

(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
2012 年 9 月 20 日(20.09.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/124829 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/37 (2006.01) *G02F 1/39* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/057661
- (22) 国際出願日: 2012 年 3 月 16 日(16.03.2012)
- (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 2011-058991 2011 年 3 月 17 日(17.03.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本碍子株式会社 (NGK Insulators, Ltd.) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 近藤 順悟 (KONDO, Jungo) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋瑞穂区須田町 2 番 5 6 号日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 岩田 雄一 (IWATA, Yuichi) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋瑞穂区須田町 2 番 5 6 号日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 江尻 哲也 (EJIRI, Tetsuya) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋瑞穂区須田町 2 番 5 6 号日本碍子株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 細田 益稔, 外 (HOSODA, Masutoshi et al.); 〒1080074 東京都港区高輪一丁目 5 番 4 号 常和高輪ビル 7 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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

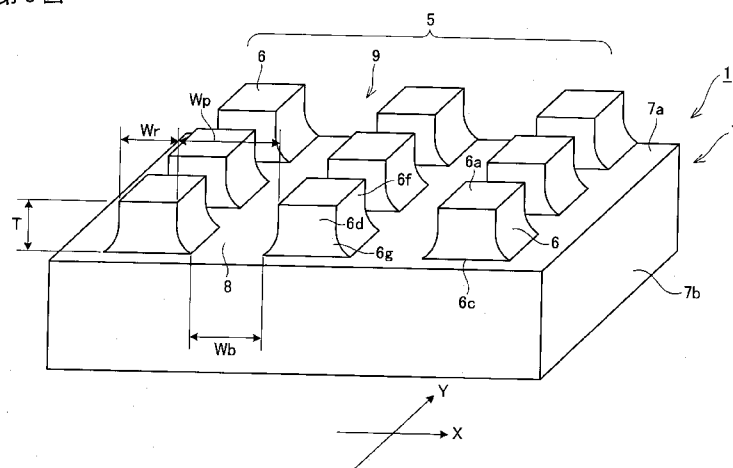
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

[続葉有]

(54) Title: ELECTROMAGNETIC WAVE RADIATION ELEMENT, AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) 発明の名称: 電磁波放射素子およびその製造方法

第 3 図



(57) Abstract: This electromagnetic wave radiation element emits an electromagnetic wave having a target frequency within the range of 0.1 THz to 30 THz to the outside of a crystal. Said element is provided with a main body (7) formed from a non-linear optical crystal, and a sub wavelength grating structure (5) formed on the surface of the main body (7). The sub wavelength grating structure (5) comprises columnar bodies (6) regularly arranged on the surface (7a) of the main body (7). Each columnar body (6) is provided with a constant width part (6d) having a constant width, and a base part (6g) disposed extending from the surface toward the constant width part (6d). A surface (6b) of the base part (6g) has an arc shape, the center of curvature of which is outside of the base part (6g) when viewed from a transverse section formed by cutting the columnar body along an arrangement direction (X, Y).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2012/124829 A1



— 補正された請求の範囲（条約第 19 条(1)）

電磁波放射素子は、 $0.1\text{ THz} \sim 30\text{ THz}$ の範囲内にある目的周波数の電磁波を結晶の外部へと放射する。本素子は、非線形光学結晶からなる本体 7 と、この本体 7 の表面に形成されたサブ波長格子構造 5 とを備える。サブ波長格子構造 5 が、本体 7 の表面 7 a に規則的に配列された柱状体 6 からなる。各柱状体 6 が、一定幅を有する定幅部 6 d と、表面から定幅部 6 d へと向かって設けられている基部 6 g とを備える。基部 6 g の表面 6 b が、柱状体の配列方向 X、Y に切った横断面で見たときに、基部 6 外に曲率中心を有する弧状をなしている。

明細書

電磁波放射素子およびその製造方法

発明の属する技術分野

- 5 本発明は、いわゆるテラヘルツ波の放射素子およびその製造方法に関するものである。

背景技術

- 10 テラヘルツ波は、一般的に $0.1 \text{ THz} \sim 10 \text{ THz}$ までの周波数の電磁波であり、物性、電子分光、生命科学、化学、薬品科学の基礎分野から大気環境計測、セキュリティ、材料検査、食品検査、通信などの応用分野への展開が期待されている。

- 15 テラヘルツ波発生素子として、これまで数 100 GHz 帯では後進波管 (Backward wave oscillator: BWO)、フォトミキシング、 1 THz 以上で自由電子レーザ、p-Ge レーザ、量子カスケードレーザ (Quantum Cascade Laser: QCL) などが開発されているが、小型化、高出力化に課題があった。

一方、最近ではフェムト秒レーザを光源とした光スイッチあるいは光整流により広帯域のテラヘルツ波を発生し、時間領域分光 (TDS: Time Domain Spectroscopy) などに応用されている。

- 20 これに対して、 LiNbO_3 などの非線形光学結晶を用いたテラヘルツ波発生は、擬似位相整合 (Quasi Phase Matching: QPM) を利用した方法とフォノンポラリトンを利用した方法があり、時間的、空間的コヒーレントの高い発生源として応用が期待されている。

さらに、上記のフェムト秒光パルスを用いた光電流による広帯域テラヘルツ発生も可能であり、適用範囲が広い発生方式となっている。

- 25 特許文献 1 (特開平 9-146131) には、y 板、あるいは z 板 LiNbO_3 基板を使用したテラヘルツ波発振素子が記載されている。すなわち、光源からポンプ波を基板に照射すると共に、別の光源からアイドラー波を基板に照射する。ポンプ

2

波（周波数 ω_1 ）とアイドラー波（周波数 ω_2 ）、およびポラリトン（テラヘルツ波：周波数 ω_T ）の間にエネルギー保存則（ $\omega_1 = \omega_2 + \omega_T$ ）および運動量保存則（ノンコリニア位相整合条件： $k_1 = k_2 + k_{th}$ ）が成立し、ポラリトン誘導散乱が観測される。この場合、分散特性のために、ポンプ波の光軸からの角度 α 、 θ に応じて、アイドラー波およびテラヘルツ波の周波数が定まる。

本法では、典型的には、ポンプ波3の波動ベクトル k_1 とアイドラー波波動ベクトル k_2 との角度 α が $0.5^\circ \sim 1^\circ$ のときに位相整合条件が満足され、高効率なテラヘルツ波7（波長 $100\mu m \sim 300\mu m$ ：周波数 $3THz \sim 1THz$ ）が発生する。

10 また、テラヘルツ波は、アイドラー波に対して $65^\circ \sim 66^\circ$ で発生するとしている。y板を用いる場合には、結晶方位が異なる関係でポンプ波とアイドラー波は基板の垂直平面上で角度 α で伝搬し、ポンプ波に対して θ となる角度でテラヘルツ波が発生する。

しかし、（1）結晶のサブミリ波（テラヘルツ波）に対する屈折率値は5.2と大きく、空気との間に全反射が生じるので、y板、z板LiNbO₃基板のいずれの場合も、そのままでは空気中に取り出すことができない。（2）結晶中は光損失が大きく、テラヘルツ波の伝搬距離が3mmとすると、0.1%程度に減衰する。これに対して、特許文献1（特開平9-146131）では、基板の側面にグレーティングを設けて、高効率に空気中に出射させることを試みている。

20 特許文献2（特開2002-72269）では、単一周波数の励起光源（レーザ）を照射し、かつ単一周波数のアイドラー波で光注入することによって、スペクトル線幅の狭線化が可能でかつ高出力のテラヘルツ波発生方法が開示されている。

しかし、テラヘルツ波の取り出しにはシリコンプリズムを使用している。

また、本出願人は、特許文献3（特願2009-185768）において、厚さ $20\mu m$

25 以下の基板においてテラヘルツ波がカットオフとなることから、高効率に空気中に放射することを開示した。

3

フェムト秒光パルスによる光整流では、フェムト秒光パルス自体が持つ広いスペクトルの中の二つの周波数成分の差周波発生によりテラヘルツ波が発生する。このとき、入射光のスペクトルの中から様々な差周波が同時に発生するので、結果として、テラヘルツ波のスペクトルはフェムト秒光パルスのパルス時間幅の逆数程度の周波数幅を持った広帯域のものになる。

フェムト秒光パルスを利用したテラヘルツ波発生は、基本的には上記のようにパラメトリック的な過程と同じであるが、非特許文献4（「パルス面傾斜法による高強度テラヘルツパルス発生」レーザー研究 37(5), 345-349 (2009)）記載のように、最近、光パルス面を傾斜させることにより高強度でかつ平面波的なテラヘルツ波発生が可能になり、イメージング用途での応用が期待されている。

以上述べてきたように、従来の素子では、テラヘルツ波がパラメトリック発振しても、その大部分は結晶内部で吸収されてしまう。しかも、結晶の屈折率が空気の屈折率に比べて著しく高いため、結晶表面にプリズムやグレーティングを取り付けしないと、テラヘルツ波を外部へと取り出すことができない。従って、素子から発振させ得るテラヘルツ波の強度が低くて実用に適さない上、プリズムやグレーティングを結晶表面に取り付ける工程が必要である。また、厳密にはプリズムやグレーティングによる伝搬損失や反射損失が発生してしまう。

一方、可視光や赤外光においては、光学部品の表面に光の波長よりも小さな間隔を置いて規則的な3次元構造を微細加工することにより、光学部品の表面に反射防止機能を与える試みがなされている（特許文献4、5、6、7：非特許文献1、2、3）。

【特許文献1】特開平 9-146131

25 【特許文献2】特開 2002-72269

【特許文献3】特願 2009-185768

【特許文献4】特開 2 0 0 2 - 2 8 7 3 7 0 号公報)

【特許文献5】特表2004-521329号公報

【特許文献6】特開2003-177210号公報

【特許文献7】特開2010-20120号公報

【非特許文献1】「OPTICS LETTERS,」 Vol. 24, No.20, October 15,
5 p1422(Optical Society of America)

【非特許文献2】「KONICA MINOLTA TECHNOLOGYREPORT」 Vol. 2(2005) 97
～100頁「ナノインプリント技術を利用したサブ波長構造広帯域波長板の製作」

【非特許文献3】「Synthesiology」 Vol. 1, No. 1 (2008) 24～30頁「高
機能光学素子の低コスト製造へのチャレンジーガラスインプリント法によるサ
10 ブ波長周期構造の実現」

【非特許文献4】「パルス面傾斜法による高強度テラヘルツパルス発生」
レーザー研究 37(5), 345-349 (2009).

発明の開示

15 本発明者は、前記文献記載のようなサブ波長格子構造に着目し、これをテラヘルツ波の反射防止に利用することを検討した。このような検討はこれまでなされていない。しかし、実際に検討し、試作を行ってみると、種々の問題点があり、適用困難であることが判明してきた。

すなわち、例えば特許文献7の記載によると、素子表面の凹凸の深さdは下
20 式のように表される。

$$d = \lambda / (4 \sqrt{n \times n_0})$$

(λは光の波長、nは素子を構成する結晶の屈折率、n₀は空気の屈折率=1)

したがって、例えば光の周波数を1THzとし、λ=300μm、nをニオブ酸
リチウム単結晶の屈折率5.2とすると、32.8μmの深さが必要になる。前記文
25 献では、こうした3次元格子は、ナノインプリントや半導体製造プロセスによる反応性イオンエッチング、ウェットエッチング(LN系の場合フッ硝酸)で形成されている。しかし、ニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウム単結晶は、

難加工材料であるので、 $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上の深さの微細な凹凸を形成することは困難である。

本発明の課題は、サブ波長格子構造を利用することで、テラヘルツ波をニオブ酸リチウム単結晶等の高屈折率の結晶から外部へと高効率で放射可能な素子
5 を提供することである。

本発明は、 $0.1\text{ THz} \sim 30\text{ THz}$ の範囲内にある目的周波数の電磁波を結晶の外部へと放射する電磁波放射素子であって、

非線形光学結晶からなる本体と、この本体の表面に形成されたサブ波長格子構造とを備えており、サブ波長格子構造が、本体の表面に規則的に配列された
10 柱状体からなり、各柱状体が、一定幅を有する定幅部と、表面から定幅部へと向かって設けられている基部とを備えており、柱状体の配列方向に切った横断面で見たときに、基部の表面が、前記基部外に曲率中心を有する弧状をなしていることを特徴とする。

また、本発明は、 $0.1\text{ THz} \sim 30\text{ THz}$ の範囲内にある目的周波数の電
15 磁波を結晶の外部へと放射する電磁波放射素子であって、

非線形光学結晶からなる本体と、この本体の表面に形成されたサブ波長格子構造とを備えており、サブ波長格子構造が、本体の表面に規則的に配列された柱状体からなり、各柱状体が、外周刃を利用した切削加工により形成されていることを特徴とする。

20 また、本発明は、 $0.1\text{ THz} \sim 30\text{ THz}$ の範囲内にある目的周波数の電磁波を結晶の外部へと放射する電磁波放射素子を製造する方法であって、

非線形光学結晶からなる本体の表面を、外周刃を利用して切削加工することによって、前記本体の前記表面に、規則的に配列された柱状体からなるサブ波長格子構造を形成することを特徴とする。

25 本発明の素子によれば、サブ波長格子構造を利用することで、テラヘルツ波をニオブ酸リチウム単結晶等の高屈折率の結晶から外部へと高効率で放射可能な素子を提供できる。とくに、各柱状体が、先端側の一定幅を有する定幅部と、

6

表面から定幅部へと向かって設けられている基部とを備えており、基部の側面が、基部外に曲率中心を有する弧状をなしているような形態であると、他の形態を有する柱状体によってサブ波長格子構造を形成した場合に比べて、高いピーク透過率を得ることができる。

- 5 また、本発明者は、結晶本体の表面を、外周刃を利用した切削加工に供することによって、テラヘルツ波の反射を抑制するのに十分な深さと形状のサブ波長格子構造を本体表面に形成可能なことを見だし、本発明に到達した。

図面の簡単な説明

- 10 図 1 は、比較例の素子 1 1 を模式的に示す斜視図である。
図 2 は、本発明例の素子 1 を模式的に示す斜視図である。
図 3 は、図 2 の素子 1 の部分拡大図である。
図 4 は、図 2 の素子の柱状部を示す拡大図である。
図 5 は、楯の形態の柱状部を示す拡大図である。
- 15 図 6 は、本発明実施例の素子の形態を示す拡大図である。
図 7 は、他の比較例に係る素子の柱状部の形態を示す拡大図である。
図 8 は、更に他の比較例に係る素子の柱状部の形態を示す拡大図である。

発明を実施するための形態

- 20 サブ波長格子構造とは、所定の光に対して回折限界以下の微細な周期構造（SWG: sub-wavelength grating）である。光がこの構造に入射した場合、構造の詳細を認識できず、屈折率についてもその平均値を持った媒質が存在するものとして振舞う性質がある。特に、「moth-eye」構造と呼ばれる反射防止効果を持つ構造が知られている。
- 25 例えば、比較形態に係る図 1 の素子 1 1 では、非線形光学結晶からなる本体 1 7 の表面にサブ波長格子構造 1 5 が形成されている。このサブ波長格子構造 1 5 は、縦横に規則的に形成された多数の柱状体 1 6 からなる。隣接する柱状体

の間には隙間が形成されており、隙間下では本体 17 の表面が平坦面として露出している。各柱状体は四角柱形状を有している。

しかし、本発明者の検討では、非線形光学結晶にこうした柱状体を深く形成することは困難であり、このためテラヘルツ波の反射を抑制するサブ波長格子構造を量産することが困難である。また、こうした形態の柱状体では、目的周波数の光の透過率をある程度以上向上させることが難しいことが判明してきた。

図 2、図 3、図 4 は、本発明の一実施形態に係る素子を示すものである。

本例では、支持基板 2 上に接着層 3 を介して、非線形光学結晶からなる本体 7 の底面 7 b が接着されている。本体 7 の上面が電磁波放射面 7 a として働く。

10 本体 7 の放射面 7 a 側にはサブ波長格子構造 5 が形成されており、結晶内部から外への電磁波の放射を促進し、結晶表面における電磁波の反射を抑制している。サブ波長格子構造 5 は、縦横に規則的に配列された柱状体 6 からなる。柱状体 6 は、互いに交差する（好ましくは直交する）2 方向 X、Y に向かって配列されている。

15 図 4 に示すように、各柱状体 6 は、先端側の定幅部 6 d と、本体表面 8 から定幅部 6 d へと向かって延びる基部 6 g とからなる。定幅部 6 d の上端には平坦面 6 a が形成されている。定幅部 6 d は全体として四角柱形状をなしており、また定幅部 6 d の幅 W_r は略一定である。定幅部 6 d の壁面 6 b は平面である。

定幅部 6 f 下に基部 6 g が形成されている。柱状体をその配列方向 X、Y に

20 切ってみた横断面で見たときに、基部 6 g の壁面 6 e は、曲率中心 O を中心とする弧状をなしている。曲率中心 O は、柱状体 6 外にある。本例では、更に、隣接する基部 6 間に平坦面 8 が形成されている。

図 5 の例では、各柱状体 6 は、先端側の定幅部 6 d と、本体表面 8 から定幅部 6 d へと向かって延びる基部 6 g とからなる。定幅部 6 d の上端には平坦面

25 6 a が形成されている。定幅部 6 d は全体として四角柱形状をなしており、また定幅部 6 d の幅 W_r は略一定である。定幅部 6 d の壁面 6 b は平面である。

8

定幅部 6 f 下に基部 6 g が形成されており、基部 6 g の壁面 6 e は、曲率中心 O を中心とする弧状をなっている。曲率中心 O は、柱状体 6 外にある。本例では、隣接する基部 6 間に平坦面がなく、隣接する柱状体の基部 6 の壁面 6 e が連続している。

- 5 本発明の素子は、 $0.1\text{ THz} \sim 30\text{ THz}$ 範囲内の目的周波数の電磁波を結晶の外部へと透過できるものである。本発明のサブ波長格子の寸法は、目的周波数に対して透過率が最大となるように調整されるものであり、 $0.1\text{ THz} \sim 30\text{ THz}$ の周波数の全範囲にわたって高い透過性を有している必要はない。
- 10 本体を構成する非線形光学結晶は、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体、KTP、KN などの誘電体である。また、光損傷を抑制するために酸化マグネシウムなどのドーピングをしてもよい。さらに、ニオブ酸リチウムについては、コングルエント組成のほかストイキオメトリ組成であってもよい。また、基板方位についても依存性がなく、
- 15 どの方位の面であってもよい。

柱状体を平面的に見て規則的に配列することによってサブ波長格子を形成する。この配列パターンは、格子形成の一般的な手法による。好ましくは、柱状体を縦横の二方向に向かって配列する。この 2 方向は交差するが、交差角度は $85 \sim 95$ 度であることが好ましく、直交していることが最も好ましい。

- 20 また、本発明では、柱状体を配列方向に切った横断面で見たときに、基部表面が弧状をなしている。ここで、基部表面の曲率中心は一つであることが好ましいが、複数点あってもよい。

好適な実施形態においては、隣接する柱状体の間で基部の側面が連続するように形成されている。また、好適な実施形態においては、隣接する柱状体の基

- 25 部の間に平坦面が形成されている。

本発明においては、素子の外側に電磁波発振源を設置し、この電磁波発振源から発振した電磁波を素子内に入射させ、次いで素子本体の電磁波放射面から

放射させることができる。あるいは、素子の内部において電磁波をパラメトリック発振させることもできる。

パラメトリック発振の場合には、パラメトリック発振可能な非線形光学結晶からなる素子本体内にポンプ波を入射し、ノンコリニア位相整合条件を満たす方向にアイドラー波とテラヘルツ波を発生させる。このとき、ポンプ波として単一周波数の第1レーザー光を使用し、かつ、アイドラー波の発生方向に単一周波数の別の第2レーザー光を光注入することが好ましい。

例えば光源からポンプ波を素子本体に照射すると共に、光源からアイドラー波を素子本体に照射する。このとき、ポンプ波（周波数 ω_1 ）、アイドラー波（周波数 ω_2 ）、およびポラリトン（テラヘルツ波：周波数 ω_T ）の間にエネルギー保存則（ $\omega_1 = \omega_2 + \omega_T$ ）および運動量保存則（ノンコリニア位相整合条件： $k_1 = k_2 + k_{th}$ ）が成立し、ポラリトン誘導散乱が観測される。この場合、分散特性のために、ポンプ波の光軸からの角度 α 、 θ に応じて、アイドラー波およびテラヘルツ波の波長が定まる。

ポンプ波、アイドラー波、テラヘルツ波の周波数、 α 、 θ は、パラメトリック発振条件によって定まるものである。典型的には、ポンプ波の波長は800 nm～1600 nmが好ましく、 α は $0.04^\circ \sim 4^\circ$ が好ましい。この場合、 θ は $65^\circ \sim 62^\circ$ の範囲となる。

支持基板の材質は特に限定されないが、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム-タンタル酸リチウム固溶体、KTP、KNなどの誘電体や、GaP、ZnSeなどの半導体、石英ガラスなどのガラスを例示できる。また、信頼性上、熱膨張を素子本体と合わせるという観点では、支持基板は素子本体と同じ材質であることが望ましい。

素子本体と支持基体とを接着する接着剤は、発振基板よりも低誘電率である材料からなることが好ましい。具体的には、接着層の屈折率が2以下であることが好ましい。接着層の具体例は特に限定されないが、エポキシ系接着剤、アクリル系接着剤、カルドポリマー系接着剤、室温硬化型接着剤、熱硬化型接着

剤、紫外線硬化性接着剤、アロンセラミックスC（商品名、東亜合成社製）（熱膨張係数 $13 \times 10^{-6} / \text{K}$ ）を例示できる。

接着層の厚さは特に限定されないが、テラヘルツ波の漏れを防止するという観点からは、 $0.5 \mu\text{m}$ 以上が好ましい。

- 5 ポンプ波やアイドラー波の光源は、半導体レーザや半導体レーザ励起の固体レーザ（YAG、YVO4、YLF など）を直接バットジョイント、あるいはレンズ結合させる。またこれらの光源をファイバでガイドし、そのファイバ端面を結晶に直接バットジョイントさせることができるし、レンズ結合させてもよい。

- 本発明においては、定幅部6dの幅 W_r は、目的周波数に合わせて設計する
10 が、テラヘルツ帯にピーク透過率を得るには $30 \mu\text{m}$ 以下が好ましく、柱状体の機械的強度を保持するためには $1 \mu\text{m}$ 以上が好ましい。

- また、定幅部6dの高さ T_{st} は、目的周波数に合わせて設計するが、テラヘルツ帯にピーク透過率を得るという観点からは、 $10 \sim 190 \mu\text{m}$ であることが好ましく、さらには、 $15 \sim 90 \mu\text{m}$ であることがいっそう好ましい。曲
15 率半径Rに対して、 T_{st} は $0.5 \times R$ 以上、 $5 \times R$ 以下であることが好ましい。

また、柱状体6の高さTは、目的周波数に合わせて設計するが、ピーク透過率を高くするという観点からは、 $20 \sim 200 \mu\text{m}$ であることが好ましい。

- 各柱状体6の幅は、 $(W_r + W_p)$ で表される。 $W_p / 2$ は、柱状体6の側
20 面6bからの水平方向の突出寸法である。このとき、 W_p は、目的周波数での光の透過率を向上させるという観点から、 $20 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。また、 W_p が大きくなると、隣接する柱状体の間隔も大きくなり、設計が難しくなるので、 W_p は $100 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

- 隣接する柱状体間に平坦面8を設けることによって、隣接する柱状体のピッ
25 チを調節することができる。したがって、平坦面8の幅 W_b は0でも良い。しかし、平坦面8の幅 W_b が大きくなり過ぎると加工が困難になるので、この観点からは、 $20 \mu\text{m}$ 以下が好ましい。

11

外周刃を利用した切削加工は、好ましくは以下の手順で行う。まず、前記した所望の形状を得るための外周刃（ブレード）を選定する。次いで、ブレード形状を整形する（ドレス加工）。次いで、ブレードの高さ位置を基板の表面に一致させる（ブレード高さ零点調整）。次いで、所望の溝深さ、柱状体幅、定幅部幅となるブレードの高さと送りピッチを設定する。次いで、ブレード回転数、送り速度、カットウオータ量を設定する。次いで x、y 方向に向かってそれぞれ溝入れ加工を行う。

実施例

10 （実施例 1）

図 6 に示す形態の電磁波放射素子を製造した。ただし、このサブ波長格子構造 5 は、図 5 を参照しつつ説明したものであり、支持基板と接着層とを設けていないものである。

具体的には、y カット Mg ドープニオブ酸リチウム単結晶からなる本体 7 を用意した。本体 7 の寸法は、縦 30 mm × 横 30 mm × 厚さ 0.5 mm である。ダイシングソーを利用し、ブレードを縦横に移動させて研削加工することで、柱状体 6 を形成した。ブレードは、電铸ボンドタイプ、幅 35 μ m であり、砥粒 #2000 を使用した。加工条件は、回転数 30000rpm、スピード 0.5mm/s とし、深さ 30 ~ 200 μ m まで溝加工を行い、ピッチが 40 μ m となるようにブレード送り調整した。

以下、各部分の寸法を示す。

	W _r :	5 μ m
	W _p :	35 μ m
	W _b :	0 μ m
25	T :	30 ~ 200 μ m
	T _{st} :	12.5 ~ 182.5 μ m
	R :	17.5 μ m

テラヘルツ波による透過特性を測定するためにTDS測定を実施した。すなわち、素子本体7の底面7b上にテラヘルツ波光源20を取り付け、素子本体内部へと向かって矢印Aのようにテラヘルツ波を入射させた。そして、サブ波長格子構造5上の空気中に受信素子21を設置し、受光強度を測定した。受光強度／発振強度を透過率とする。この結果、高さ $T = 35 \mu\text{m}$ 、 $T_{st} = 17.5 \mu\text{m}$ のとき、ピーク透過率は99%であった（周波数1THz）。また、 T_{st} が更に大きくなるとピーク周波数が低周波側にシフトすることもわかった。（比較例1）

実施例1と同じ素子本体7を使用し、電磁波透過率を測定した。ただし、素子表面にサブ波長格子構造を形成しなかった。この場合、ピーク透過率は周波数にほとんど依存なく、55%であった。これはニオブ酸リチウム単結晶の屈折率が本周波数では5になることに起因する。

（比較例2）

従来、サブ波長格子は、図7に示す四角錐形状が利用される。しかしながら、ニオブ酸リチウムは難加工材料であるので四角錐形状を形成することは困難であり、実施例1の構造と比較するためにFDTD法によるシミュレーションによる2次元解析を行った。シミュレーションのモデルとして、実施例1の構造のモデルとし、寸法は上記の実施例1に記載のモデルとした。ただし、四角錐形状については四角錐底面幅 $40 \mu\text{m}$ 、ピッチ $P : 40 \mu\text{m}$ と固定し、 $H : 30 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m}$ の領域において透過率を計算した。

この結果、実施例1と同じ高さ $H : 35 \mu\text{m}$ ではピーク透過率は76%であった（周波数1THz）。この場合、ピーク透過率を90%以上とするためには、高さ H を $100 \mu\text{m}$ 以上にする必要があることがわかった。このことから、本願構造では溝深さが浅くても高いピーク透過率が得られることがわかった。

（比較例3）

実施例1と同じ素子本体を使用し、電磁波透過率を測定した。ただし、素子本体の表面に、図8に示す形態のサブ波長格子構造を形成した。ここで、各柱

13

状体 2 3 は四角柱形状をしている。各柱状体 2 3 の高さ H は $35\ \mu\text{m}$ であり、柱状体のピッチ P は $40\ \mu\text{m}$ であり、柱状体 2 3 の幅 W は $20\ \mu\text{m}$ である。

なお、本構造は、エキシマレーザを用いた疑似レーザアブレーション法で作製し、レーザのショット回数を調整して深さおよびピッチを調整した。

- 5 この結果、ピーク透過率は 77% であった（周波数は $0.6\ \text{THz}$ ）。この構造において今回検証した高さ T （ $30\ \mu\text{m} \sim 200\ \mu\text{m}$ ）の範囲では T を大きくしてもピーク透過率は 90% 以上にはならなかった。

本発明の特定の実施形態を説明してきたけれども、本発明はこれら特定の実施形態に限定されるものではなく、請求の範囲の範囲から離れることなく、種々

- 10 の変更や改変を行いながら実施できる。

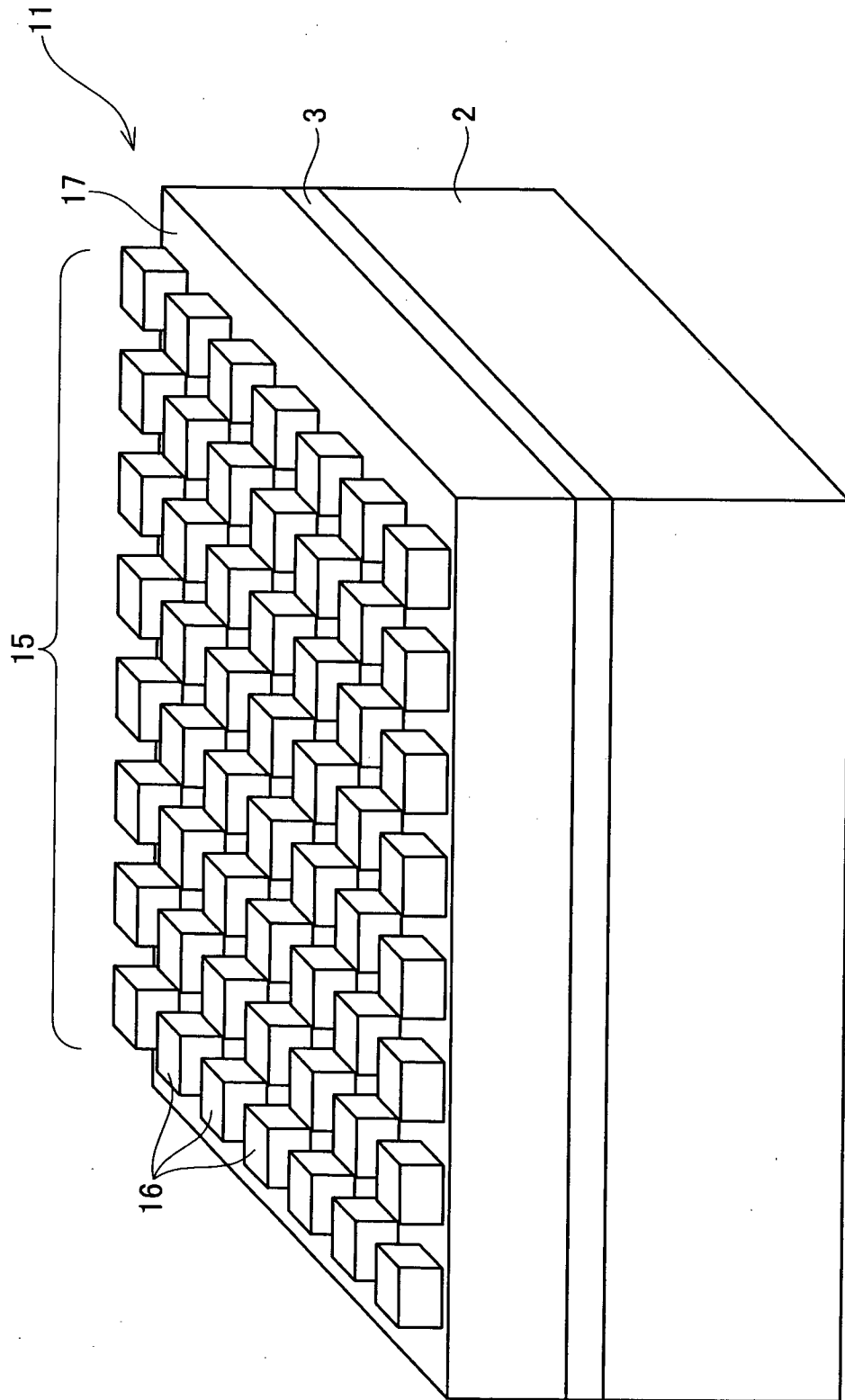
請求の範囲

1. 0.1 THz ~ 30 THz の範囲内にある目的周波数の電磁波を結晶の外部へと放射する電磁波放射素子であって、
- 5 非線形光学結晶からなる本体と、この本体の表面に形成されたサブ波長格子構造とを備えており、前記サブ波長格子構造が、前記本体の前記表面に規則的に配列された柱状体からなり、前記各柱状体が、先端側に設けられ、一定幅を有する定幅部と、前記表面から前記定幅部へと向かって設けられている基部とを備えており、前記柱状体の配列方向に切った横断面で見たときに、前記基部
- 10 の表面が、前記基部外に曲率中心を有する弧状をなしていることを特徴とする、電磁波放射素子。
2. 隣接する前記柱状体の間で前記基部の前記側面が連続するように形成されていることを特徴とする、請求項 1 記載の素子。
- 15
3. 隣接する前記柱状体の前記基部の間に平坦面が形成されていることを特徴とする、請求項 1 記載の素子。
4. 前記各柱状体が、外周刃を利用した切削加工により形成されていること
- 20 を特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか一つの請求項に記載の電磁波放射素子。
5. 0.1 THz ~ 30 THz の範囲内にある目的周波数の電磁波を結晶の外部へと放射する電磁波放射素子であって、
- 非線形光学結晶からなる本体と、この本体の表面に形成されたサブ波長格子
- 25 構造とを備えており、前記サブ波長格子構造が、前記本体の前記表面に規則的に配列された柱状体からなり、前記各柱状体が、外周刃を利用した切削加工により形成されていることを特徴とする、電磁波放射素子。

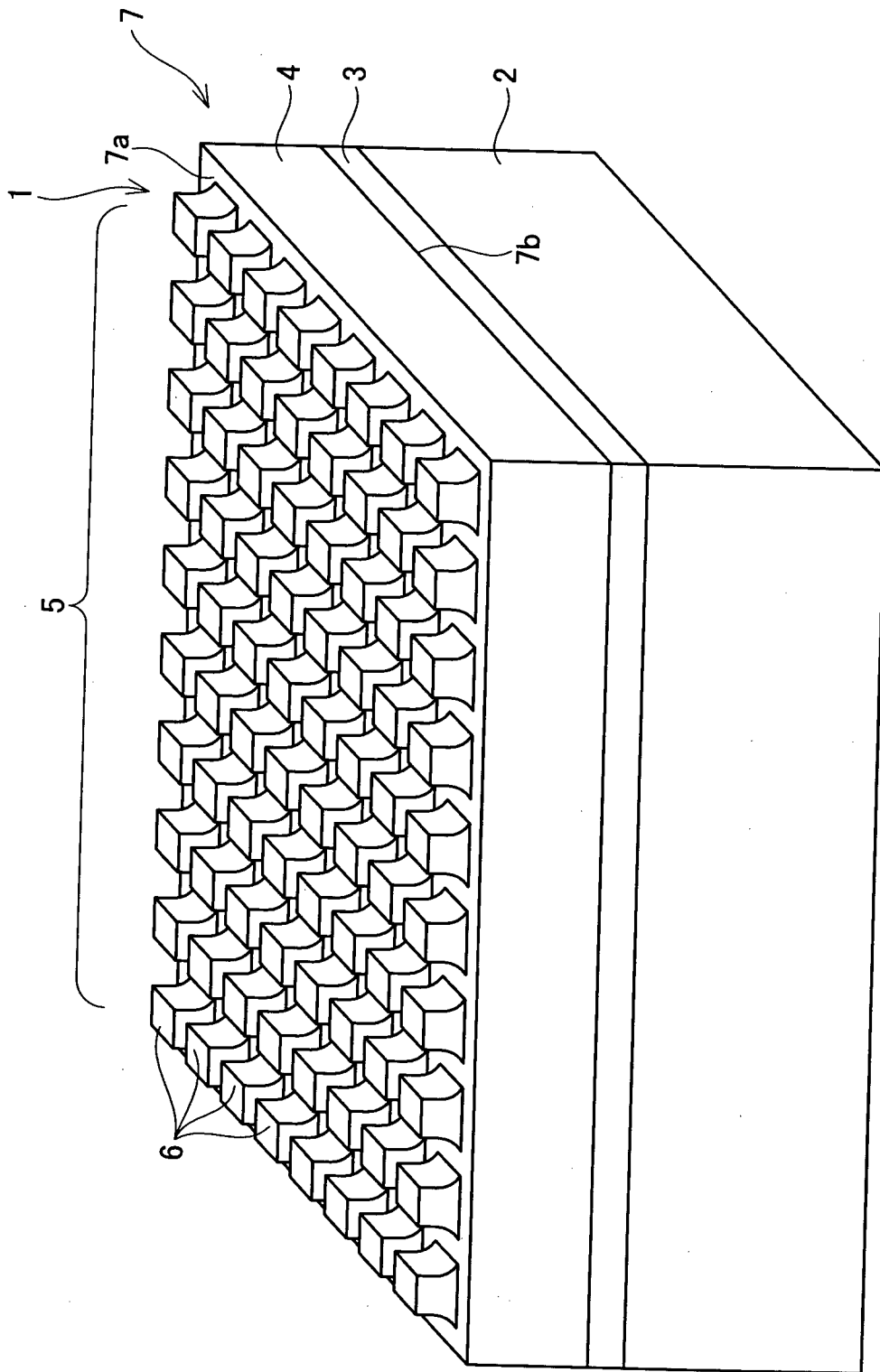
補正された請求の範囲
[2012年5月29日(29.05.2012) 国際事務局受理]

1. 0.1 THz ~ 30 THz の範囲内にある目的周波数の電磁波を結晶の外部へと放射する電磁波放射素子であって、
- 5 非線形光学結晶からなる本体と、この本体の表面に形成されたサブ波長格子構造とを備えており、前記サブ波長格子構造が、前記本体の前記表面に規則的に配列された柱状体からなり、前記各柱状体が、先端側に設けられ、一定幅を有する定幅部と、前記表面から前記定幅部へと向かって設けられている基部とを備えており、前記柱状体の配列方向に切った横断面で
- 10 見たときに、前記基部の表面が、前記基部外に曲率中心を有する弧状をなしていることを特徴とする、電磁波放射素子。
2. 隣接する前記柱状体の間で前記基部の前記側面が連続するように形成されていることを特徴とする、請求項 1 記載の素子。
- 15
3. 隣接する前記柱状体の前記基部の間に平坦面が形成されていることを特徴とする、請求項 1 記載の素子。
4. 前記各柱状体が、外周刃を利用した切削加工により形成されていることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか一つの請求項に記載の電磁波放射素子。
- 20
5. (削除)

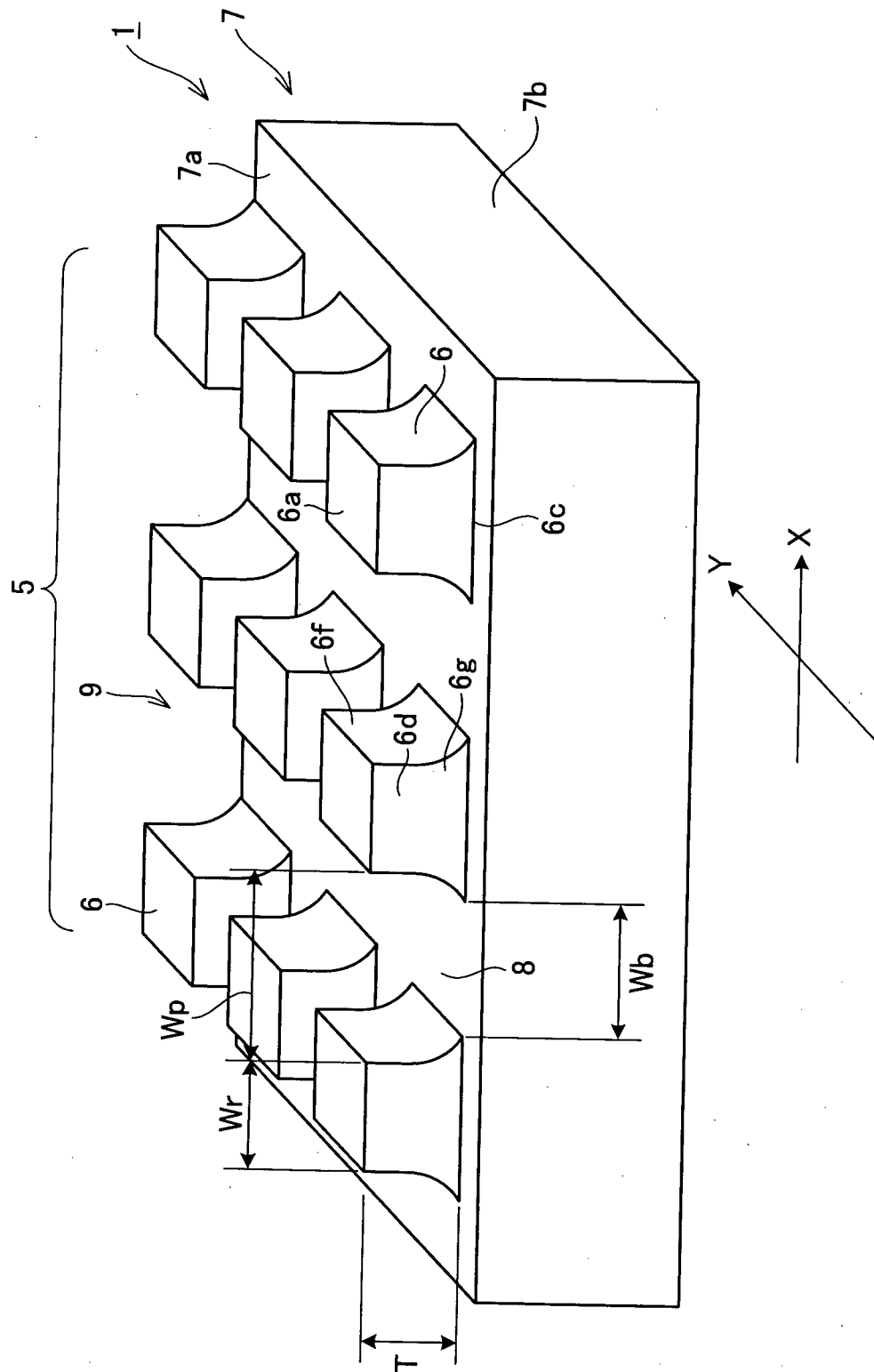
第 1 図



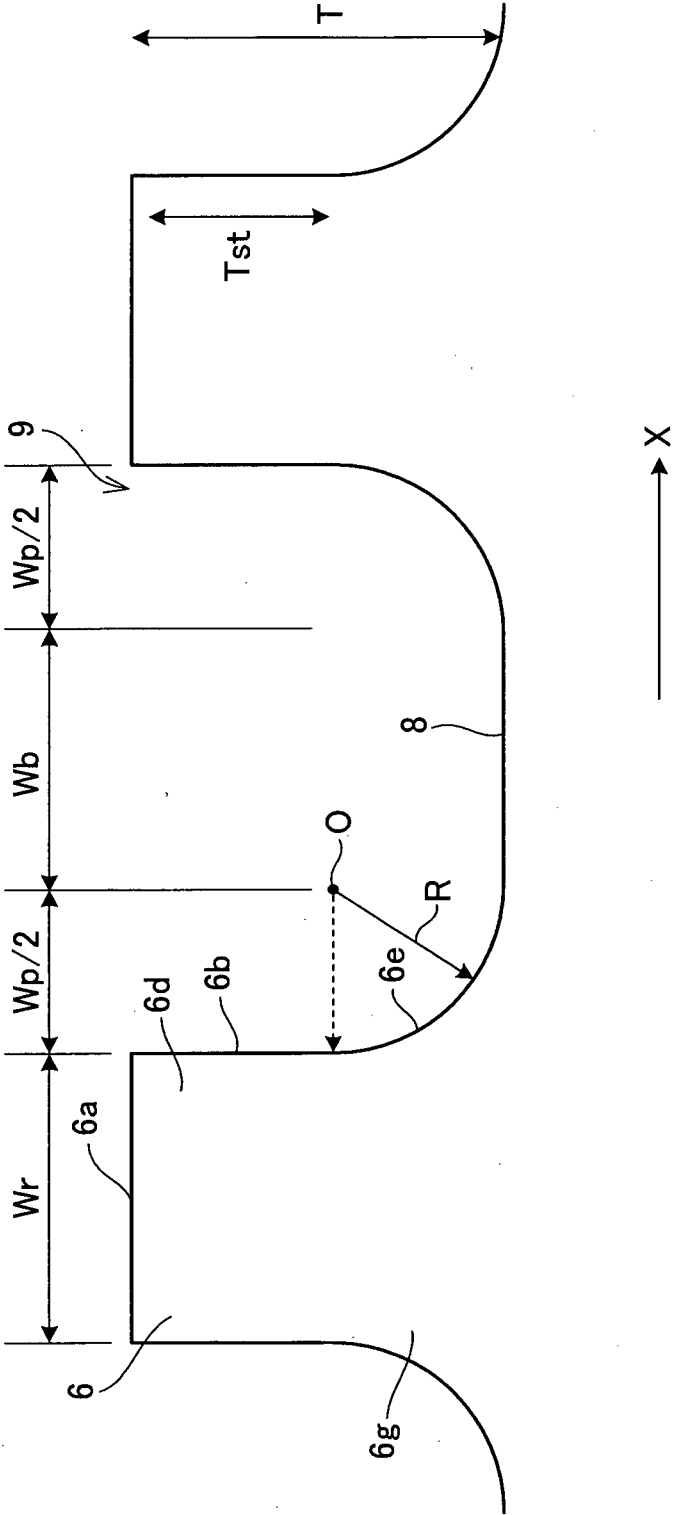
第 2 図



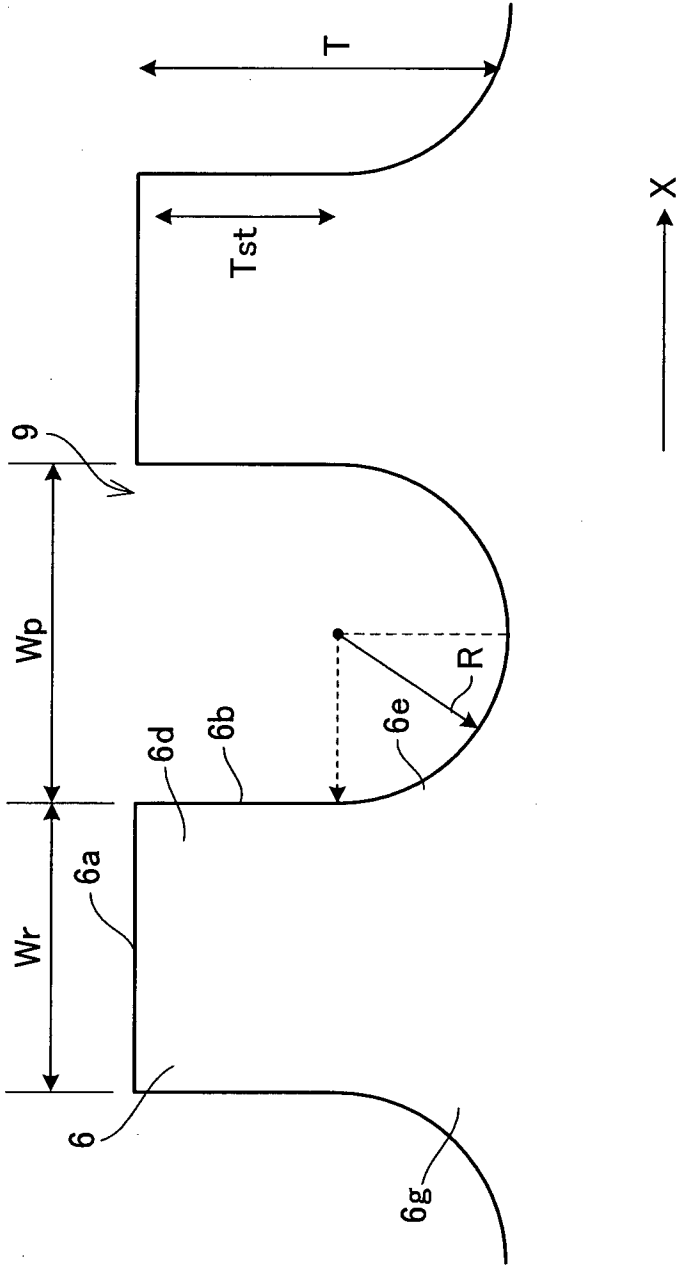
第 3 図



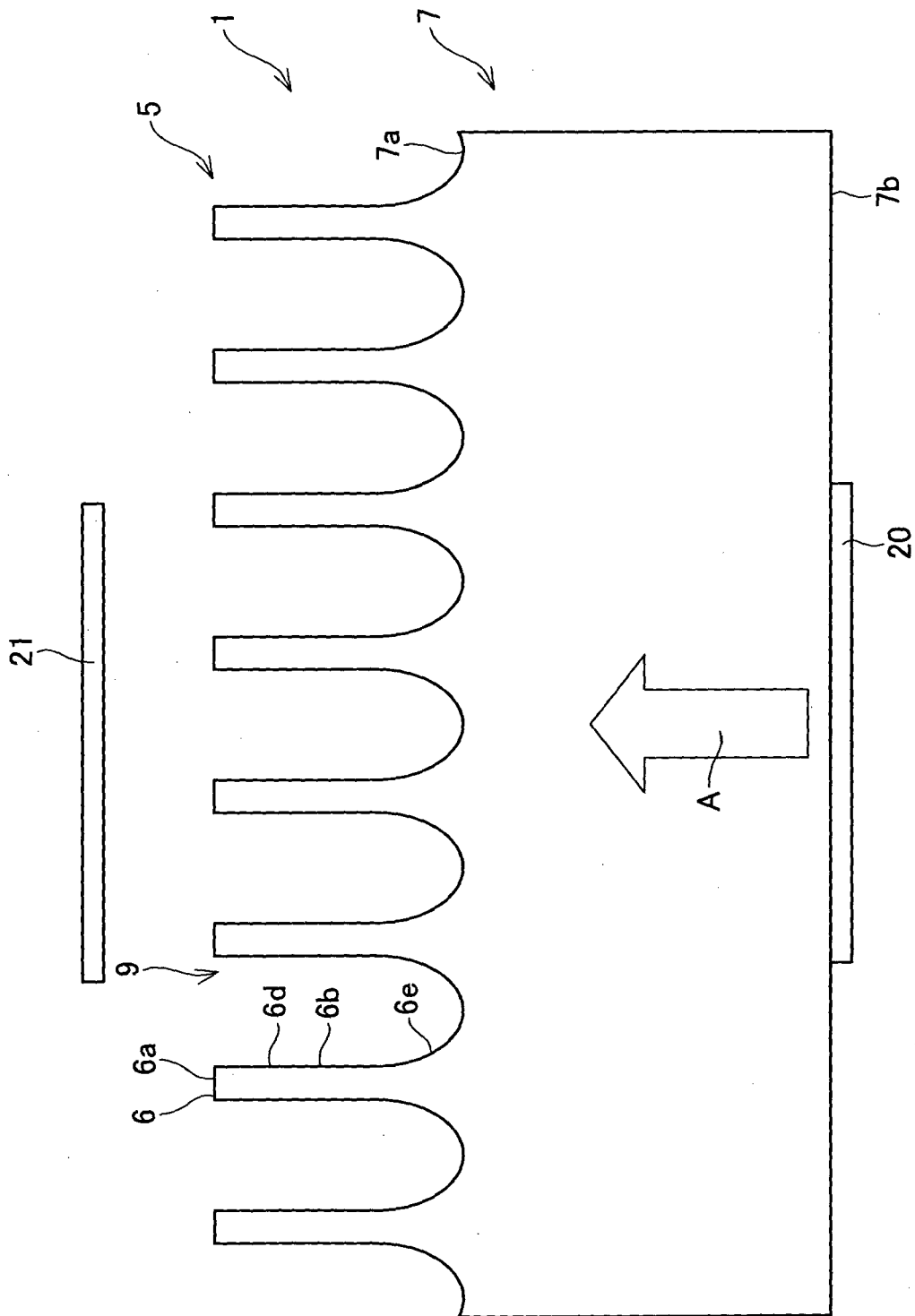
第 4 図



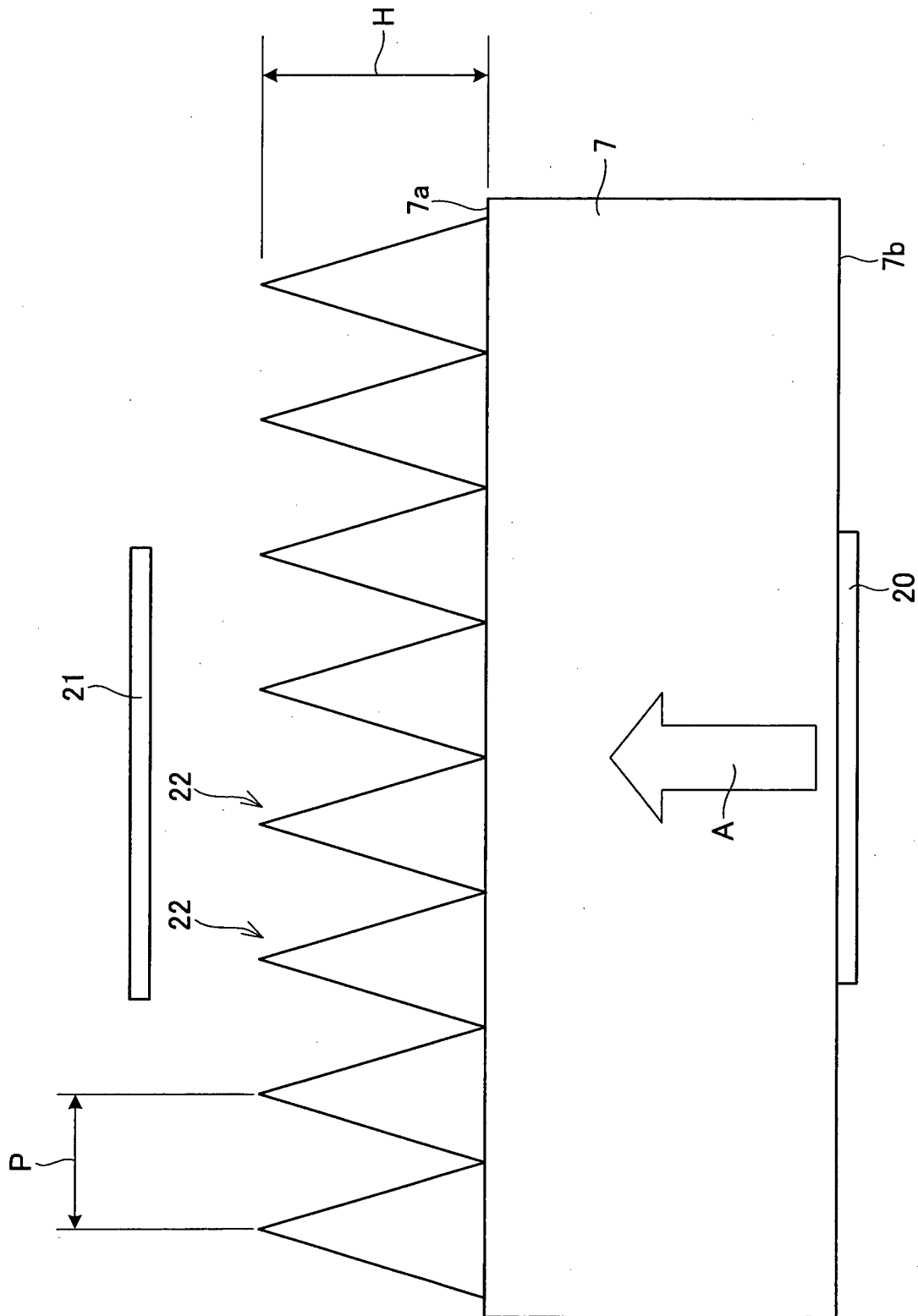
第 5 図



第 6 図

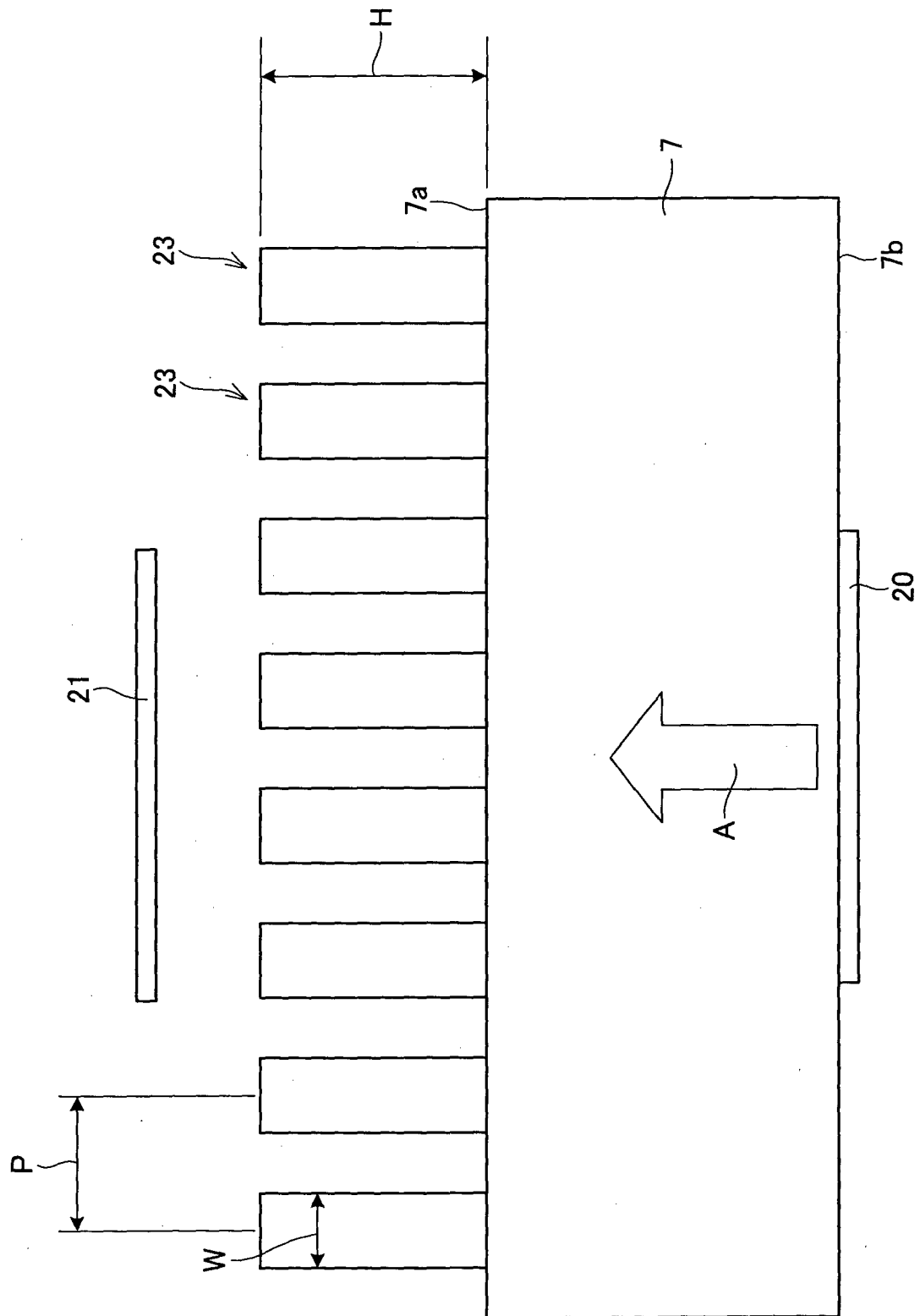


第 7 図



8/8

第 8 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/057661

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/37(2006.01) i, G02F1/39(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)

G02B6/10-6/122, G02F1/00-1/065, 1/35-1/39, 2/02, H01S1/00-1/06, 3/106-3/109

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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

JSTPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 09-146131 A (Hiromasa ITO), 06 June 1997 (06.06.1997), paragraphs [0023] to [0042]; fig. 1, 4, 6 (Family: none)	5 1-4
Y A	JP 2005-215638 A (National Institute of Information and Communications Technology), 11 August 2005 (11.08.2005), paragraph [0033] (Family: none)	5 1-4
Y A	JP 2009-175385 A (National University Corporation Shizuoka University), 06 August 2009 (06.08.2009), paragraphs [0020] to [0072]; fig. 2, 8, 9, 11 (Family: none)	5 1-4

☒ 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
09 April, 2012 (09.04.12)Date of mailing of the international search report
17 April, 2012 (17.04.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/057661

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2003-177263 A (NGK Insulators, Ltd.), 27 June 2003 (27.06.2003), paragraphs [0035] to [0036] (Family: none)	5 1-4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G02F1/37(2006.01)i, G02F1/39(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 (I P C))

Int.Cl. G02B6/10-6/122,
G02F1/00-1/065, 1/35-1/39, 2/02,
H01S1/00-1/06, 3/106-3/109

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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 (JDreamII)
JST7580 (JDreamII)

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 A	JP 09-146131 A (伊藤弘昌) 1997.06.06, 段落【0023】 - 【0042】, 第1, 4, 6 図 (ファミリーなし)	5 1-4
Y A	JP 2005-215638 A (独立行政法人情報通信研究機構) 2005.08.11, 段落【0033】 (ファミリーなし)	5 1-4

☒ 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

0 9 . 0 4 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 4 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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)

山本 貴一

2 X

4 0 8 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

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
Y A	JP 2009-175385 A (国立大学法人静岡大学) 2009.08.06, 段落【0020】 - 【0072】, 第2, 8, 9, 11 図 (ファミリーなし)	5 1-4
Y A	JP 2003-177263 A (日本碍子株式会社) 2003.06.27, 段落【0035】 - 【0036】 (ファミリーなし)	5 1-4