



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105190381 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 23

(21) 申请号 201480021423. X

(22) 申请日 2014. 04. 14

(30) 优先权数据

13/866, 853 2013. 04. 19 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 10. 15

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2014/033958 2014. 04. 14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/172258 EN 2014. 10. 23

(71) 申请人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

(72) 发明人 爱德华·J·基维尔

蒂莫西·J·内维特

迈克尔·F·韦伯

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112

代理人 顾红霞 彭会

(51) Int. Cl.

G02B 5/30(2006. 01)

B29D 11/00(2006. 01)

B32B 33/00(2006. 01)

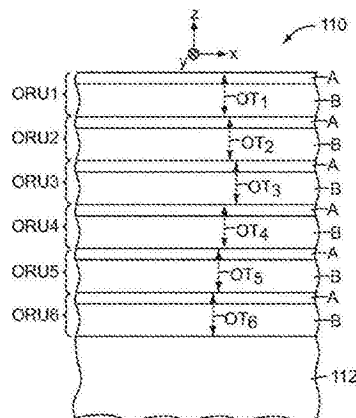
权利要求书2页 说明书28页 附图18页

(54) 发明名称

用于宽的可见红外覆盖的具有重叠谐波的多层叠堆

(57) 摘要

本发明提供了一种包括至少一个微层叠堆的宽带反射镜、偏振器,或其他反射器。所述微层叠堆中的微层被布置成光学重复单元。在设计入射角诸如垂直入射角下,所述微层叠堆提供第1阶反射带、第2阶反射带,以及可选的第3阶反射带。所述第2阶反射带与所述第1阶反射带和/或第3阶反射带重叠或基本上重叠,形成单条宽反射带。所述宽反射带可包括所述第2阶反射带和第1阶反射带但不包括第3阶反射带,或者包括所述第2阶反射带和第3阶反射带但不包括所述第1阶反射带,或者可包括所述第1阶反射带、第2阶反射带和第3阶反射带以及更高阶反射带。所述宽反射带可覆盖可见光波长和红外波长的至少一部分。



1. 一种多层光学膜,所述多层光学膜包括被布置成光学重复单元的微层叠堆;
其中,在设计入射角下,所述微层叠堆提供第1阶反射带、第2阶反射带和可选的第3阶反射带;
其中所述第1阶反射带至少部分地设置在720nm到2000nm的波长范围内;
其中所述第2阶反射带至少部分地设置在380nm到720nm的波长范围内;并且
其中所述第2阶反射带与所述第1阶反射带和所述第3阶反射带中的至少一者基本上重叠以形成单条宽反射带。
2. 根据权利要求1所述的多层光学膜,其中所述第2阶反射带与所述第1阶反射带基本上重叠,使得所述单条宽反射带包括所述第1阶反射带和所述第2阶反射带。
3. 根据权利要求2所述的多层光学膜,其中所述第2阶反射带与所述第1阶反射带重叠。
4. 根据权利要求2所述的多层光学膜,其中所述第1阶反射带和所述第2阶反射带具有基本上相等的反射率。
5. 根据权利要求4所述的多层光学膜,其中所述第1阶反射带和所述第2阶反射带具有相差小于10%分数值的平均反射率。
6. 根据权利要求2所述的多层光学膜,其中所述第1阶反射带和所述第2阶反射带具有显著不同的反射率。
7. 根据权利要求6所述的多层光学膜,其中所述第1阶反射带和所述第2阶反射带具有相差大于10%分数值的平均反射率。
8. 根据权利要求2所述的多层光学膜,其中所述微层叠堆不提供所述第3阶反射带。
9. 根据权利要求2所述的多层光学膜,其中所述微层叠堆提供所述第3阶反射带。
10. 根据权利要求9所述的多层光学膜,其中所述第3阶反射带至少部分地设置在300nm到380nm的波长范围内。
11. 根据权利要求1所述的多层光学膜,其中所述微层叠堆提供所述第3阶反射带,并且所述第2阶反射带与所述第3阶反射带基本上重叠,使得所述单条宽反射带包括所述第2阶反射带和所述第3阶反射带。
12. 根据权利要求11所述的多层光学膜,其中所述第2阶反射带与所述第3阶反射带重叠。
13. 根据权利要求11所述的多层光学膜,其中所述第2阶反射带与所述第1阶反射带基本上不重叠,使得所述单条宽反射带不包括所述第1阶反射带。
14. 根据权利要求11所述的多层光学膜,其中所述第2阶反射带和所述第3阶反射带具有基本上相等的反射率。
15. 根据权利要求14所述的多层光学膜,其中所述第2阶反射带和所述第3阶反射带具有相差小于10%分数值的平均反射率。
16. 根据权利要求11所述的多层光学膜,其中所述第2阶反射带和所述第3阶反射带具有显著不同的反射率。
17. 根据权利要求16所述的多层光学膜,其中所述第2阶反射带和所述第3阶反射带具有相差大于10%分数值的平均反射率。
18. 根据权利要求1所述的多层光学膜,其中所述第2阶反射带覆盖380nm到720nm的

波长范围内的至少 100nm。

19. 根据权利要求 1 所述的多层光学膜,其中所述单条宽反射带的反射率具有阶跃变化,并且其中所述微层叠堆以平滑变化的 ORU 厚度分布为特征。

20. 根据权利要求 1 所述的多层光学膜,其中所述第 2 阶反射带至少部分地设置在 300nm 到 380nm 的波长范围内。

用于宽的可见红外覆盖的具有重叠谐波的多层叠堆

技术领域

[0001] 本公开除了别的之外涉及多层光学膜,其反射和透射特性大部分由微层叠堆内的界面所反射的光的构造和相消干涉所确定。本公开还涉及组装此类光学膜的制品和系统,以及制造和使用此类膜的方法。

背景技术

[0002] 多层光学膜为已知的。此类膜可包括大量由不同的透光材料形成的薄层,该层称为微层,这是因为它们足够薄以使得光学膜的反射和透射特性在很大程度上取决于从层界面反射的光的相长干涉和相消干涉。根据各个微层所具有的双折射(如果有的话)的值和相邻微层的相对折射率差值并且另外根据其他设计特性,可将多层光学膜制备成具有这样的反射和透射特性:其可(例如)在一些情况下被表征为反射型偏振器,而在其他情况下被表征为反射镜。

[0003] 由多个微层构成的反射偏振器为人们所知已有一段时间,所述多个微层的面内折射率被选择成提供沿着面内阻光轴的相邻微层之间的显著折射率失配和沿着面内透光轴的相邻微层之间的显著折射率匹配,并且具有足够数量的层以确保对于沿一个主方向(称为阻光轴)偏振的垂直入射光具有高反射率、同时对于沿正交主方向(称为透光轴)偏振的垂直入射光保持低反射率和高透射率。参见(如)以下美国专利:3,610,729(Rogers)、4,446,305(Rogers 等人)和 5,486,949(Schrenk 等人)。

[0004] 近来,3M 公司的研究人员已经指出此类膜沿垂直于膜的方向(即 z 轴)的层对层折射率特性的重要性,并且已表明这些特性如何对膜在斜入射角下的反射率和透射率起重要作用。参见(如)美国专利 5,882,774(Jonza 等人)。除了别的以外,Jonza 等人教导了:如何定制相邻微层之间的 z 轴折射率失配(简称为 z 折射率失配或 Δn_z)以便于构造布鲁斯特角(p 偏振光在界面处的反射率变为零的角度)非常大或不存在的多层叠堆。这继而允许构造这样的多层反射镜和偏振器:其 p 偏振光的界面反射率随着入射角增加而缓慢减小,或与入射角无关,或随着入射角偏离法向而增大。因此,可以获得在宽带宽对 s 偏振光和 p 偏振光均具有高反射率的多层膜(对于反射镜以任何入射方向,对于偏振片以选定的方向)。

[0005] 一些多层光学膜被设计用于窄带操作(即,在窄波长范围上),而其他多层光学膜被设计用于在宽波长范围上使用,例如,在基本上整个可见光或明度光谱、或者(例如)外加近红外波长的可见光或明度波长范围上。在宽带反射器中,微层布置成光学重复单元,其中光学重复单元的光学厚度值从膜的第一侧面增加到膜的第二侧面。这种层厚度的布置称为梯度层厚度分布。通常,不利的是,不管是在垂直入射光下,还是对于倾斜入射光,这种宽带反射器向系统赋予显著的彩色(非白色)外观。当该多层光学膜在光谱的可见部分上具有不均一的透射或反射特性时会产生彩色外观。就共挤出的聚合物多层光学膜而言,这种不均一性通常归因于该多层光学膜的层厚度分布相对于目标分布的不良控制。为了避免彩色问题,聚合物多层光学膜通常被设计为提供沿其主轴的极低反射率和高透射率(如,对

于以透射观察的反射偏振器的透光轴)或者极高反射率和低透射率(如,对于反射偏振器的阻光轴或对于以反射观察的反射镜膜的任何面内轴)。然而,在一些情况下,中间量的反射和透射是可取的。解决这种部分反射/部分透射膜中的彩色问题的一种方法为利用具有精心定制的层厚分布的仅单个微层分组或叠堆来提供这种膜并且在不使用层倍增器装置的情况下来制造这种膜,由此实现对层厚分布的最大控制和在可见光波长范围上的透射率或反射率的相应最小光谱波动。

[0006] 也已经知道定制多层光学膜以在光谱的红外光部分提供高反射率。这种膜通常设计成在红外光波长的第1阶反射带提供高反射率并且抑制高阶反射,从而避免光谱可见光部分的反射。参见(如)以下美国专利:3,247,392(TheIen)、5,103,337(Schrenk 等人)、5,360,659(Arends 等人)以及7,019,905(Weber)。

发明内容

[0007] 除了别的之外,本公开描述多层光学膜和膜主体,在所述多层光学膜和膜主体内,给定连续微层叠堆在正常入射角或一些设计入射角下提供至少第1阶反射带和第2阶反射带,并且在一些情况下也提供第3阶反射带。其中,第2阶反射带与第1阶反射带和第3阶反射带中的一者或两者重叠,从而提供覆盖可见波长和红外波长的至少一部分的单条宽反射带。就镜子而言,单条宽反射带可能与垂直偏振状态相关联,或者就偏振镜而言,单条宽反射带可能只与一个偏振态相关联。为了澄清并精确定义如下概念,诸如给定的反射带与另一反射带是否“重叠”或“基本重叠”,给定的反射带是否“不同于”另一反射带(即并未基本重叠,或在光谱上分离),或者甚至给定的反射带是否存在,我们将出于本申请的目的在下面详细讨论本申请中的“反射带”的意思。出于本申请的目的,这些详细讨论同样也限定(单个)反射带的相关光谱特性,诸如它的短波长带边缘、长波长带边缘及其反射能力。

[0008] 出于本申请的目的,可见光的波长范围假定为380nm到720nm,红外波长范围假定为720nm到至少2000nm。此外,近紫外光(近UV)波长范围假定为300nm到380nm。

[0009] 本申请还公开了包括被布置成光学重复单元的微层叠堆的多层光学膜和相关制品。在设计入射角下,该叠堆提供第1阶反射带和第2阶反射带,以及可选的第3阶反射带。第1阶反射带至少部分地设置在720nm到2000nm的波长范围内。第2阶反射带至少部分地设置在380nm到720nm的波长范围内。第2阶反射带与第1阶反射带和第3阶反射带中的至少一者基本上重叠,形成单条宽反射带。在一些情况下,第2阶反射带部分地设置在300nm到380nm的近UV光波长范围,并且如果存在第3阶反射带,它也可部分地设置在近UV光波长范围内。

[0010] 第2阶反射带可基本与第1阶反射带相重叠,使得单条宽反射带内包括第1阶和第2阶反射带。第2阶反射带可与第1阶反射带重叠。第1阶和第2阶反射带可具有基本相等的反射率,例如,它们可具有相差可小于10%分数值的平均反射率。可选地,第1阶和第2阶反射带具有基本不同的反射率,例如,它们可具有相差可大于10%分数值的平均反射率。在一些情况下,该叠堆可不提供第3阶反射带。

[0011] 在其他情况下,该叠堆可提供第3阶反射带。第3阶反射带可部分地设置在300nm到380nm的波长范围内。第2阶反射带可基本与第3阶反射带重叠,使得单条宽反射带包括第2阶和第3阶反射带。第2阶反射带可与第3阶反射带重叠。第2阶反射带可不与第

1 阶反射带基本重叠,使得单条宽反射带不包括第 1 阶反射带。第 2 阶和第 3 阶反射带具有基本相等的反射率,例如,它们的平均反射率的差值可小于 10% 分数值。可选地,第 2 阶和第 3 阶反射带具有基本不同的反射率,例如,它们可具有差值可大于 10% 分数值的平均反射率。第 2 阶反射带可覆盖 380nm 到 720nm 的波长范围内的至少 100nm。单条宽反射带的反射率中可有阶跃变化,叠堆的微层可以平滑改变的 ORU 厚度分布为特征。第 2 阶反射带可部分地设置在 300nm 到 380nm 的波长范围内。

[0012] 例如,如果第 2 阶反射带与例如第 1 阶反射带实际上不重叠但是十分接近于基本重叠,那么第 2 阶反射带可具有长波长带边缘,该长波长带边缘的波长 λ_{L2nd} 与第 1 阶反射带的短波长带边缘 λ_{S1st} 不同但相差不超过 λ_{S1st} 的 5%。同样,如果第 2 阶反射带与第 3 阶反射带实际上没有重叠但是十分接近于基本重叠,那么第 2 阶反射带可具有短波长带边缘,该短波长带边缘的波长 λ_{S2nd} 与第 3 阶反射带的长波长带边缘 λ_{L3rd} 不同但相差不超过 λ_{S2nd} 的 5%。我们使用的术语“基本重叠”等包括如下两种情形:一,两条反射带实际重叠的情形,即,一条带的长或短波长带边缘落在另一条带的长和短波长带边缘之间;二,两条带(由各自的带边缘确定)不实际重叠,而是有以上所述的 5% 容差。

[0013] 设计入射角可以是正常的入射角,也可以是所需的其他入射角。膜可以是偏振镜或包括偏振镜,第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带可只与两个垂直偏振状态中的一个相关联。另选地,膜可以是镜子或包括镜子,第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带可与两个垂直偏振状态相关联。

[0014] 本文也讨论了相关方法、系统和制品。

[0015] 本申请的这些方面和其他方面通过下文的具体实施方式将显而易见。然而,在任何情况下都不应将上述发明内容理解为是对要求保护的主题的限制,该主题仅由所附权利要求书限定,并且在审查期间可进行修改。

附图说明

[0016] 结合附图可有助于更全面地理解本发明,其中:

[0017] 图 1 是多层光学膜的示例性光学重复单元 (ORU) 的示意性透视图;

[0018] 图 2 是多层光学膜的一部分的示意性透视图,该视图示出了一个微层分组或微层叠堆和多个 ORU;

[0019] 图 3 是形成一组 ORU 的微层叠堆的层厚度分布的一个理想化代表;

[0020] 图 4 是诸如图 3 中的微层叠堆可产生的各种谐波反射带的理想化示意图,具体视微层叠堆的设计细节而定;

[0021] 图 5A 是作为微层叠堆 f 比率函数的相对反射能力的曲线图;

[0022] 图 5B 是作为微层叠堆 f 比率函数的相对傅立叶系数幅度的曲线图;

[0023] 图 6A 是显示由 f 比率为 0.5 的微层叠堆产生的谐波反射带(多至第 4 阶)的理想化示意图;

[0024] 图 6B 是类似于图 6A 的理想化示意图,但微层叠堆的 f 比率为 $1/3$ 或 $2/3$;

[0025] 图 7 是具有一个微层叠堆的多层光学膜的示意透视图;

[0026] 图 8 是具有两个不同微层叠堆的多层光学膜制品的示意透视图;

[0027] 图 9A 是反射率与波长的理想化图,示出了如何通过 0.25 的 f 比率和适当定制的

层厚度分布使来自给定微层叠堆的不同谐波反射带（尤其包括第 2 阶反射带）重叠；

[0028] 图 9B 是类似于图 9A 的理想化图，但示出了重叠谐波带如何产生覆盖可见波长和红外波长的至少一部分的单条宽反射带；

[0029] 图 10A 是类似于图 9B 的理想化图，但其中叠堆的 f 比率变成了 0.33，使得第 2 阶反射带的反射率与第 1 阶反射带的反射率显著不同，并且没有产生第 3 阶反射带；

[0030] 图 10B 是类似于图 10A 的理想化图，但示出了重叠谐波带如何产生覆盖可见波长和红外波长的至少一部分的单条宽反射带；

[0031] 图 11A 是类似于图 9A 和 10A 的理想化图，但其中叠堆假定为具有不同 ORU 厚度梯度且 f 比率为 0.59，使得第 2 阶反射带与第 3 阶反射带基本重叠但不与第 1 阶反射带重叠；

[0032] 图 11B 是类似于图 11A 的理想化图，但示出了重叠的第 2 阶和第 3 阶反射带（以及第 4 阶反射带）如何产生覆盖可见波长和红外波长的至少一部分的单条宽反射带；

[0033] 图 12 是类似于图 5A 相对反射能力与 f 比率的图，但该图包括显示如何通过使用谐波反射带的组合（如第 1 阶和第 2 阶反射带，或第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带）来增强相对反射能力的附加曲线；

[0034] 图 13 是模型化的第一微层叠堆的层厚度分布图，该第一叠堆的 f 比率为 0.25，该图包含一个代表叠堆内 ORU 光学厚度的曲线，以及可用于确定叠堆总反射率的哪个部分随不同高阶谐波改变的相关曲线；

[0035] 图 14A 是第一微层叠堆的计算光谱反射率或模型化光谱反射率的图，其中使用一种方法分开描绘和识别由第一微层叠堆产生的第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带；

[0036] 图 14B 是第一微层叠堆的计算总光谱反射率或模型化总光谱反射率的图，不考虑单独的谐波识别；

[0037] 图 15A 是比较第一微层叠堆的模型化光谱反射率与第一对比微层叠堆的模型化光谱反射率的图，其中第一对比微层叠堆的反射带没有明显的第 2 阶组分并且几乎完全由第 1 阶谐波产生；

[0038] 图 15B 是比较第一微层叠堆的 ORU 厚度分布与第一对比微层叠堆的 ORU 厚度分布的层厚度分布图；

[0039] 除了图中标绘的两个点代表第一微层叠堆和第一对比微层叠堆的操作以外，图 15C 与图 12 基本相同；

[0040] 图 16A 是第二模型化微层叠堆的计算光谱反射率或模型化光谱反射率的图，该第二模型化叠堆类似于第一模型化叠堆，但其 f 比率为 0.33，并且其中使用我们的方法来分开描绘和识别由第二模型化叠堆产生的第 1 阶和第 2 阶反射带；

[0041] 图 16B 是第二模型化叠堆的计算总光谱反射率或模型化总光谱反射率的图，其中不考虑单独的谐波识别；

[0042] 图 16C 是一个类似于图 16B 的图，不过示出的是 f 比率从 0.33 变化成 0.36 时第二模型化叠堆的计算总光谱反射率或模型化总光谱反射率如何变化；

[0043] 图 17 是模型化的第三微层叠堆的层厚度分布图，该第三模型化叠堆的 f 比率为 0.59，该图包含一个代表叠堆内 ORU 光学厚度的曲线，以及可用于确定叠堆总反射率的哪个部分随不同高阶谐波改变的相关曲线；

[0044] 图 18A 是第三模型化叠堆的计算光谱反射率或模型化光谱反射率的图，其中使用

我们的方法分开描绘和识别由第三模型化叠堆产生的第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带；

[0045] 图 18B 是第三模型化叠堆的计算总光谱反射率或模型化总光谱反射率的图，其中不考虑单独的谐波识别；

[0046] 图 19 是具有两个变迹光学分组或叠堆的微层光学膜的层厚度分布图，其中两个变迹光学分组或叠堆中包括本文中称为第二对比叠堆的微层叠堆；

[0047] 图 20 是从图 19 的第二对比叠堆和另一个微层叠堆得到的透射光谱的图；

[0048] 图 21 是第二微层叠堆的计算总光谱反射率或模型化总光谱反射率的图，其中使用我们的方法分开描绘和识别由第二对比叠堆产生的第 1 阶和第 2 阶反射带；

[0049] 本文示出的示意图未必按比例绘制，然而除非另外指明，否则假定本文的图具有准确的尺寸。附图中使用的类似标号是指类似元件。

具体实施方式

[0050] 如上所述，我们在这里公开的尤其是光学制品，诸如多层光学膜和膜组合物，其中至少一个微层叠堆或分组在设计入射角提供多谐波反射带，包括第 2 阶反射带和第 1 阶反射带，并且第 2 阶反射带与第 1 阶反射带和 / 或第 3 阶反射带（如果第 3 阶反射带存在）重叠或基本重叠，从而提供覆盖可见波长和红外波长的至少一部分的单条宽反射带。本公开中给定叠堆反射带之间提供的关系和不同叠堆反射带之间提供的关系，依赖于对于什么是反射带和它的部分属性特征是什么，具体地讲，即反射带的相对界限或边缘的光谱位置的清楚和精确的定义。出于本公开的目的，这种定义在下面会随着光学重复单元 (ORU)、多层叠堆和谐波反射的讨论进一步提供。

[0051] 在一些情况下，本公开的光学膜构造可提供宽带局部反射器的带内透射和反射光的平滑光谱。宽带局部反射器基本上消除了带内振铃，提供带内透射和反射光的平滑光谱。已经发现的是，具有变迹梯度厚度分布的宽带局部反射器光学膜减少或基本上消除带内光谱振铃，并相应地减少或基本上消除非期望的彩色。使用变迹技术可终止梯度层厚度分布，使得光谱特征最小化，例如进一步在 2013 年 3 月 15 日提交的美国专利 13/844,664 “Multilayer Stack Combinations With Interleaved Overlapping Harmonics for Wide Visible-Infrared Coverage” (用于宽可视红外覆盖的具有间叶层状重叠谐波的多层叠堆组合物) 中描述的光谱振铃 (该光谱特征在一些应用中是不可取的)，该专利以引用方式并入本文。

[0052] 出于本文所示和所述的附图的目的，为了简单起见，假定多层光学膜主体在膜主体的平面内不具有空间变化。因此，假定给定膜主体的光谱反射和透射特性与膜上被测量的定位或位置 (如, (x, y) 坐标) 无关。然而，一般来讲，根据已知的膜设计、处理和后处理技术，任何公开的膜主体都可制成在膜主体的平面内具有空间变化的形式。

[0053] 现在参见图 1，其示出了多层光学膜的示例性光学重复单元 (ORU) 的示意透视图。图 1 仅示出多层光学膜 100 的两个层，该光学膜可包括几十或几百个以一个或多个邻接分组或叠堆排列的此类层。膜 100 包括单个微层 102、104，其中“微层”是指这样的层，其足够薄，使得在此类层之间的多个界面处反射的光发生相长干涉或相消干涉，以赋予多层光学膜所需的反射或透射特性。微层 102、104 可以一起表示多层叠堆的一个光学重复单元 (ORU)，ORU 是在整个叠堆厚度中以重复图案重现的最小层组。这些微层具有不同的折射率

特性,以使得一些光在相邻微层间的界面处被反射。对于设计用于反射紫外、可见或近红外波长光的光学膜而言,每一微层的光学厚度(即物理厚度乘以相关折射率)通常小于约 1 微米。然而,根据需要其中也可以包括更厚的层,例如膜外表面处的表层或设置在膜内隔开微层的分组的保护性边界层(PBL)。

[0054] 微层之一(例如图 1 的层 102,或下图 2 的“A”层)对沿主 x 轴、y 轴和 z 轴偏振的光的折射率分别为 n_{1x} 、 n_{1y} 和 n_{1z} 。互相正交的 x 轴、y 轴和 z 轴可例如对应于材料的介电张量的主方向。在许多实施例中并且出于讨论的目的,不同材料的主方向为一致的方向,但一般不必如此。相邻微层(例如图 1 中的层 104,或图 2 中的“B”层)沿相同轴的折射率分别为 n_{2x} 、 n_{2y} 、 n_{2z} 。这些层之间的折射率的差值沿 x 方向为 $\Delta n_x (= n_{1x} - n_{2x})$ 、沿 y 方向为 $\Delta n_y (= n_{1y} - n_{2y})$,并且沿 z 方向为 $\Delta n_z (= n_{1z} - n_{2z})$ 。这些折射率差异的性质连同膜中(或膜的给定叠堆中)的微层数量及其厚度分布一起控制膜(或膜的给定叠堆)的反射和透射特性。例如,如果相邻微层沿一个面内方向具有大的折射率失配(Δn_x 大),并且沿正交面内方向具有小的折射率失配($\Delta n_y \approx 0$),则膜或层组就垂直入射光而言可以起到反射型偏振器的作用。反射偏振片可被视为这样的光学主体:如果波长在分组的反射带内,其强烈反射沿一条面内轴(称为“阻光轴”)偏振的垂直入射光,并且强烈透射沿正交的面内轴(称为“透光轴”)偏振的此类光。

[0055] 如果需要,还可以定制针对沿 z 轴偏振的光的相邻微层间的折射率差值(Δn_z),以便得到斜入射光的 p 偏振分量的期望反射特性。为了保持对以倾斜角度入射的 p 偏振光的近轴向反射率,各微层之间的 z 轴折射率失配 Δn_z 可以控制为显著小于面内折射率最大差值 Δn_x ,使得 $\Delta n_z \leq 0.5 * \Delta n_x$ 。作为另外一种选择, $\Delta n_z \leq 0.25 * \Delta n_x$ 。量值为零或几乎为零的 z 轴折射率失配产生了微层之间的这样的界面:取决于入射角,该界面对 p 偏振光的反射率为常数或几乎为常数。此外,z 轴折射率失配 Δn_z 可以控制为与面内折射率差值 Δn_x 相比具有相反的极性,即, $\Delta n_z < 0$ 。此条件会产生其反射率对于 p 偏振光随入射角增加而增大的界面,对于 s 偏振光的情形也一样。如果 $\Delta n_z > 0$,则对 p 偏振光的反射率随入射角而减小。上述关系当然也适用于涉及 Δn_z 和 Δn_y 的关系,例如,在其中需要沿两个主面内轴具有显著反射率和透射率的情况下(例如,均衡的或对称的部分反射型反射镜膜、或者透光轴在垂直入射下具有显著反射率的部分偏振膜)。

[0056] 在图 2 的示意性侧视图中,示出了多层膜 110 的更多内层,从而可观察到多个 ORU。在局部 x-y-z 笛卡尔坐标系示出了该多层膜,其中膜平行于 x 轴和 y 轴延伸,并且 z 轴垂直于膜及其组成层且平行于膜的厚度轴。

[0057] 在图 2 中,将微层标记为“A”或“B”,“A”层由一种材料构成,“B”层由不同的材料构成,这些层以交替排列的方式叠堆,以形成光学重复单元或单位单元 ORU 1、ORU 2、...ORU 6,如图所示。在许多实施例中,如果需要高反射率,则全部由聚合物材料构成的多层光学膜便会包括多于 6 个的光学重复单元。多层光学膜 110 显示为具有显著较厚的层 112,所述层可代表可将图中所示的微层叠堆与另一个微层叠堆或分组(如果存在)分隔开的外表层或保护性边界层(“PBL”,参见美国专利 6,783,349(Neavin 等人))。此外,如果需要,可(例如)利用一层或多层厚粘合剂层或利用压力、热或其它方法将两个或更多个单独的多层光学膜层合在一起,以形成层合膜或复合膜。

[0058] 一般来讲,微层的边界既可是突变的也可是渐变的。对于后一个情况,折射率可例

如从高折射率区域沿着 $1/2$ 波长厚度方向的距离逐渐改变到低折射率区域。这里所描述的每个微层可以是两种或多种材料的共混物。例如每个微层可包括不同比例的材料 A 和材料 B, 以便于提供折射率从低改变到高的空间变化。当使用诸如“微层的叠堆”、“微层的分组”等时, 我们旨在包括膜中的一个区域, 该区域具有以重复形式从高到低再回到高的连续变化指数, 以便形成不具有居间光学厚层或区域的连续 ORU 组。无论折射率是逐渐改变还是突然改变, ORU 的光学厚度都应理解为是波长的 $1/2$ 。

[0059] 在一些情况下, 给定叠堆或分组的微层的厚度和折射率值相当于 $1/4$ 波长的叠堆, 即微层被布置成 ORU 形式, 每个 ORU 均具有两个光学厚度相同的邻近微层, 这类 ORU 可通过相长干涉有效地反射光, 被反射光的波长 λ 是光学重复单元总光学厚度的两倍。主体的“光学厚度”是指物理厚度乘以折射率。每个 ORU 中两个临近微层具有相等光学厚度的 $1/4$ 波长叠堆据说具有 0.5 或 50% 的 f 比率。“F 比率”就这一点而言指的是组成层“A”的光学厚度与完整光学重复单元的光学厚度的比率, 其中假定组成层“A”的折射率高于组成层“B”; 如果组成层“B”的折射率更高的话, 那么 f 比率就是组成层“B”的光学厚度与完整光学重复单元的光学厚度的比率。使用 50% 的 f 比率是可取的, 因为它能最大化微层叠堆的第 1 阶反射带的反射能力, 如下文中的说明所述。然而, 同样如下文中的说明所述, 50% 的 f 比率可抑制或消除第 2 阶反射带。这在许多应用中也同样认为是可取的, 然而, 对于这里所讨论的谐波重叠方法的目的来说是不可取的, 在这里所讨论的谐波重叠方法中, 给定微层叠堆的第 2 阶反射带与来自相同叠堆的第 1 阶和 / 或第 3 阶反射带相重叠, 从而提供加宽的连续反射带。

[0060] 因此, 在其他情况下, 光学重复单元中微层的光学厚度可彼此不同, 由此 f 比率大于或小于 50%。为了本应用的目的, 我们设想了含有 f 比率根据本文的教导可为任何适合的值的微层叠堆的多层光学膜, 特别关注 f 比率不是 50% 的叠堆。因此, 在图 2 的实施例中, 将“A”层笼统地描绘为比“B”层更薄。每一示出的光学重复单元 (ORU 1、ORU 2 等) 的光学厚度 (OT1、OT2 等) 都等于其组成层“A”和“B”的光学厚度之和, 并且每一光学重复单元都提供反射波长 λ 为 ORU 总光学厚度的两倍的第 1 阶反射光。

[0061] 在示例性实施例中, ORU 的光学厚度根据沿 z 轴或膜厚度方向的厚度梯度而不同, 由此光学重复单元的光学厚度随着从叠堆的一侧 (如顶部) 到叠堆的另一侧 (如底部) 而增大、减小或遵循某种其他函数关系。可使用这种厚度梯度, 从而得到加宽的反射带, 以在所关注的扩展波长谱带以及所关注的所有角度上得到光的大致光谱上平坦的透射和反射。作为另外一种选择, 本发明所公开的微层分组的层厚梯度可得到有意的定制以提供在所关注的波长范围上显著变化的反射和透射光谱。例如, 可为有利的是使多层光学膜主体透射 (或反射) 相比红光更多的蓝光或反之, 或者透射 (或反射) 相比蓝光和红光更多的绿光。尽管这种所需的光谱不均一性可使得多层光学膜主体表现出着色 (非透明或有色) 外观, 但是这种所需彩色通常有别于非期望彩色, 因为所需彩色与光谱反射或透射的相对缓慢变化相关, 而非期望的彩色则与这些参数随着波长变化的较快变化相关。例如, 与所需彩色相关的反射或透射的光谱不均一性可随着具有约 100nm 或更大的特征性周期的波长变化而变化, 而非期望的彩色相关的反射或透射的光谱不均一性可随着具有小于约 50nm 的特征性周期的波长变化而变化, 但此数值在一定程度上取决于层厚度分布中的局部中断的量级。

[0062] 在一些情况下,相比于红外光谱,在可视光谱上提供显著不同水平的反射率是可取的。例如,有人可能希望在红外波长范围提供高水平的反射率(和相应低水平的透射率),并且在一些或全部可见光谱上提供低水平的反射率(和更高的透射率)。在一些情况下,两个谐波反射带的部分光谱重叠,以及/或者两个重叠或基本重叠的谐波反射带的不同反射率,会导致反射率和透射率发生突然的阶跃变化。一些此类实施例将会在下文进一步描述。

[0063] 为了通过适当数量的层来实现反射率,相邻微层针对沿 x 轴偏振的光可表现出例如至少 0.03 的折射率差值(Δn_x)。如果希望对两个正交偏振状态的光具有高反射率,那么相邻微层对于沿 y 轴偏振的光也可表现出例如至少 0.03 的折射率差值(Δn_y)。在一些情况下,相邻微层可以沿两条主面内轴(Δn_x 和 Δn_y)具有量级相近的折射率失配,在这种情况下,膜或组可以用作轴向反射镜或部分反射镜。作为另外一种选择,对于被设计为对于透光轴偏振为部分反射的反射型偏振器而言,相邻微层可对于沿 x 轴偏振的光具有大的折射率差值(Δn_x)并且对于沿 y 轴偏振的光具有较小但仍显著的折射率差值(Δn_y)。在此类实施例的变型中,相邻微层可以沿 z 轴具有折射率匹配或失配($\Delta n_z = 0$ 或 Δn_z 大),并且该失配可以具有与面内折射率失配相同或相反的极性或符号。 Δn_z 的这种定制在倾斜入射光的 p 偏振分量的反射无论是随着入射角增大而增大、减小、还是保持不变都起关键作用。

[0064] 如果需要,可利用变迹技术以降低的彩色制备反射率随入射角而增加的反射器,以及沿给定主轴的反射率随入射角而降低的反射器。这可能对于下述膜而言很重要,该膜在垂直入射下具有大的反射率并且在透射光中以各种角度(包括垂直入射角度)进行观察。

[0065] 本发明所公开的多层光学膜的至少一个分组中的至少一些微层可根据需要为双折射的,例如,单轴双折射的或双轴双折射的,但在一些实施例中,也可使用均为各向同性的微层。在一些情况下,各个 ORU 可包括一个双折射微层、和第二微层,所述第二微层为各向同性的或者相对于另一个微层具有少量的双折射。在其他情况下,每个 ORU 可包括两个双折射微层。

[0066] 本发明所公开的多层光学膜可用任何适宜的透光性材料制作,但在许多情况下用低吸收聚合物材料较为有益。使用这种材料时,微层叠堆在可见波长和红外波长上的吸收就可变小或忽略不计,因而在任何给定波长以及在任意特定入射角和极化状态,叠堆(或它所属的光学膜)的反射率和透射率的和大约为 1,即 $R+T \approx 1$ 或 $R \approx 1 - T$ 。示例性的多层光学膜由聚合物材料构成,并且可以利用共挤出、浇铸和取向工艺来制备。参考了美国专利 5,882,774(Jonza 等人)“Optical Film”(光学膜)、美国专利 6,179,948(Merrill 等人)“Optical Film and Process for Manufacture Thereof”(光学膜及其制备方法)、美国专利 6,783,349(Neavin 等人)“Apparatus for Making Multilayer Optical Films”(用于制作多层光学膜的设备)和专利申请公布 US 2011/0272849(Neavin 等人)“Feedblock for Manufacturing Multilayer Polymeric Films”(用于制备多层聚合物薄膜的送料区块)。多层光学膜可以通过上述参考文献的任何一篇中所述的聚合物共挤出法来形成。可以选择各种层的聚合物使之具有相似的流变性(如熔体粘度),使得它们可进行共挤出而没有显著的流体扰动。选择挤出条件以便以连续稳定的方式将有关聚合物充分地给料、熔融、混合并作为进料流或熔融流泵送。用于形成和保持每一熔融流的温度可以选定为在下

述范围内,所述范围能避免在该温度范围的低端处出现冻结、结晶、或不当的高压下降、并且能避免在该范围的高端处出现材料降解。

[0067] 简而言之,制造方法可包括:(a) 提供至少第一树脂流和第二树脂流,它们分别对应于成品膜中将使用的第一聚合物和第二聚合物;(b) 利用合适的送料区块将第一流和第二流分成多个层,所述合适的送料区块例如包括:(i) 包括第一和第二流动通道的梯度板,其中第一通道具有沿流动通道从第一位置变化至第二位置的横截面面积;(ii) 进料管板,其具有与第一流动通道流体连通的第一多个导管以及与第二流动通道流体连通的第二多个导管,各导管向其各自相应的缝型模头进料,各导管具有第一端部和第二端部,导管的第一端部与流动通道流体连通,导管的第二端部与缝型模头流体连通;以及(iii) 可选地,轴向棒加热器,其邻近所述导管设置;(c) 使复合流流过挤出模头以形成多层料片,其中各层大致平行于相邻层的主表面;以及(d) 将多层料片浇铸到冷却辊(有时也称为浇铸轮或浇铸鼓)上,以形成铸造多层膜。该铸造膜可具有与成品膜相同数量的层,但是铸造膜的层通常比成品膜的那些层厚很多。此外,铸造膜的层通常全部为各向同性的。可通过轴向棒形加热器的热区控制来实现如下多层光学膜,所述多层光学膜在宽波长范围内具有反射率和透射率的可控低频波动,参见例如美国专利 6,783,349 (Neavin 等人)。

[0068] 在一些情况下,制造设备可以采用一个或多个层倍增器,用于倍增成品膜中的层数。在其他实施例中,可以在不使用任何层倍增器的情况下制造膜。尽管层倍增器极大地简化了生成大量光学层的过程,但倍增器可能会使每个所得的分组产生对于各分组而言均不相同的畸变。因此,对送料区块中所产生的层的层厚分布进行的调整对于每一分组而言均不相同,即,不能同时对所有分组进行优化以产生无光谱畸变的均匀平滑的光谱。从而,对于低的透射和反射彩色,使用通过倍增器制备的多分组膜可能难以形成最佳分布。如果在送料区块中直接生成的单一层组中的层数目不能提供足够的反射率,则可以将两个或更多个此类膜附接到一起来增加反射率。在 PCT 专利公开 WO 2008/144656 (Weberness 等人) 中对层厚度控制进行了进一步讨论,以对低色彩膜提供光滑光谱反射率和透射率。

[0069] 如果给定多层膜中所有微层的光学厚度被设计为相同的,则膜将会只在狭窄的带内提供高反射率。如果该波长带位于可见光谱中的某个位置,那么此类膜看起来将高度着色,并且彩色将随角度的变化而变化。在显示器和照明应用背景中,通常会避免呈现显著色彩的膜,但在一些情况下,给定光学膜引入少量色彩以校正系统中其他位置的色彩不平衡也许会有助益。示例性多层光学膜主体通过以下方式在例如整个可见光谱,或者在至少一部分可见波长和红外 (IR) 波长内提供宽带反射率和透射率:对微层(或更精确地说,光学重复单元 (ORU),其在许多(但并非全部)实施例中对应于相邻微层对)进行定制以具有一系列光学厚度。通常,微层沿着 z 轴或膜的厚度方向排列,在膜或分组的一侧排列一个最薄的 ORU,在另一侧排列一个最厚的 ORU,其中最薄的 ORU 反射所述反射带中的最短波长,最厚的 ORU 反射最长波长。

[0070] 在冷却辊上冷却多层料片后,可将其拉延或拉伸,以制备成品或接近成品的多层光学膜。拉延或拉伸实现两个目标:其使层变薄至其所需的最终厚度;其可使层取向成使得层中的至少一些变成双折射的。取向或拉伸可沿横维方向(如经由拉幅机)、沿纵维方向(如经由长度取向机)或其任何组合(无论同时还是依次进行)而实现。如果仅沿一个方向拉伸,则该拉伸可为“无约束的”(其中允许膜在垂直于拉伸方向的面内方向在尺寸上松

弛)或“受约束的”(其中膜受到约束并因而不允许在垂直于拉伸方向的面内方向在尺寸上松弛)。如果沿两个平面内方向拉伸,则该拉伸可为对称的(即沿正交的平面内方向相等)或非对称的拉伸。或者,膜可以通过批量方法进行拉伸。在任何情况下,也都可将后续或同时发生的拉延减小、应力或应变平衡、热定形、和其它处理操作应用至膜。

[0071] 真空沉积的叠堆设计与共挤出的聚合物多层叠堆设计之间的至少一种差异为层分布分配的形状。在真空沉积膜内,所需的光谱通过以下方式实现:单独地调整叠堆中每个层的厚度使得其符合计算机优化的叠堆设计。以此方式,通常使诸如光谱波纹的问题最小化。相邻层的厚度有时会相差 10 倍,厚度值通常在约 0.05λ 至 1.0λ 的范围内。对于共挤出聚合物膜叠堆,以这种方式对各个层进行在线监视和控制仍非这种技术下的可行选择。因此,光谱形状主要通过连续平滑变化的层厚度分布来控制。然而,这种分布并不限于聚合物膜叠堆。

[0072] 重叠来自给定光学叠堆的谐波反射带

[0073] 以制备加宽的单反射带。

[0074] 我们发现,可通过重叠来自光学制品中给定多层叠堆或分组的多谐波反射带,包括第 2 阶反射带,来高效使用多层光学膜叠堆,特别是在需要在跨越可见波长和红外波长的宽光谱范围上有高反射率或者至少实质反射率的应用中。也可通过如下方式提高效率:在制品的功能操作中,不仅使用第 1 阶反射带也使用第 2 阶反射带;定制叠堆,使得第 2 阶反射带重叠或基本重叠第 1 阶反射带和 / 或第 3 阶反射带来产生加宽的组合连续反射带。读者应当理解,在一些情况下,微层叠堆可产生至少一个与单个连续反射带相分离且不是单个连续反射带的一部分的其他反射带。例如,如结合图 11A 和 11B 的下述说明,第 2 阶、第 3 阶和第 4 阶反射带可相互重叠,形成单个加宽的连续反射带,但是微层叠堆也可产生与这种加宽反射带相分离而不是其中一部分的第 1 阶反射带。

[0075] 此外,为了产生有效的第 2 阶反射带,可定制给定叠堆中“A”微层和“B”微层的相对厚度,使光学重复单元的 f 比率明显不同于 0.5 (50%),并且这一设计特性也可膜制造商提供重要的好处。具体地讲,如果“A”微层的材料“A”比“B”微层的材料“B”更贵(或反之亦然),那么相对于 f 比率为 0.5 的叠堆设计,可在叠堆中选择减少材料“A”而增加材料“B”的 f 比率(或反之亦然)。为 ORU 中的“薄”微层选择较贵的材料,同时为 ORU 中的“厚”微层选择较便宜的材料,这样成品膜的总原材料成本就会明显降低。例如,光学质量的聚萘二甲酸乙二醇酯(PEN)目前比光学质量的聚乙烯对苯二甲酸(PET)更贵,因此,为了获得产生明显第 2 阶反射的非 50% 的 f 比率,可减少每个光学重复单元中 PEN 微层的厚度,而增加每个光学重复单元中 PET 微层的厚度,从而减少成品膜的总材料成本。

[0076] 现在转到图 3,我们可以看到,形成 ORU 组的叠堆微层的理想化代表性厚度分布,这个特定叠堆没有变迹部分。厚度分布中的每个离散点代表一个 ORU 的光学厚度。该图呈现了从一个叠堆的端部按序排列到另一个叠堆的端部的 40 个 ORU,但在其他替代的实施例中可使用多于或少于 40 个 ORU。其厚度分布展现出一个厚度梯度,ORU1 处的 OT1 最小,ORU40 处的 OT40 最大。相对于没有厚度梯度的类似叠堆,该梯度具有加宽由叠堆产生的反射带光谱带宽的作用。为了简便,该图示出的是简单的线性厚度分布,但也可采用更复杂的分布,例如曲线部分、弯曲部分和 / 或变迹部分。

[0077] 请注意,因为未示出单个层的厚度,所以 ORU 的厚度分布并未揭示任何关于叠堆

中所用 f 比率的信息。换句话说,可通过定制不同的 f 比率,以大量不同方法来实现包括图 3 的给定 ORU 厚度分布,同时还保持 ORU 的光学厚度不变。例如,在有些情况下,每个 ORU 中的“A”微层比“B”微层薄很多,而在有些情况下,每个 ORU 中的“A”微层比“B”微层厚很多,而在有些情况下,每个 ORU 中的“A”微层与“B”微层大致一样厚。

[0078] 图 4 是理想化示意图,示出了由诸如图 3 的微层叠堆所产生的各种谐波反射带,具体视设计细节而定;就这一点而言,为了本申请的目的,反射带是指在反射率与波长的曲线图上反射率增大的单个限定区域,其中反射率在这个区域内达到至少 30% 的值。每个谐波阶的反射带都以简化形式或理想化形式表示,具有两个竖直的相对直带边缘,带内有一个平坦或均一的反射率,而且没有波纹或振铃。尽管在现实的膜中找不到这种矩形反射带,但是这种理想化的矩形反射带可用于模拟或代表具有更复杂形状的实际反射带。为了进行示意性的说明,第 1 阶、第 2 阶、第 3 阶、第 4 阶、第 5 阶和第 6 阶反射带均在相同图上示出,但是在实施过程中,根据叠堆所用的 f 比率,一些典型的反射带在反射率光谱中不存在或者基本不存在。同样,如图所示,随着阶数的增加,谐波的反射率也单调上升,但也不总是如此。在一些情况下,比其他反射带具有更高反射率的反射带也具有更高的阶数。

[0079] 就这一点而言,可参见图 5A。该图是作为微层叠堆 f 比率的函数的相对反射能力的图。就这一点而言,微层叠堆的“反射能力”是指 $\text{Log}(1-R)$ 光谱的负值下的区域(光密度),通过按波长划分归一化。通过数值的整合,反射能力光谱的每个增加区域都可按照局部波长划分。 $(\text{Log}(1-R(\lambda_n))) \times (\lambda_{n+1} - \lambda_n) / \lambda_n$ 。(这里的参数“R”是指叠堆的反射率,它是波长的函数。值 $R = 1$ 对应反射率 1.0 或者 100%,值 $R = 0.5$ 对应反射率 0.5 或 100%,以此类推。)由叠堆产生的单个谐波带的反射能力可通过这种方式测定,前提是谐波带没有彼此重叠。通过光学建模或实验,可示出具有较小折射率差值的交替高折射率层和低折射率层的叠堆的反射能力,诸如那些在聚合物的多层光学叠堆中发现的反射能力,与折射率差值的平方成比例。这一反射能力的 f 比率的作用可用给定 m 阶谐波阶带的有效折射率微分如下表示:

[0080]

$$\Delta n_{\text{有效}} = c_m \frac{\pi}{4} \Delta n,$$

[0081] 其中, Δn 是实际折射率差值, c_m 是叠堆的不对称方波折射率波形的傅立叶表示的 m 阶项的傅立叶系数。给定谐波反射带中的反射能力 (RP) 可表示为与这个有效反射率差值的平方成比例:

[0082] $RP \propto (\Delta n_{\text{有效}})^2$ 。

[0083] 不对称方波的每阶 m 的傅立叶系数如下:

$$[0084] \quad c_m = \left(\frac{4}{m\pi} \right) \times |\sin(m\pi f)|,$$

[0085] 其中 f 是 f 比率。从这些方程可知,反射能力 RP 与以下简单公式成比例:

$$[0086] \quad RP \propto \left(\frac{1}{m} \right) \sin^2(m\pi f)。$$

[0087] 图 5A 中示出了这个函数在将第 1 阶反射带的最大反射能力(这在 f 比率等于 0.5

时发生) 设定为 1.0 而归一化后在几个谐波阶的情况。曲线表示前 4 个谐波阶的每一个, 即第 1 阶反射 ($m = 1$), 第 2 阶反射 ($m = 2$), 第 3 阶反射 ($m = 3$) 和第 4 阶反射 ($m = 4$)。仔细观察该图可以看出, 在 f 比率为 0.5 (或 50%) 时, 第 1 阶和第 3 阶反射最大, 而第 2 阶和第 4 阶反射为零。相反, 在 f 比率为 $1/3$ 或 $2/3$ (分别为约 33% 或 67%) 时, 第 1 阶反射较大, 但比最大值稍微较小, 第 2 阶和第 4 阶反射较大, 但小于第 1 阶反射, 而第 3 阶反射是零。不同谐波阶的多种相对反射大小可通过选择所需的 f 比率而获得。对于给定 m 阶的谐波, 我们可将相对反射能力指定为 a_m 。

[0088] 图 5B 与图 5A 有关, 图 5B 绘出了作为 f 比率的函数的傅立叶系数 c_m 的相对幅值, 图中示出了不同谐波阶数的曲线。

[0089] 图 6A 和 6B 是类似于图 4 的单微层叠堆的理想化光谱反射率图, 但是图 6A 和 6B 假定采用特定 f 比率制成叠堆, 而 f 比率对于各个反射光谱内存在哪些谐波阶、不存在哪些谐波阶有影响。具体来讲, 图 6A 假定所产生的叠堆的 f 比率是 0.5。在这种情况下, 根据图 5A, 存在来自于图 4 的第 1 阶和第 3 阶反射带, 而不存在来自于图 4 的第 2 阶和第 4 阶反射带。图 6B 假定 f 比率为 $1/3$ 或 $2/3$, 这种叠堆会产生明显的第 1 阶、第 2 阶和第 4 阶反射带, 但不会产生第 3 阶反射带。

[0090] 本文所述的重叠技术依赖于适当定制受测试微层叠堆的光谱反射率, 通过适当地选择设计参数, 诸如单独的微层材料及其各自的折射率和折射率差值、微层和 ORU 的数目、光学重复单元的层厚度分布, 以及叠堆中 ORU 的 f 比率。在一些情况下, 第二微层叠堆可放在受测试叠堆的光学系列中, 使得穿过受测试叠堆的光射到第二叠堆上, 并且 / 或者穿过第二叠堆的光射到受测试的叠堆上。多层光学膜的具体布置示意性地示于图 7 和图 8 中。

[0091] 在图 7 中, 制品 710 可以通过共挤和选择性取向或单向或双向拉伸制成的光学膜。制品 710 具有夹在光学厚层 714a 和 714b 之间的微层叠堆 712。光学厚层 714a 和 714b 可以是保护性界面层 (PBL) 和 / 或表层。叠堆 712 包括微层, 但不包括光学厚层。这些微层可被布置成 ORU, 其折射率和层厚度分布定制成产生多个谐波反射带, 包括相互重叠或基本重叠的至少第 2 阶反射带, 如上所述。

[0092] 在一些情况下, 微层的分组和叠堆可与其他微层叠堆结合, 或者是作为单个共挤光学膜的一部分, 或者作为分开制造后相互粘结或用其他方式结合的膜。例如, 在图 8 中, 制品 810 可从两个光学膜 826a 和 826b 制得, 这两个光学膜分别共挤和制造, 然后与光学厚层 814c 通过其他方式层合或其他方式结合在一起, 其他方式可例如是或包括光学上透明的粘合剂。膜 826a 包括第一微层叠堆 812a 和可选的光学厚层 814a 和 814b, 诸如 PBL。膜 826b 包括第二微层叠堆 812b 和可选光学厚层 814d 和 814e, 诸如 PBL。任何在负 z 方向移动并且穿过第一叠堆 812a 的光, 都射到第二叠堆 812b 上。任何在正 z 方向移动并且穿过第二叠堆 812b 的光, 都射到第二叠堆 812a 上。第一叠堆和第二叠堆的反射特性可因此结合在制品 810 中。在一些情况下, 第一叠堆 812a 可采用本文所述的谐波带重叠技术, 而第二叠堆 812b 则不采用。在其他情况下, 第一叠堆 812a 和第二叠堆和 812b 均可采用重叠技术。在一些情况下, 可将叠堆设计成, 其中一个叠堆在光谱区域中提供第 1 阶或更高阶的反射带, 而其他叠堆在这个光谱区域中 (例如在其他反射带之间的通频带中) 有一点反射或没有反射。

[0093] 我们现在描述一些多层叠堆的代表性情况, 其中多层叠堆设计成提供重叠谐波反

射带,从而产生扩展的反射带或加宽的反射带。在每种情况下,第2阶反射带与第1阶反射带和/或3阶反射带(如果存在)重叠或基本重叠。参见图9A到图11B,我们最初描述了与简化的光谱反射率图有关的代表性情况。我们随后将描述一些与具有特定ORU厚度分布和f比率的实施例有关的代表性情况,在这些情况中我们计算或模型化了它们的反射特性。参见图13到图18B。最后,我们将描述一个对照性例子,其中所关注的微层叠堆的第2阶反射带不与第1阶或第3阶反射带中的任一个基本重叠。参见图19到图21。

[0094] 图9A示出了一种情况,其中第2阶反射带被制成与第1阶反射带和第3阶反射带中的至少一者相重叠,从而产生单条宽反射带。简单来说,定制微层叠堆,使叠堆提供多条谐波反射带。叠堆的ORU厚度梯度覆盖一定范围的光学厚度,因而如图所示的第1阶、第2阶和第3阶反射带假定光处于给定偏振状态并且在所设计的入射角度,诸如垂直入射。图中所示的所有反射带都是简化形式或理想化形式,即为了便于解释都为矩形形状。微层叠堆的f比率是0.25。根据图5A,这个f比率产生第1阶、第2阶和第3阶谐波,其中第1阶谐波的反射能力与第2阶谐波的反射能力一样,而第3阶谐波的反射能力很低但不为零。在该图中,没有笼统地提供竖直“反射率”轴的尺寸,但是在第1阶和第2阶带具有大致相同反射率并且第3阶反射带具有显著减小的反射率的情况下,不同带的相对高度是至少大体准确的。第1阶反射带从左带边缘800nm处延伸到右带边缘1600nm处。第2阶反射带从左带边缘400nm处延伸到右带边缘800nm处。第3阶反射带从左带边缘266nm处延伸到右带边缘533nm处。为了简洁,图中未示出高于第3阶的谐波。因此,第2阶反射带(在光谱上)与第1阶反射带和/或3阶反射带(如果存在)重叠。当第2阶带的右带边缘与第1阶带的左带边缘重合时,或者当第2阶带的右带边缘落在第1阶带之内时,即第2阶带的右带边缘在第1阶带的左右带边缘之间时,第2阶带与第1阶带建立重叠。同样地,当第2阶带的左带边缘与第3阶带的右带边缘重合时,或者当第2阶带的右带边缘落在第3阶带之内时,即第2阶带的左带边缘在第3阶带的左右带边缘之间时,第2阶带与第3阶带建立重叠。

[0095] 第1阶、第2阶和第3阶谐波带之间的重叠导致形成了由至少这三条谐波反射带组合而成的单条宽反射带。图9B中示出了这种具有相同偏振状态和相同设计入射角的单条宽反射带。所示的反射带从约266nm的左带边缘(对应第3阶带的左带边缘)延伸到约1600nm的右带边缘(对应第1阶带的右带边缘)。这条宽反射带或延伸反射带在整个红外光谱以及大部分可见光谱上提供相对恒定的反射率,但不包括光谱400nm处附近的蓝色/紫色端,在该蓝色/紫色端,由于第2阶和第3阶的结合,400-533nm处的反射率稍高,而266-400nm处的反射率显著降低。

[0096] 在这整个文件中,给定反射带的左带边缘也可称为短波长带边缘,其波长可指定为 λ_s 。同样地,给定反射带的右带边缘也可称为长波长带边缘,其波长可指定为 λ_L 。此处的附加下标也用于指定给定带的谐波阶,例如,第1阶或第2阶。因此,例如, λ_{s1st} 指第1阶反射带的左带边缘的波长, λ_{L2nd} 指第2阶反射带右带边缘的波长。

[0097] 在一个反射带与另一个反射带光谱重叠的区域中,反射率是以“固有”形式组合的而不是“非固有”形式。例如,如果一个谐波带具有反射率R1,而另一谐波带具有同样波长的反射率R2,那么叠堆在这种波长下的总反射率R就会由以下所谓的“玻片堆”公式给定,

$$[0098] \quad R = \frac{R1 + R2 \times (1 - 2R1)}{1 - R1 \times R2},$$

[0099] 而不是简单的 $R1+R2$ 之和。例如,如果 $R1$ 是 60%, $R2$ 是 30%,那么组合的反射率就是 66%,而不是 90%。

[0100] 此处,需要澄清的一点是要考虑空气界面的作用。光学膜或膜主体具有外部前主界面或顶部主界面,以及外部后主界面和底部主界面。这两个外部界面通常都暴露在空气、真空或另一惰性气体中。除非提供抗反射涂层,否则不管内部结构或光学膜的组合如何,光都会在这两个外部界面处被反射。当谈及膜(或者其组成物,诸如微层叠堆)的反射特性时,可将外部界面反射的作用包括在反射率值中,也可排除这些外部界面反射的作用。包括外部界面反射的反射率值称为“外部”反射率,而不包括外部界面反射的反射率值称为“内部”反射率。换句话说,膜或其他主体的“内部反射率”是该膜在不存在位于其前面或后面(或顶部或底部等)的任何界面(因接触空气或具有不同于膜的折射率的其他任何介质而产生)的情况下的反射率。“内部透射”和“外部透射”以类似的形式定义,而不仅是透射。出于本文件的目的,除非另有相反的明确说明,否则“反射率”及类似的术语是指外部反射率,而术语“透射”及类似的术语是指外部透射。因此,例如,在以上根据 $R1$ 和 $R2$ 计算总反射率 R 的“玻片堆”公式中,如果给定的 $R1$ 和 $R2$ 是内部反射率,那么相应的所计算的 R 也是指内部反射率。作为另外一种选择,“玻片堆”公式可以这种方式解释,即 $R1$ 可包括一个外部界面处的界面反射的作用,而 $R2$ 可包括相对外部界面处的界面反射的作用,那么 R 就代表膜的外部反射率,即膜的反射率包括光从膜的两个外部界面处反射的光的作用。

[0101] 图 9A 中简化的反射带形状使以上所讨论的重叠技术容易理解。然而,如上所述,由微层的真实叠堆产生的真实反射带不具有理想的矩形形状,因此,由于反射带的左右带边缘的精确波长值不容易测定,要确定给定反射带是否与另一反射带重叠,就变得不那么简单。出于这个原因,我们还在下面提供了一种简单测定由微层叠堆产生的给定阶谐波反射带的左右带边缘光谱位置的方法,该方法包括分析测量的光谱反射率或模型化光谱反射率,以及分析测量的或模型化的叠堆的 ORU 厚度分布,并且在分析中,叠堆的 f 比率也是一个因子。

[0102] 实际上,微层叠堆产生的真实反射带不具有理想的矩形形状,这一点也具有与反射带重叠概念相关的影响。具体来说,虽然严格遵守本文所述的确定的带边缘位置的方法(例如,本文所测定的较短波长的反射带的右带边缘可仅与本文所测定的较长波长的反射带的左带边缘间隔几纳米的距离),但两个不重叠的反射带可充分靠近,产生其特点可合理归纳为单条宽反射带的光谱特征。为了解释这种情况,我们用术语“基本重叠”(以及相关的术语“基本上交叠”等)来涵盖以下两种情况:(a) 上述的两条反射带之间实际重叠;(b) 相邻反射带的两条临近带边缘之间没有实际重叠,但是其中一个带边缘的波长(如 λ_{L2nd})与另一条带边缘的波长(如 λ_{S1st})相差 5%或更小。

[0103] 图 10A 示出了另一种情况,其中第 2 阶反射带被制成与第 1 阶反射带和第 3 阶反射带中的至少一者相重叠,从而产生单条宽反射带。简单来说,可采用基本上与制备图 9A 中的相关叠堆的相同方式来制备微层叠堆,不过叠堆中所有 ORU 的 f 比率从 0.25 变到 0.33(即 $1/3$)。参见图 5A,修改的 f 比率产生第 1 阶和第 2 阶谐波,但不产生第 3 阶谐波。图 5A 也说明,在 f 比率为 $1/3$ 时第 2 阶的反射能力远远小于第 1 阶的反射能力,而不是等

于如图 9A 的反射能力。正如图 9A 所示,图 10A 所示的反射带代表叠堆对给定偏振状态和设计入射角度(诸如垂直入射)的光的反射率。同样,图 10A 的竖直“反射率”轴上未笼统地提供尺寸,但是在第 2 阶反射带的反射率远远低于第 1 阶反射带的反射率并且不存在第 3 阶反射带的情况下,不同反射带的相对高度是大体准确的。第 1 阶反射带从左带边缘 800nm 处延伸到右带边缘 1600nm 处。第 2 阶反射带从左带边缘 400nm 处延伸到右带边缘 800nm 处。不存在第 3 阶反射带,并且为了简洁并未示出高于第 3 阶的谐波。因此,在这种情况下,第 2 阶反射带(在光谱上)与第 1 阶反射带重叠。

[0104] 第 1 阶谐波带和第 2 阶谐波带之间的重叠导致形成了这两条谐波反射带组合而成的单条宽反射带。图 10B 中示出了该单条宽反射带,并且假定其具有如图 10A 所示的相同偏振状态和相同设计入射角。所示的反射带从约 400nm 的左带边缘(对应第 2 阶带的左带边缘)延伸到约 1600nm 的右带边缘(对应第 1 阶带的右带边缘)。这条宽反射带或延伸反射带在很多红外光谱上提供相对恒定的反射率,在大部分可见光谱上也提供相对恒定的反射率,但反射率水平显著降低(显著不同的反射率)。也就是说,这条宽反射带的反射率和透射具有阶跃变化。具有这种反射特性的多层光学膜可用于需要在全部或大部分可见光光谱上实现部分反射和部分透射的应用中,例如,允许透过膜看见东西,以及在大部分红外光谱上需要高得多的反射率的应用中。

[0105] 图 11A 示出了又一种情况,其中第 2 阶反射带被制成与第 1 阶反射带和第 3 阶反射带中的至少一者相重叠,从而产生单条宽反射带。简单来说,定制微层叠堆,使叠堆提供多条谐波反射带。叠堆的 ORU 厚度梯度覆盖一定范围的光学厚度,因而如图所示的第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带(和第 4 阶反射带)假定光处于给定偏振状态并且在所设计的入射角度,诸如垂直入射。微层叠堆的 f 比率是 0.59。参见图 5A,这个 f 比率产生第 1 阶、第 2 阶、第 3 阶和第 4 阶谐波,其中第 2 阶谐波与第 3 阶谐波反射能力相同,第 4 阶谐波具有稍高的反射能力,第 1 阶谐波具有最高的反射能力。图 11A 的竖直“反射率”轴上未笼统地提供尺寸,但不同反射带的相对高度是大体准确的。第 1 阶反射带从左带边缘 1200nm 处延伸到右带边缘 1800nm 处。第 2 阶反射带从左带边缘 600nm 处延伸到右带边缘 900nm 处。第 3 阶反射带从左带边缘 400nm 处延伸到右带边缘 600nm 处。第 4 阶反射带从左边缘 300nm 处延伸到右带边缘 450nm 处。为了简洁,图中未示出高于第 4 阶的谐波。因此,在这种情况下,第 2 阶反射带(在光谱上)与第 3 阶反射带重叠,但与第 1 阶反射带不重叠或者甚至不基本重叠。

[0106] 第 2 阶谐波带和第 3 阶谐波带之间的重叠(以及第 3 阶和第 4 阶的之间重叠)导致形成了至少这两条谐波反射带组合而成的单条宽反射带。图 11B 中示出了该单条宽反射带,并且假定其具有如图 11A 所示的相同偏振状态和相同设计入射角。所示的反射带从约 300nm 的左带边缘(对应第 4 阶带的左带边缘)延伸到约 900nm 的右带边缘(对应第 2 阶带的右带边缘)。这条宽反射带或延伸反射带在一部分红外光谱区域和大部分可见光谱上提供相对恒定的反射率,但不包括光谱上低于 450nm 的蓝色/紫色端,在该蓝色/紫色端,由于存在第 4 阶反射带,反射率增大。由于在这个实施例中第 2 阶反射带不与第 1 阶带重叠或基本重叠,因而在两条带之间形成了一条通频带,并且微层叠堆提供位于部分红外光谱中的第 1 阶反射带,与宽反射带或延伸反射带不同。

[0107] 目前为止,本公开已经描述了与图 9A-B(f 比率为 0.25)、10A-B(f 比率为 0.33) 以

及 11A-B(f 比率为 0.59) 相关的几个简化实施例,我们知道,将第 2 阶反射带与第 1 阶反射带和 / 或第 3 阶反射带 (以及可选的具有更高阶的重叠反射带) 组合形成单条宽反射带,可以提高微层叠堆的效率。图 9B 中的宽反射带包括重叠的第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带;图 10B 中的宽反射带包括重叠的第 1 阶反射带和第 2 阶反射带;图 11B 中的宽反射带包括重叠的第 2 阶、第 3 阶和第 4 阶反射带。图 12 中以图形示出了特定谐波阶组合创造的效率图。该图绘出了作为 f 比率函数的相对反射能力,正如图 5 所示,但只包括第 1 阶 ($m = 1$)、第 2 阶 ($m = 2$) 和第 3 阶 ($m = 3$) 曲线。然而图 12 也包括两条附加的曲线,其中一条是第 1 阶和第 2 阶 (“第 1 阶 + 第 2 阶”) 的相对反射能力的总和曲线,另一条是第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶 (“第 1 阶 + 第 2 阶 + 第 3 阶”) 的相对反射能力的总和曲线。就效率而言,请注意,这两条总和曲线在一定的 f 比率值范围内提供的反射能力比第 1 阶反射带单独提供的最大反射能力更高。例如,在 f 比率在 0.25 到 0.75 的范围内时,“第 1 阶 + 第 2 阶”曲线提供的反射能力等于 (在 f 比率值分别为 0.25、0.5 和 0.75 处) 或大于 (在 f 比率值介于 0.25 到 0.5,以及 0.5 到 0.75 之间时) 第 1 阶曲线单独提供的最大反射能力。在 f 比率在 0.175 到 0.825 的范围内时,“第 1 阶 + 第 2 阶 + 第 3 阶”曲线提供的反射能力等于 (在端值处) 或大于第 1 阶曲线单独提供的最大反射能力。更一般地说,给定微层叠堆的总有用反射能力是在所关注的叠堆所需波长范围内反射从而形成单条宽反射带的所有谐波阶的总和,而且该总和大于第 1 阶反射带单独提供的最大反射能力 ($f = 0.5$)。通过利用第 2 阶反射与第 1 阶反射和 / 或第 3 阶反射的组合的反射能力,利用重叠谐波带技术的制品可针对给定数目的微层和给定微层间折射率差值提供增强的反射效率。

[0108] 除了可以从图 12 中看出的效率方面的潜在收益,有时也可以通过使用谐波带重叠技术来实现其他益处。所述其他潜在益处包括:降低材料成本、获得在反射效率方面提供阶跃变化的能力,以及易于制造。

[0109] 就降低材料成本而言,可将微层叠堆的 f 比率调整为不同于 50% 的值,以激发第 2 阶谐波带。相比 f 比率为 50% 的四分之一波长叠堆,以这种方式选择 f 比率时,叠堆中每个 ORU 可由较少的“A”材料和较多的“B”材料制成 (或反之亦然)。在“A”材料和“B”材料 (例如不同的透明聚合物) 的成本显著不同的情况下,可利用上述方式降低材料成本。尤其是,可以策略性地选择 f 比率,在仍然实现所需的反射率和带宽的同时,将微层叠堆中更昂贵材料的含量将至最低。

[0110] 对于反射率的阶跃变化,当聚合物多层光学薄膜的设计师和制造者面临需要提供反射率阶跃变化的连续反射带的挑战时,仅使用单个微层叠堆的第 1 阶反射可能很难解决这种挑战,这是因为这种解决方案通常要求 ORU 厚度分布的斜率急剧变化。本文档说明了如何通过将叠堆定制成具有重叠的谐波以单个微层叠堆提供这种阶跃变化。可以控制这些重叠谐波,在单条连续反射带中提供显著不同的、具有陡峭阶梯状过渡的反射率水平,而无需提供 ORU 厚度分布的斜率的急剧变化。参阅例如上文中的图 9A 至图 9B、图 10A 至图 10B 和图 11A 至图 11B,以及下文中的图 16A 至图 16C。在某些情况下,通过使用具有显著不同的反射率或反射能力的重叠谐波反射带来辅助反射率的阶跃变化。

[0111] 在易于制造方面,当聚合物多层光学薄膜的设计师和制造者面临需要提供非常宽的连续反射带的挑战时,仅使用单个微层叠堆的第 1 阶反射可能很难解决这种挑战,这是因为这种解决方案可能需要整个微层叠堆具有特别大的厚度范围。例如,设计用于仅使用

第 1 阶反射来反射从 400nm 至 1600nm 的光的微层叠堆,需要最厚 ORU 是最薄 ORU 的 4 倍厚度的 ORU 厚度分布。然而,当同时使用第 1 阶和第 2 阶反射来产生同样的连续宽反射带时,例如,如图 10A 或图 9A 所示,可以使用具有不太剧烈的锥度的 ORU 厚度分布,其中最厚 ORU 是最薄 ORU 的仅 2 倍厚度。就这一点而言还参考下文中的图 15A 至图 15C。

[0112] 关于易于制造的另一个考虑涉及制造满足如下条件的微层方面的挑战:薄至足以反射短波长(例如在 400nm 附近或低于 400nm 的可见光谱的蓝色/紫色部分)的光,或反射近紫外波长区域的波长的光。对于由交替的熔融聚合物材料层共挤出制成的多层光学膜,随着挤出层做得越来越薄,熔融态聚合物的流动不稳定性问题会变得显著。例如,如果所需的聚合物“A”材料和“B”材料不具有相匹配的流变性,便可能会导致“层破裂”。使用本文所述的重叠谐波技术可以帮助缓解这种问题,这是因为通过使用较高阶谐波如第 2 阶或第 3 阶谐波在较短波长处(例如可见蓝色/紫色区域和/或近 UV 波长区域)提供所需的反射率,可将熔融聚合物层制造得比使用第 1 阶反射带时所需要的厚度厚得多(对于第 2 阶为 2 倍厚,或对于第 3 阶为 3 倍厚,以此类推)。

[0113] 模型化实例

[0114] 现在将讨论某些具体的多层光学膜实施例,我们通过使用光学设计软件来设计并模型化这些实施例,以更逼真的方式来解释本文所讨论的重叠谐波概念。

[0115] 简单来讲,定制第一模型化微层叠堆,以类似于上文图 9A 的方式提供重叠的第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带。该第一模型化叠堆使用 276 个单独的微层被布置成 138 个 ORU,并且具有梯度式 ORU 厚度分布和 0.25 的 f 比率。图 13、图 14A 和图 14B 涉及第一模型化叠堆。图 15A、图 15B 和图 15C 涉及将第一模型化叠堆与第一对比微层叠堆进行比较,该第一对比微层叠堆的相关反射带中没有第 2 阶反射带并且几乎完全由第 1 阶谐波产生。定制第二模型化微层叠堆,以类似于上文图 10A 的方式提供重叠的第 1 阶反射带、第 2 阶反射带。该第二模型化叠堆中使用与第一模型化叠堆数目相同的微层和 ORU,并且还使用相同的梯度式 ORU 厚度分布;但其 f 比率变为 0.33。图 13、图 16A 和图 16B 涉及第二模型化叠堆。图 16C 涉及第二模型化叠堆的修改形式,其中 f 比率从 0.33 变为 0.36,以便在第 1 阶反射带和第 2 阶反射带之间提供较大的反射率差值,从而在整体加宽反射带的反射光谱中提供较大的阶跃变化。定制第三模型化微层叠堆,以类似于上文图 11A 的方式提供重叠的第 2 阶、第 3 阶和第 4 阶反射带。该第三模型化叠堆中使用与第一模型化叠堆和第二模型化叠堆数目相同的微层和 ORU,但其使用与前二者不同的梯度式 ORU 厚度分布。此外, f 比率变为 0.59。图 17、图 18A 和图 18B 涉及第三模型化叠堆。最后,图 19 至图 21 涉及第二对比微层叠堆,其第 2 阶反射带不与该叠堆的第 1 阶或第 3 阶反射带重叠或基本重叠。

[0116] 结合这些模型化实例,我们还讨论了我们开发的方法,以便分析给定的微层叠堆,确定其是否包含本文所述的重叠谐波特性。第一种方法称为谐波分析方法,利用这种方法可确定叠堆的光谱反射率中由各个谐波阶次产生的部分,并确定叠堆的每个相关谐波阶次的光谱反射率。利用第一种方法可将叠堆的每个相关谐波反射带分离开,例如以便分别计算并绘制叠堆的第 1 阶反射带、叠堆的第 2 阶反射带,等等。第二种方法称为带宽分析方法,利用这种方法能够以有条理可重复的方式确定任何给定反射带的左带边缘的波长值和右带边缘的波长值。因此,利用第二种方法可以重复并明确地确定两个给定反射带是否如上所述地重叠或基本上重叠。

[0117] 谐波分析方法

[0118] 如上所述,利用这种谐波分析方法可以确定微层的给定叠堆的光谱反射率中由各个谐波阶次产生的部分,并确定叠堆的每个相关谐波阶次的光谱反射率。为了执行该方法,假定人们已知,或可以测量或以其他方式确定 ORU 厚度分布、叠堆的 f 比率和微层的实际折射率。

[0119] 多层聚合物反射器通常由许多 $1/4$ 波厚的微层制成。更确切地说,多层聚合物反射器由许多重复对的高折射率和低折射率 (n_H 和 n_L) 聚合物材料制成,这些材料形成 $1/2$ 波厚的光学重复单元 (ORU)。相比那些常见的无机气相沉积电介质叠堆,聚合物叠堆中的交替微层通常具有相对较低的折射率差值,因此聚合物叠堆通常需要具有更多微层才能获得相对较高的反射率。所需的大量重复微层使得交替的高折射率层和低折射率层以折射率波形 (“指数波形”) 来表示,并且所述指数波形可使用其傅立叶表示进行评估。具有突变边界的 $1/4$ 波厚层的微层叠堆可形成方形指数波形。如果将这种叠堆的 f 比率定为不同于 0.5 的值,则这些层会形成我们称为不对称方形指数波形的波形。我们已经发现,通过为 ORU 的高折射率材料和低折射率材料使用 “有效折射率”,即可通过简单的 $1/4$ 波层的方形波形来表示任何任意形状的重复指数波形。如上所述,可将 ORU 形成为具有作为膜中距离的函数的连续变化的折射率。

[0120] 对于微层之间不具有突变边界的系统来说,傅立叶分析是有效的。因此,所需要的仅仅是用于表示作为单个正弦波之和的指数波形的傅立叶系数,所述正弦波代表各种谐波频率,并且其指数振幅由傅立叶系数 c_m 确定。仍可使用方波的层分布为其计算单个谐波带,但需使用修改的 (有效) 折射率进行计算。我们还发现,只要使 ORU 的叠堆厚度以加宽反射带的方式呈梯度状,傅立叶估算仍然是有效的。

[0121] 使用实际微层厚度和折射率值的多层叠堆计算将得到下述反射率光谱:一般来讲,该反射率光谱可由几个重叠的谐波带的组合或构成,而各阶谐波的贡献未知。我们已经发现,可以使用特定于所关注的谐波阶次并且基于叠堆的已知 f 比率和实际折射率差值的不同组的有效折射率,以及特定于所关注的谐波阶次的不同有效数的 ORU 来模拟任何单独的目标谐波阶次对初始微层叠堆的反射率的响应或贡献。这种傅立叶表示对于从每个谐波阶次中分析复杂的重复指数波形和反射带特别有用。

[0122] 下面描述的例子涉及不对称的微层叠堆,即,每个 ORU 中的一个微层小于 $1/4$ 波厚,而每个 ORU 中的另一个微层大于 $1/4$ 波厚。换句话说,下面描述的例子涉及 f 比率不同于 0.5 的微层叠堆。这种不对称叠堆在本文中称为 “不对称方波叠堆”。不对称叠堆可与对称叠堆形成对比,所述对称叠堆具有 0.5 的 f 比率并且高折射率材料和低折射率材料均为 $1/4$ 波厚。如上所述,f 比率,本文有时简称为 “f”,是由 $f = d_H * n_H / (d_H * n_H + d_L * n_L)$ 得到的,其中 d 是所给定微层的物理厚度。不对称方波叠堆的反射率,特别是任何单个目标谐波阶次的反射率,可以通过使用 $1/4$ 波微层的 “有效叠堆” 进行模型化,所述 $1/4$ 波微层的有效折射率是由初始不对称方波叠堆的所关注谐波阶次的傅立叶系数计算得来的。对于给定的目标谐波阶次,有效叠堆中 ORU 的数量是初始叠堆中 ORU 数量的整数倍,其中整数倍数为 “m”,即,目标谐波阶次的阶数。因此,如果初始微层叠堆具有 N 个 ORU,则用于计算 m 阶谐波阶次的反射率的有效叠堆具有 $m \times N$ 个 ORU。这样,可以通过单独计算与每个所关注谐波阶次相关的每个有效叠堆的反射率,来单独确定给定微层叠堆的各个谐波反射带。

[0123] 傅立叶分析法中有效叠堆的有效折射率差值是由初始叠堆的峰到峰折射率差乘以叠堆折射率分布（即，叠堆波形）的傅立叶系数 c_m 得到的。上文结合图 5A 讨论了傅立叶系数 c_m ，其中我们表明可以如下公式对其进行计算：

$$[0124] \quad c_m = \frac{4}{m\pi} |\sin(m\pi f)|,$$

[0125] 其中 m 是谐波阶数， f 是初始叠堆的 f 比率。上面的图 5B 中绘出了（归一化的） c_m 值，在该图中，我们将 c_m 值乘以 $\pi/4$ 来进行归一化。利用这些信息可以将任意不对称方波叠堆的任意阶反射带表示为对称的“有效叠堆”（其 f 比率为 0.5），其有效折射率差 Δn_{eff} 可由下式求得：

$$[0126] \quad \Delta n_{\text{eff}} = c_m (n_H - n_L) \pi / 4,$$

[0127] 其中 n_H 和 n_L 是微层的高折射率材料和低折射率材料的实际层折射率， c_m 是为初始叠堆的 f 比率计算的目标谐波阶次 (m) 的傅立叶系数。图 5B 中绘出的傅立叶系数假定在叠堆相邻微层之间存在突然转变；如果这种转变是渐进的而非突然的，则正确的傅立叶系数将在一定程度上偏离那些图 5B 中绘出的傅立叶系数。在这种情况下，应确定实际的折射率波形，从而可使用已知的周期函数的傅立叶级数表示方法来计算傅立叶系数。参见例如 CRC 标准数学表第 18 版第 458 页。使用上述等式确定 Δn_{eff} 后，就可以通过要求有效叠堆的平均折射率与初始叠堆的相同来很容易地确定用于有效叠堆的微层的有效折射率。

[0128] 如果初始微层叠堆具有 N 个 ORU ($2N$ 个微层)，则使用阶次 m 的有效叠堆和任何标准多层计算机叠堆软件程序计算所关注给定谐波阶次 m 的反射带，其中用于有效叠堆的折射率是如上结合 Δn_{eff} 方程所述的折射率。有效叠堆将具有 $m \times N$ 个光学重复单元。有效叠堆中 ORU 的光学厚度是初始叠堆中 ORU 厚度的 $1/m$ ，而有效叠堆的层分布中 ORU 数量是初始叠堆中的 m 倍。因此，在计算所关注给定谐波的反射率时，通过将初始叠堆中的每个 ORU 替换为 m 个 ORU 来获得有效叠堆，其中有效叠堆的每个 ORU 是初始叠堆中相应 ORU 的 $1/m$ 厚。下文中给出了实例。

[0129] 带宽分析方法

[0130] ORU 的共振波长是层厚度和折射率值的组合导致对入射光波造成干涉，从而使 ORU 部分反射入射光时的波长。光学重复单元 (ORU) m 阶反射谐波的共振波长为

$$[0131] \quad \lambda_{o,m} = (2/m) \times (d_H n_H + d_L n_L),$$

[0132] 其中 m 是反射谐波阶次， d_H 和 d_L 分别是折射率值较高的材料（材料 A）和折射率值较低的材料（材料 B）的层厚度， n_H 和 n_L 是材料 A 和材料 B 的折射率值。

[0133] $(d_H n_H + d_L n_L)$ 项是 ORU 的光学厚度；观察上述方程可以看出，第 1 阶反射谐波出现在 ORU 的光学厚度的两倍处，第 2 阶反射谐波出现在 ORU 的光学厚度处，第 3 阶反射谐波出现在 ORU 的光学厚度的 $2/3$ 处，以此类推。

[0134] ORU 的另一个光学特性称为固有带宽。固有带宽 (IBW) 是依据导致反射率的相长干涉，对（层叠堆内）相邻 ORU 的相干强度的量度。ORU 不仅在由 ORU 的固有带宽确定的共振波长处有助于反射率，而且在该共振波长（较高和较低的波长）的任一侧也有助于反射率。 m 阶反射谐波的固有带宽为：

$$[0135] \quad IBW_m = \left(\frac{4}{\pi} \right) \cdot \left| \frac{(1 - a_m N_r)}{(1 + a_m N_r)} \right|,$$

[0136] 其中, $N_r = n_L/n_H$ 和 a_m 是 m 阶谐波的相对反射能力系数, 如图 5A 所示。因此, 例如, f 比率为 0.25 的第 2 阶反射谐波的相对反射能力系数 a_m 的值将为 0.5。

[0137] 为给定的反射谐波阶次 m 及给定的 ORU f 比率评估 IBW_m 时, 可将 IBW_m 乘以 ORU 的共振波长, 得到部分带宽 $\Delta \lambda_m$ 。该部分带宽 $\Delta \lambda_m = IBW_m * \lambda_{0,m}$ 是 ORU 和其他具有相似性质的 ORU 将在其中相干地创建反射的波长范围的量度。事实上, 由大量相同的 ORU 组成从而使得在常见共振波长处的反射率非常大 (接近 1 或 100%) 的微层叠堆, 将具有在共振波长的两侧延伸 $\Delta \lambda_m/2$ 的反射带。

[0138] 当以大体上单调的方式从薄层到厚层呈梯度状的微层叠堆中的大量相邻 ORU 具有彼此重叠的部分带宽 $\Delta \lambda_m$ 时, 会产生相干反射。事实上, 对于任何给定的 ORU 来说, 可利用其相关联的共振波长来分析相邻 ORU 的部分带宽 $\Delta \lambda_m$, 并且因而确定部分带宽与给定 ORU 的共振波长重叠的相邻 ORU 的数量。这些部分带宽与给定 ORU 的共振波长重叠的相邻 ORU 中的每一个都与给定的 ORU 相干, 从而在给定的 ORU 的共振波长处产生反射率。

[0139] 这项第一原理逻辑提出了一种方法, 即可根据每个 ORU 的共振波长 $\lambda_{0,m}$ 和部分带宽 $\Delta \lambda_m$, 利用已知的折射率值来分析 ORU 的模型化微层叠堆或测量的微层叠堆。对于每个 ORU 的共振波长, 可以计算部分带宽与给定的共振波长重叠的相邻 ORU 的数量。这个计数, 称为相干相邻计数 (CNC), 可在随后用于确定给定共振波长处的反射率水平。为了定量地确定该反射率水平, 我们采用了涉及相干地有助于反射率的 ORU 数量的反射率的标准公式, 以及 ORU 层材料的折射率值:

$$[0140] \quad R_m = \left(\frac{(1 - a_m N_r^{2CNC})}{(1 + a_m N_r^{2CNC})} \right)^2.$$

[0141] 该标准反射率公式对于相同 ORU 的微层叠堆最为精确, 同时它也为具有梯度光学厚度分布的微层叠堆提供了极佳的反射率近似值。借助该方法, 可以通过确定相干相邻计数 (CNC) 的值来计算微层叠堆内 (与每个 ORU 相关联的) 每个共振波长处的反射率。

[0142] 该方法使得本领域的技术人员可使用测得的微层叠堆厚度分布以及已知的层材料折射率数值, 来绘制任意阶反射带的波长范围, 除此之外还可定量地限定给定反射带的起始短波长, 以及同一反射带的终止长波长。

[0143] 此外, 通过进行上述分析, 本领域的技术人员可以分别确定源自给定微层叠堆的不同阶的多个反射带的波长范围, 其中所测量的反射光谱示出了由于显著的反射带重叠而导致的高反射率的单一波长区域, 并且各个反射带谐波均难以辨认。

[0144] 出于本申请的目的, 我们选择将微层叠堆给定的 (m 阶) 谐波反射带的开端限定为最短共振波长 $\lambda_{s,m}$, 对于该最短共振波长, CNC 提供的 R_m 值大于相关反射带峰值反射率的 25%。类似地, 我们将代表反射带末端的波长定义为最长共振波长 $\lambda_{L,m}$, 对于该最长共振波长, CNC 提供的 R_m 值大于相关反射带峰值反射率的 25%。使用这种方法, 我们能够可重复地确定给定反射带的短波长带边缘的波长 λ_s 和长波长带边缘的波长 λ_L 。

[0145] 有关带宽分析方法的进一步细节和讨论可见于上文引用的美国专利申请 13/844,664。

[0146] 第一模型化叠堆

[0147] 设计并模型化了一种具有第一模型化叠堆的多层光学膜。该叠堆使用了N个低折射率微层,这N个低折射率微层与N个高折射率微层以交替方式布置,形成N个ORU,其中N为138。每个ORU由低折射率微层(材料“B”)中的一个和高折射率微层(材料“A”)中的一个构成。低折射率微层的折射率 n_L 为1.494,高折射率微层的折射率 n_H 为1.65。这些折射率是聚合物干涉滤光器常用材料的代表性折射率。未使用波长色散,因此高阶反射带的带边缘波长标称为相应第一阶带边缘波长的简单整除数,并使得每条反射带内的反射率标称为恒定的(不包括轻微的光谱振荡)。(在实际的材料中,随波长而产生的折射率变化会使高阶反射带的波长位置稍微偏移,且较短波长处的反射率也将往往高于较长波长处的反射率。)由于在挤出聚合物多层叠堆中,在叠堆的两侧具有一个折射率为1.65的10微米厚的“表皮层”(作为多层光学膜的一部分)的排布方式很常见,因此也假定第一模型化叠堆及其相关的用于计算各个高阶反射带的“有效叠堆”具有这种排布方式。假定在每个表皮层的外部主表面处具有空气界面。

[0148] ORU被设计为具有0.25的f比率。

[0149] ORU还展现出梯度厚度分布。厚度分布由简单的幂定律限定,以得到相对平坦的反射光谱,即反射光谱的一阶反射带及随后呈现的每条高阶反射带具有基本恒定的反射率与波长关系。具体地讲,第n个ORU中的高折射率微层的物理厚度 d_H 和低折射率微层的物理厚度 d_L 由以下公式进行确定:

$$[0150] \quad d_H = \lambda_0 \times f \times \left(\frac{g^n}{2n_H} \right), \text{ 和}$$

$$[0151] \quad d_L = \lambda_0 \times (1-f) \times \left(\frac{g^n}{2n_L} \right),$$

[0152] 其中,n从1到N不等,F为0.25,g是选择用于定义梯度的常数。就第一模型化叠堆而言,g被选为1.00527。此外, λ_0 是为叠堆设计选择的起始波长。对于第一模型化叠堆, λ_0 被选为825nm。通过这些公式和参数可得到如图13中曲线1310所示的第一模型化叠堆的ORU厚度分布。

[0153] 使用上述的谐波分析方法计算第一模型化叠堆产生的单独的第1阶反射带、第2阶反射带和第3阶反射带。为这些单独谐波中的每一个定义“有效叠堆”,用于计算相应谐波阶次的反射光谱。对于第1阶,有效叠堆具有N个(即138个)ORU,并具有图13中曲线1310所示的ORU厚度分布,假定其f比率为0.5,并使用0.70711的傅立叶系数 c_1 计算有效折射率。对于第2阶,有效叠堆具有2N个(即276个)ORU,并具有图13中曲线1312所示的ORU厚度分布,假定其f比率为0.5,并使用0.5的傅立叶系数 c_2 计算有效折射率。对于第3阶,有效叠堆具有3N个(即414个)ORU,并具有图13中曲线1314所示的ORU厚度分布,假定其f比率为0.5,并使用0.235702的傅立叶系数 c_3 计算有效折射率。对这些有效叠堆进行计算后得到图14A所示的第1阶、第2阶和第3阶光谱反射率曲线。

[0154] 然后使用上述带宽分析法来确定图14A所示的第1阶、第2阶和第3阶反射带各自的短波长带边缘的波长 λ_S 和长波长带边缘的波长 λ_L 。在图中有三条线段叠加在一起,每条线段代表着利用带宽分析方法确定的相关联的谐波反射带的位置。每条线段都是相关

联反射带的线性表示。线段被标记为“LSR”，代表“线段表示”，由通过带宽分析法确定的端点所限定。因此，每条线段 LSR 都具有标记为“S”的短波长端点和标记为“L”的长波长端点，其中短波长端点的波长值 λ_s 是反射带的左带边缘的波长，而长波长端点的波长值 λ_L 是反射带的右带边缘的波长。通过在反射光谱中叠加线段 LSR，可以容易且精确地看到第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带在波长轴上的位置。由此还可以看出，对于该第一模型化叠堆，第 2 阶反射带与第 1 阶反射带和第 3 阶反射带两者均重叠。这些谐波反射带重叠产生如图 14B 所示的单条宽反射带。图 14B 绘出了使用常规光学模型化计算方法计算出的第一模型化叠堆的反射率，该计算方法未试图将各谐波阶次彼此区分开来，即，该计算方法简单地以波长的函数计算叠堆的总反射率。比较图 14A 和图 14B 可看出，图 14B 的单条宽反射带包括重叠的第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带。

[0155] 下表中汇总了与第一模型化叠堆相关的参数。

[0156] 第一模型化微层叠堆

[0157]

阶次 m	f 比率	N	梯度	C _m	n _H	n _L	λ_0
全部	0.25	138	1.00527	不适用	1.65	1.494	825
1	0.5	138	1.00527	0.70711	1.627154	1.516846	825
2	0.5	276	1.002635	0.5	1.611	1.533	413
3	0.5	414	1.001757	0.235702	1.590385	1.553615	275

[0158] 可通过使用常规光学模型化软件计算图 14B 的反射光谱，该软件可利用波长的函数来直接计算出叠堆的总反射率。作为另外一种选择，可通过将如（例如）图 14A 所示的各个谐波反射率进行光学组合，来获得这种反射光谱。尽管应注意在外部空气界面处可能会发生反射，但从图中可以看出，在任何给定波长下各个高阶反射带的附加性质遵循“玻片堆”反射器的规则。在该第一模型化膜中，第 2 阶谐波在 450nm 附近的总反射率为约 0.63（或 63%），第 3 阶反射带的反射率为约 0.33（或 33%）。图 14B 的模型化反射率在约 440nm 至 450nm 的范围内具有约 0.676 的平均反射率。图 14B 的模型化光学膜具有两个空气界面，而分别计算的第 2 阶和第 3 阶谐波阶次总计具有 4 个膜 / 空气界面。需要先将这些空气界面中的两个在数学上移除，然后再使用如上所述的“玻片堆”公式来计算两个有效叠堆的反射率，以便将其与产生两个阶次的反射率的单个微层叠堆的反射率进行比较。为了在数学上移除多余的空气界面，首先根据下述算式计算标记为“air”的一个空气 / 聚合物界面（折射率为 1.65）的反射率：

[0159]
$$air = \left(\frac{1.65 - 1.00}{1.65 + 1.00} \right)^2$$
。

[0160] 然后可通过下述公式来计算有效第 3 阶膜叠堆的内部反射率 R_{int} ：

[0161]
$$R_{int} = \frac{1 - air - (1 + air) \times T_{Total}}{1 - air - 2 \times air \times T_{Total}},$$

[0162] 其中 R_{int} 指膜叠堆的内部反射率（如上所述），“air”指计算出的空气 / 聚合物界面的反射率，“ T_{Total} ”指计算出的叠堆在空气中的总反射率。计算得到第 3 阶带的 R_{int} 为 0.267。玻片堆公式中的 R1 值和 R2 值即为 0.267 和 0.63，继而可预测第 2 阶带和第 3 阶带在 450nm 附近的组合反射率为 $R = 0.674$ 。该值接近图 14B 中光谱反射率曲线在 450nm 附近的平均值 0.676。

[0163] 在图 15A、图 15B 和图 15C 中，我们将第一模型化叠堆与第一对比微层叠堆进行比较，该第一对比微层叠堆的相关反射带中没有第 2 阶分量并且几乎完全由第 1 阶谐波产生。图 15A 绘出了作为波长的函数的模型化反射率。曲线 1510 与图 14B 中的反射率曲线相同，其表示第一模型化叠堆的总反射率。曲线 1512 是第一对比微层叠堆的反射率。第一对比叠堆使用了相同数量的 N(138) 个 ORU 并且为“A”和“B”微层使用了相同的高折射率和低折射率（分别为 1.65 和 1.494）。然而，第一对比叠堆使用的 f 比率为 0.5，该比率没有产生第 2 阶反射。这两种叠堆设计均产生相对小但相等的第 3 阶反射带（未单独绘出），但可以在约 400nm 到 550nm 的波长上观察到其附加反射率。由于第 3 阶反射带对这两种叠堆设计的贡献是相等的，我们在后述分析中选择将其忽略。

[0164] 此外，必须相对于第一模型化叠堆的 ORU 厚度分布改变第一对比叠堆的 ORU 厚度分布，以使第一对比叠堆的反射光谱与第一模型化叠堆的反射光谱基本匹配。图 15B 中绘出了二者的光学厚度分布。

[0165] 在该图中，曲线 1520 是第一模型化叠堆的 ORU 厚度分布，它与图 13 中的曲线 1310 相同。曲线 1522 是第一对比叠堆的 ORU 厚度分布。从该图中可明确两点。第一，可以看出第一模型化叠堆（曲线 1520）的 ORU 厚度分布的锥度比第一对比叠堆（曲线 1522）的 ORU 厚度分布的锥度更为温和。事实上，对于第一对比叠堆，最厚的 ORU 与最薄的 ORU 的厚度比率为 4，但对于第一模型化叠堆，该比率仅为 2。第二，第一模型化叠堆使用的 ORU（和微层）通常比第一对比叠堆使用的 ORU（和微层）更厚。例如，第一对比叠堆中最薄的 ORU 为 200nm 厚，而第一模型化叠堆中最薄的 ORU 为 400nm 厚。如上所述，较厚的层和较温和的锥度可以使第一模型化叠堆比第一对比叠堆更容易制造。

[0166] 图 15C 是图 12 的再现，不同的是图上绘出了两个点，以表示第一微层叠堆（点 P1）和第一对比微层叠堆（点 P2）的工作。第一对比叠堆仅利用第 1 阶反射带（“第 1 阶”），并在 0.5 的 f 比率下工作，因此，点 P2 具有 1.0 的相对反射能力。另一方面，第一模型化叠堆在 0.25 的 f 比率下工作，这使得第 1 阶反射的相对反射能力显著减小。但是，因为第一模型化叠堆利用第 1 阶反射带和第 2 阶反射带两者（“第 1 阶 + 第 2 阶”），其相关联的点 P2 也具有 1.0 的相对反射能力。

[0167] 下表中汇总了与第一模型化叠堆和第一对比叠堆（“宽带 1”）之间的比较有关的参数。

[0168] 第一模型化叠堆与第一对比叠堆的比较

[0169]

阶次 m	f 比率	N	梯度	Cm	n_H	n_L	λ_0
全部	0.25	138	1.00527	不适用	1.65	1.494	825

宽带 1	0.5	138	1.01048	不适用	1.65	1.494	405
------	-----	-----	---------	-----	------	-------	-----

[0170] 第二模型化叠堆

[0171] 设计并模型化了具有第二模型化叠堆的另一种多层光学膜。该叠堆使用了 N 个低折射率微层, 这 N 个低折射率微层与 N 个高折射率微层以交替方式布置, 形成 N 个 ORU, 其中 N 为 138。每个 ORU 由低折射率微层 (材料“B”) 中的一个和高折射率微层 (材料“A”) 中的一个构成。低折射率微层的折射率 n_L 为 1.494, 高折射率微层的折射率 n_H 为 1.65。没有对波长使用色散。也假定第二模型化叠堆及其相关的用于计算各个高阶反射带的“有效叠堆”在叠堆的两侧具有一个折射率为 1.65 的 10 微米厚的“表皮层” (作为多层光学膜的一部分)。假定在每个表皮层的外部主表面处具有空气界面。

[0172] ORU 被设计为具有 0.33 的 f 比率。如图 5A 所示, 该 f 比率基本上不会产生第 3 阶谐波反射。

[0173] ORU 具有与第一模型化叠堆相同的梯度厚度分布。因此, 第二模型化叠堆的 ORU 厚度分布也由图 13 的曲线 1310 示出。

[0174] 使用上述的谐波分析方法计算第二模型化叠堆产生的单独的第 1 阶反射带和第 2 阶反射带。为这些单独谐波中的每一个定义“有效叠堆”, 用于计算相应谐波阶次的反射光谱。对于第 1 阶, 有效叠堆具有 N 个 (即 138 个) ORU, 并具有图 13 中曲线 1310 所示的 ORU 厚度分布, 假定其 f 比率为 0.5, 并使用 0.860742 的傅立叶系数 c_1 计算有效折射率。对于第 2 阶, 有效叠堆具有 $2N$ 个 (即 276 个) ORU, 并具有图 13 中曲线 1312 所示的 ORU 厚度分布, 假定其 f 比率为 0.5, 并使用 0.438153 的傅立叶系数 c_2 计算有效折射率。对这些有效叠堆进行计算后得到图 16A 所示的第 1 阶和第 2 阶光谱反射率曲线。

[0175] 然后使用上述带宽分析法来确定图 16A 所示的第 1 阶和第 2 阶反射带各自的短波长带边缘的波长 λ_S 和长波长带边缘的波长 λ_L 。在图中有两条线段叠加在一起, 每条线段代表着利用带宽分析方法确定的相关联的谐波反射带的位置。每条线段都是相关联反射带的线性表示, 并且都标记为“LSR”, 其具有标记为“S”的短波长端点和标记为“L”的长波长端点。通过在反射光谱中叠加线段 LSR, 可以精确地看到第 1 阶和第 2 阶反射带在波长轴上的位置。由此还可以看出, 对于该第二模型化叠堆, 第 2 阶反射带与第 1 阶反射带 (但不是第 3 阶反射带) 重叠。这些谐波反射带重叠产生如图 16B 所示的单条加宽的反射带。图 16B 绘出了使用常规光学模型化计算方法计算出的第二模型化叠堆的反射率, 该计算方法未试图将各谐波阶次彼此区分开来, 即, 该计算方法简单地以波长的函数计算叠堆的总反射率。比较图 16A 和图 16B 可看出, 图 16B 的单条宽反射带包括重叠的第 1 阶和第 2 阶反射带。还应注意, 由于第 1 阶和第 2 阶反射带的反射率水平不同, 第二模型化叠堆的总反射光谱的反射率具有突然的阶跃变化。尽管在该叠堆中使用了平滑改变的 ORU 厚度分布 (图 13 中的曲线 1310), 但总反射光谱仍会具有上述突然的阶跃变化。

[0176] 下表中汇总了与第二模型化叠堆相关的参数。

[0177] 第二模型化微层叠堆

[0178]

阶次 m	f 比率	N	梯度	C_m	n_H	n_L	λ_0
--------	--------	-----	----	-------	-------	-------	-------------

全部	0.33	138	1.00527	不适用	1.65	1.494	825
1	0.5	138	1.00527	0.860742	1.639138	1.504862	825
2	0.5	276	1.002635	0.438153	1.606176	1.537824	413

[0179] 结合图 16C,我们研究了当第二模型化叠堆的 f 比率从 0.33 改为 0.36 时,该叠堆的反射率情况。曲线 1610 是第二模型化叠堆的反射率光谱,即该光谱与图 16B 中所示的反射率光谱相同。曲线 1612 是计算得到的经修改的叠堆的反射率光谱。请注意,再次产生了单条宽反射带,并且再次出现了反射率突然的阶跃变化。由于曲线 1612 在 900nm 到 1600nm 范围内的平均反射率比曲线 1610 高,并且在 450nm 到 800nm 范围内的平均反射率比曲线 1610 低,因此曲线 1612 的阶跃变化大于曲线 1610 的阶跃变化。 f 比率从 0.33 增大至 0.36 产生了较弱的第 3 阶响应,该响应可以在光谱 1612 上的约 400nm 到 550nm 的波长范围内被检测到。

[0180] 第三模型化叠堆

[0181] 设计并模型化了具有第三模型化叠堆的另一种多层光学膜。该叠堆使用了 N 个低折射率微层,这 N 个低折射率微层与 N 个高折射率微层以交替方式布置,形成 N 个 ORU,其中 N 为 138。每个 ORU 由低折射率微层(材料“B”)中的一个和高折射率微层(材料“A”)中的一个构成。低折射率微层的折射率 n_L 为 1.494,高折射率微层的折射率 n_H 为 1.65。没有对波长使用色散。也假定第三模型化叠堆及其相关的用于计算各个高阶反射带的“有效叠堆”在叠堆的两侧具有一个折射率为 1.65 的 10 微米厚的“表皮层”(作为多层光学膜的一部分)。假定在每个表皮层的外部主表面处具有空气界面。

[0182] ORU 被设计为具有 0.59 的 f 比率。从图 5A 看出,该 f 比率产生大量的第 1 阶、第 2 阶、第 3 阶和第 4 阶谐波反射,第 2 阶和第 3 阶谐波的反射能力彼此基本相等。

[0183] ORU 具有梯度厚度分布,该厚度分布以等于 1.003 的梯度常数 g 为特征。此外,选择 1215nm 作为起始波长 λ_0 。在上述梯度厚度公式中使用这些参数,得到图 17 中曲线 1710 所示的第三模型化叠堆的 ORU 厚度分布。

[0184] 使用上述的谐波分析方法计算第三模型化叠堆产生的单独的第 1 阶反射带、第 2 阶反射带和第 3 阶反射带。为这些单独谐波中的每一个定义“有效叠堆”,用于计算相应谐波阶次的反射光谱。对于第 1 阶,有效叠堆具有 N 个(即 138 个)ORU,并具有图 17 中曲线 1710 所示的 ORU 厚度分布,假定其 f 比率为 0.5,并使用 0.9603 的傅立叶系数 c_1 计算有效折射率。对于第 2 阶,有效叠堆具有 $2N$ 个(即 276 个)ORU,并具有图 17 中曲线 1712 所示的 ORU 厚度分布,假定其 f 比率为 0.5,并使用 0.267913 的傅立叶系数 c_2 计算有效折射率。对于第 3 阶,有效叠堆具有 $3N$ 个(即 414 个)ORU,并具有图 17 中曲线 1714 所示的 ORU 厚度分布,假定其 f 比率为 0.5,并使用 0.220437 的傅立叶系数 c_3 计算有效折射率。对这些有效叠堆进行计算后得到图 18A 所示的第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶光谱反射率曲线。

[0185] 然后使用上述带宽分析法来确定图 18A 所示的第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带各自的短波长带边缘的波长 λ_S 和长波长带边缘的波长 λ_L 。在图中有三条线段叠加在一起,每条线段代表着利用带宽分析方法确定的相关联的谐波反射带的位置。每条线段都是相关反射带的线性表示,并且都标记为“LSR”,其具有标记为“S”的短波长端点和标记为“L”

的长波长端点。通过在反射光谱中叠加线段 LSR,可以精确地看到第 1 阶、第 2 阶和第 3 阶反射带在波长轴上的位置。由此可以看出,对于该第三模型化叠堆,第 2 阶反射带不与第 1 阶反射带重叠,也不与第 3 阶反射带重叠,但非常接近第 3 阶反射带。事实上,第 2 阶带的短波长端点 S 出现在 626nm,并且第 3 阶带的长波长端点 L 出现在 597nm,这两个波长之间的差值 (29nm) 小于 626nm 的 5%。因此,第三模型化叠堆的第 2 阶和第 3 阶反射带基本上重叠。这些谐波反射带大量重叠 (也包括第 3 阶和第 4 阶反射谱带的重叠,未示出),产生可如图 18B 所示的单条加宽的反射带 1810。图 18B 绘出了使用常规光学模型化计算方法计算出的第三模型化叠堆的反射率,该计算方法未试图将各谐波阶次彼此区分开来,即,该计算方法简单地以波长的函数计算叠堆的总反射率。比较图 18A 和图 18B 可看出,图 18B 的单条宽反射带 1810 包括重叠的第 2 阶和第 3 阶反射带。由于第 3 阶和第 4 阶反射带重叠,在带 1810 中还可看到突然的阶跃变化。尽管在该叠堆中使用了平滑改变的 ORU 厚度分布 (图 17 中的曲线 1710),但其反射带中仍会存在此突然的阶跃变化。

[0186] 下表中汇总了与第三模型化叠堆相关的参数。

[0187] 第三模型化微层叠堆

[0188]

阶次 m	f 比率	N	梯度	C _m	n _H	n _L	λ_0
全部	0.59	138	1.003	不适用	1.65	1.494	1215
2	0.5	276	1.0015	0.267913	1.5929	1.5511	608
3	0.5	414	1.001	0.220437	1.58919	1.55481	405

[0189] 第二对比微层叠堆

[0190] 我们现在把注意力转向在上文引用的美国专利申请 13/844664 中被称为实例 1 的取向多层光学薄膜。该光学膜包括两个变迹微层叠堆,在 ‘664 申请中称为“分组 1”和“分组 2”,二者由光学厚聚合物层分离。出于本说明书的目的,分组 2 被在本文中称作第二对比微层叠堆,或简称为第二对比叠堆。这两个叠堆中的每个都包含 275 层交替的低折射率聚合物和高折射率聚合物,这两个叠堆的高折射率材料为 90/10coPEN (折射率 1.795),并且分组 1 的低折射率材料为 55/45coPEN (各向同性折射率 1.605),分组 2 的低折射率材料为 NEOSTAR FN007 共聚酯 (折射率 1.505)。多层光学膜的层厚度值使用原子力显微术 (AFM) 测得,并且分组 1 和分组 2 的层厚度分布 19a 和 19b 在图 19 中示出。

[0191] 图 20 绘出了取向多层光学膜沿膜的阻光轴所测得的透射光谱,其中曲线 20a 代表分组 1 的阻光轴光谱,曲线 20b 代表分组 2 的阻光轴光谱。

[0192] 通过进行光学模型“光谱拟合”操作,采用该实例的拉伸聚合物的所测得折射率值,并且所测得的层厚度限定了分组的 ORU,通过改变每个分组内 ORU 的 f 比率,找到了所测得光谱的最佳拟合。此外,对分组 2 的总厚度进行了小调整 (变薄 5%),以使模型化光谱最佳地匹配于所测得的光谱。在此操作中,我们发现,通过假设 f 比率为 0.64,分组 1 的所测得的光谱获得了最佳匹配,通过假设 f 比率为 0.62,分组 2 的所测得的光谱获得了最佳匹配。

[0193] 此分析提供了分组 2 (即,第二对比叠堆) 的相关特性的模型,从中可以如上所述

地计算出总反射率和特定谐波反射率。图 21 中的曲线 2110 绘出了使用常规光学模型化计算方法计算出的第二对比叠堆的反射率,该计算方法未试图将各谐波阶次彼此区分开来,即,该计算方法简单地以波长的函数计算叠堆的总反射率。使用上述的谐波分析方法计算模型化分组 2 产生的单独的第 1 阶反射带和第 2 阶反射带。为这些单独谐波中的每一个定义“有效叠堆”,用于计算相应谐波阶次的反射光谱。对这些有效叠堆进行计算,得到第 1 阶光谱反射率曲线,即图 21 中绘出的曲线 2112,和第 2 阶光谱反射率曲线,即图 21 中绘出的曲线 2114。然后使用上述带宽分析法来确定图 21 所示的第 1 阶和第 2 阶反射带各自的短波长带边缘的波长 λ_s 和长波长带边缘的波长 λ_L 。在图中有两条线段叠加在一起,每条线段代表着利用带宽分析方法确定的相关联的谐波反射带的位置。每条线段都是相关联反射带的线性表示,并且都标记为“LSR”,其具有标记为“S”的短波长端点和标记为“L”的长波长端点。通过在反射光谱中叠加线段 LSR,可以精确地看到第 1 阶和第 2 阶反射带在波长轴上的位置。由此可以看出,对于该第二对比叠堆,第 2 阶反射带与第 1 阶反射带不重叠。此外,第 1 阶和第 2 阶反射带的最近带边缘不在彼此 5% 的范围内,因此,第 2 阶反射带也基本上不与第 1 阶反射带重叠。

[0194] 除非另外指明,否则本说明书和权利要求书中用来表示数量、特性量度等的所有数值都应当理解为由术语“约”修饰。因此,除非有相反的指示,否则本说明书和权利要求书中列出的数值参数均为近似值,这些近似值可根据本领域内的技术人员利用本专利申请的教导内容想要获得的所需特性而改变。并且不旨在将等同原则的应用限制在权利要求书范围内,至少应该根据所记录的有效数位的数目和通过应用惯常的四舍五入法来解释每个数值参数。虽然给出本发明宽范围的数值范围和参数是近似值,但就任何数值均在本文所述具体实例中列出来,其记录尽可能地精确并且合理。然而,任何数值可以包括与测试或测量限制关联的误差。

[0195] 为了方便起见,参照附图来使用本文提及的诸如“顶部”、“底部”、“左侧”、“右侧”、“上部”、“下部”、“上方”、“下方”的任何方向以及其他方向和取向,但是这些方向和取向并非要对实际的装置、制品或系统或其使用进行限制。本文所述的装置、制品和系统可在各种方向和取向上使用。

[0196] 在不脱离本发明的精神和范围的前提下,对本发明进行的各种修改和更改对于本领域内的技术人员来说将显而易见,并且应当理解,本发明不应当限于本文示出的示例性实施例。除非另外指明,否则读者应该假设一个所公开的实施例的特征也可以应用于所有其它所公开的实施例。应该理解,所有本文引用的美国专利、专利申请公开及其他专利和非专利文档都以其不与上述公开抵触的程度通过引用的方式并入。

[0197] 本文公开了许多实施例,包括但不限于以下实施例:

[0198] 项目 1 是一种多层光学膜,其包括被布置成光学重复单元的微层叠堆;

[0199] 其中,在设计入射角下,该微层叠堆提供第 1 阶反射带、第 2 阶反射带和可选的第 3 阶反射带;

[0200] 其中第 1 阶反射带至少部分地设置在 720nm 到 2000nm 的波长范围内;

[0201] 其中第 2 阶反射带至少部分地设置在 380nm 到 720nm 的波长范围内;并且

[0202] 其中第 2 阶反射带与第 1 阶反射带和第 3 阶反射带中的至少一者基本上重叠,形成单条宽反射带。

[0203] 项目 2 是项目 1 的多层光学膜,其中第 2 阶反射带与第 1 阶反射带基本上重叠,使得单条宽反射带包括第 1 阶反射带和第 2 阶反射带。

[0204] 项目 3 是项目 2 的多层光学膜,其中第 2 阶反射带与第 1 阶反射带重叠。

[0205] 项目 4 是项目 2 的多层光学膜,其中第 1 阶反射带和第 2 阶反射带具有基本上相等的反射率。

[0206] 项目 5 是项目 4 的多层光学膜,其中第 1 阶反射带和第 2 阶反射带具有相差小于 10% 分数值的平均反射率。

[0207] 项目 6 是项目 2 的多层光学膜,其中第 1 阶反射带和第 2 阶反射带具有显著不同的反射率。

[0208] 项目 7 是项目 6 的多层光学膜,其中第 1 阶反射带和第 2 阶反射带具有相差大于 10% 分数值的平均反射率。

[0209] 项目 8 是项目 2 的多层光学膜,其中微层叠堆不提供第 3 阶反射带。

[0210] 项目 9 是项目 2 的多层光学膜,其中微层叠堆提供第 3 阶反射带。

[0211] 项目 10 是项目 9 的多层光学膜,其中第 3 阶反射带至少部分地设置在 300nm 到 380nm 的波长范围内。

[0212] 项目 11 是项目 1 的多层光学膜,其中微层叠堆提供第 3 阶反射带,并且第 2 阶反射带与第 3 阶反射带基本上重叠,使得单条宽反射带包括第 2 阶反射带和第 3 阶反射带。

[0213] 项目 12 是项目 11 的多层光学膜,其中第 2 阶反射带与第 3 阶反射带重叠。

[0214] 项目 13 是项目 11 的多层光学膜,其中第 2 阶反射带与第 1 阶反射带基本上不重叠,使得单条宽反射带不包括第 1 阶反射带。

[0215] 项目 14 是项目 11 的多层光学膜,其中第 2 阶反射带和第 3 阶反射带具有基本上相等的反射率。

[0216] 项目 15 是项目 14 的多层光学膜,其中第 2 阶反射带和第 3 阶反射带具有相差小于 10% 分数值的平均反射率。

[0217] 项目 16 是项目 11 的多层光学膜,其中第 2 阶反射带和第 3 阶反射带具有显著不同的反射率。

[0218] 项目 17 是项目 16 的多层光学膜,其中第 2 阶反射带和第 3 阶反射带具有相差大于 10% 分数值的平均反射率。

[0219] 项目 18 是项目 1 的多层光学膜,其中第 2 阶反射带覆盖 380nm 到 720nm 的波长范围内的至少 100nm。

[0220] 项目 19 是项目 1 的多层光学膜,其中单条宽反射带的反射率具有阶跃变化,并且其中微层叠堆以平滑改变的 ORU 厚度分布为特征。

[0221] 项目 20 是项目 1 的多层光学膜,其中第 2 阶反射带至少部分地设置在 300nm 到 380nm 的波长范围内。

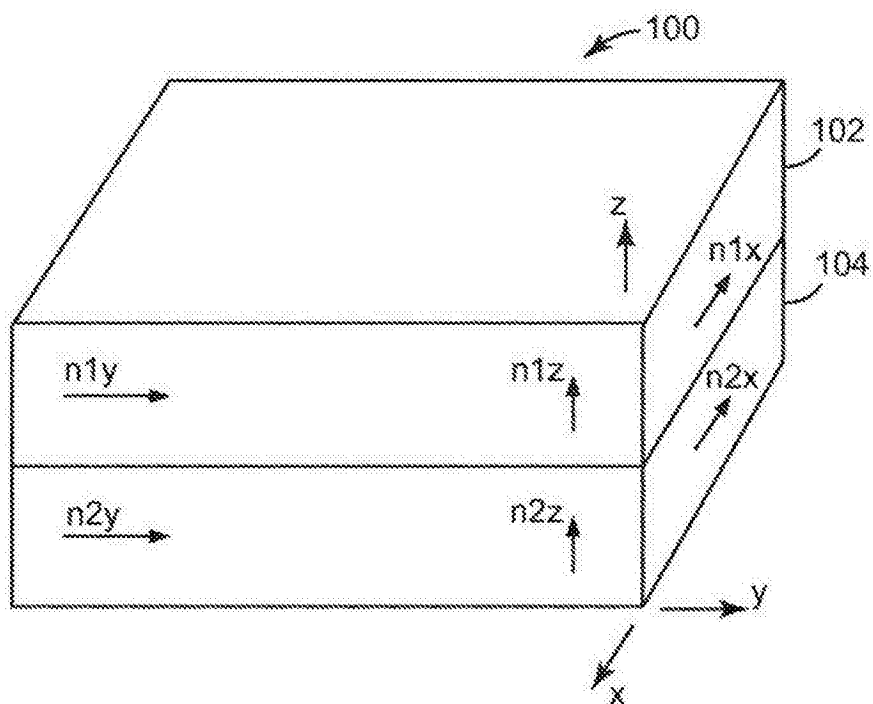


图 1

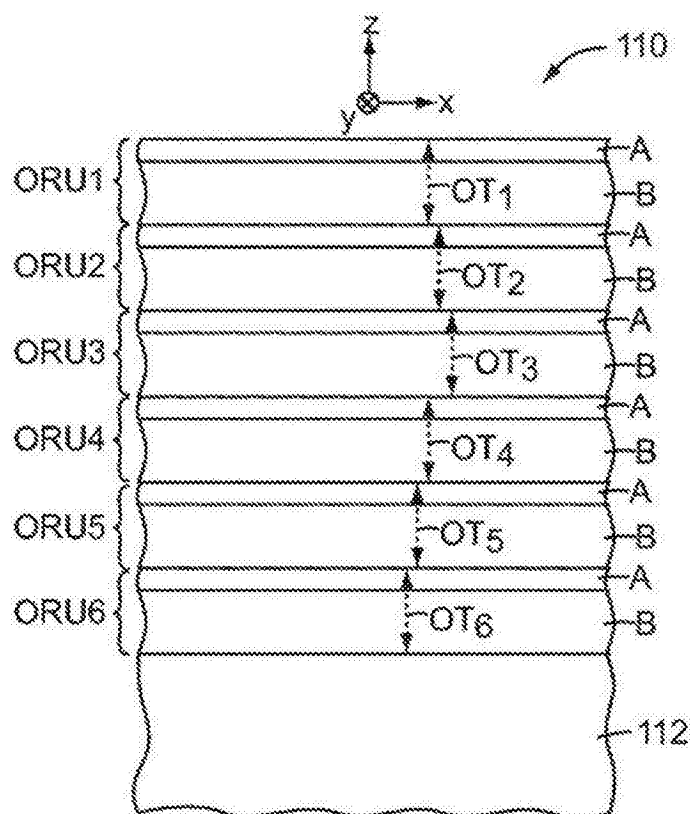


图 2

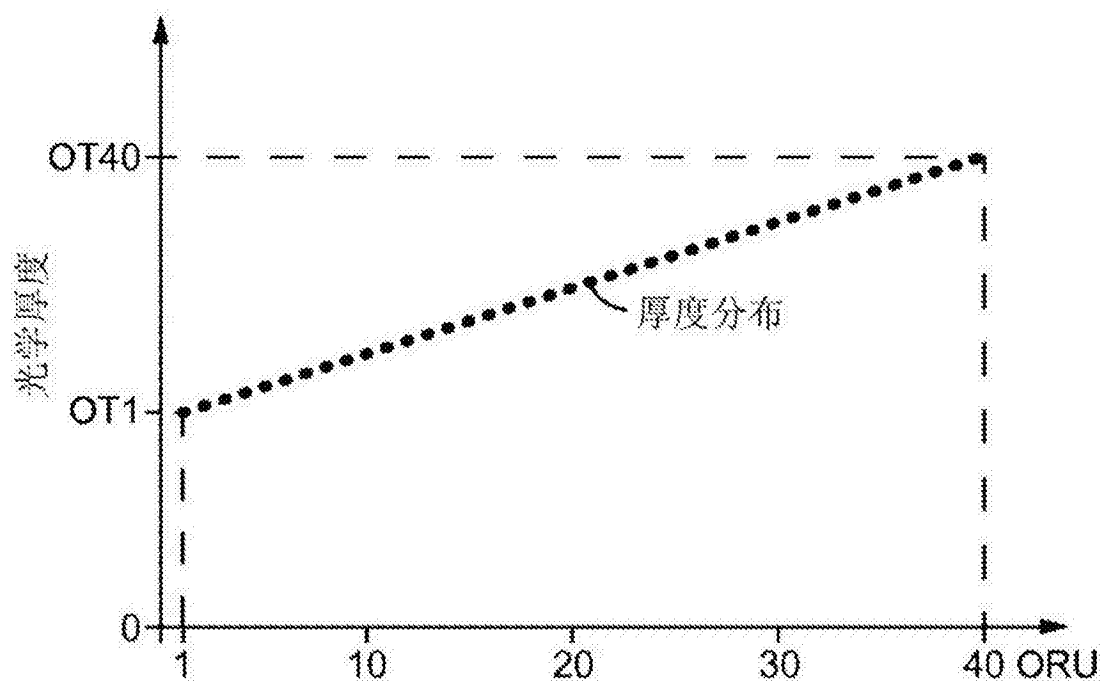


图 3

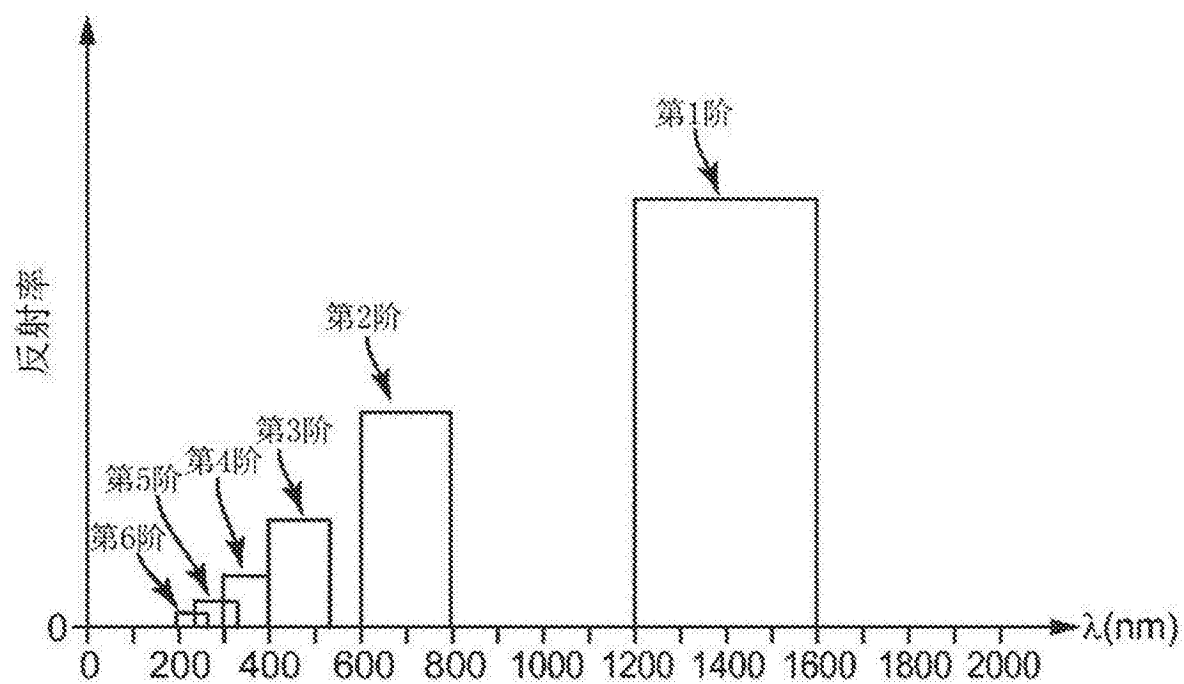


图 4

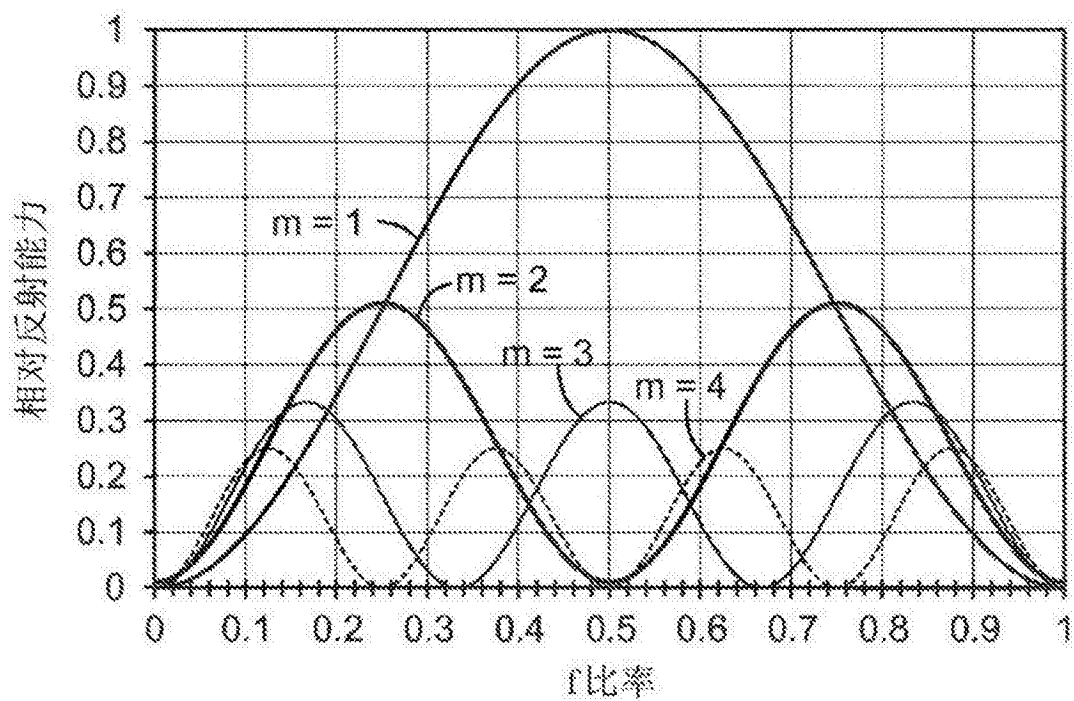


图 5A

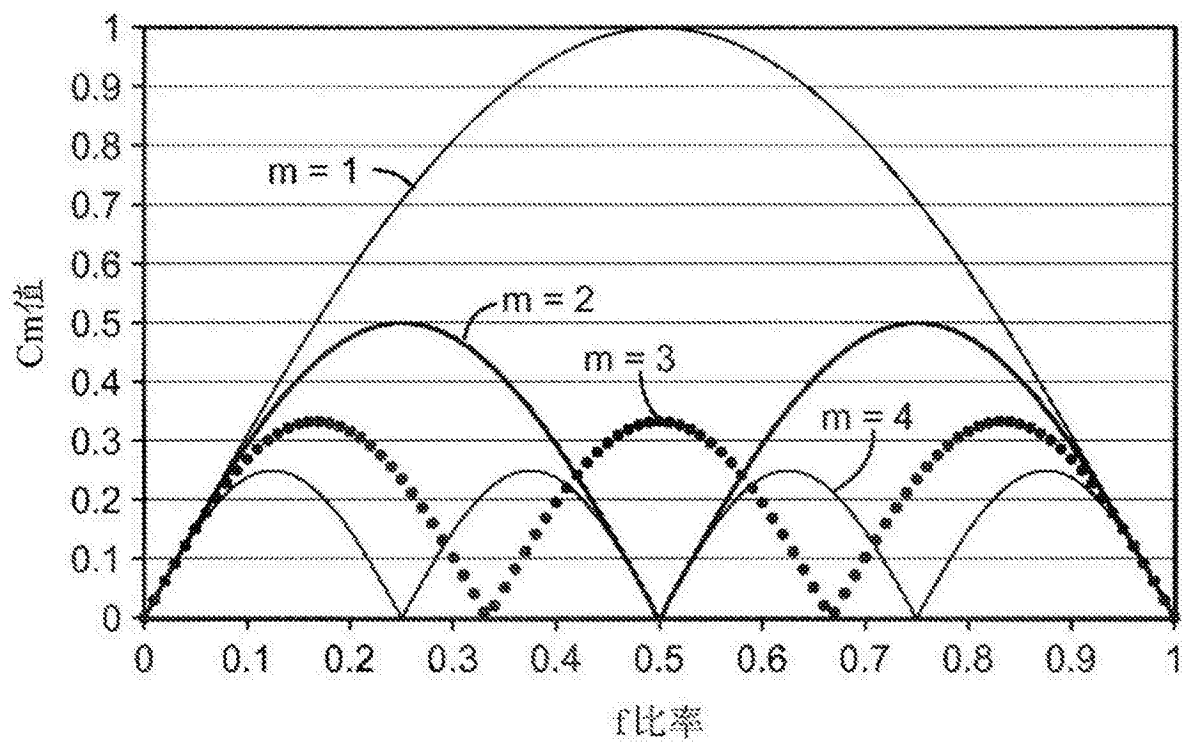


图 5B

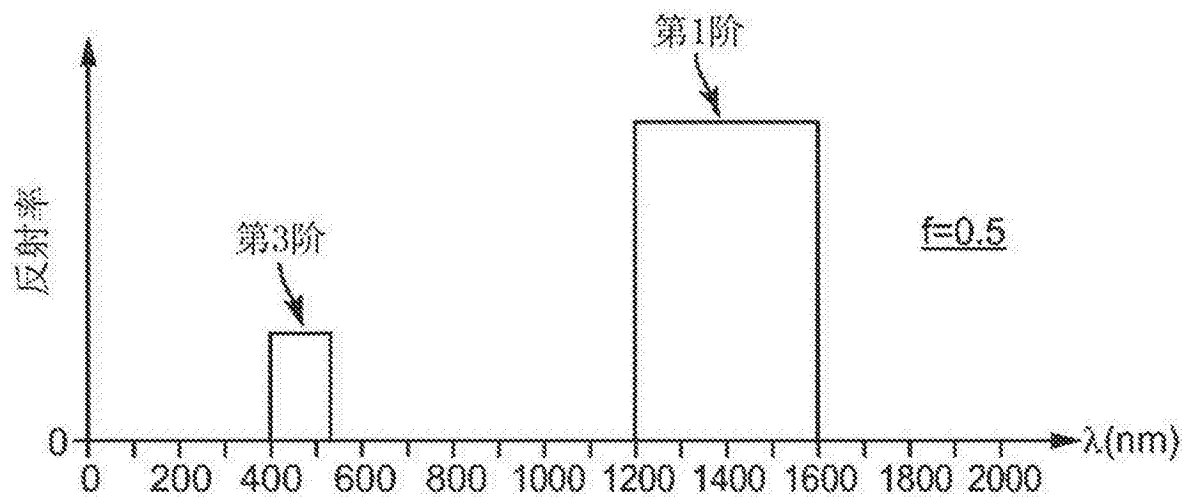


图 6A

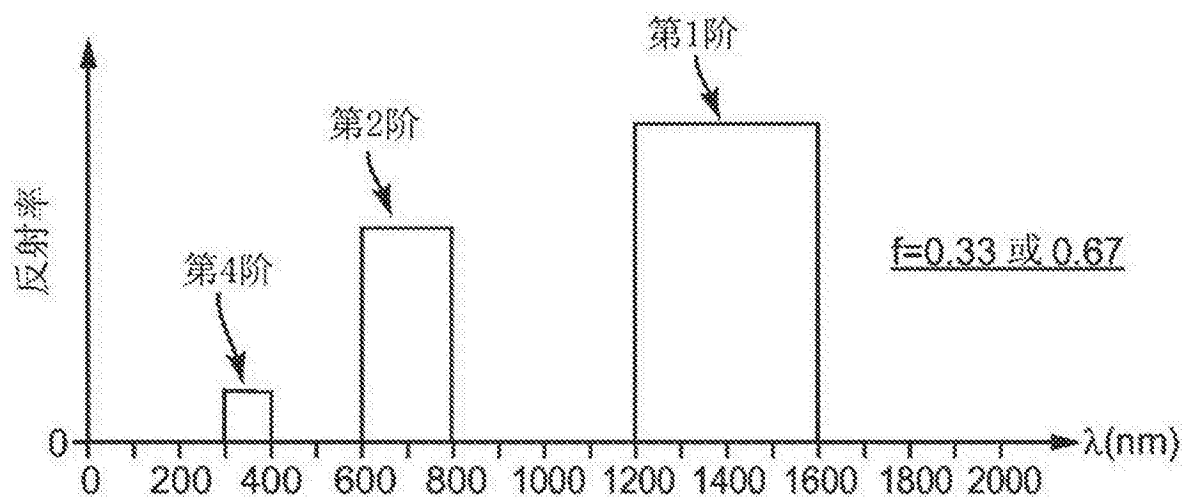


图 6B

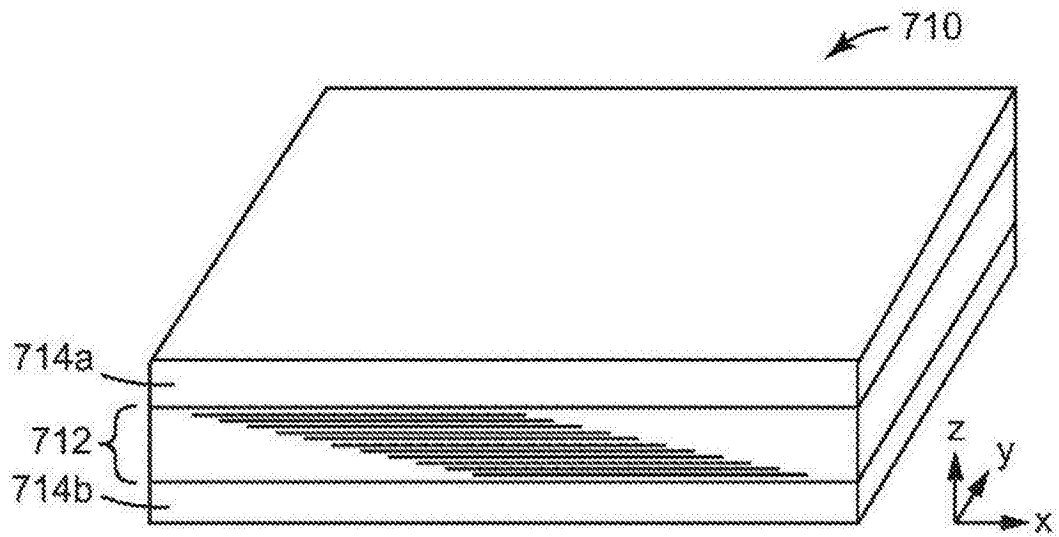


图 7

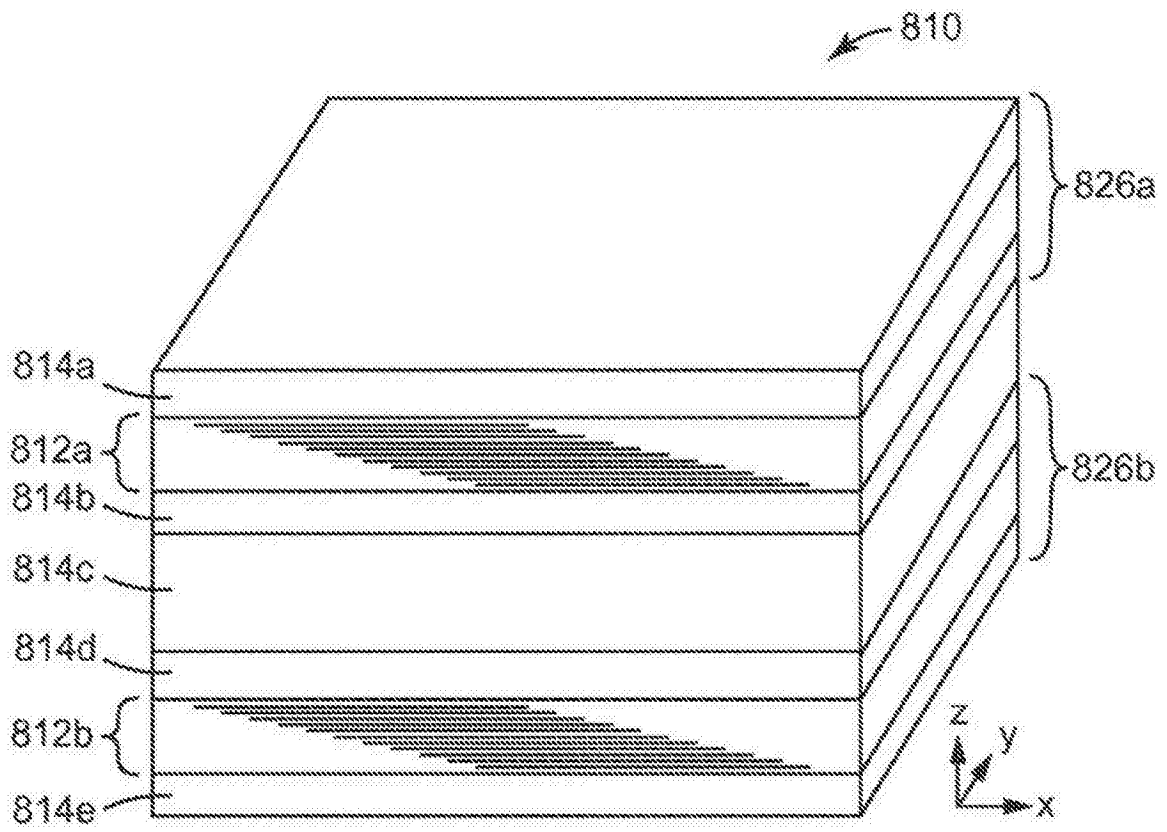


图 8

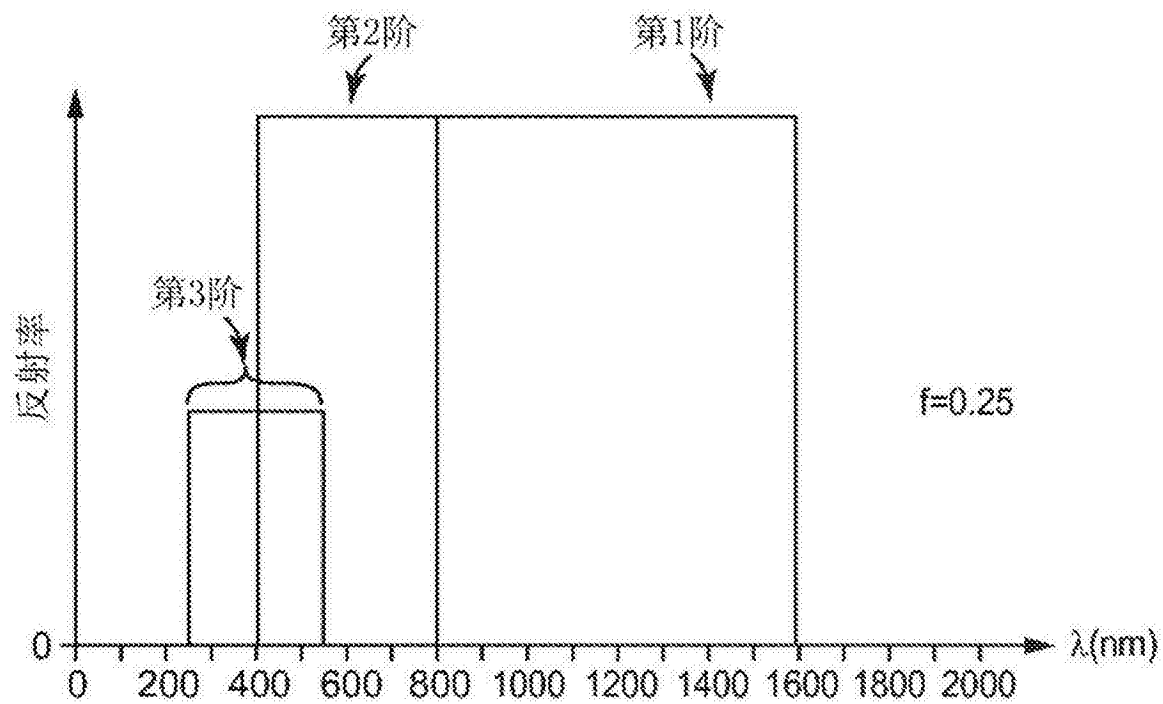


图 9A

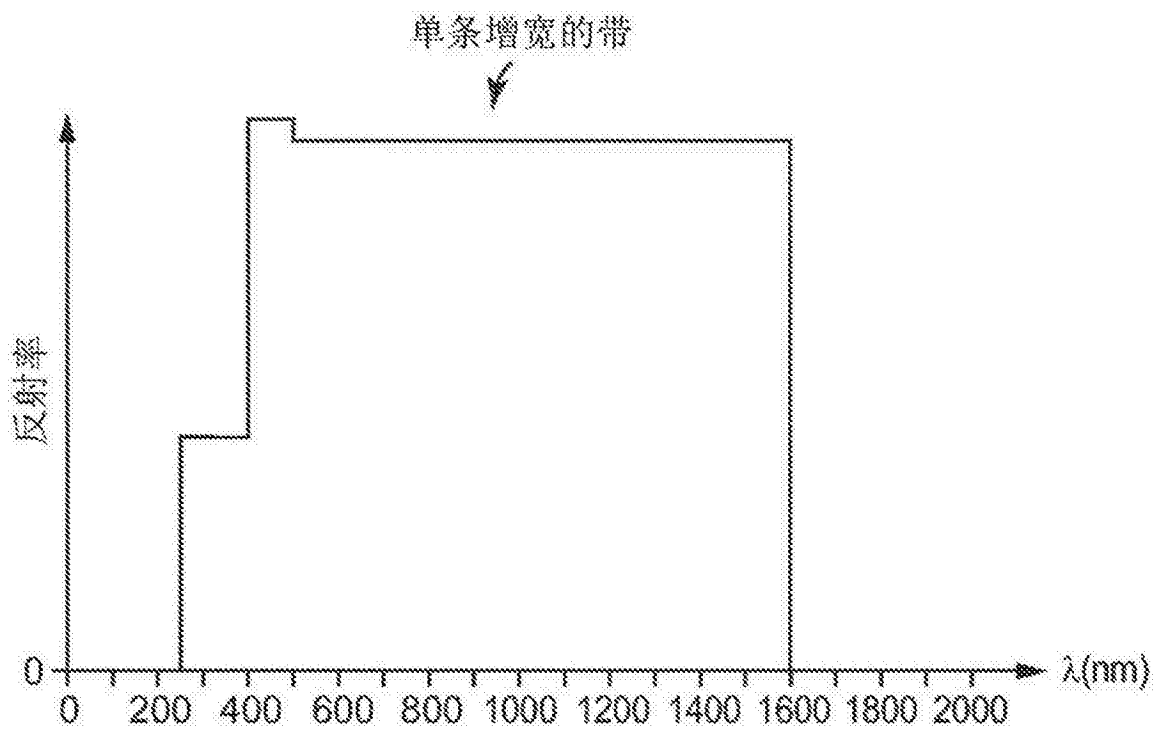


图 9B

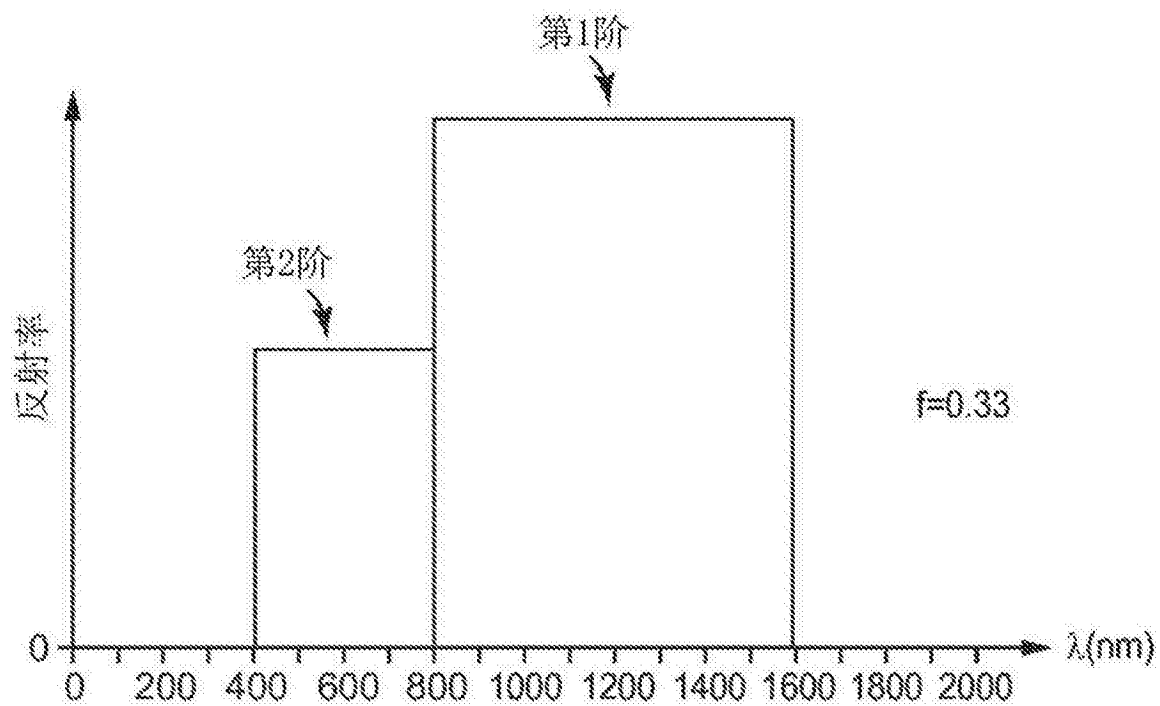


图 10A

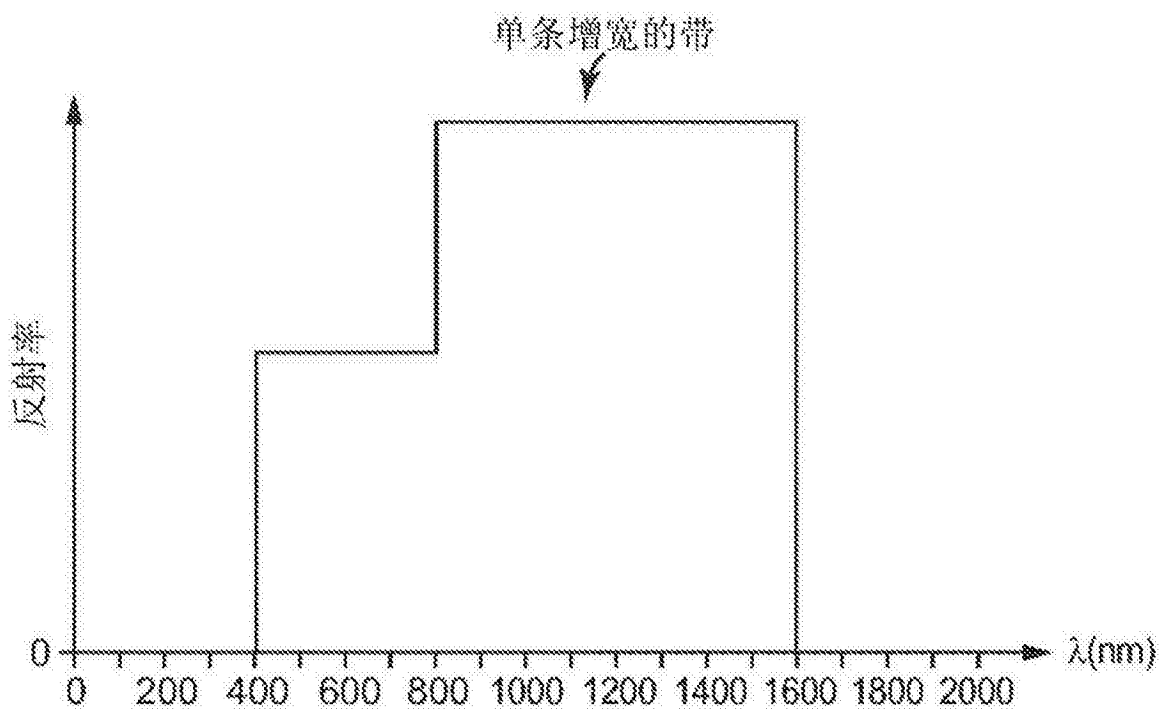


图 10B

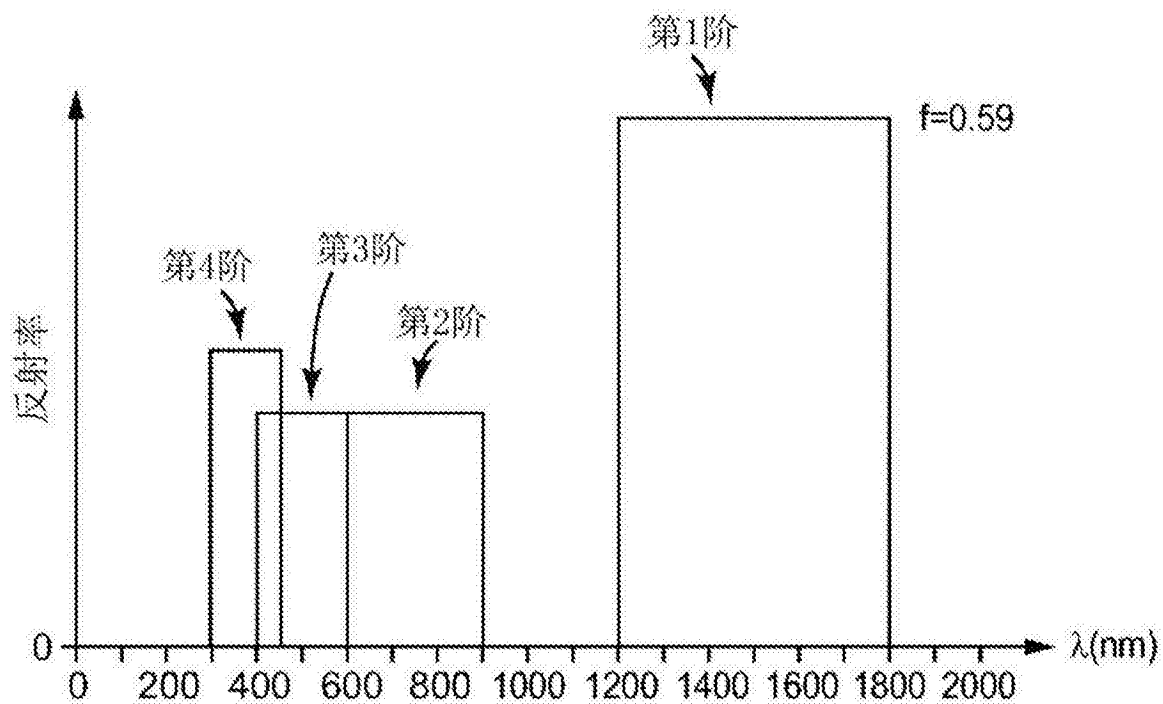


图 11A

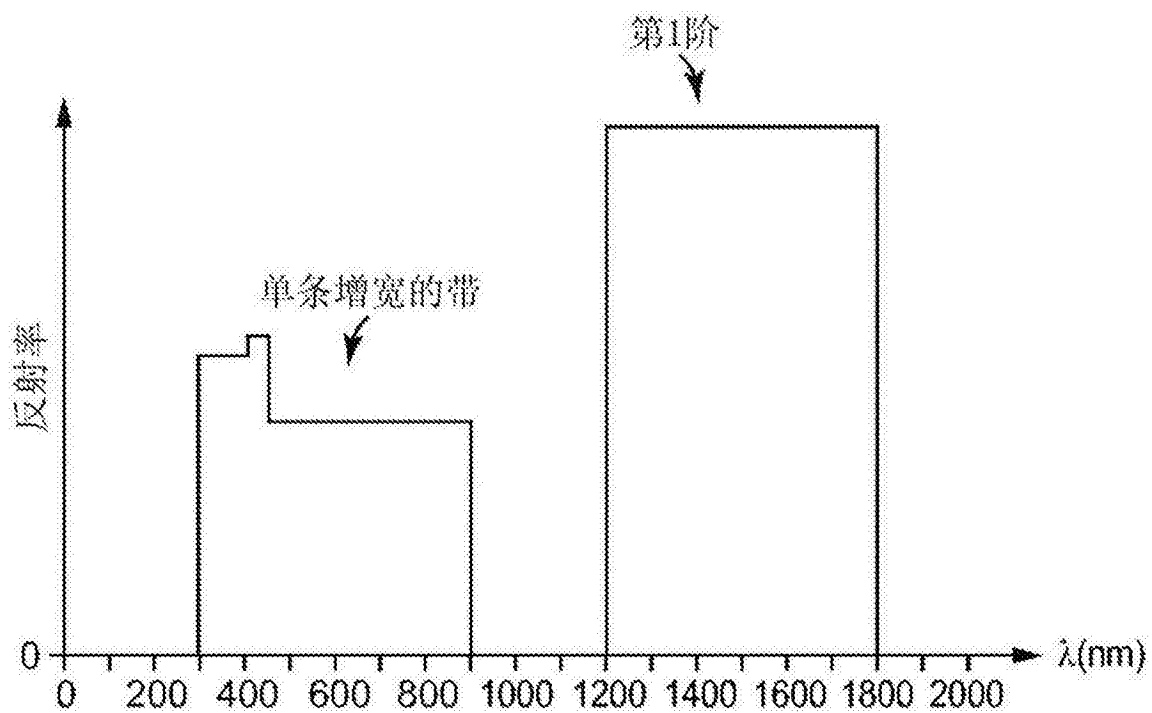


图 11B

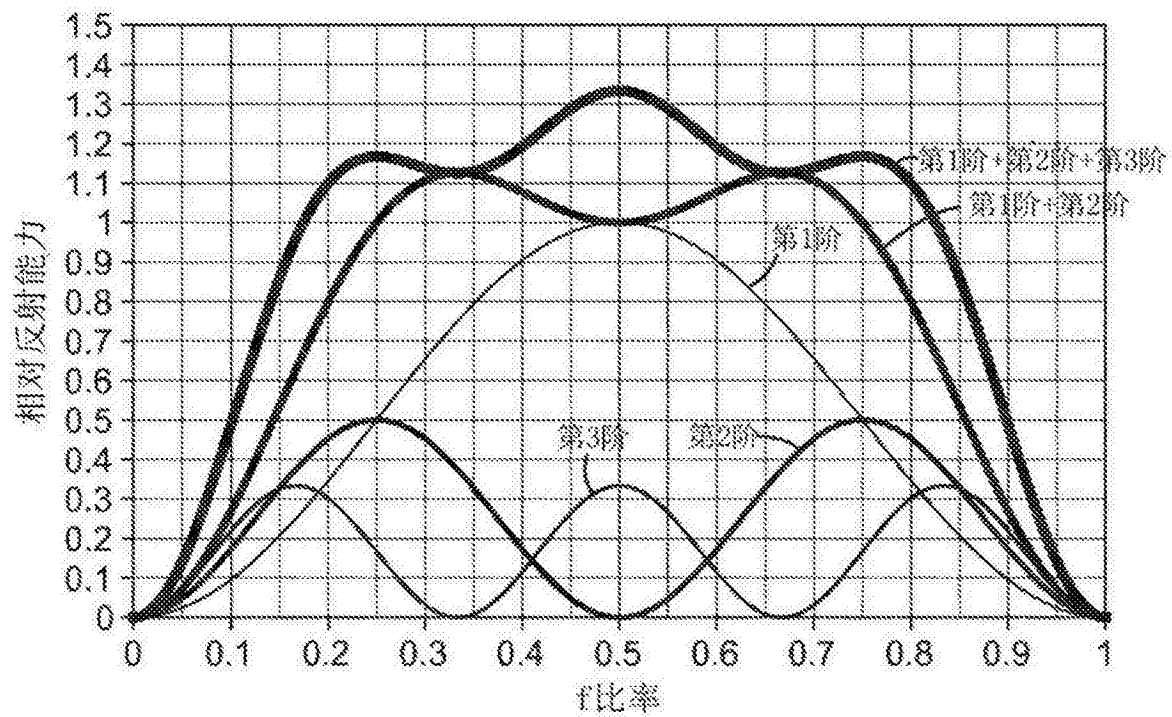


图 12

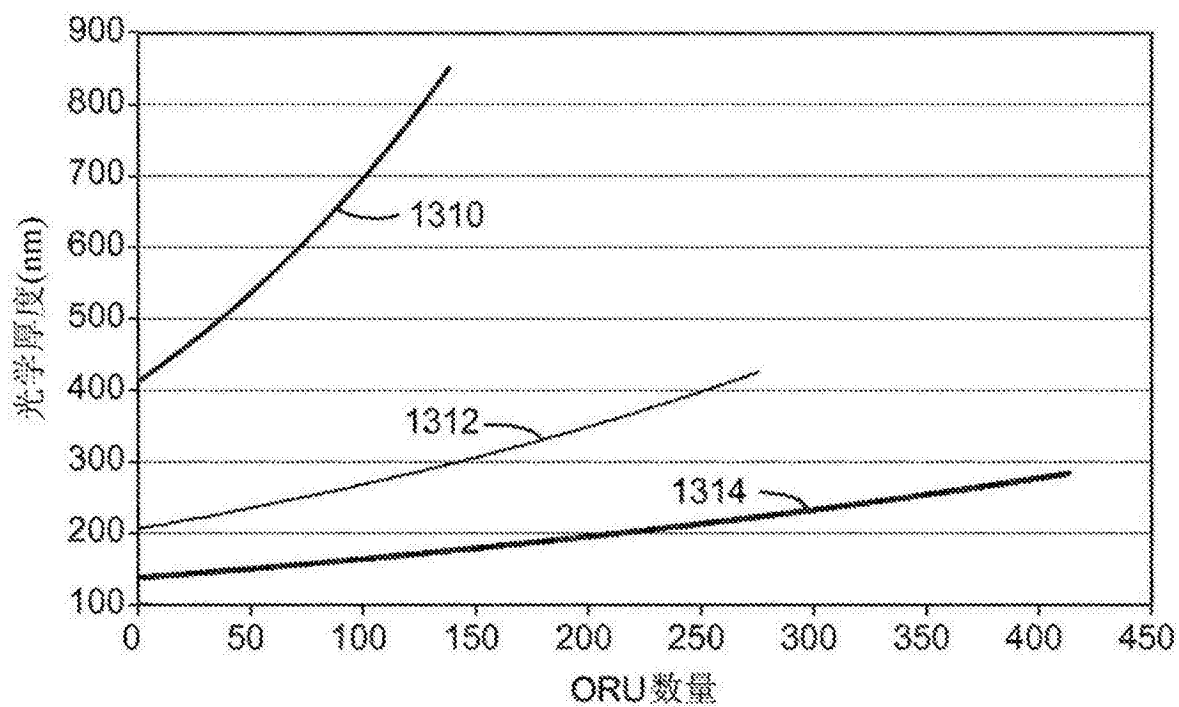


图 13

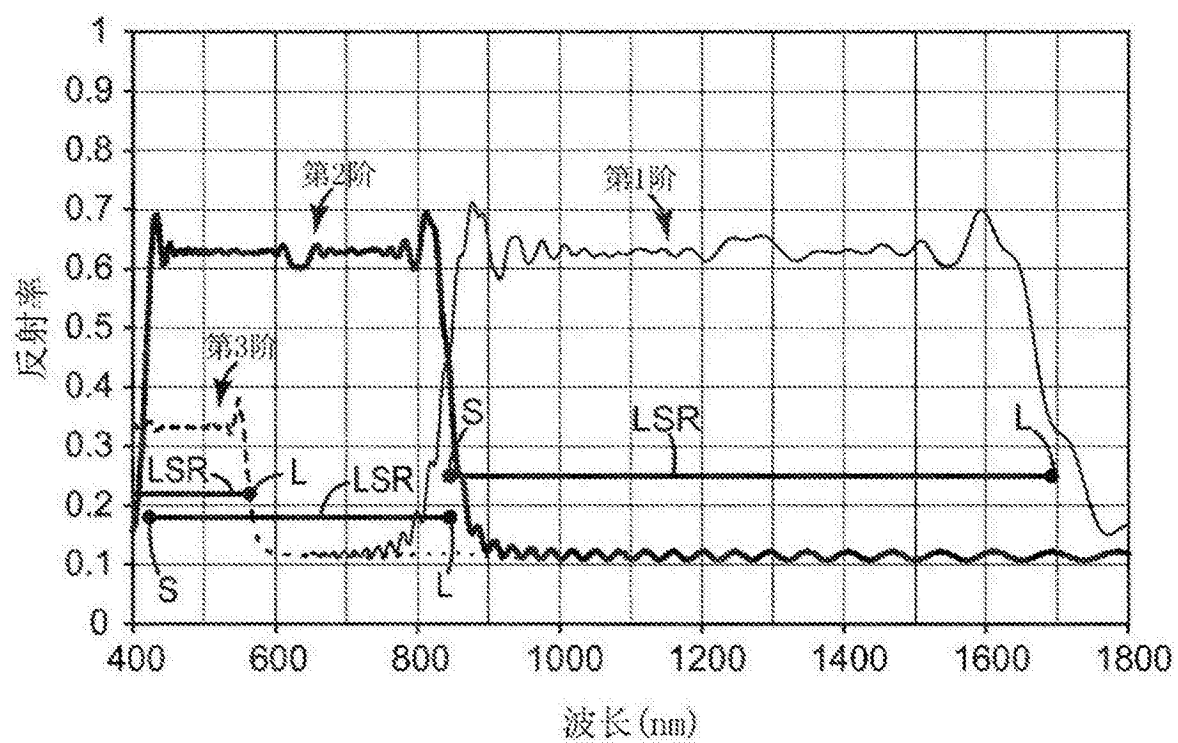


图 14A

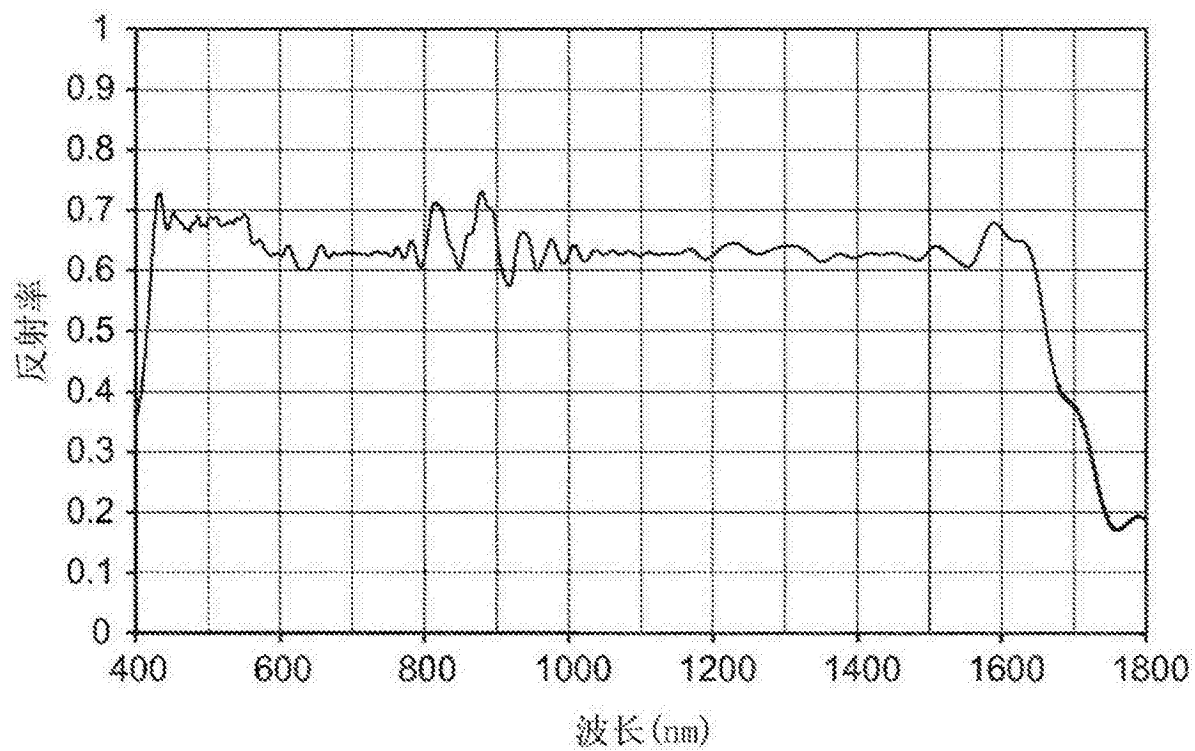


图 14B

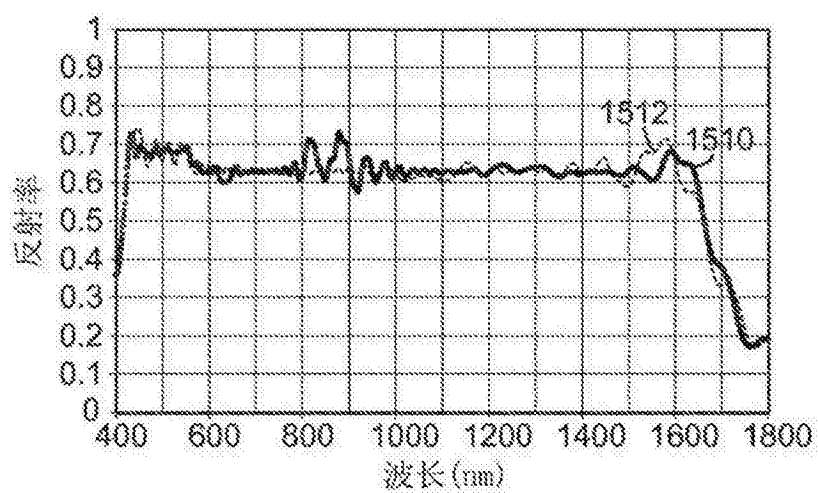


图 15A

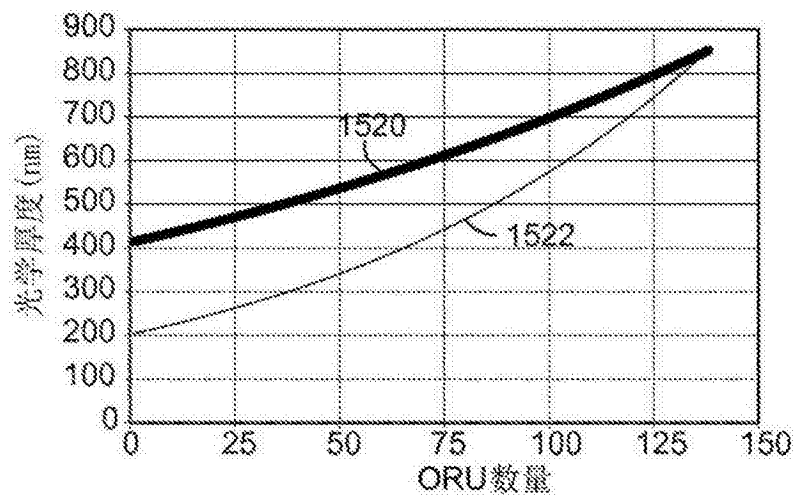


图 15B

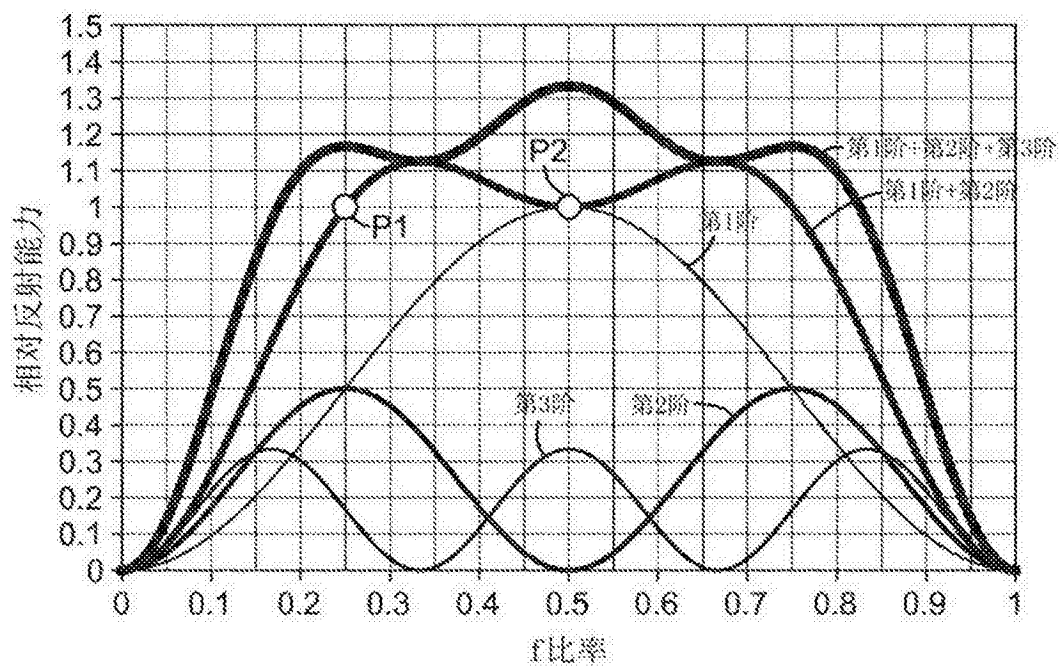


图 15C

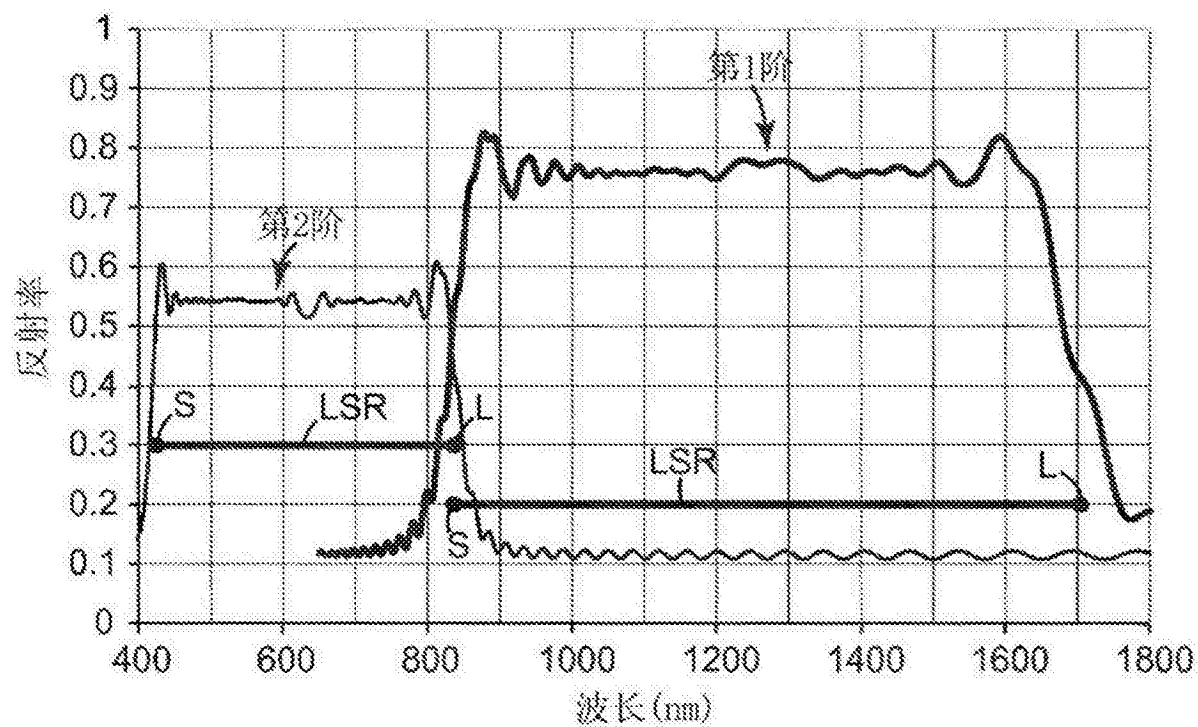


图 16A

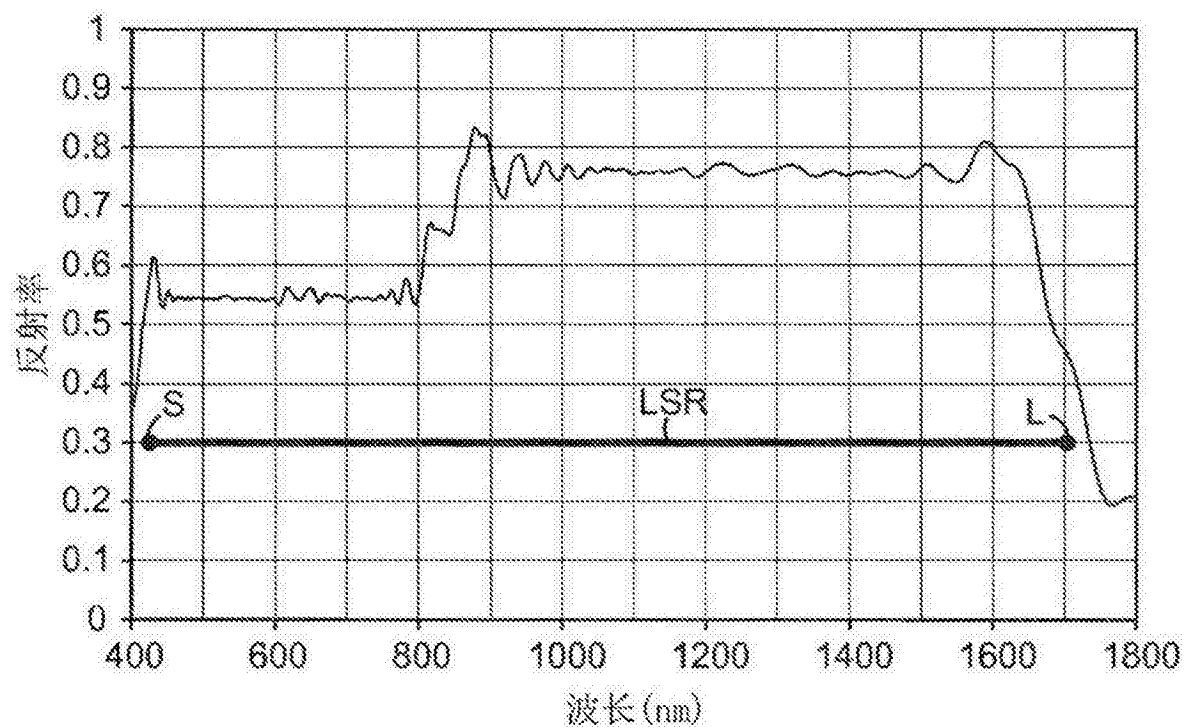


图 16B

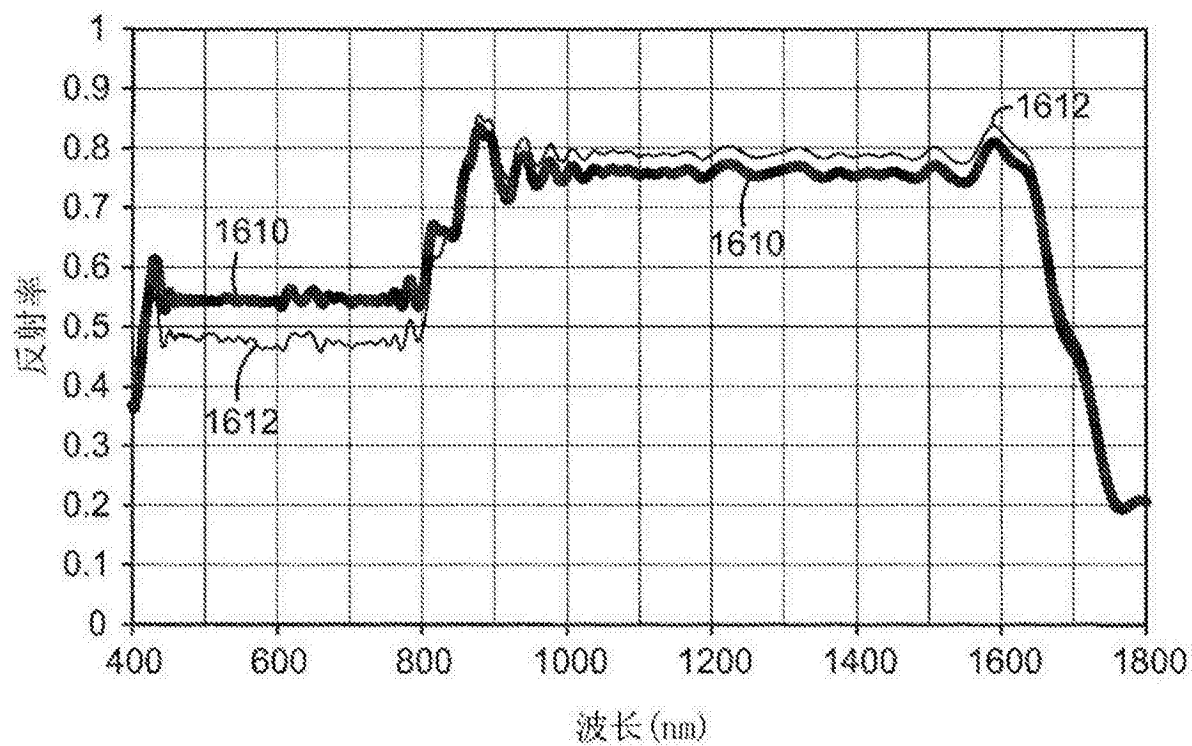


图 16C

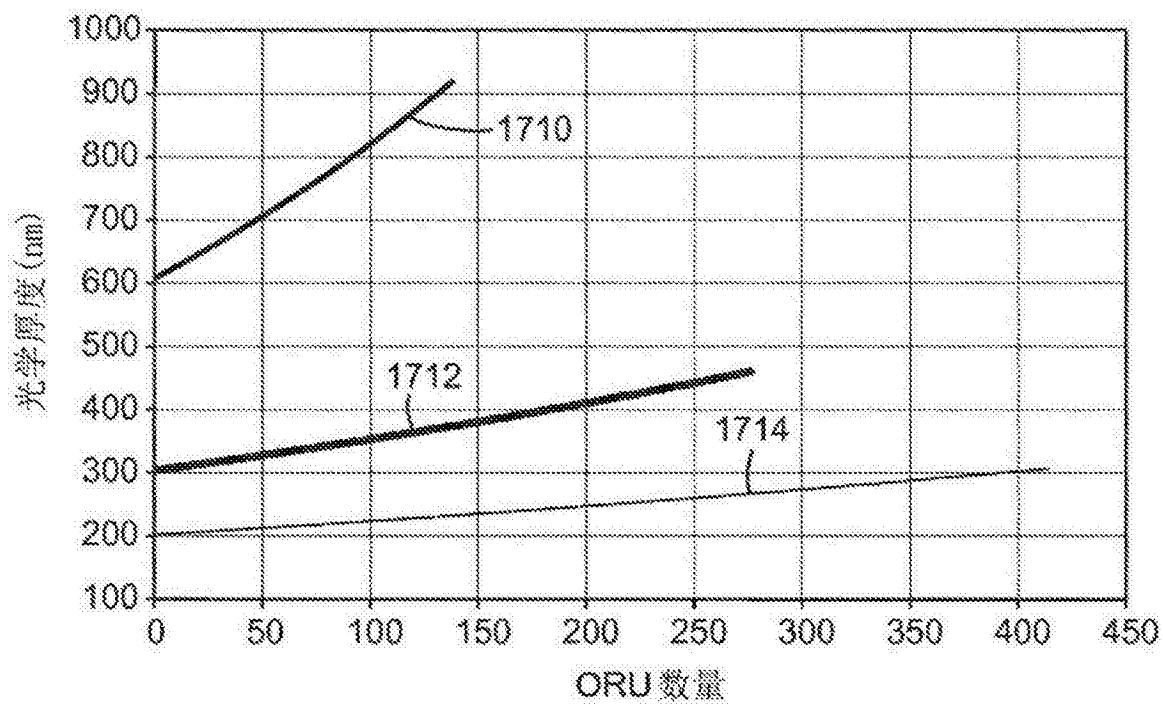


图 17

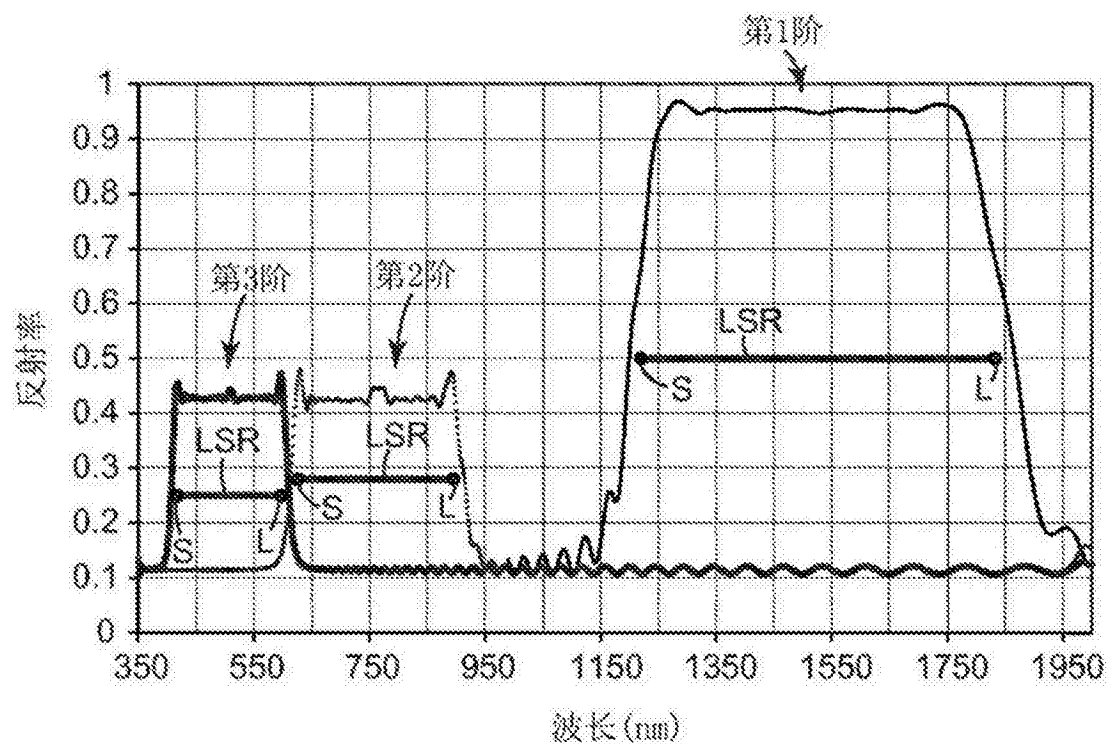


图 18A

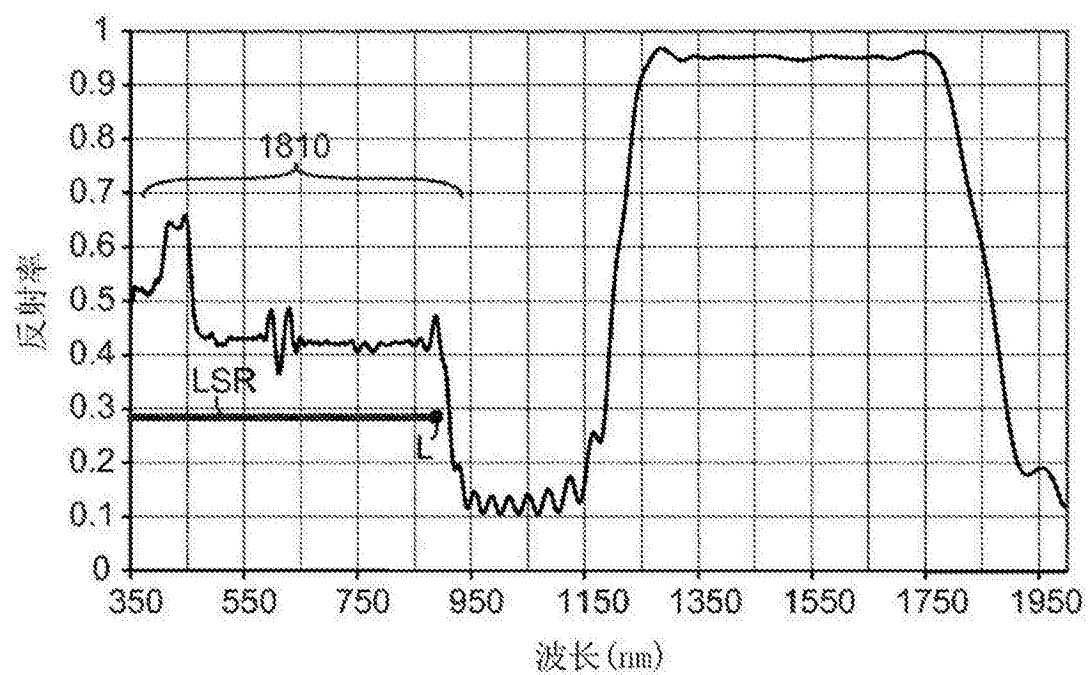


图 18B

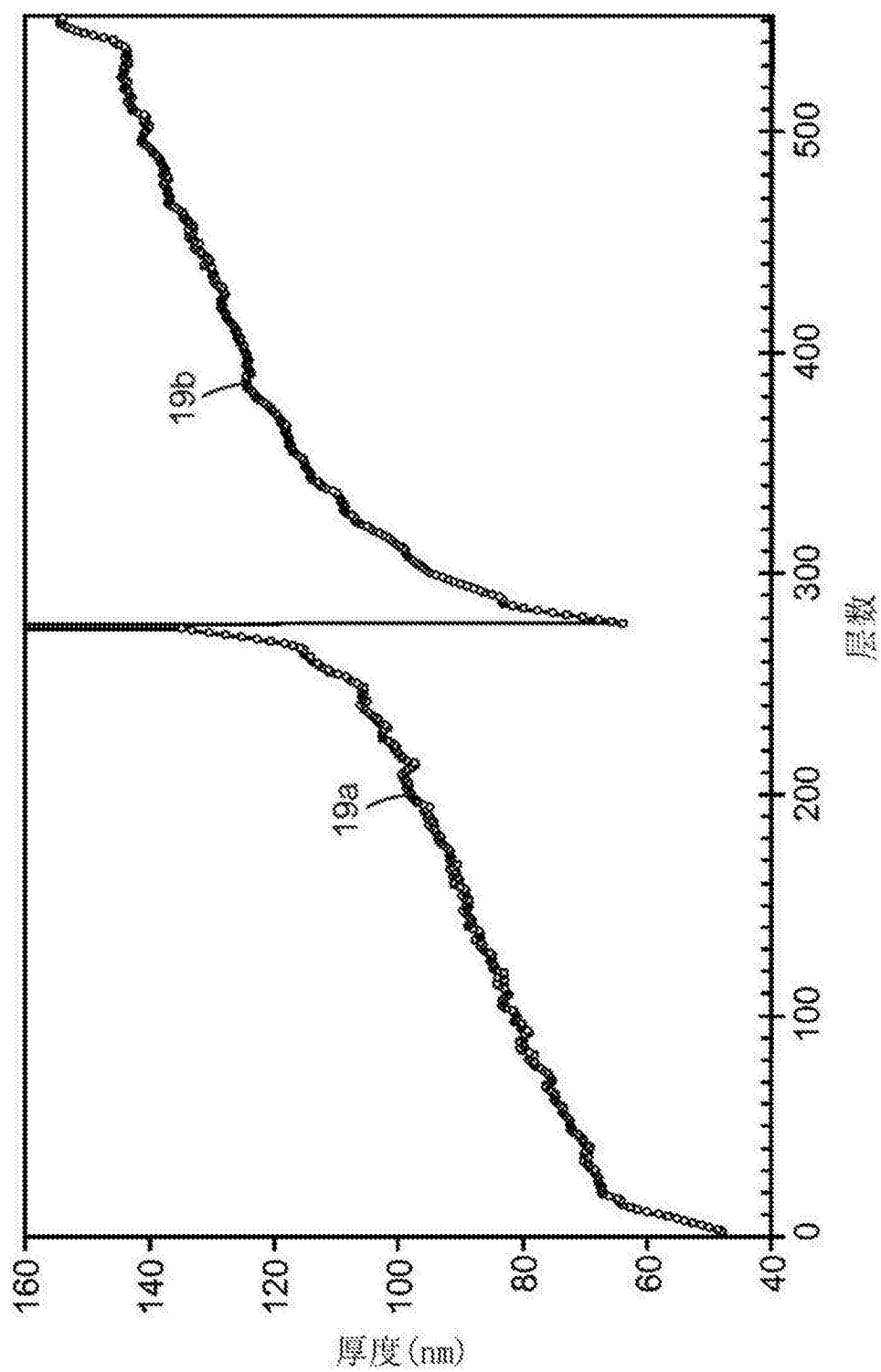


图 19

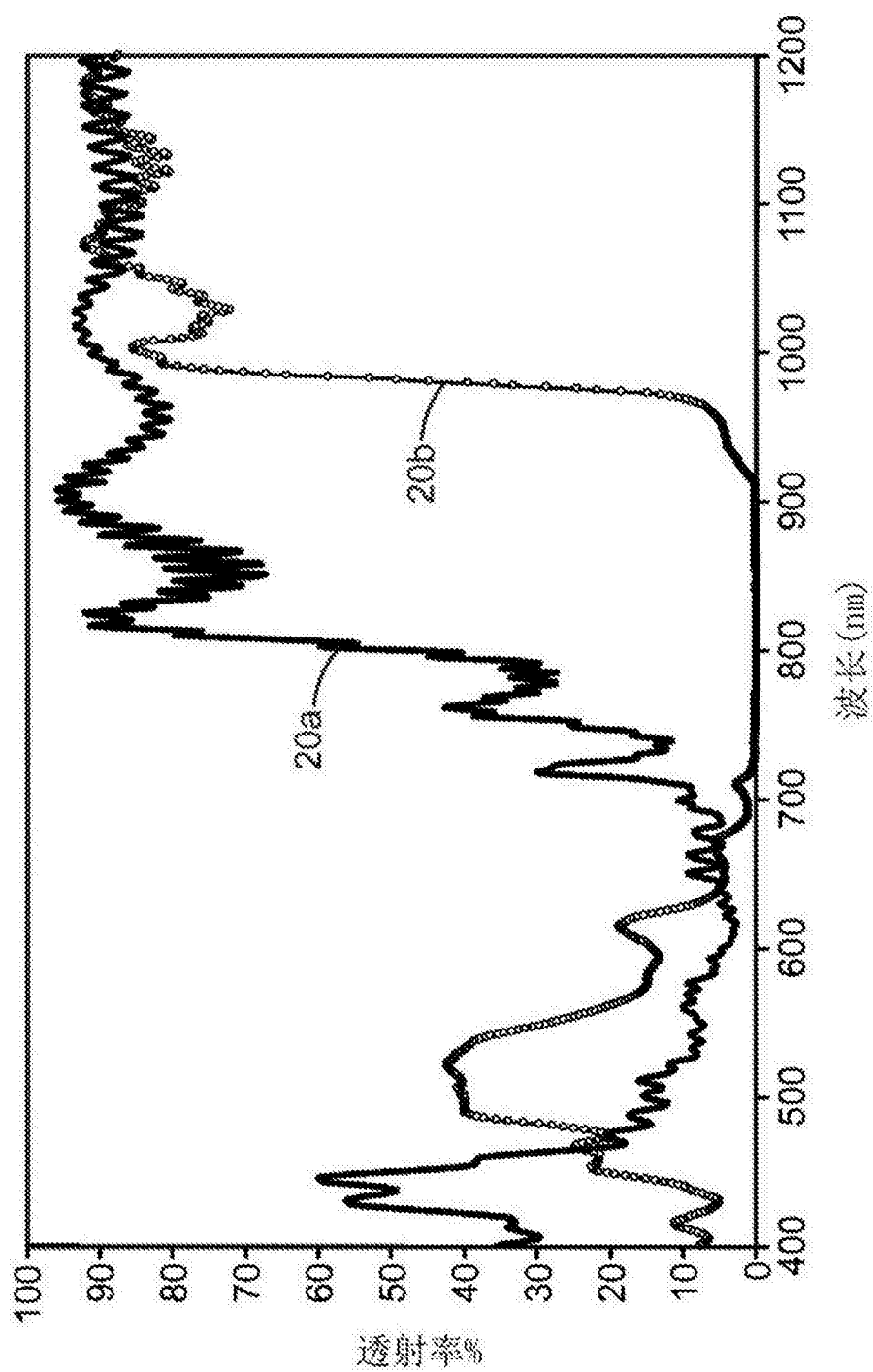


图 20

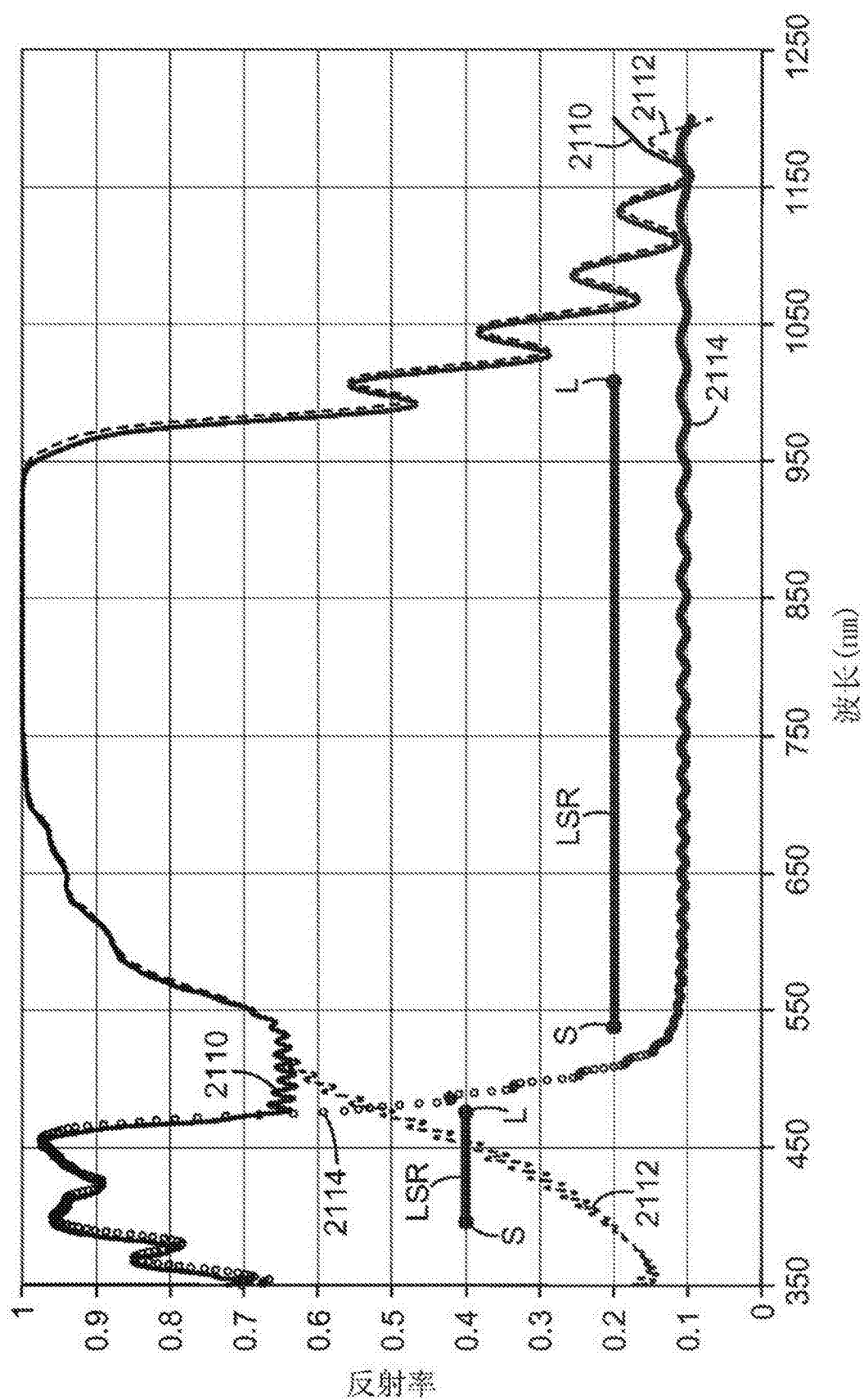


图 21