[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
G02B 1/10

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02818093.3

[43] 公开日 2004 年 12 月 29 日

[11] 公开号 CN 1559012A

[22] 申请日 2002.7.16 [21] 申请号 02818093.3
[30] 优先权
[32] 2001. 7.16 [33] US [31] 60/305,839
[32] 2002. 1.23 [33] US [31] 60/351,066
[86] 国际申请 PCT/US2002/022443 2002.7.16
[87] 国际公布 WO2003/009016 英 2003.1.30
[85] 进入国家阶段日期 2004.3.16
[71] 申请人 麻省理工学院
地址 美国马萨诸塞州
[72] 发明人 约尔·芬克 尚顿·哈特
加里·马斯卡利
布拉克·泰梅尔库兰

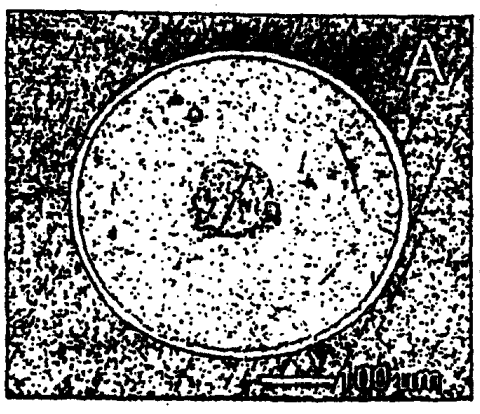
[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
代理人 王 英

权利要求书 9 页 说明书 10 页 附图 6 页

[54] 发明名称 形成反射介质镜的方法

[57] 摘要

镜面结构包括多个限定尺寸的特征。 该特征包括硫属化物玻璃和热塑性聚合物的交替空间单元，并且以有序的形式特别排列，以使得该结构是高反射性的。 热辅助性的方法被引入用于形成这样的结构。



ISSN1008-4274

1. 一种包括限定尺寸的多个部件的镜面结构，所述部件包括硫属玻璃和热塑性聚合物的多个空间单元，其以有序形式特别地设置，使得上述结构是高反射的。

2. 如权利要求 1 所述的镜面结构，其中所述部件被设置为周期性的形式。

3. 如权利要求 1 所述的镜面结构，其中所述的有序形式是工程设计的或计划好的。

4. 如权利要求 1 所述的镜面结构，其中所述部件以赝周期的形式设置。

5. 如权利要求 1 所述的镜面结构，其中所述硫属玻璃包括三硒化二砷。

6. 如权利要求 1 所述的镜面结构，其中所述热塑性聚合物包括 PES。

7. 如权利要求 1 所述的镜面结构，其中所述部件包括硫属玻璃和热塑性聚合物的交替层。

8. 如权利要求 7 所述的镜面结构，其中所述聚合物首先呈现为聚合物膜母体（precursor）。

9. 如权利要求 8 所述的镜面结构，其中所述硫属玻璃和热塑性聚合物的交替层是通过在所述聚合物膜沉积一层硫属玻璃而形成的。

10. 如权利要求 9 所述的镜面结构，其中所述硫属玻璃和热塑性聚合物交替层是通过将覆盖有硫属玻璃的聚合物膜卷成或堆叠成多层结构而形成的。

11. 如权利要求 10 所述的镜面结构，其中所述硫属玻璃的交替层是用热辅助性处理而形成或粘结成多层结构。

12. 如权利要求 11 所述的镜面结构，其中所述硫属玻璃的交替层通过拉伸而减小尺寸。

13. 如权利要求 11 所述的镜面结构，其中所述硫属玻璃交替层是通过将所述多层结构放入特定温度下的拉丝塔中并拉伸成尺寸更小的上述结构。

14. 如权利要求 7 所述的镜面结构，其中所述硫属玻璃的交替层是通过将所述多层结构放在一个拉丝塔中拉伸成所述结构而形成。

15. 如权利要求 1 所述的镜面结构，其中所述部件是用热辅助性处理形成或粘结成一多层结构。

16. 一种有序结构，包括多个限定尺寸的部件，所述部件包括硫属玻璃和热塑性聚合物组成的多个空间单元，其中所述空间单元具有 1 到 20000 纳米的尺寸。

17. 如权利要求 16 所述的有序结构，所述部件包括硫属玻璃和热塑性聚合物组成的交替层。

18. 如权利要求 17 所述的有序结构，其中所述聚合物首先呈现为聚合物膜母体。

19. 如权利要求 18 所述的有序结构，其中硫属玻璃的交替层是通过在所属聚合物膜上沉积一层硫属玻璃形成。

20. 如权利要求 19 所述的有序结构，其中所述硫属玻璃和热塑性聚合物组成的交替层是通过将覆盖有硫属玻璃的聚合膜卷成或堆叠成一多层结构而形成。

21. 如权利要求 20 所述的有序结构，其中使用热辅助性处理形成或粘结成所述硫属玻璃的交替层。

22. 如权利要求 21 所述的有序结构，其中所述硫属玻璃的交替层通过拉伸而减小尺寸。

23. 如权利要求 12 所述的有序结构，其中所述硫属玻璃的交替层是通过将所述多层结构放入特定温度下的拉丝塔中并拉伸成尺寸更小的上述结构。

24. 如权利要求 17 所述的有序结构，其中所述硫属玻璃的交替层是通过将所述多层结构放在拉丝塔中拉伸成所述结构而形成。

25. 如权利要求 16 所述的有序结构，其中使用热辅助性处理将所述部件形成或粘结成多层结构。

26. 一个制造镜面结构的方法，该方法包括：

形成一限定尺寸的多个部件，所述部件包括硫属玻璃和热塑性聚合物组成的多个空间单元；而且将所述部件以有序的形式特别地设置，使得所述结构是高反射的。

27. 如权利要求 26 所述的方法，其中所述部件以周期形式设置。

28. 如权利要求 26 所述的方法，其中所述有序形式是工程设计的或计划好的。

29. 如权利要求 26 所述的方法，其中所述部件以赝周期形式设置。

30. 如权利要求 26 所述的方法，其中所述硫属玻璃包括三硒化二砷。

31. 如权利要求 26 所述的方法，其中所述热塑性聚合物包括 PES。

32. 如权利要求 26 所述的方法，其中所述部件包括硫属玻璃和热塑性聚合物的交替层。

33. 如权利要求 32 所述的方法，其中所述聚合物首先呈现为聚合物膜母体。

34. 如权利要求 33 所述的方法，其中所述硫属玻璃的交替层是通过在所述聚合物膜上沉积一层硫属玻璃而形成的。

35. 如权利要求 34 所述的方法，其中所述硫属玻璃和热塑性聚合物的交替层是通过将覆盖硫属玻璃的聚合物膜卷成或堆叠成多层结构而形成的。

36. 如权利要求 35 所述的方法，其中所述硫属玻璃的交替层是使用热辅助性处理形成或粘结成多层结构。

37. 如权利要求 36 所述的方法，其中所述硫属玻璃的交替层通过拉伸而减小尺寸。

38. 如权利要求 37 所述的方法，其中所述硫属玻璃的交替层是通过将所述多层结构放入特定温度下的拉丝塔中拉伸成尺寸更小的上述结构。

39. 如权利要求 32 所述的方法，其中所述硫属玻璃的交替层是通过将所述多层结构放在一个拉丝塔中拉伸成所述结构而形成。

40. 如权利要求 26 所述的方法，所述部件是用热辅助性处理形成或粘结成一多层结构。

41. 一种形成一有序结构的方法，该方法包括：

形成一限定尺寸的多个部件；和

在每个所述部件上形成硫属玻璃和热塑性聚合物组成的多个空间单元；其中所述空间单元具有 1 到 20000 纳米的尺寸。

42. 如权利要求 41 所述的方法，所述部件包括硫属玻璃和热塑性聚合物组成的交替层。

43. 如权利要求 42 所述的方法，其中所述聚合物首先呈现为聚合物膜母体。

44. 如权利要求 43 所述的方法，其中硫属玻璃的交替层是通过在所属聚合物膜上沉积一层硫属玻璃而形成的。

45. 如权利要求 44 所述的方法，其中所述硫属玻璃和热塑性聚合物组成的交替层是通过将覆盖有硫属玻璃的聚合物膜卷成或堆叠成一多层结构而形成。

46. 如权利要求 45 所述的方法，其中使用热辅助性处理将所述硫属玻璃交替层形成或粘结成多层结构。

47. 如权利要求 46 所述的方法，其中所述硫属玻璃的交替层是通过将所述多层结构放入特定温度下的拉丝塔中拉伸成尺寸更小的上述结构。

48. 如权利要求 41 所述的方法，其中使用热辅助性处理将所述部件形成或粘结成多层结构。

49. 一种镜面结构，包括多层具有限定尺寸的热塑性聚合物，和多层具有限定尺寸的硫属玻璃；其中所述热塑性聚合物层和所述硫属玻璃层被设置成有序的形式，使得所述结构是高反射的。

50. 如权利要求 49 所述的镜面结构，其中所述有序形式是工程设计的或计划好的。

51. 如权利要求 49 所述的镜面结构，其中所述硫属玻璃包括三硒化二砷。

52. 如权利要求 49 所述的镜面结构，其中所述热塑性聚合物包括 PES。

53. 如权利要求 49 所述的镜面结构，其中所述硫属玻璃层通过在聚合物膜上沉积硫属玻璃层而形成。

54. 如权利要 53 所述的镜面结构，其中所述硫属玻璃层和热塑性聚合物层是在被卷制或堆叠后形成多层结构。

55. 如权利要求 54 所述的镜面结构，所述多层结构通过加热被粘结或固化的。

56. 如权利要求 55 所述的镜面结构，所述多层结构放入特定温度下的拉丝塔并拉伸成尺寸减小了的上述结构。

57. 一种制造镜面结构的方法，所述方法包括：

形成多层具有限定尺寸的热塑性聚合物；

形成多层具有限定尺寸的硫属玻璃；和

将所述热塑性聚合物层和所述硫属玻璃层设置成有序的形式；

卷起或堆叠所述热塑性聚合物层和所述硫属玻璃层；和

在特定温度下拉伸所述热塑性聚合物层和所述硫属玻璃层，使得所述结构是高反射的。

58. 如权利要求 57 所述的方法，其中所述硫属玻璃包括三硒化二砷。

59. 如权利要求 57 所述的方法，其中所述热塑性聚合物包括 PES。

60. 如权利要求 57 所述的方法，其中所述硫属玻璃层通过在聚合物膜上沉积多层硫属玻璃而形成。

61. 如权利要 57 所述的方法，其中所述硫属玻璃层和热塑性聚合物层是在被卷制或堆叠后形成多层结构。

62. 如权利要求 61 所述的方法，其中所述多层结构是通过热辅助性处理而形成或粘结成的。

63. 如权利要求 62 所述的方法，所述多层结构被放入特定温度下的拉丝塔中拉伸成尺寸更小的上述结构。

64. 如权利要求 57 所述的方法，其中所述部件是用热辅助性处理形成或粘结成多层结构。

65. 一种光纤，包括限定尺寸的多个部件，所述部件包括被特别设置为一有序形式的多个空间单元，以使得所述光纤呈现高的外部反射率。

66. 如权利要求 65 的光纤，其中所述部件以周期的形式设置。

67. 如权利要求 65 的光纤，其中所述有序形式是工程设计的或计划的。

68. 如权利要求 65 的光纤，其中所述部件以准周期的形式设置。

69. 如权利要求 65 的光纤，其中所述部件是用热辅助性处理形成或粘结成一多层结构。

70. 如权利要求 65 的光纤，其中所述部件包括硫属玻璃和热塑性聚合物组成的多个空间单元。

形成反射介质镜的方法

优先权信息

本申请要求2001年7月16日提交的序列号为60/305，839的临时申请（provisional application）和2002年1月23日提交的序列号为60/351，066的临时申请的优先权，这里通过引用将其全部内容结合在此。

发明背景

本发明涉及光学领域，尤其是反射介质镜结构，如光纤的形成。

聚合物纤维已得到广泛应用，如纺织品，这是由于其出色的机械特性，以及可提供的低成本的、大容量（high-volume）的处理技术。然而，对其光学性质的控制至今仍是相对有限的。相反地，介质镜被用来在高性能光学应用中精确地控制和操纵光，但是对这种脆性的反射镜的制造一直主要受平面几何形状限制，而且一直成本较高。

平面介质镜，也被称为一维光子晶体，可呈现出高效的电磁（EM）辐射反射和精确的频率选择。汽相沉淀技术的发展已经能够高度控制膜层厚度，使得能够将这些反射镜的光谱灵敏度控制到好于1埃的绝对精度。这导致了这样的专门的应用，如，光通讯中的增益致平器（gain flattener），在密集波分复用系统中的分插（add-drop）信道滤波器，激光谐振器部件，或简单的高效反射镜。不象金属镜，其通常吸收百分之几的入射光，介质镜可以被制造成外反射率（external reflectivities）接近100%。

一种典型的介质镜是由两种具有不同折射率的交替材料制成的介质的平面层叠（plannar stack）。虽然这些反射镜不具有完整的光子能带隙，但是最近已经表明这些镜子可以被设计成在一个宽的、可选择的频率范围内反射所有入射角和偏振状态的光。这种进步激发了

将非定向介质镜用于要求在许多角度对光有强限制（confinement）或反射的实际应用的兴趣，例如，光谐振腔或空腔波导管。

所有类型的介质镜的应用程度一直受与制造有关的成本和复杂程度，以及与将这些镜子沉积在非平面表面上相关的困难的阻碍，所述制造通常包括依次物理或化学沉积许多交替层。另外，所述反射镜膜是通常是易碎的且不需要依靠支撑物的。

发明内容

根据本发明的一个方面，提供了一种镜面结构。该镜面结构包括限定尺寸的多个部件（feature）。所述部件包括硫属玻璃与热塑性聚合物的交替的空间单元，并这些空间单元以有序形式特别地设置，使得该结构具有高反射性。

根据本发明的另一方面，提供一种形成一镜面结构的方法。该方法包括形成规定尺寸的多个部件。所述部件包括硫属玻璃和热塑性聚合物的交替空间单元。该方法进一步包括以有序形式特别地设置所述部件，使得该结构具有高反射性。

根据本发明的另一方面，提供了一种镜面结构。该镜面结构包括规定尺寸的多个部件。所述部件包括硫属玻璃和热塑性聚合物的交替空间单元。而且，所述空间单元的尺寸在 1 到 20000 纳米之间。

根据本发明的另一方面，提供一种形成一镜面结构的方法。该方法包括形成规定尺寸的多个部件。在每一个所述部件上形成多个硫属玻璃和热塑性聚合物的空间单元。而且，该空间单元的尺寸在 1 到 20000 纳米之间。根据本发明的另一个方面，提供有一种镜面结构。该镜面结构包括限定尺寸的多层热塑性聚合体，和限定尺寸的多层硫属玻璃。该热塑性聚合体层和硫属玻璃层以有序的形式设置，使得该结构是高反射的。

在本发明的另一方面，提供一种形成一镜面结构的方法。该方法包括形成多层限定尺寸的聚合物塑料，和多层限定尺寸的硫属玻璃。热塑性聚合物层和硫属玻璃层以有序的形式设置。在该制作过程

的某某点，热塑性聚合物和硫属玻璃同时共同进行热处理以形成所述镜面结构。在一个方案中，热塑性聚合物层和硫属玻璃层被卷起或堆叠，并在特定温度下，所述热塑性聚合物层和硫属玻璃层被热聚集在一起或粘结在一起，使得最后得到的结构是高反射的。

附图说明

图 1 是根据本发明的使用所选材料制成的 200μmOD 光纤的照片；

图 2 是具有在 2.8 和 1.55 之间交替的周期性折射率的一维光子晶体的光子能带图；

图 3A-3B 是外径分别为 400μm 和 200μm 的介质光纤相对于同样直径的镀金光纤的测得的反射谱；

图 4A-4C 是 400μm 外径的光纤横截面的 SEM 显微照片；

图 5 是用于制作手征波导（chiral waveguide）的膜的横截面的显微照片；以及

图 6 是 PES-As_2Se_3 拉制的光纤的显微照片。

发明详述

在其上或其中具有多层介质镜结构的聚合物光纤的制造过程中，本发明结合了两种不同材料的一些优点。热处理技术用于制造宏观分层介质镜结构然后将其缩小到亚微米长度尺度，因而在中红外范围建立一个光子能带隙。材料的选择包括一对非晶材料的经验识别，例如聚醚砜（poly(ether-sulfone)）（PES）和三硒化二砷（As_2Se_3），它们具有本质上不同的折射率但在某一热处理窗口内具有相似的热力学性质。当与晶体材料相比，无定形材料，例如无机玻璃和一些热塑性聚合物，其粘性随温度逐渐变化。这是因为当无定形材料从熔化状态冷却到玻璃状态时缺少一级热力学相变。缺少一级相变意味着自由体积和位形熵（configuration entropy）的连续变动，这些是粘性的控制因素；因此粘性不会随着温度的变化而急剧地变化。这种粘

性的连续变化是最重要的因素之一，它使得无机玻璃和有机热塑性通过高速热处理来制作，例如，拉丝（drawing），喷吹（blowing），压制（pressing）和挤压（extrusion）。

在性质匹配上存在有严峻的困难，这是为了在制造非定向镜面结构中使用相似的粘性热处理必须考虑的。所选择的材料应在一个宽的公共波长带上具有低的光吸收率。它们在所关心的处理温度应具有相似或可控的粘性，以使各层精确地保持期望的相对厚度比。另外，各层必须牢固地粘结在一起而千万不能剥离，甚至在受到热淬火时。

使用 As_2Se_3 的一个好处是它不仅是一种稳定的玻璃，而且它还是一种通过热蒸发或溅射可以容易地沉积在薄膜中而不会离解的定比化合物(stoichiometric compound)。另外，As_2Se_3 对于大约 0.8 到 17 μm 的红外辐射是透明的，在中红外范围内的折射率大约是 2.8。PES 是一种高性能的，尺寸稳定的热塑性的，其折射率是 1.55 且对于从可见光范围到中红外范围的电磁波是非常透明的。可以预料上述性质匹配可以通过选择性地调整聚合物和玻璃的组合而得到进一步的优化。其他材料的组合，包括各种硫族化物、氧化物、卤化物或聚合物也是有潜在可能被用于达到相似的结果。

图 1 是根据本发明用所选择的材料制成的光纤的照片。在本实施例中，所选择的材料被用来制成一个多层预成型棒(multilayer preform rod)，其实际上是最终光纤的宏观大小的型式。为了制造介质镜光纤的预制棒，通过热蒸发在独立式的 PES 膜的每一侧沉积一层 As_2Se_3 膜。该 PES 膜的厚度在 0.1-10000 μm 之间。然后用手将这一张大膜卷成到外径（OD）为 2 cm、25 cm 长的中空的 PES 棒的外部，以便形成一个具有大约 20 个 PES 和 As_2Se_3 交替层的结构。用这种方法，制造了一个具有 20 或更多层的周期性介质结构，而只有一次蒸汽沉积步骤是非常必需的。PES 和 As_2Se_3 形成相同大小和尺寸的多个部件。这些部件被特别地排列成一种有序的形式。通过在低压和高温下在真空炉中加热，该介质结构被固化为一个固体预制棒。

尤其是，所述介质结构具有一限定的次序或设计，即所述材料

以一种规则的、可控的方式形成部件。所述部件可包括硫属化物玻璃和热塑性聚合物的空间单元，以及它们可具有周期、准周期的工程设计的（engineered）结构，或没有严格的周期性，但这些部件仍然是有目的地排列的。要点是在最终结构中材料的部件安排（feature arrangement）不是随机的或概率性的，而是使用后述的技术工程设计的或计划好了的（designed）。该空间单元具有 1-20000 纳米的尺寸大小。

随后使用光纤拉丝塔（draw tower）将所得到的多层光纤预制棒热力学拉制成亚微米层厚的数百米的多层光纤，从而在中红外范围建立一个光子能带隙。从同样的预制棒中拉制得到外径在 175-500μm 范围内变化的与目标的典型标准偏差为 10μm 的光纤，以通过热形变展示反射谱的调整。通过在拉制过程中光纤的外径（OD）的光学监测来精确地控制所述光能带隙的频谱位置，这后来通过对不同直径的单根和多根光纤的反射性测量所验证。使用多个预制棒，也可以拉制得到具有相同直径但完全不同的频谱特征（spectral signatures）的各种光纤。所得到的介质镜光纤，在可选择的红外波长范围，达到或超过了镀金光纤的反射率。

图 2 是具有在 2.8 和 1.55 之间交替的周期性折射率的一维光子晶体的光子能带图。理论上，为了预测这些光纤的光谱响应，很容易计算相应于无限一维光子晶体的光子能带结构。这允许在该结构中的传播模和渐逝模的数学分析，其相应于实的和虚的布洛赫（Bloch）波数解。，电场矢量平行于横向电场极化模的反射镜的层界面，同样，，磁场矢量平行于横向磁场模的反射镜的层界面。所述平行波矢量（k_y）是平行于所述层界面的入射电磁波的矢量分量。从外部的周围介质可以进入的相空间位于由掠射角条件 $\omega = ck_y/n_0$ 定义的光线（light line）之间，在 35°线之间的模相应于那些实验取样的模。中轴被规格化为一个具有包含一个高折射率和低折射率层的周期性的双层的厚度 a。

图 2 描述了具有与这里制造的镜面结构相似的周期和折射率的

一个无限大结构的光子能带图。显示了 3 个光子能带隙 2、4 和 6，其中预计在 0-35°角度范围内是高反射率，并且基隙（fundamental gap）包括外部非定向反射率（external omnidirectional reflectivity）的范围。灰色区域代表在所述结构内的传播模，而白色区域代表衰逝模。浅黑色阴影梯形代表外非定向反射的区域。

图 3A-3B 是相对于相同直径的镀金光纤，测量得到的外直径分别为 400μm 和 200 μm 的电解质光纤的反射谱。使用 Nicolet/SpectraTec NicPlan 红外线显微镜和傅立叶变换红外光谱仪（Magna 860）从单根光纤和平行光纤阵列测量该镜面光纤反射率。该显微镜物镜用于聚焦在所述光纤上，其数值孔径为 0.58。这形成了一个探测圆锥，其中关于所述结构的表面法线的反射角能从垂直入射变到大约 35°，这是由显微镜物镜的数值孔径决定的。

如图 3A 所示，被拉制到外径为 400μm 的光纤呈现中心在 3.5μm的波长的很强的反射能带。测得的反射率谱与转移矩阵方法(TMM)的模拟结果符合得很好，其中所述反射率在上述包括两个极化模的角度范围进行平均。

如图 3B 所示，被拉制到外径为 200μm 的光纤显示了相似的中心在 1.7μm 附近的相似强的基本反射能带。这种主要光能带隙的移动清楚地图示说明了通过热形变处理在一个宽能带范围内反射率谱的精确工程设计。至少可以从小到 200μm 外径的单个光纤测量到很强的光学特征。在图 3B 中，同时从多个光纤取样被反射的光的光纤阵列测量与对单个光纤的结果一致。

这些反射率结果有力地表示经过多个热处理过程的均匀层厚控制、良好的层间粘合和低相互扩散（low interdiffusion）。这通过下面要讨论的如图 4 所示的光纤横截面的扫描显微镜（SEM）检查得到证实。在本实施例中，外径为 400μm 的光纤的厚度 a 为 0.45，外径为 200μm 的光纤的厚度 a 为 0.45μm。所观测到的层厚与测量到的反射率谱符合得很好。由于选择了空心棒作为预制棒基体，该光纤在中心有一个空孔。在拉制过程中所述这些光纤反射镜层发生均匀的

形变。这种卷制起来的(rolled-up)反射镜结构包括用于机械保护的用 PES 制成的双外层，在大约 3.2μm 处形成反射率谱的一个明显的吸收峰，如图 3A 所示。

图 4A-4C 是 400μm 外径光纤截面的扫描显微镜显微照片。整个光纤嵌入环氧树脂中。图 4A 显示了整个光纤的横截面，其具有环绕 PES 芯的镜面结构。图 4B 显示了该光纤外部的大部分没有明显的缺陷，并且反射镜结构与该光纤的基体粘结得很好。图 4C 展示了在 As_2Se_3（亮层）和 PES（黑层）交替层内的顺序和粘结。在分割过程中产生的应力在安装用的环氧树脂中产生一些裂纹，进一步展现了这些镜面光纤的机械强度，所述环氧树脂在该光纤界面被转向。这批中的光纤用于图 3A 中的反射率测量。

频谱和直接成像数据的结合表明与图 2 中的光子能带图非常相符。这是通过将图 2 中显示的 400μm 外径光纤的光子能带隙位置，连同扫描显微镜测量的 a=0.90μm 的层间距，与图 3A 中的经验光谱反射数据相比较而总结出来的。与光子能带图中的 29%相比较，对于 400μm 外径光纤的所测量到的带隙宽度范围与中频段之比为 27%。

在拉制温度下的伸长过程中流变特性的匹配是本发明的一个因素。在拉制温度，所述材料应有足够的流动性，在伸长时不会形成明显的应力，但流动性也不能太大而使这些镜面层失去其有序结构。在任何热淬火过程期间热膨胀系数（CTE）对薄膜的粘结和完整性都起到一定作用。PES 的线性热膨胀系数是 $55\times10^{-6}/°C$，而 As_2Se_3 的线性热膨胀系数是 $25\times10^{-6}/°C$。在这里所述的镜面光纤（mirror-fiber）几何形状中，当包含了大量所述光纤的 PES 层在低于 As_2Se_3 的玻璃态转变温度下冷却并收缩时通过将其置于压缩状态，热膨胀系数不匹配实际上具有固化外部 As_2Se_3 层的作用，这很象通常有涂层的陶瓷体上的釉料一经高温烧结后冷却就变得坚韧一样。

上述类型的材料和过程也可以用来降低平面介质镜的成本，并且，使用各种高吞吐量技术产生很多新的共形镜面几何形状（conformal mirror geometries）。这些光纤会导致新的光子晶体应

用，包括柔韧的具有高反射率和独特的频谱指纹图谱（spectral fingerprint）的柔韧的织物结构（woven structure）。

图 5 是一用于形成全电介质手征波导的膜的横截面示意图。在本实施例中，一种手征波导结构经除满 360°之外的其他任何旋转千万不要是相同的。如果与该光纤垂直的平面经 180°旋转不能再现，那么该光纤将具有一个区别性的偏手性（handedness）。

本发明的这一方面描述具有多种横截面变化的光纤。致使光纤横截面变化的一种简单的方法是如前所述的使用卷制（rolling）方法。如果使用柔韧的材料，其可以被卷起来并拉制。在相反方向上被卷起的两根同样被拉制的光纤互为镜像，因此具有手征。

对于这种要作为波导的卷起来的且被拉制的结构，电磁辐射必须限定在该结构中。几种方法可用来在光纤内产生导模。本发明提供了手征装置（chiral device）功能，其在被控制的层结构中的两个介质材料之间的具有很大的折射率的反差。这种非定向反射镜在美国专利申请 US6，130，780 号中介绍过，这里作为参考结合在此。这种设计可以调谐到任何波长，从而产生损耗低波导。但这种设计并未提及金属表面，因为它们强烈地吸收红外线。对于这样的非定向反射镜要被卷起来并拉制，其材料的许多性质必须是兼容的。

该手征波导（chiral waveguide）用前面讨论的关于光纤的相同的技术制造。特别地，该手征波导使用一中硫属玻璃，例如 As_2Se_3，和聚合物，如 PES 或聚醚酰亚胺（Polyetherimide）（PEI）。As_2Se_3 的性质可以通过改变 As-Se 的比率以及通过搀杂各种元素来调节，所述元素包括锗、碲和硫，但并不局限于这些元素。搀杂影响 As_2Se_3 的所有性质，并且因此可以用来细调其与低折射率介质材料的兼容性。As_2Se_3 的光学性质给出可以制造非定向反射镜的很宽的范围。PES 和 PEI 的分子量的变化也可以导致这些材料的性质的调节。在同一族中的其他聚合物和其他热塑性塑料也是用于这些光纤的很好的备选材料。

得到 PEI 或 PES 膜后，As_2Se_3 被沉积在一侧上。然后将得到的膜

加热并拉制。如图 5 所示，拉制后的膜仍保持凝聚性（coherency），因为在 As_2Se_3 薄膜中没有显现的裂痕。尤其是，图 5 示出一个表现了其热力的兼容性的拉制后的膜。根据 Goodfellow 公司，PES 的折射率被列为 1.6。，PEI 预计具有相似的折射率。

可以用包括热蒸发、化学气相沉积和溅射的方法沉积 As_2Se_3，但并不局限与这些方法。可以用斜镀（dipcoat）和旋镀（spincoated）的方法将 PES 和 PEI 制成独立的薄膜。大量的处理技术使得各种器件可以用这些材料制成。例如，一种蒸发/斜镀技术可用来制造非手性（non-chiral）非定向反射光纤波导。一种蒸发/旋镀技术可被用来制造一维非定向反射堆栈（stack），其然后可以被加热并塑成各种形状，并在后期制作阶段调谐到不同频率。一种二维光子晶体光纤预制棒可以被制作并拉伸。

图 6 是 PES- As_2Se_3 拉制光纤的显微照片。一个卷制方法(rolling methodology）被用来形成预制棒，其包括生产或获得薄膜聚合物如 PES 和 PEI 的步骤，以及接下来在该薄膜聚合体上沉积高折射率材料，如 As_2Se_3 或其他硫属玻璃。该膜被卷成预制棒结构。然后该预制棒被固化。该固化后的预制棒被加热并被拉制来产生光纤，如图 6 所示。上述步骤不一定都是必需的，其依赖于所选择的材料系统，但这些步骤被列出来作为制造所述光纤的一般途径。

作为上述步骤的一个例子，图 6 给出了由 PES 和 As_2Se_3 制成的一个系统。应该注意的是这只是一个示例性的实施例，其他的实施例中也可以使用不同的材料组成。得到了 25μm 厚的独立的 PES 膜，并通过热蒸发在其两侧面上涂敷 2μm 厚的 As_2Se_3 膜。该厚度可以改变并且该涂层可以涂在一个或两个侧面上。还有，可以想到的是可以使用两种以上的材料。然后该膜被紧紧地卷起来并然后用 Teflon 带的包装使其结合在一起。有多种卷制薄膜的方法，这里仅仅是该技术的一个例子。许多其他方法可被用于卷制（rolled）光子晶体光纤。

卷起来之后，该预制棒被冷凝以除去夹在相邻层之间的接合部位的空气。为此，该预制棒被放在大约 250°C 的真空炉中加热约 18

分钟。然后，在仍然热的时候该真空炉被重新加压，然后所述预制棒被取出并在冷冻器中冷却。还有其他的方法来完成这一处理，包括使用一个传统的炉子或其他制冷技术。

在固化之后，用氢氟酸蚀刻出毛细管得到卷制的多层预制棒。所述蚀刻要进行大约 1 个小时。然后该预制棒在大约 250°C 被拉伸约 5 次以形成手性光子晶体光纤。横截面样品被切取并被涂敷用于用扫描显微镜检测。

图 6 显示了该拉制光纤的横截面的显微照片。很明显该横截面通过除 360° 的倍数之外任何转动下是可再生的，所以任何在光纤内的轴向变化都会导致手性结构。

另一个产生手征波导的方法是用顺次薄膜沉积的方法。通过薄膜处理技术一对热力学兼容的材料都可以被沉积。这里一个掩膜（mask）被用来露出圆柱基体的一小部分。第一种材料沉积后，无须旋转该掩膜，第二种材料可被沉积。然后基质被转动，该过程被重复。最终的结构与卷制的预制棒一样。

一个简单卷成的或拉制的在轴向没有变化的波导有一些优点。当该结构不是手性的时，这一方法提供了一种制造低损耗光纤的简单而节省成本的技术。如果相对于光波长所述光纤芯的尺寸较大，这种卷制的结构可能对光没有任何影响，超出了理想的圆柱形光子晶体光纤。对于小芯的光纤，由于光纤横截面缺乏无限旋转对称（infinite rotation symmetry），可能有异常效果。由于缺少了这种对称性，角动量不再守恒，结果在该光纤中产生奇异模结构。

虽然这里用几个优选实施例展示并描述了本发明，但在在不背离本发明精神实质范围的情况下，可对其做各种改变和增减。

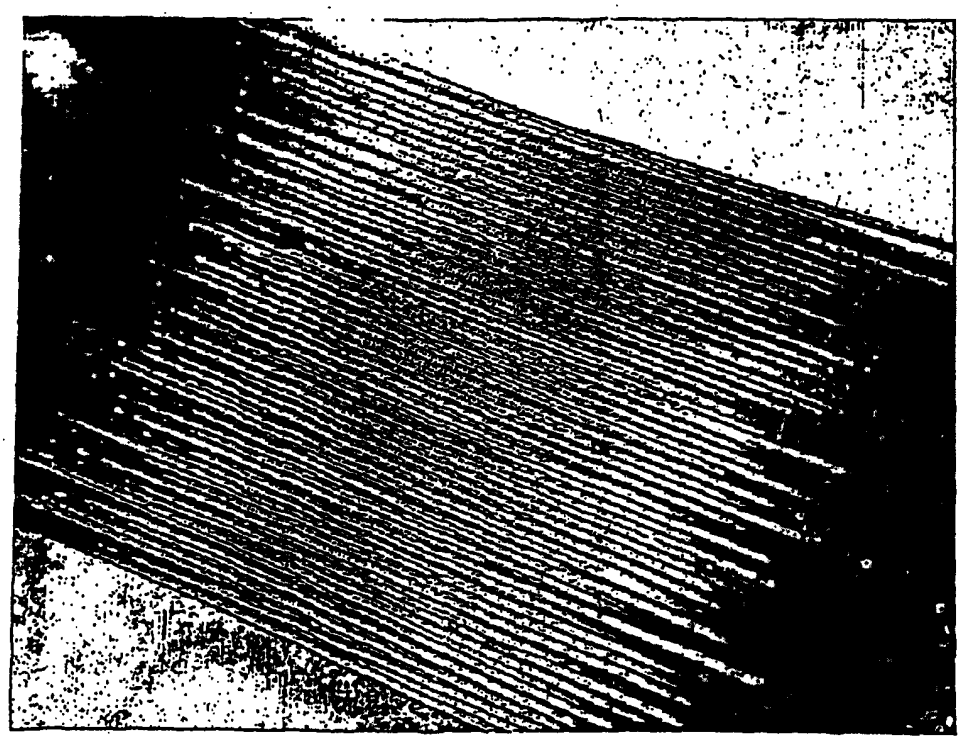


图1

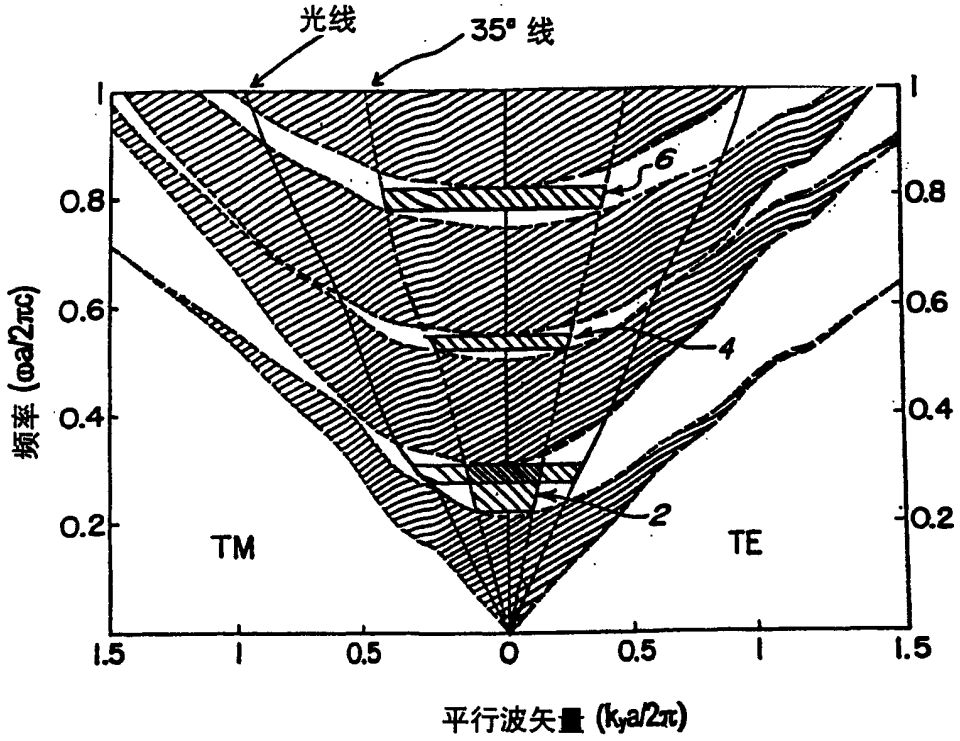


图2

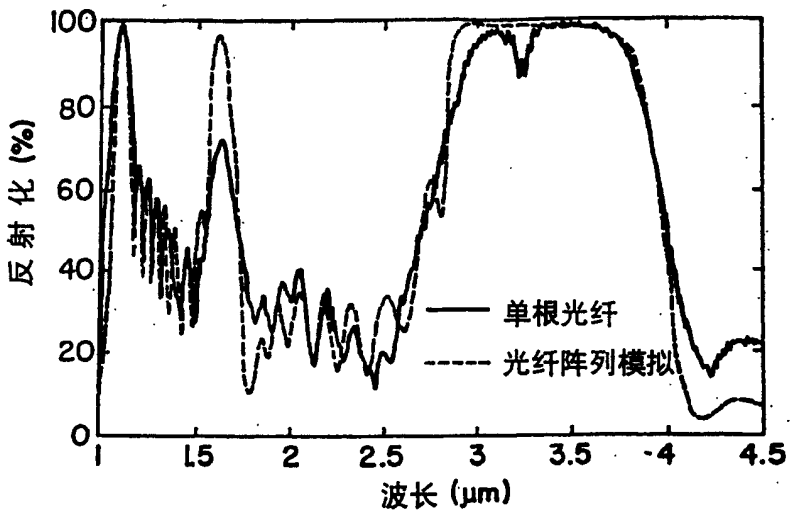

100
80
60
40
20
0
反射化(%)
1
1.5
2
2.5
3
3.5
-4
4.5
波长(μm)
单根光纤
光纤阵列模拟

图3A

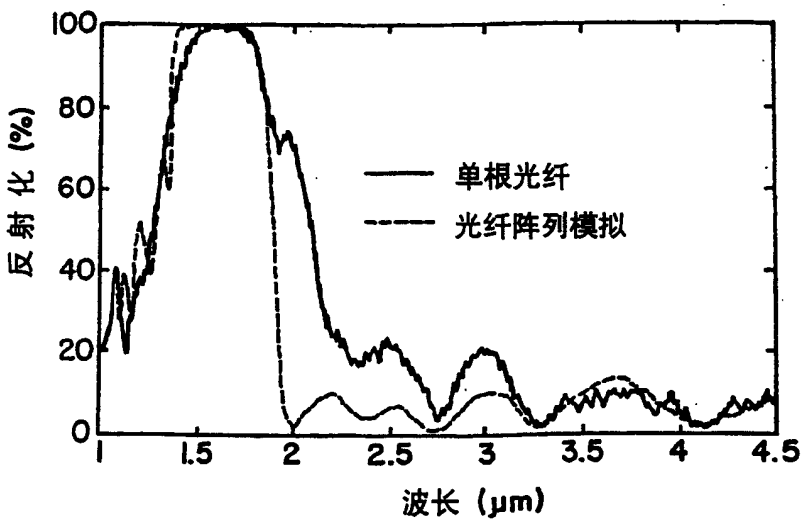

100
80
60
40
20
0
反射化(%)
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
波长(μm)
单根光纤
光纤阵列模拟

图3B

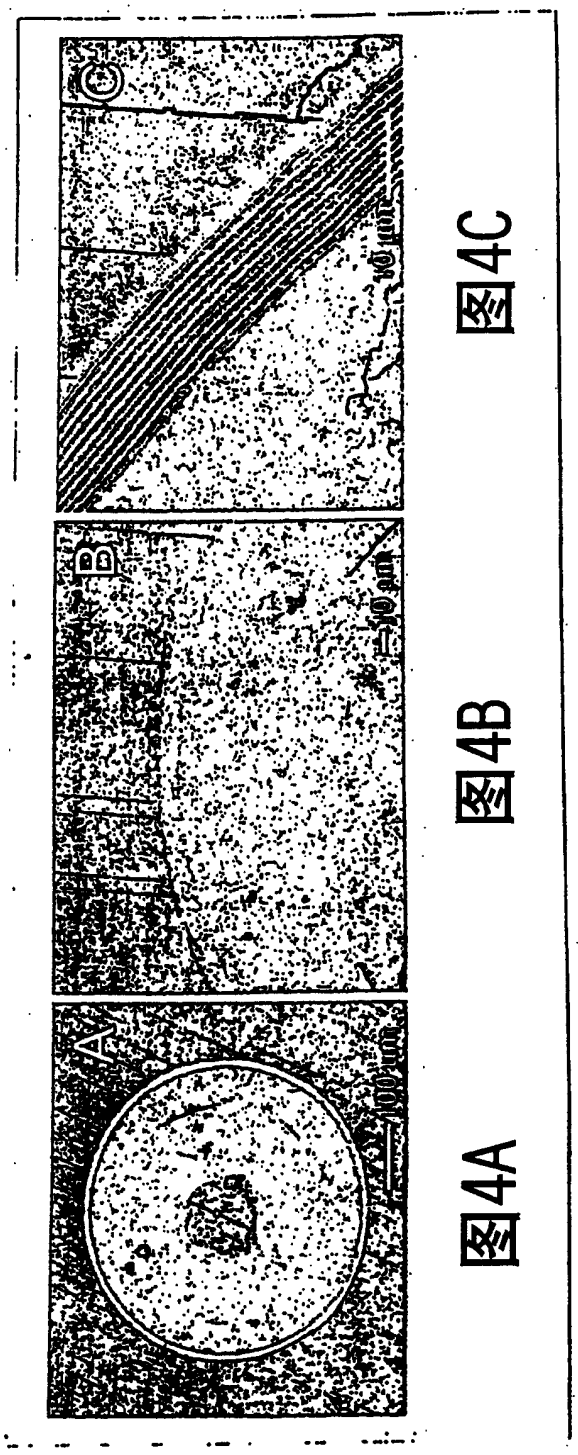


图4A 图4B 图4C

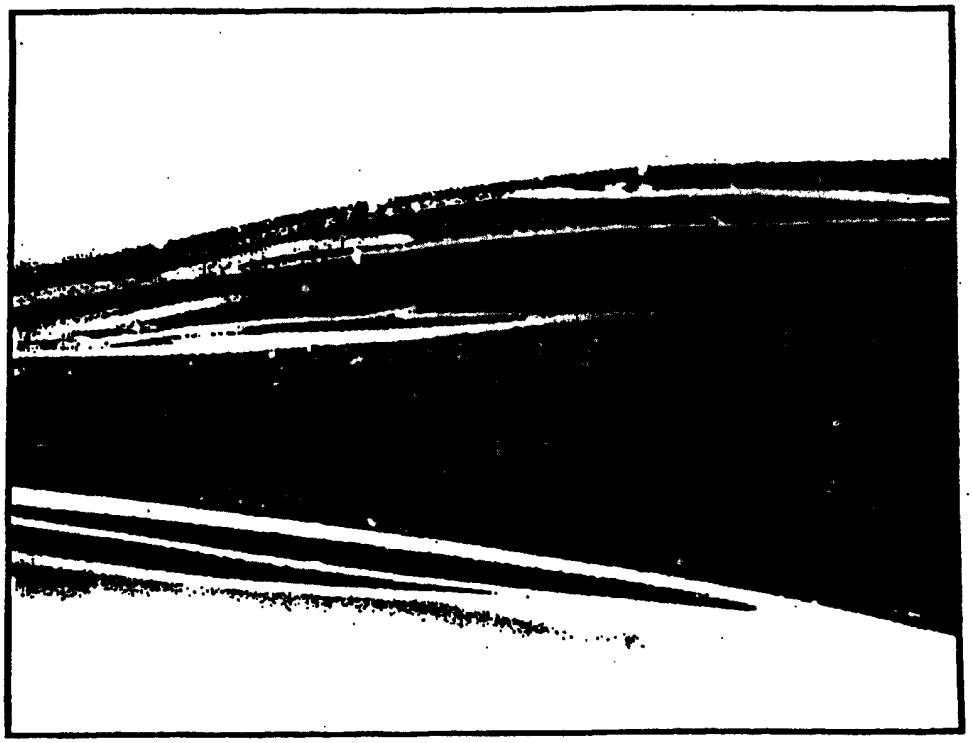


图5

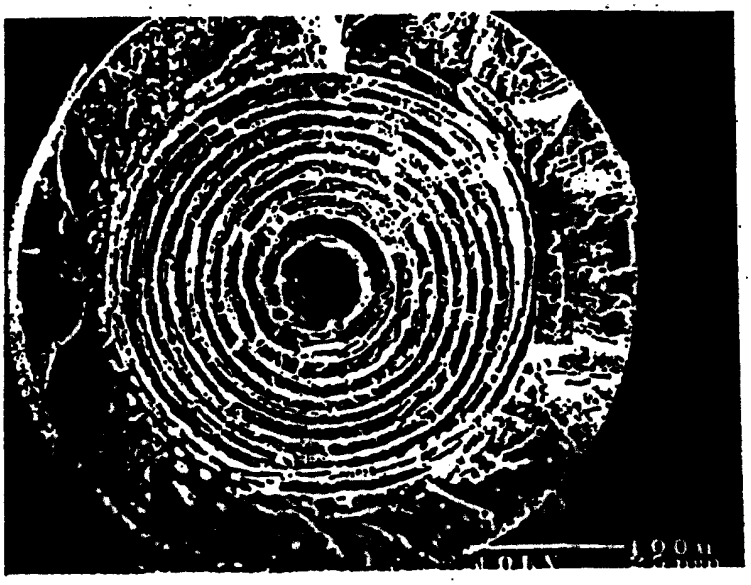


图6