[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02B 6/12 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02811927.4

[45] 授权公告日 2006 年 10 月 4 日

[11] 授权公告号 CN 1278151C

[22] 申请日 2002.6.14 [21] 申请号 02811927.4

[30] 优先权

[32] 2001. 6.15 [33] JP [31] 181854/2001

[86] 国际申请 PCT/JP2002/005980 2002.6.14

[87] 国际公布 WO2002/103439 日 2002.12.27

[85] 进入国家阶段日期 2003.12.15

[71] 专利权人 浜松光子学株式会社

地址 日本静冈县浜松市

[72] 发明人 泷口义浩 伊藤研策

审查员 谢有成

[74] 专利代理机构 上海市华诚律师事务所

代理人 徐申民

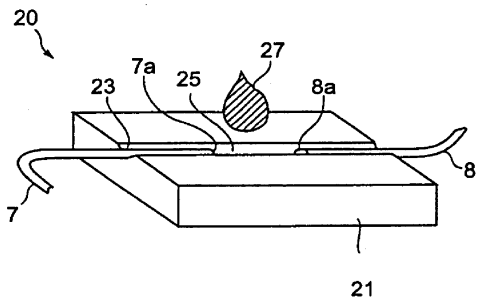
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 8 页

[54] 发明名称

光控制单元及其形成方法

[57] 摘要

本发明涉及一种光控制单元及其形成方法。该方法是这样一种方法，即以规定间隔将光纤(7)的端面(7a)与光纤(8)的端面(8a)相对配置于基座(21)的 V 槽(23)。 将含有作为光子结晶材料的微颗粒的溶液(27)滴注至端面(7a)、端面(8a)以及 V 槽(23)所形成的空间部(25)。 由此分别从端面(7a)、端面(8a)开始生长光子结晶，以便分别在端面(7a)、端面(8a)上形成包含光子结晶(2)的光控制单元。



1.一种光控制单元形成方法，该方法在包含光的入射面及出射面其中至少之一所构成的端面在内的成对的光传输路上，形成对所述光传输路输入光及输出光其中至少之一进行控制的光控制单元，其特征在于，

将所述成对光传输路安排或形成在具有槽的基底上，使所述端面彼此相对且在端面间形成空间部；

将含有二氧化硅，氧化钆，钛酸钡至少其中之一作为光子结晶材料的微颗粒溶液填充入所述端面之间的空间部；使所述溶液凝胶化，使所述光子结晶在所述端面上生长，从而在所述端面上形成包含所述光子结晶的所述光控制单元。

2. 如权利要求 1 所述的光控制单元形成方法，其特征在于，使所述光子结晶在所述端面上生长时，测定所述光子结晶的光学特性。

3. 如权利要求 2 所述的光控制单元形成方法，其特征在于，根据所述测定判定所述光子结晶具有规定的光学特性时，通过对所述溶液照射规定波长光，使所述溶液凝胶化，以便在所述端面形成具有可塑性的半固化的所述光控制单元。

4. 如权利要求 1 所述的光控制单元形成方法，其特征在于，通过使所述溶液凝胶化，在所述端面上形成具有可塑性的半固化的所述光控制单元。

5. 如权利要求 1 所述的光控制单元形成方法，其特征在于，通过放置所述空间部的所述溶液使所述微颗粒自然排列，以便使所述光子结晶在所述端面上生长。

6. 如权利要求 1 所述的光控制单元形成方法，其特征在于，使所述溶液中的所述微颗粒带静电，靠作用于所述微颗粒的重力和所述微颗粒彼此间静电作用力这两者间的平衡，控制所述端面上生长的所述光子结晶的生长方向和生长速度其中至少之一。

7. 如权利要求 1 所述的光控制单元形成方法，其特征在于，在所述端面及其附近的所述光传输路其中至少一处形成用于使所述光子结晶稳定生长的电荷层和微细结构层其中至少之一。

8. 如权利要求 1 所述的光控制单元形成方法，其特征在于，通过在将所述溶液放入了所述空间部时对所述端面加上振动，以便使所述微颗粒分散后使所述光子结晶在所述端面上生长。

9. 如权利要求 1 所述的光控制单元形成方法，其特征在于，通过将另一光传输路的

端面与所述光传输路的所述端面相互平行配置形成所述空间部，使所述光子结晶不仅在所述光传输路的所述端面而且在所述另一光传输路的端面上生长，以便形成将所述另一光传输路的端面与所述光传输路的所述端面连在一起的所述光子结晶。

10. 如权利要求 9 所述的光控制单元形成方法，其特征在于，通过使所述光传输路的所述端面相对于所述光传输路的光轴倾斜，并使所述另一光传输路的端面相对于所述另一光传输路的光轴倾斜，使所述光子结晶的生长轴相对于各所述光轴呈规定的角度，以便使所述光子结晶具有规定的光学特性。

11. 如权利要求 9 所述的光控制单元形成方法，其特征在于，配置限定所述空间部的间隔体后，再将所述溶液放入所述空间部。

12. 一种光控制单元，其特征在于，按权利要求 1 所述的光控制单元形成方法形成。

光控制单元及其形成方法

技术领域

本发明涉及一种包含光子结晶的光控制单元及其形成方法。

背景技术

所谓光子结晶，指内部具有的折射率变化其周期性通常与光波长为相同量级的新型结晶，可举出具有 3 维折射率分布的 3 维光子结晶、具有 2 维折射率分布的 2 维光子结晶等。这种结构具有以下特长：与半导体中原子核周期性势致使电子受到布喇格 Bragg 反射而形成禁带宽度相同，周期性折射率分布致使光波受到 Bragg 反射，形成对于光的禁带宽度(光子禁带宽度)。因此，近年来一直进行着将光子结晶用于光控制的开发研究。

发明内容

作为上述光控制，可以考虑例如通过在光纤的端面配置光子结晶，来控制光纤输入输出光的波长选择、传播方向等。作为在光纤端面配置光子结晶的方法，可以考虑例如靠平板印刷在光纤端面直接形成光子结晶的方法。但该方法在制造光子结晶时需要昂贵的装置，而且光子结晶的制造需要较长的时间。

在光纤端面配置光子结晶的其他方法，有用聚苯乙烯等微小球另行制造光子结晶，并将其切成规定的大小且切面在规定方向上，将所切出的光子结晶配置于光纤端面的方法。但该方法需要在切出光子结晶时使光子结晶具有规定的波长选择性，为此需要操作相当熟练。

本发明其目的在于，提供一种容易在光纤这种光传输路上形成包含光子结晶的光控制单元的方法以及利用该方法所形成的光控制单元。

本发明的光控制单元形成方法，该方法在包含光的入射面及出射面其中至少之一所构成的端面在内的光传输路上，形成对光传输路输入光及输出光其中至少之一进行控制的光控制单元，其特征在于，通过将含有作为光子结晶材料的微颗粒的溶液放入端面所处的空间部，使光子结晶在端面上生长，从而在端面上形成包含光子结晶的光控制单元。

采用本发明，将含有微颗粒的溶液注入空间部，使光子结晶在光传输路的端面上生

长，以便在端面形成光控制单元。因而，采用本发明能够很容易地在光传输路的端面上形成作为光控制单元的光子结晶。

还有，所谓光传输路是指例如光纤、光封闭型的光波导路。光传输路由例如绝缘性透明基板(由玻璃、石英、铌酸锂等构成)、光学结晶所构成。所谓控制是指例如波长选择、光传输特性调制。

本发明中，使光子结晶在端面上生长时，可以测定光子结晶的光学特性。采用这种方法，可以实时地得到光子结晶生长过程中光子结晶的光学特性信息。所谓光学特性是指例如波长透过性、反射特性。

本发明中，根据测定判定光子结晶具有规定的光学特性时，对溶液照射规定波长光，使溶液凝胶化，以便在端面形成具有可塑性的半固化的光控制单元。采取这种方法，能够在光传输路的端面上可靠地形成具有规定光学特性的光控制单元。

本发明中，可通过使溶液凝胶化在端面上形成具有可塑性的半固化的光控制单元。采用这种方法，能够通过使力作用于光子结晶来形成光学特性变化的光控制单元。

本发明中，通过放置空间部的溶液使微颗粒自然地排列，以便使光子结晶在端面上生长。

本发明中，可以使溶液中的微颗粒带静电，靠作用于微颗粒上的重力和微颗粒彼此间静电作用力这两者间的平衡，控制端面上生长的光子结晶的生长方向以及生长速度其中至少之一。

本发明中，可以在端面及其附近的光传输路其中至少一处形成用于使光子结晶稳定生长的电荷层以及微细结构层其中至少之一。

本发明中，可在溶液注入空间部时对端面加上振动，以便使微颗粒分散后使光子结晶在端面上生长。

本发明中，可通过将另一光传输路的端面与光传输路的端面相互平行配置以形成空间部，使光子结晶不仅在光传输路的端面而且在另一光传输路的端面上生长，以便形成将另一光传输路的端面与光传输路的端面连在一起的光子结晶。

本发明中，可通过使光传输路的端面相对于光传输路的光轴倾斜，并使另一光传输路的端面相对于另一光传输路的光轴倾斜，使光子结晶的生长轴相对于各光轴呈规定的角度，以便使光子结晶具有规定的光学特性。

本发明中，可在配置限定空间部的间隔体后将溶液注入空间部。

本发明的光控制单元按上述本发明方法形成。

附图说明

图 1 是将包含光子结晶的光控制单元作为波长选择装置使用时的示意图；

图 2 是示出一例光子结晶的立体图；

图3A、图3B以及图3C是表示1维光子结晶(多层膜结构)中光反射率(任意常数)与波长(nm)之间所存在关系的曲线图；

图 4 是本发明第 1 实施方式的第 1 工序图；

图 5 是本发明第 1 实施方式的第 2 工序图；

图 6 是表示用本实施方式自然生长出的光子结晶其一例光学特性的曲线图；

图 7 是在使光子结晶在端面上生长过程中用以测定光子结晶光学特性的框图；

图 8 是分别表示通过光子结晶的红外线波长分量 IR、用于溶液凝胶化的紫外线波长分量 UV 的曲线图；

图 9 是第 2 实施方式光纤的剖面图；

图 10 是示出第 2 实施方式间隔体的立体图；

图 11 是第 3 实施方式光纤的剖面图；

图 12 是第 4 实施方式光纤的剖面图；

图 13A 和图 13B 是第 5 实施方式光纤的剖面图；

图 14A 和图 14B 是第 6 实施方式光波导路的平面图。

具体实施方式

下面利用附图对本发明的最佳实施方式进行详细说明。通过在各图中对相同的组成部分用相同标号来省略其说明。

[包含光子结晶的光控制单元]

先说明作为本实施方式前提、包含光子结晶的光控制单元。图 1 是将包含光子结晶的光控制单元作为波长选择装置使用时的示意图。图 1 所示的波长选择装置包含基座 1、在基座 1 上设置的包含具有可塑性的光子结晶 2 的光控制单元 3、对光子结晶 2 加上外力(使外力增加或减少)的压电元件 4、以及高精度控制压电元件 4 的驱动电源 5。

光控制单元 3 包含形成为覆盖光子结晶 2 表面的薄膜 6。光子结晶 2 是凝胶状的，因此

包含水分。利用薄膜 6 防止该水分的蒸发。在光控制单元 3 的输入侧配置光纤 7，在其输出侧配置光纤 8。光纤 7、8 分别包含芯部 9 和配置于其周围的包覆层 10。分别对光纤 7、8 去除从芯部 9 的端面起规定长度的顶端部 11 周围的包覆层 10。将顶端部 11 载置于基座 1 上配置的定位台 12 并使光纤 7、8 各自的芯部 9 与光子结晶 2 相对。基座 1 上安装有箱 13。光控制单元 3、压电元件 4 及顶端部 11 位于由基座 1 和箱 13 所形成的空间。

图 1 的波长选择装置中，可利用光控制单元 3 的光子结晶 2 上所加的外力，使光纤 7 传送至光纤 8 的光波长可变。

下面说明可塑性光子结晶 2。图 2 是示出一例光子结晶 2 的立体图。光子结晶 2 是在凝胶状物质 2G 中包含二氧化硅或钛酸钡、氧化钛和氧化钆等的许多微小球（光学性微晶）2B 形成的。这种光子结晶 2 是可塑性的，可很容易使其变形。微小球 2B 在物质 2G 内按光波长量级的周期有规则地均匀排列。

微小球 2B 的间隔，根据输入光的波长波段设定为例如波长的一半至 1/4 这种大小。利用该结晶结构，在光子结晶 2 内生成光子能带结构。而且，凝胶容易受外力的作用而变形，因此光子结晶 2 的结晶结构以及该光子能带结构容易变化。由于这种变化，通过光子结晶 2 的光波长也同样发生变化。另外，微小球 2B 与物质 2G 其折射率不同，而且两者均对所选择光的波长呈透明，或是具有合适的透射率。

例如，作为溶胶材料采用混合紫外线硬化树脂的材料，对其照射紫外线使其凝胶化，从而得到上述凝胶状物质 2G。代表性的紫外线硬化树脂是在丙烯酰胺（acrylamide）中添加交联剂及光聚合引发剂的混合物，已知的就有许多种。而且，这种微小球 2B 的周期结构数为 50 左右即可，因此光子结晶 2 最大为 100 微米见方这种大小的元件就能够充分发挥作用。

下面说明光子结晶的波长选择性的可变性。图 3A、图 3B 以及图 3C 是表示 1 维光子结晶(多层膜结构)中光反射率(任意常数)与波长(nm)之间所存在关系的曲线图。图 3A 是未用压电元件对光子结晶施加外力时的曲线图；图 3B 是用压电元件在压缩方向上对光子结晶施加使其产生 1%的晶格畸变的压力（外力）时的曲线图；而图 3C 是用压电元件在延展方向上对光子结晶施加使其产生 1%的晶格畸变的压力时的曲线图。

根据这些曲线图，未施加外力时的反射强度峰值处于波长 $\lambda c=1500nm$ 大小的位置（图 3A）。而加上 1%压缩畸变时该波长 λc 偏移至短波长一侧约为 1470nm（图 3B）；而加上 1%延展畸变时该波长 λc 偏移至长波长一侧约为 1530nm（图 3C）。

具体来说，一旦光子结晶导入外力引起的微小晶格畸变，光子能带结构便随结晶内结晶

结构的变化而发生变化，从而光反射特性发生变化。所以，可以靠光子结晶 2 上所加的外力使从光纤 7 传送至光纤 8 的光波长可变。另外，图 3 是对多层膜结构的镜子那样的 1 维光子结晶结构的光透过特性的计算例。但即便是微晶完全等间隔排列的 3 维结晶结构，也在特定的结晶方位显示出同样的光透过特性。

[第 1 实施方式]

下面对本发明第 1 实施方式进行说明。图 4 和图 5 是第 1 实施方式的工序图。如图 4 所示，V 槽连接器 20 包含厚板状的基座 21，基座 21 的上表面形成有 V 槽 23。V 槽 23 在基座 21 的长度方向上直线延伸。V 槽 23 配置有光纤 7、8。光纤 7 的端面 7a 和光纤 8 的端面 8a 相对设置并保持规定距离。这里，所谓规定距离，在所用光的波长为 1.55 微米时约为 20～80 微米。由端面 7a、端面 8a 以及 V 槽 23 形成空间部 25。端面 7a、8a 分别为光入射面和出射面其中至少之一所形成的端面。

溶液 27 是在超纯水中加入粒径约 120nm 的二氧化硅微颗粒或粒径约 150nm 的聚苯乙烯微颗粒等微颗粒 43 形成体积浓度 1～4%的悬浊液。通过将该溶液 27 滴入空间部 25，空间部 25 充满溶液 27。溶液 27 以规定量和规定速度滴入空间部 25。而且，溶液 27 通过溶解约 1 摩尔氢氧化钠对离子浓度等进行化学调整。然后，在清静状态下将空间部 25 的溶液 27 放置规定时间。这样，靠微颗粒所带电荷使微颗粒自然排列，分别以端面 7a、8a 为初始面生成光子结晶。随该结晶生长的进行，如图 5 所示在空间部 25 形成有分别与端面 7a、8a 连接的光子结晶 2。溶液 27 包含紫外线硬化的成分，通过对空间部 25 的溶液 27 照射紫外线，光子结晶 2 便成为凝胶状。由此，可得到包含具有可塑性的半固化的光子结晶 2 的光控制单元。光子结晶 2 作为对光纤 7、8 各自的输入光和输出光其中至少之一进行控制的光控制单元起作用。

这里光子结晶的生长，有下述考虑。由用微颗粒的光子结晶的现有生长试验可知，将微颗粒放入玻璃容器，再向该玻璃容器中注入控制了离子浓度等的溶液，在充分扩散后放置十分钟乃至于长达一个月，微颗粒便带电，从而在静电相斥作用下形成均匀的空间排列。已知此时决定半长方位的，是玻璃面与溶液的边界条件。本实施方式的光子结晶的生长是根据这些事实的。另外，尽管未图示，但为了防止将溶液 27 滴入空间部 25 时发生微颗粒凝集，还可以使用分别对端面 7a、8a 加上规定频率振动的装置。这里，所谓规定频率是 38～45kHz。而且，也可以通过施加 38～45kHz 频率的振动，在溶液 27 中微颗粒完全分散之后，再用约 10Hz 频率的振动使微颗粒分散。由此，可以在使溶液 27 中的微颗粒分散后使光子结晶 2 在

端面 7a、8a 上分别生长。

本申请发明人用本实施方式使光子结晶在一个光纤阵列的端面上自然生长。图 6 中的曲线给出该光子结晶的一例光学特性。图 6 中横轴表示光的波长，纵轴表示光的透射率。采用这种光子结晶，能够有选择地截取光当中 600nm 的波长分量。所以，光子结晶 2 可以作为例如具有波长选择用功能的光控制单元使用。可通过对图 5 所示的光子结晶 2 装压电元件，将驱动电源与压电元件连接，来制作与图 1 所示装置相同的装置。

在使光子结晶分别生长于端面 7a、8a 上的过程中，可以实时测定光子结晶 2 的光学特性(例如波长透过性、反射特性)。图 7 是进行这种测定用的框图。如图 7 所示，激光器 31(也可以用灯代替激光器)的出射光射到光子结晶 2 上。出射光中通过光子结晶 2 的波长分量由检测单元 33 检测。检测出的波长分量数据被送到光谱分析单元 35。由光谱分析单元 35 对透过光子结晶 2 的波长分量进行分析。由此实时测定光子结晶 2 的光学特性。该分析数据被发送到例如个人计算机构成的管理单元 37，在管理单元 37 的显示器上显示。由此能够对光子结晶 2 的光学特性进行实时监视。这里所说的规定光学特性是指使例如红外线波长分量透过的特性。管理单元 37 判定光子结晶 2 具有规定光学特性时，管理单元 37 对波长控制单元 39 发送波长变更信号。根据该信号，波长控制单元 39 变更激光器 31 的波长，射出紫外线波长分量。由此可以使溶液 27 凝胶化，在光纤 7、8 的端面 7a、8a 上形成具有可塑性的半固化的光子结晶 2 所构成的光控制单元。另外，图 8 中的曲线分别给出通过光子结晶的红外线波长分量 IR、溶液 27 凝胶化用的紫外线波长分量 UV。纵轴是波长分量的强度，横轴是波长。上面说明的光学特性测定和利用紫外线的硬化处理在下面说明的实施方式中也适用。

采用第 1 实施方式，与将作为光控制单元的光子结晶用平板印刷方法配置于光纤的端面的方法相比，光子结晶的制造不需要昂贵的装置，而且光子结晶的制造不需要很长时间。而且，采用第 1 实施方式不用切下光子结晶那样需要熟练的技术。根据上述理由，采用第 1 实施方式容易制造出包含光子结晶 2 的光控制单元 3。而且，光子结晶 2 按波长 10 倍大小满足其光学特性，因而其尺寸为数十微米。所以，光控制单元 3 是紧凑的，因此光控制单元 3 与光纤 7、8 的尺寸容易配合。这些效果在以下说明的实施方式中相同。

[第 2 实施方式]

对于本发明的第 2 实施方式，下面以和第 1 实施方式的不同点为中心进行说明。图 9 是光纤 7、8 的剖面图。光纤 7 的端面 7a、光纤 8 的端面 8a 隔着间隔体 41 相互平行配置。间隔体 41 与端面 7a 的包覆层 10 及端面 8a 的包覆层 10 接触。由此形成空间部 25。

准备包含作为光子结晶材料的微颗粒 43，离子浓度等经过化学调整的溶液 27。将溶液 27 以规定速度向空间部 25 滴入规定量。微颗粒 43 因溶液 27 而带静电。该静电的电荷量可以通过改变溶液 27 的离子浓度、PH 值等来调整。由于静电作用，微颗粒 43 之间由于存在同性相斥的库仑相互作用而自然排列，微颗粒 43 保持着由其浓度决定的特定间隔。经过规定时间后，在图 9 所示的空间部 25，也就是端面 7a 的芯部 9 和端面 8a 的芯部 9 之间形成图 5 所示的光子结晶 2。由该光子结晶将端面 7a 的芯部 9 和端面 8a 的芯部 9 相连。

光纤 7、8 的芯部 9 中与溶液 27 的接触面和间隔体 41 中与溶液 27 的接触面对自然生长的生长方向、排列间隔等提供边界条件。其结果是，可以利用这一边界条件控制光子结晶 2 的结晶方位等。决定边界条件的是上述接触面的形状、电气特性、化学特性等。

一般的光纤是石英等二氧化硅系的母材中掺杂某种离子形成的。其电气特性和化学特性决定要传播的波长，因此母材和离子的种类在某种程度上受到限制。因而，可以通过将间隔体 41 的形状、材质及其表面处理方法作为参数来控制光子结晶 2 的生长条件等。

图 10 是表示作为间隔体 41 一例的间隔体 41a 的立体图。间隔体 41a 是在长方体上形成槽部 45、47 构成的。长方体的上表面 53 形成有从长方体的侧面 49 至与该侧面相对的侧面 51 的槽部 45。而槽部 45 的底部，从侧面 49 到侧面 51 形成槽部 47。槽部 47 的宽度比槽部 45 的宽度小。使光纤 7 的端面 7a 与侧面 49 位置一致，光纤 8 的端面 8a 与侧面 51 位置一致。槽部 47 的两个端面中，一个端面对应于端面 7a 的芯部 9，另一个端面对应于端面 8a 的芯部 9。

槽部 47 上利用本实施方式的方法形成光子结晶 2。然后在光子结晶 2 上施加外力将压电元件 4 配置于槽部 45。采用间隔体 41a 能够在规定光纤 7 的端面 7a 和光纤 8 的端面 8a 之间的距离的同时方便地滴下溶液 27 并保持溶液 27。但是，间隔体 41 的形状不限于图 10 所示的形状，只要考虑配置压电元件 4 等其他构件，形成如图 10 所示使上方开放的形状即可。

如上所述，采用间隔体 41，可以高精度地配置端面 7a、7b，并且能够高精度地控制光子结晶 2 的生长方向。

[第 3 实施方式]

下面以和第 1、第 2 实施方式的不同点为中心对本发明第 3 实施方式进行说明。图 11 是光纤 7、8 的剖面图。光纤 7 的端面 7a、光纤 8 的端面 8a 隔着间隔体 41 相互平行配置。端面 7a、8a 相对于光纤 7、8 的长度方向倾斜比 90° 小的规定角度 θ。通过对端面 7a、8a 进行研磨可以使端面 7a、8a 形成倾斜。另外，图 9 所示的第 2 实施方式中这些角度为 90°。

例如，若将微颗粒 43 的浓度与图 9 中溶液 27 相同的溶液 27 用于图 11 情形，由于图 11 的端面 7a、8a 的倾斜，端面 7a、8a 上生长的光子结晶的生长轴便产生与图 9 中端面 7a、8a 上生长的光子结晶的生长轴不同的倾斜。其结果是在光纤 7、8 的光传播与光子结晶内部的光传播模式之间存在由生长轴倾斜、即结晶角度所控制的耦合关系。因而，改变端面 7a、8a 的研磨面的倾斜、溶液 27 的微颗粒浓度等，可以控制包括光纤 7、8 等的光学装置总体的光学特性(例如波长透过性、反射特性)。

还有，图 9、图 11 表示光纤 7、8 的端面 7a、8a 相互平行配置的例子，但是考虑到光子结晶的光传播特性，也可以有端面 7a、8a 不相互平行的情况。端面 7a、8a 的配置也可以在分析光子结晶特性后改变。

[第 4 实施方式]

下面以和第 1～第 3 实施方式的不同点为中心对本发明第 4 实施方式进行说明。图 12 是光纤 7、8 的剖面图。在第 4 实施方式中，对于图 11 所示的光纤 7、8，相对于铅直方向，端面 7a 配置于端面 8a 上方。端面 7a、8a 在水平方向上配置间隔体 41 夹着光纤 7、8 的端部配置。空间部 25 也形成于端面 7a 的包覆层 10 与端面 8a 的包覆层 10 之间。因而，光子结晶除了在端面 7a 的芯部 9 与端面 8a 的芯部 9 之间形成外，也在端面 7a 的包覆层 10 与端面 8a 的包覆层 10 之间形成。

在光子结晶生长过程中，有时除了边界条件、溶液 27 条件之外考虑重力则更加有效。因而，在第 4 实施方式中，端面 7a、8a 配置于与重力方向垂直的位置使光子结晶生长。利用作用于微颗粒 43 的重力与微颗粒彼此间的静电作用力这两者的平衡，控制端面 7a、8a 上生长的光子结晶 2 的生长方向和生长速度其中至少之一。作为微颗粒 43，如果使用其比重大的材料，例如氧化钆、氧化钛及钛酸钡等，重力影响便可以忽略不计。如图 12 所示，光子结晶 2 的生长主要是从下侧的边界、即端面 8a 与溶液 27 之间的边界面开始生长。

[第 5 实施方式]

下面以和第 1～第 4 实施方式的不同点为中心对本发明第 5 实施方式进行说明。图 13A 和 13B 是光纤 7、8 的剖面图。图 13A 所示光纤 7、8 与图 11 所示光纤 7、8 不同点在于，端面 7a、8a 的芯部 9 的近旁形成电荷层 55。电荷层 55 例如可以经端面 7a、8a 通过对芯部 9 的离子注入来形成。用预先形成的电荷层 55 控制端面 7a、8a 的表面电荷密度，可以使光子结晶稳定生长。

图 13B 所示光纤 7、8 与图 11 所示光纤 7、8 不同点在于，端面 7a、8a 的芯部 9 上形成

微细结构层 57。微细结构层 57 形成包含与微颗粒 43 大约相同大小的凹凸的空间结构。用预先形成的微细结构层 57 可以使光子结晶稳定生长。

[第 6 实施方式]

下面以和第 1～第 5 实施方式的不同点为中心对本发明第 6 实施方式进行说明。图 14A 和 14B 是第 6 实施方式光封闭型光波导路的平面图。

如图 14 所示，1 维的光波导路 59 形成于基板 61 上。光波导路 19 的规定部位形成适当形状的孔，以便将光波导路 59 一分为二。断开的其中之一的光波导路 59 的端面 59a 和断开的另一光波导路 59 的端面 59b 均处于该孔位置。第 6 实施方式中，该孔的形状大致为菱形。构成大致为菱形的边中，将光波导路 59 断开的两个边相对于光波导路 59 延伸的方向形成规定的倾斜度。在该孔中滴入溶液 27 以使光子结晶 2 从端面 59a、59b 开始生长，以光子结晶 2 填埋该孔。作为光波导路 59 有采用铌酸锂的光波导路和在玻璃等当中注入离子的光波导路等。

如图 14B 所示，光波导路 59 在基板 61 上形成十字形状。在包含十字状交叉点部位形成孔。四个断开的光波导路 59 的端面 59a、59b、59c、59d 均处于该孔位置。在该孔中滴入溶液 27 以使光子结晶 2 从端面 59a、59b、59c、59d 开始生长，以光子结晶 2 填埋该孔。在该结构中对于两个不同的波导路以不同的生长角度使光子结晶 2 生长。当然，需要在不破坏光子结晶结构的范围内使这两个角度最优。在图 14B 所示的装置的情况下，特别是一边监视光子结晶的光学特性，一边使光子结晶 2 生长是很重要的。可考虑在图 14B 所示的光波导路 59 的交叉部位使光子结晶 2 优化生长，使对在各光波导路之间传输光进行切换成为可能。

工业应用性

采用本发明，将包含微颗粒的溶液滴注入空间部，使光子结晶在光传输路的端面上生长，由此在端面上形成光控制单元。因而，采用本发明能够容易地在光传输路的端面上制作作为光控制单元的光子结晶。

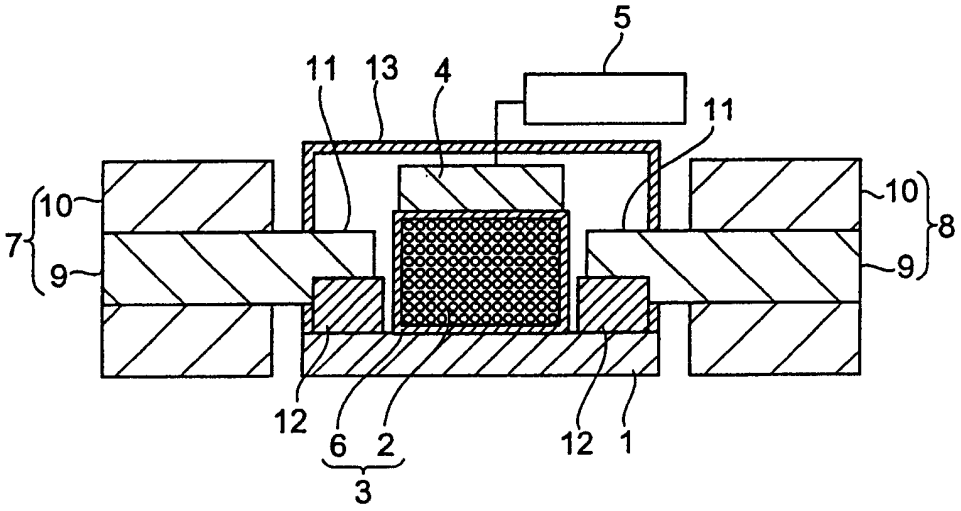


图 1

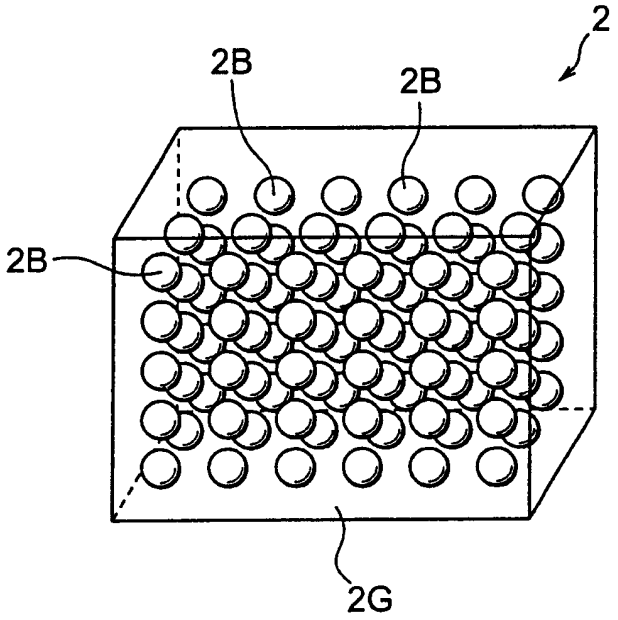


图 2

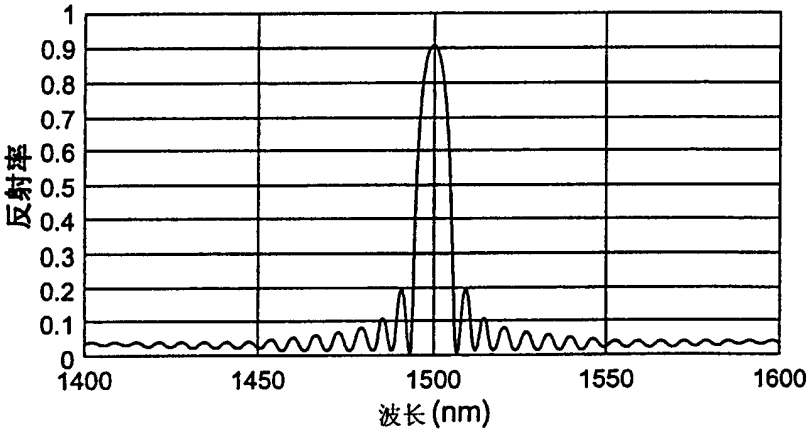

反射率
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
1400
1450
1500
1550
1600
波长 (nm)

图 3 A

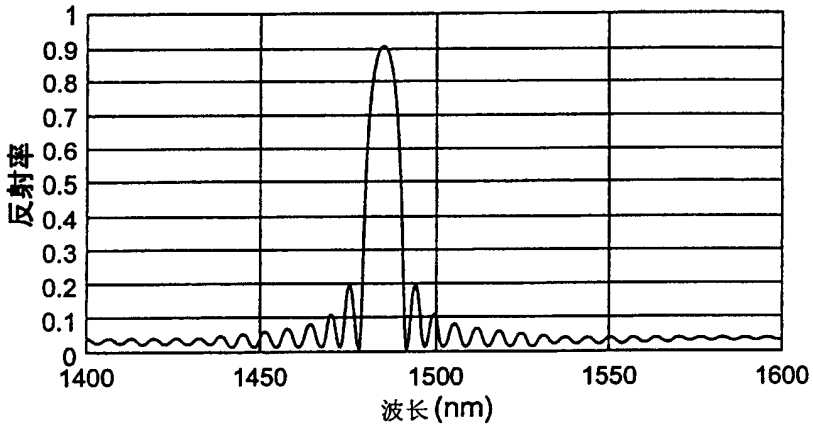

反射率
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
1400
1450
1500
1550
1600
波长 (nm)

图 3 B

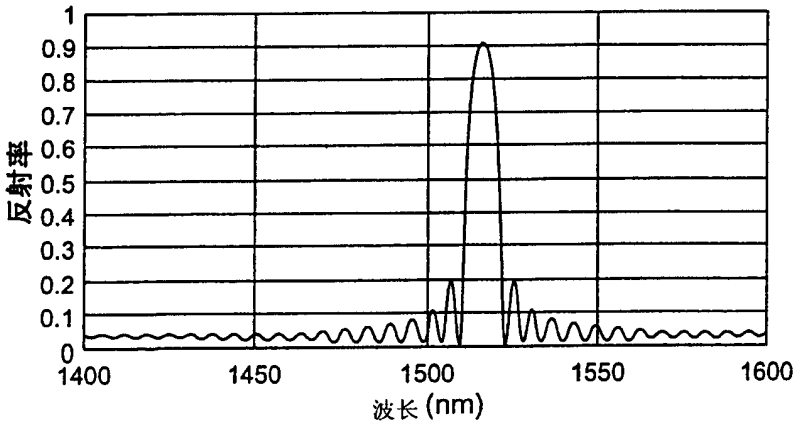

反射率
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
1400
1450
1500
1550
1600
波长 (nm)

图 3 C

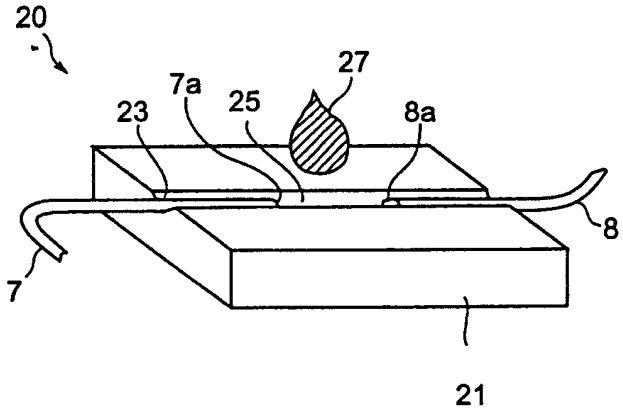

20
27
7a
25
23
8a
8
7
21

图 4

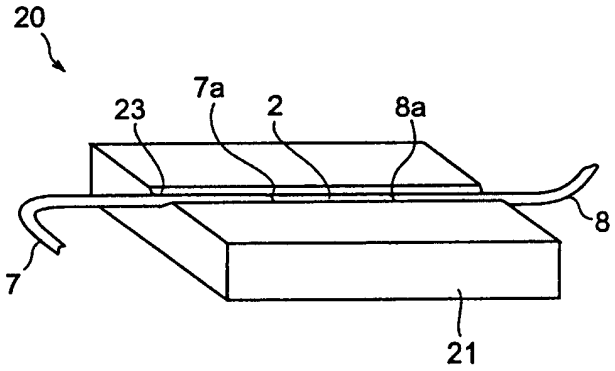

20
7a
23
2
8a
8
7
21

图 5

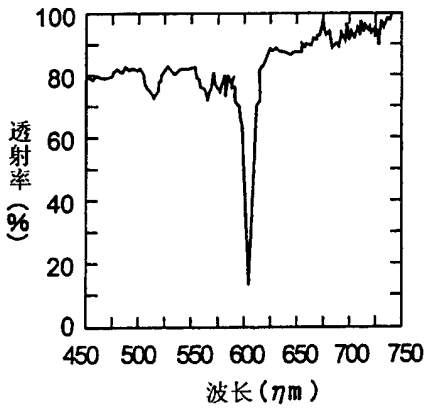

100
80
60
40
20
0
透射率（%）
450 500 550 600 650 700 750
波长（ηm）

图 6

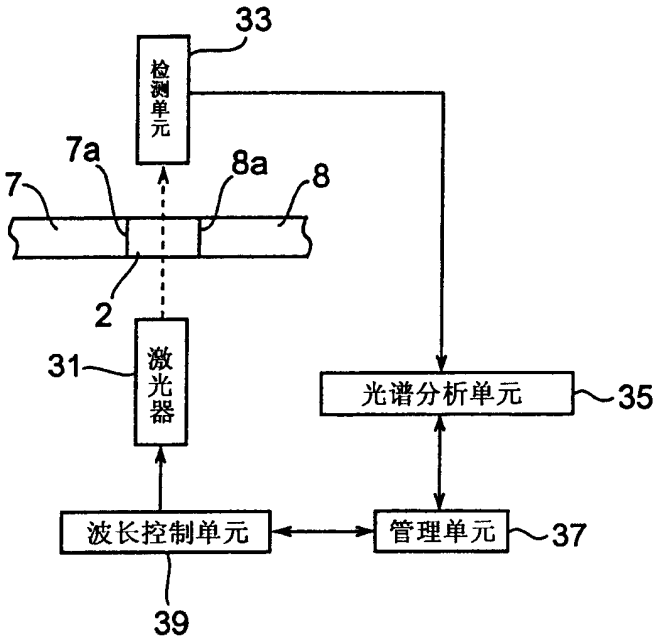


图 7

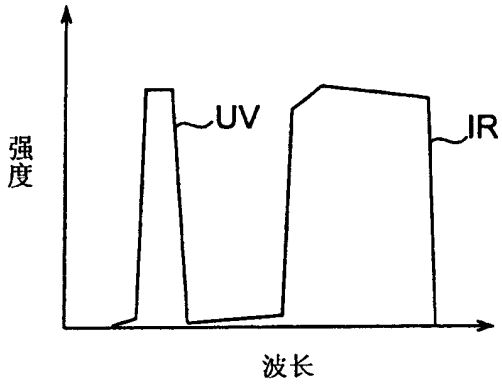


图 8

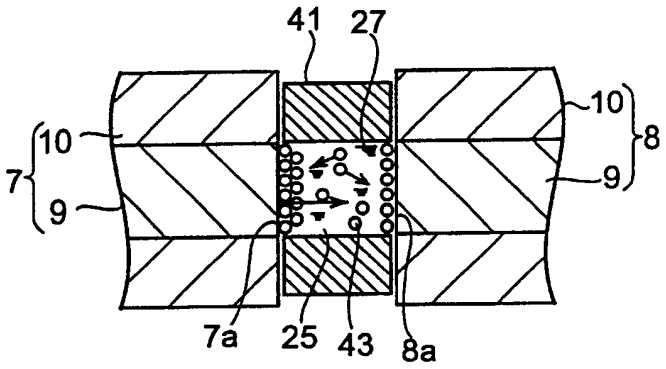


图 9

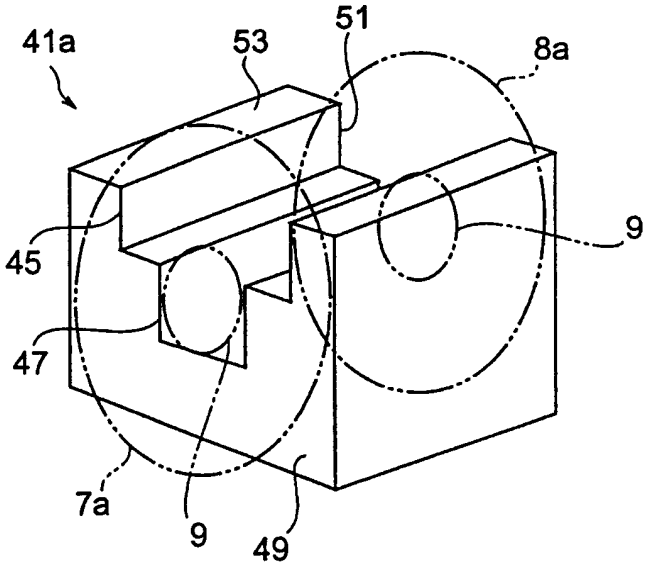


图 10

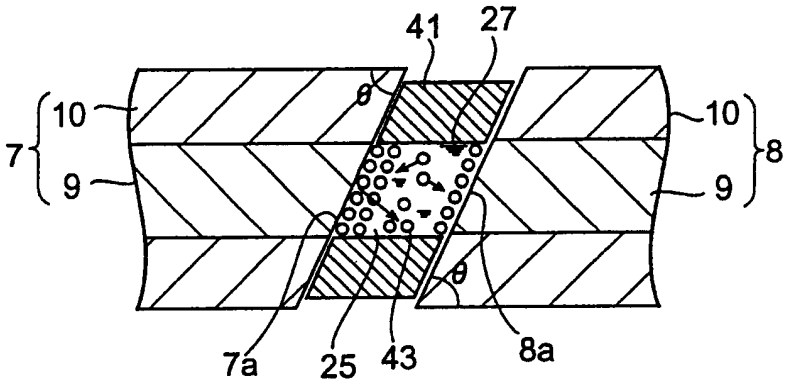


图 11

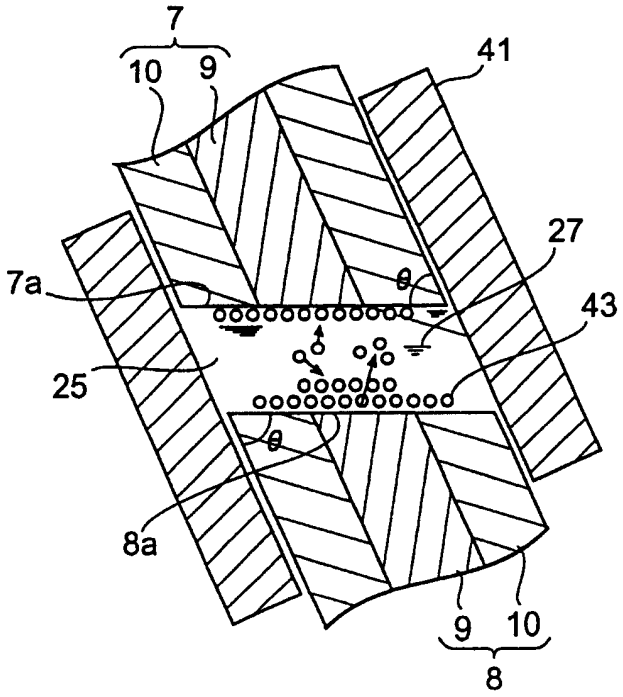


图 12

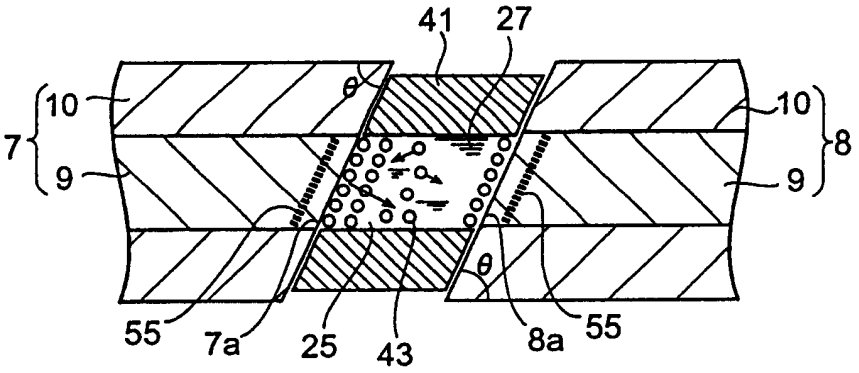

41
27
θ
10
7
9
10
8
9
θ
55
7a
25
43
8a
55

图 13 A

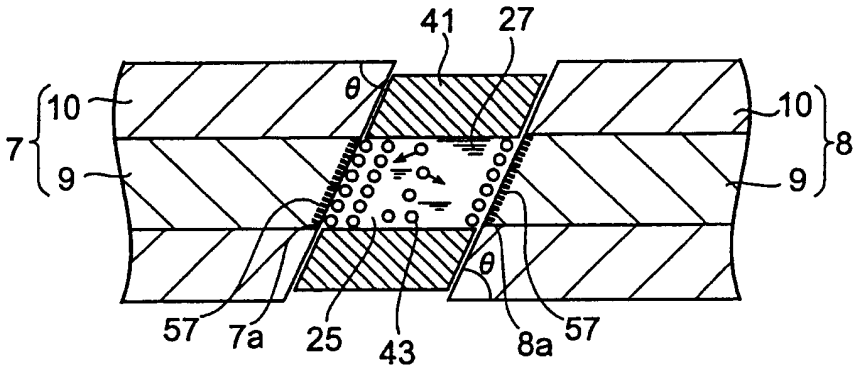

41
27
θ
10
7
9
10
8
9
θ
57
7a
25
43
8a
57

图 13 B

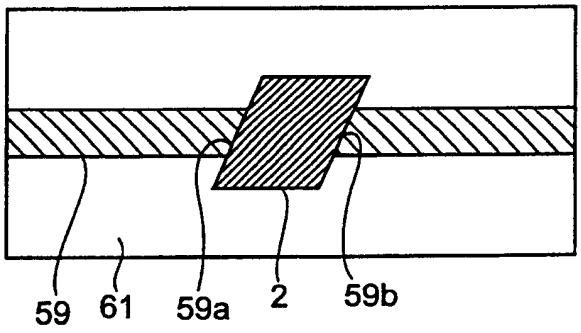


图 14 A

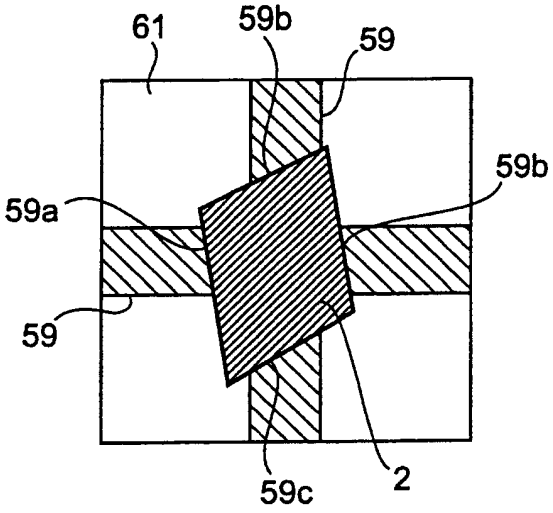


图 14 B