



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00814893.7

[45] 授权公告日 2004 年 12 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 1178077C

[22] 申请日 2000.10.9 [21] 申请号 00814893.7

[30] 优先权

[32] 1999.10.7 [33] GB [31] 9923598.8

[86] 国际申请 PCT/GB2000/003766 2000.10.9

[87] 国际公布 WO2001/025827 英 2001.4.12

[85] 进入国家阶段日期 2002.4.26

[71] 专利权人 阿维尼克斯英国公司

地址 英国利文斯顿

[72] 发明人 詹姆斯·R·波纳

理查德·I·雷明

审查员 张春伟

[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

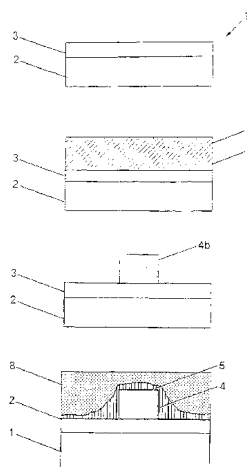
代理人 李 强

权利要求书 5 页 说明书 12 页 附图 5 页

[54] 发明名称 带有多层线芯的光波导及其制备方法

[57] 摘要

一种带有多层线芯(6)的光波导(1)包括一个基板(2)，一个在该基板(2)上形成的合成线芯波导(7)以及至少一个覆盖所述线芯波导(7)的上外包层(8)。线芯波导(7)的特征在于，一个合成线芯层(6)包括在基板(2)上形成的具有固结温度 T_{1c} 的第一线芯层(4)和在第一线芯层(4)上形成的至少一个其他线芯层(5)，其中所述至少一个其他线芯层(5)中的至少一个的软化温度 T_{2s} 等于或低于至少一个下层线芯层(4、5)的固结温度 T_{1c} 。



1. 一种带有多层波导线芯(7)的光波导(1), 该光波导(1)包括:

基板(2);

在该基板(2)上形成的波导线芯(7); 以及

至少一个覆盖所述波导线芯(7)的上外包层(8), 该波导线芯(7)由一个合成线芯层(6)蚀刻形成, 并包括:

在该基板(2)上形成的具有软化温度 T_{1S} 的第一线芯层(4); 以及

至少一个在第一线芯层(4)上形成的其他线芯层(5), 其中所述至少一个其他线芯层(5)中至少最上线芯层的软化温度 T_{2S} 低于下层线芯层的软化温度 T_{1S} , 该下层线芯层比所述最上线芯层厚。

2. 根据权利要求1中所述的光波导(1), 其中, 所述至少一个其他线芯层(5)中所述最上层的软化温度 T_{2S} 比至少一个下层线芯层的软化温度 T_{1S} 要低至少 10°C 。

3. 根据以上权利要求中的任何一项中所述的光波导(1), 其中, 所述至少一个其他线芯层(5)中的所述最上层的软化温度 T_{2S} 低于或等于至少一个下层线芯层的最低固结温度 T_{1C} 。

4. 根据权利要求1或2中所述的光波导(1), 其中所述基板(2)是硅晶片。

5. 根据权利要求4中所述的光波导(1), 其中所述基板(2)还包括至少一个在其上形成的过渡层(3)。

6. 根据权利要求5中所述的光波导(1), 其中所述至少一个过渡层(3)中的至少一个是基板(2)的热氧化层。

7. 根据权利要求1或2中所述的光波导(1), 其中所述第一线芯层(4)、所述至少一个其他线芯层(5), 和/或所述至少一个上外包层(8)中的至少一层包括二氧化硅和/或氧化锗。

8. 根据权利要求1或2中所述的光波导(1), 其中所述第一线

芯层(4)、所述至少一个其他线芯层(5),和/或所述至少一个上外包层(8)中的至少一层用取自以下组成的组群中的至少一种离子类来掺杂:

磷、硼、钛、钽、铝、镧、铈、锆和/或任何其他过渡元素。

9. 根据权利要求7中所述的光波导(1),其中所述至少一个二氧化硅和/或氧化锆层用取自以下组成的组群中的至少一类来掺杂:

一种过渡元素、一种稀土离子类和/或一种重金属离子类。

10. 根据权利要求1或2中所述的光波导(1),其中第一线芯层(4)的厚度大于所述至少一个其他线芯层(5)的厚度。

11. 根据权利要求8中所述的光波导(1),其中第一线芯层(4)的厚度占该合成线芯层(6)的厚度的主要部分。

12 根据权利要求1或2中所述的光波导(1),其中所述下层线芯层具有与所述最上线芯层相等的折射率。

13. 一种制作带有波导线芯(7)的光波导(1)的方法,该方法包括以下步骤:

形成基板(2);

在所述基板上形成一个合成线芯层(6);

由所述合成线芯层(6)蚀刻成波导线芯(7);以及

形成覆盖所述波导线芯(7)的至少一个上外包层(8),其中合成线芯层(6)的形成的特征在于,

在基板(2)上形成具有软化温度 T_{1S} 的第一线芯层(4);以及

在第一线芯层(4)上形成至少一个其他线芯层(5),其中所述至少一个其他线芯层(5)中的至少最上线芯层的软化温度 T_{2S} 低于至少一个下层线芯层的软化温度 T_{1S} ,该下层线芯层比所述最上线芯层厚。

14. 根据权利要求13中所述的方法,其中,所述至少一个其他线芯层(5)中的至少最上层的软化温度 T_{2S} 比至少一个下层线芯层的软化温度 T_{1S} 要低至少 10°C 。

15. 根据权利要求13或14中所述的方法,其中,所述至少一个

其他线芯层(5)中的所述最上层的软化温度 T_{2S} 低于或等于至少一个下层线芯层的最低固结温度 T_{1C} 。

16. 根据权利要求 13 或 14 中所述的方法, 其中在所述至少一个其他线芯层(5)的软化温度 T_{2S} 下, 所述至少一个其他线芯层(5)的黏度降低到足以减小所述至少一个其他线芯层(5)的表面不规则度。

17. 根据权利要求 13 或 14 中所述的方法, 其中所述形成基板(2)的步骤包括在所述基板(2)上形成至少一个过渡层(3)。

18. 根据权利要求 17 中所述的方法, 其中, 所述至少一个过渡层(3)、所述第一线芯层(4)、所述至少一个其他线芯层(5), 以及所述上外包层(8)中的至少一个的形成包括以下步骤:

沉积精细颗粒材料的一个烟灰层;

固结所述沉积烟灰层。

19. 根据权利要求 18 所述的方法, 其中, 所述烟灰沉积通过火焰水解沉积工艺, 和/或任何其他平板烟灰沉积法或烟灰沉积法与非烟灰沉积法的组合。

20. 根据权利要求 18 中所述的方法, 其中所述固结通过用火焰水解燃烧器和/或在一个炉中加热。

21. 根据权利要求 20 中所述的方法, 其中, 所述至少一个过渡层(3)、所述第一线芯层(4)、所述至少一个其他线芯层(5), 以及所述上外包层(8)中的至少一个的形成包括以下步骤:

借助于等离子体增强化学汽相沉积工艺、低压化学汽相沉积工艺和/或任何其他平板沉积法或沉积法的组合来沉积一个材料层;

使该沉积层承受温度受控环境以便所述沉积层被烧结。

22. 根据权利要求 13 或 14 中所述的方法, 其中, 所述第一线芯层(4)、至少一个其他线芯层(5)、和/或至少一个上外包层(8)中的至少一层的成分包括二氧化硅和/或氧化锆。

23. 根据权利要求 13 或 14 中所述的方法, 其中, 所述第一线芯层(4)、所述至少一个其他线芯层(5), 和/或所述至少一个上外包层(8)中的至少一层用取自以下组成的组群中的至少一种离子类来掺

杂:

磷、硼、钛、钽、铝、镧、铈、锆和/或任何其他过渡元素。

24. 根据权利要求 22 中所述的方法, 其中所述至少一个二氧化硅和/或氧化锆层用取自以下组成的组群中的至少一种离子类来掺杂: 一种过渡元素、一种稀土离子类和/或一种重金属离子类。

25. 根据权利要求 23 中所述的方法, 其中掺杂物的数量选择成能形成相对过渡层具有 0.2 至 2% 的折射率差的波导。

26. 根据权利要求 23 中所述的方法, 其中下层线芯层是用锆和/或硼和/或磷离子类共掺杂的 SiO_2 。

27. 根据权利要求 23 中所述的方法, 其中上层线芯层是用锆和/或硼和/或磷离子类共掺杂的 SiO_2 。

28. 根据权利要求 20 中所述的方法, 其中, 所述至少一个其他线芯层 (5) 的软化温度 (T_{2S}) 比所述第一线芯层 (4) 的固结温度 (T_{1C}) 要低至少 10°C 。

29. 根据权利要求 20 中所述的方法, 其中所述第一线芯层 (4) 的固结温度 (T_{1C}) 处于 1200°C 至 1375°C 的范围内。

30. 根据权利要求 20 中所述的方法, 其中第二线芯层的固结温度 T_{2C} 处于 1100°C 至 1365°C 之间。

31. 根据权利要求 13 或 14 中所述的方法, 其中任何一个下层和/或基板中掺杂物的成分和浓度选择成能控制在预定的温度下由任何上层表现出的软化程度。

32. 根据权利要求 20 中所述的方法, 其中, 在固结期间, 温度条件包括一个阶段, 在该阶段温度在 650°C 至 850°C 之间以 $15^\circ\text{C}/\text{min}$ 梯度上升。

33. 根据权利要求 20 中所述的方法, 其中, 在固结期间, 温度条件包括一个阶段, 在该阶段温度在 850°C 至 1375°C 之间以 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 梯度上升, 而对掺杂物浓度有选择地控制以便在此温度范围内热变形减至最小。

34. 根据权利要求 32 中所述的方法, 其中, 在固结期间, 温度条

件包括一个阶段，在该阶段温度在 1375℃ 至 650℃ 之间以 5℃/min 梯度下降。

35. 根据权利要求 31 中所述的方法，其中，在所述外包层、所述第一线芯层、覆盖掺杂的基板和另一层的第二线芯层中的至少一个的固结阶段，温度条件包括一个阶段，在该阶段温度保持高于下面的基板和/或其他层在其未掺杂状态下的软化温度至少 80 分钟。

带有多层线芯的光波导及其制作方法

本发明涉及一种带有多层线芯的光波导，特别是涉及一种带有合成线芯的光波导，其中第一线芯层的固结温度高于沉积于其上的第二线芯层的软化温度。

平板波导是通过在一个基板，通常是一个硅晶片上形成若干层来制作的。在火焰水解沉积制作工艺的情况下，构成波导的诸层首先作为一层精细玻璃颗粒或“烟灰”沉积。或者该玻璃可以通过多种其他方法来沉积，例如等离子体增强化学汽相沉积（PECVD）、低压化学汽相沉积（LPCVD），这些方法可以单独使用也可以组合进行，还可以与火焰水解沉积（FHD）组合进行。

在 FHD 工艺的情况下，烟灰层固结成更致密的玻璃层，在每层沉积之后立即分别固结或者若干层可以一起固结。在其他工艺的情况下，虽然作为玻璃来沉积，但是往往还采用稠化和/或干燥过程。如果一层被加热到超过其固结温度的足够高的温度，则该固结层的黏度最终被降低到该玻璃能够流动。当发生这种情况时，随着该层表面变平滑可以消除表面不规则度。

在制作平板光波导期间，已经公知用温度循环来固结线芯层，该温度循环中在一个阶段该层被加热到明显高于实际固结温度的“软化”温度。此提高温度阶段保证形成线芯层的玻璃在其上表面被充分软化，以便固结的线芯层流动并形成一个相对光滑和水平的层。

波导的表面越光滑则在该表面处散射的光越少；因而如果想要制作高质量的波导，则最好是把一层加热到其软化温度一段时间。然而，为了在固结和/或软化后续层期间保证下面各层不变形，每个后续层的固结和软化温度通常低于下层的软化温度。

为了实现适当光滑的线芯层上表面，而不达到超过下层的固结温度和/或可能引起波导基板热变形的温度，通常希望在沉积阶段期间在

线芯层中添加所选择的掺杂物。

在本发明中，形成最下层线芯层的玻璃的成分这样来选择，以便其折射率接近于上层线芯层的折射率，同时其固结温度高于最上层线芯层温度的软化温度。同理，环绕线芯层和在线芯层下面形成的外包层必须具有正确的热力学特性以便在波导的制作期间保证线芯不变形。

结果，所有层（过渡层（如果采用的话），线芯层和外包层）必须以递减的固结温度和它们之间足够的过渡层来沉积。此外，通常对于线芯层所允许的最高固结温度限制于 $\sim 1360^{\circ}\text{C}$ ，若超过此温度硅基板就会开始裂纹和内爆。

选择的线芯掺杂物降低线芯层上表面开始流动的温度。例如，诸如硼离子、磷离子和/或钛离子类的掺杂物可以在沉积阶段以选择的数量加入锗硅酸盐玻璃以便给出想要的性质，例如正确的热力学特性、折射率和膨胀系数。其他共掺杂物可能包括钽、铝、镧、铈和锆。锗硅酸盐基的线芯玻璃是优选例，但是锗可能不是在所有情况下都必须的。

本发明试图在光波导的制作方面提供若干优点。根据本发明的波导具有一个合成线芯，其中第一层包括其固结温度接近于最高允许温度（ $\sim 1360^{\circ}\text{C}$ ）的一种玻璃。然后在下层线芯层上面沉积一层其厚度仅为下层线芯层厚度的10%左右的“覆膜”层。一般来说，该“覆膜”层具有大为增加的掺杂物浓度，但是匹配下层线芯层的折射率。最上“覆膜”层通常具有比下层线芯层的固结温度要低 $\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的固结温度。最上“覆膜”层完全固结并且，由于其软化温度低于下层线芯层的固结温度，而被进一步软化。这促进产生低的表面粗糙度的表面“覆膜效应”。于是增加掺杂物的区域减至最小，并且位于例如波导线芯的边缘，在那里导模的光场减至最小，从而降低任何密度波动的影响。

为了保证线芯层的固结温度和软化温度两者都足够低，线芯层需要相当浓重地掺杂。在这种高浓度值下，掺杂物更容易在线芯层中不均匀分布，而这造成该线芯层表现出不希望的很大密度波动。密度波动的存在影响该层的折射率的一致性，如果波导将要用于例如阵列波

导光栅之类大规模用途，则折射率应该尽可能均匀。在制作大规模波导，例如尺寸超过 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ 的波导的制作中特别希望这种密度波动减至最小。

此外，当外包线芯时，由于较软的线芯玻璃的体积减至最小，所以在观察到线芯层的明显变形之前，可以在外包层与线芯层之间采用更接近的固结温度匹配。

在固结阶段，存在着表面面积的减小，同时沉积层的密度增加。沉积的烟灰颗粒之间的颈缩形成带有微孔的开放网络，该网络后来随着诸微孔的封闭而变密。于是，重要的是所用的固结条件保证较低黏度的最上层（即“覆膜”层）不过早固结。

不良的固结条件可能引起产生气泡问题，这可能损坏固结层。为了减轻这种情况，可以采用适当的温度递变速率，例如 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ ，这使得固化层可以无气泡地形成。也可以使用氦气，因为它通过促使微孔溃灭有助于烧结。

本发明试图通过提供一种带有多层线芯的波导来避免或减轻上述缺点，该多层线芯具有均匀的折射率和平滑的最上表面。

本发明的第一方面试图提供一种带有多层波导线芯的光波导，该光波导包括：

一个基板；

一个在该基板上形成的波导线芯；以及

至少一个覆盖所述波导线芯的上外包层，该波导线芯有一个合成线芯层，该合成线芯层包括：

一个在该基板上形成的具有软化温度 T_{1S} 的第一线芯层；和

至少一个在该第一线芯层上形成的其他线芯层，其中所述至少一个其他线芯层中的至少最上线芯层的软化温度 T_{2S} 低于下层线芯层的软化温度 T_{1S} ，该下层线芯层比所述最上线芯层厚。

最好是，所述至少一个其他线芯层中的至少一个的软化温度 T_{2S} 比至少一个下层线芯层的软化温度 T_{1S} 要低至少 10°C 。

最好是，所述至少一个其他线芯层中的至少一个的软化温度 T_{2S}

基本上等于或低于至少一个下层线芯层的固结温度 T_{1C} 。

最好是，所述基板是硅。

最好是，所述基板还包括至少一个在其上形成的过渡层。

最好是，至少一个所述过渡层是该基板的热氧化层。

最好是，所述第一线芯层、所述至少一个其他线芯层，和/或所述至少一个上外包层中的至少一个包括二氧化硅和/或氧化锆。

更可取的是，所述第一线芯层、所述至少一个其他线芯层，和/或所述至少一个上外包层中的至少一个用取自以下组成的组群中的至少一种离子类来掺杂：

磷、硼、钛、钽、铝、镧、铈、锆和/或任何其他过渡元素。

更可取的是，所述至少一个二氧化硅和/或氧化锆层用取自以下组成的组群中的至少一类来掺杂：

一种过渡元素、一种稀土离子类和/或一种重金属离子类。

最好是，第一线芯层的厚度大于所述至少一个其他线芯层的厚度。

更可取的是，第一线芯层的厚度是该合成线芯层的厚度的主要部分。

根据本发明的第二方面，提供一种制作带有一个波导线芯的光波导的方法，该方法包括以下步骤：

形成一个基板；

在所述基板上形成一个合成线芯层；

由所述合成线芯层形成一个波导线芯；以及

形成覆盖所述线芯波导的至少一个上外包层，其中合成线芯层的形成的特征在于，

在该基板上形成一个具有软化温度 T_{1S} 的第一线芯层；并

在该第一线芯层上形成至少一个其他线芯层，其中所述至少一个其他线芯层中的至少最上线芯层的软化温度 T_{2S} 基本上低于至少一个下层线芯层的软化温度 T_{1S} ，该下层线芯层比所述最上线芯层厚。

最好是，所述至少一个其他线芯层中的至少一个的软化温度 T_{2S} 比至少一个下层线芯层的软化温度 T_{1S} 要低至少 10°C 。

更可取的是，所述至少一个其他线芯层中的至少一个的软化温度 T_{2S} 基本上等于或低于至少一个下层线芯层的固结温度 T_{1C} 。

最好是，在所述至少一个其他线芯层的软化温度 T_{2S} 下，所述至少一个其他线芯层的黏度降低到足以减小所述至少一个其他线芯层的表面不规则度。

最好是，所述形成基板的步骤包括在所述基板上形成至少一个过渡层。

最好是，所述至少一个过渡层、所述第一线芯层、所述至少一个其他线芯层，以及所述上外包层中的至少一个的形成包括以下步骤：

沉积精细颗粒材料的一个烟灰层；

固结所述沉积烟灰层。

最好是，所述烟灰沉积通过火焰水解沉积工艺，和/或任何其他平板烟灰沉积法或烟灰沉积法与非烟灰沉积法的组合。

更可取的是，所述固结通过用火焰水解燃烧器和/或在一个炉中加热。

最好是，所述至少一个过渡层、所述第一线芯层、所述至少一个其他线芯层，以及所述上外包层中的至少一个的形成包括以下步骤：

借助于等离子体增强化学汽相沉积工艺、低压化学汽相沉积工艺和/或任何其他平板沉积法或沉积法的组合来沉积所述材料层；

使该沉积层承受温度受控环境以便所述沉积层被烧结。

最好是，所述第一线芯层、至少一个其他线芯层、和/或至少一个上外包层中的至少一层的成分包括二氧化硅和/或氧化锗。

更可取的是，所述第一线芯层、所述至少一个其他线芯层、和/或所述至少一个上外包层中的至少一层用取自以下组成的组群中的至少一种离子类来掺杂：

磷、硼、钛、钽、铝、镧、铈、锆和/或任何其他过渡元素。

最好是，至少一个二氧化硅和/或氧化锗层用取自以下组成的组群中的至少一种离子类来掺杂：

一种过渡元素、一种稀土离子类和/或一种重金属离子类。

最好是，对掺杂物的数量进行选择以形成相对过渡层具有 0.2~2 % 的折射率差的波导。

下层线芯层可以用锗和/或硼和/或磷离子类共掺杂的 SiO_2 。上层线芯层可以用锗和/或硼和/或磷离子类共掺杂的 SiO_2 。

最好是，所述至少一个其他线芯层的软化温度 (T_{2S}) 比所述第一线芯层的固结温度 (T_{1C}) 要低至少 10°C 。

所述第一线芯层的固结温度 (T_{1C}) 可以处于 $1200^\circ\text{C} \sim 1375^\circ\text{C}$ 的范围内。

最好是，第二线芯层的固结温度 T_{2C} 处于 1100°C 至 1365°C 之间。

最好是，对任何一个下层和/或基板中掺杂物的成分和浓度进行选择以控制在预定的温度下由任何上层表现出的软化程度。

最好是，在固结期间，温度条件包括一个阶段，在该阶段温度在 650°C 至 850°C 之间以 $15^\circ\text{C}/\text{min}$ 梯度上升。

最好是，在固结期间，温度条件包括一个阶段，在该阶段温度在 850°C 至 1375°C 之间以 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 梯度上升，而对掺杂物浓度有选择地控制以便在此温度范围内热变形减至最小。

最好是，在固结期间，温度条件包括一个阶段，在该阶段温度在 1375°C 至 650°C 之间以 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 梯度下降。

最好是，在所述外包层、所述第一线芯层、覆盖掺杂的基板和另一层的第二线芯层中至少一层的固结阶段，温度条件包括一个阶段，在该阶段温度保持高于下面的基板和/或其他层在其未掺杂状态下的软化温度至少 60 分钟。

将参照附图用例子进一步说明本发明，这些附图中：

图 1 是表示根据本发明的一个优选实施例的光通道波导的制作步骤的流程图；

图 2A 至图 2D 是表示根据本发明的一个优选实施例的光通道波导的形成的示意图；

图 3 示出掺杂物 TiO_2 、 Al_2O_3 、 GeO_2 、 P_2O_5 、 B_2O_3 、以及 F 的折射率随掺杂物浓度变化的情况；

图 4 表示随着 GeO_2 、 P_2O_5 、 B_2O_3 、以及 TiO_2 掺杂物浓度的提高 SiO_2 层的膨胀系数的变化情况；

图 5 表示 GeO_2 、 P_2O_5 、 B_2O_3 的掺杂物浓度引起软化温度的变化情况；

图 6A 是随在线芯层中的位置而变化的共掺杂物浓度的示意图；以及

图 6B 是随在线芯层中的位置而变化的线芯软化温度的示意图。

参照附图 1 来说明根据本发明的一个实施例的一种带有多层线芯的光波导的形成方法的制作步骤。图 1 示出制作的主要步骤而无意完全限定制作过程。常规的临时步骤已被省略。

参照图 2A 至图 2D，示出带有多层线芯的光波导 1 的制作方法。

图 2A 示出在基板 2 的上面形成一个过渡层 3，例如一个过渡层或下外包层。在本例子中，过渡层 3 是通过硅基板的热氧化形成的二氧化硅 (SiO_2)。或者，可以通过任何适当的工艺形成一层以上的过渡层 3，例如沉积并固结玻璃烟灰，如本文中下面对上外包层 8 的形成的描述中所述。

现在参照图 2B，在过渡层 3 的上面形成第一线芯层 4。第一线芯层 4 是用适当的沉积工艺来沉积的，例如火焰水解沉积 (FHD) 工艺。其他合适的沉积工艺包括例如等离子体增强汽相沉积 (PECVD) 和低压化学汽相沉积 (LPCVD) 或沉积工艺的组合。

在 FHD 工艺中，在过渡层 3 的上面沉积一个精细颗粒性玻璃材料的烟灰层。如果将要最终形成例如 $6\ \mu\text{m}$ 线芯层，则一开始沉积足够的玻璃材料以便使所形成的第一线芯层 4 具有 $5.5\ \mu\text{m}$ 的厚度。

该玻璃材料通常是二氧化硅和/或氧化锗，例如 SiO_2 和/或 GeO_2 。在本发明的优选实施例中，该玻璃材料在沉积阶段期间被掺杂。针对对该层的热力学特性、折射率和膨胀系数的影响选出的典型的掺杂物为具有所选择数量的例如硼、磷、和/或钛化合物 (B_2O_3 、 P_2O_5 、 TiO_2) 和其他离子类。

形成第一线芯层 4 的玻璃成分选成具有接近于大约 $1360\ ^\circ\text{C}$ ，即接

近于最高可能温度的固结温度。

该玻璃的某些特性通过引入较重的掺杂物，例如其他过渡元素、稀土和/或重金属之类，得到加强，这些掺杂物可以通过使用特殊方法来引入，例如在英国专利申请№9902476.3 中公开的空气溶胶掺杂法。

仍然参照图 1 和图 2B，在第一线芯层 4 上形成第二线芯层 5。第二线芯层 5 用任何合适的沉积法，例如 FHD，在第一线芯层 4 的上面沉积。在该例子的一个实施例中，第二线芯层具有比第一线芯层浅得多的深度，因为希望使形成第二线芯层 5 的玻璃材料保持为整个线芯成分的一小部分。当第二线芯层 5 被固结并软化时沉积足以在下层第一线芯层 4 上仅形成一个表面“覆膜”的材料就足够了。在本发明的一个实施例，其中形成一个 6 μm 深的线芯层，第二线芯层具有 0.5 μm 的固结深度。

形成第二线芯层 5 的玻璃具有与第一线芯层 4 不同的成分。通过改变（通常是增加）掺杂物浓度和/或适当选择第二线芯层 5 的掺杂物种类，第二线芯层 5 的软化温度 T_{2S} 可以被足够降低。一层的软化温度是固结层的黏度降低到足以使该固结层开始“流动”时的温度，例如可以使该层的表面不规则度平滑。通过有选择地掺杂形成第二线芯层 5 的玻璃材料来降低 T_{2S} ，保证当下层第一线芯层 4 正在固结时第二线芯层 5 已经达到其固结温度 T_{2C} 进而已经达到其软化温度 T_{2S} 。于是第二线芯层 5 的固结温度 T_{2C} 和软化温度 T_{2S} 两者都低于第一线芯层 4 的固结温度 T_{1C} 。这造成在固结阶段第二线芯层 5 开始流动以形成一个光滑表面。

用来形成第二线芯层 5 的玻璃材料还产生例如使第一线芯层 4 与第二线芯层 5 折射率匹配所希望的效果。于是通过加热第一和第二线芯层 4、5 两者，随着第一线芯层 4 的固结第二线芯层 5 将会软化并流动，这在两个线芯层 4、5 之间的界面处以及合成线芯层 6 的最上表面处降低表面粗糙度。最好是第二线芯层的软化温度处于第一线芯层固结的温度范围内。

现在参照图 1 中所示的实施例，第二线芯层 5 在第一线芯层 4 固

结之前被沉积。或者，第二线芯层 5 可以在第一线芯层 4 部分固结时被沉积。在图 1 中所示的本发明的实施例中，线芯层 4 和 5 两者都是一开始就用 FHD 工艺来沉积并且一起充分固结以便形成合成线芯层 6。或者，每个线芯层 4、5 可以分别沉积并固结以便形成合成线芯层 6。

现在参照图 2C，一旦形成合成层 6，通过任何合适的蚀刻法，例如光刻处理和干蚀刻，去除线芯层 4、5 的不需要的部分而形成波导线芯 7。剩余的合成线芯层 6 形成波导线芯 7，然后该波导线芯包入上外包层 8。

现在参照图 2D，上外包层 8 通过用任何合适的沉积工艺，例如 FHD，如上文所述环绕波导线芯 7 沉积合适的玻璃材料来形成。上外包层 8 的成分可以通过引入掺杂物来改变以便使上外包层 8 具有某种希望的特性。例如，在本发明的优选实施例中，上外包层 8 具有与过渡层 3 的折射率相同的折射率，并具有低于第一和第二线芯层 4、5 的软化温度 T_{1S} 和 T_{2S} 的固结温度 T_{vC} 。此外，上外包层 8 的膨胀系数应近似于基板的膨胀系数。

一般来说，为了保证任何一层的固结不引起下层和基板 2 的任何热变形，波导的每一层具有想要的特性，也就是说其固结温度低于前一层的软化温度。或者，例如，可以在波导的每层之间形成起热屏障作用的过渡层。

第一和第二线芯层 4、5 中的每一层用一个温度循环来固结，该温度循环包括一个温度明显高于实际固结温度的阶段。通过使第一和第二线芯层 4、5 承受此极端温度，具有最低黏度的线芯层将会流动，致使它形成一个比较光滑和均匀的表面。固结合成线芯层 6 所需的高温可以用公知的技术来实现，例如，使来自火焰水解燃烧器的火焰在沉积的烟灰层上方掠过，或者把波导 1 放进合适的炉中。

在一个实施例中，为了保证线芯合成层 6 的最上表面尽可能光滑，第二线芯层 5 较浓地掺杂以便把其固结温度 T_{2C} 和软化温度 T_{2S} 降低到低于第一线芯层 4 的固结温度 T_{1C} 。一层中的掺杂物浓度对软化温度

的一般影响在图 5 中示出。

图 5 表明，在一层中氧化磷、氧化硼和氧化锗的浓度越高，则软化温度越低。然而，这种掺杂物的存在还如图 3 中所示影响一层的折射率。这说明增加氧化磷和氧化锗的数量会提高折射率，而增加氧化硼会使其降低。

为了保证第二线芯层 5 对由合成线芯层 6 形成的波导 7 的折射率的均匀性有最小的不良影响，第二线芯层 5 的厚度小于第一线芯层 4 的厚度。在本发明的此优选实施例中，对于具有 6 μm 总厚度的合成线芯层 6，第一线芯层 4 的厚度为 5.5 μm 而第二线芯层 5 的厚度为 0.5 μm 。在本发明的另一个优选实施例中，第二线芯层 5 的厚度为合成线芯层 6 的总厚度的 10% 左右。

通过选择合适的掺杂物浓度来提高第一线芯层 4 的固结温度以便保证第一线芯层 4 的固结温度 T_{1C} 超过第二线芯层 5 的软化温度 T_{2S} 。于是通过选择每个线芯层 4、5 中的掺杂物的适当数量，有可能得到所希望的效果

$$T_{1C} > T_{2S} > T_{2C}$$

在本发明的优选实施例中，第一线芯层 4 选择以达到接近于 1360 $^{\circ}\text{C}$ 的固结温度 T_{1C} 的成分。第二线芯层 5 的成分能使第二线芯层 5 的固结温度 T_{2C} 和软化温度 T_{2S} 低于第一线芯层 4 的固结温度 T_{1C} 。

例如，在本发明的一个实施例中，第二线芯层 5 有选择地用较高浓度的 GeO_2 和 B_2O_3 来掺杂，致使其固结温度 T_{2C} 被降低到至少比第一线芯层 4 的固结温度 T_{1C} 要低 50 $^{\circ}\text{C}$ 。此外，第二线芯层 5 的软化温度被降低到至少比第一线芯层 4 的固结温度 T_{1C} 要低 10 $^{\circ}\text{C}$ 。

第二线芯层 5 的成分还选择成使其折射率基本上等于第一线芯层 4 的折射率。

图 6A 示出本发明的一个实施例中的合成线芯层 6 与掺杂物浓度。形成第二线芯层 5 的区域在图中打上阴影。下线条代表氧化硼 (B_2O_3) 的浓度的变化，上线条代表氧化锗 (GeO_2) 的浓度的变化。在第二线芯层 5 中的氧化硼和氧化锗的浓度与第一线芯层 4 中的浓度相比增加

了。这实现第二线芯层 5 的软化温度 T_{2s} 中合适的降低，如图 6B 中所示，而没有根本上影响合成线芯层 6 的总折射率。

当合成线芯层 6 在第一线芯层 4 的固结温度下被固结时，第一线芯层 4 和第二线芯层 5 两者都被充分固结。然而， T_{1c} 高于 T_{2s} ，而且随着第二线芯层 5 被加热到超过其软化温度 T_{2s} ，其黏度降低得足以使其最上表面流动。此种效应，第二线芯层 5 的“表面覆膜”，使合成线芯层 6 具有所希望的低表面粗糙度，并使第一和第二线芯层之间的界面具有低表面粗糙度。此外，降低软化温度所需的掺杂物的高浓度的不良影响被减轻，因为在整个合成层 6 中不需要掺杂物的高浓度。

最好是第二线芯层 5 的固结不过早地出现，因为这可能造成在合成线芯层 6 的第一和第二线芯层之间滞留气泡。在过早固结期间气体可能这样被滞留：沉积的烟灰颗粒一开始形成带有微孔的开放网络；随着在固结过程期间微孔的封闭，该层变得越来越致密并排出气体团。如果第二线芯层 5 的微孔网络在第一线芯层 4 的微孔网络溃灭之前完全溃灭，则从第一线芯层 4 放出的气体可能被滞留在第二线芯层 5 之下。

为了防止第二线芯层 5 的过早固结，合成线芯 6 被加热的温度范围具有 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的典型的固结递变速率。这消除了第二线芯层过早固结和滞留气泡的可能性。也可以采用促使微孔溃灭的其他手段，例如，在固结阶段可以使用氦气以便促使微孔溃灭。

在本发明的优选实施例中，通过在 FHD 工艺阶段采用以下气流，第一线芯层 4 可以形成具有过渡层 3 的 0.7% 的折射率：

第一线芯层		第二线芯层	
起泡气体	流速 (sccm)	起泡气体	流速 (sccm)
SiCl_4	150	SiCl_4	150
GeCl_4	101	GeCl_4	156
BCl_3	49	BCl_3	65

输送气体	流速	输送气体	流速
H ₂ :O ₂	5 L/min:7 L/min	H ₂ :O ₂	5 L/min:7 L/min

以上成分纯粹是说明性的。本发明试图为第一线芯层 4 提供与第二线芯层 5 的折射率基本上相同的折射率，线芯层 4、5 两者的成分可以实现这样的折射率匹配而在第二线芯层 5 的固结和/或制作期间第一线芯层 4 不发生任何显著的热变形。在本例子中，材料的成分选择能提供大约 0.7% 的折射率差，第二层具有基本上相同的折射率。

本实施例在合成线芯层 6 的固结期间的温度循环如下：

650℃ 至 850℃	15℃/min
850℃ 至 1375℃	5℃/min
1375℃ 至 650℃	-5℃/min

线芯层 6 在最高温度下在氦氧气体(0.6 L/min He 和 0.2 L/min O₂) 中保持 80 分钟，然后以 -5℃/min 冷却到 650℃。在 1200℃ 与 1375℃ 之间的 T_{1c} 下发生第一层的固结。在较低的范围 T_{2c}1100℃ 至 1365℃ 之间发生第二层的固结。

虽然已经描述并图示了本发明的若干个实施例，但是显然一旦公开本发明，则对于本专业的技术人员来说就可以进行各种修改、改动、改进和变动而不背离本发明的实质或范围。

在多层线芯中可以形成两层以上的线芯层，而每个线芯层的成分选择成可以一起或单独进行固结，但是最上线芯层的表面被覆膜而没有任何下层的热变形或合成线芯的密度/折射率的总体均匀性和/或质量的任何降低的危险。因此，每个线芯层的成分可以选择成实现上述优点。

本文给出的任何范围可以扩展或变更而不丧失所追求的效果，这对于理解了本发明原理的技术人员来说是显而易见的。

说明书附图

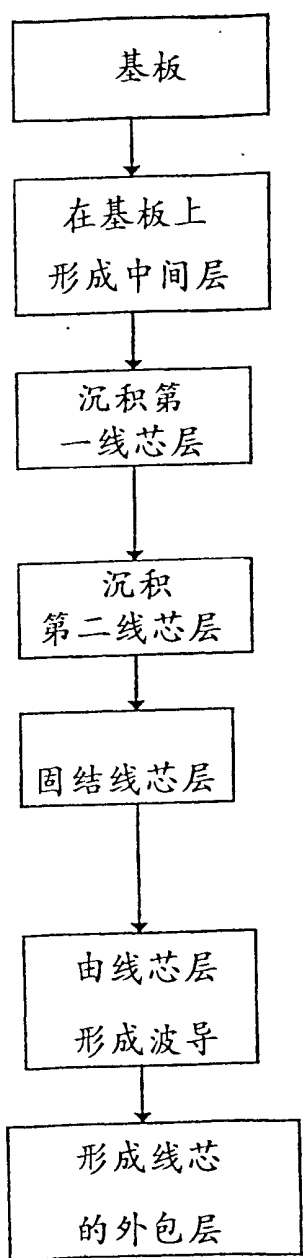


图1

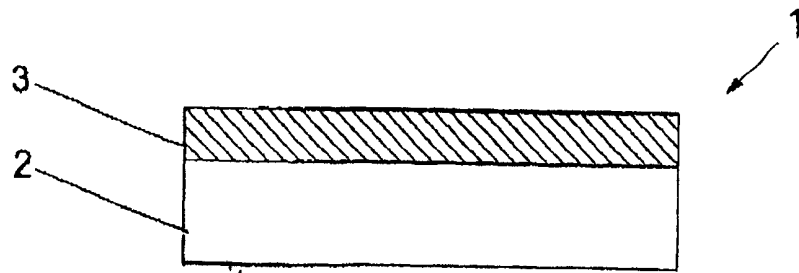


图 2A

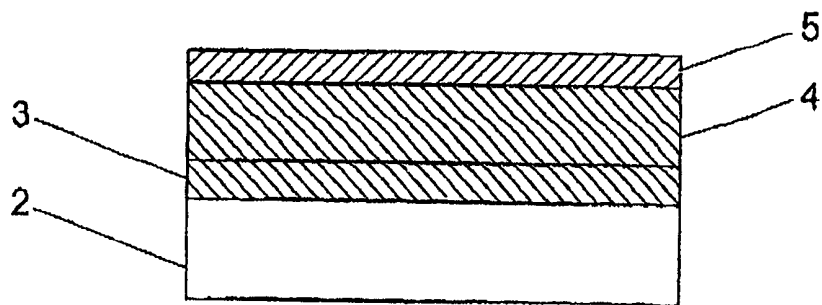


图 2B

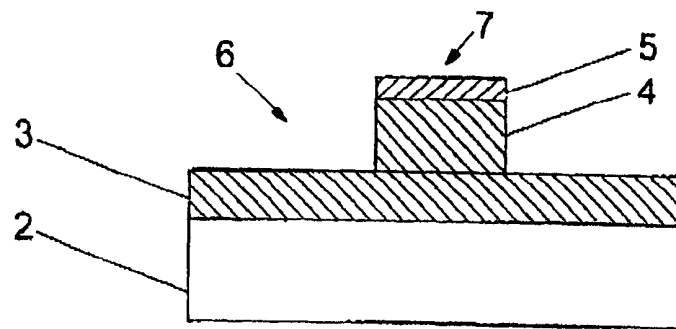


图 2C

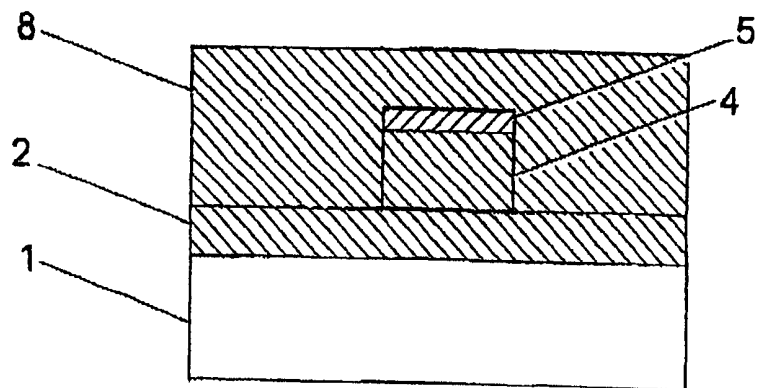


图 2D

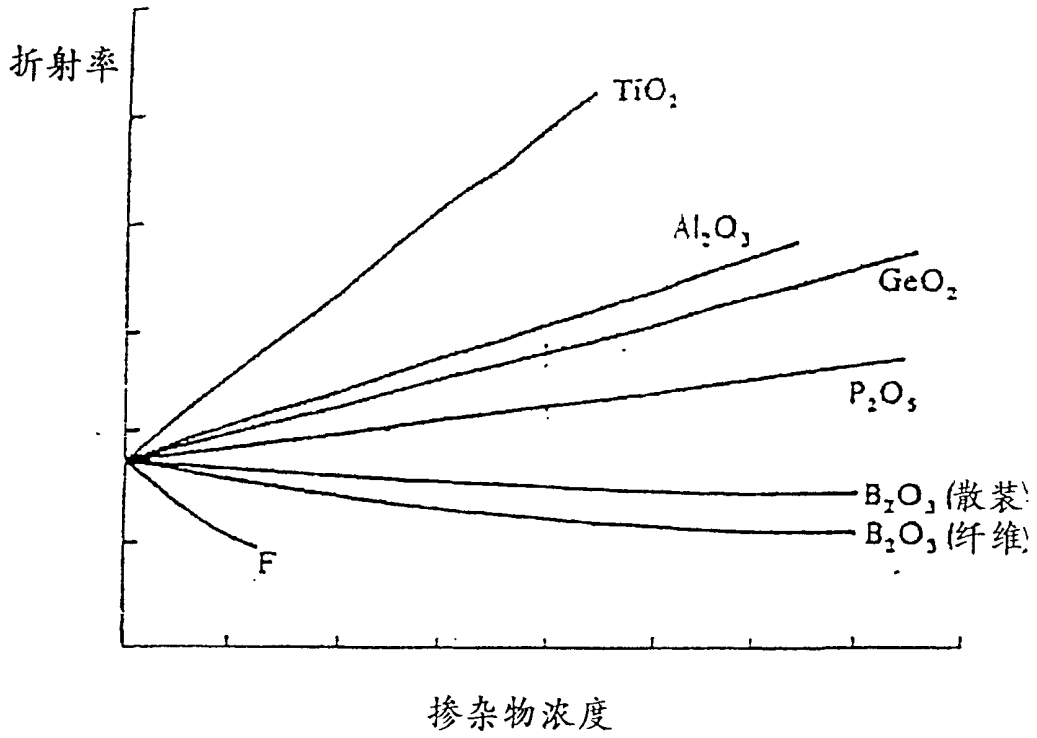


图3

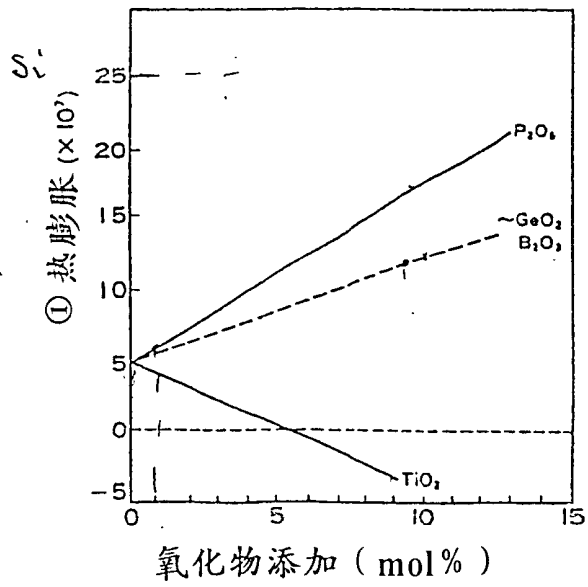


图4

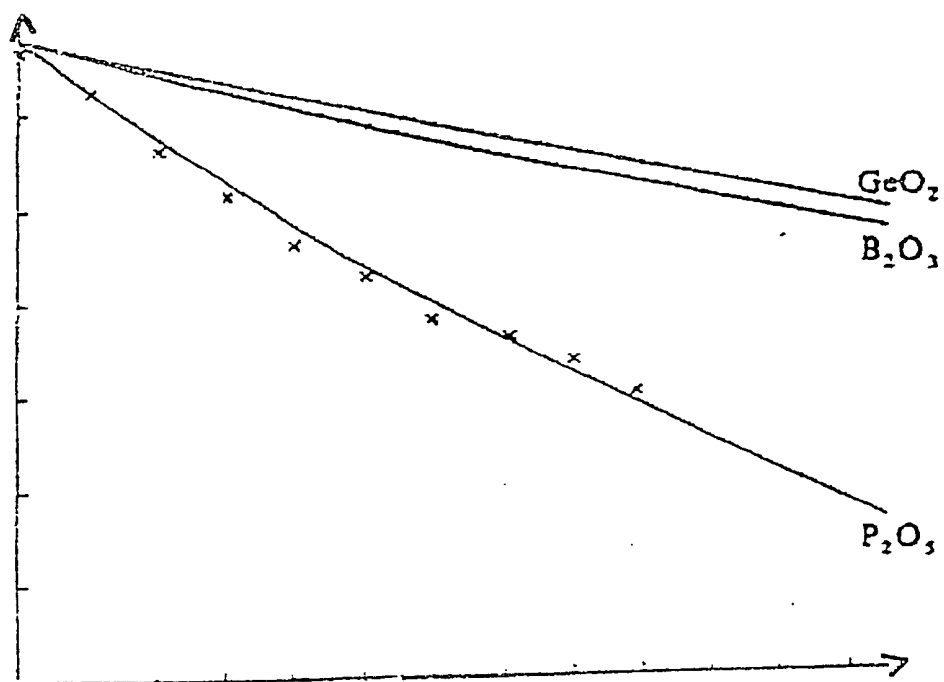


图5

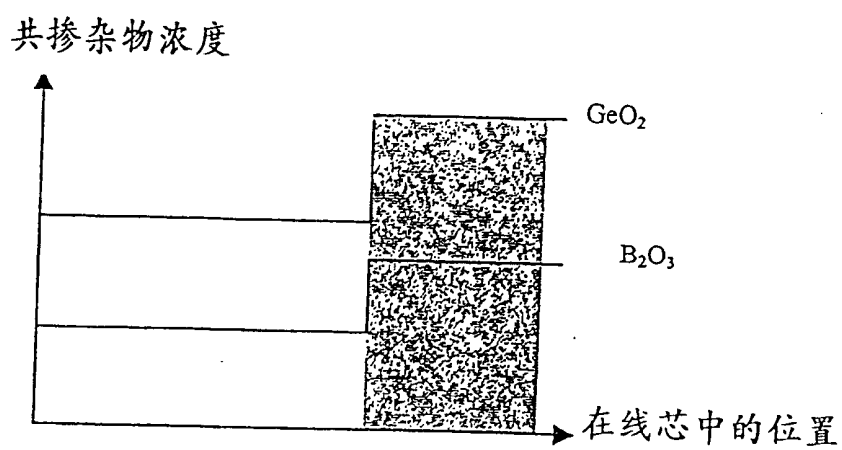


图6A

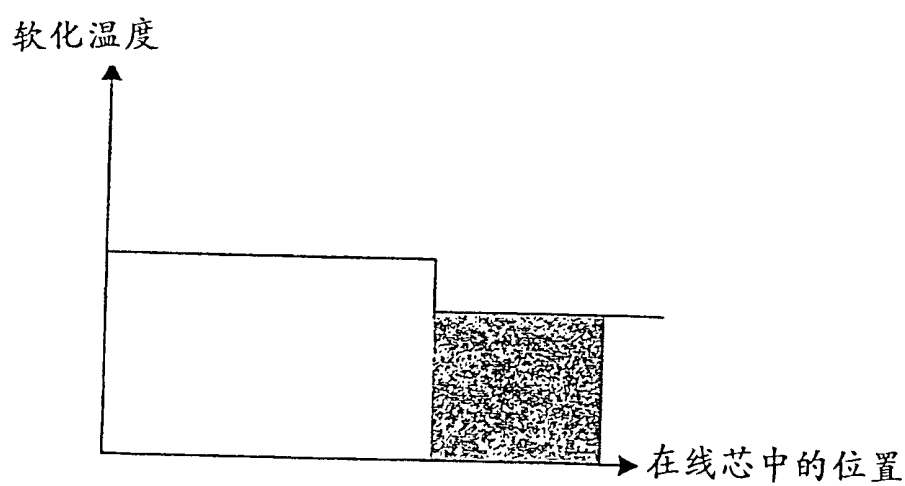


图 6B