



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108572409 B

(45) 授权公告日 2022.03.01

(21) 申请号 201810315113.9

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

(22) 申请日 2014.01.28

有限公司 11262

(65) 同一申请的已公布的文献号

代理人 张瑞 杨明钊

申请公布号 CN 108572409 A

(51) Int.CI.

(43) 申请公布日 2018.09.25

G02B 5/28 (2006.01)

(30) 优先权数据

H01L 27/146 (2006.01)

61/757,846 2013.01.29 US

G01J 3/26 (2006.01)

(62) 分案原申请数据

G01J 3/02 (2006.01)

201480006294.7 2014.01.28

(56) 对比文件

(73) 专利权人 唯亚威通讯技术有限公司

CN 101203777 A, 2008.06.18

地址 美国加利福尼亚州

CN 1059968 A, 1992.04.01

(72) 发明人 凯伦·丹尼丝·亨德里克斯

US 2002080493 A1, 2002.06.27

查理斯·A·赫尔斯

WO 2012007147 A1, 2012.01.19

理查德·A·布兰得利

US 5872655 A, 1999.02.16

杰弗里·詹姆斯·库纳

审查员 邓瑞婕

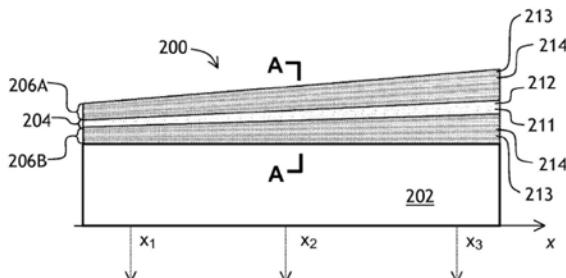
权利要求书2页 说明书12页 附图12页

(54) 发明名称

可变滤光器及基于此的波长选择传感器

(57) 摘要

本申请涉及可变滤光器及基于此的波长选择传感器。本发明披露了一种包括带通滤光器和阻挡滤光器的可变滤光器。带通滤光器包括由交替布置的第一层和第二层所组成的叠层，阻挡滤光器包括由交替布置的第三层和第四层所组成的叠层。第一材料、第二材料和第四材料分别包含不同的材料，使得第一材料的折射率小于第二材料的折射率，第二材料的折射率小于第四材料的折射率，且第二材料的吸收系数小于第四材料的吸收系数。可以对材料进行选择，以确保阻挡滤光器内的高折射率对比度和带通滤光器内的低光损耗。第一层至第四层可以直接沉积在光电探测器阵列上。



1. 一种滤光器，包括：

第一滤光器，其中，所述第一滤光器为阻挡滤光器，

所述第一滤光器包括：

第一多个层，其包括具有第一折射率的第一材料，以及

第二多个层，其与所述第一多个层交替，

所述第二多个层包括具有第二折射率的第二材料；以及

所述第一折射率小于所述第二折射率；

第二滤光器，其中，所述第二滤光器为阻挡滤光器；以及

第三滤光器，其中，所述第三滤光器为带通滤光器，

所述第三滤光器包括：

由交替布置的第三层和第四层组成的叠层，所述第三层和第四层分别包括第三材料和第四材料，并具有横向变化的厚度，

其中，所述第三滤光器被夹在所述第一滤光器和所述第二滤光器之间，并且所述第一滤光器和所述第二滤光器具有与所述第三层和所述第四层的所述横向变化的厚度相协调的横向变化的厚度，所述第三材料不同于所述第一材料和所述第二材料，以及

所述第一滤光器和所述第二滤光器用于阻挡小于和大于所述第三滤光器的透射波长的波长。

2. 如权利要求1所述的滤光器，其中，所述第一滤光器或所述第二滤光器中的至少一个被直接沉积在光电探测器阵列上。

3. 如权利要求1所述的滤光器，其中，所述第一滤光器被布置在基底上方。

4. 如权利要求1所述的滤光器，其中，所述第一多个层中的至少一个层在基底和所述第二多个层中的至少一个层之间。

5. 如权利要求1所述的滤光器，其中，所述第二多个层中的至少一个层是最外部的层。

6. 如权利要求1所述的滤光器，其中，所述第一滤光器具有横向可变的厚度。

7. 如权利要求1所述的滤光器，其中，所述第一折射率在1.35和1.6之间。

8. 如权利要求1所述的滤光器，其中，所述第一材料包括二氧化硅。

9. 如权利要求1所述的滤光器，其中，所述第一材料和所述第二材料包括电介质材料。

10. 一种滤光器，包括

带通滤光器；以及

第一阻挡滤光器，

所述第一阻挡滤光器包括：

多个较高折射率材料层，其具有在2.6和4.5之间的折射率，以及

多个较低折射率材料层，其与所述多个较高折射率材料层交替；以及

第二阻挡滤光器，

所述带通滤光器包括由交替布置的第一层和第二层组成的叠层，所述第一层和第二层分别包括第三材料和第四材料，并具有横向变化的厚度，

所述带通滤光器被夹在所述第一阻挡滤光器和所述第二阻挡滤光器之间，并且所述第一阻挡滤光器和所述第二阻挡滤光器具有与所述第一层和所述第二层的所述横向变化的厚度相协调的横向变化的厚度，所述第三材料不同于所述多个较高折射率材料层和所述多

个较低折射率材料层的材料,以及

其中,所述第一阻挡滤光器和所述第二阻挡滤光器用于阻挡小于和大于所述带通滤光器的透射波长的波长。

可变滤光器及基于此的波长选择传感器

[0001] 本申请是申请日为2014年1月28日,申请号为201480006294.7,发明名称为“可变滤光器及基于此的波长选择传感器”的申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及滤光器,具体而言,涉及具有空间变化的光谱特性的滤光器。

[0003] 发明背景

[0004] 空间可变滤光器的透射波长在整个滤光器上沿横向方向变化。通过将光电探测器阵列附着到空间可变滤光器上,可以构成一个紧凑型分光计。透射波长在整个滤光器上在横向方向随距离线性变化的滤光器被称为线性可变滤光器(LVF)。透射波长随距离的线性变化很方便实现,尽管其并非必要。采用LVF和恒定节距光电探测器阵列获得的光谱具有恒定的波长步长。

[0005] Pellicori等人在美国专利4,957,371中披露了一种包括LVF的楔形滤光器分光计,该LVF具有第一多个高折射率材料层和第二多个低折射率材料层,单独的高折射率层和低折射率层相互重叠,且厚度基本呈线性渐缩状,以形成线性可变光学薄膜干涉滤光器。光电探测器阵列被附着在LVF上,形成非常紧凑的整体结构。

[0006] Anthon在美国专利6,057,925中披露了一种紧凑型分光计设备,其包括一个薄膜干涉LVF和一个通过梯度折射率透镜阵列或微透镜阵列与LVF耦合的光电探测器阵列,以供在诸如便携式色度计等颜色感知设备中使用。基于薄膜干涉LVF的分光计的轻便且牢固的构造,使便携式色度计能够在现场条件下对物体的颜色进行表征。

[0007] Weigl等人在美国专利6,091,502中披露了一种基于紧凑型LVF的分光计,其用于在流体细胞中进行具有空间分辨率的荧光和吸收光谱测量。通过将LVF置于光路内,使得滤光器的透射度在流动方向上出现变化,有可能在光谱上确定生物细胞流体中的蛋白质的染色标记物的浓度。

[0008] 参见图1A,与Pellicori、Anthon和Weigl的设备所用分光计类似的典型的采用现有技术的紧凑型分光计100包括一个LVF 102,其被光学耦合至光电探测器阵列104。透射波长 λ_T 横跨LVF 102沿方向106变化。在工作中,光108射到LVF 102上。LVF 102仅使透射波长 λ_T 周围的窄波带的光穿过, λ_T 在平行于光电探测器阵列104的方向106上变化。其结果是,光电探测器阵列104的每个光电探测器105对光108的一个不同波带作出响应。通过测量光电探测器阵列104的每个光电探测器105的光电流,可以获得光108的光谱。

[0009] LVF 102包括一个由基底110支撑的薄膜叠层112。参见图1B,薄膜叠层112包括两个区域:一个阻挡区121,用于阻挡短于或长于 λ_T 的波长,和一个带通区122,用于仅使以 λ_T 为中心的一个窄通带的光透射。区121和区122中的每一个均包括交替布置的分别具有高折射率和低折射率的高折射率层131和低折射率层132。高折射率层131/低折射率层132的材料在整个区121和122上是相同的,只是厚度有差异,以实现所需的光学性能。阻挡区121包括用于阻挡非 λ_T 波长的四分之一波长叠层,带通区122则包括用于透射以 λ_T 为中心的窄通带的半波长叠层。在材料对(material pair)中的材料组合可以包括金属氧化物或氟化物。

[0010] LVF 102的一个缺点是LVF 102的光学性能与薄膜叠层112的总厚度之间存在固有的消长关系。为确保对非 λ_T 的波长有良好的阻挡作用,阻挡区121必须包括多个层。对于低损耗氧化物,层数最多可达100层。为确保 λ_T 周围的窄通带,带通区122还需要包括许多层,和/或包括一个厚的中心层。薄膜叠层112的较大的厚度会使薄膜叠层112内的内应力增大,导致其断裂和/或从基底110上剥离。可以采用例如硅等高折射率材料来减小总层数。然而,高折射率材料通常会增加LVF 102的光学损耗。

[0011] 发明概述

[0012] 本发明的一个目的是减弱可变滤光器的厚度与光学性能之间的消长关系。

[0013] 发明人认识到对可变滤光器的阻挡区的材料与带通区的材料的关键光学要求之间存在以下差异。在阻挡区内,具有高折射率对比度是一项关键要求。高折射率对比度使得可以减少层数并提高阻挡效率。在带通区内,低损耗比高折射率对比度更为重要,因为光在该区域内会经历多次反射,光穿透带通区的层的次数远多于在阻挡层内反射的次数。因此,在带通区内提供低损耗但相对有较低折射率的材料组合,同时在阻挡区内提供高折射率对比度但相对损耗较高的材料组合,能形成一种薄的、低应力的可变滤光器,其同时具备低的光学损耗、窄带透射峰以及较强的带外阻止。

[0014] 根据本发明,提供了一种滤光器,其在波长范围内具有横向可变的透射波长,该滤光器包括:

[0015] 带通滤光器,其包括由交替布置的第一层和第二层组成的叠层,所述第一层和第二层分别包括第一材料和第二材料,并具有横向变化的厚度,用于提供所述横向可变的透射波长;

[0016] 阻挡滤光器,其包括由交替布置的第三层和第四层组成的叠层,所述第三层和第四层分别包括第三材料和第四材料,并具有与所述第一电介质层和第二电介质层的横向变化厚度相协调的横向变化的厚度,用于阻挡波长范围内的大于或小于所述横向可变透射波长的波长;

[0017] 其中第一材料、第二材料和第四材料分别包括不同的材料,使得第一材料的折射率小于第二材料的折射率,第二材料的折射率小于第四材料的折射率,且第二材料的吸收系数小于第四材料的吸收系数。

[0018] 有利的是,带通滤光器还包括至少一个第五层,所述第五层包括所述第四材料,其被布置于带通滤光器内的光驻波的局部最小值的区域内,由此带通滤光器的阻挡波长区被拓宽,且带通滤光器的厚度被减小。

[0019] 在一种实施例中,透射波长沿滤光器的长度维度单调可变。在一种优选实施例中,透射波长沿长度维度以对数方式可变。第一材料和第三材料可包括同一种材料。滤光器可以包括3种、4种或更多种不同的材料。

[0020] 根据本发明,还提供了一种波长选择传感器,其包括如上文所述的滤光器和与该滤光器相耦合的光电探测器的阵列。光电探测器沿长度维度间隔布置。其结果是,阵列中不同的光电探测器针对从与阵列相对一侧入射到滤光器上的不同波长的光作出响应。

[0021] 优选情况下,光电探测器阵列包括用于滤光器的基底。提供光电探测器的阵列,并直接在阵列上沉积第一层至第五层,以分别形成由所述阵列支撑的带通滤光器和阻挡滤光器。直接在光电探测器的阵列上沉积滤光器的优点包括:由于光不需要经一个单独的块体

基底传播,可提高光谱分辨率;相邻光电探测器之间的漏光减少;以及可靠性提高等。滤光器也可以单独生产,并直接附着于阵列上,例如采用光学环氧树脂粘结。

[0022] 根据本发明的另一种实施例,还提供了一种波长选择传感器,其中光电探测器的阵列包括具有相对的第一表面和第二表面的器件芯片。所述阵列的光电探测器被布置在器件芯片的第一表面内,滤光器被布置在光电探测器上方的器件芯片的第一表面上。此波长选择传感器的生产方式可以是:

[0023] (A) 制造器件芯片,所述制造的步骤为:

[0024] (i) 提供具有相对的第一表面和第二表面的器件晶片;

[0025] (ii) 在器件晶片的第二表面内形成面向第一表面的所述阵列的光电探测器;

[0026] (iii) 对器件晶片的第一表面进行抛光,以暴露出所述阵列的光电探测器;以及

[0027] (B) 在步骤(iii)中所抛光的器件晶片的第一表面上沉积第一层至第五层,以形成滤光器的带通滤光器和阻挡滤光器。

[0028] 根据本发明的另一种实施例,还提供了一种制造波长选择传感器的方法,包括:

[0029] (a) 提供光电探测器的阵列;

[0030] (b) 在所述光电探测器的阵列上沉积

[0031] 带通滤光器,其包括由交替布置的第一层和第二层组成的叠层,所述第一层和第二层分别包括第一材料和第二材料,并具有横向变化的厚度,用于提供横向可变的透射波长;和

[0032] 阻挡滤光器,其包括由交替布置的第三层和第四层组成的叠层,所述第三层和第四层分别包括第三和第四材料,并具有与第一电介质层和第二电介质层的横向变化厚度相协调的横向变化的厚度,用于阻挡波长范围内的大于或小于横向可变透射波长的波长;

[0033] 其中第一材料、第二材料和第四材料分别包括不同的材料,使得第一材料的折射率小于第二材料的折射率,第二材料的折射率小于第四材料的折射率,且第二材料的吸收系数小于第四材料的吸收系数。

[0034] 在一种实施例中,步骤(a)包括:

[0035] (i) 提供具有相对的第一表面和第二表面的器件晶片;

[0036] (ii) 在器件晶片的第二表面内形成面向第一表面的光电探测器的阵列;以及

[0037] (iii) 对器件晶片的第一表面进行抛光,以暴露出所述阵列的光电探测器;

[0038] 其中在步骤(b)中,带通滤光器和阻挡滤光器被沉积在步骤(iii)中所打磨的器件晶片的第一表面内。

[0039] 本申请还包括以下方面:

[0040] 1) 一种滤光器,所述滤光器在波长范围内具有横向可变的透射波长,所述滤光器包括:

[0041] 带通滤光器,其包括由交替布置的第一层和第二层组成的叠层,所述第一层和第二层分别包括第一材料和第二材料,并具有横向变化的厚度,用于提供所述横向可变的透射波长;

[0042] 阻挡滤光器,其包括由交替布置的第三层和第四层组成的叠层,所述第三层和第四层分别包括第三材料和第四材料,并具有与所述第一层和所述第二层的所述横向变化的厚度相协调的横向变化的厚度,用于阻挡波长范围内的大于或小于所述横向可变的透射波

长的波长；

[0043] 其中所述第一材料、所述第二材料和所述第四材料分别包括不同的材料，使得所述第一材料的折射率小于所述第二材料的折射率，所述第二材料的折射率小于所述第四材料的折射率，且所述第二材料的吸收系数小于所述第四材料的吸收系数；且

[0044] 其中所述带通滤光器还包括至少一个第五层，所述第五层包括所述第四材料，其被布置于所述带通滤光器内的光驻波的局部最小值的区域内，由此所述带通滤光器的阻挡波长区被拓宽，且所述带通滤光器的厚度被减小。

[0045] 2) 如1) 所述的滤光器，其中所述第一材料和所述第三材料包括相同的材料。

[0046] 3) 如2) 所述的滤光器，其中所述第一材料和所述第三材料包括相同的电介质材料。

[0047] 4) 如3) 所述的滤光器，其中所述电介质材料包括二氧化硅。

[0048] 5) 如1) 所述的滤光器，其中所述第四材料包括半导体材料。

[0049] 6) 如5所述的滤光器，其中所述半导体材料包括硅，所述第一材料和所述第三材料包括二氧化硅。

[0050] 7) 如6) 所述的滤光器，其中所述第二材料选自由二氧化钛、五氧化二钽、五氧化铌，和五氧化二钽与五氧化铌的合金所组成的组。

[0051] 8) 如1) 所述的滤光器，其中所述第一材料和所述第三材料的折射率在1.35至1.6之间，所述第二材料的折射率在1.8至2.5之间，所述第四材料的折射率在2.6至4.5之间。

[0052] 9) 如8) 所述的滤光器，其中所述波长范围从900nm到1700nm，且其中所述带通滤光器和所述阻挡滤光器在对应于所述透射波长为1300nm的位置处的总厚度小于20μm。

[0053] 10) 如9) 所述的滤光器，还包括在所述波长范围内透明的基底；其中所述带通滤光器由所述阻挡滤光器支撑，所述阻挡滤光器由所述基底支撑。

[0054] 11) 如1) 所述的滤光器，其中所述阻挡滤光器包括第一部分和第二部分，分别用于阻挡大于和小于所述透射波长的波长，其中所述带通滤光器被置于所述阻挡滤光器的所述第一部分与所述第二部分之间的光路上。

[0055] 12) 如11) 所述的滤光器，其中所述第一材料和所述第三材料包括二氧化硅，所述第二材料包括五氧化二钽或五氧化铌，所述第四材料包括硅；其中所述带通滤光器包括不超过20层，且其中所述阻挡滤光器包括不超过60层。

[0056] 13) 如12) 所述的滤光器，其中所述带通滤光器和所述阻挡滤光器的总厚度不大于10μm。

[0057] 14) 如1) 所述的滤光器，其中所述透射波长沿所述滤光器的长度维度单调可变。

[0058] 15) 如14) 所述的滤光器，其中所述透射波长沿所述长度维度以对数方式可变。

[0059] 16) 一种波长选择传感器，包括：

[0060] 如14) 所述的滤光器；和

[0061] 与所述滤光器耦合的光电探测器的阵列，其中所述光电探测器沿长度维度间隔布置，由此，所述光电探测器的阵列中的不同的光电探测器针对从与所述光电探测器的阵列相对一侧入射到所述滤光器上的不同波长的光作出响应。

[0062] 17) 如16) 所述的波长选择传感器，其中所述光电探测器的阵列包括用于所述滤光器的基底。

[0063] 18) 如17) 所述的波长选择传感器, 其中所述光电探测器具有不同的高度, 所述光电探测器的阵列还包括布置在所述光电探测器上方的平面化层, 其中所述滤光器由所述平面化层支撑。

[0064] 19) 如17) 所述的波长选择传感器, 其中所述光电探测器被横向隔开的间隙间隔开, 所述光电探测器的阵列还包括被布置于所述间隙内的不透明绝缘材料, 用于所述光电探测器的阵列中的单独光电探测器的光绝缘。

[0065] 20) 如19) 所述的波长选择传感器, 其中所述滤光器包括多个狭槽, 每个所述狭槽均被布置于一个对应的被横向隔开的所述间隙的上方, 其中所述绝缘材料被布置于所述狭槽内, 用于为所述光电探测器的阵列中的单独光电探测器提供附加的光绝缘。

[0066] 21) 如17) 所述的波长选择传感器, 其中所述光电探测器的阵列包括器件芯片, 所述器件芯片具有相对的第一表面和第二表面, 其中所述阵列的所述光电探测器被布置在所述器件芯片的所述第一表面内, 且其中所述滤光器被布置在所述光电探测器的上方的所述器件芯片的所述第一表面上。

[0067] 22) 如21) 所述的波长选择传感器, 其中所述光电探测器的阵列还包括被接合到所述器件芯片的所述第二表面上的承载芯片。

[0068] 23) 如17) 所述的波长选择传感器, 其中所述光电探测器的阵列包括具有相对的第一表面和第二表面的阵列基底, 其中所述阵列的所述光电探测器被布置于所述阵列基底的所述第一表面内, 所述滤光器被布置在所述阵列基底的所述第二表面上。

[0069] 24) 如23) 所述的波长选择传感器, 还包括复用器芯片, 用于读取所述阵列的所述光电探测器的光电信号, 其中所述复用器芯片被以倒装方式接合到所述阵列基底的所述第一表面上。

[0070] 25) 一种生产如17) 所述的波长选择传感器的方法, 所述方法包括

[0071] (a) 提供所述光电探测器的阵列;

[0072] (b) 在所述光电探测器的阵列上沉积第一层至第五层, 以形成所述滤光器的所述带通滤光器和所述阻挡滤光器。

[0073] 26) 一种生产如21) 所述的波长选择传感器的方法, 所述方法包括

[0074] (A) 制造所述器件芯片, 所述制造的步骤包括:

[0075] (i) 提供具有相对的第一表面和第二表面的器件晶片;

[0076] (ii) 在所述器件晶片的所述第二表面内形成面向所述第一表面的所述阵列的所述光电探测器;

[0077] (iii) 对所述器件晶片的所述第一表面进行抛光, 以暴露出所述阵列的所述光电探测器; 以及

[0078] (B) 在步骤(iii)中所抛光的所述器件晶片的所述第一表面上沉积所述第一层至第五层, 以形成所述滤光器的所述带通滤光器和所述阻挡滤光器。

[0079] 27) 一种制造波长选择传感器的方法, 包括:

[0080] (a) 提供光电探测器的阵列;

[0081] (b) 在所述光电探测器的阵列上沉积:

[0082] 带通滤光器, 其包括由交替布置的第一层和第二层组成的叠层, 所述第一层和第二层分别包括第一材料和第二材料, 并具有横向变化的厚度, 用于提供横向可变的透射波

长;和

[0083] 阻挡滤光器,其包括由交替布置的第三层和第四层组成的叠层,所述第三层和第四层分别包括第三材料和第四材料,并具有与所述第一层和第二层的所述横向变化的厚度相协调的横向变化的厚度,用于阻挡波长范围内的大于或小于所述横向可变的透射波长的波长;

[0084] 其中所述第一材料、所述第二材料和所述第四材料分别包括不同的材料,使得所述第一材料的折射率小于所述第二材料的折射率,所述第二材料的折射率小于所述第四材料的折射率,且所述第二材料的吸收系数小于所述第四材料的吸收系数。

[0085] 28) 如27) 所述的方法,其中步骤(a)包括

[0086] (i) 提供具有相对的第一表面和第二表面的器件晶片;

[0087] (ii) 在所述器件晶片的所述第二表面内形成面向所述第一表面的所述光电探测器的阵列;以及

[0088] (iii) 对所述器件晶片的所述第一表面进行抛光,以暴露出所述阵列的所述光电探测器;

[0089] 其中在步骤(b)中,所述带通滤光器和所述阻挡滤光器被沉积在步骤(iii)中所抛光的器件晶片的所述第一表面内。

附图说明

[0090] 现在将结合附图对示例性实施例进行说明,其中:

[0091] 图1A为基于一个薄膜LVF的采用现有技术的分光计的三维视图;

[0092] 图1B为图1A中的LVF的薄膜结构的放大的横截面图;

[0093] 图2为处于一个基底上的本发明的可变滤光器的横截面图;

[0094] 图3A至3C为图2中的可变滤光器的阻挡滤光器段和带通滤光器段在沿透射波长变化方向上在不同位置处的透射光谱;

[0095] 图4A为图2中的滤光器沿图2中A-A线的示意性横截面图,显示了带通滤光器段和阻挡滤光器段;

[0096] 图4B为图4A中的滤光器的带通滤光器段的放大横截面图;

[0097] 图5A和5B为由不同材料制成的带通滤光器段在准直光照射下(图5A)和在发散光或会聚光照射下(图5B)的透射光谱;

[0098] 图6为由不同材料制成的阻挡滤光器的透射光谱;

[0099] 图7A和7B为仅包括低损耗氧化物(图7A)的可变滤光器和包括根据本发明的材料组合(图7B)的可变滤光器的按相同比例绘制的空间折射率图;

[0100] 图7C为图7B中的空间折射率图的放大图;

[0101] 图7D为图7A和7B中的可变滤光器的带通段的透射光谱;

[0102] 图8A至8D为包括图2或图7B中的可变滤光器的本发明的波长选择传感器的各种实施例的侧截面图;

[0103] 图9A和9B为具有背面抛光的光电探测器阵列(图9A)的波长选择传感器和具有芯片倒装式复用器电路(图9B)的波长选择传感器的实施例的侧截面图;

[0104] 图10A至10C为包括图9A中的波长选择传感器的晶片在不同加工阶段的侧截面图。

[0105] 发明的详细说明

[0106] 尽管本教导的介绍中结合了各种实施例和示例,但并不意味着本教导会局限于这些实施例。相反,本教导涵盖本领域技术人员可以理解的各种替代方式、改动和等效方式。

[0107] 参见图2和图3A、3B和3C,滤光器200(图2)在位于 λ_1 与 λ_2 之间的一个横向可变的透射波长 λ_T 处具有一个窄通带310(图3A至3C)。透射波长 λ_T 沿图2中所示的x方向变化。滤光器200可以被布置在一个透明基底202上。可变滤光器200包括布置于基底202上的带通滤光器204和阻挡滤光器206A、206B。带通滤光器204包括由交替布置的第一层211和第二层212组成的叠层,第一层211和第二层212分别包括第一材料和第二材料。第一层211和第二层212的厚度在x方向(图2)上横向变化,用于提供通带310的横向可变的透射波长 λ_T 。透射波长 λ_T 的变化大致正比于第一层211和第二层212的局部厚度。例如,透射波长 λ_T 在坐标 x_1 处(图2和图3A)接近波长范围(λ_1, λ_2)的最短波长 λ_1 ;在坐标 x_2 处(图2和图3B)处于波长范围(λ_1, λ_2)的中间;而在坐标 x_3 处(图2和图3C)则接近波长范围(λ_1, λ_2)的最长波长 λ_2 。

[0108] 阻挡滤光器206A、206B各自包括一个由交替布置的第三层213和第四层214组成的叠层,第三层213和第四层214分别包括第三材料和第四材料。第三层213和第四层214具有与第一层211和第二层212的横向变化厚度相协调的横向变化厚度,用于阻挡波长范围(λ_1, λ_2)内的小于或大于横向可变的透射波长 λ_T 的波长。具体而言,顶部阻挡滤光器206A用于阻挡小于 λ_T 的波长(分别为图3A、3B和3C中的左侧带301A、302A和303A),底部阻挡滤光器206B用于阻挡大于 λ_T 的波长(分别为图3A、3B和3C中的右侧带301B、302B和303B)。

[0109] 根据本发明,第一层211、第二层212和第四层214分别采用的第一材料、第二材料和第四材料均包括不同的材料。通常情况下,第一材料和第二材料包括电介质材料,第三和第四材料包括电介质或半导体材料。第一材料的折射率小于第二材料的折射率。第二材料的折射率小于第四材料的折射率。第二材料的吸收系数小于第四材料的吸收系数。换言之,第四材料尽管具有全部四种材料中最高的折射率,但仍可有一定程度的吸光性。例如,硅等半导体材料可用于第四材料。第一材料和第三材料可以但并非必须包括一种相同的低折射率材料,例如二氧化硅。第二材料可以包括一种高折射率氧化物,例如五氧化二钽。作为准则,第一材料和第三材料的折射率可以在1.35至1.6之间,第二材料的折射率可以在1.8至2.5之间,而第四材料的折射率则可以在2.6至4.5之间。

[0110] 对带通滤光器204的第一层211和第二层212以及对阻挡滤光器206A、206B的第四层214采用不同的材料,可实现对带通滤光器204和阻挡滤光器206A、206B的光学参数的独立优化,如下文详述。当然,阻挡滤光器206A、206B也可以被彼此相邻布置,形成单个的阻挡滤光器,带通滤光器204由所述单个的阻挡滤光器支撑,所述单个的阻挡滤光器由基底202支撑。此外,图2中所示的层211至层214的厚度在沿方向x从左向右变化时,可以非线性增长,以提供滤光器200的非线性横向可变的透射波长 λ_T 。在一种实施例中,透射波长 λ_T 沿长度方向x以对数方式可变。当一个恒定节距光电探测器阵列被沿x方向布置时,透射波长 λ_T 的对数式变化可实现沿x方向的恒定的分辨能力。分辨能力被定义为 $R = \lambda_T / \Delta\lambda$,其中 $\Delta\lambda$ 为透射带宽。

[0111] 参见图4A,图2中的可变滤光器200的A-A截面图示出了带通滤光器204,其被置于第一阻挡滤光器206A与第二阻挡滤光器206B之间的光路420上,第一阻挡滤光器206A与第二阻挡滤光器206B用于分别阻挡小于和大于带通滤光器204的透射波长 λ_T 的波长。每个阻

挡滤光器206A和206B分别包括3个部分431A、432A和433A以及431B、432B和433B。带通滤光器204的厚度和阻挡滤光器的431A至433A部分的厚度以及431B至433B部分的厚度在垂直于图4A的平面的方向x上以协调的方式变化,上述变化可最明确地如图2所示。

[0112] 阻挡滤光器的431A至433A部分和431B至433B部分的阻挡带(未示出)被级联,以覆盖更宽的波长范围。通常情况下,它是规定(dictate)可变滤光器200的可用波长范围(λ_1 , λ_2)的阻挡波长范围。在长波长边缘 λ_2 处,第二阻挡滤光器206B的431B至433B部分的阻挡必须在 λ_T 与 λ_2 之间延伸,而在短波长边缘 λ_1 处,第一阻挡滤光器206A的431A至433A部分的阻挡必须在 λ_1 与 λ_T 之间延伸。当滤光器200的光频率范围超出一个倍频程(octave)时,由阻挡滤光器206A和206B提供的带外波长阻挡特别重要,因为标准具型(etalon-type)滤光器具有由光频率的倍频程分隔开的多个透射峰值。

[0113] 参见图4B,带通滤光器204包括一个电介质间隔层450,它是所需中心波长 λ_T 的半波长的整倍数,在波长 λ_T 处,它被夹在四分之一波长反射体叠层432之间。通过增大四分之一波长叠层432的反射率和/或通过增大间隔层450的厚度或半波长的数量,可使带通滤光器204的带宽变窄。在任何一种情况下,增加光440穿过间隔层450的行程次数,可以使透射带宽减小。因此,间隔层450材料和四分之一波长反射体叠层432的相邻层具有较低的光损耗,这是很重要的。

[0114] 再参见图4A,并进一步参见图4B,可变滤光器200(图4A)通常用于包含一个入射角范围的光或一个光锥。为减小透射波长随入射角的偏移效应,间隔层450材料(图4B)的折射率应优选尽可能高的值。为此,可以采用一种高折射率高熔点氧化物,例如五氧化二钽(Ta_2O_5)、五氧化铌(Nb_2O_5)、五氧化二钽与五氧化铌的合金、或二氧化钛(TiO_2)。金属氧化物的光损耗通常非常低,且五氧化二钽、五氧化铌和二氧化钛在所关注的900nm至1700nm的波长范围内的折射率高于2.0。二氧化硅(SiO_2)是用于反射体叠层432的一种合适的低折射率材料,其在上述波长范围内的折射率约为1.5。应指出的是,带通滤光器204和/或阻挡滤光器的431A、431B、432A、432B和433A、433B部分可以包括不同的高折射率材料和不同的低折射率材料。例如,带通滤光器204可以包括二氧化硅(SiO_2)与五氧化二钽(Ta_2O_5)的组合,而阻挡滤光器的431A、431B、432A、432B和433A、433B部分则可包括氟化镁(MgF_2)与硅(Si)的组合。根据滤光器200所要达到的目标光谱性能,可以使用四种或更多种材料类型。

[0115] 阻挡滤光器431A至433A部分和431B至433B部分的阻光度和带宽由所述的折射率对比度或阻挡滤光器431A至433A和431B至433B部分的高、低折射率层的折射率之比进行设定。通过增大折射率对比度,阻挡滤光器的431A至433A部分和431B至433B部分的总厚度可以被显著减小,这两者都是因为需要更少的层数以实现所需阻挡水平,且因为阻挡滤光器的431A至433A部分和431B至433B部分将会有更大的带宽,使得覆盖所需带宽所需的叠层数量更少。沿光路420(图4A)传播的光440(图4B)穿过阻挡滤光器的431A至433A部分和431B至433B部分的次数不及其穿过带通滤光器204的次数,因此可以使用的材料范围更广,具体而言,优选采用硅(Si)。硅的折射率高于3.0,尽管它在900nm至1700nm的波长范围内有一定的吸光性,也可被用作高折射率材料。它还可以与具有低折射率的二氧化硅自然共存,由此可在阻挡滤光器的431A至433A部分和/或431B至433B部分内实现所寻求的高折射率对比度。

[0116] 通过生长多层叠层并测量其透射性能,上述关于不同材料系统的波长选择性和光学损耗的结论已获得了实验确认。参见图5A和5B,图中示出了采用不同的材料组合制成的

带通滤光器204在准直光(图5A)和非平行或“锥形”光(图5B)下的透射光谱。在图5A和5B中，“H/L”表示五氧化二钽与二氧化硅的高折射率/低折射率材料组合，“S/L”表示硅与二氧化硅的材料组合。相应地，“L cav”表示“腔”(cavity)，或间隔层450由低折射率材料、即二氧化硅制成。“H cav”表示间隔层450由五氧化二钽制成。“S cav”表示间隔层450由硅制成。

[0117] 具体参见图5A，光谱501和502分别对应于五氧化二钽和二氧化硅与二氧化硅间隔层450和五氧化二钽间隔层450的材料组合。可以看出，在准直光条件下，光谱501和502实际上几乎无法相互区分，呈现非常高(接近100%)的最高透光度。光谱503和504分别对应于硅和二氧化硅与二氧化硅间隔层和硅间隔层的材料组合。对应于二氧化硅间隔层450的光谱503呈现的最高透射度(约67%)高于对应于硅间隔层450的光谱504的最高透射度(约38%)。这是因为，如上文所述，硅的光吸收度比二氧化硅或五氧化二钽高得多，而且由于光440(图4B)会多次穿过间隔层450，透光度的差异变得非常明显(在本例中为38%或67%与100%的差异)。

[0118] 现在转至图5B，由于采用锥形光照射，所有光谱501至504均呈现出增大的光损耗。从前两个光谱501和502中可以看出，对应于五氧化二钽间隔层450的第二光谱502比对应于二氧化硅间隔层450的第一光谱501呈现出较慢的透射度下降，其中第二光谱502呈现出约为32%的透射度下降(从最高透射度的100%下降到约68%)，而第一光谱501则呈现出41%的透射度下降(从最高透射度的100%下降到约59%)。如上文所述，间隔层450材料的折射率越高，带通滤光器204的角度灵敏度就越低。类似的趋势也会在对应于硅/二氧化硅材料组合的另两个光谱503和504中观察到。对于对应于硅间隔层450的光谱504，光透射度仅下降了约3%(从38%下降到35%)，而对于对应于二氧化硅间隔层450的光谱503，光透射度则下降了约17%(透射度从67%下降到50%)。因此，对于带通滤光器204的间隔层450，应选择低损耗但高折射率的材料。

[0119] 现在参见图6，再参考图4A，图中给出了分别由五氧化二钽/二氧化硅和硅/二氧化硅材料组合制成的下方阻挡滤光器206B的透射光谱601和602。第一光谱601的带宽611仅为275nm，远窄于第二光谱602的带宽612(664nm)。由此，对于阻挡滤光器206A和206B，应选择高折射率对比度的材料组合。应该指出，第二光谱602较宽的带宽在一个薄得多的滤光器上得以实现，对于硅/二氧化硅叠层，厚度仅为1.7μm，而五氧化二钽/二氧化硅叠层的厚度则为4.9μm。

[0120] 以下将对由三材料系统(从折射率最低到最高：二氧化硅、五氧化二钽和硅)实现的可变滤光器的厚度缩减进行举例说明。转至图7A和7B，空间折射率图700A和700B是折射率n与叠层深度坐标d之间的函数关系图。在图7A和7B中，空间折射率图700A和700B按相同比例绘制，以示出本发明可以实现的总厚度缩减量。图7A的折射率图700A对应于采用二氧化硅/五氧化二钽的两材料系统实现的可变滤光器。二氧化硅层由下方的黑条701表示，五氧化二钽层则由上方的灰条702表示。折射率图700A包括第一阻挡段726A、带通段724和第二阻挡段726B。带通段724包括两个较厚的五氧化二钽层702，这两个层702充当带通滤光器腔(间隔)层702A。由此，带通段724是一个双腔带通滤光器。每个间隔层702A在每一面上有一个反射体叠层；反射体叠层关于间隔层呈现一定程度的对称性。处于两个间隔层702A之间的反射体叠层组合成为一个反射体叠层724C。图7A中的折射率图700A的总长度对应于两材料可变滤光器的厚度，可达到40μm。

[0121] 图7B中的折射率图700B对应于采用二氧化硅/五氧化二钽/硅的三材料系统实现的可变滤光器。参见作为图7B放大图的图7C，二氧化硅层由最下方的黑条701表示，五氧化二钽层由较上方的灰条702表示，而硅层则由最高的黑条703表示。

[0122] 折射率图700B包括第一阻挡段746A、带通段744和第二阻挡段746B。再暂时参见图2，第一阻挡段746A对应于图2中的光学可变滤光器200的第一阻挡滤光器206A，带通段744对应于带通滤光器204，第二阻挡段746B则对应于第二阻挡滤光器206B。第一阻挡段746A和第二阻挡段746B包括交替布置的二氧化硅层701和硅层703。带通段744包括二氧化硅层701、五氧化二钽层702和硅层703。图7B和7C中的滤光器700B的带通段744与图2中滤光器200的带通滤光器204之间的一个差异是，滤光器700B的带通段744是一个双腔带通滤光器，其与图7A中的滤光器700A的双腔带通段724类似，但其采用的不是两种而是三种不同材料，如下文所述。

[0123] 带通段744包括第一腔744A和第二腔744B，每一个均包括位于两个四分之一波长反射体段之间的五氧化二钽间隔层702A。在每个反射体段内引入一个硅层751。由于反射体段关于间隔层702A呈现一定的对称性，这样可对带通段744增加四个硅层751，如图所示。在带通段744的四分之一波长反射体段内引入至少一个、优选为若干个的可选的高折射率硅层，取代H层702，可通过更少的层数实现相同的反射度，原因在于硅与二氧化硅(S/L)的折射率之比高于五氧化二钽与二氧化硅(H/L)的折射率之比。由于加入四个附加硅层751而造成的透光度损失可以被减小，减小的方式是将附加的硅层751置于对应于光场局部最小值的区域内，即在带通段744内的透射波长 λ_T 处的光驻波的波谷内。图7B的折射率图700B的总长度对应于图2中的可变滤光器200的三材料系统的变体的厚度，仅为10μm，即为图7A中的厚度的1/4。

[0124] 附加硅层751的另一个优势是，硅/二氧化硅组合的较高的折射率比拓宽了带通滤光器段744的阻挡区，并减小了下方阻挡段746A和上方阻挡段746B所需的阻挡波长带。参见图7D，透射比例为0%至1%透射度，以更好地呈现阻带性能。虚线781为采用两种材料(五氧化二钽和二氧化硅)实现的图7A中的可变滤光器700A的带通滤光器段724的透光度图。实线782为按图7C所示实现的带通滤光器段744的透光度图。可以看出，采用可选的硅层751可以显著地扩展带通光谱782的两翼782A、782B的阻挡带宽及阻挡强度。所有这些均在图7B和7C中的可变滤光器700B的带通滤光器段744的总厚度减小的条件下实现。

[0125] 再参见图2，滤光器200的最终厚度取决于所用材料和目标光学规范。例如，带通滤光器204的第一层211可包括二氧化硅，第二层212可包括五氧化二钽或五氧化铌，阻挡滤光器206的第三层也可包括二氧化硅(与第一层211相同)，而阻挡滤光器206的第四层214可包括硅。所形成的三材料系统可以减小可变滤光器200的厚度。对于900nm至1700nm的近红外波长范围，带通滤光器204可包括不超过20层，阻挡滤光器206A、206B总共可包括不超过60层。在对应于透射波长1300nm的位置，滤光器200的总厚度优选不大于20μm，更优选为不大于10μm。层数和厚度将受许多因素的影响，例如可变滤光器700B的带通带宽、所需阻挡水平以及波长覆盖范围。

[0126] 现在转至图8A，并进一步参考图2，本发明的一个波长选择传感器800A包括图2中的可变滤光器200或图7B、7C中的700B，以及与可变滤光器200耦合的光电探测器阵列802A，其光电探测器812沿x方向间隔布置，其中层厚度单调增长。由于透射波长 λ_T 沿x方向变化，

光电探测器阵列802A的不同的光电探测器812对从与光电探测器阵列802A相对的一面820入射到滤光器200上的光840的不同的波长作出响应。光电探测器812的数量可以变化,最少可以是仅两或三个,用于检测若干孤立波长带,也可以是数百个或更多的光电探测器,用于进行详细的光谱测量。在后一种情况下,波长选择传感器800A实质上充当光电直读光谱仪的作用。

[0127] 在分光计的实施例中,当光电探测器812的数量为数十、数百或更高时,透射波长 λ_T 可被设置为沿可变滤光器200的长度维度x以对数方式可变。当透射波长 λ_T 的对数式变化与光电探测器阵列802A的光电探测器812的均匀间隔结合使用时,由分光计800收集的光谱点的分辨能力 $R = \lambda_T / \Delta\lambda$ 为一个常数值,其在诸如空间应用等场合可能为优选。

[0128] 光电探测器阵列802可包括一个用于滤光器200的基底。换言之,光电探测器阵列802可以充当支撑滤光器200的基底。滤光器200与光电探测器阵列802之间的间隙814可以由可选的粘合剂层填充。作为替代方式,可以采用一个未示出的机械壳体在光电探测器阵列802上支撑滤光器200。在后一种实施例中,间隙814可包括真空、空气、气体等。此外,在滤光器200的第一层211至第四层214的沉积过程中,光电探测器阵列802可被用作基底。在这种实施例中,间隙814可以但并非必须包括一个平面化层,用于使第一层211至第四层214的沉积实现更好的均匀度。当由平面化层填充间隙814时,阵列802上的不同的光电探测器812可以有不同的高度。例如,参见图8B,波长选择传感器800B的阵列802B的光电探测器812A、812B和812C具有不同的高度,且平面化层填充间隙814可确保滤光器200被沉积在一个均匀表面815上。

[0129] 参见图8C,本发明的一个波长选择传感器800C分别类似于图8A和8B的波长选择传感器800A和800B。在图8C的波长选择传感器800C中,光电探测器阵列802C的光电探测器812被横向隔开的间隙813隔开,在间隙813内沉积一种不透明的绝缘材料817,用于阵列802C中的单独光电探测器812的电和/或光绝缘。不透明绝缘材料可包括黑色或电绝缘型环氧树脂,例如由美国马萨诸塞州Epoxy Technology公司生产的353NDB环氧树脂等。

[0130] 转至图8D,本发明的一个波长选择传感器800D类似于图8C的波长选择传感器800C。在图8D的波长选择传感器800D中,滤光器200的一些部分被去除,例如被蚀刻穿透,形成狭槽816,每一个狭槽816均被直接布置于光电探测器阵列802D的像素812之间的一个对应的间隙813的上方,而可选的不透明绝缘材料817被置于狭槽816内,用于在单个光电探测器812之间实现更好的光绝缘,并减小光串扰。

[0131] 参见图9A,本发明的一个波长选择传感器900A是图8A中的波长选择传感器800A的一种变体。图9A的波长选择传感器900A包括图2中的滤光器200和一个光电探测器912A的阵列902A。阵列902A实际上是滤光器200的基底。滤光器200可以被直接沉积到阵列902A上,由此支撑将不再需要单独的厚基底,例如至少0.8mm厚的单独的玻璃基底,来支撑滤光器200。阵列902A包括具有相对的第一表面921和第二表面922的器件芯片920。阵列902A的光电探测器912A被置于器件芯片920的第一表面921内。滤光器200被置于光电探测器912A上方的第一表面921上。接合垫929A可以延伸穿过位于诸如滤光器200的相对面上的器件芯片920,如图9A所示。承载芯片930可以被接合到器件芯片920的第二表面922上,用于在器件芯片920的可选抛光过程中对器件芯片920加以强化,如见下文所述。

[0132] 现在转至图9B,本发明的一个波长选择传感器900B是图8A中波长选择传感器800A

和图9A中900A的一种变体。图9B的波长选择传感器900B包括图2中的滤光器200和光电探测器912B的阵列902B。阵列902B包括具有相对的第一表面941和第二表面942的阵列基底940。阵列902B的光电探测器912B被布置在第一表面941内，滤光器200则被布置在阵列基底940的第二表面942上。在这种实施例中，光840传播穿过阵列基底940，到达阵列902B的光电探测器912B。

[0133] 在一种优选实施例中，波长选择传感器900B还包括一个复用器芯片950，其包括复用电路955，用于读取阵列902B的光电探测器912B的光电信号。复用器芯片950被以倒装方式接合到阵列基底940的第一表面941上。接合垫929B可以在复用器芯片950与阵列基底940之间延伸，用于在复用器芯片950与阵列902B的光电探测器912B之间建立电接触。

[0134] 图7B的可变滤光器700B可分别在图8A至8D的波长选择传感器800A至800D和9A、9B的波长选择传感器900A、900B中取代可变滤光器200。滤光器200、700B不仅可以采用三材料系统实现，还可采用包括四种或更多种材料的材料系统实现。第一材料可包括二氧化硅，第二材料可包括五氧化二钽，第三材料可包括硅。通过对材料的适当选择，可变滤光器200的厚度可以不大于 $20\mu\text{m}$ ，优选为 $10\mu\text{m}$ 或更小，这样可以大大减小可变滤光器200内的机械应力，并提高产量。

[0135] 优选情况下，可变滤光器200或700B被分别直接布置于图8A至8D的光电探测器阵列802A至802D、9A和9B的光电探测器阵列902A和902B上。在这些实施例中，在第一层211和第二层212的交替沉积以及第三层213和第四层214的交替沉积中，光电探测器阵列802A至802D、902A和902B实际上是可变滤光器200或700B的基底，以便在所提供的光电探测器阵列802A至802D、902A和902B上分别生成带通滤光器204和阻挡滤光器206A、206B。直接在图8A至8D的光电探测器阵列802A至802D、9A和9B的光电探测器阵列902A和902B上布置滤光器200或700B会使整体结构更为紧凑，并改善相应波长选择传感器800A至800D、900A和900B的光谱分辨率，因为相比包括可选的块体基底202的滤光器200的实施例(图2)而言，光到达光电探测器812、812A、812B、812C、912A和912B前所经过的距离更短，且发散更少。

[0136] 参见图10A、10B和10C并再参见图9A，示出了一种制造波长选择传感器900A(图9A)的方法。提供了一种具有相对的第一表面1021和第二表面1022的器件晶片1020(图10A)。然后，光电探测器912A和可选的接合垫929A在第二表面1022内形成，使得光电探测器912A从器件晶片1020内部面对第一表面1021(图10A)。然后，将器件晶片1020接合到一个可选的承载晶片1030上，对第一表面1021进行抛光去除，以暴露出阵列902的光电探测器912A及接合垫929A(图10B)。接合承载晶片1030，以提供机械强度，从而易于抛光。然后，滤光器200被逐层布置在接合垫929A之间的第一表面1021上(图10C)。此时可以将器件晶片1020切割为单独的器件芯片920。

[0137] 前述对本发明的一种或多种实施例的说明旨在作为例示和说明之用。其并不意味着已详尽说明或将本发明局限于所披露的具体形式。从上述讲述内容可知，可以有多种改动和变化形式。本发明的范围并不受此具体说明的限制，而是受所附权利要求的限制。

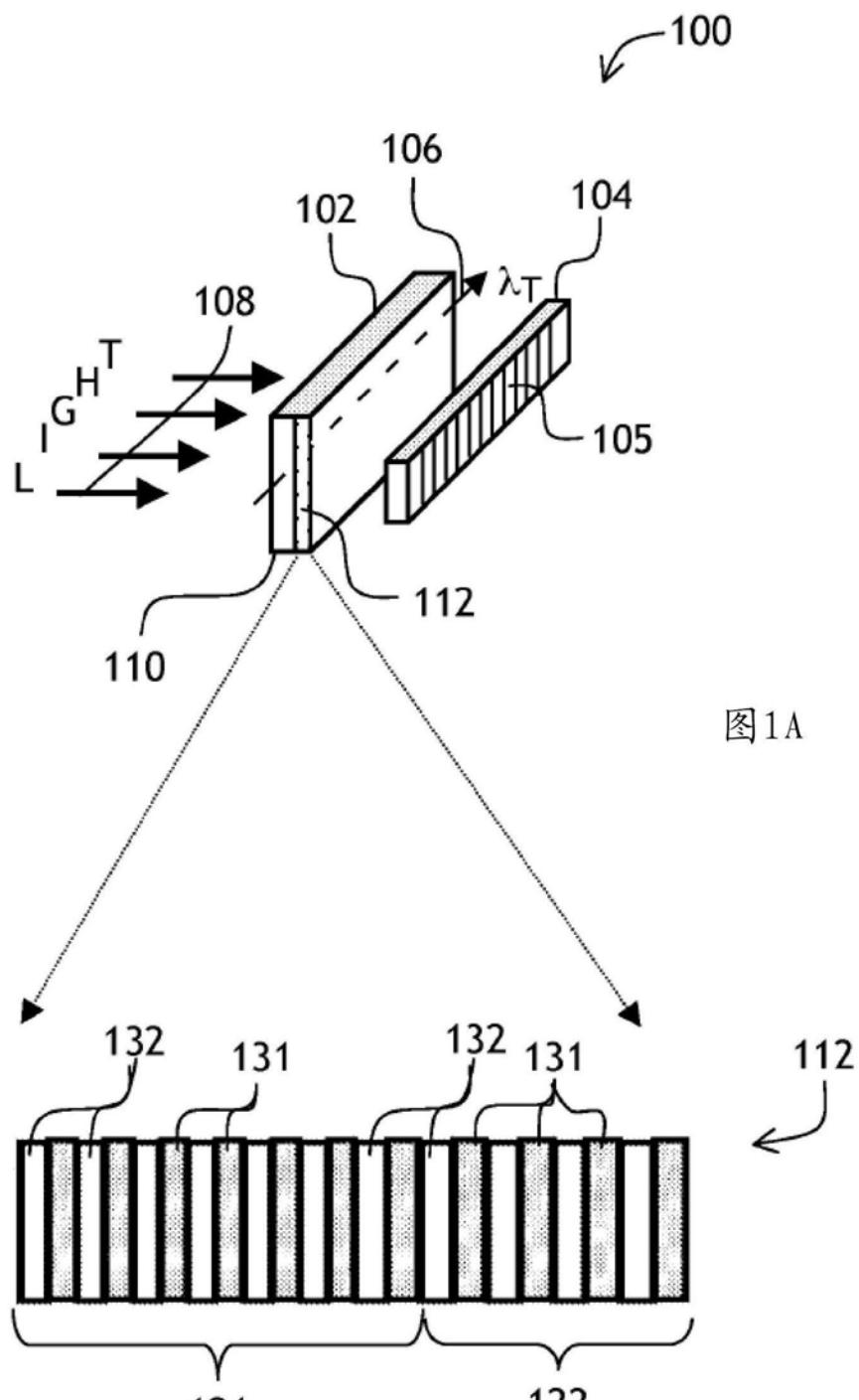


图1A

图1B

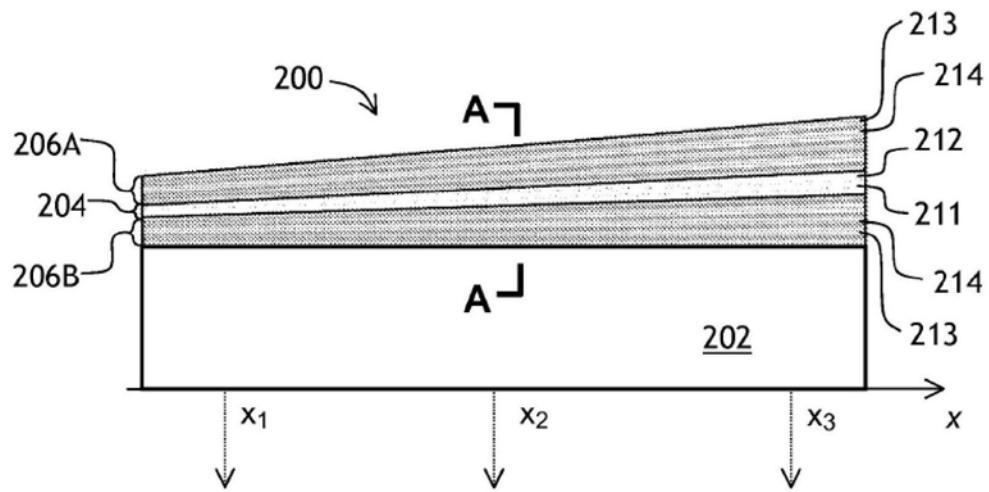


图2

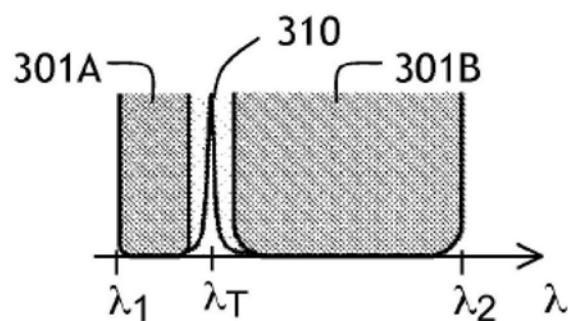


图3A

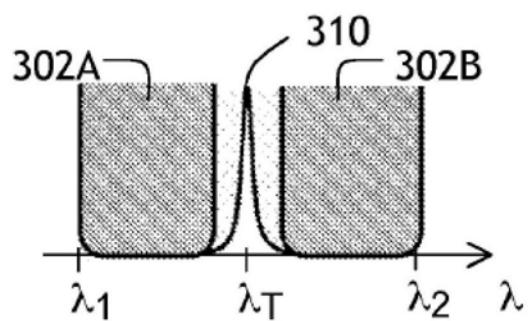


图3B

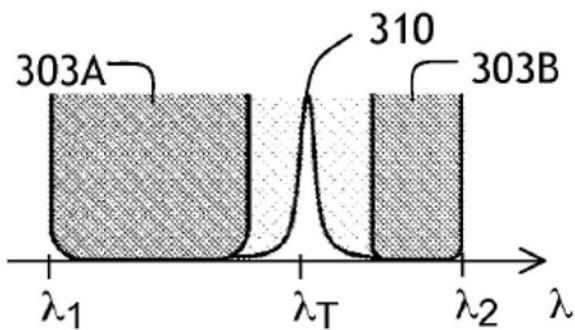


图3C

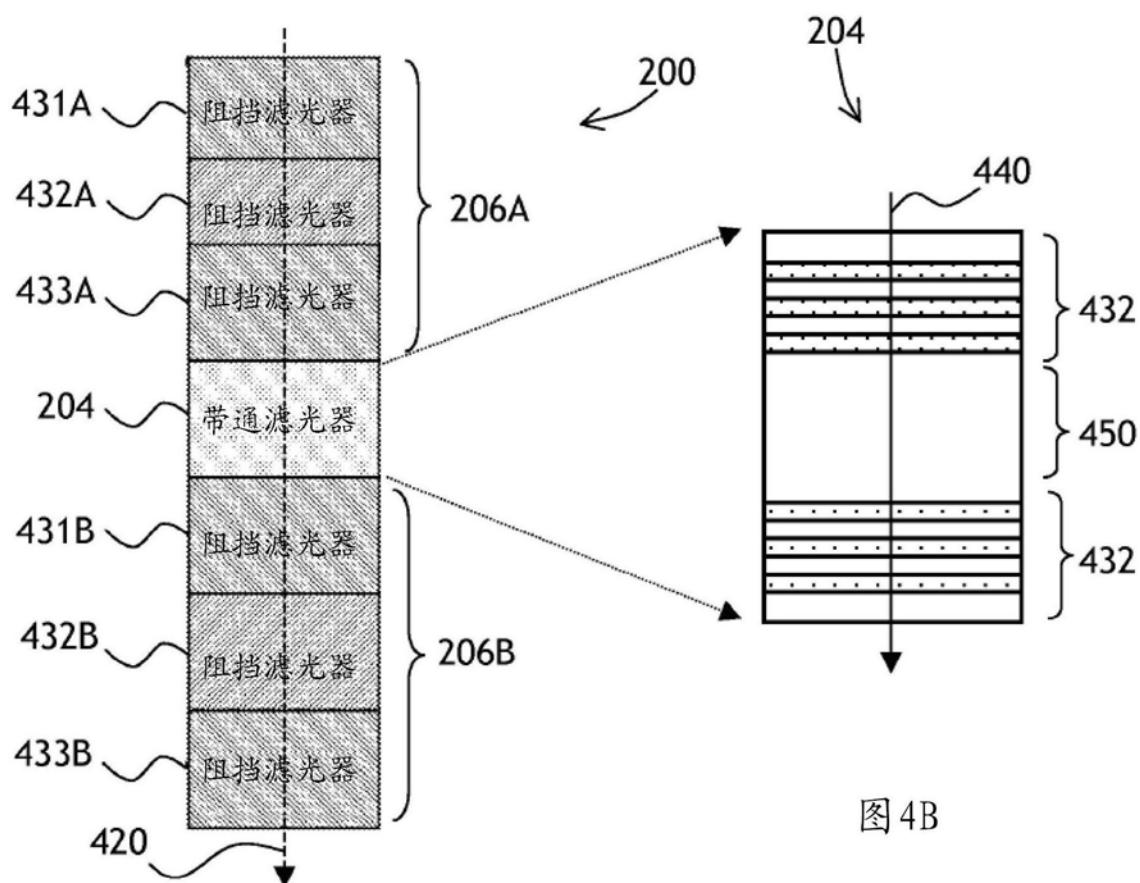
A-A

图4B

图4A

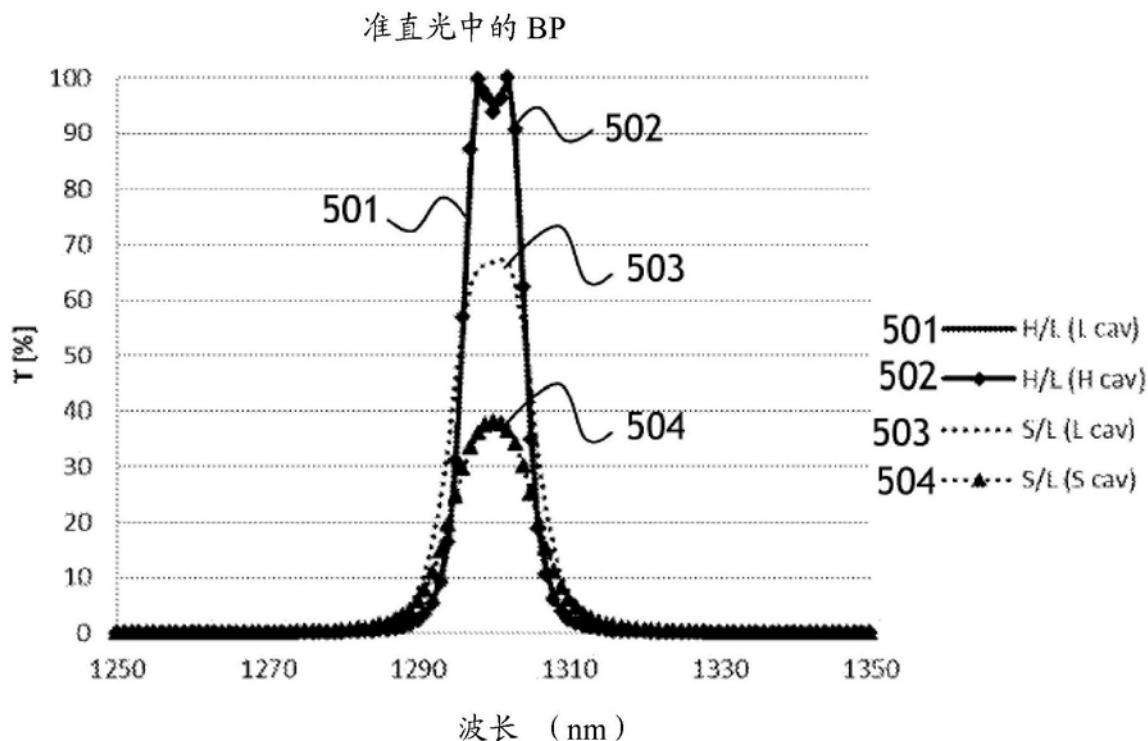


图5A

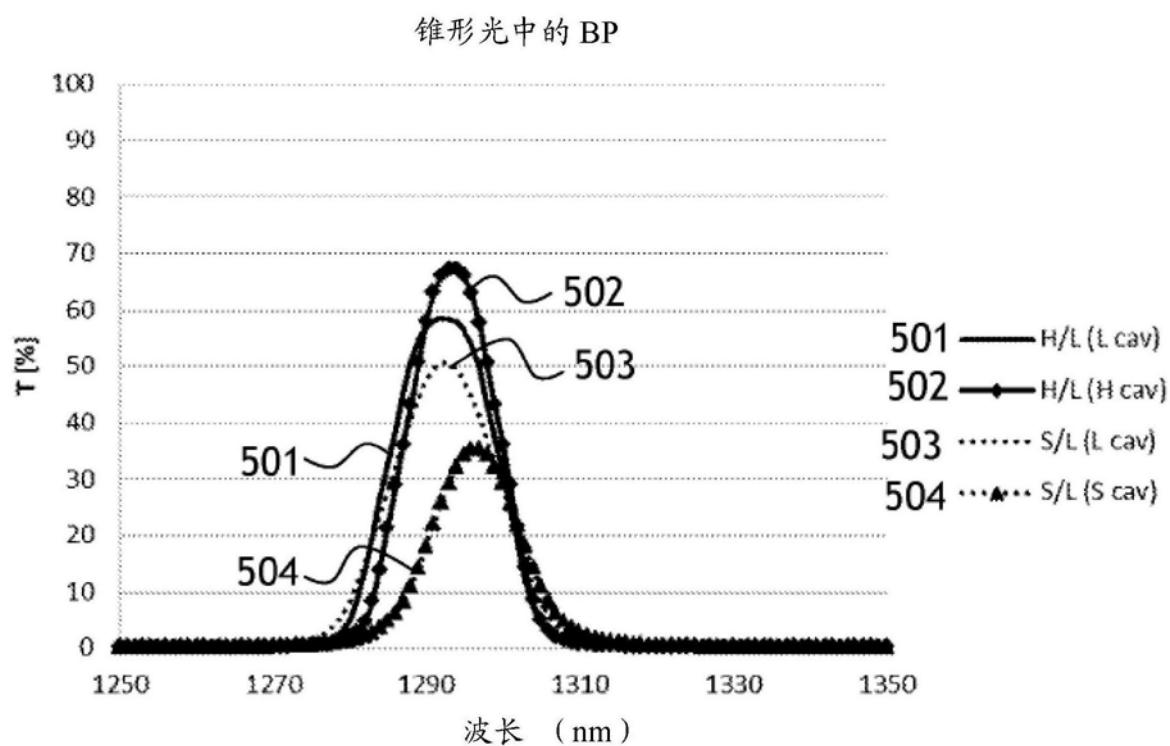


图5B

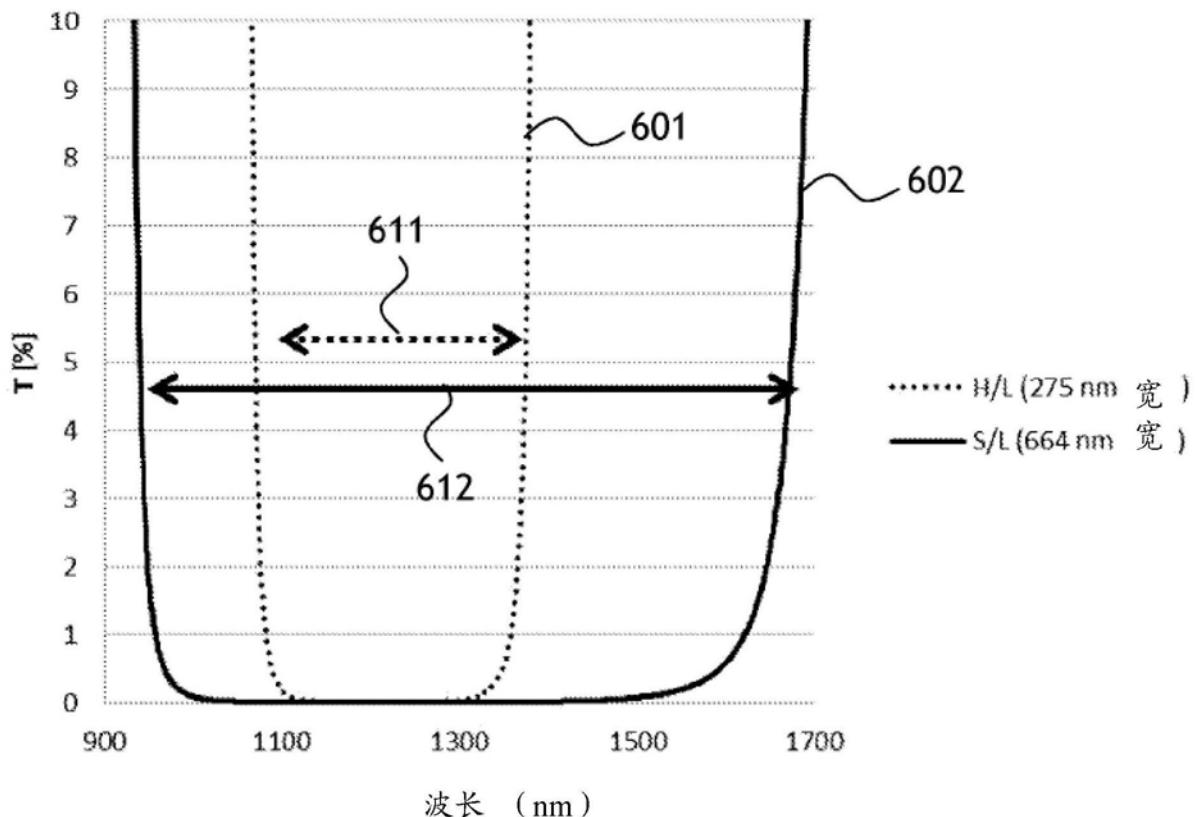


图6

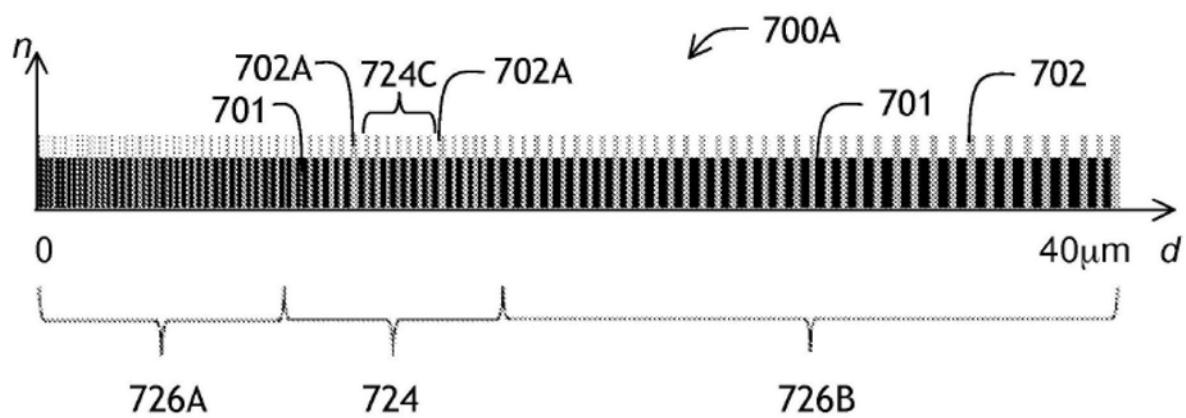


图7A

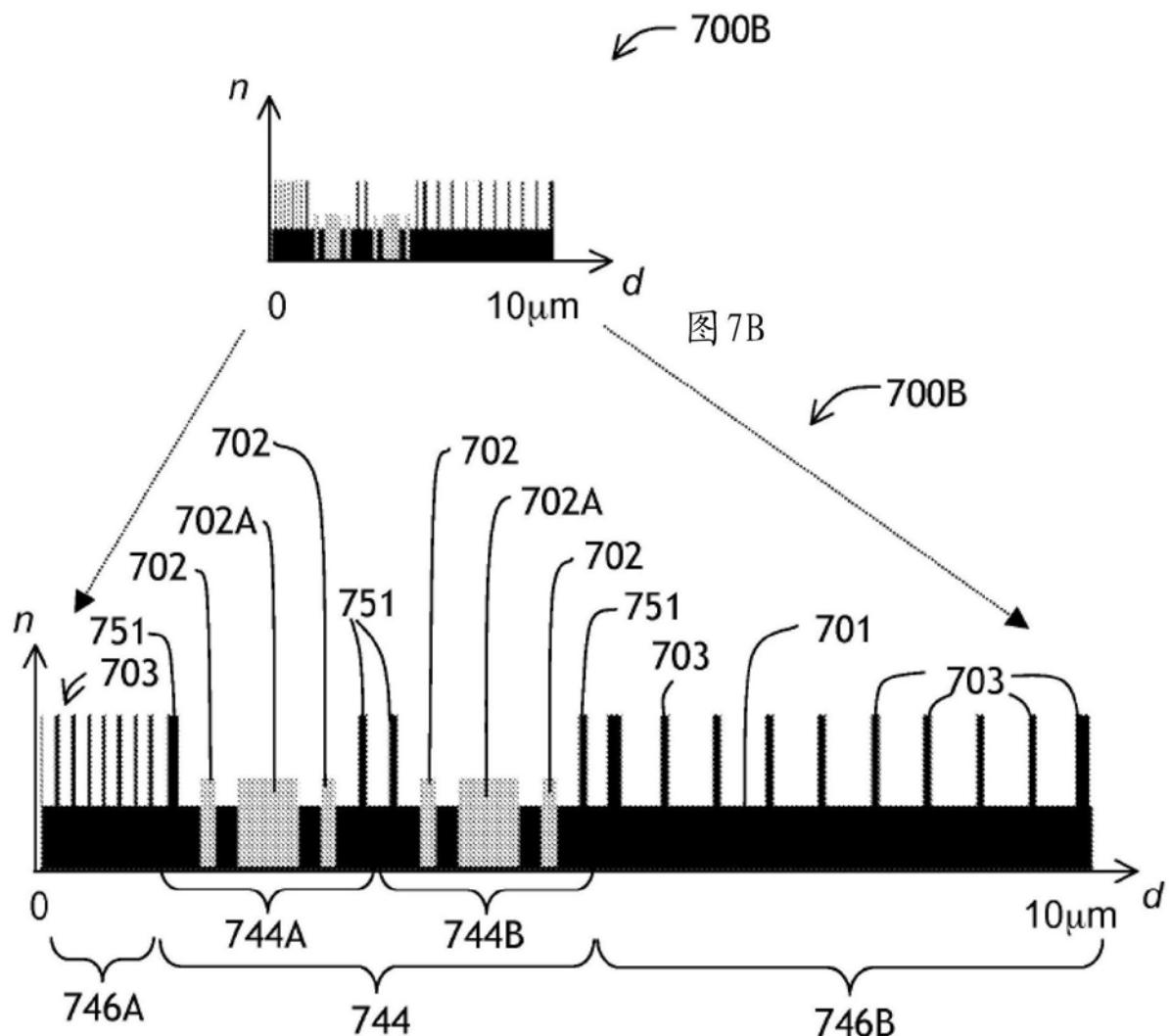


图 7C

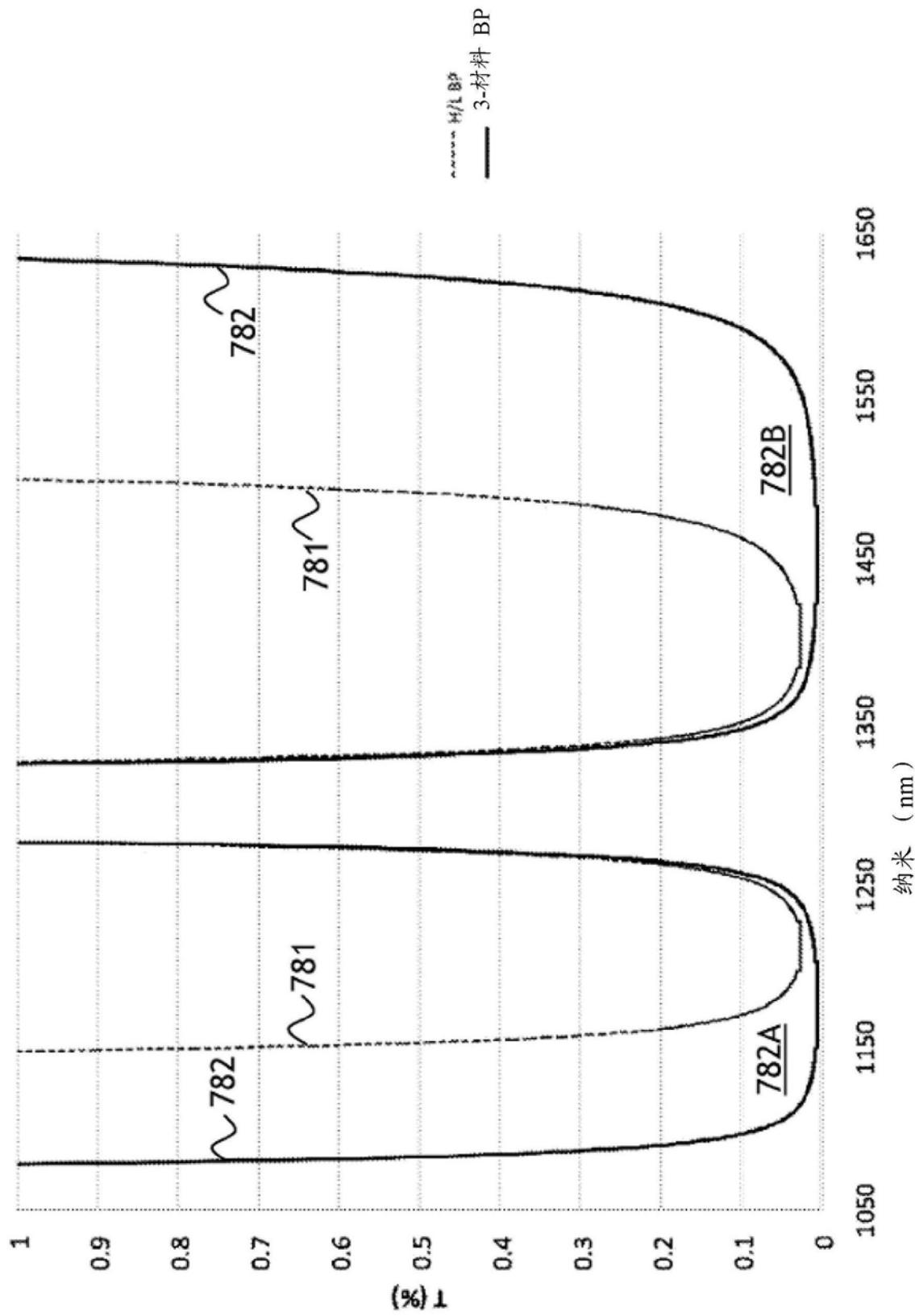


图7D

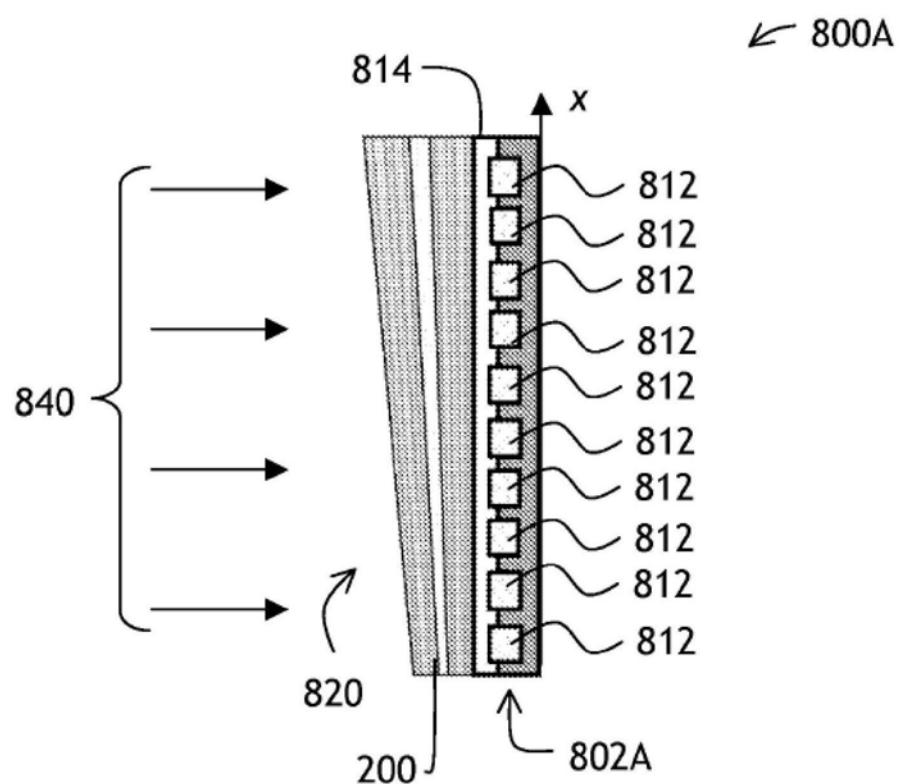


图8A

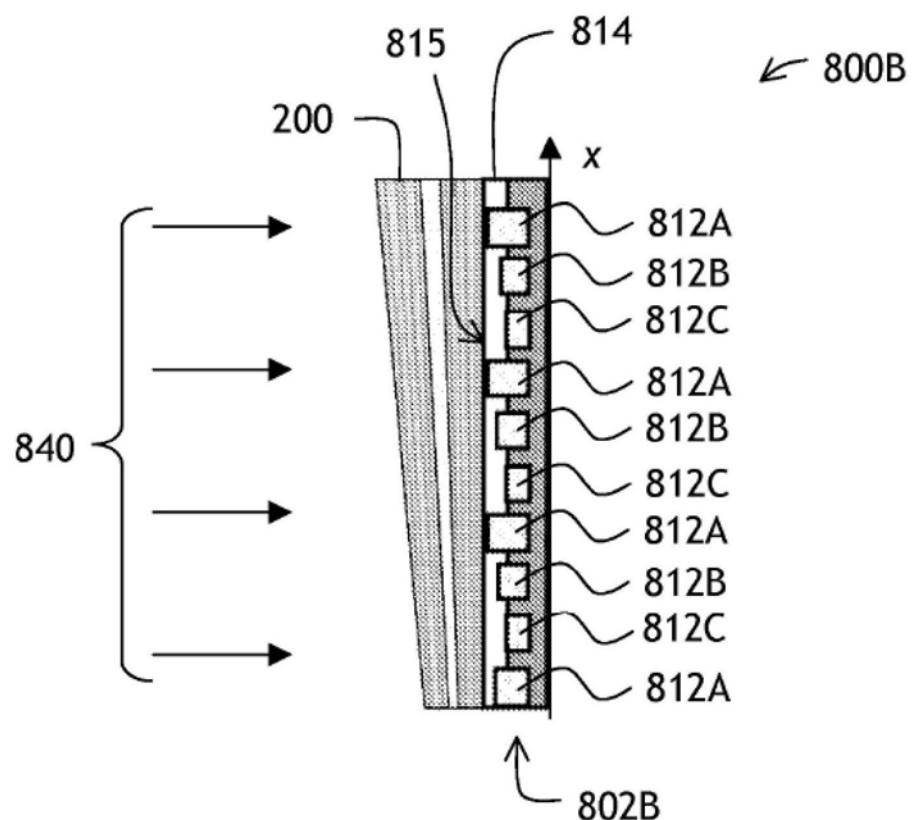


图8B

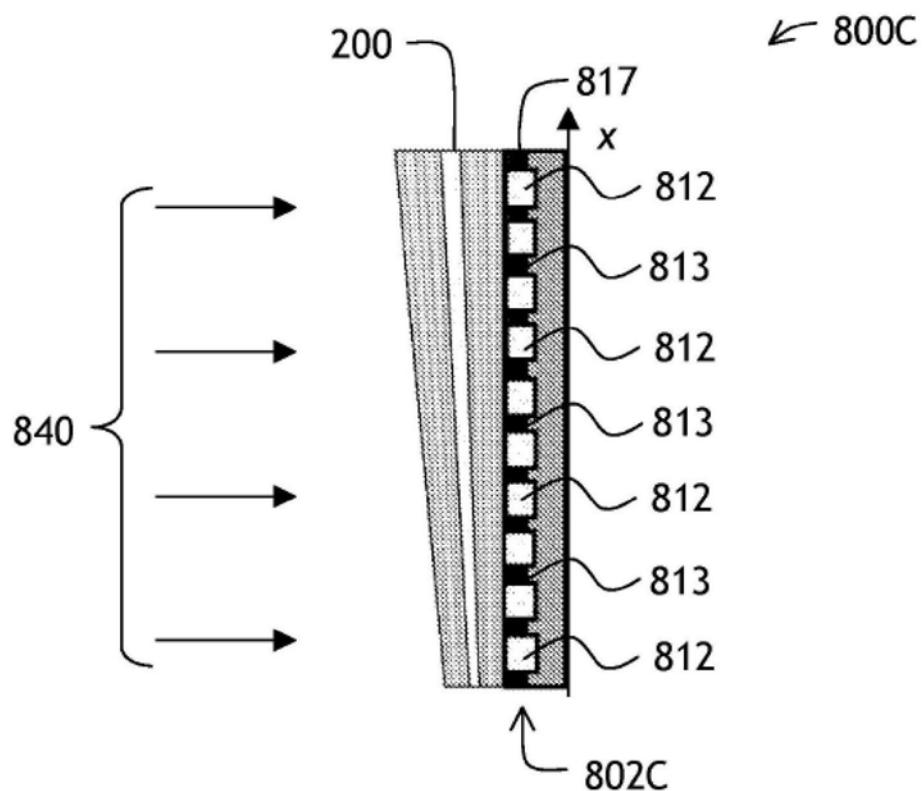


图8C

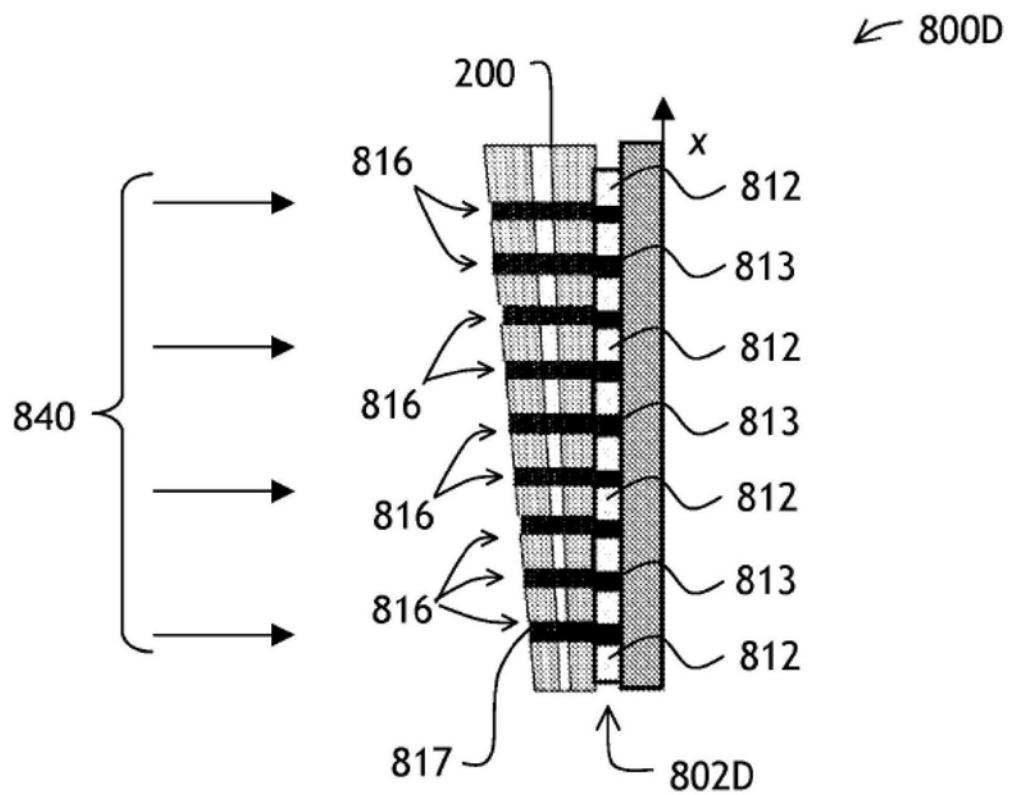


图8D

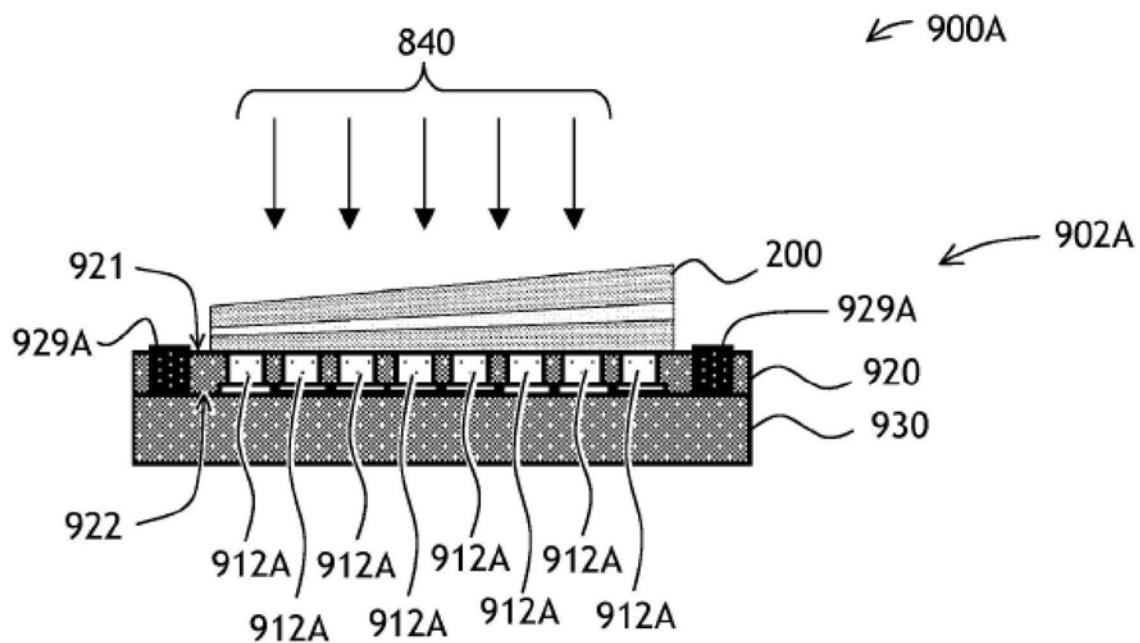


图9A

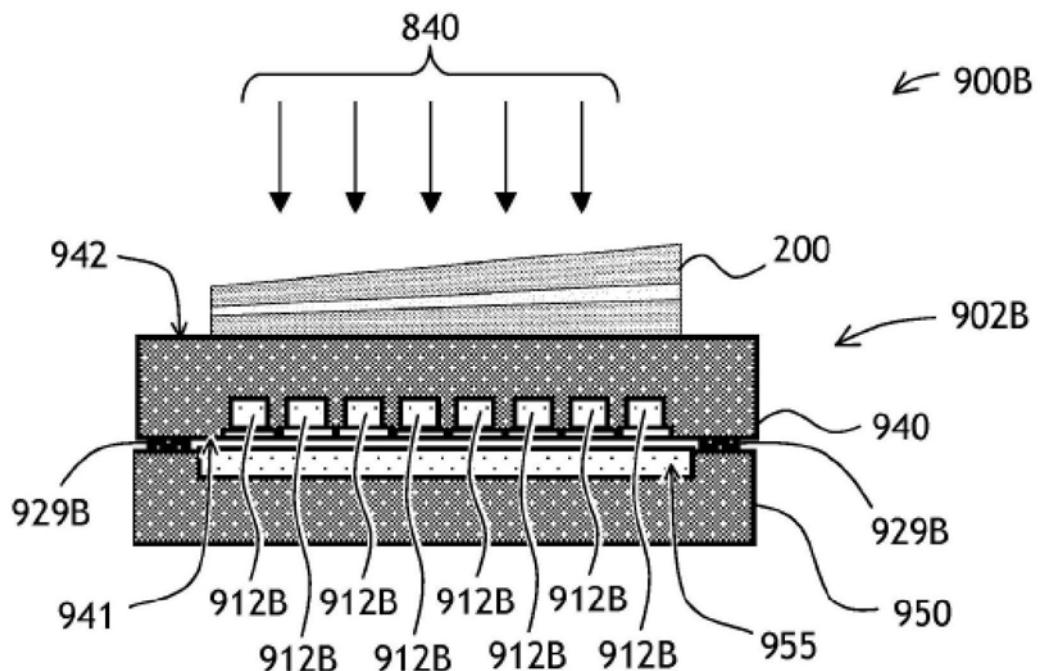


图9B

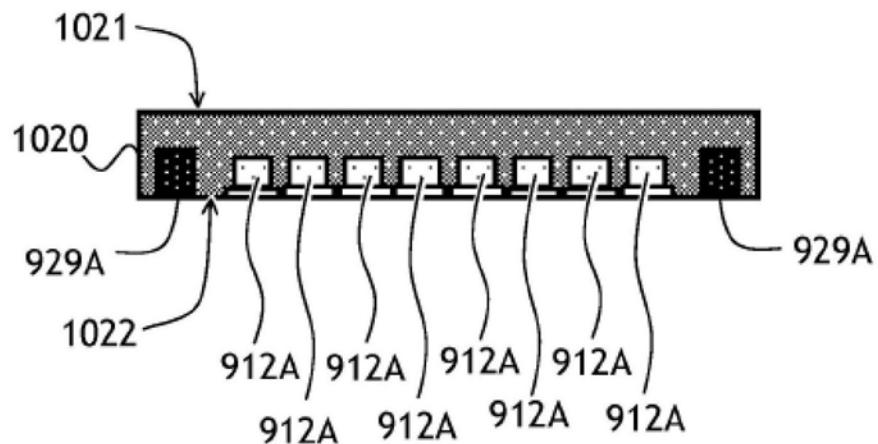


图10A

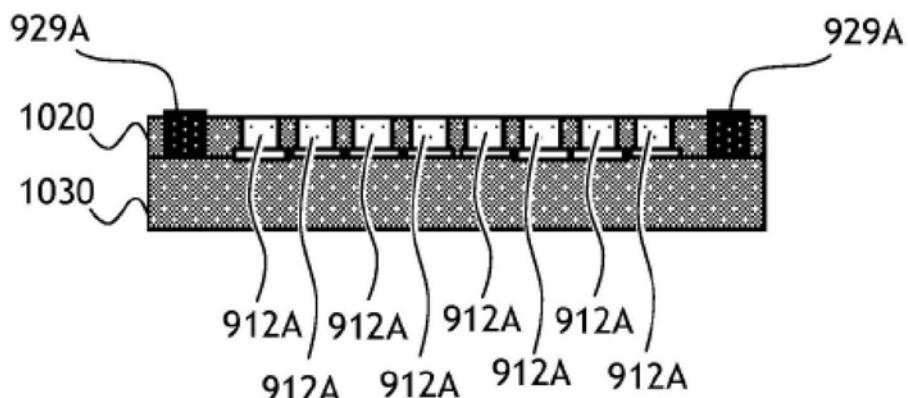


图10B

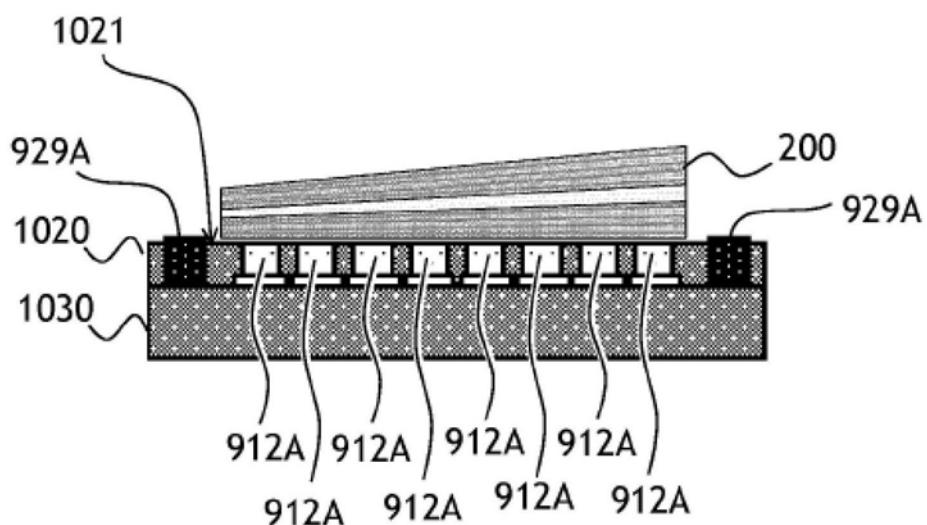


图10C