

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01135451.8

[43] 公开日 2002 年 9 月 18 日

[11] 公开号 CN 1369720A

[22] 申请日 2001.10.10 [21] 申请号 01135451.8

[30] 优先权

[32] 2000.10.10 [33] US [31] 60/238,440

[32] 2000.12.4 [33] US [31] 09/727,439

[71] 申请人 JDS 尤尼费斯公司

地址 美国加利福尼亚

[72] 发明人 罗伯特·R·麦克利奥德

亚当·科恩

[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

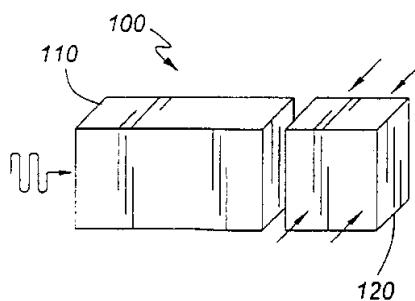
代理人 范莉

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图页数 4 页

[54] 发明名称 应变稳定型双折射晶体

[57] 摘要

本发明公开了一种用于稳定的、温度不敏感的双折射晶体干涉仪(BCI)中的光学系统。该光学系统包括：一块有输入和输出端口的导光双折射材料，该材料在所需的设备工作的光谱范围内的一个温度时有一次净迟差；以及施加应变装置，该装置用于给第一块材料或光耦合到第一块材料上的另一块导光材料引入一个应变，引入的应变可以维持该净迟差与在另一个温度时的净迟差几乎相等。对比使用两种晶体的BCI，使用一种晶体的光学系统的优越性是其价格更便宜、更耐用、效果更好。



ISSN 1008-4274

权利要求书

1. 一种光学系统，它包括：

一块带有一个输入端口和一个输出端口的导光双折射材料，该材料在第一个温度时会引起一次光的迟差；以及

施加应变装置，该装置用于给第一块材料或光耦合到第一块材料上的另一块导光材料引入一个应变，引入的应变使第二次净迟差至少在另一温度维持与第一次迟差几乎相等。

2. 根据权利要求 1 所述的光学系统，其中施加应变装置是一种无源装置。

3. 根据权利要求 2 所述的光学系统，其中施加应变装置包括一个与第一块或第二块材料相接触的器件，该器件和与其物理接触的材料块有不同的热膨胀系数。

4. 根据权利要求 3 所述的光学系统，其中施加应变装置和与之接触的材料块可以相对移动来改变相互作用长度 L_i 。

5. 根据权利要求 4 所述的光学系统，其中该器件是一个支撑材料块并与其三个面相接触的装配座。

6. 根据权利要求 5 所述的光学系统，还包括在装配座和与之接触的材料块之间的一个用于提供均一应变的缓冲层。

7. 根据权利要求 1 所述的光学系统，其中第二块导光材料是各向同性的。

8. 根据权利要求 1 所述的光学系统，其中至少在第一块或第二块导光材料中至少有两个相当平整的相对面，其中施加应变装置包括与至少这两个相对面密切接触的一个装配座，该装配座用于在至少第一块或第二块导光材料中引入一个压缩应变。

9. 一种补偿双折射材料的热漂移的方法，包括如下步骤：

提供在第一个温度时会引起一次光的迟差的一块导光双折射材料；以及

通过在一块导光双折射材料或另一块导光材料上施加一个应力，

01·10·11

来维持在另一个温度时的净迟差与第一次迟差几乎相等。

10. 一种补偿双折射材料的热漂移的方法，包括如下步骤：

提供在第一个温度时有一次净迟差的一种导光器件，此导光器件包括一块双折射材料；以及

通过给该导光器件的至少一部分引入一个应变，来维持该导光器件在另一个温度时的净迟差。

说 明 书

应变稳定型双折射晶体

发明领域

本发明涉及双折射晶体，特别涉及到一种温度稳定的双折射晶体，该晶体应用于具有稳定性、且与温度无关的双折射晶体干涉仪中。

发明背景

干涉仪是许多重要的通信设备（包括 interleaver、色散补偿器和周期性滤波器）的基础，干涉仪的基本原理是将连续光分成两路光传播，产生可能不同的传播延迟，然后再将这两路光合并。

如果光源的连续波长大于两个光臂上的光程差，两个光信号在输出端的干涉可以灵敏地测量出两个光臂上的传播延迟差，如果输入光源的频率采用扫频方式，那么，干涉仪将表现为周期性传播，其频率为：

$$V_0 = \frac{c}{n_1 l_1 - n_2 l_2} \quad (1)$$

其中 c 是自由空间中的光速， n_i 和 l_i 分别是两个光臂 $i = 1, 2$ 上的折射率和物理光程，此频率通常称作干涉仪自由光谱区（FSR）。

为使工作稳定， $n_i l_i$ 两乘积的稳定性应比一个光波长的稳定性要好得多，在光通信波段中，要求达到 10nm 量级以上的稳定性，但此稳定性很难维持。众所周知的是，现有技术可以设计出能提供这种稳定光程的双折射晶体干涉仪（BCI）。

在由单轴双折射晶体材料组成的干涉仪 BCI 中，这两个（路径）只是指通过该材料的两束正交线偏振光的光程，由于其中一束偏振光为非寻常光，其折射率为 n_e ，另一束为寻常光，其折射率为 n_o ，两者光程差（也称作迟差）记为 Δnl ，其中双折射 Δn 等于具有正介电各向异性材料的 $n_e - n_o$ 的值，从下列方程式中可以得出干涉仪的 FSR：

$$V_0 = \frac{c}{\Delta nl} \quad (2)$$

由于 $l_1 = l_2 = l$ ，是一个自动相等的值，只有双折射 Δn 与晶体总长

度 I 两者的改变才能够影响干涉仪的工作，实际上，温度变化可以使这些特性都发生变化，在某种程度上，这些特性是通过沿着导光方向的热光系数（实际上，是与 n_o 和 n_e 相关的两个热光系数的差值）以及热胀系数（CTE）这些物理参数来体现的。

对这种温度相关性问题，Kuochou Tai 及其同事在申请号为 No. 09/476,034 的专利中已经提出了一个解决办法，Kuochou Tai 等人将两个不同材料的晶体叠起来，使得双晶体 BCI 与温度无关，例如，适当选择钒酸钇 (YVO_4) 晶体和金红石 (TiO_2) 晶体可以提供一种对于温度和机械微扰都很稳定的干涉仪。

然而，这种方法有几个缺点。

首先，制造有足够精度等长的两个晶体是很困难的，为克服此局限，挑选几对晶体使得两者的结合具有所需的 FSR。

其次，尽管选择的晶体对具有所需的 FSR 并且温度稳定，但是它们并不恰好在重要的光频区（国际电信联盟的栅格）产生共振，为调整干涉仪的共振频率，现有的做法是加一个石英薄片（厚度一般在 180 至 210 微米），相应地，每对晶体要经过测量并且选择合适的石英片来调节共振频率。

最后，如果在装配时一块晶体相对于另一块晶体旋转，就可能改变有效长度和/或有效折射率（从而改变有效双折射），从而在 FSR 和温度相关关系中引入不期望的变化。

本发明的目的是，提供一种应用于热稳定的 BCI 中、并且能排除现有技术缺点的双折射晶体，同时这一晶体的迟差与温度无关。

本发明的另一个目的是，提供一种光学迟差系统，同时该系统应用于稳定且与温度无关的 BCI 中，该 BCI 可以在 interleaver 周期性滤波器和/或色散补偿器中使用。

发明概要

本发明涉及一种稳定的、对温度不敏感的双折射晶体干涉仪 (BCI)，该干涉仪只使用一种晶体并且可以用 interleaver 周期性滤波器和/或色散补偿器中，对比使用两种晶体的 BCI，使用一种晶体的光

学系统的优越性是其价格更便宜、更耐用、效果更好。

根据本发明公开了一种光学系统，它包括：一块有一个输入端口和一个输出端口的导光单轴双折射材料，该材料在第一个温度时会引起一次光的迟差；以及施加应变装置，该装置用于给第一块材料或光耦合到第一块材料上的另一块导光材料引入一个应变，引入的应变使第二次净迟差至少在另一温度维持与第一次迟差几乎相等。

根据本发明，公开了一种补偿双折射材料的热漂移的方法，包括如下步骤：提供在第一个温度时会引起一次光的迟差的一块导光双折射材料，以及通过在一块导光双折射材料或另一块导光材料上施加一个应力，来维持在另一个温度时的净迟差与第一次迟差几乎相等。

根据本发明，还公开了另一种补偿双折射材料的热漂移的方法，包括如下步骤：提供在第一个温度时有一次净迟差的一种导光器件，此导光器件包括一块双折射材料；以及通过给该导光器件的至少一部分引入一个应变，来维持该导光器件在另一个温度时的净迟差。

为方便起见，名词“净迟差”用在这里，指的是所需设备工作中的光谱范围内的净或总迟差。

附图简述

下面结合附图对本发明的具体实施例子进行说明：

图 1 是现有技术的示意图，该图说明了用于热稳型双折射晶体干涉仪（BCI）中的一块 YVO_4 晶体、一块 TiO_2 晶体以及一个 SiO_2 片的布局；

图 2a 是根据本发明设计的用于热稳型 BCI 的一块双折射晶体的示意图；

图 2b 是根据本发明设计的用于热稳型 BCI 的一块双折射晶体与一块玻璃的示意图；

图 3 是一个光学器件与一个装配座紧密接触的示意图，该装配座与该光学器件有不同的热膨胀系数，并且提供了在光学器件中应力引入的双折射的装置；

图 3a 是双金属装配座与光学器件的截面图；

图 4a 与 4b 是根据本发明关于应变 (S) 与温度 (T) 的关系曲线图;

图 5 是图 3 中光学器件与装配座的示意图，通过改变光学器件与装配座之间的一个相互作用长度，来改变应力引入的双折射量；

图 5a 是图 5 中光学器件与装配座的示意图，其中光学器件相对于装配座是可以移动的；

图 5b 是图 5 中由两种不同金属组成的装配座的示意图。

发明的详细说明

参照图 1，该图表示现有技术的一种光学系统，该系统应用于有两种双折射晶体的双折射晶体干涉仪 (BCI)，其中一块 YVO_4 双折射晶体 10 与一块 TiO_2 双折射晶体 20 相邻。为了使该系统具有预先给定的自由光谱区 (FSR) 并且能提供热稳定性，每一块双折射晶体的成分与长度都是有所选择的。为了小幅度的调节干涉仪共振频率，应使一个石英 (SiO_2) 片 30 与第二块双折射晶体 20 相邻。如图所示，光从左向右传播，一个典型的例子是晶体的 c 轴位于与光路垂直的平面内。

转至图 2，根据本发明，该图表示用于双折射晶体干涉仪中的一种具有两种具体实施装置的光学系统 100，并且该系统只使用一种双折射晶体 110，BCI 的更高的温度稳定性及频率调制可以利用弹光效应来得到，其中通过在材料中引入一个应变来改变材料的双折射。在本发明中，通过给晶体或者被光耦合到晶体上的另一光学器件引入一个应变来使双折射晶体具有温度稳定性。

参照图 2a，一个如粗箭头所示的与温度相关的均匀应变场以与光的传播方向垂直的一个方向作用在一个单双折射晶体 110 上，应变场给晶体 110 的双折射引入一个变化，并通过方程 2 修改干涉仪的自由光谱区 (FSR)，对于某种依赖于无应变的 FSR 的温度，是有可能通过解决需要作为温度的函数的一个应变来补偿这个变化，得到一个温度稳定型的 BCI。

参照图 2b，温度相关的均匀应变场作用到一个单独的补偿片 120

上，为了得到一个补偿的且与温度相关的 FSR，补偿片由一种各向同性的材料（比如一玻璃块）制成，各向同性的玻璃块 120 由于受应变的影响而成为双折射的材料，由这种微小的附加的双折射所引起的迟差正好弥补了晶体的 FSR 的变化。

尽管这种具体实施装置有引入另一个光学器件的缺点，但从灵活性角度来看，这一具体实施也具备了以下几个优点。

首先，由于玻璃块 120 的唯一作用是弥补晶体的热漂移，通过对玻璃块 120 的材料与尺寸的选择来达到最好的效果，这与图 2a 中的具体实施例形成对比，通过方程 1 可以看出，该图中晶体 110 的材料与长度受所需的 FSK 的限制。

其次，对于一个给定的应变，由于引入的迟差与光通过的材料的长度成线性关系，补偿片 120 的额外长度会产生共振频率的额外漂移，大体上可以得出这么一个推论，通过增加玻璃的长度直到所需应力的最大值处在可接受范围内，那么，这一具体实施例在任一温度范围内都能给任何一种晶体提供补偿。

最后，这个具体实施例的优点是允许晶体 110 为一种无应变晶体，从而减小造成晶体破碎或其它损坏的机率，另外，由于晶体 110 是一种无应变晶体，晶体和/或温度范围的选择是以效率为基础，而不是以防止损坏为基础。

如技术中所熟知的，由应变引入的双折射以很高的精确度与应变成正比，在 FSR 内的由温度而引起的变化也几乎与温度成线性关系，因此，要求应变随温度成线性变化以抵消 FSR 的温度漂移。根据本发明的一种具体实施装置，通过将如图 2a 中的晶体 110 或如图 2b 中的玻璃块 120 限制在一个热膨胀系数与晶体 110 或玻璃块 120 不同的金属装配座中，就可以达到这个要求，因此，此具体装置有利地提供了一个紧凑性良好而且自稳定性很高的 BCI。

参照图 3，该图表示一个支持一种光学器件 140 的装配座 130，该器件要么是晶体 110 或者是玻璃片 120，像图 3a 中所示，装配座 130 更适合由一种金属或多种金属的混合物来作为其组件，在装置的所有

工作和储存温度中此装配座都与该光学器件紧密接触，当温度改变时，光学器件 140 与金属装配座 130 的热膨胀系数的差别在光学器件 140 中产生一个应力，该应力随温度成线性变化，正如所要求的那样（即金属装配座相当于一个施加应变装置），设计一个双或多金属装配座，使得作用于光学器件上作为温度函数的应力是金属 CTE 与尺度加权平均的一个函数，就如所有材料的杨氏模量，尽管装配座 130 描述为有三个面围绕矩形的光学器件 140，2 个面或 4 个面也是可以的，有利的是，这种三个面的设计提供一个整块的构造使光学器件 140 容易放入其中，装配座最好提供至少两个相对平面以便在晶体中产生压缩应变。

为了产生均匀的双折射以及减少那些容易损坏光学器件 140 的多余应力，贯穿于器件 140 的应变场最好是均匀的。为了进行这种均匀的装载，在装配座与晶体之间随机准备一个薄的缓冲层，这一层衬垫随着局部不均匀的应力而变形，因而提高了光学器件 140 与装配座 130 之间接触的一致性。然而装配座 130 的热传导最好较大以至于可以将装配座内的任一可能的温度梯度最小化，而且这一温度梯度将会通过装配座产生晶体装载的不均匀性，或者产生光学材料中温度相关的迟差上的不一致性。

进一步倾向于选择方向不同于将其最小化的方向的应变场，例如，当所引入的应力如图 2 所示与光信号的方向垂直时，由于晶体与装配座的热膨胀，晶体中的剪切力更易于被控制。

为了减小装配座 130 中光学器件 140 拐角附近的巨大的应力，将光学器件的拐角随意弄成圆形或进行倒角。

依赖于光学器件 140 在应变下的有效弹光系数的正负号，以及光学器件 140 的 FSR 随温度移动的正负号，光学器件 140 随温度线性增加或减少。

参照图 4a 与 4b，该图表示应变 (S) 对温度 (T) 的依赖关系。图 4 中斜率的符号可以通过比较光学器件 140 与装配座 130 的热膨胀系数的大小进行计算，例如，如果装配座的热膨胀系数比光学器件的

热膨胀系数大，应力则会随温度的增加而减少（图 4a），反之，如果装配座的热膨胀系数比光学器件的热膨胀系数小，应力将随温度的增加而增加（图 4b）。

如图 4 所示，预装载设定在室温（用星号标记），这样就超过了装置的储存温度范围，应力决不会超过材料的损伤域值或者减小到 0 以下，后者将导致装配座 130 与光学器件 140 分离。这种预装载还有一个重要性质，即调节 BCI 的共振频率，类似于现有技术中的石英片 30，在没有温度变化的情况下，为达到在给定应力下共振频率的最大改变，将光学器件 140 与装配座 130 的相互方位排列在适宜于产生最大有效弹光系数的方向上是很有利的，此系数可以由普通的技术人员通过各种可能的方向进行计算，为了使光学器件 140 与装配座 130 产生最大的应力，调整光学器件 140 的方向与引入应力的方向最大程度一致性是较为理想的。当然，这些考虑对于通常为各向同性的材料如玻璃块 120 并不重要。

参照图 5，此图表示另一种调节应力引入的双折射的方法。在此具体装置中，通过滑动装配座 130 对光学器件 140 的有效相互作用长度进行调节（由于施加应力在迟差中的变化 $\delta(\Delta n \cdot L_i)$ 与相互作用长度成正比，结合应用于装配座的应变而进行的适当设计，可以提供另一种装置，来调节初始总迟差，用于调节晶体长度的制造公差，以及调节随温度变化的迟差的斜率，用于调节材料的性质变化），装配座的设计最好是为了避免施加的应变场中的任何非均匀性，而应变场施加在与装配座直接接触的光学部件的外围部分；例如，如图 5a 所示，相对于整个装配座，移动光学器件 140 以改变相互作用长度。此外如图 5b 所示装配座可以由两种或多种金属构成，光学器件在光的传播方向上相对于装配座的运动，就改变了器件与各种金属的相对接触面积，进而改变了外加的应力，尤其是如图 5b 所示的双金属装配座并不局限于图 5 所示的具体装置，可以选择上述任何一种具体实施装置中所描述的装配座，其中需要提供两种或多种金属以使应力的作用处于平均状态。

有利的是，根据本发明设计的应变稳定型 BCI 的光学部件很少，因而降低了材料的成本、装配时间以及光学插损，同时增加了可靠性，通过加一个石英片以获得所需 FSR 与共振频率，来排除测量一堆两种类型的晶体以及挑选合适的晶体的必要，从而极大地降低了结构的复杂程度。

另外，本发明提供了一种设置共振频率的方法（在名义上的工作温度对应用的（预装载）应变进行连续调节并固定的设备），与数目有限的石英片所提供离散的调节相比，该方法更为准确与精确，由于调节在装备的晶体上进行，现在这个装置与方法也消除了由装备引起的 FSR 中的错误。

此外，本发明还提供了对 BCI 相关温度的一个更为精确的控制方法。由于本发明的温度弥补是通过光学器件与其装配座的相对热膨胀来进行控制的，通过这些膨胀的重复性来限制稳定性，由于晶体、玻璃与金属材料的合成可以充分重复，故系统的热稳定性便可得到精确控制。相反，双晶体 BCI 通过其长度的制造公差来设定其热稳定性，这还没有切入技术的要领。

尽管本发明描述的是使用压缩性应变，对于一个技术熟练者，会很明显地知道拉力（有弹性的）或剪切力能产生同样的效果。例如，拉力更适合于非常薄的补偿片（如一个塑料薄片）。

类似地，本发明还公开了一种方法。通过在晶体或各向同性材料中导入应力来改变 BCI 的相关温度，然后材料在应力下双折射性质会变弱，显然这些概念可以结合其它的温度稳定性或共振频率调制技术。

最好通过在横穿光的传播路径的方向上施加一个应力来引入应变。然而也可以在其它的方向施加。名词“应力”用在此处是指：当一个物体或其一部分推、拉、压另一个物体或该物体的一部分、或前者有挤压、扭曲后者的趋势时，产生的一个力，尽管在垂直于光的传播方向的一个轴上加一个应力是最方便的，也可以在两垂直的方向施加一个应力，或通过适当的装备给光传播的平行方向上施加一个应力。相应地，施加应变装置包括能够将应力作用于晶体 110 或玻璃块 120

上的任何设备，例如，使用压电传感器施加应力到光学器件 140 上的这种施加应变有源装置是可行的。

此处描述的所有物理效应的简单线性膨胀将导致应力随温度成线性变化的需要，然而通过适当地选择材料，可以获得更为复杂、非线性的功能。有利的是，此非线性可以用于 BCI 产生 FSR 随温度的所需的变动。另一方面，物理参数（如弹光效应、热膨胀系数或塑性）的非线性变化可以互相平衡以获得更高程度的温度补偿。

有利地是，此处描述的具体装置中，施加应变装置是无源装置，并且这种包括温度稳定型晶体的光学系统缺乏任何外部反馈回路。另一优越性是，在给定的温度范围与在所需的设备工作的光谱范围内，施加应变无源装置提供了导光器件（如双折射晶体或与玻璃块的结合物）的一个充分恒定的净迟差。

当然，在不偏离本发明的精神与范围的前提下，可以考虑许多其它的具体装置。

说 明 书 附 图

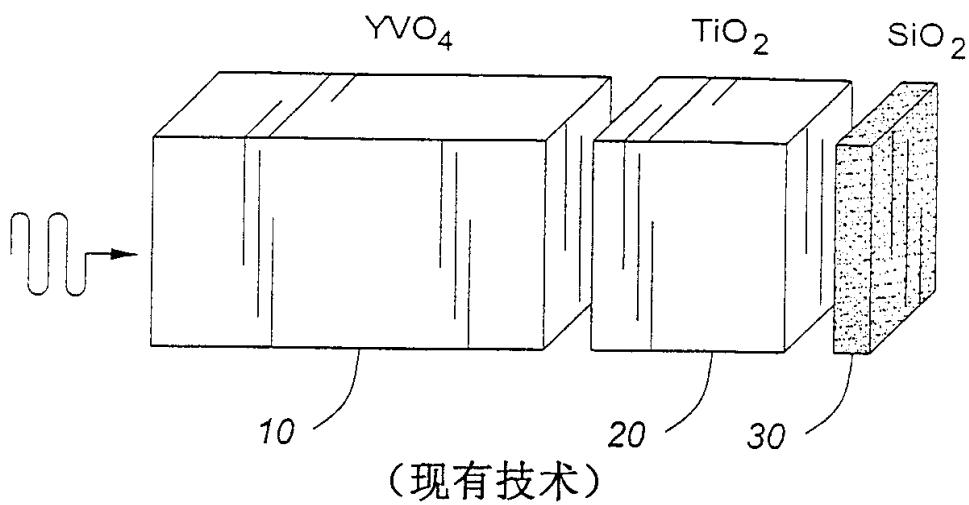


图1

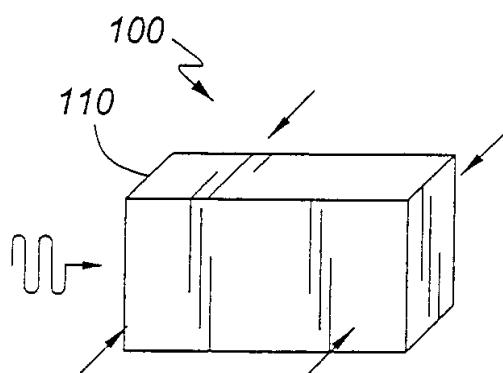


图2A

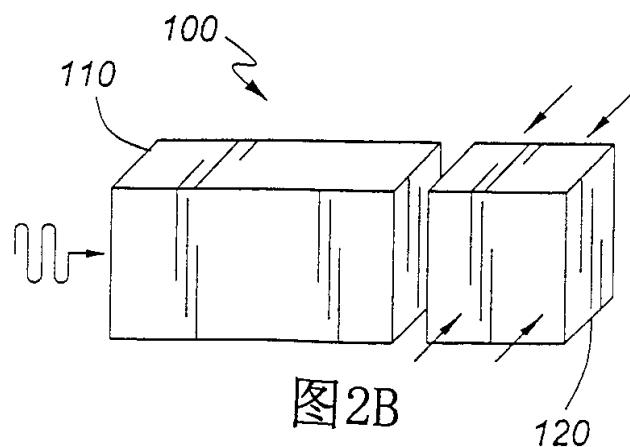


图2B

01.10.11

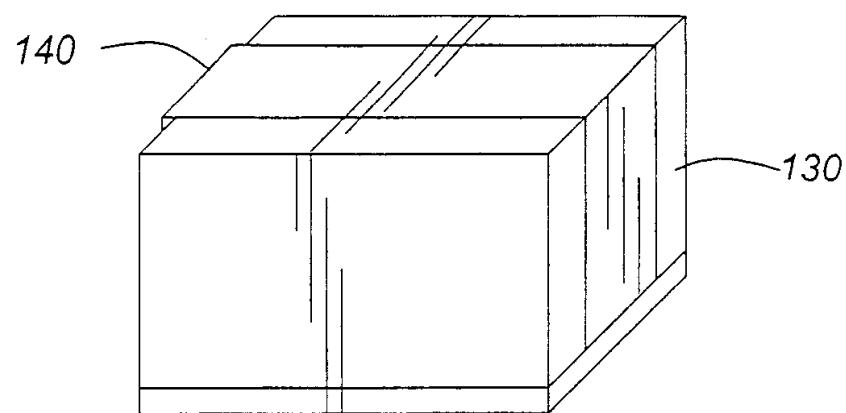


图3

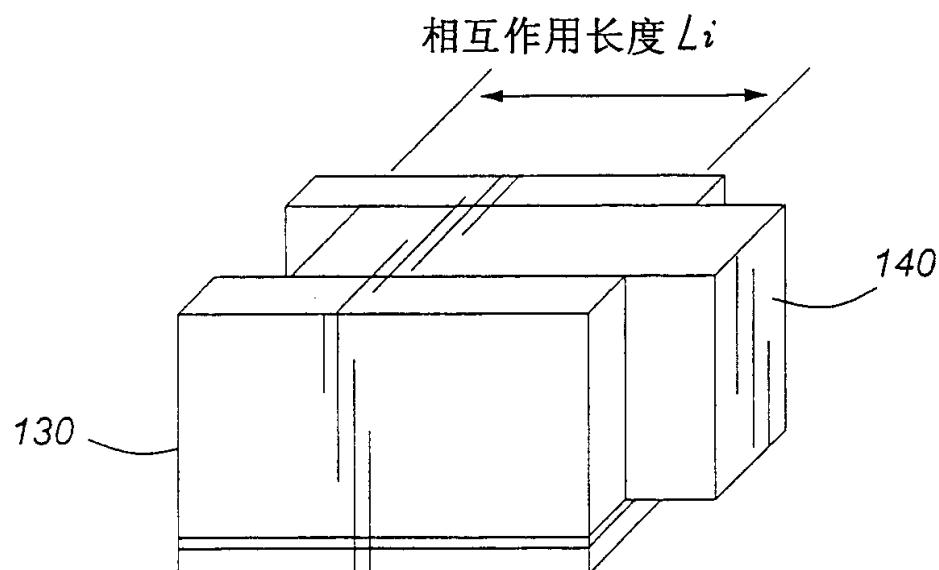


图5

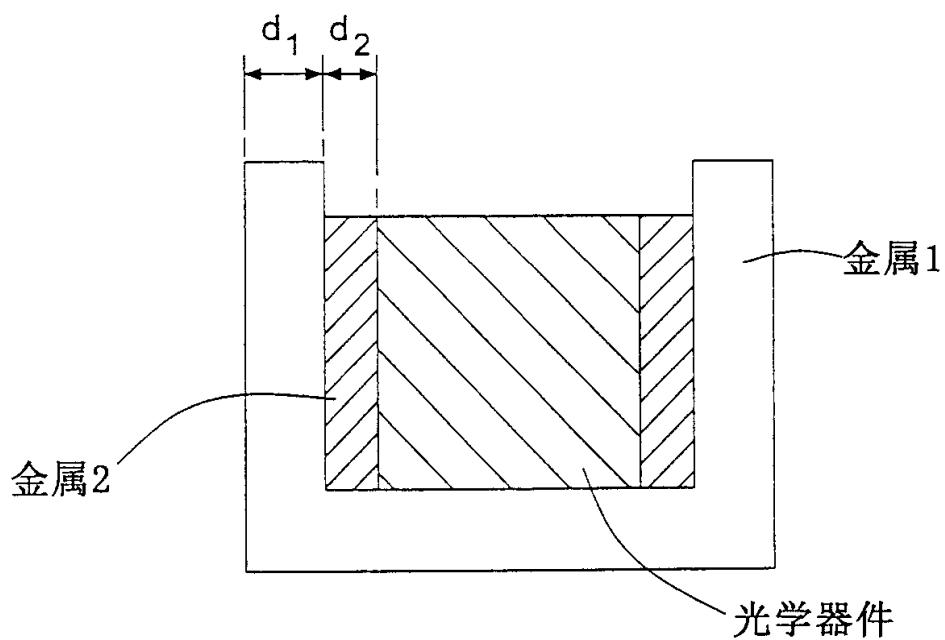


图3A

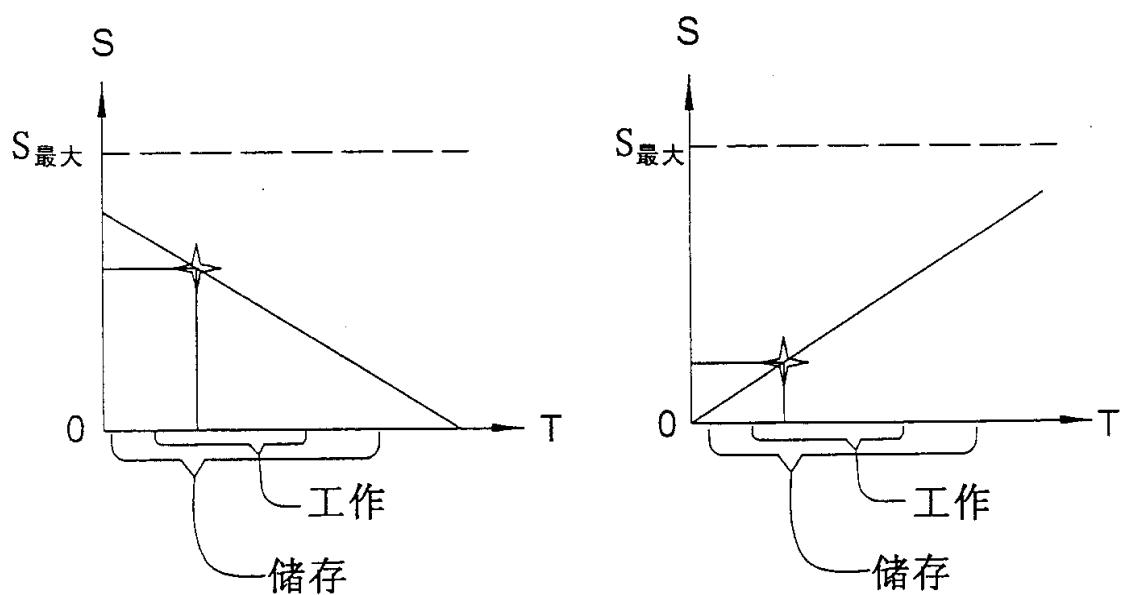


图4A

图4B

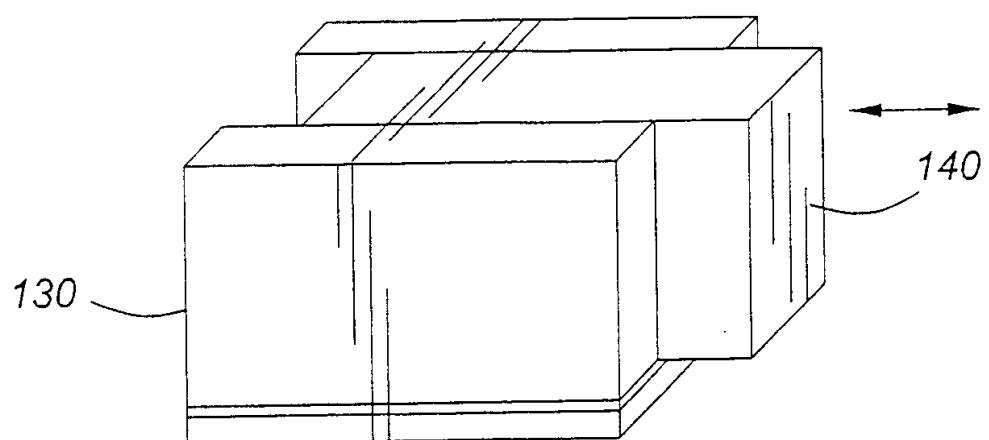


图5A

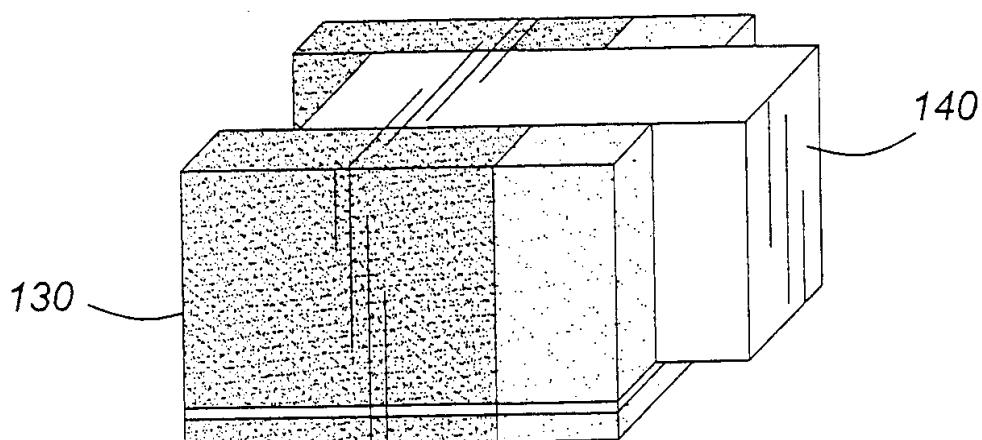


图5B