

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 00805412.6

[43]公开日 2002年4月17日

[11]公开号 CN 1345421A

[22]申请日 2000.3.22 [21]申请号 00805412.6

[30]优先权

[32]1999.3.22 [33]US [31]09/274,271

[86]国际申请 PCT/US00/07630 2000.3.22

[87]国际公布 WO00/57221 英 2000.9.28

[85]进入国家阶段日期 2001.9.24

[71]申请人 杰姆法尔公司

地址 美国加利福尼亚州

[72]发明人 希拉里·S·拉克瑞茨

托尼·C·科瓦尔奇克 李永正

戴维·A·G·迪肯

[74]专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司

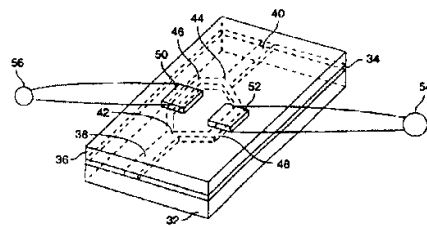
代理人 王维玉 丁业平

权利要求书 10 页 说明书 33 页 附图页数 8 页

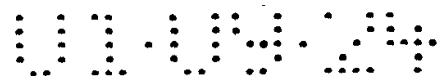
[54]发明名称 光电子器件和光子器件

[57]摘要

通过使用具有低于标称操作温度的玻璃化转变温度 (T_g) 的聚合物材料制造光电子和光子器件(100)。通过使用此类材料,提高了局部或片段迁移率,因此聚合物材料的局部应力被消除或最低化,使得聚合物性能更加稳定。本发明涉及在高于 T_g 的操作温度范围内把聚合物用于光子器件(100),此时聚合物交联键之间的片段能够进行局部的自由运动;然而材料的大规模运动受到聚合物材料交联结构的限制。因此,按照本发明制造的器件的操作温度优选远离 T_g 附近的粘弹性区和远低于 T_g 的玻璃态区。



ISSN 1008-4274



权 利 要 求 书

1. 一种热循环的热-光装置，包括：

5 一种聚合物，其玻璃化转变温度不超过沿着光通路的该聚合物最低操作温度，因此该元件以允许聚合物链保持较高的局部迁移率的方式发挥功能。

10 2. 权利要求 1 所述的装置，其还包括一种热耦合到元件的光传输区的热激活元件，其作用是在所感兴趣的期间内可控制地影响作为温度变化响应的折射率的变化。

3. 权利要求 2 所述的装置，其中所述的激活元件为图案式的阻抗层。

15 4. 权利要求 2 所述的装置，其作为偏转仪而形成。

5. 权利要求 4 所述的装置，其中所述的偏转仪为全内反射开关。

20 6. 权利要求 2 所述的装置，其作为能够调制到所需要的折射率的控制器而形成。

7. 权利要求 6 所述的装置，其中所述的控制器为光栅。

25 8. 权利要求 1 所述的装置，其中所述的玻璃化转变温度至少低于所述的聚合物的最低操作温度 20℃。

9. 权利要求 1 所述的装置，其还包括一种维持最低操作温度的加热元件。

30 10. 权利要求 1 所述的装置，其还包括一种调节标称操作温度的



冷却元件。

11. 权利要求 1 所述的装置，其中所述的光通路为光学波导管的一个部分。

5

12. 权利要求 1 所述的装置，其中所述的聚合物为交联聚合物。

13. 权利要求 1 所述的装置，其中所述的聚合物的有效玻璃化转变温度不超过沿光通路的聚合物的最低操作温度，这样该元件以允许
10 聚合物链保持较高的局部迁移率的方式发挥功能。

14. 权利要求 1 所述的装置，其中所述的聚合物包含至少一个位于基片上的层。

15. 一种光学器件，包括：
15

至少一种光学上透明的聚合物元件，其具有出现粘弹性效应的玻璃化转变温度和温度依赖型激发阈值；

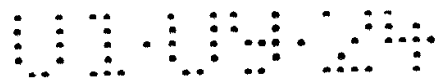
一种靠近所述的聚合物元件放置的热激发器，用于激活所述的聚合物元件；和

20 一种温度控制系统用于将标称操作温度调节到接近设计温度的范围，这样，为了利用在高于所述的玻璃化转变温度时的粘弹性效应，将所述的操作温度保持高于所述的玻璃化转变温度。

16. 权利要求 15 所述的光学器件，其中所述的热激发器能够有效改变该光学元件的折射率。
25

17. 权利要求 16 所述的光学器件，其中所述的指数的变化为周期性的。

18. 权利要求 15 所述的光学器件，其还包括一种光耦合到所述
30



的聚合物元件上的光学波导管。

19. 权利要求 15 所述的光学器件，其还包括形成所述的热激发器一部分的电极。

5

20. 权利要求 15 所述的光学器件，其中所述的聚合物元件作为一个光学开关置于光通路上，所述的光学开关响应于所述的热激发器而改变传输状态。

10

21. 权利要求 20 所述的光学器件，其中所述的光学开关为全内反射开关。

22. 权利要求 15 所述的光学器件，其中所述的聚合物元件作为能够调节到所需的折射率的控制器而置于一条光通路上。

15

23. 权利要求 22 所述的光学器件，其中所述的控制器为响应于所述的热激发器的可调光栅。

20

24. 权利要求 15 所述的光学器件，其中所述的玻璃化转变温度至少低于聚合物的标称操作温度 20℃。

25. 权利要求 15 所述的光学器件，其还包括一种调节标称操作温度的冷却元件。

25

26. 权利要求 15 所述的光学器件，其中激发阈值为在所述的聚合物中发生折射率缓慢变化的阈值，所述的折射率的缓慢变化的变化速率小于由所述的热激发器所施加的热激发的变化速率。

30

27. 权利要求 15 所述的光学器件，其中所述的聚合物为交联聚合物。



28. 权利要求 27 所述的光学器件，其中激发阈值为在所述的交
联聚合物中发生折射率缓慢变化的阈值，并且其中所述的温度控制系
5 统能够有效地维持所述的标称操作温度，使相对于每单位面积上的热
脉冲能量的该阈值明显高于由所述的热激发器所施加的每单位上的热
脉冲能量。

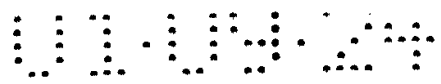
29. 权利要求 27 所述的光学器件，其中激发阈值为在所述的交
联聚合物中发生折射率缓慢变化的阈值，并且其中所述的温度控制系
10 统能够有效地维持所述的标称操作温度，使相对于每单位面积上的热
能的阈值明显高于由所述的热激发器所施加的每单位面积上的热能。

30. 权利要求 15 所述的光学器件，其中所述的聚合物具有有效
玻璃化转变温度，并且所述的温度控制系统把标称操作温度调节到设
15 计温度的范围，这样，为了利用在高于所述的有效玻璃化转变温度时
的粘弹性效应，所述的操作温度就维持在高于所述的有效玻璃化转变
温度水平。

31. 一种光学器件，包括：
20 至少一个光学上透明的聚合物元件层，其特征是玻璃化转变温度
低于所述的光学器件的标称操作温度；
一个用以包含所述的聚合物元件的光学波导管；和
一个用于调节操作温度的温度控制系统，这样，为了利用在所述
的标称操作温度下所述聚合物的至少一种特性，所述的操作温度被维
25 持高于所述的玻璃化转变温度。

32. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的特性为折射率随
时间变化的速率。

33. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的特性为减少所需



的用于激活所述聚合物元件的动力要求。

34. 权利要求 33 所述的光学器件，其中所述的特性为减少所需的用于激活所述聚合物元件的热能要求。

5

35. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的特性为具有最小失真的预测的响应重复的保真性，其中所述的预测的响应的形式为折射率对时间的变化速率。

10

36. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的特性为相对于预测的信号，输出信号中额外频率成分的产生最小化，所述的输出信号的形式为折射率对时间的变化速率。

15

37. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的特性为减少所述元件的光学介入损失。

38. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的特性为增加的使用寿命，包括对热循环的耐受力。

20

39. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的特性为与制作相关的较低的残余应力。

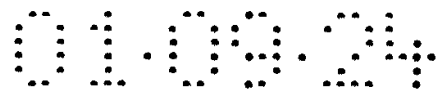
40. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的特性为较低的双折射。

25

41. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的特性为作为温度函数的折射率实质上恒定的变化率。

42. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的器件为光栅。

30



43. 权利要求 42 所述的光学器件，其中所述的特性为所述光栅的共振波长与温度之间为线性关系。

44. 权利要求 31 所述的光学器件，其作为光学开关而形成。

5

45. 权利要求 31 所述的光学器件，其还包括一个高频发热电极，用于热激发所述元件的折射率的变化。

10

46. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的聚合物为交联聚合物。

47. 权利要求 46 所述的光学器件，其中所述的特性为减少所述元件的长期物理变形（蠕变）。

15

48. 权利要求 46 所述的光学器件，其中所述的特性为与热循环相关的较低的残余应力。

49. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的聚合物为聚丙烯酸酯。

20

50. 权利要求 15 所述的光学器件，其中所述的聚合物为聚丙烯酸酯。

25

51. 权利要求 1 所述的光学器件，其中所述的聚合物为聚丙烯酸酯。

52. 权利要求 31 所述的光学器件，其中所述的聚合物为聚氨酯。

53. 权利要求 15 所述的光学器件，其中所述的聚合物为聚氨酯。

30



54. 权利要求 1 所述的光学器件，其中所述的聚合物为聚氨酯。

55. 一种集成光学开关，包括：

一个基片；

5 一个置于基片上的波导管，该波导管具有一个输出端；

一个置于基片上并靠近波导管输出端以光学耦合到波导管上的聚合物元件，该聚合物元件是光学上可透射的并且具有选定的玻璃化转变温度；和

10 一个热耦合到聚合物元件上以维持聚合物元件的操作温度高于选定的玻璃化转变温度的加热元件。

56. 权利要求 55 所述的集成光学开关，其中构成所述的加热元件以进一步为所述的聚合物元件提供瞬时热能，以改变所述聚合物元件的光学性质并激活所述的集成光学开关。

15

57. 权利要求 55 所述的集成光学开关，其还包括一个热耦合到所述的聚合物元件上的第二个加热元件，以进一步为所述的聚合物元件提供瞬时热能，以改变所述聚合物元件的光学性质并激活所述的集成光学开关。

20

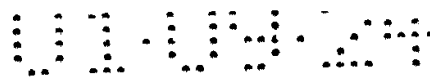
58. 一个光学器件，包括：

一个耦合到该光学器件输入端的输入波导管，该输入波导管具有传输轴线；

25 一个光耦合到输入波导管上并形成与输入波导管的传输轴线之间的第一个夹角的第一输出波导管，该第一输出波导管包括一个具有选定的玻璃化转变温度的聚合物材料部分；

一个光耦合到输入波导管上并形成与输入波导管的传输轴线之间的第二个夹角的第二输出波导管，这样，被输入波导管传输的光就能够在第一输出波导管和第二输出波导管之间发生分裂；和

30 一个加热元件，其至少热耦合到第一输出波导管上，以维持聚合



物材料的操作温度高于选定的玻璃化转变温度。

5 59. 权利要求 58 所述的光学器件，其中第二输出波导管包括具有第二选定的玻璃化转变温度的第二聚合物材料部分，并进一步包括热耦合到第二输出波导管上的第二加热元件。

60. 权利要求 58 所述的光学器件，其中所述的第一夹角为零度，并且所述的第一输出波导管为所述输入波导管的延续。

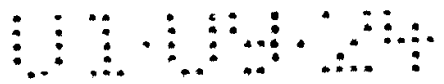
10 61. 一种全内反射（TIR）光学开关，其包括：
第一光学材料制成的核，所述的核形成一个主波导管；
至少一个第二光学材料制成的包层，所述的包层与所述的核相邻放置，并具有比所述的核更低的折射率；

15 所述第一光学材料和第二光学材料的至少一种为具有玻璃化转变温度的具有光学透射性的交联聚合物；

20 一个置于所述的包层上并与所述的主波导管跨接的图案式的阻抗性主加热元件，这样，电极的一边与所述的波导管成斜角，当激活所述的电极时，能够影响所述的聚合物的折射率的变化以使从所述的主波导管出来的光改变方向，所述的元件能够耦合到一个控制激发器上，所述的光学开关适于在高于所述的玻璃化转变温度的温度环境下工作。

25 62. 权利要求 61 所述的 TIR 光学开关，其还包括一个次级加热元件以维持所述的温度高于所述的第一和第二玻璃化转变温度的环境。

30 63. 权利要求 61 所述的 TIR 光学开关，其中所述的主加热元件还能够额外有效地维持温度高于所述的第一和第二玻璃化转变温度的所述的环境。



64. 一种用于操作一种光学器件的方法，该光学器件包括一个光学结构，其由具有光学上可透射的聚合物材料制成，该材料的特征为具有表现出粘弹性效应的玻璃化转变温度以及依赖温度的阈值，所述的方法包括：

5 维持操作温度高于所述的玻璃化转变温度；同时
 把光能导向进入所述的聚合物元件；同时
 选择性地把热能施加到所述的聚合物元件上以选择性地控制所述
光能的传输。

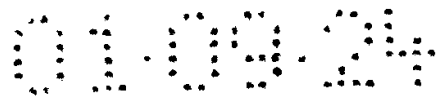
10 65. 权利要求 64 所述的方法，其中所述选择性施加的步骤包括：
 选择性地把热能脉冲施加到所述的聚合物元件的选定区域，以可
控的变化速率影响折射率的局部变化。

 66. 权利要求 65 所述的方法，其还包括以下后续步骤：
15 使所述的折射率基本上复原；并且在其后
 选择性地再次把热能施加到所述的聚合物元件上，以可控的变化
速率再次影响折射率的变化。

 67. 权利要求 66 所述的方法，其还包括在施加了所述的热能后，
20 从所述的聚合物元件中积极地排出热能。

 68. 一种使用聚合物材料的方法，包括：
 建立高于聚合物的特征玻璃化转变温度的最低操作温度；此后；
 为了控制电磁能的传输，当把电磁能导向进入聚合物以使聚合物
25 的折射率发生变化时，在高于最低操作温度下瞬时激活聚合物。

 69. 一种用于操作光学开关的方法，该光学开关包含一个由具有
 第一玻璃化转变温度的交联聚合物制成的具有光学上的可透射的核，
 至少一个由具有第二玻璃化转变温度的交联聚合物制成的具有光学上的
30 的可透射性的包层，以及一个用于引起所述聚合物折射率变化的高频



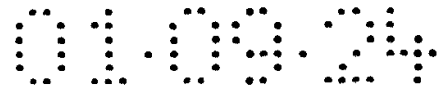
发热电极，所述的高频发热电极耦合到激发器上，所述的光学开关在高于所述的第二玻璃化转变温度的温度环境下运转，所述的方法包括：

- 5 维持操作温度高于玻璃化转变温度；同时
- 把光能导向进入所述的核；同时
- 为了选择性地重新引导所述的光能，选择性地把热能通过所述的高频发热电极施加于所述核的一个区域，以改变所述区域的折射率。

- 10 70. 一种用于操作光学开关的方法，该光学开关包含一个由具有第一玻璃化转变温度的交联聚合物制成的具有光学上的可透射的核，至少一个由具有第二玻璃化转变温度的交联聚合物制成的具有光学上的可透射性的包层，以及一个用于引起所述聚合物折射率变化的高频发热电极的所述的高频发热电极耦合到激发器上，所述的光学开关在高于所述的第一和第二玻璃化转变温度的温度环境下运转，所述的方法包括：
- 15

- 维持操作温度高于玻璃化转变温度；同时
- 把光能导向进入所述的核；同时
- 为了选择性地重新引导所述的光能，选择性地把热能通过所述的高频发热电极施加于所述核的一个区域，以改变所述区域的折射率。

20



说明书

光电子器件和光子器件

5 发明背景

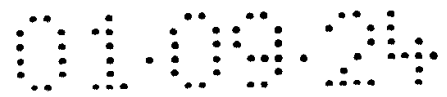
本发明涉及光学或光子元器件，更具体为涉及由聚合物形成的光电子器件。

10 已知集成的光学器件（即，波导管、开关、连接线等）是由聚合物材料制造的，该聚合物材料的玻璃化转变温度（ T_g ）比器件的操作温度范围高得多。玻璃化转变温度是聚合物主链发生明显的局部运动的温度范围。 T_g 通常被定义为大约 10 个主链单位的协同运动，或粘度为 10^{14} 泊，或热容的二级相变。体积随温度而变化的速率的斜率发生变化的温度被认为是玻璃化温度，或软化点。对图 1 和图 2 所说明的粘弹性和特性的详细描述见 G.B.McKenna, 第 10 章, 综合聚合物科学 (Comprehensive Polymer Science), 第 2 卷, 由 C.Booth 和 C.Price, 编写, Permagon Press, Oxford (1989)。

20 当交联键之间的分子量足以允许主链单元的协同运动时，交联的物质显示玻璃化转变。因此，交联度低的物质会表现出玻璃化转变；而交联度高的物质则不会。

25 在 T_g 以下，由于有限量的链段运动，聚合物质达不到平衡。热力学（熵）效应仍然使变化趋于平衡，但如果温度远远低于 T_g ，变化将以在所感兴趣的时间范围内（本案中指观察期）看不到实验表现的缓慢速率发生。

30 过去之所以选择具有高 T_g 的材料有几方面的原因，包括与电子加工和包装的兼容性，维持加入到材料中的生色团的取向以及环境和性能的稳定。使用高 T_g 材料（具有高于成套器件中的材料的操作温

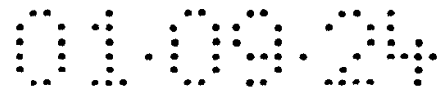


度的 T_g 材料) 保证器件在聚合物片段的局部运动受到明显限制的区域工作并且材料在玻璃态使用。在最早开发的用于光电子器件的聚合物膜中, 据认为使用高 T_g 材料是必需的。“例如, 许多早期研究的 EO 聚合物, 不论是客体-主体型还是侧链型, 均以热塑性丙烯酸酯化学为基础并且玻璃化转变温度为 100-150°C。这一低 T_g 导致聚合物链的高扩散速率以及在环境温度下运转 5 年至少 10% 偏振状态光学性质的改变。这么快速的变化是动态过程的自然结果, 通过该动态过程, 玻璃态聚合物在接近 T_g 下运转, 发生物理老化和松弛从而降低了应力并减少了自由体积。当研究更高的操作温度 (125°C) 时, 光学性质的稳定性变得更差。” (摘自 R.Lytel 等人的评论论文, 用于光波和集成光学器件的聚合物 (Polymers for Lightwave and Integrated Optics), L.A.Hornak 编著, Marcel Dekker 1992, 460 页)。

为集成光电子设备所开发的高玻璃化转变温度材料包括由 Hoechst, 杜邦 (DuPont), 阿莫科 (Amoco) 及其他公司开发的聚酰亚胺材料 (玻璃化转变范围为 250°C 至适当高于 350°C) 以及由日立化学 (Hitachi Chemical) 开发的聚喹啉 (T_g 高于 250°C)。指导研究者的假设是: “此类波导管的优先性质是具有高度的热稳定性以与高性能的电子器件构造兼容。氟化的聚酰亚胺具有高于 335°C 的高玻璃化转变温度, 并且对包括焊接 (约 270°C) 在内的集成电路加工过程具有热稳定性。(T.Matsuura 等人, Elect.Lett.29 2107-2108 (1993))。

对用于热-光转换开关的聚合物的要求由 R.Moosburger 等人报道 (Proc.21st Eur.Conf.On Opt.Comm.(ECOC95-Brussels) 1063-1066 页)。“由于其固有的低光损失, 在高于 350°C 下热稳定, 低吸湿性以及优良的平面化性能, 选择用可购买到的高温 ($T_g > 350^\circ\text{C}$) 稳定的聚合物 CYCLOTENE™....CYCLOTENE™ 制造在 1.3 μm 波长下的低损失开关。”

对被动式光学互连聚合物的要求由 DuPont 为其 Polyguide™ 材料



体系在 R.T. Chen 等人的 SPIE Vol.3005 (1997) 238-251 页中报道，
“高 T_g 和低热膨胀系数 (CTE) 聚合物通过其完全控制 Poluguide™
的结构性质而提供热-力学和环境稳定性以及性能的稳定。” DuPont 使用
乙酸丁酸纤维素 (CAB) 材料，如美国专利 5,292,620 和 5,098,804
的描述。

5

除上述丙烯酸酯、聚酰亚胺、聚喹啉、苯并环丁烯和 CAB 材料
体系外，用于制造集成光学器件的其他材料系包括轴节聚合物 (C.Wu
等, in *Polymer for Second-Order Nonlinear Optics*, ACS Symposium
Series 601, 356-367 页,1995), 环氧化合物 (C.Olsen 等, IEEE Phot. Tech.
Lett.4,145-148 页,1992), polyalkylsilyne 和 polysilyne (T.Weidman 等, in
Polymers for Lightwave and Integrated Optics, Op. Cit. 195-205 页,1992),
聚碳酸酯和聚苯乙烯 (T.Kaino, in *Polymers for Lightwave and Integrated
Optics*, Op. Cit., 1-38,1992 页), 聚酯 (A.Nahate 等, Appl.Phys.
Lett.64,3371,1994), 聚硅氧烷 (M.Usui 等, J.Lightwave Technol.14
2338,1996) 以及硅酮 (T.Watanable et al.J.Lightwave Technol.16 1049-
1055,1998)。聚甲基丙烯酸甲酯，聚苯乙烯和聚碳酸酯也被用于聚合
物光学纤维 (POFs)。聚碳酸酯被用做只读光盘的基片，也被用于塑
料的眼镜镜片、硬质隐形眼镜及相关应用。硅酮被用于柔性隐形眼镜。

10

15

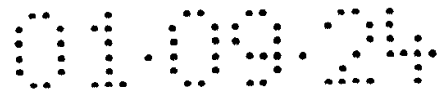
20

几位研究人员利用聚合物的热效应设计了光学开关器件。除
R.Moosburger, Op.Cit., 的研究工作外，一个小组一直努力使一种使用数
字光波导开关构造的热-光开关商品化 (G.R.Mohlmann 等, SPIE
Vol.1560 *Nonlinear Optical Properties of Organic Materials Iv*, 426-433
页,1991)。在这一工作中，一种耐热成分沉积在高玻璃化转变温度的
带有一个波导 y 分支分流器的热光聚合物层。加热器电极的活化使在
活化电极下折射率降低并导致光转化为未活化的波导分支 (branch)。

25

30

在针对用于热-光集成的光学器件的聚合物的研究中获得了本发
明，观察到由于材料的粘弹性行为而产生的非线性反应。在热-光器件



反复转换后，例如，聚合物在被加热处开始表现出折射率的局部变化，干扰了开关的“关闭”状态及其反应时间。聚合物的粘弹性决定了材料对所应用的热或其他干扰的反应的机械性能。这些性能决定了所施加的变化（例如热、应力、声音激发等）在材料性质（例如折射率、机械应力等的变化）中所产生的时间依赖型响应的比例。任何真正的弹性作用通常都是线性的并且在停止所施加的变化时，弹性消失。然而，材料响应的时间依赖型因素在移去所施加的变化后仍然滞留在材料中并且可能需要数分钟至很长的时间恢复。如果材料的响应导致器件运转性能的退化，则退化可能会随着时间而累积并导致器件不能满足性能规格。

对于在通讯中使用的光学器件，此类行为是不受欢迎的，因为它可能降低介入损耗、抗串音以及其他对系统的误码率具有重要意义性能措施。任何此类随时间变化的因素都是电讯应用中的问题，在电讯应用中，可靠性和重复性是重要的并且在服务期间将遇到宽范围的环境条件。为使热-光转换器件有效，材料在光学性质上不应表现出任何此类缓慢的改变。

发明概要

按照本发明，通过使用具有比标称操作温度低的玻璃化转变温度（ T_g ）的聚合物材料制造光电子和光子器件。通过使用此类材料，提高了局部或链段迁移率，因此排除或降低了聚合物材料的局部应力，使其性能更加稳定。

本发明包括在操作温度范围高于 T_g 的一种光学器件中使用聚合物，其中，聚合物交联键之间的片段允许局部的自由运动；然而，聚合物材料的交联结构可能限制材料的大规模运动。因此，按照本发明器件构造的器件的操作温度优选远离 T_g 附近的粘弹区和低于 T_g 的玻璃化区；从而使得器件在粘弹效应不会明显影响材料体系以及降低或排除聚合物的时间依赖型反应的范围运转。这样，器件的运转能够实

现最低的退化并且表现出提高的性能特征。

参考下文的详细描述并结合附图能够更好地理解本发明。

5 对附图的简单说明

图 1 是一种无定形聚合物材料的作为温度函数的体积变化示意图。

图 2 是有效的玻璃化转变温度概念示意图，其中 T_g 值是测量速率的函数。

10 图 3 是按照本发明的全内反射 (TIR) 开关的透视图。

图 4 是沿轴线 16-18 表示图 3 的 TIR 开关的核心层的横断面图。

图 5 表示 TIR 开关在一定时间内的通量响应的曲线，在该时间范围内开关被激活。

15 图 6 表示现有技术中的 TIR 开关驱动响应的曲线，该 TIR 开关由第一次脉冲和第 30,000 次激发后的脉冲的第一个激发能量激活。

图 7 表示现有技术中的 TIR 开关驱动响应的曲线，该 TIR 开关由第一次脉冲和第 30,000 次激发后的脉冲的第二个、更高的激发能量激活。

20 图 8 表示现有技术中的 TIR 开关驱动响应的曲线，该 TIR 开关由第一次脉冲和第 30,000 次激发后的脉冲的第三个、仍然是更高的激发能量激活。

图 9 表示图 6-8 的现有技术的 TIR 开关以及按照本发明的 TIR 开关所发生的介入损失曲线。

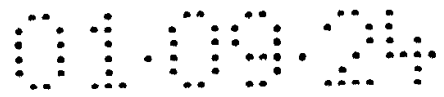
25 图 10 表示按照本发明的 TIR 开关与传统的 TIR 开关对比，其激活所要求的温度曲线。

图 11 是按照本发明的 Mach-Zehnder 调制器的透视图。

图 12 表示特殊形式的粘弹性外观如何影响器件性能的退化。

图 13 是按照本发明的 Y 形分支分流器的透视图。

30 图 14 是表示经一定数量的运转周期后，现有技术器件与图 13



的器件的能量输出曲线。

图 15 是按照本发明的热光光栅器件的透视图。

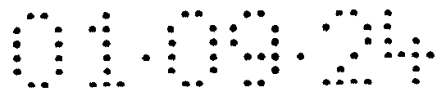
具体实施方案的描述

5 图 1 是在总体上对一种无定形聚合物材料的作为温度函数的体积变化示意性描述。范围 A 是玻璃化范围，范围 B 是橡胶化（对于交联的物质）或熔化（对未交联的聚合物）状态，范围 A 和范围 B 之间的范围 C 是粘弹性状态。

10 按照本发明，利用了体积-温度曲线中高于玻璃化转变温度的区域（图 1 中的 B 区）。在这一区域中，允许聚合物片段的局部自由运动。相应地，重复运转使得器件能够以最低的或可以忽略的粘弹性效应发挥功能，该粘弹性效应对器件性能的过早损坏/退化具有影响。在优选的实施方案中，聚合物材料的交联结构限制了大规模的运动。

15 在高于玻璃化转变温度（ T_g ）的区域运转的原因是避免例如引发与在粘弹区（如上文描述）运转相关的介入损失等负面效应。然而，在诸如集成光学中的应用，必须经常对微观区域进行局部加热以实现转换和其他功能。对材料加热，即使温度升高净值没有超过 T_g ，也发现了会导致诸如折光率等材料性能的长期改变。例如，在诸如光学开关中多次循环施加热脉冲后，这些变化会变得十分明显。如果加热是局部的，则折光率的改变也是局部的，从而产生不受欢迎的光学效应，例如增加器件的介入损失。

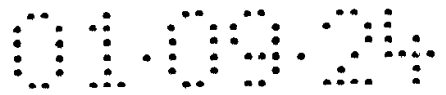
25 按照本发明，公开了一类新型的光学器件，其物理性能与在先已知的性能存在着质量上的区别，其中使用了聚合的光学材料，该器件的特征在于 T_g 与所预期运转的温度范围的关系，特别在于其操作温度接近或高于光学材料的 T_g 。通过在接近或高于光学材料 T_g 的温度运转器件，可能减少或甚至消除粘弹性的影响。如果操作温度接近（稍微低于或等于） T_g ，可能会减少粘弹性问题，如果操作温度高于 T_g ，



应该不会发生由于粘弹性而引起的退化效应的累积。这种新型的器件也表现出提高的性能以及允许更宽的运转范围。

5 在测量玻璃化转变温度 T_g 以及与作为温度函数的 T_g 相关的材料性能的实验中，观察到在测量中温度变化的速率改变了结果。如图 2 所表明，使用缓慢的温度斜坡（速率 2）所测量的 T_g 比以快速斜坡（速率 1）所测量的 T_g 低。这种速率依赖型的 T_g 有时被称为有效 T_g 。出于这些目的， T_g 应被视为以每分钟 10°C 的速率在一个典型的商用 DSC（差动扫描热计）仪器上的测量值。然而，图 3 热-光开关的加热速率
10 在运转中要比每分钟 10°C 高得多。用于器件运转的 T_g 是在器件运转的速率下的有效 T_g 。

在图 2 中，说明了速率依赖型的 T_g 概念。首先看上面的曲线，有效玻璃化转变温度， $T_g^{\text{有效}}$ ，被定义为在交点 11 的温度，体积-温度曲线斜率的 13。在真正的材料（非理想化）中，如虚线 15，16 所表示，转折并不明显。观察到转折的位点是温度变化速率的函数；速率 1 的曲线代表更快速的加热或冷却速；因此转折点，或 $T_{g1}^{\text{有效}}$ ，在更高的温度发生（即，如果速率 $1 >$ 速率 2，则 $T_{g1}^{\text{有效}} > T_{g2}^{\text{有效}}$ ）。对于温度变化速率每个数量级的变化，玻璃化转变温度大约变化 3°C
15
20 （McKenna,1989;或 Viscoelastic Properties of Polymers by J.D.Ferry,第三版, Wiley,New York,1980），这是一个很好的经验规则（例如，见 T.A.Osswald 和 G.Mengens 所著 Materials Science of Polymers for Engineers, Hanser 出版社,Munich 1995）。当将在 1 毫秒内可能变化高于 10°C 的热-光器件与使用 DSC 在 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 下所测量的玻璃化转变
25 温度对比时，速率是十分重要的因素。在本案中，速率的差异约为 6 个数量级。根据经验规则，此类热-光器件的有效 T_g 大约比使用 DSC 所测量的同等材料的 T_g 高 18°C 。一个非常快速的热-光开关可能具有有效 T_g 比 T_g 高 24°C 。即使是在 100 毫秒内温度变动 3°C 的缓慢升高的热-光开关，其有效 T_g 仍然比使用 DSC 在每分钟 1°C 下所测量的 T_g
30 高大约 9°C 。

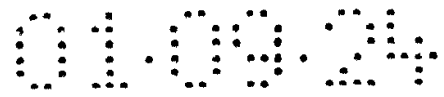


5 本发明的一个优选实施方案是如图 3 所示的一个热-光控制的光学聚合物波导 TIR（全内反射）器件 100。作为一种热-光器件，或者一种受温度手段控制的输送光能量的器件，其作为一种可转换的光辐射偏转器而发挥作用。使用透明的聚合物引导光线，即光线在该聚合物中以预期的运转波长下以预定的最低衰减量传播。

10 在图 3 中，构建了一种多层堆栈，即多层结构由一层叠加在另一层上面形成，其中一种光学透明的聚合物下层的包层，2 位于基片 4 上面。优选下层的包层为通过旋涂沉积的聚合物。或者说，层 2 可以是一种无机材料或未交联的有机材料。任何本领域的技术人员所熟知的沉降方法都可以被适当地选择用于不同层的沉积。现有技术中已知的光致抗蚀剂的平板印刷和 RIE（活性离子蚀刻）过程的结合工艺可以被用于制作通过下面的包层 2 的沟槽 5。核心层 6，也旋压在位于
15 下面的包层之上并填充沟槽 5。旋压过程易于使表面平面化，填充沟槽 5。第三个光学层，上面的包层 10 也是旋压而成的。正如本技术领域已知，每层的厚度通过选择旋压速度而调整。层厚度分别为大约 5 μm ，1.2 μm ，和 1.4 μm 。加工完成后，实验结构中的三层 4、6、10 所使用的材料的折光率分别为 1.488，1.522 和 1.422。沟槽深度为大约
20 0.06 μm ，宽度为 6 μm ，实现了在 980nm 单一模式的引导。

所使用的材料是：Corning 1734 玻璃基片 4；Gelest UMS-992 聚丙烯酸酯（ T_g 约为 45°C ），下面的包层 2；Norland Optical Adhesive（光学粘合剂）68（ $T_g=35^\circ\text{C}$ ），核心层 6；Gelest UMS-182 聚丙烯酸酯（ T_g 低于 0°C ），上面的包层 10。所有三种聚合物材料均按照制造商的指示使用 UV 固化步骤交联。三种材料被选择用于提高总体的立体稳定性和化学稳定性。然而，没有发现如此构建的器件的明显的立体或化学不稳定性的证据。

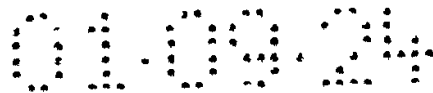
30 波导管是允许光波沿着一种光程传播，不论衍射效应及导管结构



的弯曲情况如何均通过其全长的任何结构。虽然图 3 中所表示的波导管片段（波导管 12 的预定部分）是直的，如果需要，波导管的形状可以轻易地被限定成复杂得多的结构。通过适当地构建用于限定蚀刻步骤中的光致抗蚀剂的掩模，包括曲线 X 和 Y 分支的波导管结构，可以引入平行的耦合器。光学的波导管被定义为相对于周围介质而提高了折射率的所延伸的限定区长度。对光波引导或限制的强度依赖于波长、折射率差以及波导管的宽度。越强的限制通常会导致越窄的模式。波导管可能支持多种光模式或单一光模式，取决于限制的强度。通常，光模式由其偏振状态的二维电磁几何范围及其波长所区分。如果光模式折射率的变化足够低（例如 $n=0.003$ ）并且波导管足够细（例如 $5.0 \mu m$ ），则波导管在一定的波长范围内将仅含有一个单一的横向模式（最低级的模式）。对于更大的折射率差异和/或更大的波导管物理尺寸，光模式的数量将增加。

这种性质的波导管通常被称为肋状波导管。仔细地沿着核心层的厚度控制蚀刻沟槽的尺寸（肋深度和宽度）以控制传输模式的数量和形状。优选将波导管设计为仅支持一种单一的最低级的模式，消除与更高级的模式相关的复杂性。更高级的模式比更低级的模式具有不同的传输常数和更高的散射损耗，散射损耗在有些应用中可能会成为问题所在。在其他要求更高能量的应用中，更高级的模式可能更为有益。

在特殊的实施方案中，80/20NiCr 的 100nm 层被真空喷镀到最上面的包被层上，然后使用本领域中已知的标准平版印刷方法蚀刻，形成图案式结构，例如加热器带 8。控制系统 19，在本实施例中是温度控制系统（电源），控制热激发元件，该元件是耐热元件 8。耐热元件的取向与其下面的波导管通道 5 形成一个倾斜的角度（大约几度）。控制元件通过高频发热电极 9 向加热元件提供足量的电流，高频发热电极在加热元件 8 末端的一个扩大的区域上方被制成一个薄的镀金层，从而可以实现所要求的操作温度。耐热元件 8 是一个激发器，因为其对所施加的电流的反应产生了器件温度的变化。从控制系统产生



并控制引起器件运转的电流的意义上说，控制系统 19 是激发器的重要部分。由于热能量在一个很短的脉冲内施加，在开关 100 中所实现的作为时间函数的温度升高实质上独立于诸如器件温度等外部因素；其时间依赖性由其在器件中的扩散所决定。耐热元件 8 是一种导电材料，例如金属（在优选实施方案中是镍-铬合金）或其他沉积于上面的包层的适当的导电材料。也可以通过化学气相沉积或其他涂敷此类材料的适当的技术实现沉积。在金属电极的情况下，最好是在电极下面加入一种额外的包层以减少光学损失，当一部分制导的波型（guided wave mode）延伸至金属电极以外时发生该光学损失。

5

将加热元件的长度制成 $800\ \mu\text{m}$ 是为了充分地延伸至加热元件通过波导管的区域之前或之后，因此，加热元件的活化会在聚合物中产生温度变化，该温度变化能够在波导管中以渐逝场的模式被感受到。

10

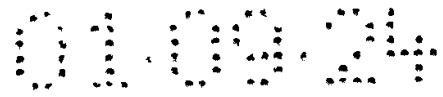
选择加热元件的宽度大约为 $20\ \mu\text{m}$ 是为了防止或显著减少通过波导管的加热区的光辐射的光隧道效应。光隧道效应是来自高折射率区域的光在通过低折射率区进入高折射率区时的光耦合。通常，光隧道效应的长度取决于制导光线的波长、在加热区域中折射率的变化量以及加热波导管区域的长度。

15

使用一种冷却元件实现向平衡温度的回归。冷却元件可以是通过对流、传导或辐射（例如热-电冷却器，散热器、热导管）帮助转移热能的任何元件。冷却元件调节附加在热-光器件的任何元件的额定操作温度。在优选实施方案中，由于较低的热负载，我们使用一种玻璃基片作为冷却元件。根据应用情况，可以使用诸如陶瓷、硅或甚至金刚石等具有更高热传导率的基片，也可以使用有源的散热方法，例如 Peltier 效应（TE）冷却器，蒸汽芯冷却器或水冷却器或强制通风热交换器。这些冷却元件的效果是提供热能量的散热通道，从而器件可以连续运转或按照要求间歇运转，但仍然保持在操作温度范围内。

20

25



操作温度是在由光学通道通过的区域中的聚合物层的温度，是在长于热激发元件的光学响应时间而短于器件以外的环境发生变化时间的时间范围内的平均值。优选将操作温度控制在所要求的范围内，该范围是由带有反馈回路的传感器通过调整加热器或冷却器的运转而维持传感器中所要求温度（例如，降低操作温度）而确定，这是本领域已知的技术。控制回路可以包括为脉冲率等发生变化的效应而作出准备的前馈。最低操作温度是包括任何热控制回路在内的器件适当运行所允许的最低操作温度，当周围环境在温度、湿度等范围内变化时，是器件运转所指定的值。

5

当加热元件被激活时，来自加热元件的热能扩散至周围的聚合物层中并提高聚合物的温度，同时通过热-光效应降低受热聚合物的折光率。邻近加热元件的聚合物区域由于单位面积从加热元件所吸收的热能高于远离加热元件的区域，因此，其温度升高更多。图 4 示意性地表示在开关活化期间，聚合物核心层折射率空间变化的俯视图。如图所示，以区域 22 为例，该区域邻近加热元件（未标明），其折射率比远离加热元件的区域 24 低。

10

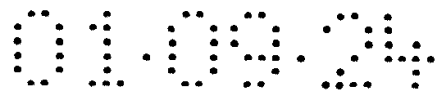
如果受热聚合物的折射率变化足够大并且在加热元件与波导管之间的角度 14 足够小，则在波导管中传播的光辐射为在界面 20 的全内反射，称为 TIR 界面并且如光束 17 所表示的光辐射从肋式波导管上偏离。虽然光线 17 在由沟槽 5 所限定的区域以外的核心层所形成的平面波导中传播，偏离的光线 17 大部分在光学上被垂直限定在核心层 6 中。经转化活化而偏离波导管的光线可以被利用、收集或使用光栅、镜子、透镜或任何其他本领域普通技术人员已知的方法改变路线，该路线在层 6（图 3）所限定的平面内或外传播。

20

25

偏离的光线 17 可以进行多项应用，例如光线路由器、传感器和调制器。可以沿着单一的波导管安装多个加热元件，以在任何波导管-加热元件邻近的区域使光线偏离波导管。此外，可以根据讨论中的应

30



用，在一排波导管上下安装一个或一排加热元件。

光通量作为光线 18 的光强度的度量，光线 18 在经过 TIR 开关 100 后从波导管中出现。作为 TIR 反射的结果，光通量由于加热元件的活化而降低。由于肋状波导 TIR 开关的反射光线必须克服横向波导管的限制，在同等水平的激发下，肋状波导 TIR 开关的效率可能不如平面波导开关的效率。高。（平面波导开关按照如上述图 3 所描述的同样的方法制造，但不制造沟槽；输入光线仅限定在与层 6 的平面垂直的一维）。

10

图 5a 是对作为时间函数的波导管通量的描述。图 5b 表示开关由电流脉冲 92 所控制，电流脉冲在时间 t_9 提供最大电流并持续至时间 t_{10} ，然后恢复到初始状态。如图 5b 所示，控制电流脉冲在时间 t_9 开始，在时间 t_{10} 结束，但开关的光响应（通量）不是即时的。图 5c 表示在一个低于加热元件的指定深度通过一个单一热能脉冲的传输而引发的折射率的变化。作为施加电流脉冲 92 的结果，聚合物材料的折射率分布 94 作为时间的函数变化。当光模式所发生的折射率中断向全内反射（TIR）所要求的水平或高于该水平发展，则光线将由于该中断而发生偏离，如图 5a 所示通量下降。可以看到，要求预先确定的时间允许开关对通过电流脉冲的方式向其所提供的热量作出响应，因此指数的变化将使得转换在时间 t_{11} 时发生，引发波导管的通量从 T_p 值下降到 T_A 值。还可以看到，要求预先确定的时间允许开关在散热后得到松弛，从而使聚合物材料指数的变化使反射下降，波导管的通量在时间 t_{12} 时又一次升高（或实际上接近）其起始值 T_p 。如图所示，聚合物材料要求更长的时间对移去热源作出响应，因而也需要更长的时间将其折射率恢复到起始状态。光通量回复到平衡所需的时间被称为衰变时间。在这里，衰变时间（ $t_{12}-t_{11}$ ）比控制脉冲的时间（ $t_{10}-t_9$ ）长。

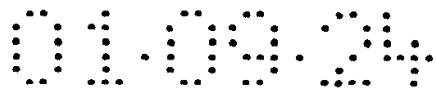
15

20

25

30

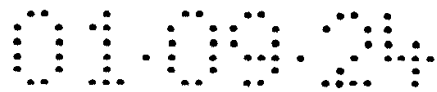
当仅有设定的最低量的光线从波导管中偏离时，此时所设计的开



关条件为“关闭”状态。当开关处于“关闭”状态时，光线在波导管的全长传播，没有受到实际干扰。这一条件在开关被活化之前和去活化之后发生。通常，材料对加热元件所输送的热能的响应受到热量通过聚合物的热速率的限制。这意味着所观察到的开关的光线在时间上相对于电流通过加热元件的流动而被延迟，该延迟取决于聚合物层的热稳定性和多层堆栈元件的实际厚度。当最初活化的开关被去活化时，光响应的时间相对于电流停止通过加热元件的时间被延迟。

开关的保真度

为理解本发明，评述聚合材料的特定性质是有帮助的。在线性系统中，系统对随机的输入信号的响应由输入信号与系统的脉冲响应共同作出。这一系统脉冲响应允许精确地描述系统性能，而不需要在每次改变输入激发时测量系统的响应。在输入来自热源 of 聚合物系统中，具有来自粘弹性效应的传统的重要影响，该效应导致系统脉冲响应的变化，因此改变了对特定输入信号的系统响应。在此种情况下，实际的系统响应不等于以系统脉冲响应测量为基础所预测的响应，可以说，预期信号重复性的保真度受到了损害，或者系统响应失真。图 6 至图 8 所表示的数据表明由于粘弹性行为而导致的响应变化，并且如下文将要说明的，是一种介入损失的迹象。图 6 特别表示通过一个含有 2-度热-光 TIR 开关的波导管的光传输，其中施加于加热器的热脉冲为 $200\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ ，加热器带的尺寸为 $16\mu\text{m}$ 宽， $1300\mu\text{m}$ 长，其中的材料是 Ablestick L4092 环氧树脂，Epoxy-lite R46 聚氨酯以及 Epotek UV0134 环氧树脂，用于厚度分别为 $5.0\mu\text{m}$ 、 $1.2\mu\text{m}$ 和 $1.4\mu\text{m}$ 的三层堆栈上，远离基片读数并在室温附近运转。热脉冲持续 20 微秒，在 100 微秒开始。由于热脉冲与开关的通量响应相比很短，所测量的响应实际上等于系统的驱动响应。在这一能量水平上，在 10 分钟频率为 50Hz 的脉冲（30,000 次脉冲）后的脉冲响应与第一次脉冲后的脉冲响应是一样的。因此，图 6 表示一种具有优良的保真度和低失真度的线性系统的实施例。在与图 6 同样的条件，但使用更高的热脉冲能量密度水平 $350\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ ，图 7 表示在 30,000 次脉冲后，脉冲响应退



化（退化）。波导管传输（见开关响应之前）被减少到其在先值的大约 90%（介入损失大约为 0.5dB），并且衰减时间被退化到更长。为启动强粘弹性响应，其中的聚合物材料被在高于阈值的条件下驱动。因此，在本波导管堆栈中的阈值为 $200\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ 和 $350\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ 之间。如在此范围使用，阈值是指就所关心的数量，在低于阈值时没有明显变化，而在高于阈值时观察到变化。作为材料粘弹性响应的结果，在开关加热器带附近的聚合物获得了折射率的变化或“集”，其持续的时间比转换脉冲的时间（20 毫秒）长。该指数集使得开关在以前完全“关闭”的状态下被部分“开启”，即使在“关闭”状态下将大约 10% 的光反射出波导管。此外，聚合物的衰减时间由对高于阈值激发的粘弹性响应所减缓。使用更高的激发水平 $480\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ ，图 8 表示一个由更明确的粘弹性行为所控制的响应实施例。现在的介入损失大约为 1.5dB，信号失真表明了一种包括响应时间减慢和多时间响应的复杂行为。

5

10

15

在图 8 的极端案例中，在脉冲响应中出现的多峰表明，与如图 6 所示在低于阈值运转的器件相比，存在额外频率成分被引入到对随机信号的开关响应中。这些额外的频率成分向转换反应中引入了一种不希望有的失真。

20

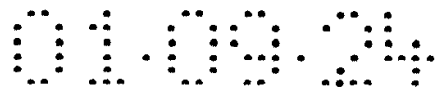
根据本发明，可以通过维持材料的温度高于 T_g 而明显减少或消除不受欢迎的行为，因为此类行为依赖于材料的粘弹性响应。方法是选择具有低于操作温度的 T_g 的光学波导管材料或者将操作温度提高到高于材料的 T_g 。

25

在实质上类似的运转条件下重复运转周期，关于开关响应保真性的其他性质（例如图 5a 中所表示的上升时间 t_5 ，下降时间 t_7 ，活化温度以及转换延迟时间 t_8 ）可以保持实际上不发生变化。

30

开关的介入损失

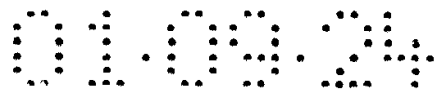


按照本发明，使用一种或多种材料制造图 3 的三层堆栈，在高于 T_g 的温度消除或明显减少几种与聚合物材料的粘弹性行为相关的性能问题。

5 在低于材料的 T_g 或有效 T_g 的温度，热激发导致加热元件附近的聚合物相对于转换周期发生持久的折射率改变。这一不需要的折射率改变会产生一系列不受欢迎的效果。这一问题是由于时间依赖型的片段运动所引起的。热输入能量激发聚合物链远离其最初的状态。然而，
10 在一个很短的时间后，随着温度的降低，聚合物链达到准平衡（低运动状态），但处于与先前相比潜在的不同构型状态。这一链构型的变化可能导致密度的变化并进一步导致折射率和其他材料性能的变化。大的单一脉冲或多级小脉冲可能导致材料折射率的明显改变。然而，我们还发现在材料的粘弹性响应中存在着有利的变化，由于操作温度接近或高于 T_g ，从而减少（或消除，即减少到在器件的使用期内看不到任何影响）
15 长期恒定的折射率变化的数值。有些粘弹性性质在高于交联的聚合物材料的玻璃化转变温度时消失。

 在横穿集成光学器件中所观察到的额外损失与同等长度的未受干扰的波导管相比被称为器件的活性介入损失。特别地，参照图 4，当
20 开关开启时，沿被耦合到波导管通道 5 的轴线 16 的输入光线反射出 TIR 界面 20 并在波导管外传输，形成了沿轴线 17 的偏离的输出光线。当开关关闭时，轴线 16 的输入光线应通过界面传输并继续沿着波导管前进，形成沿轴线 18 的未偏离的输出光线。在开关活化前，由于 TIR 界面的折光率差别低，优选在关闭状态下的反射很低。优选“关闭”
25 开关实际上看不到光线在波导管中的传输，在输入导向中产生极低的损失。当输入波导管是许多开关的总线时，特别需要低的介入损失。在关闭状态下的 TIR 开关区当首次建造时，可能具有可以忽略的介入损失，但作为热激发结果的长期恒定的折光率改变能够明显地提高介入损失。

30



5 在一项实验中，使用了一种具有比操作温度几乎高出 120°C 的 T_g 的核心材料。TIR 开关与波导管轴线的角度为 2° 。TIR 开关的制造材料为：下面的包被层使用 Ablestick L4092 环氧树脂 ($T_g=53^{\circ}\text{C}$)，核心层使用 Epoxy-lite R46 聚氨酯 ($T_g=150^{\circ}\text{C}$)，顶部包被层使用 Epo-tek UV0134 环氧树脂 ($T_g=148^{\circ}\text{C}$)，厚度分别为 $5\ \mu\text{m}$ ， $1.2\ \mu\text{m}$ ， $1.4\ \mu\text{m}$ ，玻璃基片。图 6-8 表示分别以 200 ， 350 和 $480\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ 的能量激活该开关，所测量的作为时间函数的通量变化。

10 图 6 特别表示使用 $200\ \text{pJ}/\mu\text{m}^2$ 能量激活的开关第一个周期运转的波导管通量以及在以 50Hz 频率循环 10 分钟后 ($30,000$ 次脉冲) 同一开关的波导管通量。经过 10 分钟的脉冲后，TIR 转换的波导管的响应实际上等于其第一次运转周期的响应。从这一数据，我们得出该能量密度低于由材料的粘弹性响应所引起的退化的阈值这一结论。

15 图 7 表示使用 $350\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ 能量激活的 TIR 开关的波导管的波导管通量，由粘弹性响应所引起的退化在该能量水平开始发生。以 50Hz 循环 10 分钟后，波导管通量 TP_K (大约在开关激活前的 100 微秒测量) 与首次脉冲前所测量的通量 TP_J 相比降低了。这一波导管通量的差异为由热循环所引发的介入损失。额外的损失是因为由加热元件区域所引发的折光率的长期改变而发生，我们将其归因于聚合物的粘弹性响应。图 8 表示使用更高的能量， $480\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ 激活的类似 TIR 开关的波导管通量，该能量相应地导致更大的介入损失 (在 $30,000$ 次脉冲后，约损失 26%)。

20 图 9 是将图 6-8 计算出的介入损失作为开关能量密度的函数重新绘制的曲线。如图所示，在以一定的能量激活开关前，介入损失可以忽略。高于 $200\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ 附近的 M 点的一定的开关能量密度，所观察到的介入损失随开关激活能量的增加而增加。可观察到介入损失随开关激活而增加的能量是由粘弹性效应所引起的退化的起点或阈值 M。由粘弹性响应所引起退化的阈值至少与时间、温度和能量值有关。

图 9 的曲线 K 表示所测量的 TIR 开关的介入损失，该开关使用了如上文涉及图 3 所描述的优选的低 T_g 聚合物。由粘弹性效应所引起的退化阈值的起点在实际上更高的能量点 N， $400\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ 附近发生。

5 图 9 的更高的阈值导致在以明显低于阈值的点，如 $250\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ 运行器件时，在器件的运转期内可以忽略折光率的变化。在这一运行点上，不能使用高 T_g 材料制造的传统器件（即，在运转期内表现出可以测量的折光率变化）。我们通过将上面的包被层的 T_g 降低至明显低于器件的操作温度以及将核心层的 T_g 降低至接近操作温度而实现了器件性能的改进。在我们的单脉冲数据中，应当注意到操作温度是室温，

10 23°C 。在我们的多脉冲数据中，操作温度被提升至高于室温，降低对所观察响应的时​​间依赖型的粘弹性贡献，减少折光率的长期恒定改变。据预计，对于 50Hz 的运转，脉冲能量密度从 $200\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ 升至 $1000\text{pJ}/\mu\text{m}^2$ ，温度升高的范围是高于室温 $0\text{-}50^\circ\text{C}$ 。在多脉冲数据中，因此，

15 我们在至少高于其 $T_g 33^\circ\text{C}$ 的温度运转上面的包被层。根据我们开关响应的时​​间依赖性，我们的有效 T_g 是高于 T_g 约 21°C ，因此包被层在至少高于其有效 $T_g 11^\circ\text{C}$ 的温度运转。我们在低于 T_g 大约 2°C 和低于其有效 T_g 大约 23°C 的温度运转核心层。下面的包被层在低于 T_g 大约 12°C 和低于其有效 T_g 大约 33°C 的温度运转。

20 在本发明的器件中，与加热器带直接相邻的上面包被层的材料经历了最大的温度变化。由于热辐射，核心层和下面的包被层经历的温度变化较低。出于这一原因，上面的包被层的 T_g 应远远低于操作温度。做到这一点，产生了图 9 所表示的明显改进。通过降低核心层和

25 下面的包被层材料的 T_g ，可以获得进一步的改进。由于材料在高于 T_g 的操作温度不表现或表现出很少的粘弹性响应，据预计，上面的包被层的长期恒定的指数变化能够被避免或降低。在图 9 中所观察到的阈值与核心和/或底部包被层的贡献也有关。最好的方式是提供具有有效 T_g 低于器件的操作温度的核心和下面的包被层材料。使用下面所描述

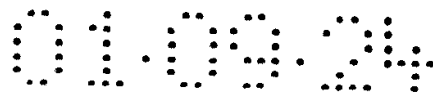
30 的经验规则，如果保持操作温度高于 T_g 或有效 $T_g 20^\circ\text{C}$ ，可以预期将

不会出现粘弹性效应。

5 优选上面的包被层材料的玻璃化转变温度最低，下面的包被层最高。这一安排允许由热转换脉冲所产生的任何应力（与机械或装配相关）或相关的干扰被轻易地通过堆栈转移并被转移至转换发生和光线被制导的区域。能量被很有效地消耗在具有高流动性（和低玻璃化转变温度）的材料中，因此，正如干扰通过堆栈传输，应力和其他力也被驱向下面的包被层。

10 图 1 中的粘弹区（C）位于弹性区（B）和可塑区（A）之间。粘弹性是指聚合物样品的变形，该变形依赖时间全部或部分可逆，该变形与聚合物链的扭曲或相关的现象有关，聚合物链的扭曲是通过包括围绕化学键的旋转在内的活化的局部运动而发生的。粘弹性效应通常在 T_g 附近或低于 T_g 的温度范围被观察到，并被证实是聚合物材料的一种时间依赖型的响应。材料明显地受到应力速率或加热速率的影响。例如，以一个恒定的应力速率达到最终应力值的时间越长，则相应的应力越大。粘弹性区域的确切界限难以定义并且与具体应用有关。一个普通的经验规则是在一个普通的实验时间标度内，在低于玻璃化转变温度 20°C 和高于玻璃化转变温度 20°C 的范围观察到了粘弹性效应。确切的温度范围是聚合物的化学性质、样品的几何形状以及实验或运转中的温度变化率的函数。曾在低于 $T_g 120^\circ\text{C}$ 的温度观察到粘弹性效应。详细的讨论见上文所引用的 Ferry 的著作。在本文件范围内，术语粘弹性包括涉及分子运动的材料的线性和非线性响应。由于热激发引发分子运动，粘弹性响应是热-光器件所特别关注的。

25 在选择构建热光器件的材料时，应按照图 2 的描述观察敏感率。对于迅速循环的器件而言，为使材料不受粘弹性作用影响，其玻璃化转变温度需要处于低于 T_g 的额外数值。因此，器件运转的速度越快或者活化或“开启”的时间越短，这一效果就会越重要。例如，一个纳秒脉冲的器件大约具有 10 个数量级的速率效应，或者其有效的玻



璃化转变温度比 T_g 高 30°C 。术语“整体”或“大规模（宏观）”玻璃化转变温度被用于描述使用缓慢的方式（例如膨胀测定法）所测量的玻璃化转变温度。这是在手册和文献中经常看到的玻璃化转变温度；通常，如果玻璃化转变数据没有提供速率信息，则表示该数据是在反应整体或平衡类似性质的足够缓慢的条件下测量的。

5

如果一个器件使用了一种整体或准平衡的玻璃化转变温度为 60°C 的聚合物并且在微秒的时间量级上进行转换（7 个数量级的速率效应变化），则有效玻璃化转变温度应为 80°C 。使用准平衡方法测量的 dn/dT 表明 dn/dT 提高了大约 60°C （如图 1 所示），因此，我们可以得出结论：高于 60°C 运转的器件应表现出提高的热-光效应。然而，在一个迅速转换的器件中，器件的操作温度不得不提高大约 80°C 才能看到此种性能的提高。

10

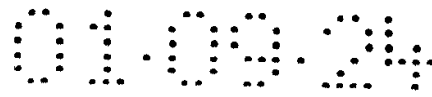
15

在高于玻璃化转变温度下运转器件是一个潜在的问题。未交联的材料在高于 T_g 下失去形状的稳定性和发生流动。这一问题在实践中可以通过使用含有刚性结构材料的物质环绕在材料周围解决，维持其形状并防止其流动。或者，可以在不使用环绕结构，而是通过材料的交联，例如溶胶-凝胶，交联的聚合物等解决此问题。交联的聚合物是由多官能团的单体/聚合物形成的网状结构。在一种松散交联的材料中，与链段链运动的小规模运动相关的局部自由运动被保留下来，但大规模的运动（流动）由发散的网状结构的限制所防止。延伸至整个最终制品的交联网络是热稳定的，并且在线性聚合物发生流动或熔化的条件下不会流动或熔化。在交联体系中很容易达到在低至零下 100°C 才发生玻璃化转变；玻璃化转变的存在表示聚合物链保留了中等至高度的局部运动同时交联阻止了流动。通过运转由本方案中的交联的聚合物材料所制成的光学器件，可以利用有利的粘弹性行为而不损失形状稳定性。交联材料的化学稳定性也比相对于未交联的材料得到了提高。例如，较低的溶剂穿透性降低了溶解性，较高的官能度限制了在使用中可能引起分解或退化的残基反应位点，并且环状材料具有稳定

20

25

30



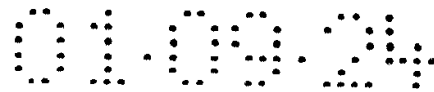
的吸水和吸溶剂性。

5 粘弹性效应通过例如，如上文所描述的引起波导管中的光通量随
时间而改变，和/或影响开关的上升、下降和停留时间而对光学转换器
件的退化产生影响。粘弹性效应能够限制器件的运转范围以及限制使
用规格并进一步限制器件的稳定性和使用寿命。为了制造和运转成功
10 的光学器件，必须降低或消除器件运转条件下的粘弹性效应。导致核
心层和包被层材料性质的长期（持续）变化的粘弹性效应也可能对失
败的模式，例如介入损失，产生影响。其他需要考虑的退化机理包括
疲劳、频率漂移和老化。

15 疲劳在遭受动力应力和脉动应力的结构中发生（类似热-光聚合
物器件中的反复热循环所发生的情况）。与那些未交联的聚合物相比，
交联聚合物的疲劳极限和疲劳寿命更大。在弹性、交联聚合物中，疲
劳和频率漂移（缓慢的连续失真）都被降低或消除。

20 热过程在确定粘弹性和热机械行为中是一项重要的参数。例如，
在将无定形聚合物从高于 T_g 淬火的过程中，自由体积或局部运动增
加，这一点促进了松弛和恢复。聚合物低于 T_g 的退火减少了自由体
积和焓，增加了屈服应力并降低了断裂韧性。（这种被称为老化的现
象在聚合物研究的文献中有详细的描述；例如参见 *Physical Aging of
Polymers* by John M. Hutchinson, *Prog. Polym.Sci.*, Vol.20,703-
760,1995）。老化是指聚合物的性质随时间变化，包括脆化、指数变
化、密度变化以及能够引起光学器件退化的因素。

25 引起性能退化的其他因素包括机械应力松弛和加工过程引发的残
余应力，该残余应力能够引起材料中可能降低器件的性能效率，例如
转换效率的折射率发生变化。当聚合物膜被涂敷在基片上时，沉积过
程可能向膜中引入应力，该应力在制造零件的全部步骤完成后仍然作
30 为残余应力在一定程度上保留下来。这些应力在基片表面的方向与基

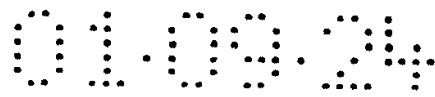


片表面的垂直方向相比有偏差。由于应力通常会产生光学上折光率的变化，这种有差别的应力会产生 TE 和 TM 光偏振（分别在表面和表面的垂直方向）指标值的轻微偏差。结果，聚合物膜是双折射的。通过在高于一种或多种膜的 T_g 下运转器件，这种双折射被减少。高于 T_g ，聚合物链获得了一定程度的自由运动（由其粘弹性性质限制，所允许的运动量取决于聚合物的性质，例如链条刚性和交联密度），该自由运动允许材料在所施加的应力下松弛。松弛有效地减少了双折射。双折射的减少是许多光学器件所要求的。

将在下文详细讨论的光栅对双折射特别敏感，因为可能在穿过光栅的波导管中传输的偏振光经历不同的折射率。光栅的共振频率（光栅光谱的最高峰）取决于折射率，因此在双折射膜中所制造的光栅表现出对两个偏振光不同的频率依赖性。因此在高于 T_g 下运转该器件，利用高活动松弛，能够显著提高器件的性能特征（减少其偏振依赖性）。

通常，使用带有至少一种有效玻璃化转变温度低于操作温度的交联透明聚合物的光学材料系统的优点可以举例说明如下：通过在高于粘弹性区运转，热周期不会导致时间依赖型的响应，例如提高了周期时间以及由诸如密度漂移、折射率变化、体积变化以及热应力的累积等热引发的材料变化而导致的开关介入损失。此外，器件可以在一个明显增宽的应用温度/服务温度范围运转，而不会出现疲劳、脆裂、破裂或微裂。这些都提高了器件的性能以及特定器件技术的商业应用。因为降低或消除了时间依赖型的效应，从作为本发明的实施例的器件所获得的信息的重复性也得到了提高。

如上文所表明的，粘弹性效应能够限制器件的操作温度范围，并限制器件的应用规格、稳定性和使用寿命。如果在所感兴趣的所有时间标度，器件的粘弹性效应在器件的运转和使用中都能够避免，将可以提供一种无时间依赖的器件，该器件的运转是可重复的、稳定的和



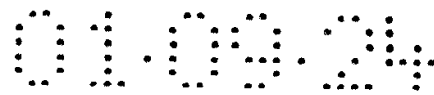
坚固的。本发明阐述了提供较少受到粘弹性效应影响的光电子器件和光器件。

5 由于粘弹性效应而使材料性能退化可能导致一系列失败的机制。粘弹性效应是时间依赖的聚合物片段重整的结果，该重整在施加干扰的时间标度上是长期的。为了在市场上有效地竞争，必须实现性能和可靠性的改进。由于粘弹性效应使材料性质退化包括与密度、体积、热（热传导率、热膨胀系数）、机械（应力松弛、模数）、电（介电常数）、磁（磁化系数）、光（折光率、损失）、化学（溶剂稳定性、环境稳定性）以及工艺（残余应力、可制造性）性质变化相关的失败机制。需要注意的是上面所列举的由粘弹性效应所引起的退化可以单独发生、相继发生或共同发生，不论其在测量的时间标度内是否被观察到。

15 在本实施方案中，使用上文所述材料制造的器件将具有多种优点，这些优点可以通过利用材料高于 T_g 的粘弹性性质获得。这些优点包括但不限于提高热-光系数，提高转换效率、降低能量消耗、快速的开关响应时间、提高循环时间、延长运转寿命以及开关保真度、降低频率漂移、作为温度函数的折射率的线性以及减少了双折射。

20 增大的热-光系数

更大的 dn/dT 值，特别是用于 TIR 开关的值使得可以应用较低的操作温度。因此，为利用较低的设计温度，理想的做法是使用具有较大的热-光系数的聚合物来制造器件。图 1 的纵轴通过一个乘性常数与材料的折射率数相关联。然后通过 T_g 以上运转就能够获得更大的 dn/dT 值。我们测量了几种聚合物作为 T_g 函数的 dn/dT 值。在下表 1 中，列出了几种聚合物的 dn/dT 值，这些结果或者通过发明人获得或者是发表在 R. S. Moshrefzadeh. *J. Lightwave Technol.*, 第 10 卷, 1992 年 4 月, 第 423-425 页中。聚苯乙烯(PS)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)、聚碳酸酯(PC)、聚酰亚胺(PI)和聚氨酯为具有较高 $T_g(T_g > 100^\circ C)$ 的线



型聚合物(热塑性塑料), 而 Norland61 和 Norland68 为交联环氧树脂, 其 T_g 分别为约 100°C 和 35°C 。我们观察到, 与较高 T_g 的线型和交联材料相比, 轻度交联的具有较低 T_g 的材料的热-光系数要高 2 到 3 倍。

5 表 1

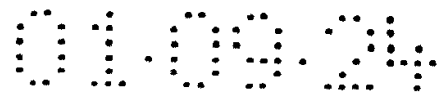
材 料	$dn/dT(\times 10^{-4})[1/^\circ\text{C}]$	$T_g[^\circ\text{C}]$
聚酰亚胺	-1.5	250
聚氨酯	-1.4	150
PC/MA	-1.3	130
PS	-0.83	100
PMMA	-1.1	100
Norland 61	-2.6	80
Norland 68	-3.1	35

10 使用 Norland 型交联聚合物, 由于在运转条件下增强了聚合物链的局部迁移率而获得更高的 dn/dT 值; 更低的玻璃化转变对本实验意味着更高的迁移率。表 1 中的数据说明通过在操作温度以下进一步降低聚合物的 T_g 可以进一步增大热-光系数。

转换效率

15 相比于使用具有较高 T_g 的材料制造的在相同条件(相同的波长、转换能量等)下运转的器件, 使用上述一类材料可以增大转换效率。转换效率增大由所需的用于在 TIR 界面产生相同的折射系数差的更低的转换活化能引起。

20 在上述实施例中, 设计 TIR 开关在一定的温度范围内工作, 以使得根据应用以及应用领域, 预先确定的最低光辐射量偏离波导管。转换效率通过在器件被激活前首先测量波导管通量(T_p), 然后在开关被激活过程中测量 T_A 而确定。转换效率通过使用表达式 $eff=1-T_A/T_p$ 进行计算。开关效率是指当在 50Hz 的重复脉冲下激活开关时, 与当开



关处于“关闭”状态时的波导管通量相比，偏离波导管的^{最大光辐射量}。

表 2 列出了测量包含热-光 TIR 开关的器件的转换效率的结果，
 5 测量在接近 23°C 的温度下进行。器件 1 为含有在玻璃基片上的上述具有较高 Tg 的材料组(Epo-tek/Epoxy-lite/Ablestick)的 2 级热-光开关。器件 2 为在具有标称相同的开关几何形状以及层厚度的玻璃基片上使用具有较低 Tg 的材料(Gelest/Norland/Gelest)制造的优选实施方案。所有的测量过程中都使用电流脉冲激活实际上类似的 TIR 开关，该脉冲
 10 把 200pJ/μm² 的能量传递到加热元件，并且如前述测量转换效率。如表 2 所示，加入我们的具有较低 Tg 的材料的器件其转换效率明显提高。当核心层的热-光系数从-1.4×10⁻⁴[1/°C]变化到-3.3×10⁻⁴[1/°C]时，转换效率从近乎 0% 增加到大约 80%。这些结果表明通过在接近或高于在光学波导管中使用的聚合物的玻璃化转变温度下运转器件，转换
 15 效率能够得到提高。

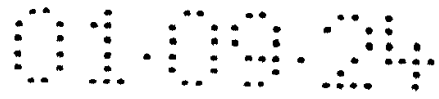
表 2

	核心层	Tg	200pJ/μm ² 时的转换效率
器件 1	Epoxy-Lite R46	+150°C	~0%
器件 2	Norland 68	+35°C	80%

20 尽管我们使用室温器件，但通过加热器件以在标称操作温度下运转，使用具有较低的 Tg/更高迁移率的聚合物与使用具有较高 Tg 的材料能够取得相同的效果，标称操作温度等于或高于 Tg 或有效 Tg。

转换能量消耗

25 在本实施方案中制造的器件需要控制元件将较低的电^{能传递到转换元件}，因为较大的热-光系数使得可以在更低的操作温度下能够获得与使用具有较高的 Tg 的材料制造的类似器件相同或可能更好的转换效率。为进一步验证这一点，我们通过测量每个器件中产生预先确定



的~80%的转换效率所需电能的量，对上述器件 1 和器件 2 进行了测试。表 3 列出了应用于 TIR 加热元件产生接近 80%的转换效率的电能。表 3 中的数据表明加入具有较大的热-光系数的材料层的器件为获得与含有更高 T_g 材料的器件类似的转换效率，需要更低的电能。另外，
5 这些结果也表明通过在接近或高于用在光学波导管中的聚合物的玻璃化转变温度下运转器件，能够减少转换能消耗。

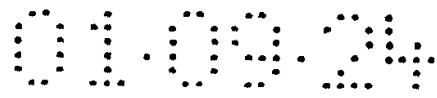
表 3

	核心层	T _g	80%转换效率所需的电能
器件 1	Epoxy-Lite R46	+150°C	> 450pJ/μm ²
器件 2	Norland 68	+35°C	200pJ/μm ²

10 转换周期时间

在本实施方案中制造的器件在给定的加热速率下产生更快的转换，原因是需要获得激活 TIR 开关的折射指数差值需要更低的最低操作温度。图 10 显示对两种不同的聚合物 TIR 开关的温度响应。曲线 A 表示加入一种具有高迁移率/较低的 T_g/较大的 dn/dT 值的聚合物的器件在激活 TIR 开关的温度下运转时的温度响应。该开关到达激活温度 T_A，使得在时间 t₁ 发生 TIR 转换。该器件在失活以后温度返回平衡值 T_E，在时间 t₂ T_E 接近器件的起始温度。这种具有高迁移率/较低的 T_g/较大的 dn/dT 值的聚合物开关的转换“周期时间”为(t₂-t₀)。
15

20 曲线 B 表示一种加入具有较高 T_g 的聚合物的开关，其在达到 TIR 的温度下运转。在使用了比曲线 A 的开关更大的热能后，曲线 B 的开关达到激活温度 T_B，使得在时间 t₃ 发生 TIR 转换，比时间 t₁ 要晚。当开关失活后，温度返回平衡值 T_E，此温度在时间 t₄ 接近其起始温度，相应地，聚合物材料的折射指数恢复到平衡状态。具有较高 T_g 的聚
25 合物开关的转换周期时间为(t₄-t₀)。请注意它从较高的温度返回到接近平衡的温度比从较低的温度返回到接近平衡的温度需要更长的时间，因此延长了转换周期时间。通过在接近或高于用在光学波导管中的聚



合物的玻璃化转变温度下运转器件，转换周期时间可以提高。

请注意上述的优点可以单独、相继或结合出现，无论它们在特定的器件中能否观察到。

5

在实践中，可以对本发明进行多种变化。最重要的是，本领域中已知的任何具有玻璃化转变温度的材料都可以用作波导管材料，包括聚氨酯、聚硅氧烷、聚丙烯酸酯、氟橡胶、聚烯烃、聚二烯、ayrlates、聚甲基丙烯酸、聚甲基丙烯酸酯、聚乙烯醚、聚乙烯酯、聚氧化物和聚酯或者可能是其它具有可调整的 T_g 以及光学透明性的聚合物。如果波导管结构中至少一种材料（即至少被一个光学辐射渐逝场穿过）为在高于 T_g 运转的聚合物，这些材料可以与本领域中其它已知的材料结合使用，包括玻璃、聚合物、半导体、溶胶-凝胶、气凝胶和/或金属，以形成所需要的波导结构。

15

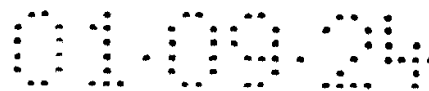
只要能在所需要的制导模式的边界范围内产生局部指数增加，也可以使用本领域中已知的其它类型的波导结构，包括制造在核心层而非下部包层的脊状波导管、由四层(或以上)堆栈形成的模式波导管、加有覆层的波导管、嵌入式波导管、扩散式波导管、光限定的波导管、漂白的或接入的波导管、连续接合的引导结构等。相对于波导管的中心，局部指数增加可以是对称的或不对称的，并且如本领域中众所周知的，可以使用折射指数的不同的组合。本领域已知的可以使用的图案形成技术包括湿法蚀刻、内扩散或外扩散、升离、激光切割、聚焦离子束加工等。本领域已知的可以使用的包覆技术包括旋压、挤出、缝口模头、蒸发或气相沉积、弯月面包覆、层压等。基片可以选自许多本领域公知的材料，包括玻璃、硅、金属、半导体、聚合物等等。

20

25

也可以选用本领域公知的其它阻抗膜，包括 NiCr、WSi、SiN、其它金属和化合物，以及各种形式的硅如无定形硅，并且所有这些膜都可以涂上其它物质以提高其性能，只要该膜所获得的阻抗性适于在

30



热-光区域加热波导管就可。阻抗膜的结构可以包括或不包括由其它材料如导电性聚合物、金属，包括 Al、Cu、Pd、焊锡等制造的电极结构，但这些连接结构优选由具有高导电率的材料制造，这些材料能够增强与外层电导线的连接过程，外层电导线应该以低接触电阻连接到控制元件上。

5

也可能使用其它转换元件（包括 Y 形分支开关、十字形波导管、平行耦合器、光栅、电-光和电致收缩器件等）代替 TIR 开关。对于本领域的普通技术人员来说，有一点非常明显，就是需要进行本领域公知的一定的修饰以使各种替代器件能够按照人们的需要工作。例如，在一个需要使用一种电光聚合物层（与上述实施例中的热-光聚合物层相比）的电-光光栅中，控制元件会是电源电压的形式。以与上述阻抗性加热元件类似的方式，为一个置于波导管上面的电极提供电压，就会在电-光聚合物层中产生一个电场，并且通过电-光效应改变其折射指数。最终转换激活将使从波导管发出的光发生偏离，这与前述实施例一样。但是，当在高于材料的 T_g 运转材料以利用其良好的粘弹性时，生色团的双交联保持的取向性是所要求的。在某些应用中，当器件和材料的要求需要时，沉积另外的层(例如用于加热器、用于密封层、不透明层等)可能会有好处。

10

15

20

TIR 开关是一个控制在透明材料中的光辐射传播的控制器的例子。其它例子包括 Mach-Zehnder 调制器、Y 形分支分裂器、光栅、平行耦合器，以及包括通常的热-光、电-光和声-光器件以及由外加应力或张力启动的器件等许多其它例子。

25

这些替代器件可以与本文所述的本发明的任何器件或工具结合，可以制造重复单元，并且在此所述器件的某些部分可以与在此所述的或本领域公知的其它器件的全部或部分组合。

30

Mach-Zehnder 调制器

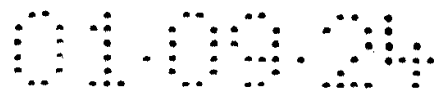


图 11 所示为一个热光 Mach-Zehnder 调制器的示例。图中显示了一个多层堆栈的三维透视图，多层堆栈由下部包层 32、交联聚合物波导管核心层 34 和交联聚合物上部包层 36 组成，在核心层中由前述的多种方法中的一种限定了一种波导结构。核心层包括输入和输出波导管，分别为 38 和 40，输入和输出 Y 形分支，分别为 42 和 44，偏置和信号波导管，臂 46 和 48。位于偏置和信号波导管上方在多层堆栈上面的是两个阻抗性加热元件，其中的一个作为偏置加热元件 50，另一个为调制加热元件 52。控制元件 56 和 54 各自独立地分别为偏置加热元件和调制加热元件提供电流。

5
10

在该光学器件中，光通过输入波导管 38 进入，在那里光在输入 Y 形分支中被分裂，并传播到偏置和信号波导管。在没有任何控制电流到加热元件的情况下，在偏置和信号波导管中传播的光会在输出 Y 形分支处重新结合，并按照相对相位发生相长或相消干涉，并最终通过输出波导管 40 离开器件。

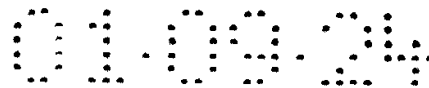
15

调节输送到偏置加热元件的控制电流以改变温度 T_{bias} 并因此改变在偏置加热元件 $n_1(T_{\text{bias}})$ 附近处的聚合物稳态折射指数。由热-光效应引起的折射指数的变化改变邻近偏置加热元件的光程长度，这样干涉计两臂之间的光相位差接近 $\pm\pi/4$ ，并且在输出波导管处能够观察到半最大光强度。然后将已调制的电流应用到调制加热元件上。因为器件在半最大强度位置处发生偏置，对于小的调制电流来说，随后的器件输出就会与应用的激励电流成比例。控制电流的变化会导致随时间变化的光学响应。

20
25

要使在重复循环调制电流的情况下使器件的性能达到最佳，就需要控制当调制电流断开时能够返回平衡或接近平衡的聚合物材料以及接近偏置加热元件的聚合物折射指数漂移最小。如果聚合物的材料性能如接近加热元件的折射指数、密度或体积随时间而变化，所需的用于获得 $\pi/4$ 光相位位移的偏置温度就会与原先设计的温度有所不同。

30



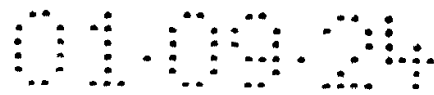
当如同在先技术以低于光学材料的 T_g 运转该器件时，则折射指数差的变化会增进输出端 40 中两束光的相位失衡，器件的性能也会降低。这种退化可以通过改变由加热和控制元件 50 和 56 所控制的偏置温度而得到部分补偿，但在实际应用中，偏置温度的偏移通常需要额外的混合线圈反馈或跟踪仪器。出于器件简化和成本的考虑，使器件正常工作而不需要另外的控制电器是比较理想的。

图 12 说明了偏置温度的变化如何影响输出光的强度。图中显示了以实线划出的作为偏置波导管温度 (T_{bias}) 函数的输出信号强度，并显示了干涉计最初在 T_1 偏置的温度。如果材料性能由于粘弹性材料响应而发生变化，那么器件的光学响应也会变化，因此现在要想达到相同的 $\pi/4$ 相位位移 (图中的点划线) 就需要一个不同的温度 T_2 。一个设计在偏置温度 T_1 运转的器件不再按人们的计划工作。另外，如果干涉计的任何一条臂的导向性能相对于另外一条发生变化 (就如同由于粘弹性响应而引起密度变化)，那么在输入 Y 形分支处光的分裂就会失去平衡，并且干涉计的反差比会随时间下降。

对于以可忽略的反差比下降及预期的温度运转，并且不需要另外的控制电器的器件，使用具有可忽略的粘弹性响应的材料是理想的。一个由具有较低的 T_g 的材料构成的器件会较少地受到粘弹性效应的影响，并且因此比表现出明显的粘弹性响应的材料所构成的器件具有更可靠的工件性能。

Y 形分支分裂器

图 13 显示了一个包含一个下部的包层 60、一个交联聚合物波导管核心层 62 (使用前述方法将波导管结构限定在其中) 和一个交联聚合物上部包层 64 的三层堆栈的俯视图。该核心层包括一个输入波导管 66 和两个输出波导管 68 和 70，在两个输出波导管之间存在一个分离角 72。位于该堆栈之上的是两个阻抗性加热元件 74 和 76，它们大约位于输出波导管之上，并具有几乎相同的宽度。每个转换元件由电



源 80 和 82 供电，这样任何一个电极都可以各自独立地被激活。图中还显示了一个波导管分支，其中，单一的输入波导管在 78 处分裂成两个输出波导管。加热元件从分支区得到补偿以允许渐进加热（沿波导管与另外的一个分支（减活侧）相对的一个分支的轴考察。

5

加热元件会提高靠近它的聚合物材料的温度，并且与未加热的输出波导管相比，激活的加热元件会降低输出波导管的有效折射指数，这是由热-光效应引起的。如本领域已知的，光会优先被耦合至具有更高的有效折射率的输出波导管。这样的设计就会对邻近激活的加热元件的区域进行隔热的加热。不需使用任何电流，从输入波导管进入分支的光在输出波导管之间分裂。

10

这种在接近或低于有效 T_g 的温度下运转的器件本质上很容易受到由于粘弹性效应而使材料性能发生变化的影响。例如，把与另一个输出波导管相比，一个输出波导管的聚合物材料的折射率的永久变化看作是粘弹性效应的结果。如果在任何一个波导管加热元件下面的聚合物材料的折射系数随重复的转换操作发生变化，那么以最佳路线形式的光就不能进入具有较高折射系数的波导管中，甚至在控制电流没有进入加热元件中时。

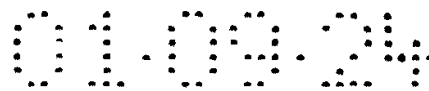
15

20

图 14 说明了使用较高 T_g 的聚合物材料的分裂器的 Y 形分支退化模式。该图显示了在完成了开关 76 给定数目的运转周期后，在每个输出波导管中的光强度的例子。最初，Y 形分支的设计是让强度在两个输出波导管之间平等分配。随着周期增加，粘弹性效应引起了长期恒定的折射系数变化，并且对称分支被打破。当光以极高的不对称性分裂进入输出波导管时，可能最终会在不激活任何一个加热元件时达到一个状态，并且该器件不再起到所需要的在关闭状态下 EDB 分裂器的作用。我们把其发展过程表示为线性，但在确定的应用中，详细的暂时的通量变化取决于所使用的两种材料，实现转换的形式控制着信号。

25

30



如前所述，如果在加热元件(76)下面的聚合物材料中发生实际上永久的折射系数变化，那么光会优先进入具有更高折射指数(68)的波导管。为了让光进入输出波导管(70)，就需要更高的电流以克服由对输出波导管(70)的损害(材料性能的退化)引起的优先路线。如果重复周期，那么在每个周期内都会引起过多的损害。如果器件由使用具有较低 T_g 的聚合物制成并能够在高于聚合物材料 T_g 的温度下运转，上述故障机理就会减少或消除。

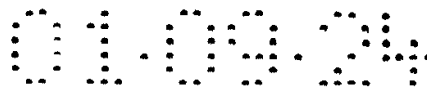
10 热光光栅器件

在实际的器件中，人们希望器件对控制信号的应用作出线性响应。这种性能是所要求的，因为它与具有非线性响应的系统相比简化了控制和监视性能的器件电子设备，非线性响应系统需要复杂的算法以将器件控制信号与器件响应相关联。另外，响应的线性允许简单的调整、调谐以及对器件运转的控制，因为信号和响应通过一个简单的导出关系相关联，并且如果控制信号已知，器件的性能能够进行预测。

按本发明的精神运转的热-光器件含有具有低于器件的操作温度的 T_g 的材料，因此它当然能在一个范围中运转，在该范围中聚合物材料的折射系数合理地随温度发生线性变化(请参见图 1 的 B 区)。

相反，包含具有高于操作温度的 T_g 的材料的器件随着器件的温度升高至高于 T_g ，热-光系数的斜率会发生变化。这种斜率的变化会产生一个折射率对应用的控制信号(温度)的非线性响应。请注意在远低于 T_g 的温度下运转时，器件也会在折射指数和温度之间表现出线性关系(见图 1 的 A 区)，但这些器件在运转时比在高于 T_g 的温度下运转的器件的热-光系数低，并且它们还会受到上述不利的粘弹效应的影响，如折射系数长时间恒定的变化，这可能会使器件失衡或增加其介入损失。

30



5 能够被调节而达到所需要的温度或折射指数的元件包括例如图 15 所示的光栅这样的器件。聚合物热-光光栅器件可以用作滤光器、增加/减少多路器或更通常用作热-光学可调的 Bragg 光栅。理想的性能包括折射指数的长期稳定性、较大的材料热-光系数、作为温度函数的响应的线性以及没有双折射。所有这些性能都是聚合物波导管材料在高于其 T_g 的温度并优选高于其有效 T_g 下运转时所神奇地获得的。

10 现在来考虑一下通过在基片 96 上制造一个包含下部包层 94、核心层 100 以及上部包层 92 的聚合物多层堆栈形成的 Bragg 光栅。核心层包含一个波导管（如前述），这里的波导管 102 的光模式在此处与包含光栅 104 的区域重叠。该光栅可以使用本领域公知的一种技术制造，包括蚀刻、切割、模压、压纹、层压、电子束写入、全息曝光等，只要该方法能够对具有所需要的周期性的折射指数进行合适的调制就行。选定光栅周期（通常相当于光的波长）以对至少一种传播进
15 入或耦合到波导管的具有预定波长的光 98 产生 Bragg 反射。具有满足 Bragg 条件的波长的光被反射或耦合进入另一条路径。在一个优选实施方案中，该光栅把波导管中的光向后反射。

20 通过在器件上靠近光栅元件的位置制造一个电热电极 106，能够把 Bragg 波导管反射器制成可热调节的。当控制无件 110 把电流输送到加热元件时，靠近加热元件的聚合物（光栅）的温度就会由于热-光效应而发生变化。光栅折射指数的变化也会影响满足 Bragg 条件的光的波长，因此，此时在波导管中发生不同波长的 Bragg 反射。如果在另一个温度下重复该过程，另一个波长就会满足 Bragg 反射条件。照
25 这样，因为可以选定温度以在许多预定的波长处获得 Bragg 反射，该器件就是可调的。应该注意到器件通常都是在一个稳态温度下工作，因此在一个给定时间间隔内，单一波长就可以满足 Bragg 反射条件。然后本发明构成该光栅的聚合物材料的线性温度变化就会产生光栅的共振波长相对于温度的线性响应，因此就提供了线性可调性。此外，
30 由于增大了热-光系数，本发明中的光栅器件会具有较宽的共振波长调

节能力（带宽）。

5 到现在，已经参考特定的实施方案对本发明进行了阐释。对于本领域的普通技术人员来讲，其它的实施方案也是显而易见的。因此，后附的权利要求除明确指出外，并不企图限制本发明，后附的权利要求构成本发明说明的一部分。

说明书附图

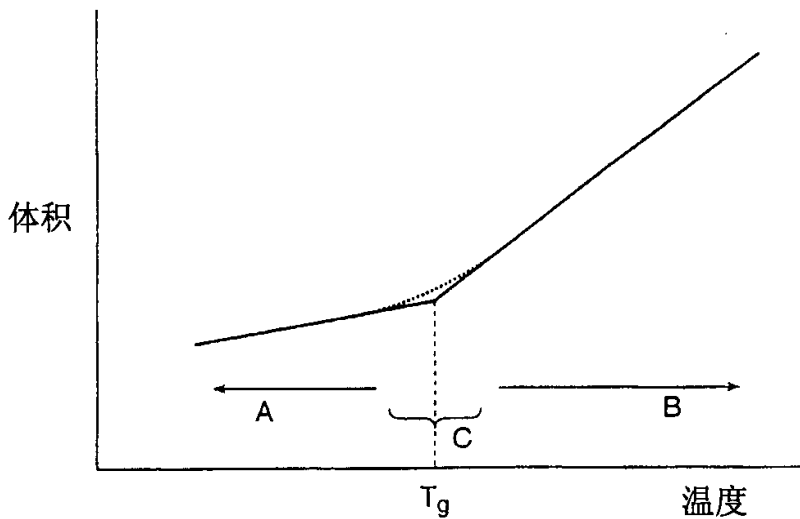


图1

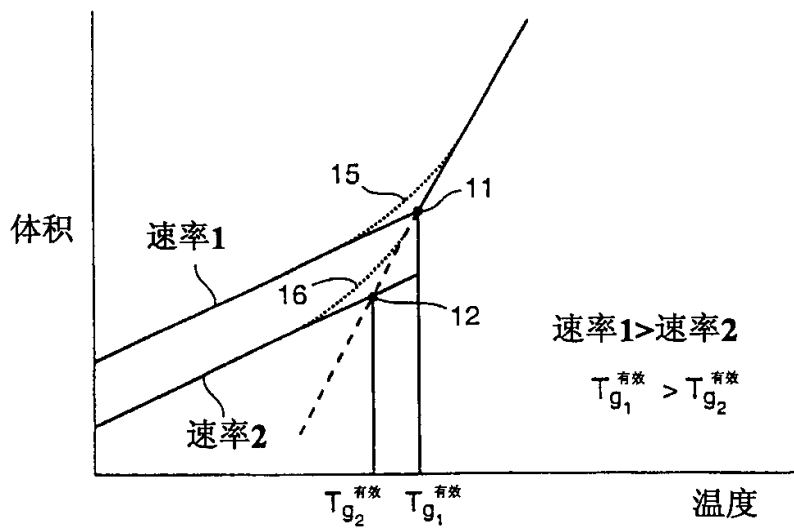


图2

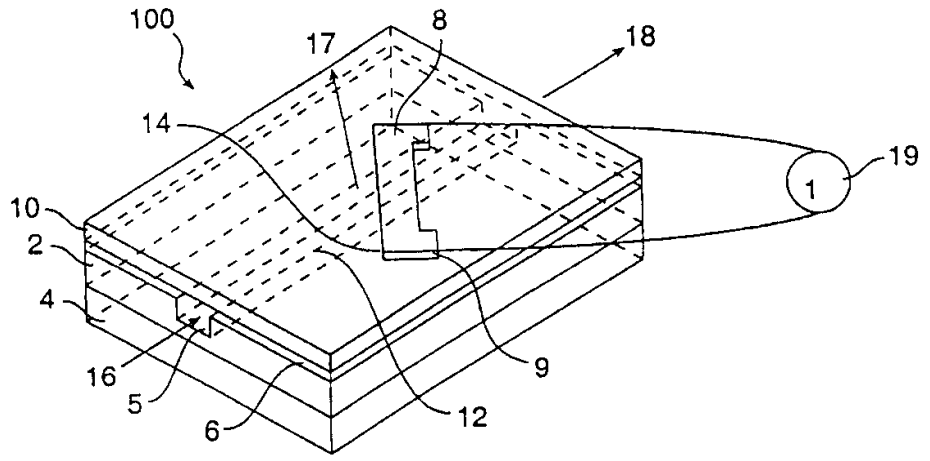


图3

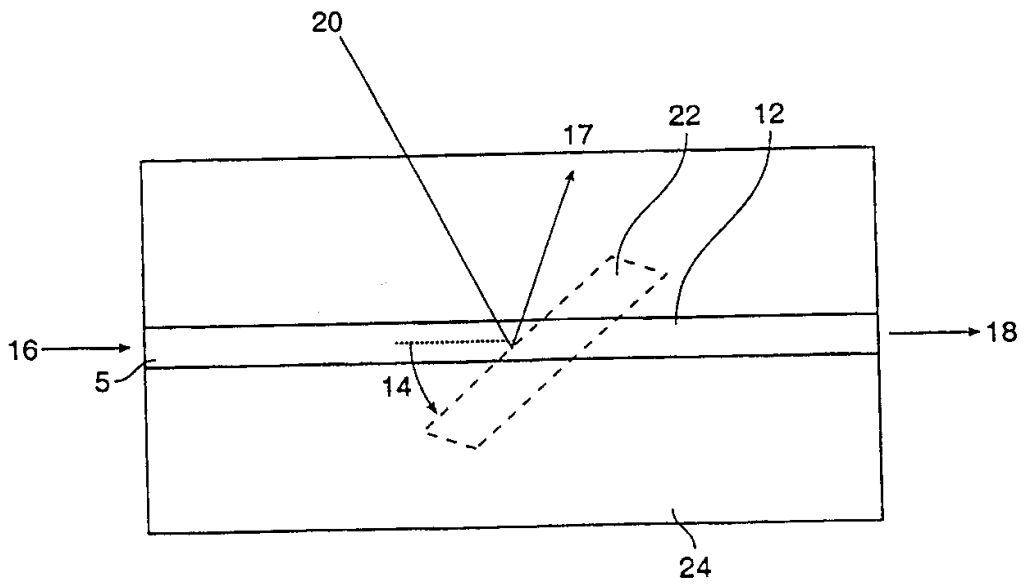


图4

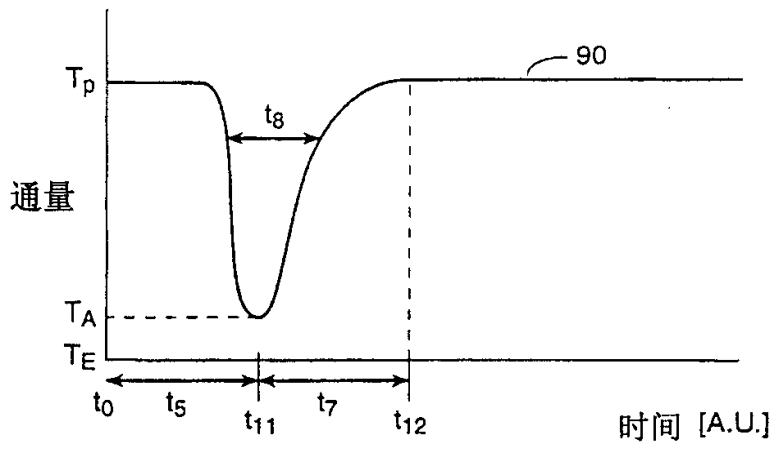


图5A

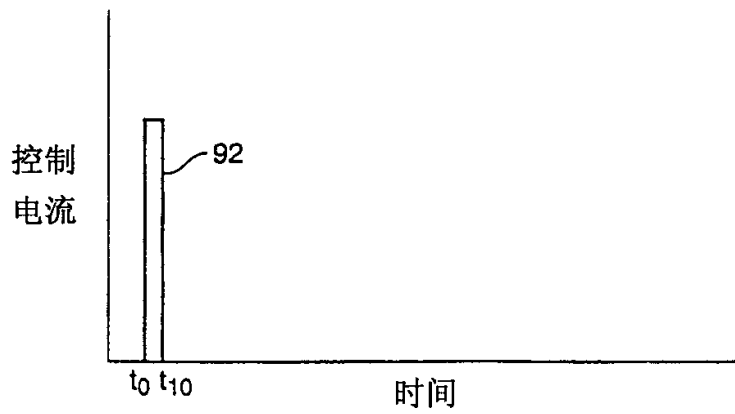


图5B

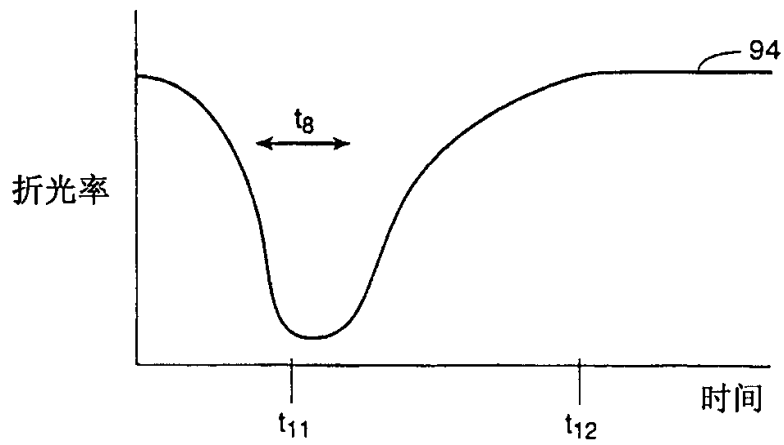


图5C

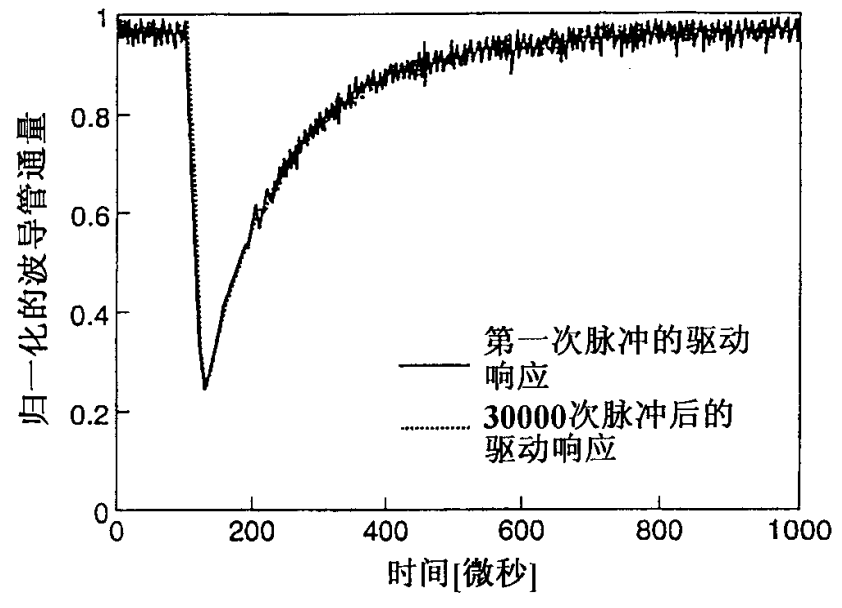


图6
(现有技术)

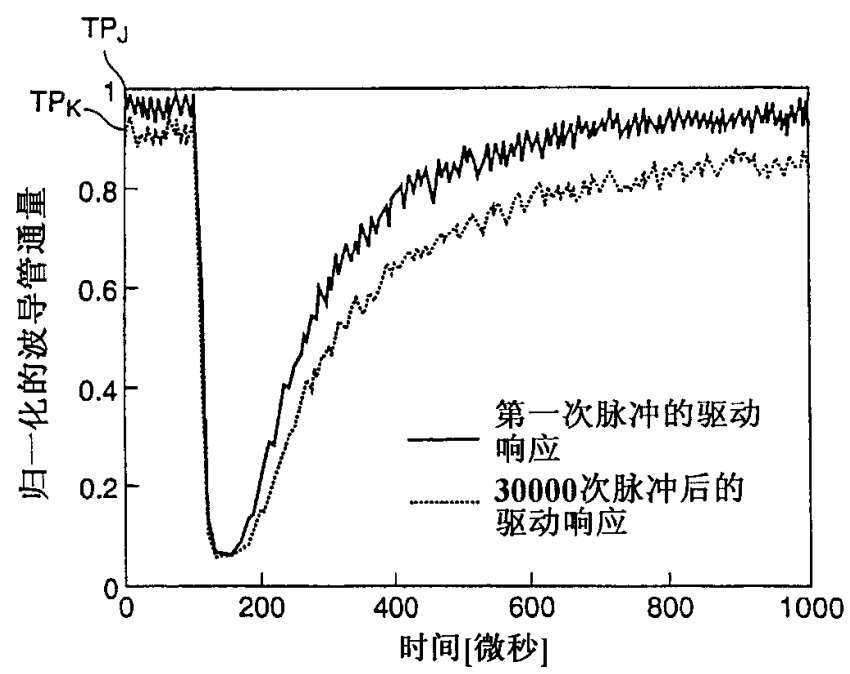


图7
(现有技术)

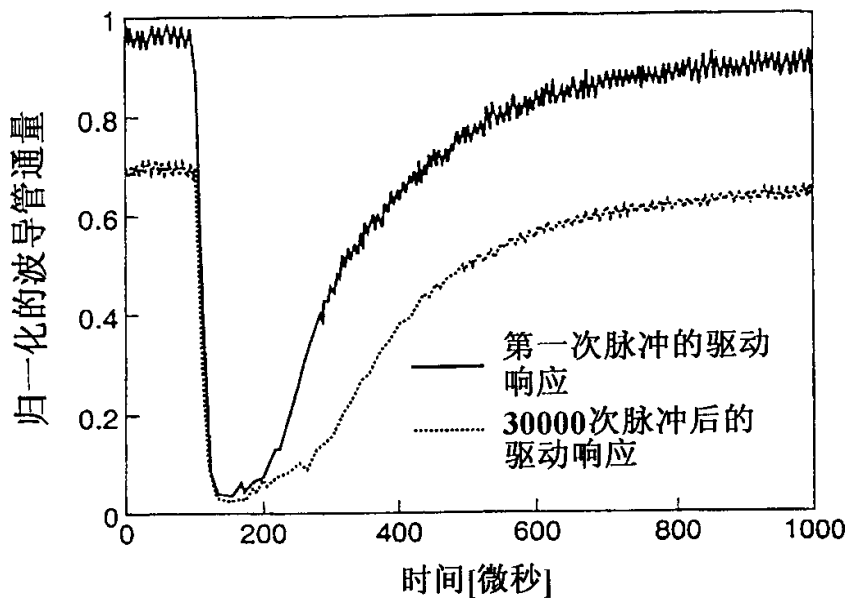


图8
(现有技术)

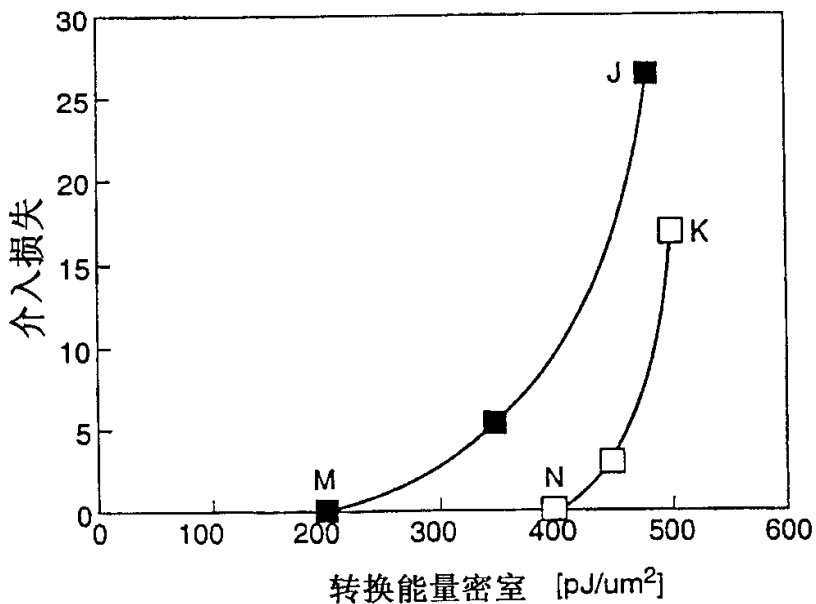


图9

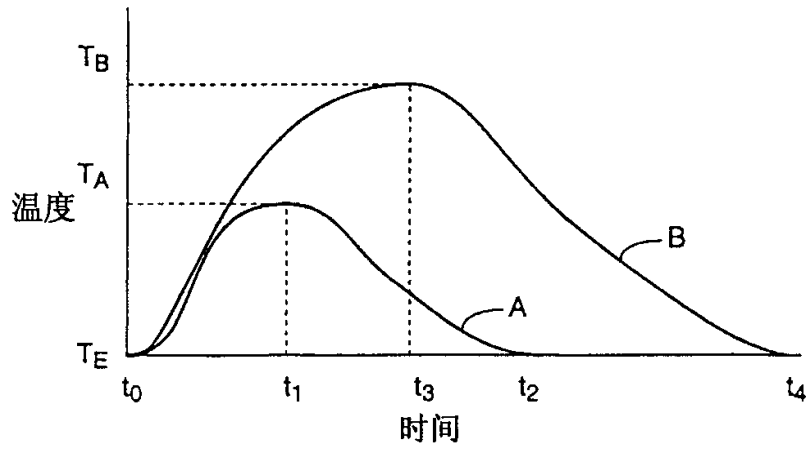


图10

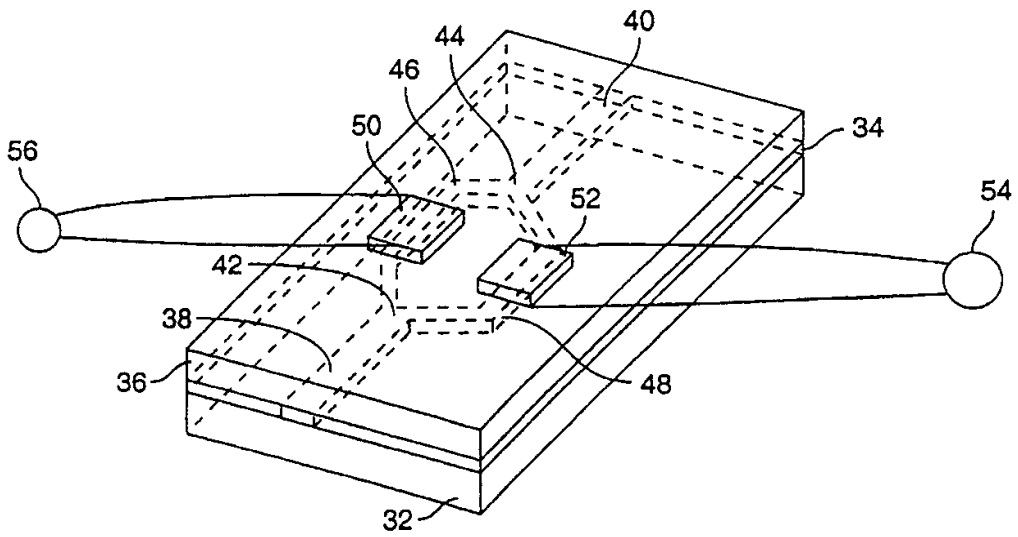


图11

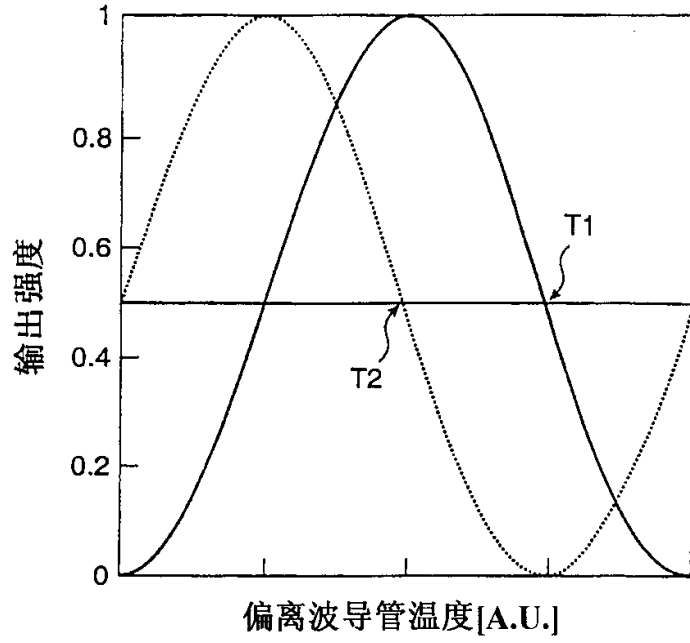


图12

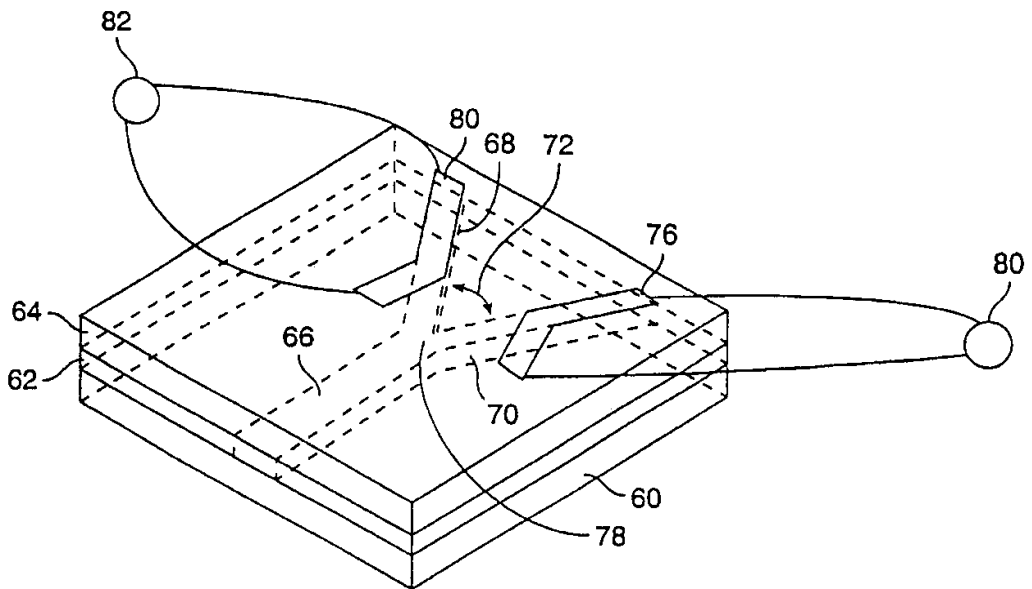


图13

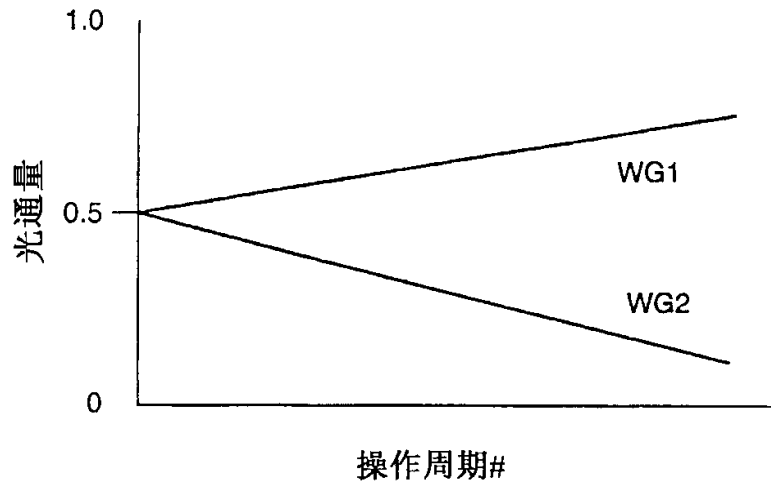


图14

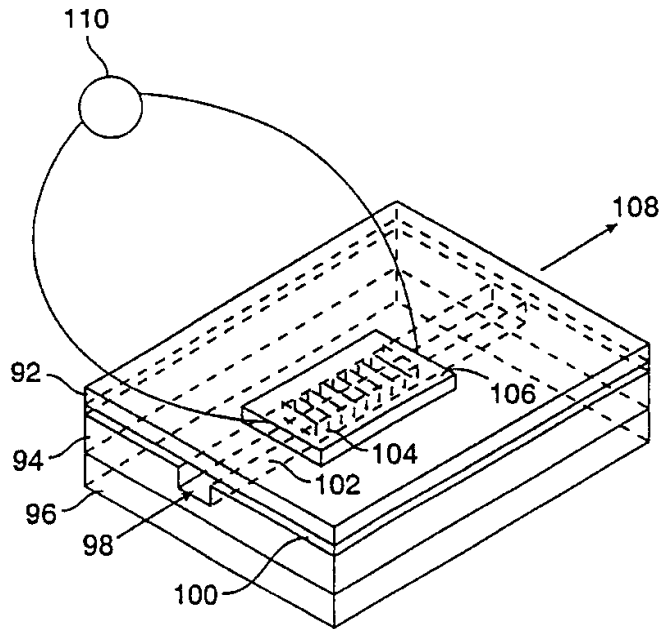


图15