



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106461460 B

(45)授权公告日 2018.11.27

(21)申请号 201580010174.9

(22)申请日 2015.01.29

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106461460 A

(43)申请公布日 2017.02.22

(30)优先权数据

61/934,547 2014.01.31 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.08.24

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/013415 2015.01.29

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2015/116756 EN 2015.08.06

(73)专利权人 唯亚威通讯技术有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 柯蒂斯·R·胡斯卡

本杰明·F·卡钦斯

保拉·史密斯

(74)专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262

代理人 张瑞 郑霞

(51)Int.Cl.

G01J 3/26(2006.01)

G01J 3/28(2006.01)

G01J 3/02(2006.01)

G02B 5/28(2006.01)

(56)对比文件

JP 特开2011-253078 A, 2011.12.15, 说明书第10, 11, 16段、附图1-2.

审查员 安晶

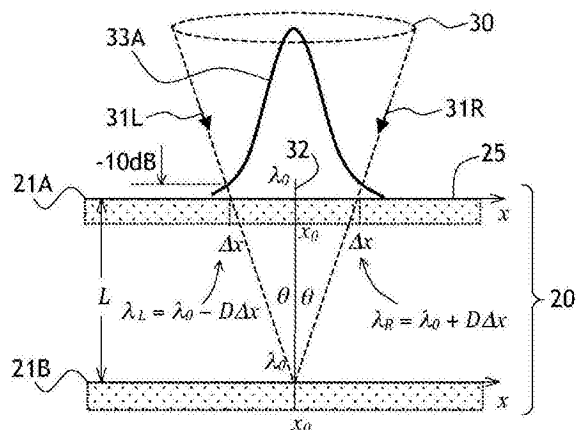
权利要求书4页 说明书11页 附图22页

(54)发明名称

光学滤波器和分光计

(57)摘要

公开了一种光学滤波器,该光学滤波器包括以彼此相距固定距离地堆叠的两个横向可变带通滤波器,使得上游滤波器起到用于下游滤波器的空间滤波器的作用。这发生是因为由上游滤波器透射的倾斜的光束在碰撞在下游滤波器上时被横向地位移。当在倾斜的光束碰撞到上游滤波器和下游滤波器上的位置处的透射通带不重叠时,横向的位移引起倾斜的光束的抑制。



1. 一种光学滤波器,包括:

上游横向可变带通光学滤波器;

下游横向可变带通光学滤波器;以及

在所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器之间的具有折射率 n 的透明介质;

其中,所述下游横向可变带通光学滤波器被顺序地布置在所述上游横向可变带通光学滤波器的下游,并且沿着光束的光路被分离距离 L ,

其中,所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器各自具有带通中心波长,所述带通中心波长沿着横向于所述光路的第一方向以互相配合的方式逐渐变化,从而提供具有相同依赖性的各个带通中心波长,以及

其中,所述光学滤波器的光谱选择性对所述光束的准直度的依赖性低于所述下游横向可变带通光学滤波器的光谱选择性对所述光束的准直度的相应的依赖性,并且

其中所述折射率 n 沿着所述第一方向变化。

2. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器的所述带通中心波长在所述第一方向上单调增加。

3. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器的所述带通中心波长在所述第一方向上非线性增加。

4. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器的所述带通中心波长在沿着所述第一方向的 x 坐标上具有所述带通中心波长的大体上相同的依赖性。

5. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中沿着所述第一方向的对应于所述上游横向可变带通光学滤波器的带宽的横向距离 Δx_1 大于沿着所述第一方向的对应于所述下游横向可变带通光学滤波器的带宽的横向距离 Δx_2 。

6. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中 L/n 大于0.2mm且小于15mm。

7. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中 $L/n = \Delta x_1/\theta$,其中, Δx_1 是沿着所述第一方向的对应于所述上游横向可变带通光学滤波器的带宽的横向距离,并且 θ 是所述光学滤波器的接收角。

8. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中

所述透明介质包括透明基片,并且

其中所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器布置在所述透明基片的相对侧上。

9. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器的所述带通中心波长彼此对齐,使得连接对应于所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器的相同带通中心波长的位置的线与所述下游横向可变带通光学滤波器的法线形成小于45度的角。

10. 根据权利要求9所述的光学滤波器,其中所述角沿着所述第一方向变化。

11. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器相对于彼此成一角度布置,使得所述距离 L 沿着所述第一方向变化。

12. 根据权利要求1所述的光学滤波器,还包括:

孔洞,所述孔洞布置在所述光路中,所述孔洞具有在所述第一方向上变化的宽度。

13. 根据权利要求1所述的光学滤波器,还包括:

光谱响应平坦化滤波器,所述光谱响应平坦化滤波器布置在所述光路中,用于使所述光学滤波器的光谱响应平坦化。

14. 根据权利要求13所述的光学滤波器,其中所述光谱响应平坦化滤波器布置在所述上游横向可变带通光学滤波器或所述下游横向可变带通光学滤波器上或所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器之间。

15. 根据权利要求1所述的光学滤波器,还包括:

在所述光路中的附加的横向可变带通光学滤波器,

所述附加的横向可变带通光学滤波器具有以与所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器的所述带通中心波长配合的方式变化的带通中心波长。

16. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器各自包括带通中心波长和不大于相应的带通中心波长的10%的3dB通带。

17. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中所述上游横向可变带通光学滤波器或所述下游横向可变带通光学滤波器中的至少一个包括薄膜层,所述薄膜层包括三种或更多种不同的材料。

18. 根据权利要求1所述的光学滤波器,其中所述上游横向可变带通光学滤波器或所述下游横向可变带通光学滤波器中的至少一个包括:

薄膜层堆叠、

亚波长光栅、或

二色性聚合物。

19. 一种光学分光计,包括:

光学滤波器,其包括:

上游横向可变带通光学滤波器;

下游横向可变带通光学滤波器;以及

在所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器之间的具有折射率 n 的透明介质;

其中,所述下游横向可变带通光学滤波器顺序地布置在所述上游横向可变带通光学滤波器的下游,并且沿着光束的光路被分离开距离 L ,

其中,所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器各自具有带通中心波长,所述带通中心波长沿着横向于所述光路的第一方向以互相配合的方式逐渐变化,从而提供具有相同依赖性的各个带通中心波长,以及

其中,所述光学滤波器的光谱选择性对所述光束的准直度的依赖性低于所述下游横向可变带通光学滤波器的光谱选择性对所述光束的准直度的相应的依赖性,并且

其中所述折射率 n 沿着所述第一方向变化;以及

光学传感器,其在所述下游横向可变带通光学滤波器下游布置在所述光路中。

20. 根据权利要求19所述的光学分光计,还包括:

用于提供所述光束的光源,其中所述光束包括会聚或发散的光线。

21.根据权利要求19所述的光学分光计,还包括:

扩散器,所述扩散器在所述上游横向可变带通光学滤波器上游布置在所述光路中,以用于增加在所述上游横向可变带通光学滤波器上的所述光束的均匀的强度分布。

22.根据权利要求19所述的光学分光计,其中所述光学传感器包括具有沿着所述第一方向布置的像素的光电检测器阵列。

23.根据权利要求22所述的光学分光计,其中

所述光电检测器阵列包括像素的二维阵列,所述像素的二维阵列布置成使得当所述光束是单色时,

光谱线在所述光电检测器阵列上形成,并且所述光谱线与所述光电检测器阵列的行形成锐角。

24.根据权利要求22所述的光学分光计,其中

所述光电检测器阵列包括像素的二维阵列,

所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器各自包括在垂直于所述第一方向的第二方向上并排布置的多个节段,并且

所述上游横向可变带通光学滤波器的每个节段对应于所述下游横向可变带通光学滤波器的一个节段,以用于在专用波长区域中进行操作。

25.根据权利要求22所述的光学分光计,还包括:

聚焦元件,所述聚焦元件在所述下游横向可变带通光学滤波器和所述光电检测器阵列之间布置在所述光路中,以用于将所述光束聚焦在所述光电检测器阵列上。

26.根据权利要求22所述的光学分光计,其中所述下游横向可变带通光学滤波器与所述光电检测器阵列接触。

27.根据权利要求19所述的光学分光计,还包括:

外壳,所述外壳包括布置在所述光路中的窗口,以用于输入所述光束,其中

所述窗口包括所述上游横向可变带通光学滤波器,并且

所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器通过间隙分离。

28.一种用于过滤光束的方法,包括:

用光学滤波器过滤所述光束,所述光学滤波器包括上游横向可变带通光学滤波器、下游横向可变带通光学滤波器以及在所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器之间的具有折射率 n 的透明介质,

其中所述下游横向可变带通光学滤波器顺序地布置在所述上游横向可变带通光学滤波器的下游,并且沿着光束的光路分离距离 L ,

其中所述上游横向可变带通光学滤波器和所述下游横向可变带通光学滤波器各自具有带通中心波长,所述带通中心波长沿着横向于所述光路的第一方向以互相配合的方式逐渐变化,从而提供具有相同依赖性的各个带通中心波长,并且

其中所述光学滤波器的光谱选择性对所述光束的准直度的依赖性低于所述下游横向可变带通光学滤波器的光谱选择性对所述光束的准直度的相应的依赖性,并且其中,所述折射率 n 沿着所述第一方向变化;以及在所述下游横向可变带通光学滤波器下游沿着所述

第一方向检测光功率分布。

29. 根据权利要求28所述的方法,其中使用光电检测器阵列检测所述光功率分布。

30. 根据权利要求29所述的方法,还包括:

将所述下游横向可变带通光学滤波器沉积在所述光电检测器阵列上。

31. 根据权利要求30所述的方法,还包括:

用灌封材料灌封所述光电检测器阵列,以隔离所述光电检测器阵列,同时不遮蔽所述下游横向可变带通光学滤波器的通光孔洞。

光学滤波器和分光计

技术领域

[0001] 本公开涉及光学部件,并且特别涉及光学滤波器和分光计。

[0002] 背景

[0003] 光学滤波器用于选择射入光的光谱带或光谱分量。例如,高通滤波器选择波长长于该滤波器的边缘波长(edge wavelength)的光。相反,低通滤波器选择波长短于临界波长的光。带通滤波器是不同类型的滤波器,其选择波长接近滤波器的在该滤波器的带宽范围内的中心波长的光。可调谐的带通滤波器是光学滤波器,该可调谐的带通滤波器的中心波长可被调整或调谐。

[0004] 分光计测量射入光的光谱。扫描型分光计可使用一个或多个可调谐的带通滤波器来选择射入光的不同光谱分量。扫描型分光计通过扫描可调谐的带通滤波器的中心波长运行,以便获取光谱。可替换地,多色型分光计使用光学地耦合到检测器阵列的波长分散元件,以便并行检测光谱。然而,传统的光学滤波器和分光计通常是大且笨重的,使得在便携式设备 and 应用中使用它们成为挑战。

[0005] 鉴于前述内容,可理解,可能存在与光学滤波器和分光计的当前解决方案和技术相关联的重要问题和缺点。

[0006] 概述

[0007] 根据本公开,两个或多个横向可变带通滤波器(two or more laterally variable bandpass filter)可以彼此相距固定距离被堆叠,以降低对碰撞光束准直的要求,或甚至完全缓解锥形光管或其他光准直元件的需要。当两个横向可变带通滤波器堆叠在一起时,上游滤波器可起到用于下游滤波器的空间滤波器的作用。这发生是因为由上游滤波器传输的倾斜光束在碰撞在下游滤波器上时被横向地位移。横向的位移可导致倾斜光束的抑制,因为上游滤波器和下游滤波器的透射波长在上游滤波器和下游滤波器上的光束碰撞位置不重叠时可能不重叠,导致倾斜光束的抑制。由于该影响,光学滤波器的光谱选择性对照到上游滤波器的射入光束的准直度的依赖性(dependence)可能降低。

[0008] 根据本公开的方面,提供了光学滤波器,其包括上游横向可变带通光学滤波器和下游横向可变带通光学滤波器。下游横向可变带通光学滤波器被顺序地布置在上游可变带通光学滤波器的下游,并且沿着光束的光路被分离开距离L。上游横向可变带通光学滤波器和下游横向可变带通光学滤波器各具有带通中心波长,该带通中心波长沿着横向于光路的共同的第一方向以互相配合的方式逐渐变化。光学滤波器的光谱选择性对光束的准直度的依赖性低于下游横向可变带通光学滤波器的光谱选择性对光束的准直度的相应的依赖性。

[0009] 在一个示例性实施例中,上游滤波器和下游滤波器的中心波长在第一方向上单调增加,例如线性或非线性增加。上游滤波器和下游滤波器的中心波长可以但不必在沿着第一方向的x坐标上具有带通中心波长的大体上相同的依赖关系。

[0010] 根据本公开,还提供了光学分光计,该光学分光计包括以上的光学滤波器和在下游横向可变带通光学滤波器下游布置在光路中的光学传感器。光学传感器可包括光电检测器阵列。为了更好的光谱选择性,下游横向可变带通光学滤波器可与光电检测器阵列接触。

[0011] 根据本公开的另一方面,还提供了用于获取沿着光路传播的光束的光谱的方法,该方法包括:用光学滤波器过滤光束,该光学滤波器包括上游横向可变带通光学滤波器和下游横向可变带通光学滤波器,其中该下游横向可变带通光学滤波器被顺序地布置在上游可变带通光学滤波器的下游,并且沿着光束的光路分离距离L,其中上游横向可变带通光学滤波器和下游横向可变带通光学滤波器各具有带通中心波长,该带通中心波长沿着横向于光路的共同的第一方向以互相配合的方式逐渐变化,并且其中光学滤波器的光谱选择性对光束的准直度的依赖性低于下游横向可变带通光学滤波器的光谱选择性对光束准直度的相应依赖性;以及在下游滤波器的下游沿着第一方向检测光功率分布。

[0012] 附图简述

[0013] 现在将连同附图一起描述示例性实施例,在附图中:

[0014] 图1A图示了传统的线性可变滤波器;

[0015] 图1B图示了基于图1A的线性可变滤波器的传统的光学分光计;

[0016] 图2A图示了根据本公开的光学滤波器,包括一对横向可变带通滤波器;

[0017] 图2B图示了图2A的横向可变带通滤波器的中心波长依赖性;

[0018] 图2C是图2A的光学滤波器的侧部示意图,图示了通过光学滤波器进行空间滤波的原理;

[0019] 图3以显示光学滤波器的接收角的侧部横截面视图图示了图2A的光学滤波器;

[0020] 图4A到图4E图示了图2A和图3的光学滤波器的各种实施例的示意侧视图;

[0021] 图5A到图5C图示了本公开的光学滤波器的各种实施例的三维视图;

[0022] 图6A图示了分光计的示意横截面侧视图,该分光计包括光电检测器阵列以及图2A、图3、图4A到图4E或图5A到图5C的光学滤波器;

[0023] 图6B图示了密封的分光计的示意横截面侧视图,该密封的分光计包括图2A、图3、图4D或图5A到图5C的光学滤波器;

[0024] 图7A到图7D图示了图6A的分光计的各种实施例的部分横截面侧视图,示出了下游滤波器在光电检测器阵列上的安装构型;

[0025] 图8A图示了具有偏斜的二维(2D)检测器阵列的分光计实施例的平面视图;

[0026] 图8B图示了在图8A的2D检测器阵列的不同行像素上的光功率密度分布;

[0027] 图8C图示了本公开的多光谱分光计实施例的分解视图;

[0028] 图9A和图9B分别图示了图2A、图3和图4B的光学滤波器的光线跟踪模型的三维视图和侧视图;

[0029] 图10图示了在不同的数值孔径和在上游滤波器与下游滤波器之间不同的距离下的图9A、图9B的光线跟踪模型的模拟光功率分布的叠加的视图;

[0030] 图11A、图11B和图11C分别图示了在1.0 μm 、1.3 μm 和1.6 μm 波长下的模拟检测光谱;

[0031] 图12图示了模拟的双线光谱,显示了图2A、图3A-图3B和图4B的模拟光学滤波器的分辨能力;

[0032] 图13图示了具有图2A的光学滤波器的模拟分光计的多波长光谱,其通过与具有锥形光管准直器和线性可变滤波器的模拟分光计的多波长光谱进行比较而示出;

[0033] 图14图示了多波长光源的模拟光谱,其通过具有处于不同值的滤波器间距离L的图2A的光学滤波器的分光计获取;

[0034] 图15A和图15B图示了图6A的分光计的平面视图(图15B)；

[0035] 图16图示了用图15A和图15B的分光计测量的单色光谱；以及

[0036] 图17图示了用图15A、图15B的分光计测量的掺杂玻璃样本的光学透射光谱并且与用标准MicroNIR™分光计测量的掺杂玻璃样本的透射光谱相比较。

[0037] 详细描述

[0038] 虽然连同各种实施例和示例描述本教导，但是不旨在将本教导限于这样的实施例。相反，本领域中的这些技术人员应认识到的是，本教导包含各种替换物和等价物。

[0039] 如以上所讨论的，传统的光学滤波器和分光计是大且笨重的，这限制了它们在便携式光传感设备中的应用中的适用性。线性可变滤波器已经被用在分光计中来提供波长分离功能。参考图1A，传统的线性可变滤波器10可以用白光照射，该白光包括顶部白光束11、中部白光束12以及底部白光束13。顶部光束11、中部光束12以及底部光束13可在分别的顶部位置11A、中部位置12A以及底部位置13A处照到线性可变滤波器10上。线性可变滤波器10可具有通带的沿着x轴线18线性变化的中心波长。例如，滤波器10可在顶部位置11A处通过短波长峰值11B；可在中部位置12A处通过中波长峰值12B；可在底部位置13A处通过长波长峰值13B。

[0040] 参考图1B并进一步参考图1A，传统的分光计19可包括线性可变滤波器10、布置在线性可变滤波器10的上游的锥形光管14、以及布置在线性可变滤波器10的下游的光电检测器的线性阵列15。在操作中，非准直的射入光16可由光管14调整，以产生部分准直的光束17。线性可变滤波器10可如以上参考图1A所解释的传输不同波长的光。锥形光管14可降低射入光16的立体角，从而改进线性可变滤波器10的光谱选择性。光电检测器的线性阵列15可检测不同波长的光的光功率水平(optical power level)，从而获取射入光16的光谱(未显示)。

[0041] 因此，可能需要减小分光计19的尺寸。锥形光管14常常可能是分光计19的最大元件。可能需要准直元件，如锥形光管14，因为没有它，线性可变滤波器的光谱选择性降低。这可能发生是因为线性可变滤波器10包括薄的介电膜的堆叠(stack of thin dielectric film)。薄膜滤波器的波长选择特性通常可以取决于射入光的入射角，其可能使薄膜滤波器的光谱选择性和波长准确度下降。

[0042] 参考图2A和图2B，可如提供如下所描述的光学滤波器20(图2A)。例如，光学滤波器20可包括在光束23的光路22中被分离开距离L的顺序布置的上游横向可变带通光学滤波器21A和下游横向可变带通光学滤波器21B。如图2B中所示，上游滤波器21A和下游滤波器21B各自可具有沿着由x轴线表示的共同的第一方向25以互相配合的方式改变的带通中心波长 λ_T 。第一方向25可横向于光路22。如图2B中所示，通过非限制性示例的方式，图2A的上游滤波器21A和下游滤波器21B两者的带通中心波长 λ_T 可具有各自单调的、线性依从关系24A、24B。上游滤波器21A和下游滤波器21B各自在x坐标上的中心波长依从关系 $\lambda_{1T}(x)$ 和 $\lambda_{2T}(x)$ 可以是相同的，或相对于彼此移动，例如 $\lambda_{2T}(x) = \lambda_{1T}(x + x_0)$ ，其中 x_0 是常数；或可以是成比例的，例如 $\lambda_{2T}(x) = c\lambda_{1T}(x)$ ，其中c是常数，例如 $0.9 < c < 1.1$ 。换句话说，术语“配合的方式”分别定义了上游滤波器21A和下游滤波器21B的中心波长依从关系 $\lambda_{1T}(x)$ 和 $\lambda_{2T}(x)$ 之间的预定的函数关系。

[0043] 光学滤波器20的配置可使光学滤波器20的光谱选择性对光束23的准直度的依赖

性相比于下游滤波器21B的光谱选择性对光束23的准直度的相应的依赖性能减少。光学滤波器20的这种性能改进可能由于空间滤波效应,该空间滤波效应可通过参考图2C理解。在波长 λ_0 的单色光中,上游滤波器21A和下游滤波器21B可由对应于沿着x轴线的位置的具有“开口”26的狭缝大致表示,其中中心波长 $\lambda_T = \lambda_0$ 。换句话说,在“开口”26的外部,上游滤波器21A和下游滤波器21B对于波长为 λ_0 的单色光可以基本上是不透明的。“开口”26界定了接收锥或立体角27 (2 θ),该接收锥或立体角27 (2 θ) 取决于滤波器间的距离L。在立体角27外的任何光线可被阻挡,从而改进下游滤波器21B的光谱选择性。

[0044] 可通过参考以侧部横截面视图示出光学滤波器20的图3进一步解释图2A的光学滤波器20的操作。在图3中,对于上游光学滤波器21A和下游光学滤波器21B两者,第一方向25可以是水平的,并且中心波长 λ_T 可从左到右增加。在图3的示例中,上游滤波器21A和下游滤波器21B的带通中心波长 λ_T 可能线性依赖于x坐标:

$$[0045] \quad \lambda_T = \lambda_0 + D \Delta x \quad (1)$$

[0046] 其中, λ_0 表示在参考点 x_0 处的参考带通中心波长,D表示比例系数,被称为横向可变滤波器的“斜率(slope)”,以及 Δx 表示从参考点 x_0 的偏移。斜率D可对应于图2B中的线性依从关系24A和24B的斜率,该图2B中的线性依从关系24A和24B可以但不必彼此相同。与线性依从关系24A和24B的相同斜率有偏差可能在一些应用中是有利的。

[0047] 在图3的示例中,上游滤波器21A和下游滤波器21B可彼此对齐,使得对应于下游滤波器21B的参考带通中心波长 λ_0 的参考点 x_0 被直接布置在对应于上游滤波器21A的参考带通中心波长 λ_0 的参考点 x_0 的下方。上游滤波器21A可起到用于下游滤波器21B的空间滤波器的作用,为下游滤波器21B界定接收角30。接收角30可由参考波长为 λ_0 的左边界光线31L和右边界光线31R限定,每个边界光线与上游滤波器21A和下游滤波器21B的法线32成角度 θ 传播并在同一参考点 x_0 处照到下游滤波器21B上。如下,接收角30可从上游滤波器21A的通带33A得出。

[0048] 在图3中图示的几何图形中,左边界光线31L可在位置 $x_0 - \Delta x$ 处照到上游滤波器21A上。根据方程(1),在该位置处的透射波长 λ_L 可以是 $\lambda_L = \lambda_0 - D \Delta x$ 。因为左边界光线31L的参考波长为 λ_0 ,所以左边界光线31L可以取决于上游滤波器21A的通带33A的宽度而衰减;对于该示例,例如10dB带宽当作 $2D \Delta x$ 。因此,左边界光线31L可衰减10dB。类似地,右边界光线31R可在位置 $x_0 + \Delta x$ 处照到上游滤波器21A上。根据方程(1),在该位置处的透射波长 λ_R 可以是 $\lambda_R = \lambda_0 + D \Delta x$ 。右边界光线31R也可衰减10dB。在接收角30内的参考波长为 λ_0 的所有光线可衰减比10dB小的值;并且在接收角30外的参考波长为 λ_0 的所有光线可衰减比10dB大的值。换句话说,上游滤波器21A可起到空间滤波器的作用,以有效地限制待由下游滤波器21B分离成单个波长的射入光的数值孔径(NA)。与单个下游滤波器21B的光谱选择性对光束23的准直度的相应依赖性相比,这可能导致光学滤波器20的光谱选择性对光束23的准直度的依赖性的降低。换句话说,如果上游滤波器21A不存在于光学滤波器20中,则光学滤波器20的光谱选择性将更加依赖于光束23的准直度。通常,光束23可由样本的散射或发光引起(未显示),使得光束23不准直。在不存在上游滤波器21A的情况下,光束23的准直的不足将导致整体的光谱选择性的恶化,除非使用专用准直元件,如锥形光管。在此,术语“光谱选择性”可包括如通带宽度、杂散光抑制以及带内和带外阻塞等的参数。

[0049] 对于小角 θ ,可写为

[0050] $\theta \approx \Delta_x/L$ (2), 或

[0051] $L \approx \Delta_x/\theta$ (3)

[0052] 当上游滤波器21A和下游滤波器21B之间的空间被具有折射率n的透明介质填充时, 方程(3)变为

[0053] $L/n \approx \Delta_x/\theta$ (4)

[0054] 方程(4)可定义滤波器间的距离L、滤波器间的间隙的折射率n、与上游滤波器21A的带宽相关的沿着第一方向25的横向距离 Δ_x 以及产生的接收半角 θ 之间的近似关系。更精确的关系可考虑由于非零入射角引起的波长偏移, 该波长偏移通常导致带通中心波长 λ_T 的蓝移(blue shift)(即朝向较短的波长)。例如, 在位置 $x_0 + \Delta_x$ 处照到上游滤波器21A上的参考波长为 λ_0 的右边界光线31R可以偏斜角度 θ , 该角度 θ 将上游滤波器21A的透射特性移动到较短的波长。如果该波长依赖性原因是, 则通带33A的肩部可移动到左边, 即较短的波长:

[0055] $\lambda_1 \approx [(\lambda_0 + D \Delta_x)(n_{\text{eff}}^2 - \theta^2)^{1/2}]/n_{\text{eff}}$ (5)

[0056] 其中, n_{eff} 表示上游滤波器21A的有效折射率。

[0057] 虽然在图2B中, 上游横向可变带通滤波器21A和下游横向可变带通滤波器21B具有以上如方程(1)定义的线性可变带通中心波长 λ_T , 但是上游滤波器21A和下游滤波器21B的中心波长 λ_T 可在第一方向25上单调非线性地(例如抛物线地或指数地)增加或减少。在沿着上游横向可变滤波器21A和下游横向可变滤波器21B的第一方向25的x坐标上的带通中心波长 λ_T 的依从关系可以是相同的, 或可以是不同的, 以使光学滤波器20的接收角和/或波长响应能够调整或改变。在一个实施例中, 上游滤波器21A和下游滤波器21B的带通中心波长 λ_T 可彼此对齐, 使得连接对应于上游滤波器21A和下游滤波器21B的相同带通中心波长 λ_T 的位置的线与下游滤波器21B的法线32形成小于45度的角。对于与法线32的非零角, 接收锥30可能出现偏斜。因此, 通过在第一方向25上相对于彼此偏移上游滤波器21A和下游滤波器21B, 改变接收锥30的方向可以是可能的。此外, 角可沿着第一方向(x轴线)25变化。

[0058] 为了更好的整体吞吐量, 使沿着第一方向25的对应于上游滤波器21A的带宽的横向距离 Δ_{x1} 比沿着第一方向25的对应于下游滤波器21B的带宽的相应横向距离 Δ_{x2} 大可能是优选的。在一个实施例中, 上游滤波器21A和下游滤波器21B可各自具有不大于相应带通中心波长 λ_T 的10%的3dB通带。

[0059] 上游滤波器21A和/或下游滤波器21B可包括薄膜层堆叠, 该薄膜层堆叠包括两种、三种以及更多不同的材料, 例如, 高指数层和/或吸收层可用于降低上游滤波器21A和下游滤波器21B中的每个的整体厚度。此外, 上游滤波器21A和/或下游滤波器21B可包括衍射光栅, 例如亚波长光栅(sub-wavelength grating)、二色性聚合物(dichroic polymer)等。

[0060] 参考图4A, 光学滤波器40A的上游滤波器21A和下游滤波器21B可包括薄膜楔型干扰涂层41A和41B, 该干扰涂层41A和41B沉积在背靠背联结的各自的基片42A和42B上。基片42A和42B可起到上游薄膜楔型干扰涂层41A和下游薄膜楔型干扰涂层41B之间的具有折射率n的透明介质的作用。转向图4B, 单个共同的基片42可被用在光学滤波器40B中, 上游薄膜楔型干扰涂层41A和下游薄膜楔型干扰涂层41B布置在共同基片42的相对侧上。共同基片42可如图4C中所示的为楔型, 使得光学滤波器40C的上游薄膜楔型干扰涂层(滤波器)41A和下游薄膜楔型干扰涂层(滤波器)41B以相对彼此一定的角度被布置。在这种情况下, 距离L可沿着第一方向25变化。距离L的变化可帮助管理上游滤波器41A和下游滤波器41B之间的光

谱斜率不匹配,以及上游滤波器41A和下游滤波器41B之间的光谱线宽差异。为此,折射率 n 也可在距离 L 恒定或变化的情况下沿着第一方向25变化。

[0061] 图4D图示了光学滤波器40D的另一配置,其中上游薄膜楔型干扰涂层41A和下游薄膜楔型干扰涂层41B可彼此面对,被布置为处于间隔开的关系中。图4E的光学滤波器40E图示了另一实施例,包括薄膜楔型干扰涂层41A和41B,两者面向相同的方向,例如在该情况下面向光束23。

[0062] 返回参考方程(4)并进一步参考图2A和图4A到图4C,值 L/n 通常可大于0.2mm。在一个实施例中,值 L/n 可小于15mm,例如介于0.2mm和15mm之间。应认识到,距离 L 可对应于实际薄膜涂层(例如,图4A到图4C中的41A和41B)之间的距离,并且距离 L 可包括基片42、42A和/或42B的厚度,如果这些基片在薄膜涂层41A和41B之间的光路22中的话。通过非限制性图示的方式,在图4B的光学滤波器40B中, L 可表示基片42的厚度,以及 n 可表示基片42的折射率。

[0063] 现在参考图5A,光学滤波器50A可类似于图2A的光学滤波器20,并且可类似于图4A到图4E的光学滤波器40A到40E。然而,图5A的光学滤波器50A还可包括布置在光路22中的孔洞51A。孔洞51A可具有在第一方向25上变化的宽度 d 。孔洞51A的变化宽度 d 的一个功能可以是调整碰撞在光学滤波器50A上的光能的量,这可用于补偿上游滤波器21A/下游滤波器21B的输出透射的幅度的波长依赖性,和/或光电检测器阵列(未显示)的光谱响应。

[0064] 补偿滤波器(未显示)可用于滤波器的光谱响应和/或光电检测器的光谱响应的更精确的控制。参考图5B,光学滤波器50B可类似于图2A的光学滤波器20,并且可类似于图4A到图4E的光学滤波器40A到40E。光谱响应平坦化滤波器(spectral response flattening filter)51B可被布置在光学滤波器50B的光路22中,以用于使光学滤波器50B的光谱响应平坦化。虽然光谱响应平坦化滤波器51B在图5B中显示为布置在上游滤波器21A上,但是光谱响应平坦化滤波器51B可布置在下游滤波器21B上和/或上游滤波器21A和下游滤波器21B之间的光路22中。

[0065] 现在转向图5C,光学滤波器50C可类似于图2A的光学滤波器20,并且可类似于图4A到图4E的光学滤波器40A到40E。然而,图5C的光学滤波器50C还可包括在光路22中的附加的滤波器21C。附加的滤波器21C可具有以与上游滤波器21A和下游滤波器21B的带通中心波长配合的方式变化的带通中心波长。附加的滤波器21C也可包括高通或低通横向可变的滤波器、如衍射光栅的分散元件、具有光谱和/或横向可变的吸收的涂层等。附加的滤波器21C的功能可以是进一步定义射入光的输入数值孔径,和/或进一步改进光学滤波器50C的分辨能力。超过三个横向可变的带通滤波器21A、21B、...21N可被用在光学滤波器50C中,其中 N 表示任何整数。

[0066] 参考图6A并进一步参考图2A,光学分光计60A(图6A)可包括图2A的光学滤波器20和在下游滤波器21B下游布置在光路22中的光电检测器阵列61。光电检测器阵列61可具有沿着第一方向25布置的像素(pixel)62,以用于检测例如由光源69发出的光束23的各个光谱分量的光功率水平。在广泛意义上说,术语“光源”可指荧光样本或散射样本、实际的光源,例如用于吸收测量,等等。例如来自发光样本和/或散射样本的光束23通常可包括会聚或发散的光线。在此,术语“发散”可能不需要包括光束23的光线来自同一单个点。类似地,术语“会聚”可能不需要包括光束23的光线会聚到单个点。如以上参考图2C和图3所解释的,包括上游带通横向可变光学滤波器21A和下游带通横向可变光学滤波器21B的光学滤波器

20的双滤波器结构可导致光学分光计60A的光谱选择性对光束23的准直度的依赖性减少。换句话说,如果仅使用下游滤波器21B,而没有上游滤波器21A,则光学分光计的光谱选择性可更加依赖于光束23的准直度,进而导致光谱选择性的整体恶化。

[0067] 光电检测器阵列61可与下游滤波器21B直接接触。光电检测器阵列61可被灌封材料填充,以便形成封装部63。封装部63的一个功能可以是提供光电检测器阵列61的电隔离和/或热隔离,同时不遮蔽光学滤波器20的下游滤波器21B的通光孔洞64。封装部63的另一功能可以是保护上游滤波器21A和下游滤波器21B的边缘免于碰撞、潮湿等。

[0068] 参考图6B并进一步参照图2A和图6A,光学分光计60B(图6B)可包括图2A的光学滤波器20和在下游滤波器21B下游布置在光路22中的光电检测器阵列61。光学分光计60B还可包括外壳66,该外壳66具有布置在光路22中的窗口67,以用于输入光束23。在示出的实施例中,窗口67可包括上游滤波器21A,并且上游滤波器21A和下游滤波器21B分离开间隙65,例如空气间隙。下游滤波器21B可直接安装在光电检测器阵列61上。在一个实施例中,例如小于2mm的小间隙可存在于下游滤波器21B和光电检测器阵列61之间。

[0069] 间隙65可允许光电检测器阵列61从外壳66热解耦,这转而使光电检测器阵列61能够通过可选热电冷却器68深度冷却。为了更好的可靠性和环境稳定性,外壳66可被密闭地密封和/或被惰性气体填充。为了将光束23聚焦在光电检测器阵列61上,聚焦元件(未显示)可在下游滤波器21B和光电检测器阵列61之间设置在光路22中。除了光电检测器阵列61之外,可使用传感器。通过非限制性示例的方式,光电检测器可在第一方向25上相对于光学滤波器20平移。

[0070] 下游滤波器21B的安装选项可包括将下游滤波器21B的薄膜结构直接沉积在光电检测器阵列61上。通过非限制性示例的方式,在图7A和图7B中,下游滤波器21B可沉积在光电检测器阵列61的像素侧61A。在一些实施例中,下游滤波器21B可以是楔型薄膜滤波器,包括两个阻塞滤波器部分71和在两个阻塞滤波器部分71之间的带通滤波器部分72。

[0071] 具体地,在图7B中,光吸收掩膜73可放置在各个像素62之间,以保护各个像素62免受杂散光。在图7C中,图示了可替换的安装选项:下游滤波器21B可布置在光电检测器阵列61的背侧61B。当然,该安装选项可能需要光电检测器阵列61的基片61C对于光束23是透明的。有利地,背部安装可允许驱动器电路芯片74为结合至光电检测器阵列61的像素侧61A的倒装芯片。转向图7D,下游滤波器21B可通过提供例如蚀刻多个平行的槽76被分割,其中黑色的填充材料75被倒入槽76中,该槽76的位置可与光吸收掩膜73的条77配合。

[0072] 参考图8A并进一步参考图6A和图6B,分光计80A以部分平面图示出。分光计80A可类似于图6A的分光计60A和图6B的分光计60B。然而,图8A的分光计80A可包括二维(2D)光电检测器阵列88,该二维光电检测器阵列88具有多个单独的光电检测器像素82。2D光电检测器阵列88可相对于光学滤波器20的像素82的行84旋转或时针式旋转(clock)锐角 α ,使得在单色照明时,光谱线83以相对于2D光电检测器阵列88的像素82的行84的角 α 形成在光电检测器阵列88上。参考图8B并进一步参考图8A,旋转或时针式旋转角 α 可引起2D光电检测器阵列88的像素82的不同行84上的光功率密度分布85相对于彼此偏移。以这种方式,可获取多个偏移光谱,而不是一个光谱,使光谱分辨率和波长准确度能够增加。例如,通过去卷积处理(de-convolute)和平均各个光功率密度分布85,也可改进信噪比。

[0073] 现在转向图8C,分光计80C可以是图8A的分光计80A的一个变型。图8C的分光计80C

也可包括2D光电检测器阵列88。在图8C中,2D光电检测器阵列88可如图8A中所示的偏斜或不偏斜。图8C的分光计80C还可包括类似于图2A的光学滤波器20的相应的上游滤波器21A和下游滤波器21B的上游滤波器81A和下游滤波器81B,即,具有沿着横向于光束23的光路22的第一方向25以相互配合的方式逐渐变化的带通中心波长。在图8C中,上游滤波器81A和下游滤波器81B可各自包括多个节段89A-1、89A-2、89A-3(上游滤波器81A)...以及89B-1、89B-2、89B-3(下游滤波器81B),该多个节段在垂直于第一方向25的第二方向87上并排布置。为了在专用波长区域中进行操作,上游滤波器81A的每个节段89A-1、89A-2、89A-3...对应于下游滤波器81B的节段89B-1、89B-2、89B-3中的一个。通过非限制性示例的方式,第一对节段89A-1和89B-1可被配置用于在1000nm到1200nm的波长范围内的操作,第二对节段89A-2和89B-2可被配置用于在1200nm到1400nm的波长范围内的操作,第三对节段89A-3和89B-3可被配置用于在1400nm到1600nm的波长范围内的操作等。波长范围可以不需要是连续的。例如,多个节段可被提供用于其他波长区域,如可见波长或近红外线(IR)、中IR、紫外(UV)线以及甚至软X射线。因此,分光计80C可适用于多光谱感测和/或多光谱成像应用。如本领域中的这些技术人员所了解的,这些多光谱感测/成像应用可能需要合适的基片和涂层材料。

[0074] 参考回到图2A,用于获取沿着光路22传播的光束23的光谱的方法可包括用光学滤波器20过滤光束23,该光学滤波器20具有分离开距离L的上游横向可变带通光学滤波器21A和下游横向可变带通光学滤波器21B。如图2B中所图示的,上游滤波器21A和下游滤波器21B各自可具有沿着横向于光路22的共同第一方向25以相互配合的方式(例如24A、24B)逐渐变化的带通中心波长 λ_T 。由于上游滤波器21A和下游滤波器21B的顺序的放置,光学滤波器的如带宽、带外抑制等的光谱选择性对光束23准直度的依赖性可能低于单独下游滤波器21B的光谱选择性对光束23的准直度的相应依赖性。

[0075] 在该方法的下一步骤中,光功率分布可在下游滤波器21B下游沿着第一方向25被检测。例如,参考回到图6A、图6B和图8A,光电检测器阵列61(图6A、图6B)或2D光电检测器阵列88(图8A)可布置在下游滤波器21B的下游,并且可使用光电检测器阵列61或88检测光功率分布。再次参考图6A和图7A到图7C,下游滤波器21B可直接布置(例如沉积)在光电检测器阵列61上,该光电检测器阵列61可充以灌封材料以便隔离光电检测器阵列61,同时不遮蔽下游滤波器21B的通光孔洞64。

[0076] 在一些实施例中,可执行光线跟踪模拟,以检验图2A的光学滤波器20A和本公开的类型滤波器的性能。参考图9A和图9B,光线跟踪模型90可依次包括Lambertian光源99、矩形孔洞96、上游横向可变带通滤波器91A、具有长度L的透明隔片92、下游横向可变带通滤波器91B以及光电检测器97。光线跟踪模型90的输入参数被总结在以下的表格1中。例如,光线93以足够的数量被跟踪以获取可重复的结果。每个光线93具有预定义的波长并携带预定义的光功率。光功率读数被累积在光电检测器97的沿着分散方向95对齐的存储器(bin)中,该分散方向95对应于图2A中的第一方向25。常量参数包括从Lambertian光源99到孔洞96的3mm的距离;6.6x 0.25mm的光电检测器97的尺寸;以及光电检测器97的存储器或像素的等于838的数量。变化的参数包括上游横向可变带通滤波器91A和下游横向可变带通滤波器91B的带宽(按%)和NA(按F/#)以及透明隔片92的厚度。Lambertian光源99发出0.95 μ m、1.05 μ m、1.15 μ m、1.25 μ m、1.35 μ m、1.45 μ m、1.55 μ m以及1.65 μ m的八个波长的光。

[0077] 表格1

[0078]

模型#	扩散器尺寸 (L×M mm)	扩散器上的总功率 (W)	扩散器上的功率密度 (W/mm ²)	上游滤波器 91A	下游滤波器 91B	L (mm)	距检测器的距离 (mm)
参考	3 × 2.5	100.00	13.33	TLP	TLP	20.0	0.07
1	10 × 1	133.33	13.33	1.4% LVF F/#3	.7% LVF F/#3	1.7	0.07
2	10 × 1	133.33	13.33	1.4% LVF F/#3	.7% LVF F/#3	1.0	0.07

[0079]

3	10 × 1	133.33	13.33	1.4% LVF F/#5	.7% LVF F/#3	1.7	0.07
4	10 × 1	133.33	13.33	1.4% LVF F/#5	.7% LVF F/#3	1.0	0.07

[0080] 参考图10,模拟结果以累积在图9A、9B的光线跟踪模型90的光电检测器97的存储器中的光功率分布的形式表示。顶部图100对应于“参考模型”-具有用于光准直的锥形光管的商业可获得的模拟的MicroNIR™分光计。图表101到104分别对应于以上表格1的参考模型1到4。

[0081] 转向图11A、图11B和图11C,可在1.0μm、1.3μm以及1.6μm的各个波长处模拟更详细的光谱性能。应认识到,模型1到4说明了更加好的波长准确度和类似的光谱选择性。转向图12,使用1.3μm、0.12μm间隔的双光谱线证明模型1和3的分辨能力。应认识到,在图10、图11A到图11C以及图12中示出的结果中,模型1到4不具有锥形光管或其他光准直元件,但模型1到4已经显示出可接收的光谱带宽。当锥形光管从参考模型排除时,参考模型的光谱选择性变得不可接受地低。

[0082] 以下的表格2总结了获取的模型1-4的模拟性能。

[0083] 表格2

模型#	功率			分辨率		
	峰值辐照@ λ=1.0μm (W/m ²)	峰值辐照@ λ=1.3μm (W/m ²)	峰值辐照@ λ=1.6μm (W/m ²)	1.0μm 波长	1.3μm 波长	1.6μm 波长
参考	7.6	16.7	12.2	9	11	17
1	2.8	9.9	15.9	8	12	15
2	4.3	14.5	21.3	9	13	15
3	5.1	11	15.9	5	9	12
4	8.6	17.5	25.5	7	12	13

[0085] 图6A的光学滤波器60A的性能可通过模拟检验。包含孔洞罩(aperture boot)、锥形光管、InGaAs二极管阵列的标准MicroNIR™分光计的性能也被模拟以提供参考。转向图13,标准MicroNIR™分光计性能可由以介于0.9μm和1.7μm之间的分隔开0.1μm的多波长信号的虚线光谱131表示。实线光谱132图示了分光计60A的模拟性能,该分光计60A没有任何准直或光整形光学器件。在光谱峰值之间的一些杂散光是由于涂层的原因,该涂层没有为了使用的波长范围进行优化。用于两个测量的照明条件是相同的。

[0086] 参考图14,通过使用处于从0.2mm到30mm范围的不同值的滤波器间的距离L的图2A的光学滤波器20进行模拟来获取多波长光谱140A-140G。应认识到,随着滤波器间的距离L增加,滤波器吞吐量降低,并且杂散光141的带外抑制提高。这可能发生是因为,随着滤波器间的距离L增加,光学滤波器(图2C、图3)的接收锥 2θ 减小。

[0087] 转向图15A,分光计150可包括具有窗口152的壳体151。光学滤波器153可包括上游横向可变滤波器(未显示),该上游横向可变滤波器与下游横向可变滤波器(未显示)物理地分隔2.08mm。上游滤波器(未显示在图15A中)可具有1300nm和900nm到1700nm范围的中心波长的1.3%的通带。在光学滤波器153的顶部处的上游滤波器可具有2mm的宽度、8mm的长度以及1.1mm的厚度。下游滤波器可具有1300nm和900nm到1700nm范围的中心波长的0.8%的通带。下游滤波器可具有1.4mm的宽度、7.4mm的长度以及1.5mm的厚度。标准128像素的检测器阵列(未显示)放置在远离下游滤波器80微米处。电子驱动器154用于驱动检测器阵列。

[0088] 在图15B中也可见到光学滤波器153和电子驱动器154,如以实线155象征性所示,该图15B是图15A的放大的视图。如图15B中所示,可使用具有5mm的长度的比例尺156。

[0089] 现在参考图16,使用图15A和图15B的分光计150获取发射光谱161和162。1064nm和1551nm波长的两个激光源的发射转而指向积分球上,以产生具有可切换的发射波长的lambertian照明源。光电检测器阵列的积分时间(integration times)被调整,因此两个光谱具有相同的峰值振幅,因为每个激光具有不同的功率输出水平。没有其他的光谱或空间滤波器用于这些测量。积分球具有25mm的接口,并且被放置在远离上游滤波器35mm处。在光谱161和162两者中,波长分辨率可被光电检测器阵列的像素结构限制。在1065nm处的起作用的3dB带宽可估计为 $1.2\% \cdot 1065\text{nm} = 12.8\text{nm}$ 。在1550nm处的起作用的3dB带宽可估计为 $0.82\% \cdot 1550\text{nm} = 12.7\text{nm}$ 。

[0090] 转向图17,使用放置在卤素灯前面的NIST可跟踪的透射基准(NIST traceable transmission reference)(在这种情况下为Avian掺杂玻璃参考WCT2065-025)获取透射光谱171和172。使用图15A和图15B的分光计150获取第一光谱171(以实线示出)。使用由美国加利福尼亚州米尔皮塔斯市的JDS Uniphase公司制造的标准MicroNIR1700分光计获取第二光谱172(以点线示出)。

[0091] 在两种情况下,暗态参考光谱通过阻断光源被收集。白态参考光谱通过将掺杂的玻璃参考从光路移除而被收集。可见,第一光谱171与第二光谱172密切相关。第一光谱171利用放置在图15A和图15B的分光计150前面的1mm宽的孔洞被获取。在没有孔洞的情况下,分辨率稍微降低,但是积分(数据收集)时间减少到三分之一(decrease by a factor of three)。

[0092] 在前述说明书中,已经参考附图描述了各种实施例。然而将明显的是,可对其做出各种修改和改变,且额外的实施方式可实现而不偏离如在接下来的权利要求中阐述的本公开的更宽范围。说明书和附图相应地被认为是说明性的而不是限制性的意义。

[0093] 在这点上应注意,如上所描述的根据本公开的光学滤波器和分光计在某种程度上可能涉及输入数据的处理和输出数据的产生。这个输入数据处理和输出数据产生可在硬件或软件中实现。例如,特定电子组件可在处理器、模块或类似的相关电路中被采用,用于实施与提供如上所描述的根据本公开的光学滤波器和/或分光计相关联的功能。可替换地,根据指令运行的一个或多个处理器可实施与如上所描述的本公开相关联的功能。如果是这种

情况,则这样的指令可存储在一个或多个处理器可读存储介质(例如磁盘或其它存储介质)上或经由体现在一个或多个载波中的一个或多个信号传输到一个或多个处理器是在本公开的范围内的。

[0094] 本公开在范围上不限于本文中所描述的具体实施例。实际上,除了本文所描述的那些实施例和修改以外,从前述描述和附图其它各种实施例和修改将对本领域中的普通技术人员是明显的。因此,这样的其它实施例和修改旨在落在本公开的范围。此外,虽然在本文中在特定实现方式的情况下在特定的环境中为了特定的目的描述了本公开,但是本领域中的普通技术人员将认识到,它的有用性不限于此,以及本公开可有益地在任何数量的环境中为了任何数量的目的而实现。因此,以下所阐述的权利要求应该按照如本文所描述的本公开的整个范围和精神来解释。

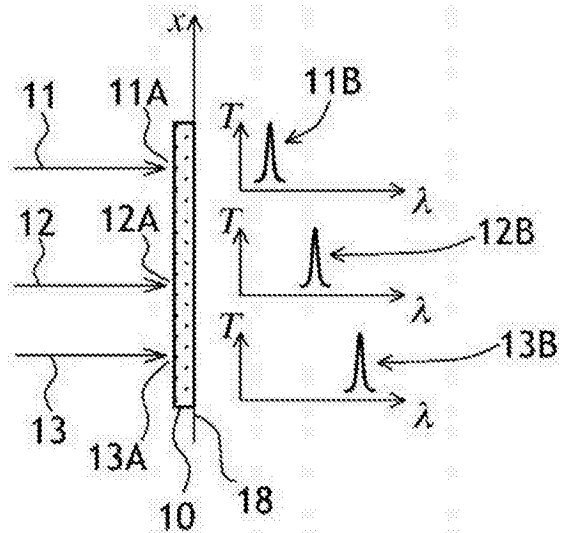


图1A现有技术

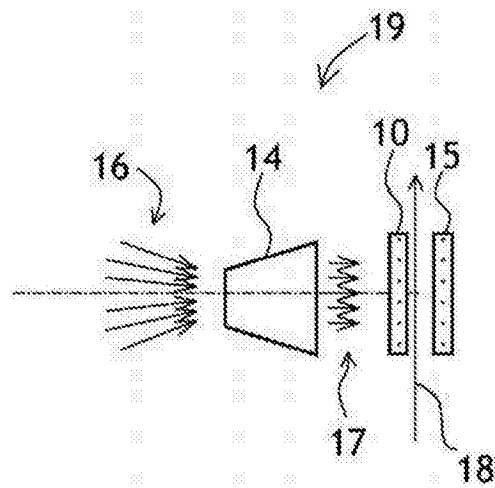


图1B现有技术

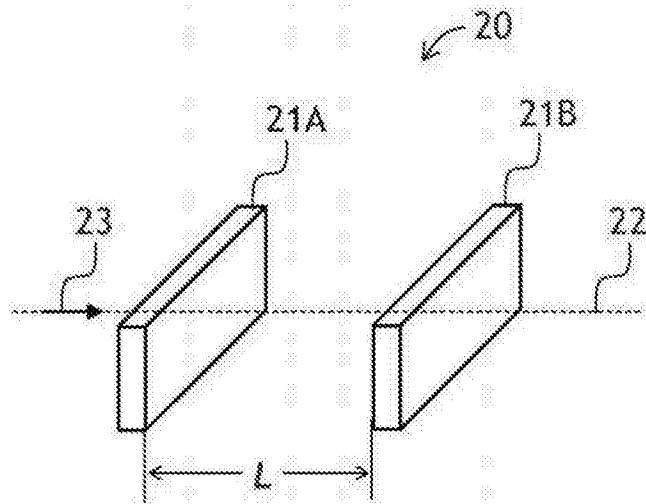


图2A

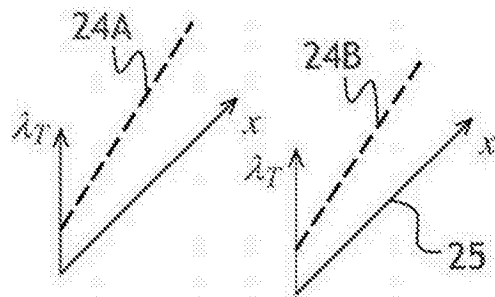


图2B

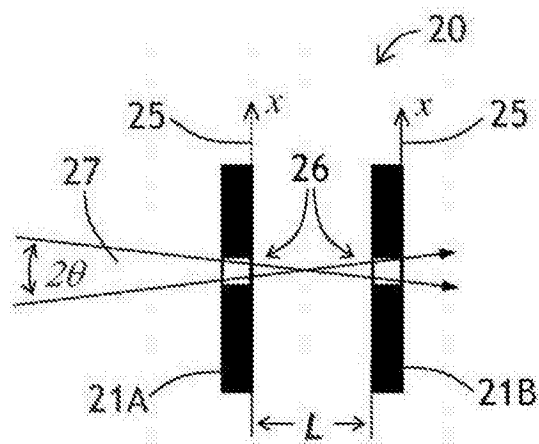


图2C

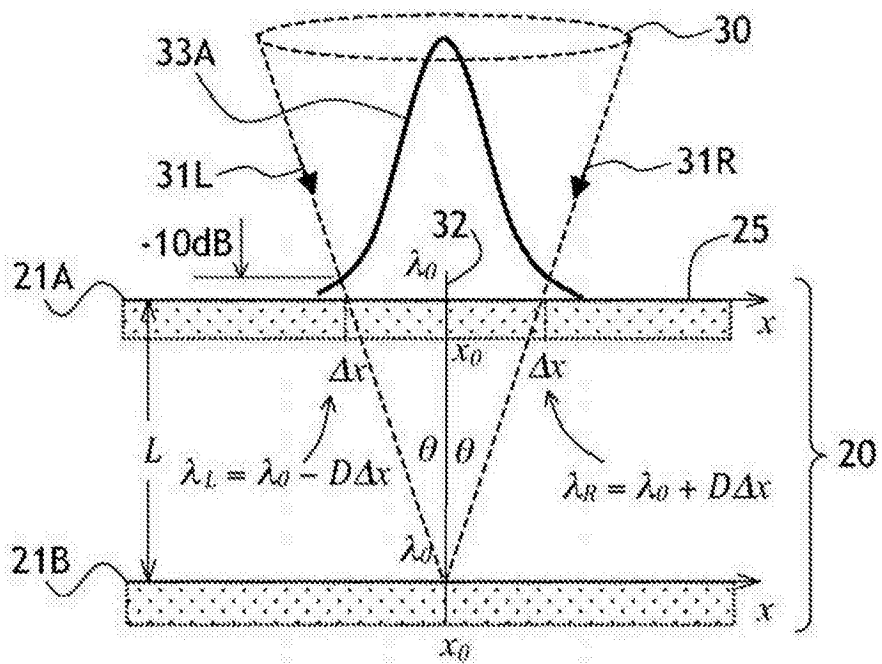


图3

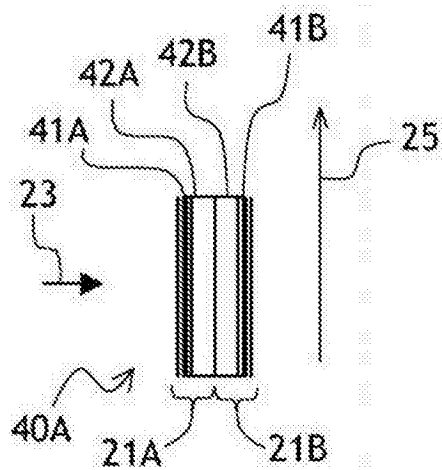


图4A

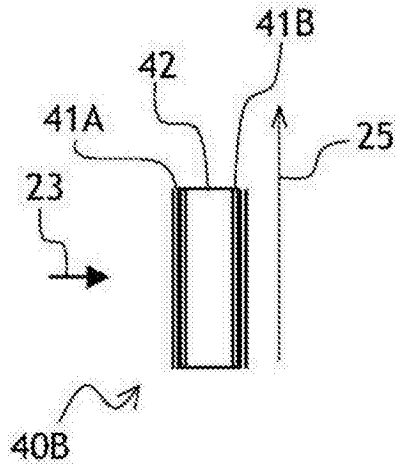


图4B

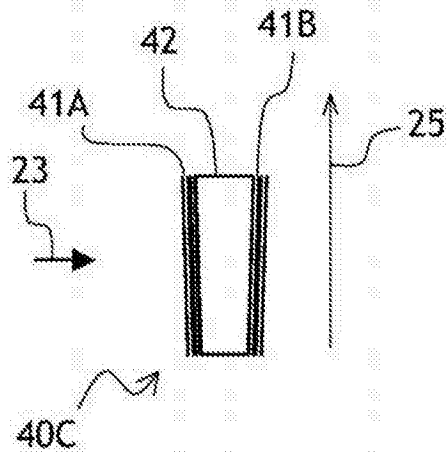


图4C

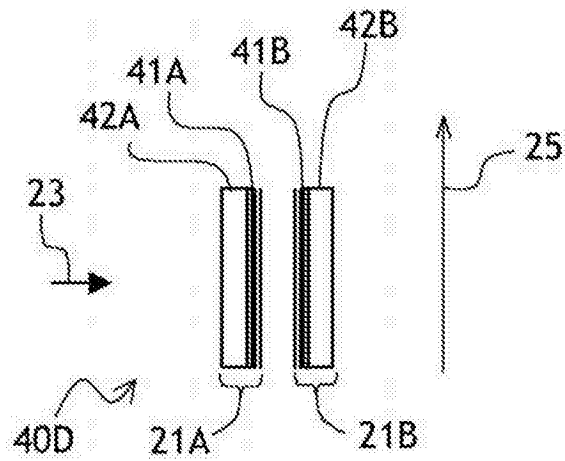


图4D

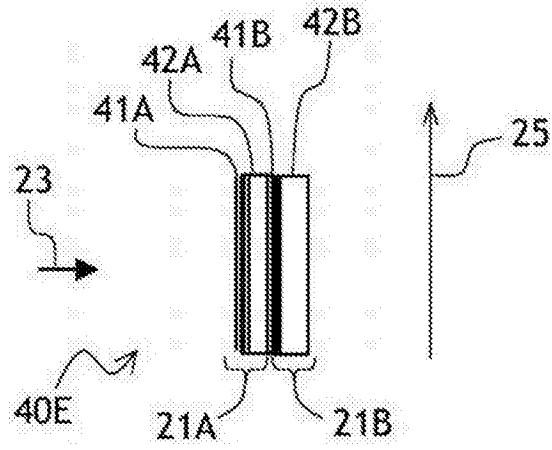


图4E

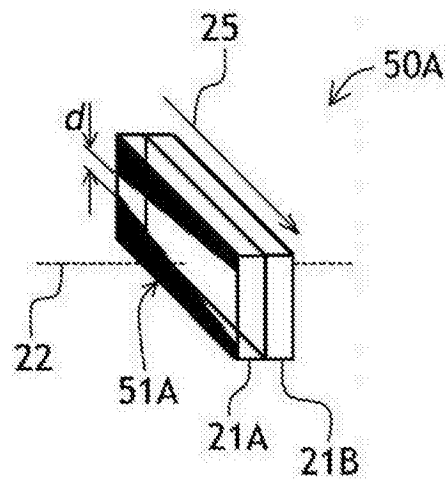


图5A

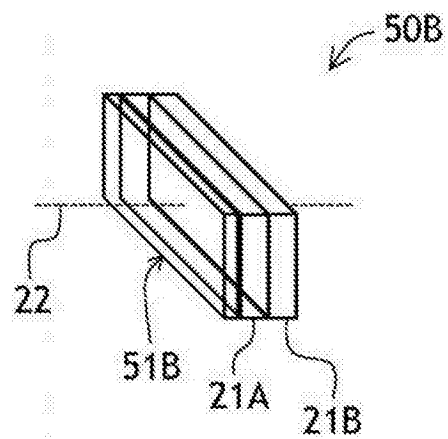


图5B

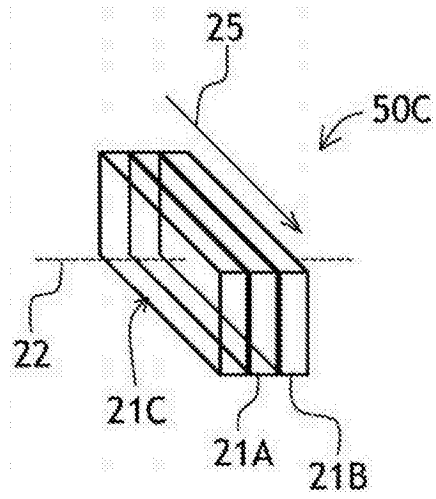


图5C

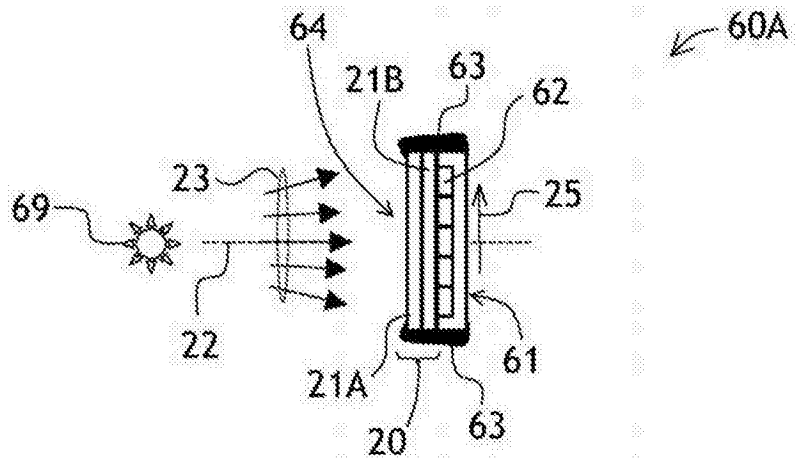


图6A

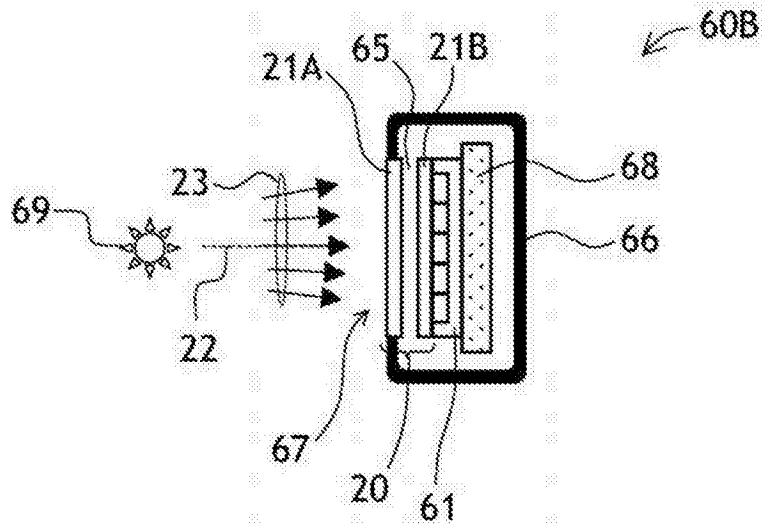


图6B

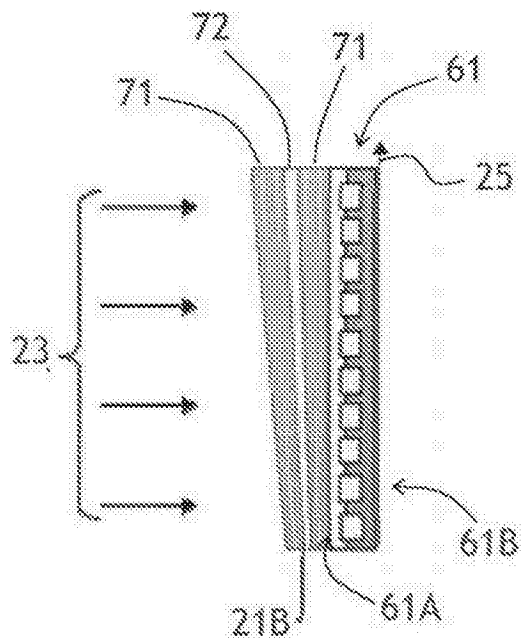


图7A

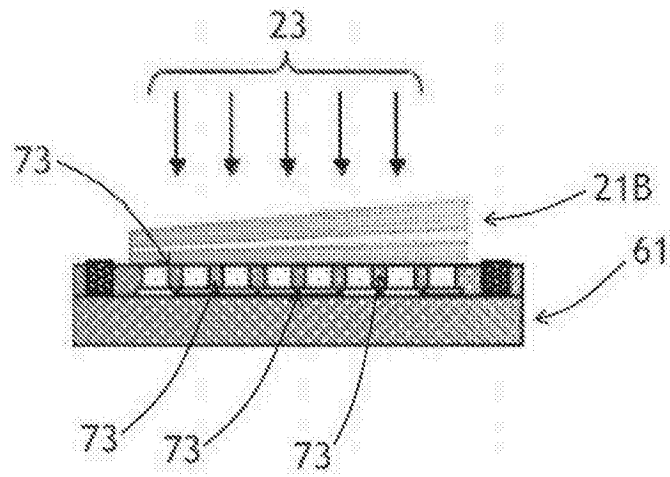


图7B

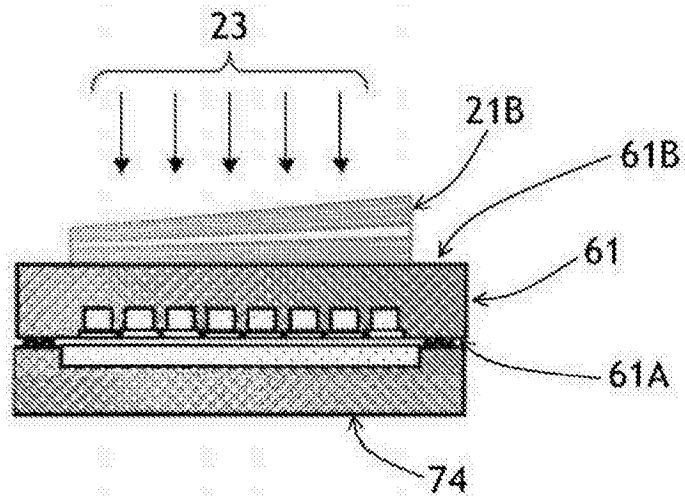


图7C

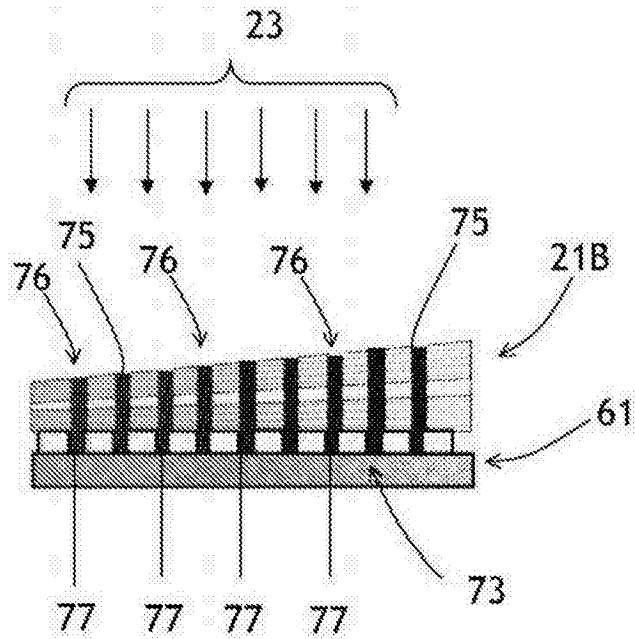


图7D

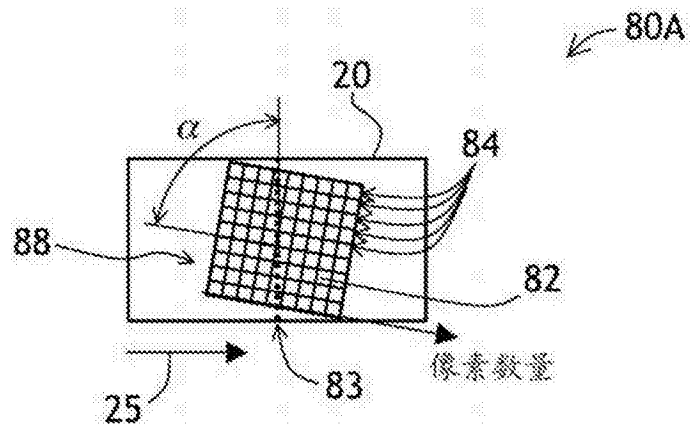


图8A

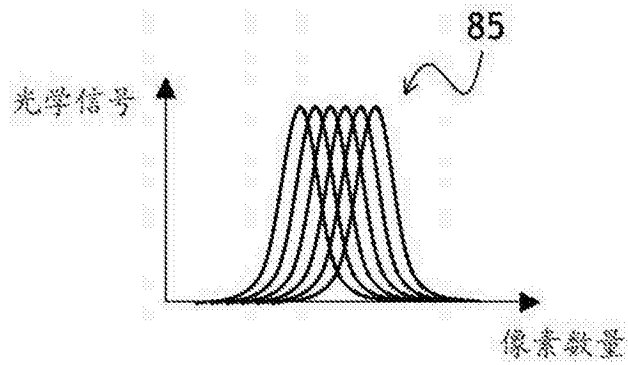


图8B

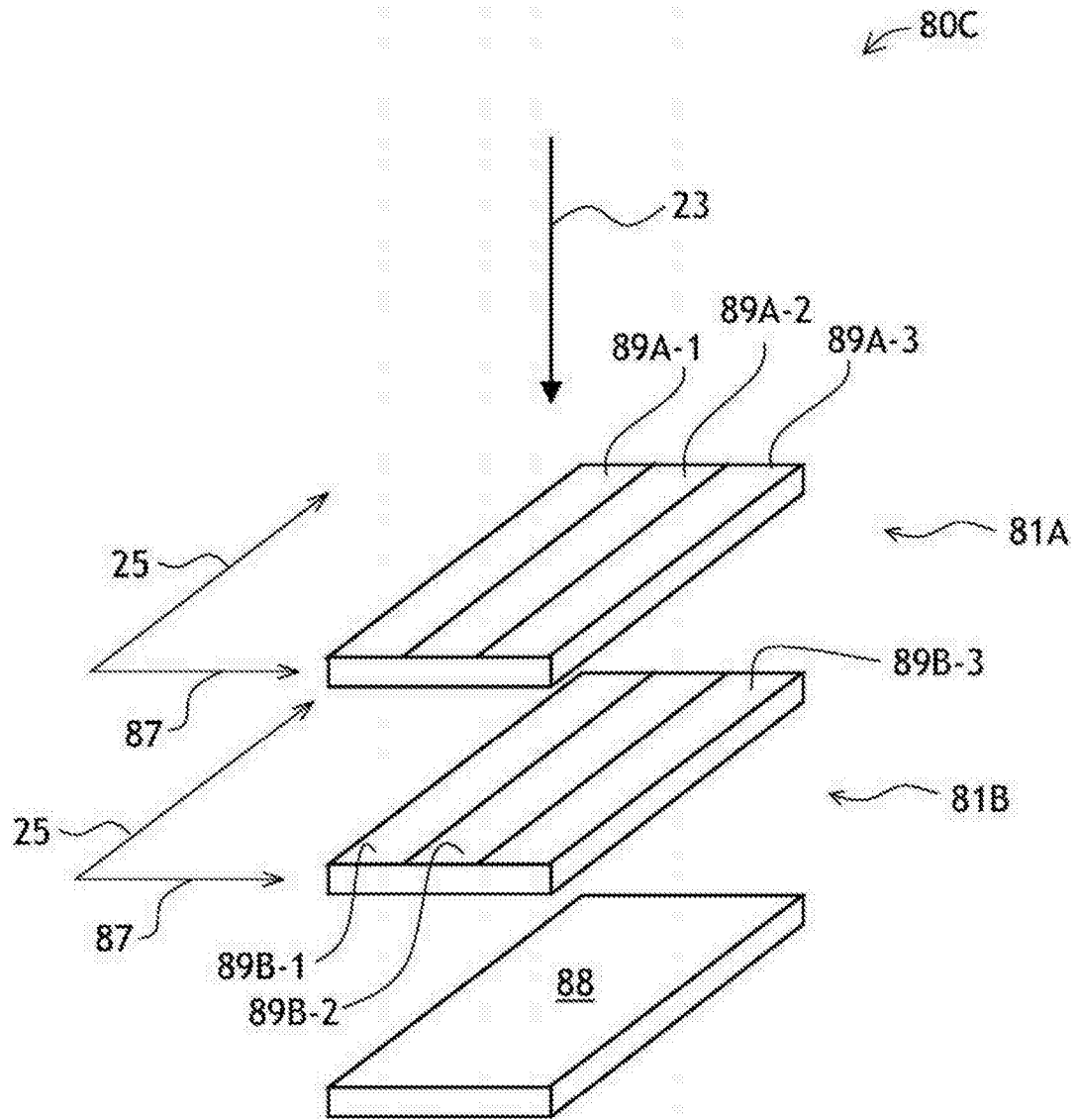


图8C

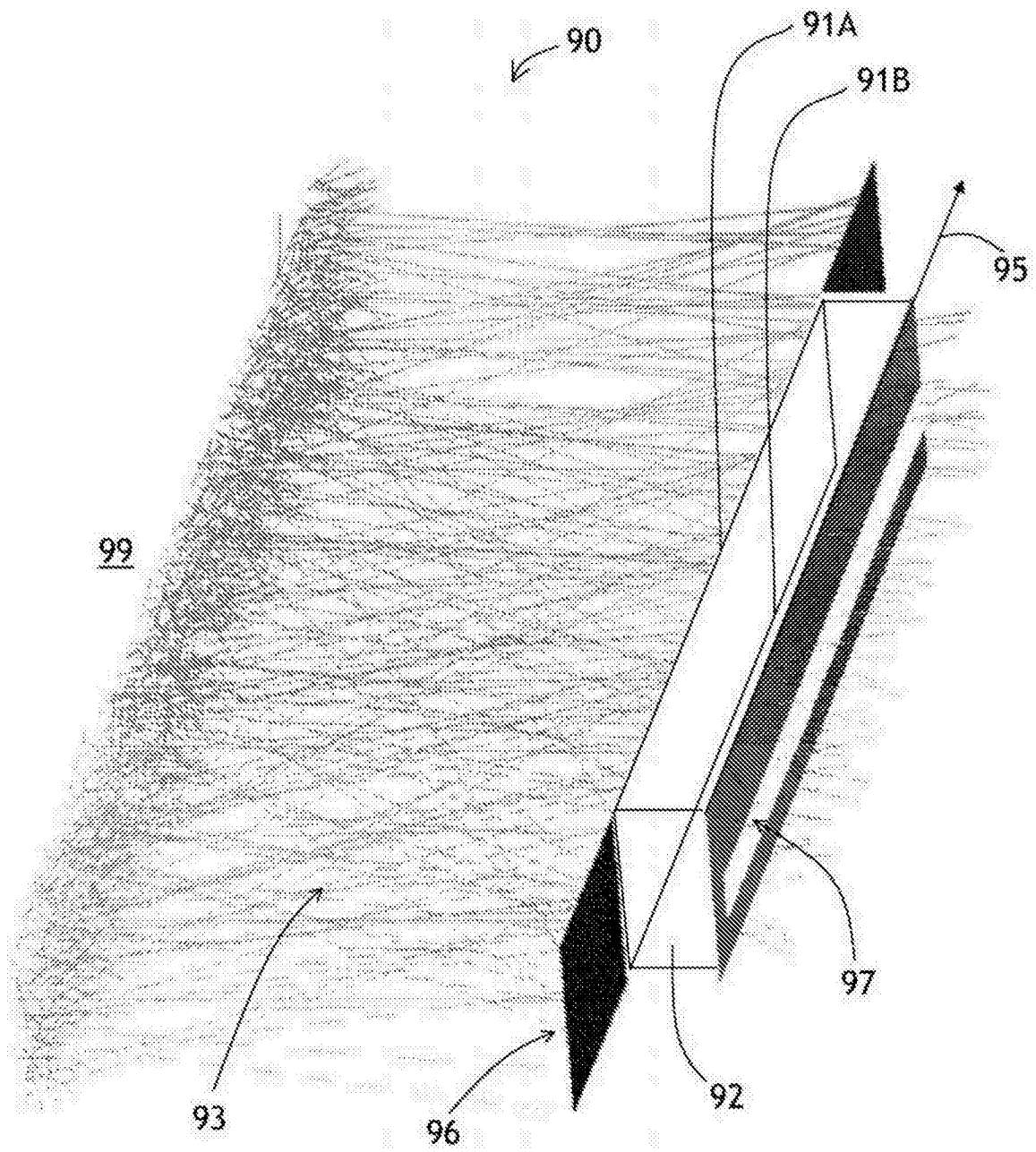


图9A

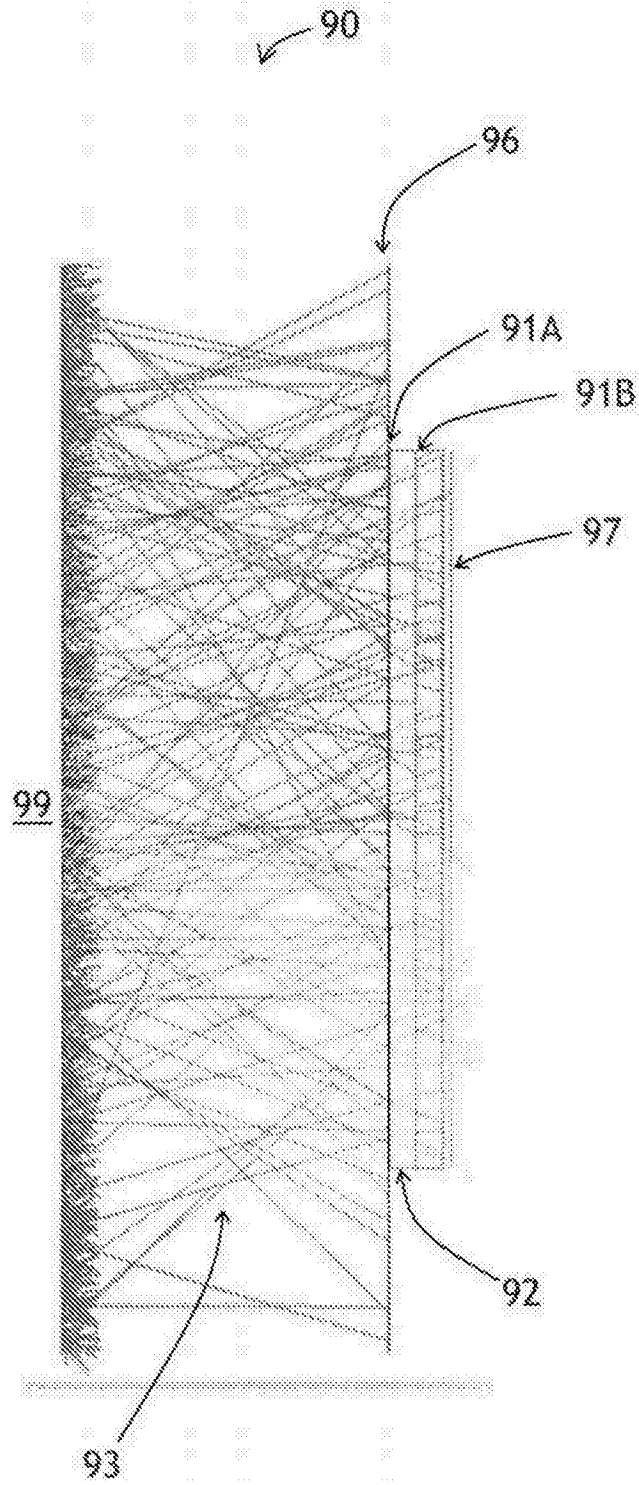


图9B

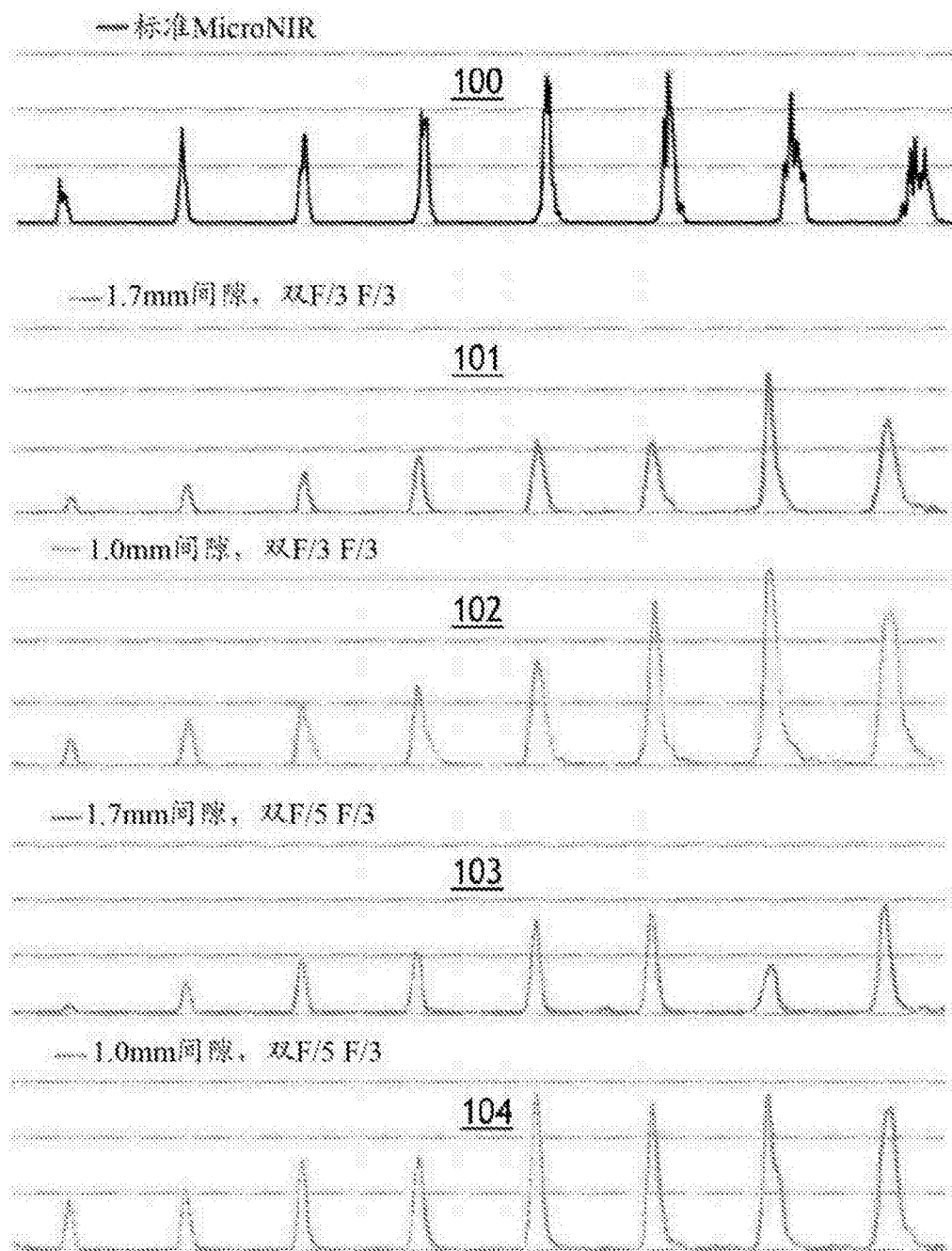


图10

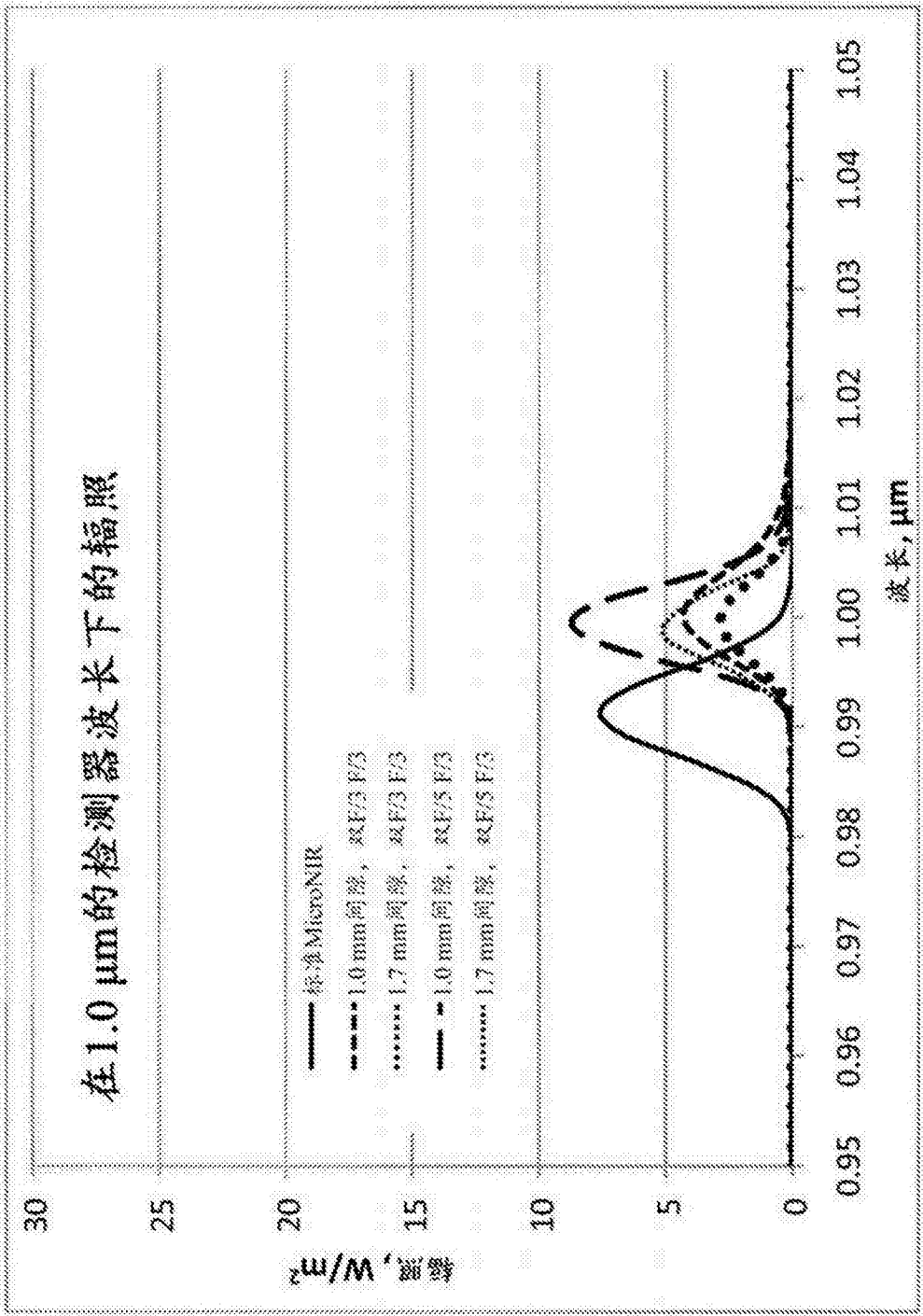


图11A

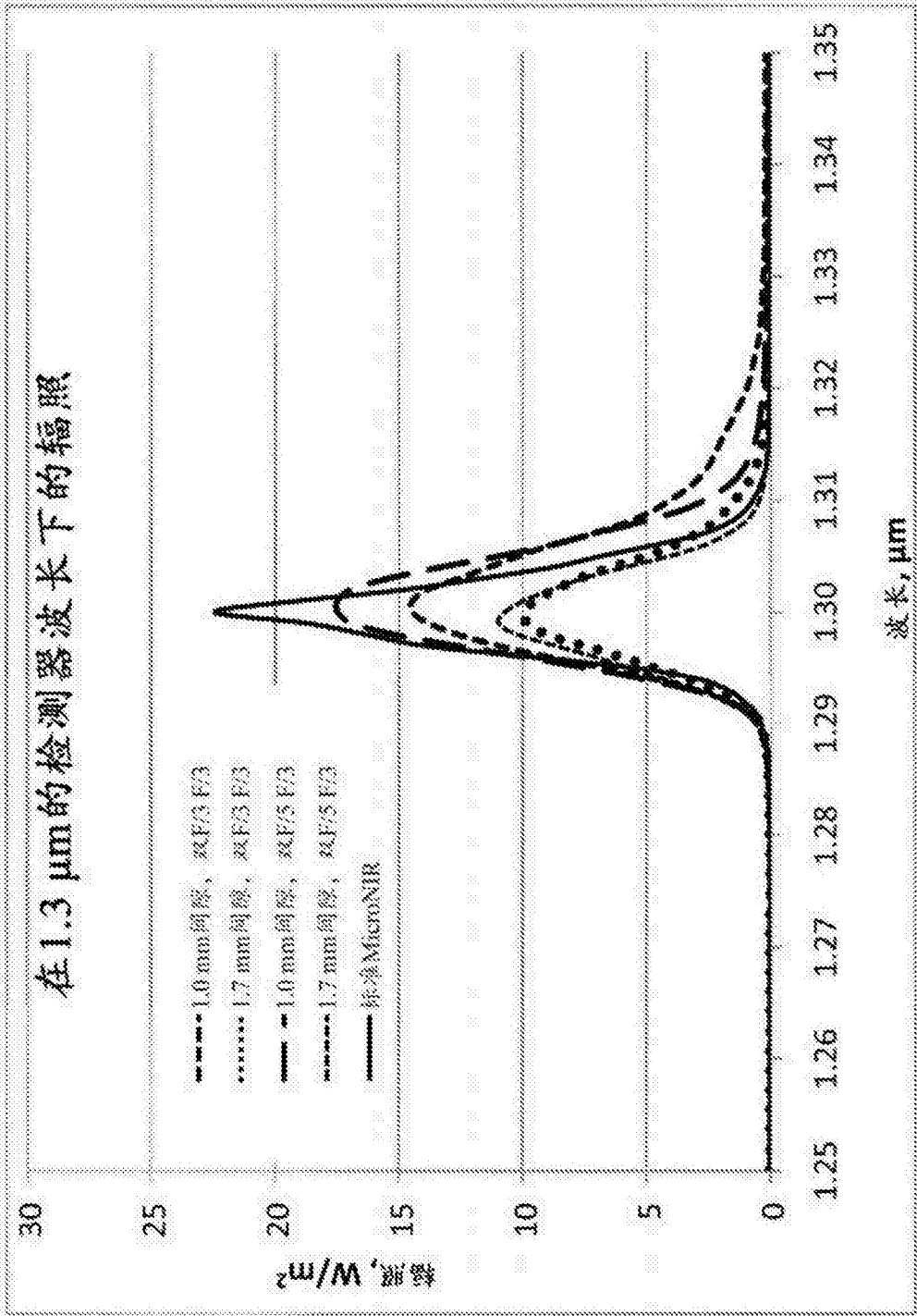


图11B

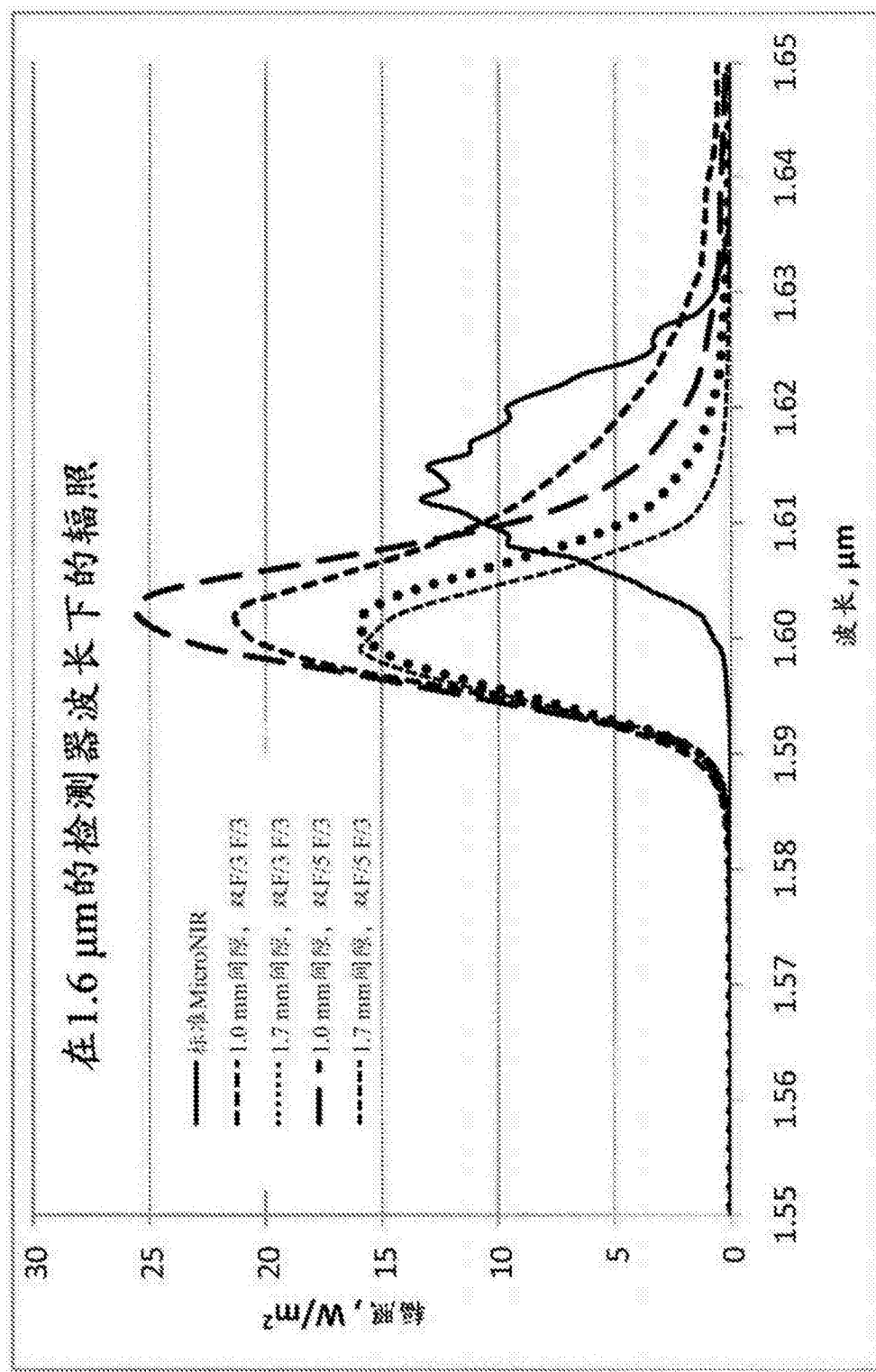


图11C

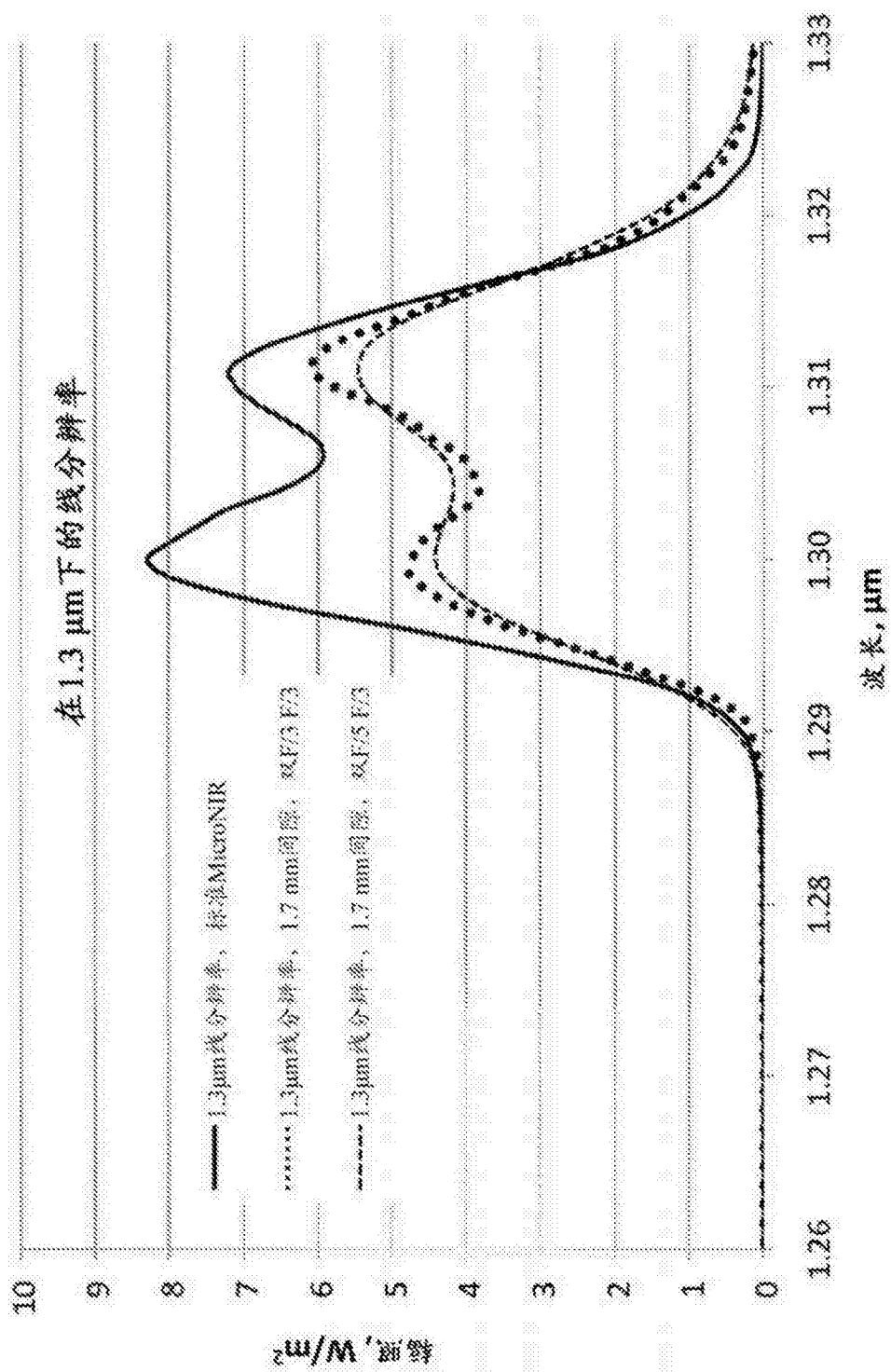


图12

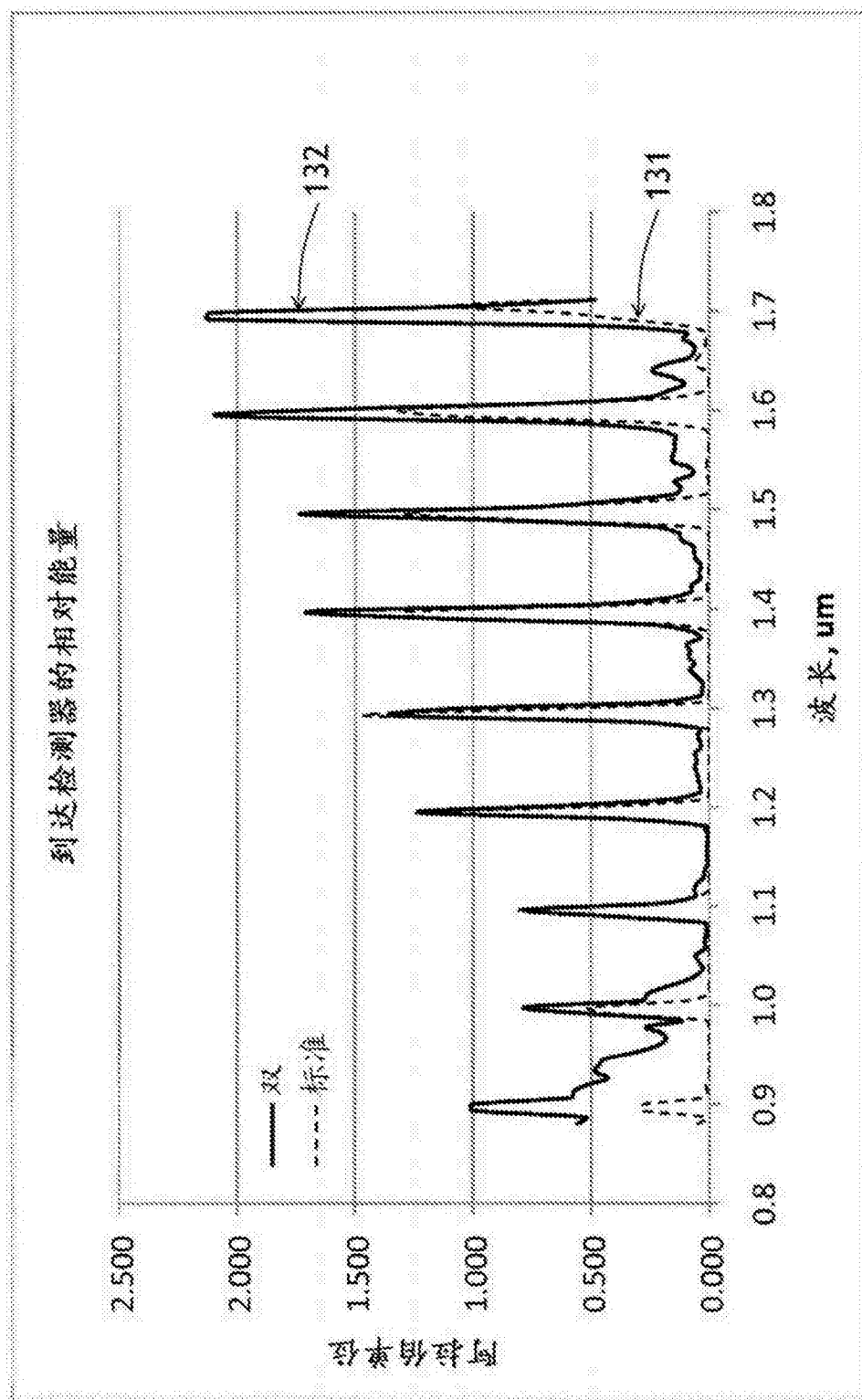


图13

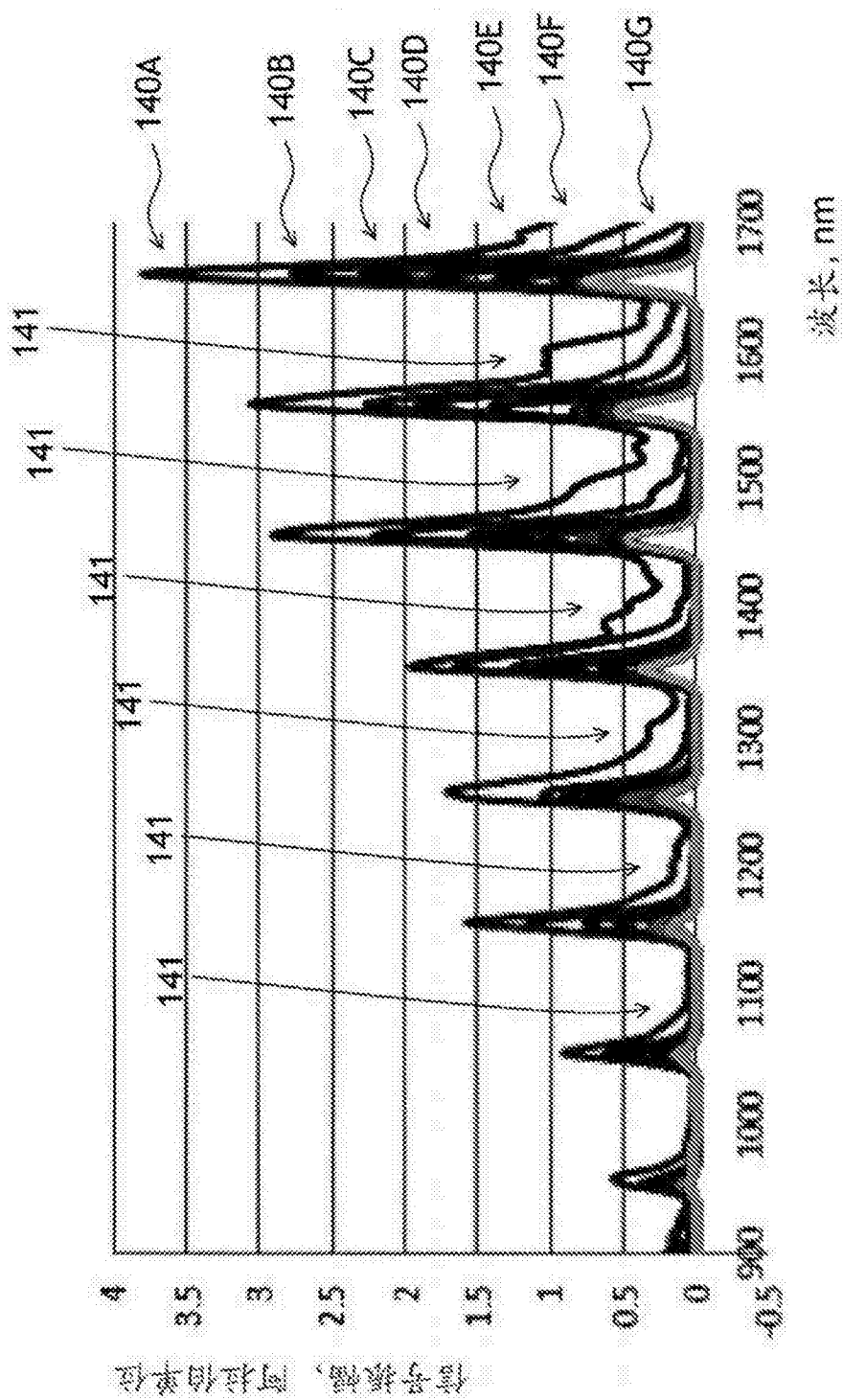


图14

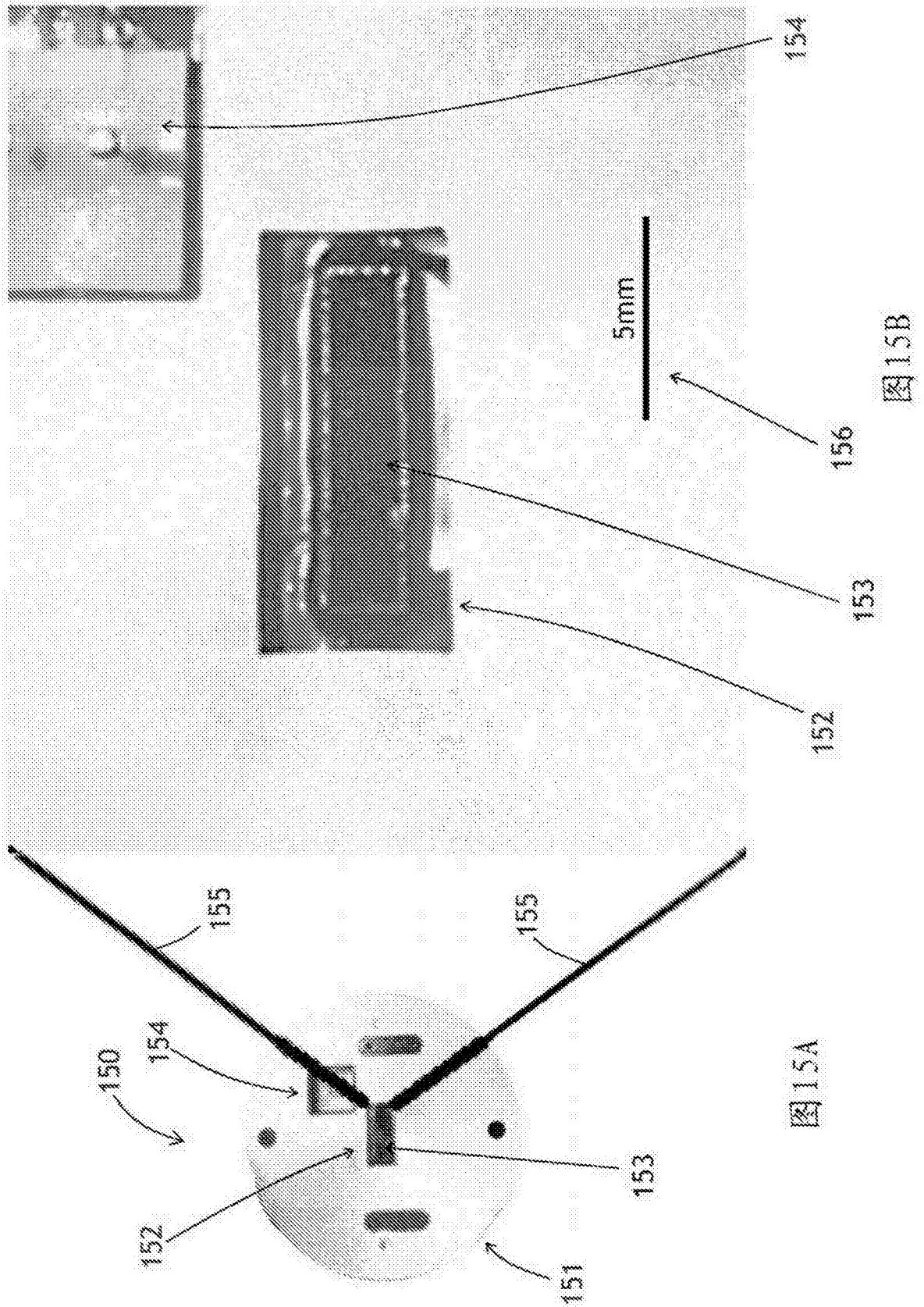


图15A图15B

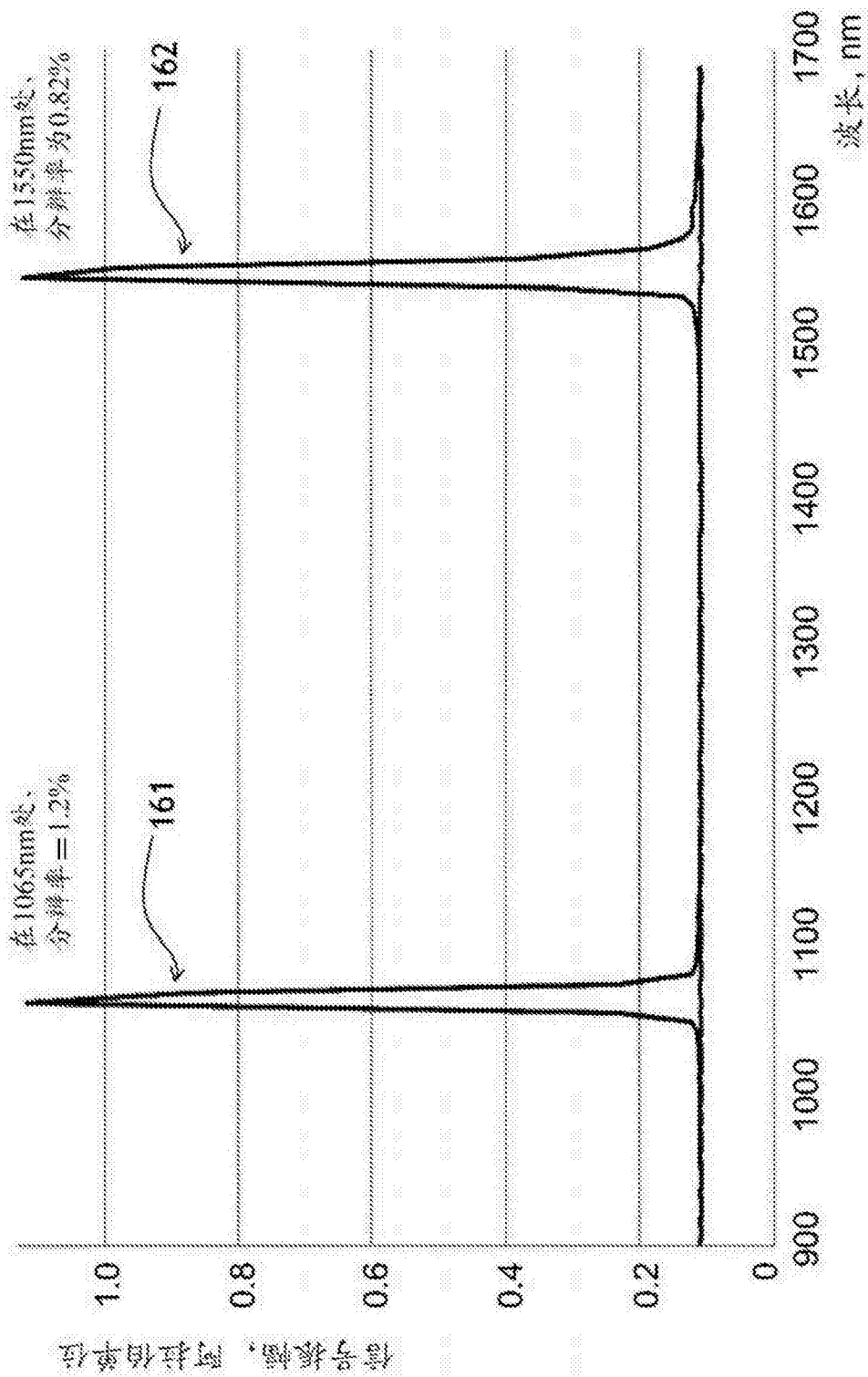


图16

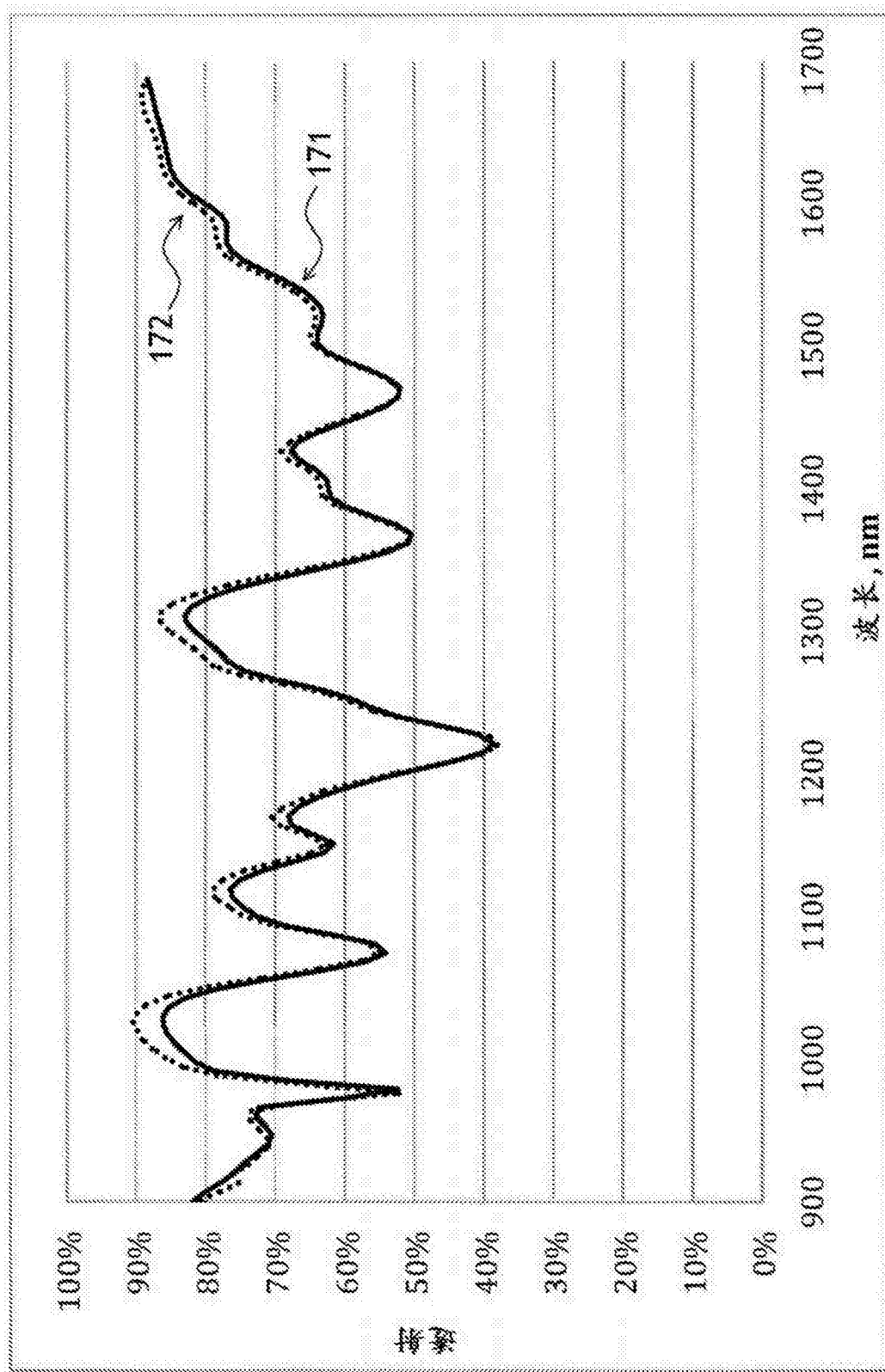


图17