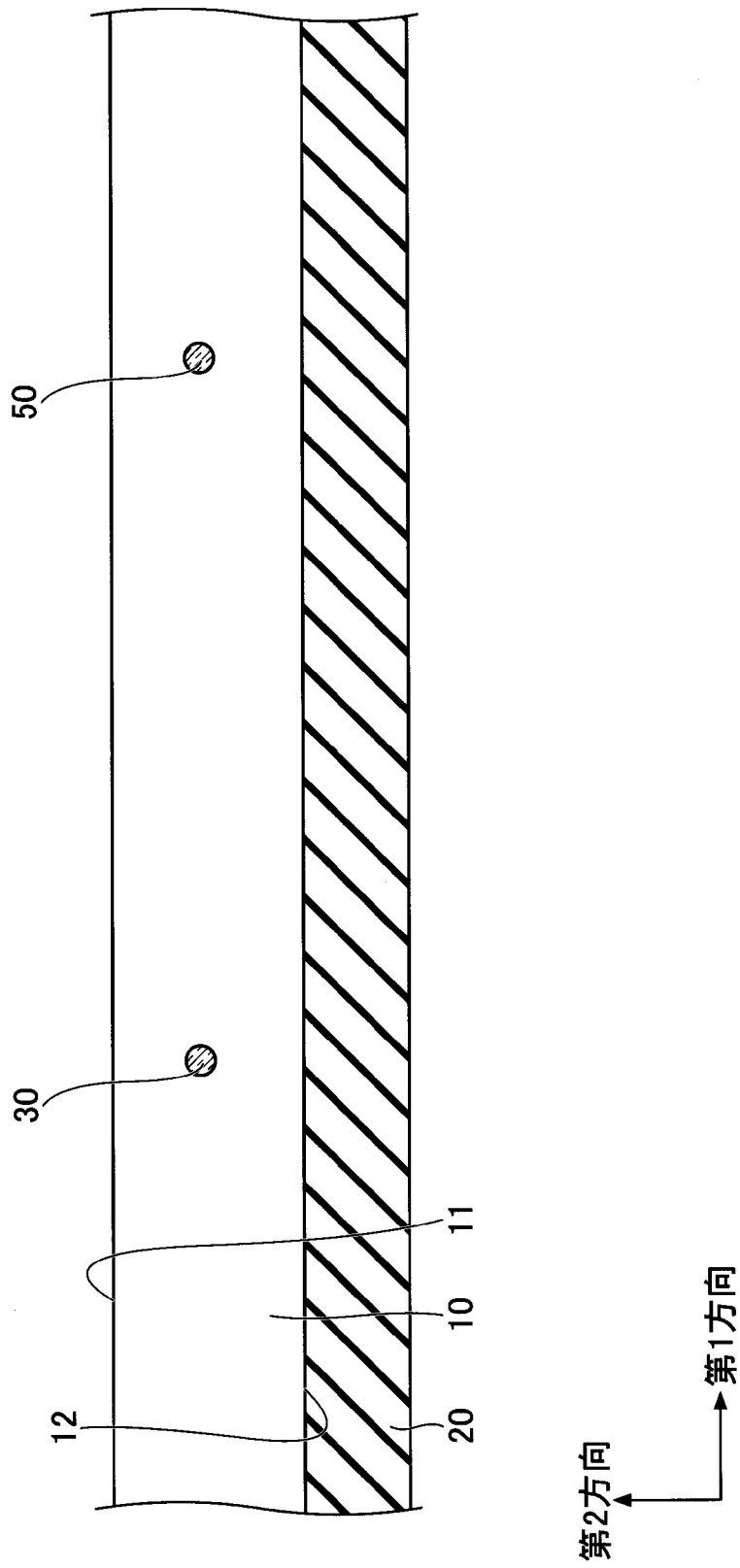
[図28]



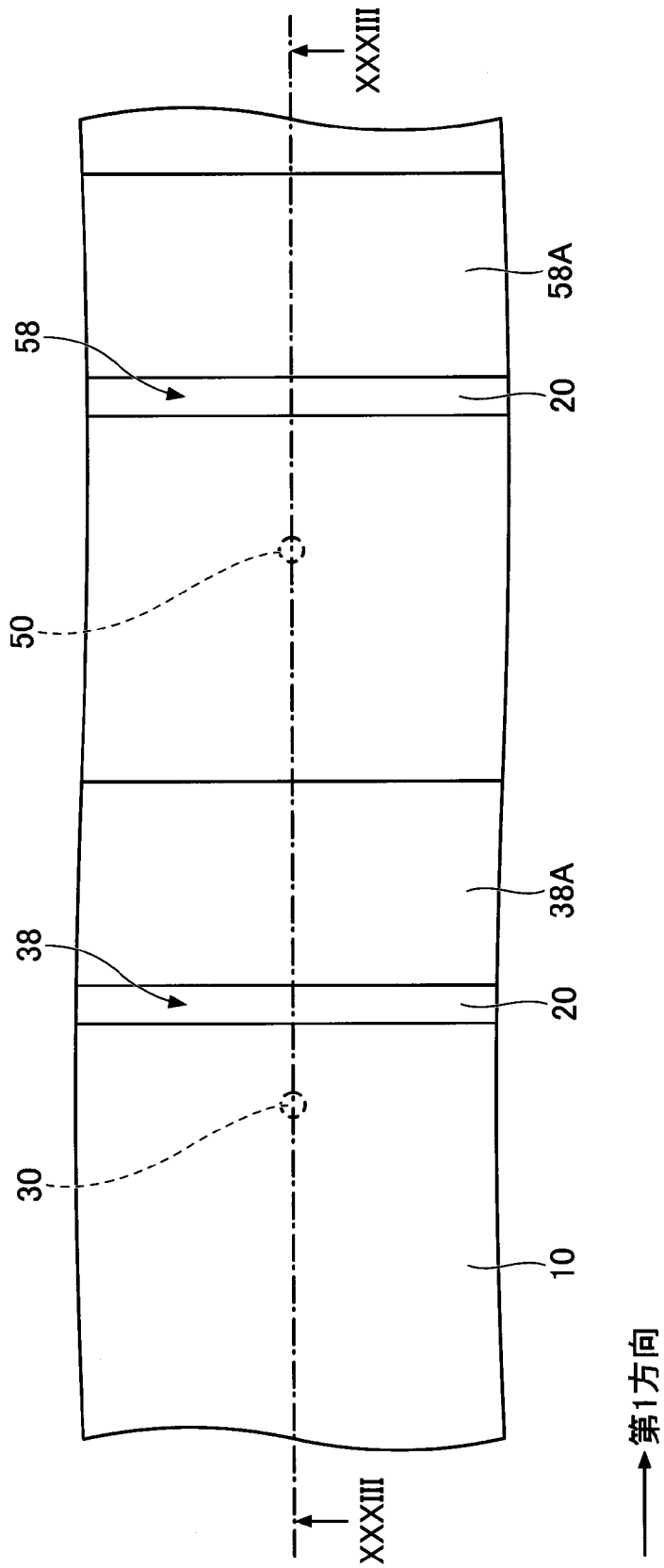
[図29]



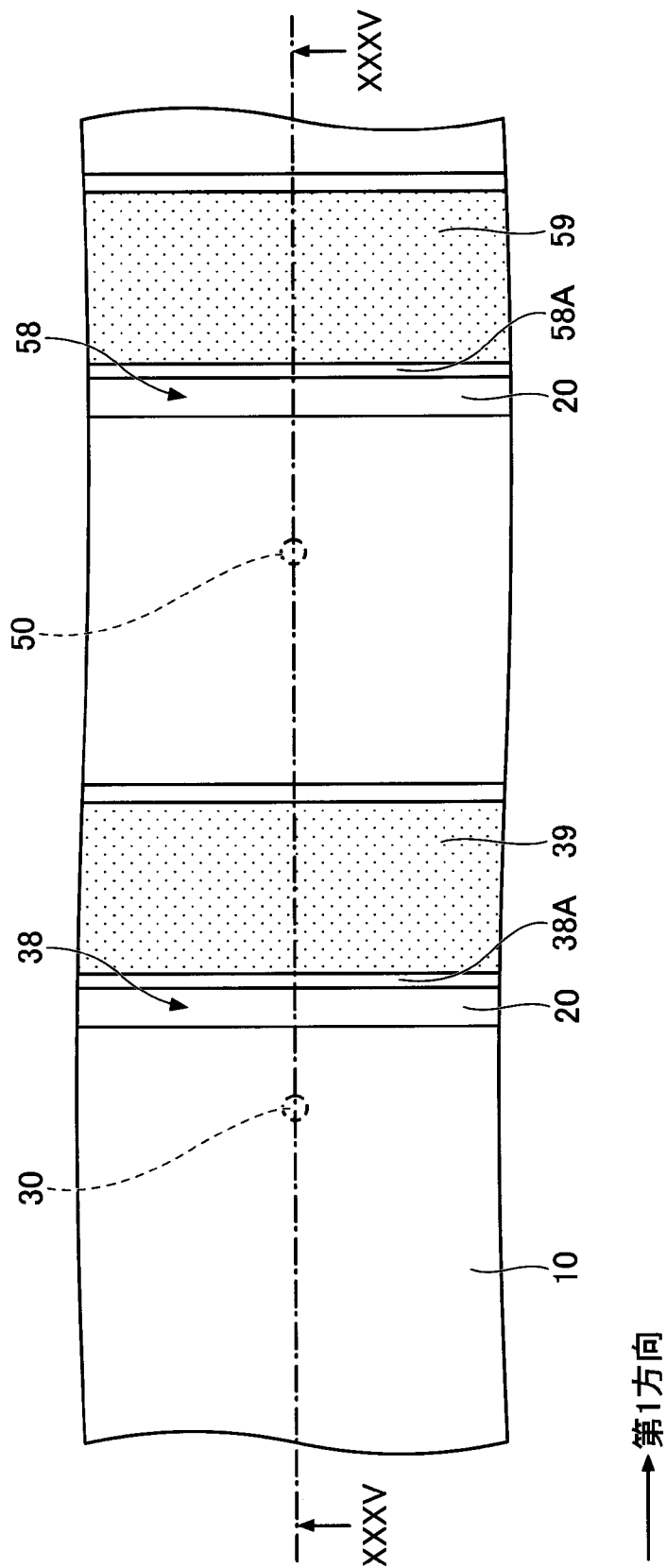
[図31]



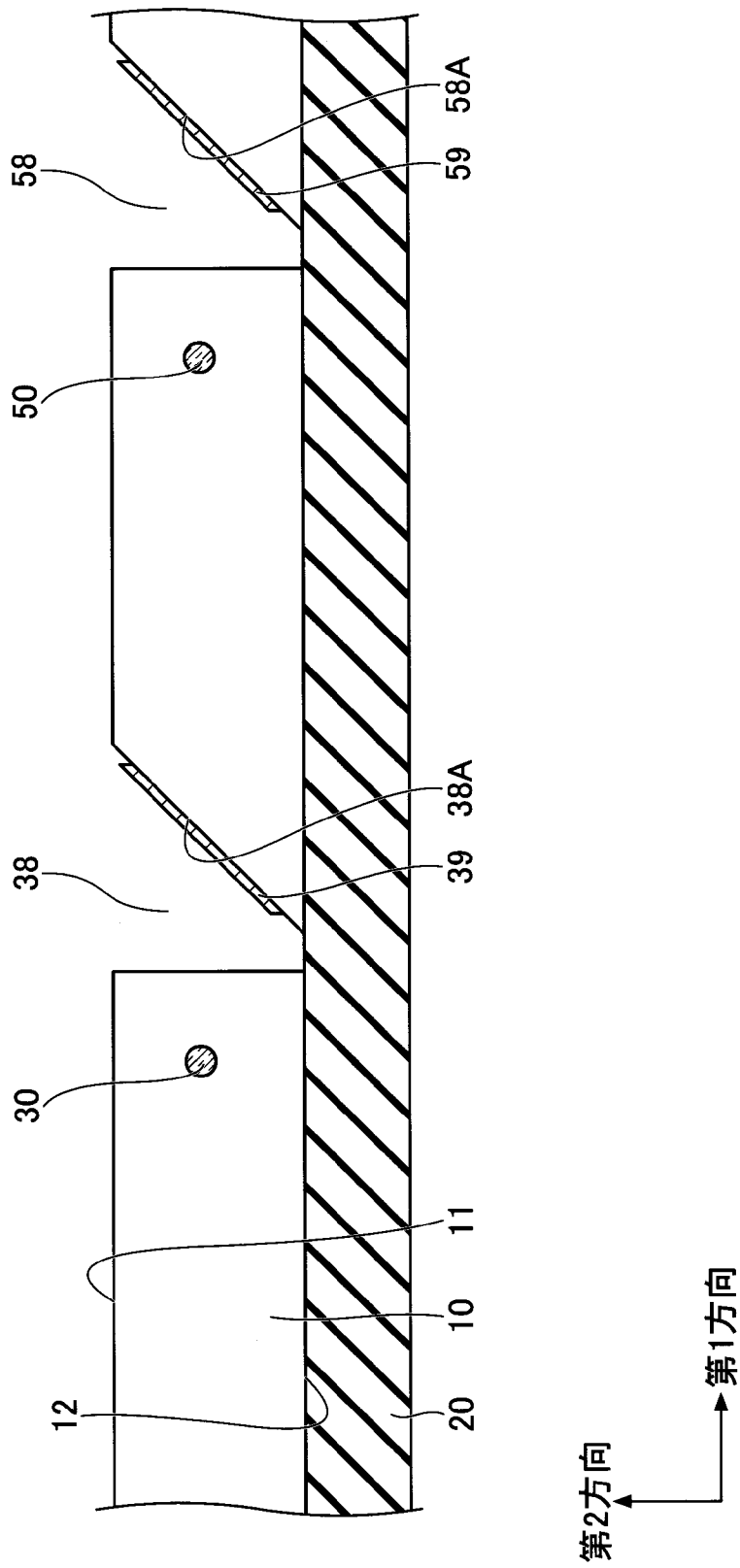
[図32]



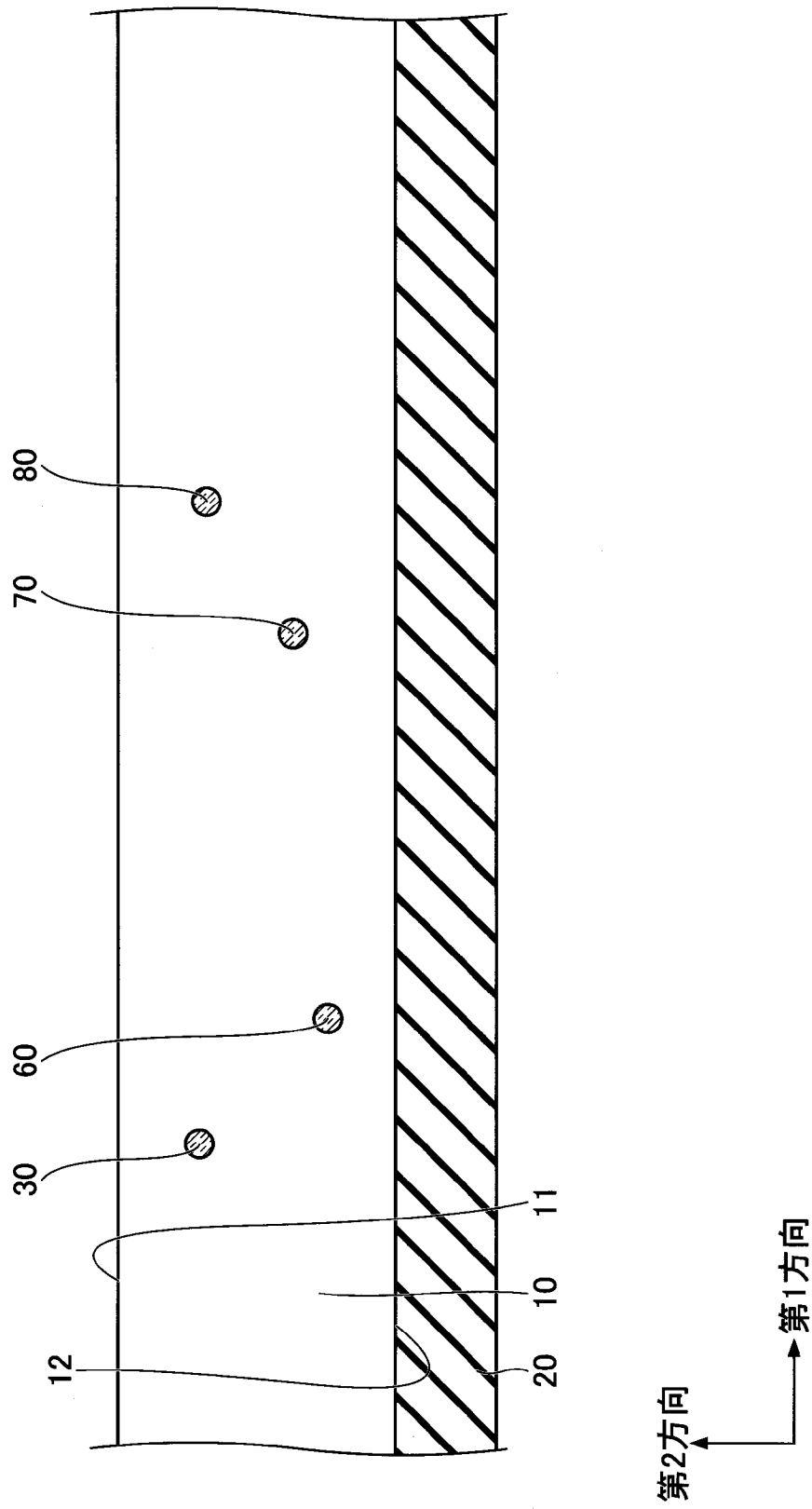
[図34]



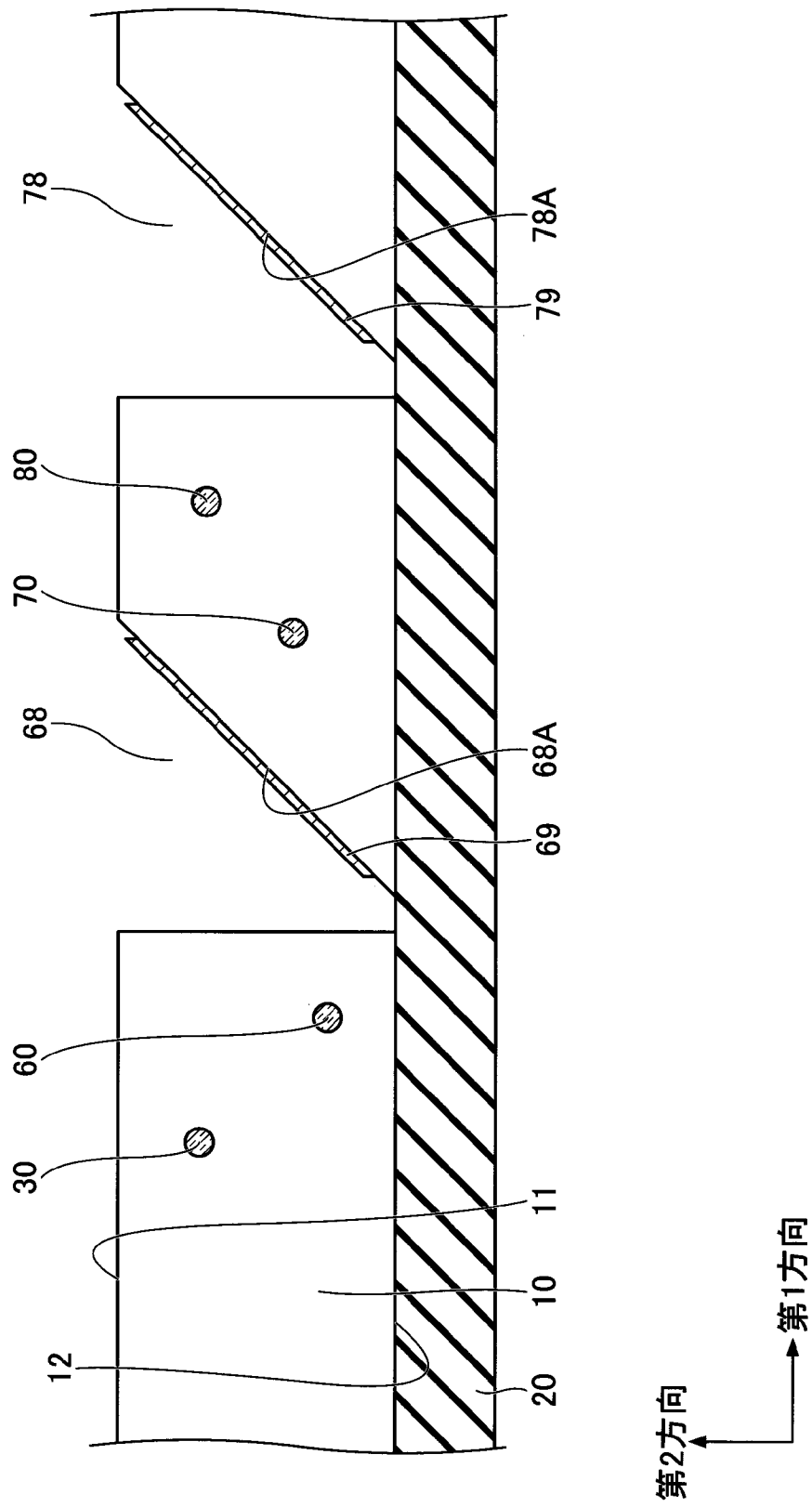
[図35]



[図37]

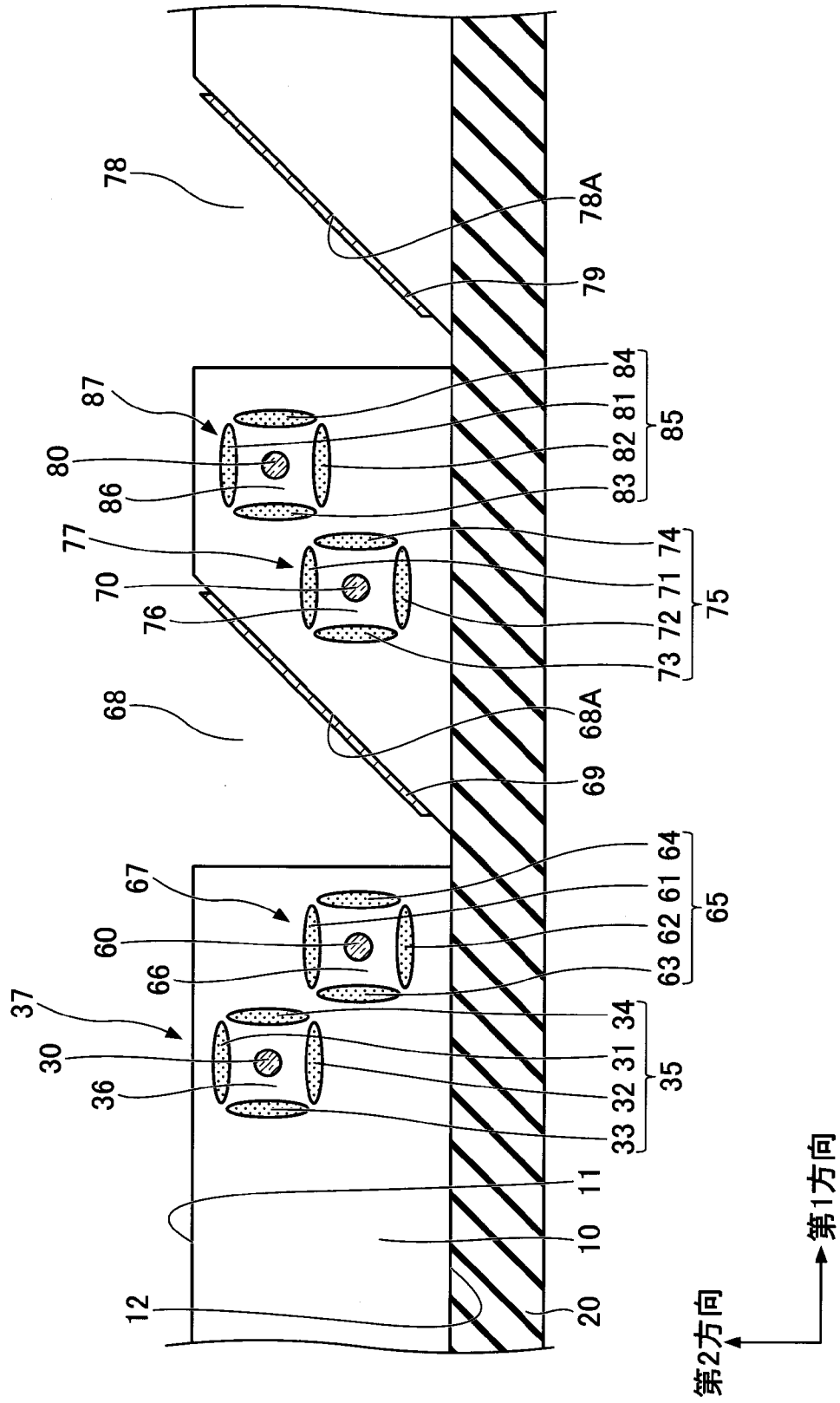


[図39]

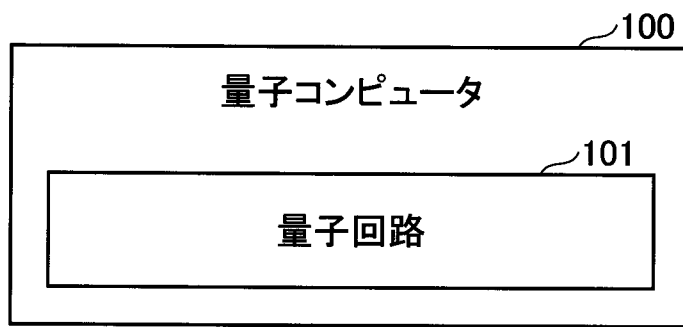


[図40]

5]



[図41]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/044622

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G02B6/122 (2006.01) i, G02B6/13 (2006.01) i
FI: G02B6/122, G02B6/13

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. G02B6/12-6/14, G02F1/00-1/125, G02F1/21-7/00

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	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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.
Y A	SOTILLO et al., Diamond photonics platform enabled by femtosecond laser writing, Scientific Reports, 17 October 2016, vol. 6, article number: 35566, pp. 1-9, p. 3, l. 18 to p. 4, l. 33, p. 7, ll. 1-4, fig. 1-3	7-11 1-6
Y A	JP 2005-538392 A (FEMTONICS CORP.) 15 December 2005 (2005-12-15), paragraph [0019], fig. 4	7-11 1-6
A	HANAFI et al., Polycrystalline diamond photonic waveguides realized by femtosecond laser lithography, Optical Materials Express, 24 June 2019, vol. 9, no. 7, pp. 3109-3114, entire text, all drawings	1-11
A	JP 2003-506731 A (CORNING INC.) 18 February 2003 (2003-02-18), entire text, all drawings	1-11



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

"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

"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

01 February 2021

Date of mailing of the international search report

09 February 2021

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/JP2020/044622

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	BOOTH, M., SALTER P., Dynamic optical laser fabrication for engineering of quantum photonic devices, Quantum Sensing and Nano Electronics and Photonics XVI, 01 February 2019, vol. 10926, pp. 10926Y-1 to 10926Y-6, entire text, all drawings	1-11
A	HADDEN et al., Integrated waveguides and deterministically positioned nitrogen vacancy centers in diamond created by femtosecond laser writing, Optics Letters, 01 August 2018, vol. 43, no. 15, pp. 3586-3589, entire text, all drawings	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/044622

JP 2005-538392 A	15 December 2005	US 2004/0071420 A1 paragraph [0043], fig. 4 WO 2004/013668 A2 EP 1527363 A2 CN 1672073 A AU 2010200548 A1 CA 2396831 A1
JP 2003-506731 A	18 February 2003	US 2002/0076655 A1 entire text, all drawings WO 2001/009899 A1 EP 1204977 A1 AU 6382700 A CA 2380541 A1 CN 1365500 A KR 10-2002-0038707 A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 6/122(2006.01)i; G02B 6/13(2006.01)i FI: G02B6/122; G02B6/13		
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）） G02B6/12-6/14; G02F1/00-1/125; G02F1/21-7/00		
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 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021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
Y	SOTILLO et al., Diamond photonics platform enabled by femtosecond laser writing, scientific reports, 2016.10.17, Vol. 6, Article number: 35566, pp. 1-9 第3ページ第18行-第4ページ第33行, 第7ページ第1-4行, 図1-3	7-11
A		1-6
Y	JP 2005-538392 A (フェムトニクス・コーポレーション) 15.12.2005 (2005-12-15) 段落[0019], 図4	7-11
A		1-6
A	HANAFI et al., Polycrystalline diamond photonic waveguides realized by femtosecond laser lithography, Optical Materials Express, 2019.06.24, Vol. 9, No. 7, pp. 3109-3114 全文, 全図	1-11
A	JP 2003-506731 A (コーニング インコーポレイテッド) 18.02.2003 (2003-02-18) 全文, 全図	1-11
☒ 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、一般的な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抵触するものではなく、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 01.02.2021		国際調査報告の発送日 09.02.2021
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 野口 晃一 2L 5708 電話番号 03-3581-1101 内線 3295

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	BOOTH, M. and SALTER P., Dynamic optical laser fabrication for engineering of quantum photonic devices, Quantum Sensing and Nano Electronics and Photonics XVI, 2019.02.01, Vol. 10926, pp. 10926Y-1-pp. 10926Y-6 全文, 全図	1-11
A	HADDEN et al., Integrated waveguides and deterministically positioned nitrogen vacancy centers in diamond created by femtosecond laser writing, Optics Letters, 2018.08.01, Vol. 43, No. 15, pp. 3586-3589 全文, 全図	1-11

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/044622

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2005-538392	A	15.12.2005	US	2004/0071420	A1	
				段落[0043], 図4			
				WO	2004/013668	A2	
				EP	1527363	A2	
				CN	1672073	A	
				AU	2010200548	A1	
				CA	2396831	A1	
JP	2003-506731	A	18.02.2003	US	2002/0076655	A1	
				全文, 全図			
				WO	2001/009899	A1	
				EP	1204977	A1	
				AU	6382700	A	
				CA	2380541	A1	
				CN	1365500	A	