

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[ 51 ] Int. Cl<sup>7</sup>

G02B 6/122

G02B 6/126 G02B 6/13

G02F 1/01 B81B 3/00



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01819209.2

[43] 公开日 2004 年 5 月 5 日

[11] 公开号 CN 1494662A

[22] 申请日 2001.9.21 [21] 申请号 01819209.2

[30] 优先权

[32] 2000. 9. 22 [33] US [31] 60/234,844

[32] 2000. 9. 25 [33] US [31] 60/235,007

[86] 国际申请 PCT/US2001/029753 2001.9.21

[87] 国际公布 WO02/025338 英 2002.3.28

[85] 进入国家阶段日期 2003.5.20

[71] 申请人 马萨诸塞州技术研究院

地址 美国马萨诸塞州

[72] 发明人 D·R·利姆 L·C·吉姆林

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

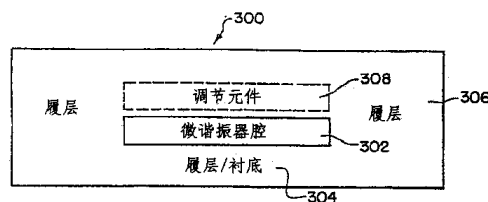
代理人 张政权

权利要求书 4 页 说明书 14 页 附图 8 页

[54] 发明名称 改变波导微谐振器谐振的方法

[57] 摘要

调节、切换或调制、或通常改变波导微谐振器谐振的几种方法。通过精细地改变该微谐振器的尺寸，通过改变该装置的局部物理结构或通过改变该微谐振器内谐振模的有效和总折射率，能够永久地或临时地改变谐振。此外，改变波导周围的折射率分布的非对称性能够改变该波导的双折射性，并允许控制该波导内的偏振。这种折射率分布的改变可以用于改变该谐振器的偏振依赖性 or 双折射性。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1、一种校正波导微谐振器的谐振位置或外部衰减时间的方法，其特征在于，所述方法包括通过在所述波导或在所述波导周围的材料沉积，切除，或生长来进行物理地改变。

2、按照权利要求1的所述方法，其特征在于，所述材料的改变发生在所述波导微谐振器的所述核心。

3、按照权利要求1的所述方法，其特征在于，所述材料的改变发生在所述波导微谐振器的所述履层。

4、按照权利要求1的所述方法，其特征在于，所述改变导致所述波导微谐振器内的光路长度的改变。

5、按照权利要求1的所述方法，其特征在于，所述改变导致所述波导微谐振器的耦合改变，这样，导致所述波导微谐振器谐振的耦合效率和形状的改变。

6、一种校正波导微谐振器的谐振位置或形状的方法，其特征在于，包括将大量的电磁能聚焦在所述谐振器上。

7、按照权利要求6的所述方法，其特征在于，所述电磁能将大量热能传送到所述波导微谐振器的腔体核心。

8、按照权利要求6的所述方法，其特征在于，一种或多种材料包括所述波导微谐振器核心经受物理或机械变化，或经受折射率变化。

9、按照权利要求6的所述方法，其特征在于，所述电磁能将大量热能传送到所述波导微谐振器腔周围的区域。

10、按照权利要求6的所述方法，其特征在于，所述电磁能包括所述波导微谐振器内光路长度的改变。

11、按照权利要求6的所述方法，其特征在于，所述电磁能包括所述微谐振器耦合的改变；从而包括所述微谐振器谐振的耦合效率和形状的改变。

12、一种高折射率差异波导微谐振器装置，其特征在于，该谐振器装置临时改变谐振的位置或形状，包括：

至少一层图案化层核心，所述至少一层图案化层核心含有至少一个谐振器和至少

一个输入/输出波导；

一层履层，围绕所述核心，所述履层包括围绕在所述核心的区域，除非临时改变，渐逝区驻留在所述区域内；

非相交输入和输出波导；

定义为调节区的至少一层薄层；及

至少一个与所述核心不良电连接的电极，其中

通过给所述至少一个电极施加电流或电压，临时改变谐振位置或形状，以致引起所述调节区域内折射率的改变。

13、按照权利要求 12 的所述装置，其特征在于，用于在所述微谐振器履层产生变化的装置与所述输入和输出波导单片地结合在一起。

14、按照权利要求 12 的所述装置，其特征在于，用于在所述微谐振器履层产生变化的装置与所述输入和输出波导混合地结合在一起。

15、按照权利要求 12 的所述装置，其特征在于，在所述输入和输出波导的所述邻近区制造用于在所述微谐振器履层产生变化的装置。

16、按照权利要求 12 的所述装置，其特征在于，用于在所述微谐振器履层产生变化的装置放置在与某一衬底接触，将所述微谐振器配置在所述衬底上。

17、控制含有一个核心和履层的集成光路波导的偏振依赖性能的一种方法，其特征在于，包括按动态方式改变所述波导的对称性。

18、按照权利要求 17 的所述方法，其特征在于，改变所述波导核心周围的履层折射率的对称性来改变所述波导的所述横截面对称性。

19、按照权利要求 17 的所述方法，其特征在于，改变所述波导的所述履层材料或所述核心的双折射性来改变所述波导的所述横截面对称性。

20、按照权利要求 17 的所述方法，其特征在于，改变所述波导核心周围的履层折射率的所述吸收来改变所述波导的所述偏振依赖损耗，其中所述波导包括一个高折射率波导。

21、控制含有核心和履层的集成光路波导谐振器的偏振依赖性能的一种方法，其特征在于，包括按动态或永久方式改变所述波导谐振器的横截面对称性。

22、按照权利要求 21 的所述方法，其特征在于，改变所述波导核心周围的所述履层折射率对称性来改变所述波导的所述横截面对称性。

23、按照权利要求 21 的所述方法，其特征在于，改变所述波导谐振器的履层材料或核心的所述双折射性来改变所述波导谐振器的横截面对称性。

24、按照权利要求 21 的所述方法，其特征在于，改变所述对称性导致每种所述微谐振器谐振模的两种偏振的光路长度之间的相对变化。

25、按照权利要求 21 的所述方法，其特征在于，改变所述履层导致所述微谐振器耦合的改变，导致每种所述微谐振器谐振模的所述两种偏振的耦合效率之间的相对变化。

26、一种装置，其特征在于，包括：

一层平面衬底；

一个波导微谐振器，包括一层图案化核心层和围绕所述核心的履层，所述履层包括围绕所述核心的区域，一层渐逝区驻留在所述区域内；及

一个压感元件，与所述履层的至少一部分接触。

27、按照权利要求 26 的所述装置，其特征在于，所述压感元件包括能改变形状的一层材料层。

28、按照权利要求 26 的所述装置，其特征在于，通过施加电流或电压感应出压力。

29、按照权利要求 26 的所述装置，其特征在于，通过施加局部压力调节所述微谐振器的谐振。

30、按照权利要求 26 的所述装置，其特征在于，所述压感元件与所述微谐振器集成在芯片内。

31、按照权利要求 26 的所述装置，其特征在于，所述压感元件包括用于局部压力控制的一层图案化层。

32、按照权利要求 26 的所述装置，其特征在于，所述压感元件空间上与所述微谐振器分开，以致通过来自所述压感元件的压力场只能改变所述微谐振器的谐振。

33、调节含有核心和履层的一个波导微谐振器谐振的一种方法，其特征在于，

包括用压感元件施加一个压力，以引起在所述核心或履层中的折射率变化。

34、按照权利要求 33 的所述方法，其特征在于，所述压感元件包括能改变形状的一层材料层。

35、按照权利要求 33 的所述方法，其特征在于，通过施加电流或电压感应出压力。

36、按照权利要求 33 的所述方法，其特征在于，通过施加局部压力调节所述微谐振器的所述谐振。

37、按照权利要求 33 的所述方法，其特征在于，所述压感元件与所述微谐振器集成到芯片内。

38、按照权利要求 33 的所述方法，其特征在于，所述压感元件包括用于局部压力控制的一层图案化层。

39、按照权利要求 33 的所述方法，其特征在于，依据通过所述施加压力感应的张力可恢复性，永久或临时地调节所述谐振。

40、按照权利要求 33 的所述方法，其特征在于，所述压感元件空间上与所述微谐振器分开，以致来自所述压感元件的压力场只能改变所述微谐振器的所述谐振。

## 改变波导微谐振器谐振的方法

### 优选权信息

本专利申请要求从临时专利申请号 60/234,844(申请日期为 2000 年 9 月 22 日), 和专利申请号 60/235007(申请日期为 2000 年 9 月 25 日)中获得优先权。

### 发明背景

#### 1、发明领域

本发明涉及光学领域,尤其涉及改变光学波导微波谐振器(从 0.1 微米到 1 毫米级的非常小的光学微波谐振器)的谐振特性。这种基于波导的微波谐振器的例子包括,光学微环谐振器,和一维周期光带隙波导结构。

#### 2、现有技术

微米级光学谐振装置的微谐振器的谐振波长为微米范围,由于在光学通信的集成光路中的潜在应用中,微谐振器已经获得了重大的影响。在光通信中,微谐振器可用作波长复用技术(WDM)应用中的上行/下行滤波器,因为能将它们设计成在通信波长引起谐振。在 WDM 应用中,每个微谐振器能上行/下行该装置谐振的特殊波长的光。在这种应用中,能依据指定的波长局部调节微谐振器谐振的能力是成功地在集成光路内实现微谐振器的至关紧要的因素。

由高折射率差异(核心和履层的折射率中的差异)的波导几何结构形成的小型微谐振器,因为它们自由光谱范围很大,而特别有用。通常,高折射率差异波导在核心和履层间折射率差异等于或大于 0.3,并且具有几种不同几何结构。高折射率差异波导包括信道波导和菱纹波导。信道波导是电介质波导,信道波导的核心由履层围绕,该履层包括一种或多种其折射率比核心低的材料,并且其峰值的光密度驻留在核心内。在其他波导几何结构内(包括菱纹波导)能定义高折射率差异波导。菱纹波导是一种电介质波导,其核心由一层履层围绕,该履层包括几种材料,至少一种材料的折射率与核心的折射率相同。在与信道波道不同的波导配置中,将高折射率差波导定义为其谐振模区域的尺寸类似于高折射率差信道波导(在横截面区差值的 50%内)的一种波导。在这些波导中,将履层定义为存在光谱谐振模的渐逝场的一段区域。

改变波导微谐振器的谐振形状和位置的特性是一个极其重要的问题,因为是在

这种技术上断定这种装置的有效性。该波导微谐振器的一种应用是集成光路中的窄带光滤波器。波长复用技术（WDM）（一种光通信内广泛应用的技术）要求使用这种滤波器。因此，研制一种能有效地改变这种波导微谐振器特性的方法已经成了许多研究的目标。

有两种能改变谐振形状特性的方法。首先是理解响应特性是可以改变的。例如，谐振 Q 值，或它的品质，在波长或频域中它的位置和它的形状都可以改变。

通过影响能量在谐振器内的停留时间可以改变谐振的品质和 Q 值。所示的能影响谐振品质的一种方法包括在微谐振器内的感应吸收以及通过使用级联微谐振器影响形状的方法。因为必须感应的吸收量较大以及这种方法不易应用于间接带隙半导体和宽带隙电介质材料上，难以实行第一种方法。当使用第二种方法时，本身并不能很好地提供谐振的任何动态变化，必需切换或调制或者甚至调节微谐振器的谐振。

由谐振装置的物理尺寸以及包含腔体的材料折射率确定谐振位置，即，光学微谐振器的谐振波长或相似地谐振频率。因此，改变腔体谐振模的有效折射率和总折射率（group indices）能够改变谐振波长。已经示出通过将紫外线（UV）敏感玻璃用作覆盖在低折射率差异（核心和覆层的折射率差异小于 0.1）的环型波导核心上的覆层材料，调节微环微谐振器。通过改变覆层的折射率，改变圆环波导谐振模的有效和总折射率，导致谐振线性位置的漂移。当这种方法对低折射率差异波导有效时，该方法对高折射率差异（通常，核心和覆层的折射率差异等于或大于 0.3）波导就不怎么有效，因为高折射率差异波导所要求的折射率变化量太大。然而，在高折射率差异波导的覆层上小量折射率的变化能导致线性位置上的有效漂移，足以满足精细调节应用。

已经显示了通过改变微谐振器核心（导向层）的折射率，改变半导体微谐振器谐振的几种方法。然而，这几种方法不包括在覆盖区域和无半导体衬底内的折射率的变化。另一种方法包括使用带有交叉的输入和输出波导的微环滤波器的特殊情况。这样一种微环滤波器配置需要一种低折射率差异波导系统，因为在高折射率差异系统，互扰和损耗也额外较大。

另一种已经广泛使用的方法是热-光调节方法，在该方法中，热-光效应用于通过温度的改变，来改变微谐振器腔核心的折射率。而简单并易实行的热调节在潜在的高密度应用中，存在明显的互扰缺点。

应当了解第二种分析方法：怎样改变谐振形状，可以容易地改变微谐振器的物理外形以对谐振形状特性产生所需的影响。例如，已经将吸收方法和多路圆环局部接近用于改变微环的谐振形状。各种其他的方法包括改变谐振器内部的衰减率，以

改变微谐振器装置的谐振形状。谐振器的内部衰减率是由该圆环内的吸收和损耗决定。

调节微谐振器谐振的另一种方法是施加一定的压力，使它的谐振位置产生漂移。如果所施加的压力引起了核心和/或履层材料的折射率改变，该微谐振器内的谐振条件发生了变化，并且谐振峰值也依据这种变化而产生漂移。

先前已经实现了通过压力调节光谐振。已经描述了用一种粘结压电元件调节大型光谐振器谐振的一种方法。压电元件粘结在光谐振器的顶表面，以当将一个电压施加到光谐振器时，将压力施加到下面的光谐振器。施加到谐振器的压力引起折射率的变化，并因此改变了谐振。这种方法仅能用于大型的，慎重的（discreet）光元件，而不适用于微谐振器谐振的局部调节。该微谐振器的尺寸明显地小，并通常与输入输出波导一起集成在芯片内。因此，希望具有局部调节片内微谐振器的能力。

热-光效应和紫外线（UV）敏感氧化物的使用是能过改变微谐振器腔谐振模的有效和总折射率来改变谐振位置的例子。在本发明中，焦点是能够改变高折射率差异波导微谐振器的位置和形状和谐振的其他方法，这些方法比较容易实行。

依据所希望的速率或类似的（依据想要使用的时间帧），沿文献内的三条线划分能改变微谐振器的谐振的机械结构。最快速的应用是在调制方式中，通常按编码数据的速率发生。在通信中，速率超过 1GHz，该速率相应于小于 1 纳秒的时间。需要按通信网络网线之间传送数据的速率进行切换。较低的切换速率为毫秒级，而信息包的切换快到 1 纳秒。最后，调节涉及谐振内永久的或长期的变化。

### 发明摘要

依据本发明，提供了对波导微波谐振器的谐振进行调节，切换，或调制，或一般改变的多种方法。通过精密地改变微谐振器的尺寸，通过改变该装置的局部物理结构或者通过改变微谐振器的谐振模的有效和总折射率可永久地或临时地引起谐振的变化。此外，改变波导周围折射率分布的非对称性能够改变该波导的双折射性，并允许控制该波导的偏振（极化）。这种折射率分布的改变可以用于改变谐振器的偏振依赖性或者双折射性。本发明有利于改变高 Q 值（Q 值等于或大于 100）微波谐振器的谐振特性，因为难以制造具有高 Q 值谐振，无限精度的微波谐振器。

本发明的一个目标是提供改变光学微谐振器腔谐振的几种方法。所提供的方法和装置用于改变光学微谐振器腔频域或波长域上的谐振位置，并用于改变光学微谐振器腔的谐振形状。本发明的另一个目标是提供用于控制集成光路波导内偏振的一种方法，并提供用于增加或消除光学波导微谐振器的双折射性的一种方法。



改变微谐振器腔谐振的方法包括：改变微谐振器腔的吸收并因而改变其内部衰减速率；改变接近微谐振器腔局部区域材料的折射率；改变微谐振器腔的物理结构；改变在接近围绕微谐振器局部区域的物理结构；改变微谐振器腔的折射率分布的对称性；及改变微谐振器腔的材料双折射性。

依据本发明，对光学微谐振器腔进行薄膜的蚀刻或切除或添加处理来改变谐振位置。通过包括直接将谐振腔暴露在氧化环境的化学装置进行薄膜的切除或蚀刻处理。此外，使用微电子和机械的或 MEM 装置改变微谐振器腔的局部环境可改变谐振腔的形状。MEM 装置能用于在与微谐振器装置接近或接触区域实现一种吸收材料或否则实现一种非吸收材料。

用激光进行的光照，能被核心吸收，在核心引起永久性折射率变化或永久性尺寸变化，这些变化能依次用于改变微谐振器腔的谐振位置。将电-光材料用作微谐振器腔的履层，允许控制腔体的谐振位置。

改变高折射率差异（核心和履层的折射率的差异等于或大于 0.3）波导腔体的履层折射率，能用于改变谐振位置。改变集成光路波导的对称性将导致改变波导的偏振依赖性能。将这种改变使用在集成光路波导偏振控制器中，改变微谐振器腔的折射率分布的对称性能用于引起或消除腔体的偏振依赖性谐振位置。

施加局部压力能局部地控制微谐振器的折射率。折射率的变化会依次引起微谐振器谐振位置的漂移。

### 附图简述

图 1A 是示范性微谐振器腔的原理框图；图 1B 是微环谐振器格式的示范性波导微谐振器腔的缩影照片；

图 2A 是示出怎样将薄膜的切除，沉积或生长用于调节或修改微谐振器谐振的原理框图；图 2B 是图表，画出化学氧化结果的 5 微米半径的微环谐振器的谐振漂移曲线；

图 3A 是光调节装置的原理图，由存在的调节元件调节谐振器；图 3B 是使用 MEM 装置来改变微谐振器腔谐振的系统原理框图；

图 4A 是能改变微谐振器腔谐振的光照原理框图；图 4B 是图表，画出后期 (post) 光照谐振位置衰减到 (relaxing to) 一个不同波长的曲线；图 4C 是图表，示出光照前、光照期间和光照后的谐振峰值位置；

图 5 是一种系统的原理框图，该系统用于改变履层材料折射率来改变高折射率

差异波导谐振；

图 6A-6D 是怎样通过改变 TE 或 TM 谐振模的折射率分布改变波导对称性的原理框图；

图 7A 是装置 700 的原理框图，该装置是通过压力调节微谐振器；

图 8 是本发明示范性实施例的原理框图，该实施例利用压-电元件作为压力元件；  
及

图 9 是图 8 所示实施例的 X-Y 平面的横截面视图。

### 发明详述

A、谐振位置和共振形状永久改变的方法。谐振器临时调节的装置

a、通过薄膜层的切除或沉积或生长来进行光学波导微谐振器腔的永久调节和修改

图 1A 是示范性微谐振器腔 100 的原理框图。微谐振器腔 100 包括带有 N 个输入波导 104 和 M 个输出波导 106 的普通谐振器 102。右底部的插图示出接近谐振的微谐振器腔的至少一个输出波导的响应。为了描述目的，将谐振定义为插图所示的锐利的尖峰，而波长  $\lambda_{res}$  是波长频谱中的谐振位置。Y 轴标志为传输，T。

图 1B 是微环谐振器格式的示范性波导微谐振器腔的缩影照片。微环谐振器有一个波导，按圆环形布局，耦合到两条直总线波导，如图所述。光从一个波导进入，然后，小部分光耦合进圆环。在圆环绕一圈后，如果光波长在圆环内产生谐振，圆环内的光同相地叠加到从总线波导耦合到圆环的光上。那么功率增大了，并处于稳态；然后圆环内的能量耦合到第二条总线波导。未谐振时 (Off resonance)，从未增大环形波导内的功率，并且输入总线波导内的能量几乎没损耗地穿过圆环。

本发明包括：例如一个或多个微谐振器核心内或周围的一层薄膜的材料切除，沉积或生长。从微谐振器的核心或覆层切除材料能减少微谐振器腔谐振模 (mode) 的有效和总折射率，导致谐振的红移。在微谐振器的核心或覆层上沉积材料能导致增加微谐振器腔谐振模的有效和总折射率，导致微谐振器腔谐振模的兰移。这儿将薄膜层的生长定义为衬底薄膜层在化学反应中的消耗，用于形成一层新材料的薄膜层。这种新材料可以具有与原材料不同的折射率，并且普遍地会引起微谐振器腔谐振模的有效和总折射率的改变。

图 2A 是怎样将薄膜的切除，沉积或生长，用于调节或修改微腔体谐振器谐振的

原理框图。顶部左手部分示出未处理的波导横截面 200。虽然波导可以为任何形状，该波导示意性显示为矩形。在图的顶部右手部分，示出在核心上沉积电介质材料 202 的效果。这儿由存在的薄膜层改变核心折射率，依次改变波导内的有效和总折射率。在底部左手部分，切除一部分核心 204 导致较低的有效折射率，导致谐振波长的明显红移。在底部右手部分，描绘了材料 206 生长的效果。这儿消耗了某些材料，形成一种化学性不同的材料。依据最后的薄层，虽然可能设计红移，常常导致谐振的兰移。

通过微谐振器核心薄膜或微谐振器周围薄膜的切除，沉积或生长，也可以改变一个或多个微谐振器的衰减时间。有两种可能影响衰减时间的物理效应。第一种是改变从微谐振器到外部总线波导的耦合系数。能够引起波导微谐振器衰减时间改变的第二种物理效应是减少微谐振器固有损耗。这种效应的一个例子是薄膜的沉积或生长，该薄膜层具有在微谐振器核心折射率和覆层折射率之间一种折射率或一种连续折射率（等级）。

在所有这些方法中，调节和修改的关键是紧密地控制沉积，切除和生长处理。例如，微谐振器腔有效长度的 1% 变化能够导致波长为 1550 纳米的谐振线位置上的 15 纳米的漂移。这样，必须仔细地控制薄膜的厚度，因为谐振位置通常需要在设计中心频率的 0.1 纳米的范围内。

一种能很好地控制化学氧化处理用于改变按照本发明的环形谐振器的谐振位置。用单谐振模硅波导制造 5 微米半径的环形谐振器。然后测量该环形谐振器的响应。然后将 piranha (3:1  $H_2SO_4:H_2O_2$ ) 溶液用于化学氧化该环形谐振器的表面，并再次测量该环形谐振器的响应。测得的谐振线位置漂移为 3 纳米。因为氧化量取决于 piranha 溶液的浓度以及该环形谐振器暴露在该溶液内的时间，这是一种控制该装置的谐振线位置的有效方法。图 2B 的图表中示出这个实验的结果。当将一种高折射率材料（硅， $n=3.5$ ）氧化到一种较低折射率差异材料（硅， $n=1.5$ ）时，该结果清楚地表明如所期望的兰移。

如先前所述，必须紧密地控制材料的切除，沉积或生长的处理过程。一种有效地控制薄膜厚度的方法是使用低速化学反应。例如，使用一种化学氧化方法，该方法在约 10 分钟仅生长 5 纳米厚的硅氧化物。这样，通过仔细地校正该化学方法，只要消耗非常小量的硅波导。在文献中有许多有关怎样控制薄膜层厚度的想法，并且决不排除下面列出的内容。对于薄膜的切除，可以使用某些形式的物理，气态或液态化学或电抗离子蚀刻方法。

对于薄膜的沉积，可以使用真空镀膜，旋压，化学汽相沉积或分子束晶体外延处理，文献中描述了所有这些处理。最后对于薄膜的生长，常常使用某些形式的等

离子体，蒸汽或液态化学反应。可能使用的各种衬底和化学反应，避免在这儿列出详细清单。

#### b、用 EM 能量对光学波导微谐振器腔进行原位和永久光调节和修改

按照本发明，可将激光或其他形式的电磁波能局部地聚焦在微谐振器腔。如果有足够量的热能转送到微谐振器腔，在微谐振器的核心或履层的材料可经受物理或机械变化或折射率变化。第二种效应可以是核心和履层间的热差热膨胀的结果，跟随着微谐振器的核心或履层的可塑性变形。也可以由激光引起的化学变化导致第一种效应。这两种方法能够改变微谐振器腔的物理结构，依次改变微谐振器腔谐振模的有效途径长度或有效和总折射率。

另外，电磁能可以导致微谐振器的外部衰减时间的改变。第一种物理效应是从微谐振器到外部总线波导的耦合系数的改变。能引起波导微谐振器衰减时间改变的。第二种物理效应是减少微谐振器内的固有损耗。第二种物理效应的例子是某种薄膜层的沉积或生长，该薄膜层具有微谐振器的核心和履层的折射率之间的一种折射率或连续折射率（等级）。

在核心内的折射率变化效应可以是光敏材料的结果或是长期光折射效应。光调节和修改特别有用，因为该效应可以局部化，而不会发生有影响的交扰。

按照本发明，这种技术已经用于改变微环谐振器的谐振位置。此外，通过使用光折射效应能引起临时效应。用单谐振模硅波导制造环形谐振器。来自激光器的光束聚焦在微环谐振器上。在让该微环谐振器达到热平衡后，切断光束，并允许衰减。该衰减的波长从原来的位置漂移了 12 纳米。已经按照本发明显示了这种效应的饱和状态。在多次热循环后，该微环谐振器的谐振位置不再变化。

图 4A 是光照改变微谐振器腔 400 谐振的原理框图。该视图是传播方向的横截面图。由 1W，850 纳米的激光器经过光纤 402 提供激光束。由谐振器滤波的光束离开纸平面进入，并聚集在目标上。来自顶部的通过高能量激光的光照引起谐振线位置的改变。该数字值表明用于影响这些变化的数值，并不排除使用任何其他的数字值。

图 4B 是图表，画出后向（post）光照谐振位置衰减到波长（1565 纳米）曲线，比原来的波长大 13 纳米。X 轴是时间轴，而 Y 轴是波长轴。虚线表示原来的波长。依据光照，波长跳到中间值，并缓慢地恢复到一个新值。该最后的衰减从光照前的原波长值偏离了 13 纳米。

图 4C 是图表，画出在光照前，光照期间和光照后的谐振峰值位置曲线，表明该效应是受自身限制的。重复图 4A 和 4B 所示光照类型，导致饱和效应，再受光照也

不会改变了。X轴是波长轴，而Y轴是标准化传播轴。

图 4A-C 一起显示了怎样使用一种光照方法以改变微谐振器腔的谐振。示范性实施例使用耦合到光纤的 1W, 850 纳米激光器，将小激光点聚焦到硅微环谐振器上。一般，可选择对履层是透明的，但能被核心层吸收的激光束，以将最大的能量传送给核心。结果是在 100 秒级的谐振线位置上的缓慢衰减变化。然而，光照后最终的谐振位置偏离原波长 13 纳米。这是巨大的漂移。通过控制密度和传送给微谐振器的能量，可以控制谐振器位置的变化量。最后，现在已经显示了谐振变化效应是自身限制的，并在多次重复的光照周期后，谐振位置不再发生改变。

首先测试需要调节的微谐振器腔。一旦确定了调节的幅度（在谐振线的漂移量），用高强度激光照射该微环谐振器。有两种确定所需的激光暴露量方法。第一种是用校正方法确定产生一连串线漂移所需激光量。第二种是测定原位的激光线漂移，并考虑可能发生的任何热漂移。

可以选择对微谐振器腔是吸收的，而对顶部或底部履层是透明的激光；或者替代地，可选择对履层是吸收的，而对核心是透明的激光。这样，大量的激光能可转移到核心或履层上。该能量依次导致较大的差分效应。另外，激光点的大小应当具有光学微谐振器腔尺寸的等级，因为这能调节单个谐振器腔，并不影响到线路中的任何其他元件。

### c、调节光波导微谐振器腔的装置

按照本发明，现在描述用于调节光波导微谐振器的装置。该装置临时改变高折射率差异波导微谐振器的谐振位置或形状。它包括带有图案化层核心的微谐振器装置，该图案化层核心由一层履层包围，这样该微谐振器含有不需物理相交的输入和输出波导。该履层包括围绕核心的一个区域或多个区域，除非临时调节该装置，渐渐区驻留在这些区域内。通过临时改变一层或多层图案化层（调节区）的折射率，可实现临时调节效应。可通过电流或通过改变不与核心接触的至少一个电极上的电压，实现调节区上的临时改变。该调节区包括一种或多种显示出电-光，热-光，声-光，磁-光，光-折射效应或能由电-机械装置激励的材料。该调节区可与或不与微谐振器的核心接触。图 3A 示出这种装置的原理。

图 3A 是系统 300 的原理框图，在该系统中，调节元件 308 用于改变微谐振器腔 302 的谐振。谐振器和调节元件配置在履层/衬底 304 上，并由履层 306 包围。

在本发明的一个实施例中，通过改变履层折射率来进行高折射率差异（核心和履层间的折射率差异等于或大于 0.3）波导微谐振器腔的调制和切换。具有高折射率差

异波导的一个困难是难以改变波导核心的折射率，而没有干扰波导谐振模的金属接触。因为电极或金属接触可以放置在该谐振器的履层上，通过改变履层的折射率，可以减轻该问题。

在本发明的另一个实施例中，将电-光材料用作光波导微谐振器腔的履层材料。通过将电压跨接到电-光履层材料上，可改变该履层的折射率。使用波导核心上的履层的优点是能紧密地连接，使光波导的绝大多数能量集中在或围绕在波导的核心上。如果将电-光效应用在波导核心上，如文献上建议的，那么金属电极必须接近波导微谐振器的核心，因为核心的折射率比履层高。这依次意味着：损耗比较高而该装置的Q值将受到限制。如果将电极放置在远离（大于渐逝区的衰减长度1）波导核心的位置以减少损耗，那么该区域的实际部分会偶然遇见低折射率波导，减少该装置的有效性。因此，本发明允许在微谐振器腔装置实现电-光材料，并没有影响到它的损耗特性。

图5是系统500的原理框图，该系统影响到改变材料履层的折射率，以改变高折射率差异波导的谐振。该波导包括氧化层502，核心504，电-光材料层506，和金属电极508。电-光材料沉积在核心的顶部，作为履层。能够改变该履层的折射率，依次改变该核心的有效折射率。如果这个波导用于形成微谐振器，可利用这种折射率改变，作为一种调节机构。

在本发明的另一个实施例中，MEM装置用于在与微谐振器装置接近或接触区域上产生一种吸收材料，或否则产生一种非吸收材料，该微谐振器装置是通过将金属电极放置在远离波导核心的位置来激励的。MEM是一种有吸引力的技术，因为它易于理解，并且相对地易于在集成光路环境内实现。这些效应是局部化的并能在高密度环境内实现。

图3B是系统310的原理框图，在该系统中，MEM装置316用于改变微谐振器腔312的谐振。通常，可将MEM的悬臂设计成偏斜到和偏离微型腔体，影响核心的电介质。将MEM悬臂设计成带有高折射率材料的薄层，该高折射率可与核心折射率匹配，或者可设计成带有能增强吸收率的金属层。

按照本发明，已经通过光束传播仿真显示出履层的折射率变化1%，对于具有核心折射率2的波导，将导致有效折射率变化0.2%，有效折射率变化0.2%将引起3纳米的线漂移。对于Q=2000的谐振器，即为4个全宽度的漂移。

光束传播仿真用在高折射率差异（核心和履层间的折射率差异等于或大于0.3）波导中，以提供在微谐振器腔内使用电-光效应的可能性。对于较低折射率差异的波导，由于该电-光效应，其有效和总折射率对履层内的折射率变化的依赖性将会更大。

对于具有 0.5 折射率差异的波导，覆层折射率变化 1% 导致有效折射率变化 2%。在有效折射率中变化 0.2% 引起 3 纳米的线漂移。对于  $Q=2000$  的谐振器，即为 4 个全宽度的漂移。

在先前描述的实施例中，本发明利用小型光纤为微谐振器腔谐振模提供小的有效折射率变化。首先测量空气覆盖硅微环谐振器的谐振响应。然后将光纤缓慢降低到谐振器腔。在将光纤降低后，第二次测量该响应，并在光纤上升后，第三次测量该响应。由于损耗，存在谐振线的滞后和展宽现象，该现象可能是由于光纤杂质引起。尽管如此，超过 1 纳米的线漂移表明这种方法是一种可行调节方法。事实上，能够发现理论的线漂移来估计带有和不带的顶部硅覆层的硅微谐振器的有效折射率。

假定存在有将谐振器从空气覆盖变成硅覆盖的硅，最大的有效折射率变化为 0.8%，该变化相应于 12 纳米的线漂移。线漂移这样小的事实表明，该光纤不处于与该圆环紧密接触中。然而，这个实验显示，原理上可以使用一种机械装置使微腔体的谐振产生漂移，并没有损坏它。

这种装置的工作原理是简单的。设计高折射率波导的覆层，以使其能改变它的折射率。通常，可以使用能改变覆层折射率的任何方法。这些方法的两个例子是使用电-光覆层和使用 MEM 装置来改变覆层折射率。如果希望进行微谐振器的调节，调制或切换，就对覆层折射率进行调节，调制和切换。

先前描述的本发明示范性实施例使用一种大型机械方法来改变微腔体谐振器的局部环境。因此，容易注视小型微电子机械 (MEM) 装置，该 MEM 装置能并入安装在小型悬臂上的电介质材料，使用电装置能使该小型悬臂偏斜，如图 5 所示。

有多种使用 MEM 装置的方法，以改变谐振的位置或形状。第一种是在先前描述的示范性实施例中使用的方法，在该方法中，通过使用安装在悬臂上的电介质实现覆层有效和总折射率的改变。第二种方法是通过使该谐振器与具有高损耗的材料（如金属）接触，或使该谐振器与其折射率和该谐振器的折射率接近的电介质接触，引起损耗。此外，这些材料的任何一种可以安装在悬臂梁上。具有高损耗的材料将引起微谐振器腔谐振模中的吸收，而折射率接近于该谐振模折射率的电介质能用于引起散射，该散射依次增加腔体谐振模的损耗。在这两种效应中，微谐振器腔内的  $Q$  值将会降低。另外，在与微谐振器腔紧密接近或接触的非吸收材料将改变该谐振模的有效和总折射率，将依次导致谐振位置的改变。

第三种使用 MEM 调节技术的方法是关于其他方面的优先改变偏振的有效和总折射率。这将有助于引起或消除微腔体的偏振依赖性操作。那些技术熟练人员已知 MEM 结构的正确实施。

本发明示范性实施例包括制造与波导微谐振器腔核心邻近的电-光材料（其折射率比核心低的材料）。在邻近谐振器的地方制造金属电极。该电极离谐振器足够近，以将较强的电场施加在波导上，并应离核心足够地远（大于消逝区的1衰减长度），以可以忽略损耗。通过在该谐振器附近的短距离上施加一个最合适电压，获得切换动作，这将改变覆层的折射率，并因此改变谐振器内谐振模的有效和总折射率。这种有效和总折射率的改变依次导致谐振线位置的改变。因为使用电-光效应，这种效应是非常迅速的。电-光材料的选择对操作不是关键性的，但对于该装置的制造是重要的。例如，如KDP或铌酸锂的非线性晶体具有容易理解的优点，但是难以集成进集成光路系统。另一方面，电-光聚合物容易制造，但不容易理解。然而两种方法都可工作。

## B、偏振控制

### a、通过动态地改变集成光路波导的对称性对集成光路波导进行偏振控制

在一个示范性实施例中，本发明包括：通过按动态方式改变波导对称性，控制高折射率差异集成光路波导的偏振依赖性能的一种方法。因为任何输入滤波器的偏振应该是随机的并且任何集成系统的操作必须考虑这种随机性，集成光路波导的偏振控制是重要的。在高折射差异波导内的偏振控制尤其重要，因为它们对制造中的变化更敏感。

一种忽略这种随性的方法是通过使用集成光路偏振控制器来控制该集成光路线路中的偏振。

可按下列几种方法中的一种能达到偏振控制：通过改变波导核心周围覆层折射率的对称性来改变该波导的横截面对称性；通过改变该波导覆层和/或核心的材料双折射性来改变该波导的横截面对称性；通过改变高折射率波导核心周围的覆层折射率的吸收来改变该波导的偏振依赖损耗；或通过改变波导覆层的折射率，致使全部地或部分地由热-光效应来控制。

按照本发明，已经显示出：通过光束传播仿真不对称地改变覆层的有效折射率能够改变相对其他的一种偏振的有效折射率。这依次允许改变沿波导传播的光偏振。

可以使用改变波导折射率对称性的任何普遍的方法。事实上，按控制方式，对波导非对称性施加任何一种上述方法，都可以改变光学波导谐振波长的偏振依赖性。作为一个例子，图6A-6D显示怎样可以改变波导的对称性。

图6A示出带有退化TE和TM谐振模的一种对称波导600。传播系数理论上是恒等的。为了削弱退化，波导周围的折射率分布按图6B变化。破坏了波导周围的对



称性，并且提高了退化性，导致 TE 和 TM 谐振模的不同的有效折射率。另一方面，如果非对称波导做成如图 6C 或 6D 那样，由于制造公差或其他目的，它将具有偏振依赖性操作。如果改变折射率分布的非对称性，能够补偿这种依赖性。这些想法容易延伸到微环谐振器波导，以增强或补偿偏振依赖操作。

设计波导的折射率分布，以致实际上能改变一条对称轴上的折射率，而很难根本改变另一条对称轴上的折射率，或者只能以与另一条对称轴的外形相关的相反符号改变。这样，当希望改变偏振依赖性时，能够改变一条对称轴上的折射率分布。例如，如果希望降低该装置的 TE 谐振模，就增加垂直轴的有效折射率，和/或减少水平轴上的有效折射率。

用于改变波导核心和/或履层的对称性的方法包括：电-光效应，声-光效应，使用 MEM 装置，及热-光效应。

按照本发明的一个实施例，通过将一个或多个调节元件放置在波导的周围制造偏振控制集成光路波导装置。然后，控制这些元件，既可改变波导折射率的横截面对称性，改变含有波导的材料双折射性的横截面对称性，也可改变含有波导的材料吸收性的横截面对称性。在这实施例中，可用电极激活这些调节元件。此外，希望将这些元件放置在比履层内光密度衰减长度更大的距离上。

这种技术的一种可能延伸方法是实行集成光路偏振控制器。通常，小量的功率是从光信号中分接出来，并穿过极化器以及经过检测。这极化器可以是单偏振波导。然后，该检测的信号用于激励一个调谐无源器件，该调谐无源器件能够改变该波导非对称的折射率分布，能依次改变该波导内光束的偏振。如果该装置是在盒式切换环境内，调节速率需要是纳秒级，因此需要象电-光效应的一样快的高速效应。

#### b、通过改变微谐振器腔折射率分布的对称性来改变腔体偏振依赖谐振位置

如果先前所述的方法应用于微谐振器，能够改变微谐振器的偏振依赖性。本发明对固定微腔谐振器的任何双折射性特别有用。如先前所述，通过光束传播仿真已经显示本发明：改变履层折射率能够非对称性改变双偏振折射率内的差异。

可以使用改变波导折射率对称性的一种普遍化方法。设计谐振器波导的折射率分布，以致能够实际上改变一条对称轴上的折射率，而另一条对称轴上的折射率根本很难改变，或只能与另一条对称轴上相关的折射率分布相反的符号进行改变。这样，当希望改变偏振依赖性时，能够改变一条对称轴上的折射率分布。例如，如果希望降低谐振器的 TE 谐振模，就增加垂直轴上的有效折射率，和/或减少水平轴上的有

效折射率。这样，能够在原位调节微腔体内的 TE 和 TM 谐振模，给出相同的谐振位置，因而，消除或增强偏振依赖性。

按照本发明的一个示范性实施例，通过将一或多个调谐元件放置在波导微谐振器的周围，可控制集成光路波导微谐振器的偏振依赖性。然后，控制这些元件，既可改变该波导折射率的横截面对称性，改变含有波导的材料双折射性的横截面对称性，也可改变含有波导的材料吸收的横截面对称性。在这个实施例中，电极可以用于激励这些调谐元件。此外，希望将这些电极放置在比履层内光密度的衰减长度更大的距离上。

### C、压力调节

图 7 是装置 700 的原理框图，该装置通过压力调节微谐振器。微谐振器 702 连接到一个输入波导 704 和一个输出波导 706。压力元件 710 将一个局部压力场施加到微谐振器。由分隔层 708 将压力元件和微谐振器分开。分隔层的功能是空间上将压力元件和微谐振器分开，并传递该压力场。通过改变压力元件提供给微谐振器的压力强度，可改变微谐振器的折射率。这种折射率的变化引起微谐振器的谐振条件的改变，使它的谐振波长产生漂移。

为了达到综合地、局部地控制该压力，首先经过各种沉积技术将该压力元件沉积到芯片内，作为薄膜层，其沉积技术例如溅射法，电镀法，化学沉积，物理沉积，等等。为了增强沉积薄膜的完整性，该沉积步骤或许需要附加的处理步骤。然后，图案化该压力元件，以局部化该压力，以致只影响到微谐振器的底层。当多个微谐振器合并并在芯片内时，该处理过程设计允许进行每个微谐振器的综合地，局部谐振调节。为了控制施加到底层的压力，要有附加处理步骤以建立与压力元件的连接。

分隔层的存在有助于空间上将微谐振器和压力元件分开，以致该压力元件不能干扰微谐振器内的光谐振模。应选择分隔层的厚度以避免这种干扰。由于存在该分隔层，只能传递来自压力元件的压力场，而不能传递其他的。该分隔层必须对该微谐振器工作的波长是透明的，因为该分隔层充当微谐振器 702 的履层。

依据由压力引起的张力的恢复性，该谐振调节可是永久的，也可以是临时的。当有一种机械装置使该微谐振器在撤消压力后，能够恢复它的张力时，该调节是临时的。当没有这种机械装置时，该调节是永久的。

图 8 是装置 800 的另一个示范性实施例的原理框图。该装置通过施加压力调节微谐振器的谐振。微环谐振器 802 具有依据它的尺寸谐振的特性。输入 804 和输出 806 波导将光束带入或带出该微环。压电元件 808 起作压力元件的功能。元件 808 连接到电连接器，用于接通/切断。履层 810 围绕在该微环的周围，并将该微环和元件 808 分开。该履层对谐振波长是透明的，并且它的折射率比该微环和波导的折射率低。

当将一个电压施加到元件 808 时，该元件对下面的履层施加压力。该履层将压力传递到该微环，并引起它的折射率改变。这种改变引起该微环的谐振条件的改变，并因此，使耦合到输出波导的谐振波长产生漂移。这样，达到微谐振器的谐振调节。

图 9 显示图 8 装置 800 在 X-Y 平面的横截面。将输入和输出波导物理地与该微环分开。然而，将来自和传送到波导的光束通过渐逝耦合，传送到该微环。

应当适当地选择图 8 实施例工作的电压范围，以获得所希望的调节范围。该电压范围不需从 0 伏开始。在该实施例中可以使用其他类型的微谐振器，例如微光子带隙(PBG)和微圆盘形，微圆球形，衍射光栅，等等。也可在该实施例中使用其他类型的压力元件，例如：微电子机械子系统 (MEM)，静电元件，等等。

虽然已经参考几个较佳实施例显示和描述了本发明，在哪里可以做出有关格式和详情的各种修改，省略和添加，并没有背离本发明的精神和范畴。

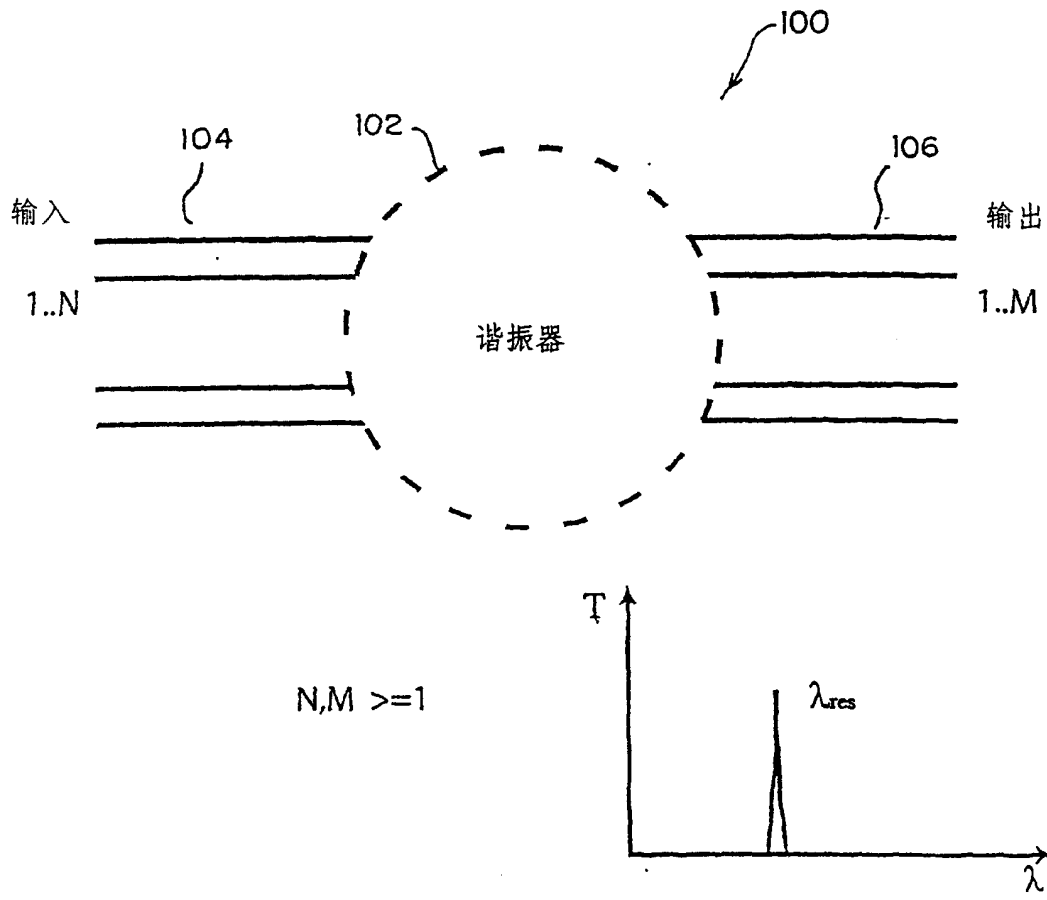


图 1A

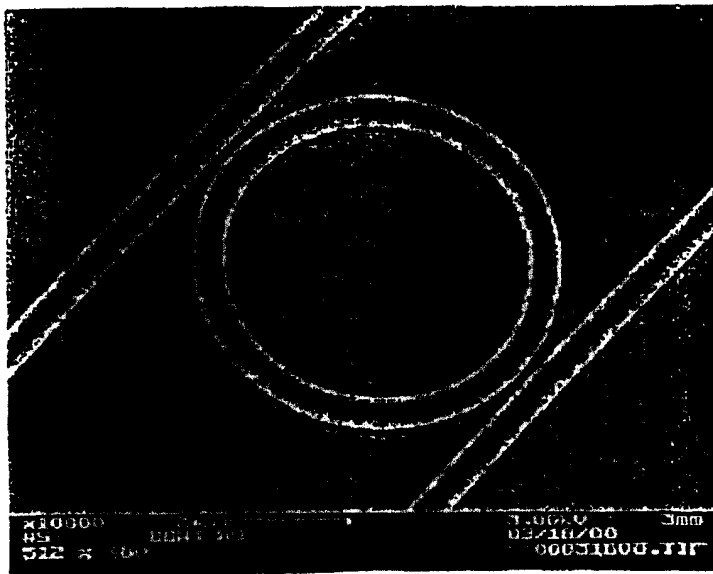


图 1B

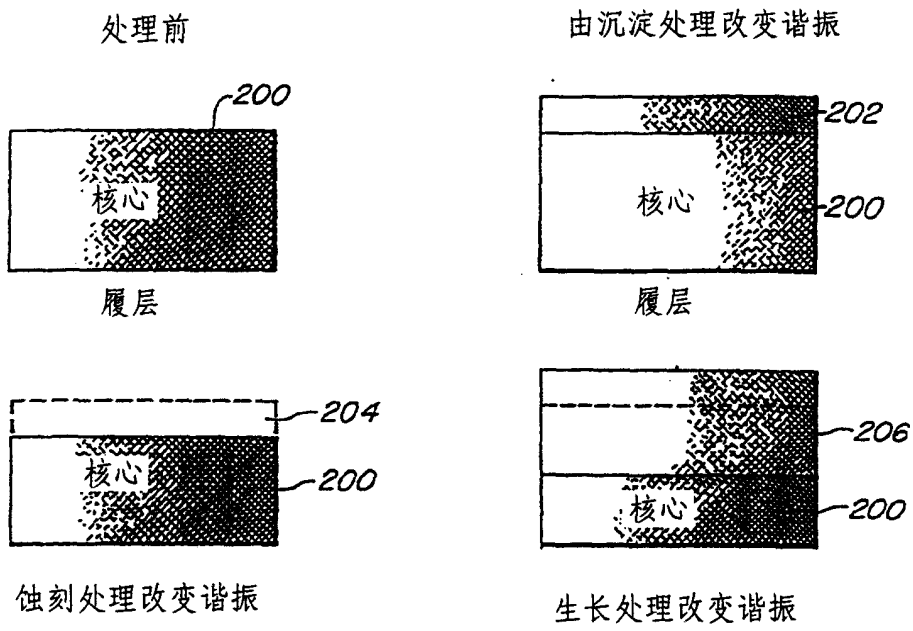


图 2A

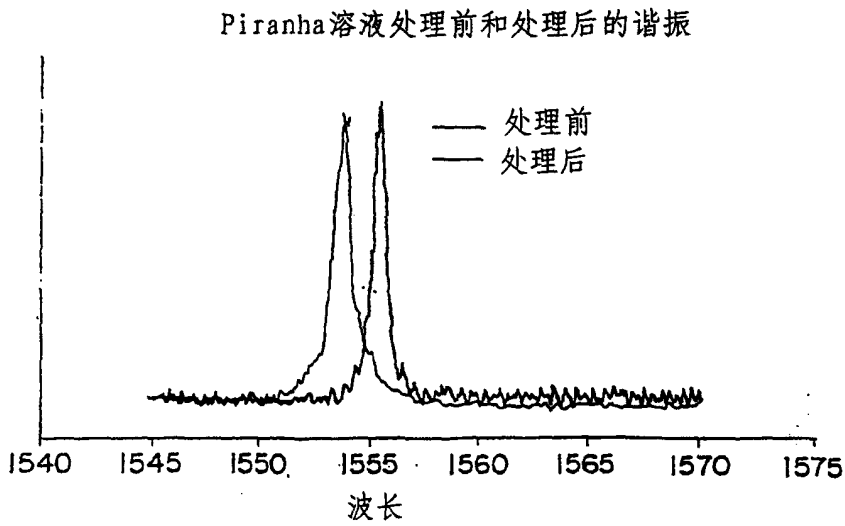


图 2B

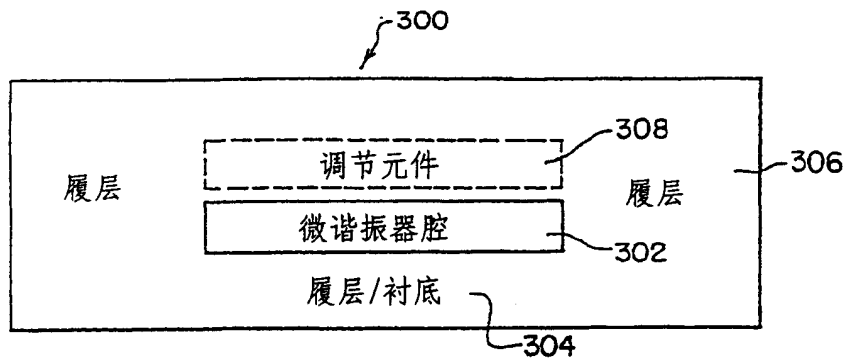


图 3A

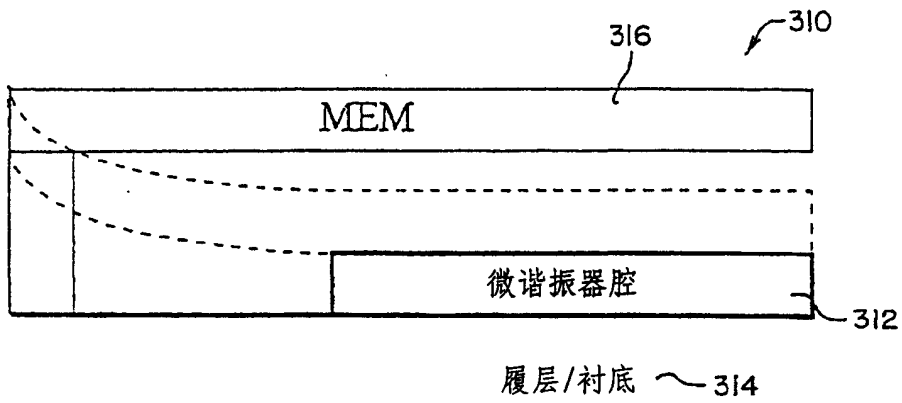


图 3B

1W 850 nm 来自光纤的1瓦，850纳米激光照射

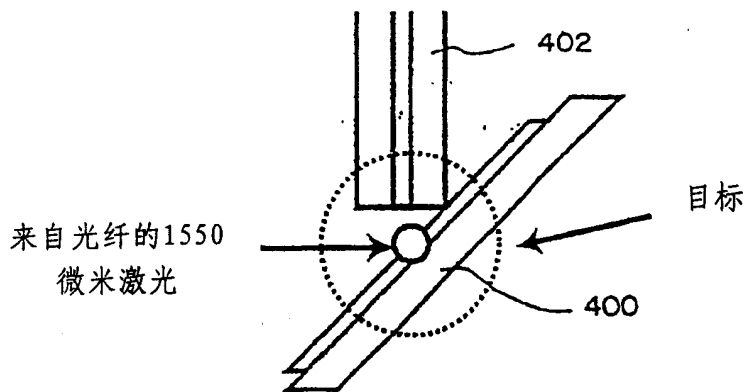


图 4A

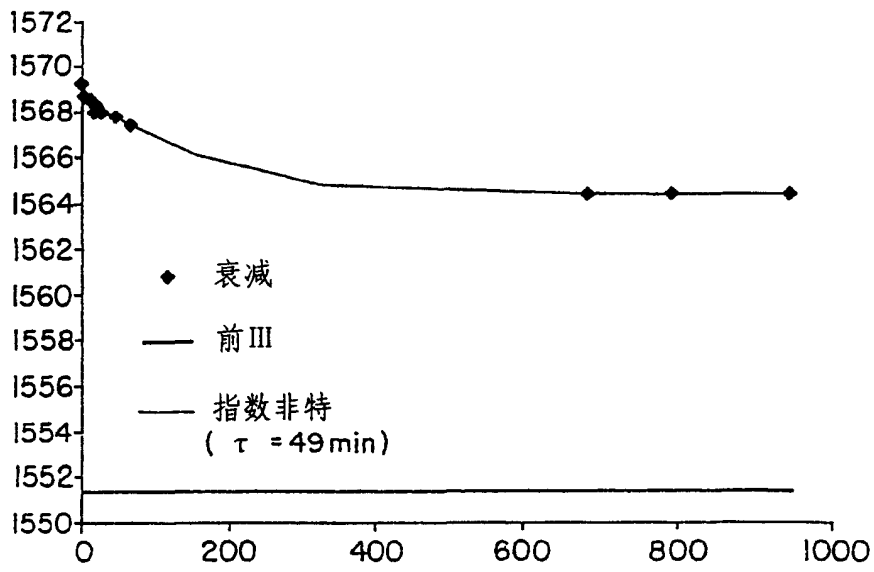


图 4B

微环谐振器光照前，光照期间和光照后

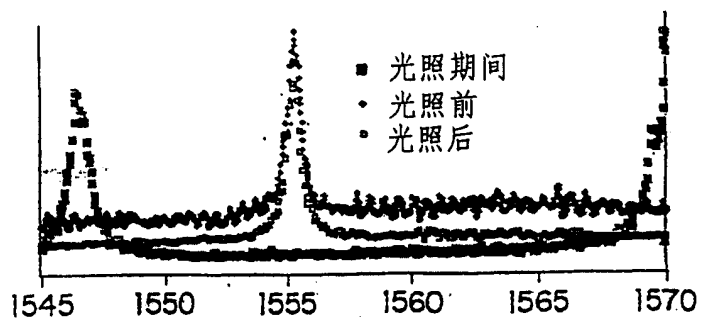


图 4C



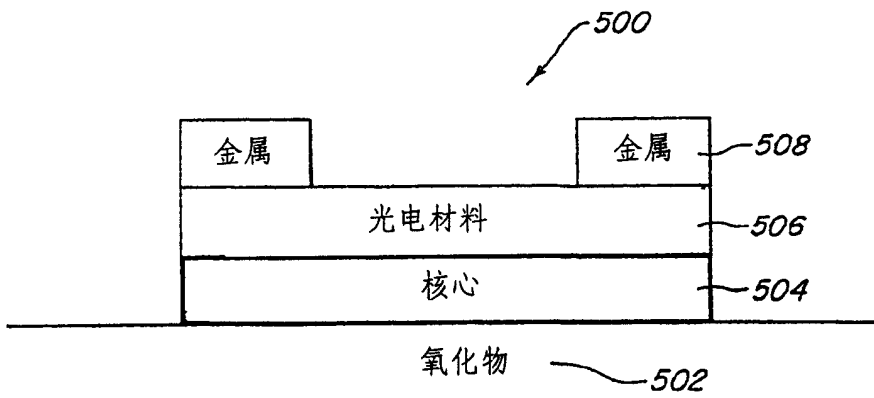


图 5

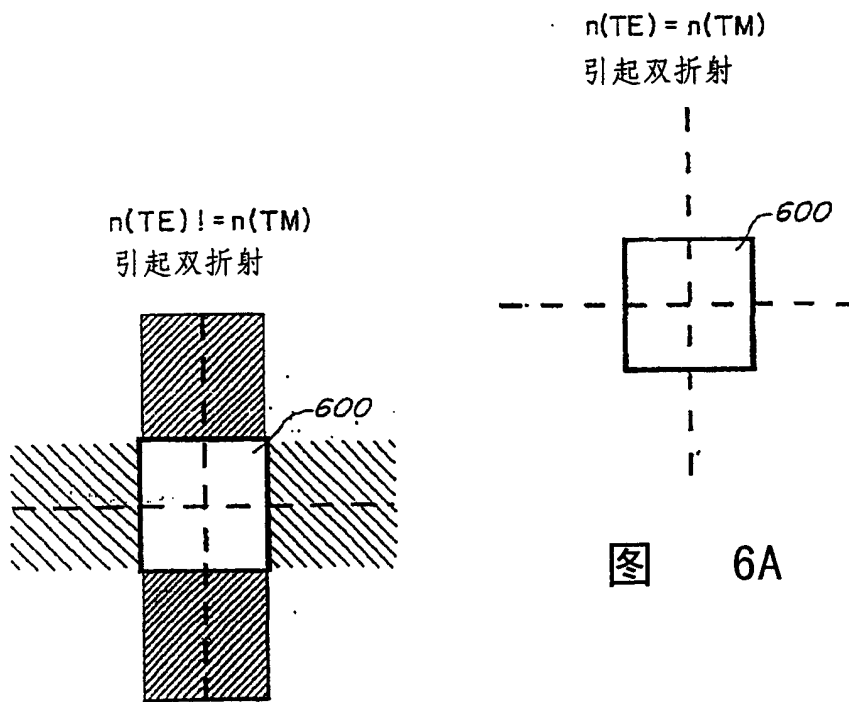


图 6A

图 6B

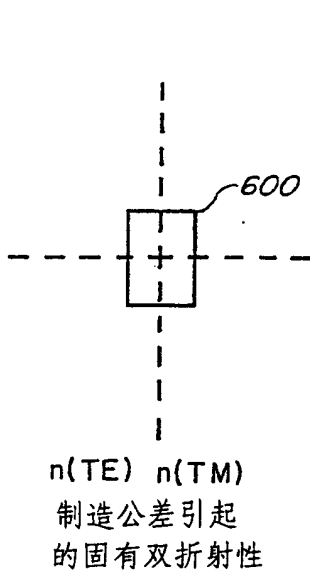


图 6C

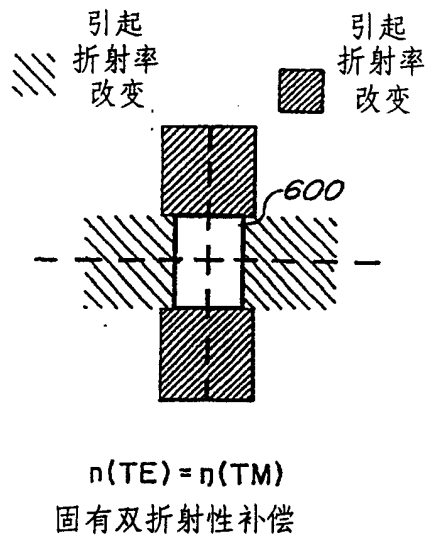


图 6D

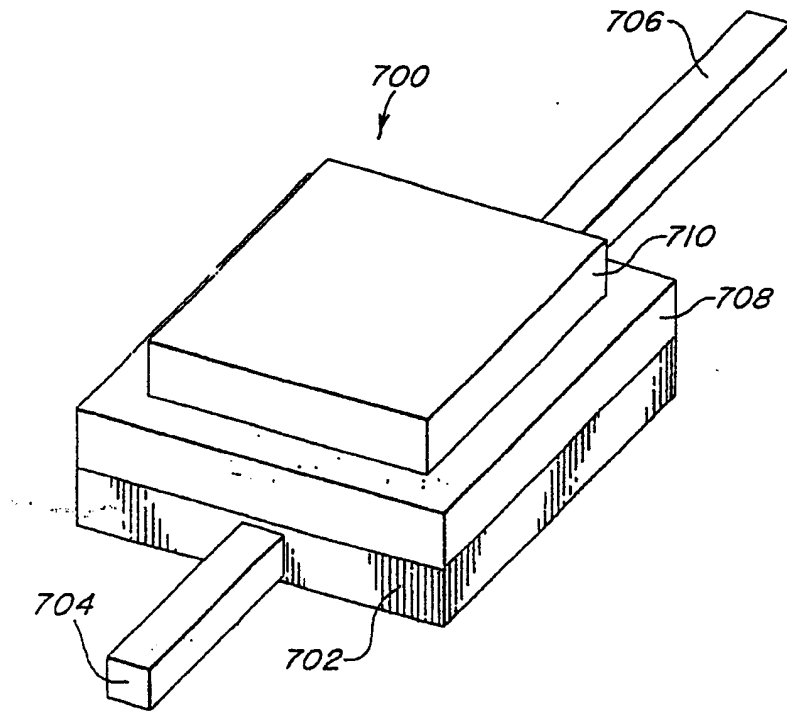


图 7

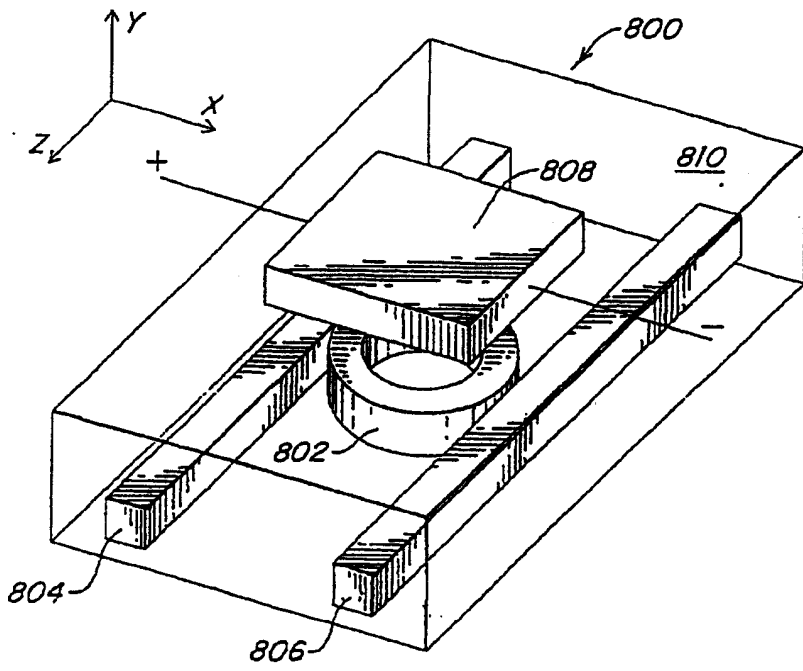


图 8

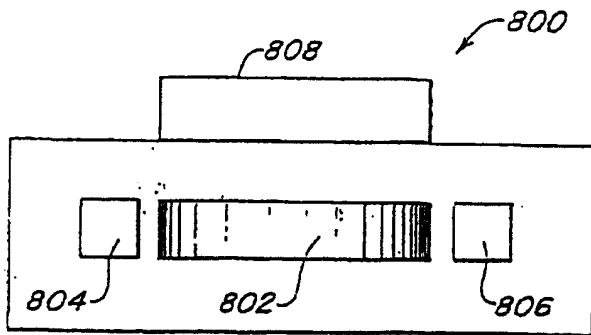


图 9