



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 01116664.9

[45] 授权公告日 2005 年 6 月 29 日

[11] 授权公告号 CN 1208642C

[22] 申请日 2001.4.20 [21] 申请号 01116664.9

[30] 优先权

[32] 2000. 4. 20 [33] US [31] 60/198,573

[32] 2000. 7. 14 [33] US [31] 60/218,136

[32] 2000. 12. 8 [33] US [31] 09/731,908

[71] 专利权人 JDS 尤尼费斯公司

地址 加拿大安大略

[72] 发明人 文森特·德里斯利 冈扎罗·威尔斯

皮埃尔·D·瓦尔

阿兰·J·P·纳蒂夫 程颐浩

迪安·谢尔登·斯皮塞尔

谢尔登·迈克劳林

审查员 朱宇澄

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

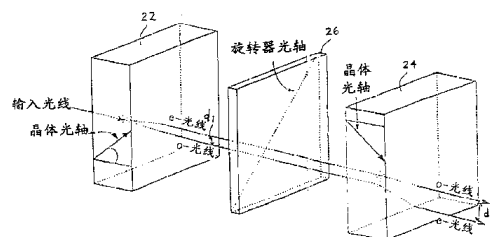
代理人 马 浩

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 6 页

[54] 发明名称 偏振光束分离器或组合器

[57] 摘要

一种偏振光束分离器/组合器，包括：第一单轴晶体，其具有 o-光线光路和 e-光线光路以及配置在其端面上的第一端口；第二单轴晶体，其具有 o-光线光路和 e-光线光路，并且第二单轴晶体的 e-光线光路与第一单轴晶体的 o-光线光路光学耦合，第二单轴晶体的 o-光线光路与第一单轴晶体的 e-光线光路光学耦合。另一方面，第二晶体的光轴按照一定方式对准，以使 o-光线光路受该晶体的非常折射率延迟，e-光线光路受其寻常折射率延迟，以平衡光路长度。



1. 一种偏振光束分离器/组合器，用于将一束输入光分成具有正交偏振的第一和第二子光束，其包括：

—第一端口，用于将所述输入光沿一正方向入射到该偏振光束分离器/组合器中；

—第一单轴晶体，其光学耦合到所述第一端口，以将所述输入光分为所述第一和第二子光束，所述第一和第二子光束分别沿分开的一 o-光线光路及一 e-光线光路传播；

—第二单轴晶体，其具有一 e-光线光路及一 o-光线光路，以使此第二单轴晶体的 e-光线光路与第一单轴晶体的 o-光线光路光学耦合，并使此第二单轴晶体的 o-光线光路与第一单轴晶体的 e-光线光路光学耦合；以及

与第二单轴晶体的一端面光学耦合的第二端口和第三端口，用于输出所述第一子光束和第二子光束，

其中该偏振光束分离器/组合器对于通过其传播的所述第一子光束和第二子光束提供选定的相对光路长度。

2. 如权利要求 1 所述的偏振光束分离器/组合器，其中该第一单轴晶体的光轴和该第二单轴晶体的光轴彼此呈 90° 取向。

3. 如权利要求 1 所述的偏振光束分离器/组合器，其中该第一单轴晶体和该第二单轴晶体被光学耦合，以提供相等的光路长度。

4. 如权利要求 1 所述的偏振光束分离器/组合器，其中第二晶体的光轴按这样一种方式对准，以使第一单轴晶体的 o-光线光路受第二单轴晶体的非常折射率延迟，第一单轴晶体的 e-光线光路受第二单轴晶体的寻常折射率延迟，以决定其相对光路长度。

5. 如权利要求 1 所述的偏振光束分离器/组合器，进一步包括一在第一单轴晶体和第二单轴晶体之间的偏振旋转器，用于沿一正方向将从第一单轴晶体接收来的光的偏振旋转 90° 。

6. 如权利要求 1 所述的偏振光束分离器/组合器，还包括一偏振

器，位于所述第一端口和所述第一单轴晶体之间，用于补偿光学有色空间色散元件中与偏振有关的损耗。

7. 如权利要求 5 所述的偏振光束分离器/组合器，还包括第一透镜，位于所述第一单轴晶体和偏振旋转器之间并用于准直它们之间的光束，第二透镜，位于所述偏振旋转器和第二单轴晶体之间并用于聚焦它们之间的光束。

8. 如权利要求 5 所述的偏振光束分离器/组合器，其中该偏振旋转器为半波片。

9. 一种偏振光束分离器/组合器，用于提供对于一光学有色的空间色散元件的偏振补偿，以对其输入或输出进行光学耦合，其包括：

—第一单轴晶体，在其一端面上具有一个单端口；

—与第一单轴晶体光学耦合的第二单轴晶体，在其一个端面上具有一对彼此分开的端口；

—第一光路和第二光路，且此第一光路通过耦合第一单轴晶体的 o-光线光路和第二单轴晶体的 e-光线光路从所述一个单端口到所述一对端口中的一个端口，第二光路通过耦合第一单轴晶体的 e-光线光路和第二单轴晶体的 o-光线光路从所述一个单端口到所述一对端口中的另一个端口；以及

用于改变从第一单轴晶体到第二单轴晶体传播的光的有效偏振态 90° 的偏振旋转器，以使第一光路和第二光路具有选定的相对光路长度，以对光学有色的空间色散元件中已知的偏振模色散进行补偿。

偏振光束分离器或组合器

技术领域

本发明总体上涉及如单轴晶体之类的元件，被用于将未准直的输入光束分离成两正交偏振的子光束，或者将两正交偏振的光束组合成单一光束。

背景技术

诸如光学环行器（optical circulator）和隔离器之类与偏振相关的装置，通常需要将具有未知偏振态的输入光束分离成两个正交偏振的子光束。这些子光束通过该装置的往复和单向旋转器之类隔离元件按规定路线发送，并且在输出端被组合。然而，如果该光束按逆方向发射，则单向元件确保此光不会耦合回输入端口（input port）。金红石晶体用于将一输入光束分成两正交偏振的子光束从而用作偏振分束器，或者工作在相反方向上作为偏振光束组合器，是众所周知的。然而在本说明书中使用的术语偏振光束分离器，应当被理解为，同样的装置以反方向操作可被用作偏振光束组合器。

对在这些晶体中传播的光通常要被准直，最经常是靠梯度折射率（GRIN）透镜。在这种情况下，确保两光束分离所需要的较大晶体，其直径通常大到 350 μm 。然而近来发现，约为普通晶体尺寸 1/50 的非常小的晶体可与未准直的光束一起使用；使用这种小晶体会大大减小光学装置的制造成本。

许多偏振器和偏振分束器能将一输入光束分离成两正交偏振的光束，或者将两正交偏振光束组合成一输出光束，是技术上已知的。这包括 Glan-Thompson 偏振器，它是一块双折射材料切成棱镜然后胶合在一起，其作用是在胶合界面上反射一个偏振分量透过另一个偏振分量。另一种偏振器是 Glan-Taylor 偏振器，其与 Glan-Thompson 偏振器类似，

但使用空气间隔替代胶合来将偏振分量分离。Wollaston, Rochon 以及 Senarmont 分束器可通过让这些偏振分量透过一界面使其分离。

然而所有这些已有技术的偏振光束分离器/组合器的一个缺点在于,对于通过双折射率晶体传播的两被分离的正交偏振,存在一光路长度差。使用通过其传播的光未被准直的双折射晶体,将导致由离焦造成的插入损耗增大或对补偿光路长度差的需要。这些子光束沿慢轴和快轴行进,其对应于图 1 所示的这种光路长度差。在此图中,光纤 10 被表示为以其一端经过一透镜 12 与一金红石晶体 22 光学耦合。通常是在将该光束分成两正交偏振态之后将此光耦合进两光纤端部(未表示)。然后如图 1 所示,两焦点并不位于同一焦面上。这是由于对通过晶体 22 的 e-光线和 o-光线的光路长度差造成的。一般说来,成对的光纤是以固定方式紧固在一光纤管中的。在这种情况下,如果使用这种管而且被配置在光斑 14a 或 14b 之一处,则另一光斑不会在此管端部的焦点上,而且不是 e-光线就是 o-光线的光路耦合差。

发明内容

本发明的目的在于提供一种能够减小或排除这种光路长度差的装置,或者对于光学装置中 PMD(偏振模色散)提供补偿。

本发明的目的在于提供一种偏振光束分离器/组合器,其对于通过它传播的两个分离的或组合的未准直光束具有基本相同的光路长度。

另一方面,本发明的目的在于提供一种偏振光束分离器/组合器,其对于通过它传播的 TE 和 TM 偏振模能提供一可选择的光路长度差。

对于具有相等光路长度的光束分离器/组合器的一种应用被发现在集成光学的有色空间色散元件中,其中的偏振作用引起多余的损耗。在有色的空间色散元件中存在三种作用,都是受光的偏振状态的影响。这就是与偏振有关的波长(PD λ)、偏振模色散(PMD)以及与偏振有关的损耗(PDL)。

Ando 等人转让给 Nippon Telegraph and Telephone 公司的美国专利 5,901,259,建议将一聚酰亚胺光波片插在一光波导装置的中间,以降

低平面光波线路对偏振的依赖性。然而这难于制造并在该装置中引入不希望的损耗。

根据本发明的偏振光束分离器/组合器，可被用在一光学有色空间色散元件的输入或输出端，以克服这些偏振影响而制造工艺并不困难，或不会引入不令人满意的损耗。

因此，本发明的进一步目的在于提供一种偏振光束分离器/组合器，用于补偿光学有色的空间色散元件中的偏振影响。

根据本发明，提供一种偏振光束分离器/组合器，用于将一束输入光分成具有正交偏振的第一和第二子光束，其包括：一第一端口，用于将所述输入光沿一正方向入射到该偏振光束分离器/组合器中；一第一单轴晶体，其光学耦合到所述第一端口，以将所述输入光分为所述第一和第二子光束，所述子光束沿分开的一 o-光线光路及一 e-光线光路传播；一第二单轴晶体，其具有一 e-光线光路及一 o-光线光路，以使此第二单轴晶体的 e-光线光路与第一单轴晶体的 o-光线光路光学耦合，并使此第二单轴晶体的 o-光线光路与第一单轴晶体的 e-光线光路光学耦合；以及与第二单轴晶体的一端面光学耦合的第二端口和第三端口，用于输出所述第一子光束和第二子光束，其中该偏振光束分离器/组合器对于通过其传播的所述第一子光束和第二子光束提供选定的相对光路长度。

根据本发明，另外提供一偏振光束分离器/组合器，其中第二晶体的主轴按这样一种方式对准，以使第一单轴晶体的 o-光线光路受第二单轴晶体的非常折射率延迟，第一单轴晶体的 e-光线光路受第二单轴晶体的寻常折射率延迟，以决定其相对光路长度。

根据本发明的另一个实施例，包括一在第一单轴晶体和第二单轴晶体之间的偏振旋转器，用于沿一正方向将从第一单轴晶体接收来的光的偏振旋转。

在本发明的又一实施例中，该偏振光束分离器/组合器包括一偏振器，位于所述第一端口和所述第一单轴晶体之间，用于补偿光学装置中与偏振有关的损耗。

另一方面，根据一优选实施例，一种偏振光束分离器/组合器，用

于提供对于一光学有色的空间色散元件的偏振补偿，以对其输入或输出进行光学耦合，其包括：一第一双折射光束元件，在其一端面上具有一个单端口；一与第一双折射元件光学耦合的第二双折射元件，在其与所述一单端口相关联的端面上具有一对彼此分开的端口；一第一光路和第二光路，且此第一光路为从所述一个单端口到所述相关联的一对端口中的一个端口，第二光路为从所述一个单端口到所述相关联的一对端口中的另一个端口；以及用于改变从第一双折射元件到第二双折射元件传播的光的有效偏振态的偏振旋转器，以使第一光路和第二光路具有选定的相对光路长度，以对光学有色的空间色散元件中已知的偏振模色散进行补偿。

附图说明

现在将结合附图描述本发明的例示性实施方案，其中

图 1 为说明当两条未准直光束射入一双折射晶体，沿与两子光束光路长度差对应的慢轴及快轴传播时出现问题的示意图；

图 2 为表示本发明一实施例的示意图，其中的偏振分量分开表示以便于观察；

图 3a 至 3d 示意说明一条光束，表示当其射入第一双折射晶体及作为两条子光束通过一偏振旋转器，随后通过第二双折射晶体时（如图 2 所示）的偏振和位置；

图 4 表示本发明的另一实施例，其中的双折射晶体被直接耦合；

图 5a 表示本发明又一实施例的示意图，其中的偏振光束分离器/组合器包括两块晶体，具有定向的光轴，以在第一晶体中提供偏振分离及在第二晶体中通过折射率提供光路长度差；

图 5b 说明对射入图 5a 所示装置中的光的偏振态及位置；

图 6 表示另一偏振光束分离器/组合器的示意图，在其结构中包括准直与聚焦透镜；

图 7a 说明在中阶梯光栅中与偏振相关的 λ 作用；

图 7b 说明在阵列的波导光栅中与偏振相关的 λ 作用；

图 7c 为总体上对于一有色的空间色散元件 (CSDE) 与偏振相关的 λ 作用的示意说明;

图 8a 说明一双折射组件 (module), 包括在一光学有色的空间色散元件的输入端采用的偏振光束组合器;

图 8b 说明一双折射组件, 包括在一光学有色的空间色散元件的输出端采用的偏振光束组合器;

图 9 为一简化的双折射组件的示意图, 包括单块金红石晶体作为偏振分离器/组合器;

图 10 为与图 2 所示实施例对应的一双折射组件的示意图;

图 11 为根据本发明的另一折射组件的示意图;

图 12a 为一提供准直光束给双折射组件的透镜的示意说明; 以及图 12b 为一提供准直光束给双折射组件的另一透镜的示意说明。

具体实施方式

现在返回图 1, 所示为一未准直的光束从光纤 10 射出经一透镜 12 后通过一小的双折射晶体 22, 并且两个焦点 14a 和 14b 被表示在不同的焦平面 13a 和 13b 上。为将正交的空间分开的两条子光束耦合至光纤中, 需在双折射晶体 22 和两条光纤之间有聚焦透镜。由于子光束之一的对应于 o-光线的子光束所遵循的光路长度大于对应于 e-光线的另一子光束所遵循的光路长度, 所以两子光束的焦平面是不同的。如果两条光纤与该透镜分开一相同距离, 则此焦平面的不同应导致很差的耦合。

现在参见图 2, 根据本发明一实施例, 一双折射金红石晶体 22 形式的第一单轴光束分离器/组合器, 被表示为与相等长度的第二金红石晶体 24 光学耦合。对于用作单轴偏振光束分离器/组合器的材料, 例如包括金红石 (TiO_2)、钒酸钇 (YVO_4)、氟化镁 (MgF_2)、石英 (SiO_2)、铌酸锂 (LiNbO_3) 和方解石 (CaCO_3)。一偏振旋转器 26 (优选为一半波片) 被配置在两金红石晶体 22 和 24 之间。尽管元件 22、24 和 26 被表示为分开的, 但其间具有间隙, 实践中它们彼此接触且在空间粘附有薄的透气层和/或减反射涂层。这种类型的耦合元件, 在光学环行器和隔

分离器领域实际上是公知的。图 2 表示晶体 22 及 24 的光轴如此配置，以使第一金红石晶体 22 的 o-光线光路和 e-光线光路分别与第二金红石晶体 24 的 e-光线光路和 o-光线光路耦合。结合图 3a 至 3d 所示对于通过图 2 实施例的光的位置和偏振态的说明，将能很好地理解图 2 所示装置的操作。

在操作中，未准直的光束沿晶体 22 一端的光轴射入入射端口，这种状态下的光束被表示在图 3a 中。然后此光束被分离成由图中主光线表示的子光束，e-光线沿着该晶体的 e-光线光路，o-光线沿着该晶体的 o-光线光路，如图 3b 所示。当这些子光束射出晶体 22 时，它们被分开以距离“d1”。为清楚及简单起见，这由主光线表示。然后这些光束被半波片 26 旋转 90°，并以图 3c 所示的偏振态出现。因此在其被旋转之后 e-光线被提供给第二块金红石晶体 24 作为 o-光线。从第一块金红石晶体 22 出来的 o-光线被提供给第二块晶体作为 e-光线。通过这样做，两条光线或子光束被进一步分离以距离“d2”，如图 3d 所示。比较有利地是，可以看出，从输入光束分出的两条子光束的光路长度，可以根据偏振状态来控制。通过使用相等长度的晶体 22 及 24，两种偏振态的光路长度基本上相等。通过改变晶体长度、根据晶体切割的光轴取向以及晶体材料，可将一选定的相对光路长度差引入两种偏振态之间，以对偏振模色散作用提供补偿。

优选该半波片 26 的光轴与第一及第二块单轴晶体 22 及 24 的双折射轴约呈 45°取向。也还优选该半波片 26 的光轴与从第一单轴晶体 22 入射其上的光的偏振约呈 45°取向。

比较有利地是，本发明提供一种耦合光的途径，构成来自小块晶体的有效的偏振多样性（polarization diverse）而不会遭遇使用未准直光时不等光路长度的缺点。对于许多应用来说，本发明的装置被利用来与耦合在第二块金红石晶体 24 端面上的端口或其所有端口（即包括第一晶体 22 端面上的端口）上的偏振保持光纤一起使用。

图 4 表示根据本发明的偏振光束分离器/组合器的又一实施例，其中双折射晶体 40 形式的第一单轴光束分离器/组合器以及相同长度的双

折射晶体 42 形式的第二单轴光束分离器/组合器，被直接耦合。在此实施例中，第二双折射晶体 42 的光轴相对于第一双折射晶体 40 的光轴旋转 90° ，如从图 4 中看到的那样，其中晶体 40 的光轴配置在图平面上，晶体 42 的光轴则离开此图平面。通过适当地定向双折射晶体 40 和 42，第二双折射晶体 42 的 o-光线光路与第一双折射晶体 40 的 e-光线光路光学耦合，而且第二双折射晶体 42 的 e-光线光路与第一双折射晶体 40 的 o-光线光路光学耦合，因而两条输出光纤之间的分离得到匹配。相对旋转两晶体 40 及 42 的光轴，从而构成一用于改变从第一双折射元件向第二双折射元件传播的光的有效偏振态的装置。比较有利地是，如从图 4 中看到的那样，在本实施例中不需要使用旋转器来产生具有相等或选定光路长度的偏振光束分离器/组合器。

在许多应用中，图 2，4 及 5a 中提供的装置，具有与该装置一侧的两个端口光学耦合的偏振保持光纤 23。在该装置的另一侧，一光纤 21 与该装置光学耦合。与本发明装置的应用有关，光纤 21 为一标准光纤或偏振保持光纤。偏振保持光纤可以用在光纤 21 上，例如利用组合的正交偏振光束的相位差来达到混合的偏振输出。另外，任何端口都可与一集成的波导装置直接耦合。

图 5a 表示本发明的又一实施例，其中双折射晶体 50 形式的单轴晶体与第二单轴晶体 52 光学耦合。晶体 100 使寻常光线和非寻常光线分离。第二晶体 52 具有按 0° 切割的光轴（在该晶体面的平面内），并按一定方向对准，以使寻常光线遭遇（see）晶体 52 非寻常折射率，非寻常光线遭遇晶体 52 的寻常折射率。该图表明该晶体反射这种类型的光线。在第二晶体 52 的端部，两光线所遵循的光路长度是等效的。第二晶体 52 起延迟器作用，以均衡光路长度。第一晶体 50 的厚度是由该晶体 50 的光轴方向以及第一和第二晶体 50 和 52 的材料决定的。不同的晶体 50 和 52 的材料可以不同，例如 YVO_4 和金红石。

图 5b 表示通过该偏振光束分离器/组合器的主光线的偏振态和位置。在端口 51 处对第一晶体 50 的输入被表示为混合的偏振。正交的偏振由第一晶体 50 分离，并且无旋转地输入第二晶体 52。在此实施例中，

分离是由对第一晶体 50 的材料和尺寸的选择决定的。第二晶体 52 提供光路长度的均衡。晶体 52 的输出仍具有相同的偏振，但以与晶体光轴成一定角度通过第二晶体 52 的 o-光线遭遇非寻常折射率，而且 e-光线遭遇该晶体的寻常折射率。因此，切割第二晶体构成一用于改变由第一双折射元件向第二双折射元件传播的光的有效偏振态的装置。其结果是，o-光线比 e-光线更加延迟，以均衡光路长度。

图 6 为本发明的另一实施例 60，其包括透镜 63 及 65，以接收来自第一晶体 62 的子光束并将射向旋转器 66 的子光束准直，且在此光通过第二晶体 64 之前使此子光束聚焦。一般说来，小于 1/4 间距的梯度折射率（GRIN）透镜可以应用，因为来自晶体的光是发散的而不再是点光源。当然，其它非球面透镜也可使用。比较有利地是，通过使光束于通过晶体之后被准直，晶体的尺寸不必增大以适应大的准直光束。进一步的优点在于，由于放大率为 1: 1，故此耦合得以改善。更大的耦合损耗会发生，假如使用较长的透镜来聚焦此整个分离器组合的输出，因为该组合的厚度会引起更大的光束发散，导致离焦象差。

如上所述，根据本发明的偏振光束分离器/组合器可被耦合到一集成的光学有色空间色散元件上，以减小与偏振有关的波长（ $PD\lambda$ ）、偏振模色散（PMD）和与偏振有关的损耗（PDL）的偏振影响。

图 7 表示两种类型的集成光学有色空间色散元件。第一个例子 7a 用在平面波导技术中，其中的色散是由中阶梯光栅 72 产生的。第二个例子 7b 为一阵列波导光栅（AWG）76。在 7a 和 7b 两个例子中，以 λ_1 给出的光通过该装置后对于该色散元件中的不同偏振态将不会有相同的相位延迟。这将引起该光遵循两条不同的光路，并且对于两种不同的偏振态（TE 和 TM）在两个不同的位置上（B 和 C）结束。这就是所谓的 $PD\lambda$ 。同样的作用还将引起两光束之间的时延，这将产生某种 PDM。由于 TE 和 TM 并不具有相同的传输损耗，所以两个输出将具有不同的强度，这就是所谓 PDL。

对于任何集成光学有色的空间色散元件（70）来说，这种偏振相关性可通过本发明的偏振束分离器/组合器来缓解。名称为双折射组件

100 的偏振束分离器/组合器，被与色散元件 70 耦合。如图 8 所示，一双折射组件可被耦合在该色散元件的输入或输出端。

由 $PD\lambda$ 引起的 B 和 C 之间的横向偏置，可由单个双折射元件 90 来补偿，如图 9 所示，它是一简单的偏振束分离器/组合器。然而偏振模色散未被矫正。

图 10 表示一类似图 2 所示实施例的双折射组件 100，其中 TE 和 TM 偏振态的光路长度基本相等。每个晶体的厚度和光轴取向被进行选择，以便给出所需距离 d 的总的偏振偏置，并在与 CSDE 延迟具有相反值的两偏振之间产生一时延。因此，通过使本设计不同于基本相等的光路长度，该双折射组件 100 可以提供对 CSDE 70 中 PMD 的补偿。

由于被射在此单轴晶体输入面上任一点的光将继之以平行的 e-光线和 o-光线光路，故此光束分离器/组合器可以有許多端口，意指光被射入的输入位置或由双折射元件接收的输出位置。为与色散元件一起使用，光束分离器/组合器 100 在该装置的一侧将有許多对端口，并在该装置的相反一侧有許多单端口，每对端口均有相关联的单端口。这些对端口可被设置来从色散元件 70 接收光，或将光射入色散元件 70，如图 8 所示。

图 11 表示双折射组件 101 的另一实施例，在该组件 101 的光束被组合的端面上包括一偏振器 110。该偏振器被选择为在两个偏振态之间具有一定的消光比，以对此 CSDE 70 中的 PDL 进行补偿。因此，如果在通过此 CSDE 之后两偏振态的光的强度并不相等，则一偏振器可被选择来吸收该双折射组件 101 输出端较少衰减的偏振态的一部分。

双折射组件 100/101 中的损耗，可以通过引入透镜 120 减至最小，以在此双折射组件 100/101 之前或之后使该光束成象和聚焦，如图 12 所示。另一方面，如参照图 6 所述，透镜 63 和 65 可提供在双折射组件 100/101 中。

许多实施例均可被设想出来，而不离开权利要求书中限定的本发明的精神和范围。

图 1

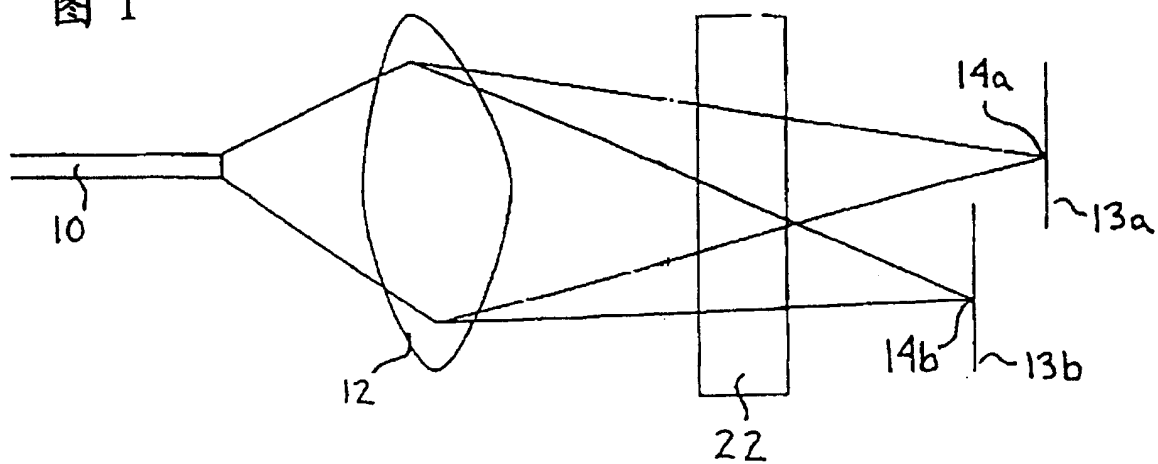


图 4

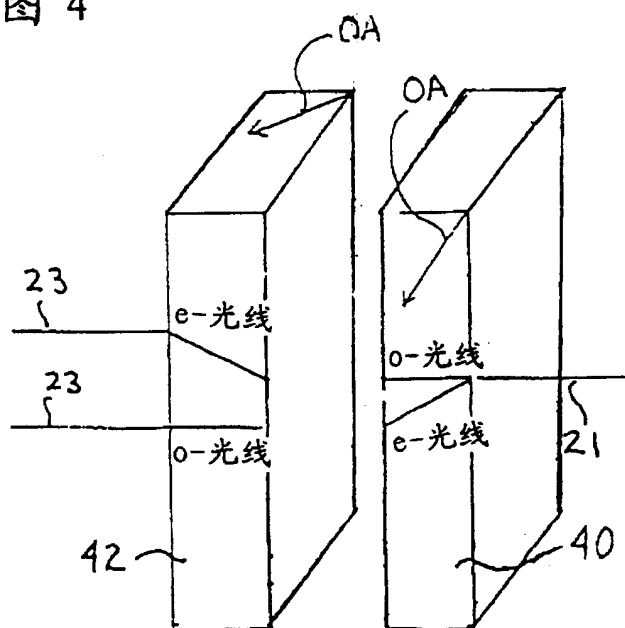


图 2

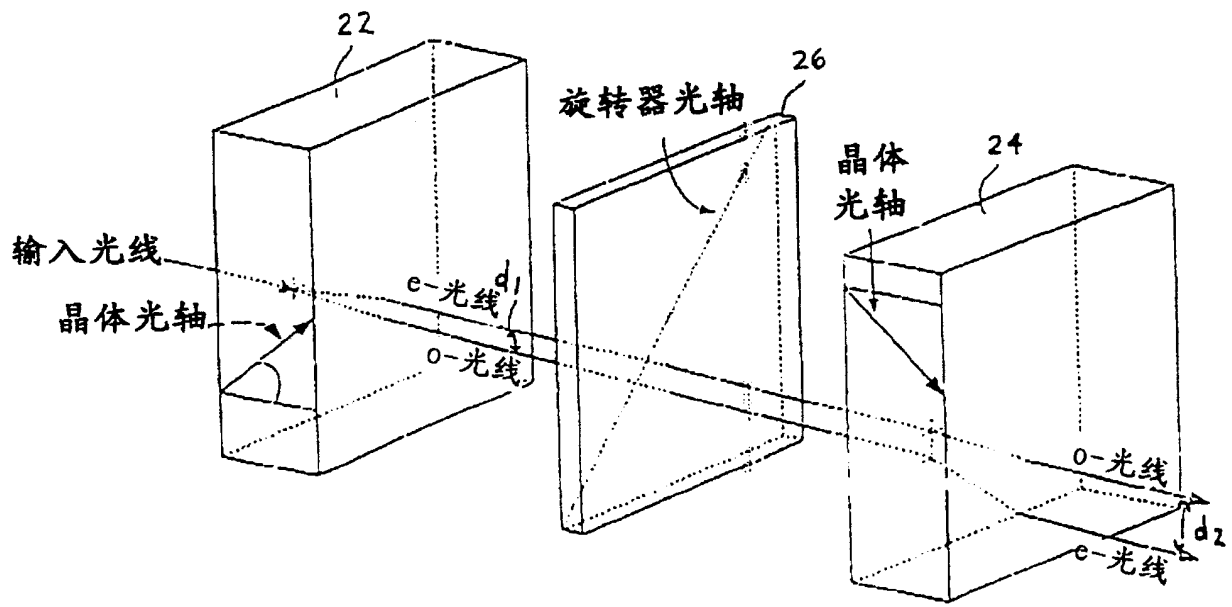


图 3

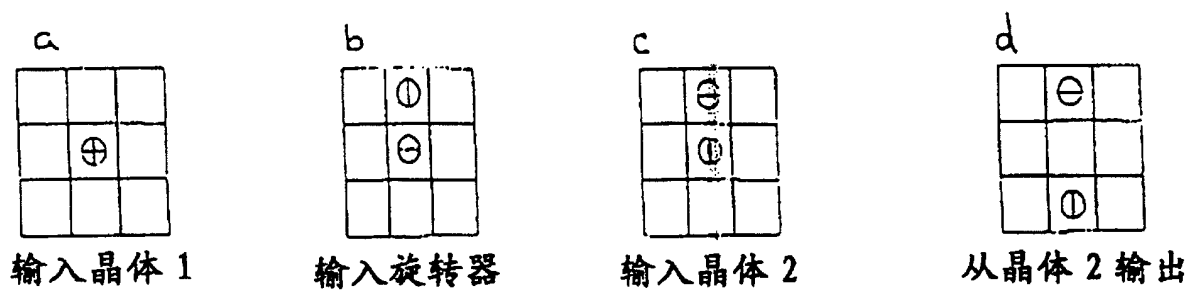


图 5a

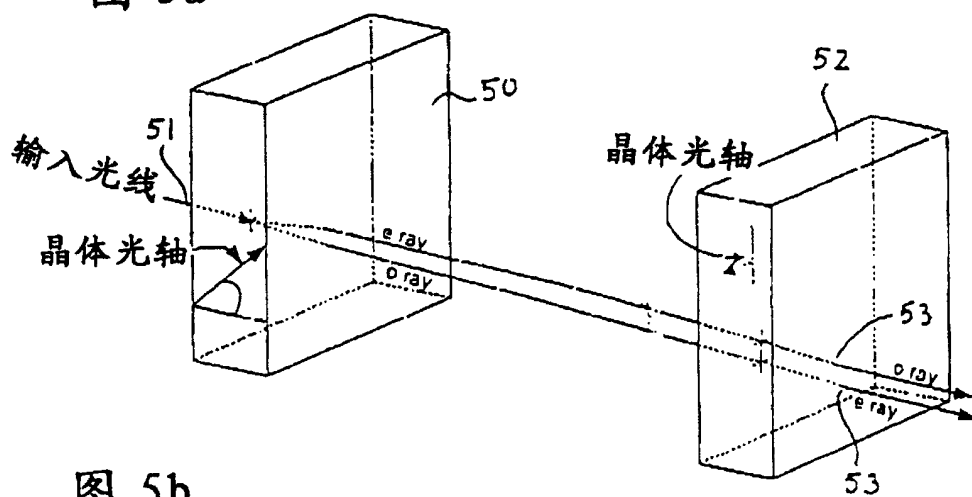


图 5b

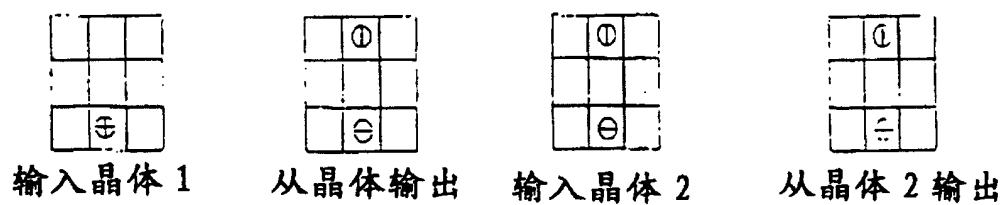


图 6

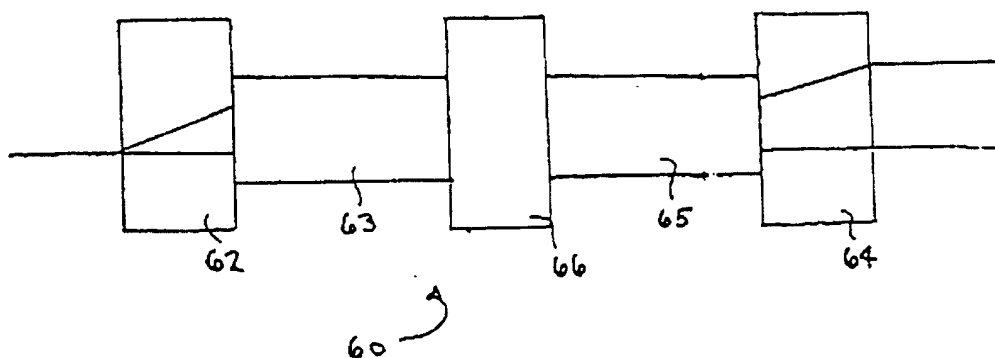


图 7a

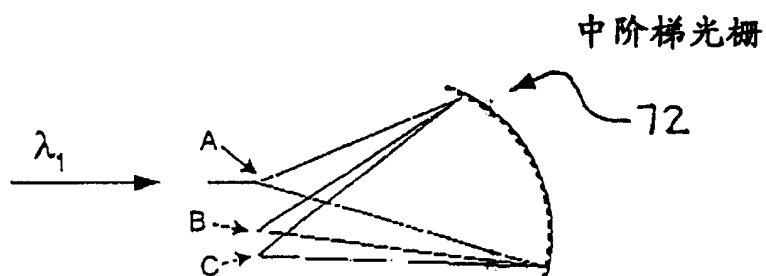


图 7b

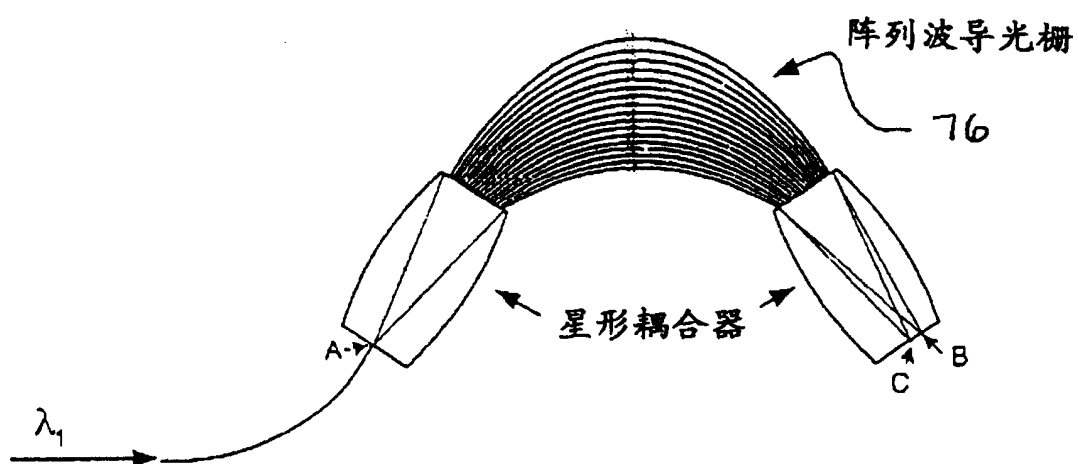


图 7c

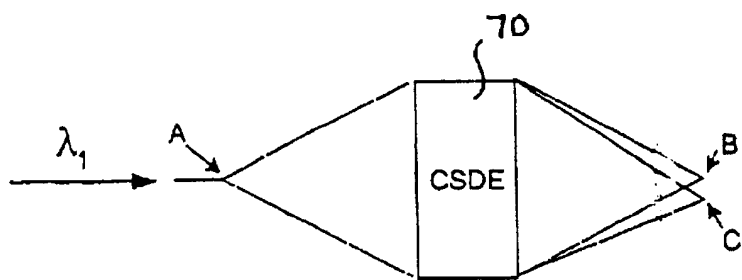


图 8

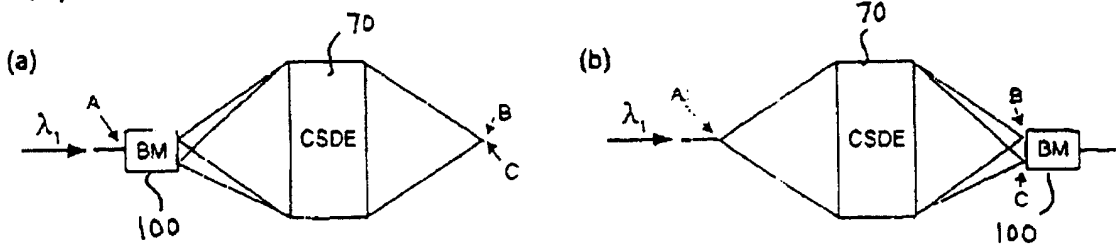


图 9

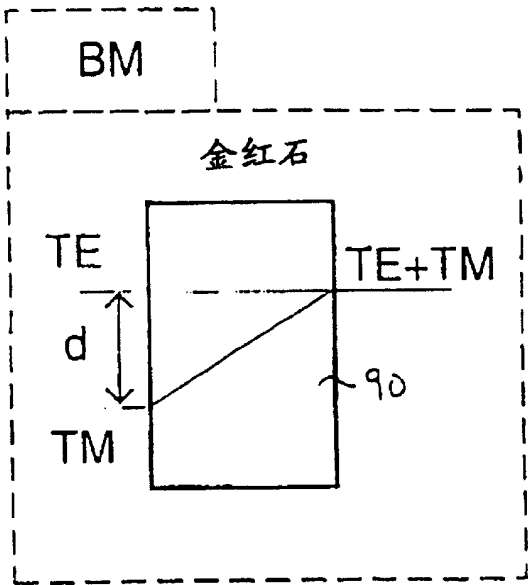


图 12

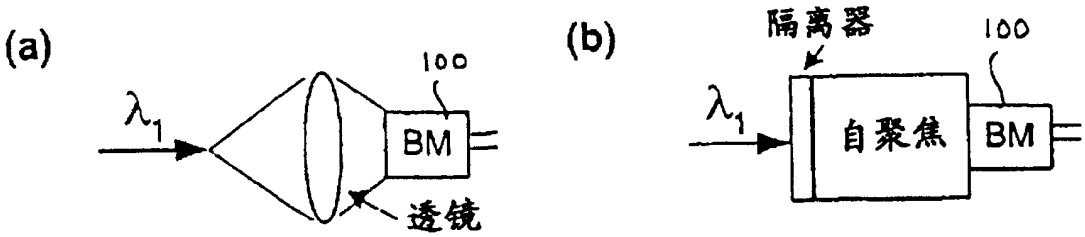


图 10

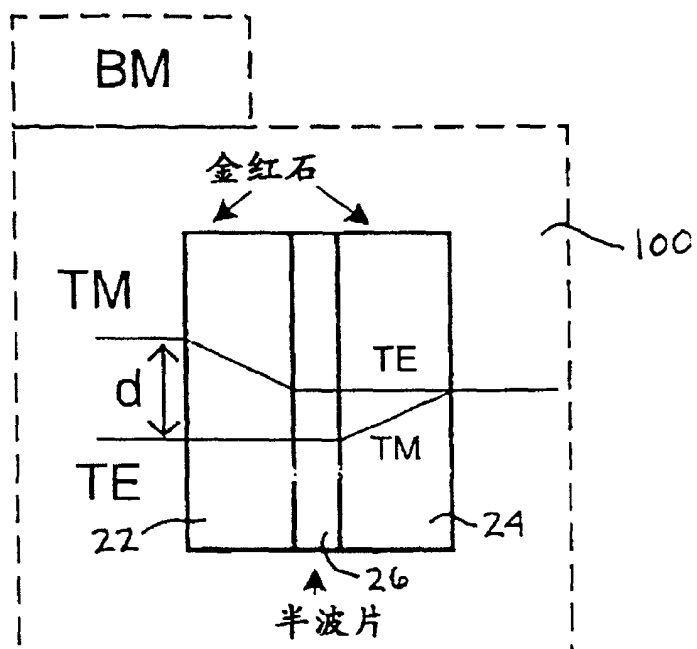


图 11

