



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111158071 B

(45) 授权公告日 2022.02.25

(21) 申请号 202010036836.2

G02B 5/30 (2006.01)

(22) 申请日 2014.04.14

G02B 5/26 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G02B 5/28 (2006.01)

申请公布号 CN 111158071 A

(56) 对比文件

US 2009323180 A1, 2009.12.31

(43) 申请公布日 2020.05.15

CN 102906605 A, 2013.01.30

(30) 优先权数据

KR 20110097980 A, 2011.08.31

13/866,853 2013.04.19 US

JP 6039602 A, 1985.03.01

(62) 分案原申请数据

CN 1137772 A, 1996.12.11

201480021423.X 2014.04.14

CN 1285922 A, 2001.02.28

(73) 专利权人 3M创新有限公司

CN 1288521 A, 2001.03.21

地址 美国明尼苏达州

CN 101300517 A, 2008.11.05

(72) 发明人 爱德华·J·基维尔

US 2003035972 A1, 2003.02.20

蒂莫西·J·内维特

CN 1088511 A, 1994.06.29

迈克尔·F·韦伯

CN 102016659 A, 2011.04.13

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理

J.A.Radford et al.. Reflectivity of

有限公司 11112

iridescent coextruded multilayered

代理人 顾红霞 李赛

plastic films.《Polymer Engineering and

(51) Int.Cl.

Science》.1973,第13卷(第3期),第216-221页.

G02B 5/08 (2006.01)

审查员 张仕杰

权利要求书1页 说明书28页 附图18页

(54) 发明名称

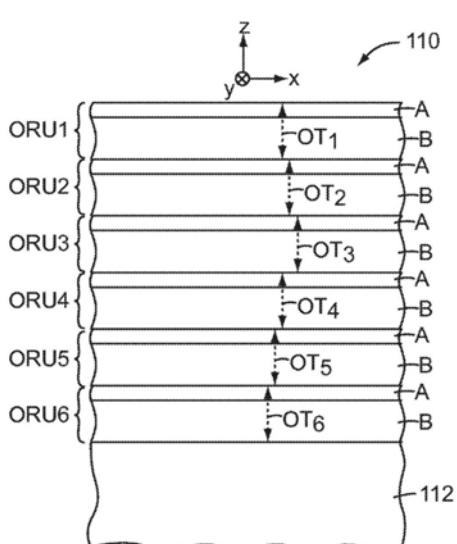
宽反射带可覆盖可见光波长和红外波长的至少一部分。

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。在设计的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CN 111158071 B



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，在设计的入射角下，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；
 其中所述微层叠堆的所述第2阶反射带与来自相同微层叠堆的所述第3阶反射带基本上重叠以形成包括所述第2阶反射带和所述第3阶反射带的单条宽反射带；
 其中所述微层叠堆的所述第2阶反射带与来自相同微层叠堆的所述第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；
 其中通过带宽分析方法来确定每一阶反射带的短波长带边缘 λ_s 和长波长带边缘 λ_l ；
 其中所述带宽分析方法是根据每个光学重复单元的共振波长 $\lambda_{0,m}$ 和部分带宽 $\Delta\lambda_m$ 、利用已知的折射率值来分析所述光学重复单元的模型化微层叠堆或测量的微层叠堆的方法，其中对于每个光学重复单元的共振波长，计算部分带宽与给定共振波长重叠的相邻光学重复单元的数量，所计算出的数量为相干相邻计数，所述相干相邻计数用于确定在所述给定共振波长处的反射率水平以定量地确定该反射率水平；
 其中将代表相应反射带的开端的波长限定为最短共振波长 $\lambda_{s,m}$ ，对于所述最短共振波长 $\lambda_{s,m}$ ，所述相干相邻计数提供的 R_m 值大于相关反射带峰值反射率的25%；
 其中将代表相应反射带的末端的波长限定为最长共振波长 $\lambda_{l,m}$ ，对于所述最长共振波长 $\lambda_{l,m}$ ，所述相干相邻计数提供的 R_m 值大于所述相关反射带峰值反射率的25%；并且
 其中 R_m 被限定为
- $$R_m = \left(\frac{(1 - a_m N_r^{2CNC})}{(1 + a_m N_r^{2CNC})} \right)^2$$
- 其中 $N_r = n_L/n_H$ ， n_H 和 n_L 分别是材料层A和材料层B的折射率值，
 并且 a_m 是 m 阶谐波的相对反射能力系数。
2. 根据权利要求1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。
3. 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阶反射带具有相差大于10%分数值的平均反射率。
4. 根据权利要求1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。
5. 根据权利要求1所述的多层光学膜，其中所述第2阶反射带和所述第3阶反射带具有基本上相等的反射率。
6. 根据权利要求5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。
7. 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。
8. 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。

用于宽的可见红外覆盖的具有重叠谐波的多层叠堆

[0001] 本申请是基于申请人3M创新有限公司的申请日为2014年4月14日、国家申请号为CN201480021423X(国际申请号为PCT/US2014/033958)、发明名称为“用于宽的可见红外覆盖的具有重叠谐波的多层叠堆”的专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 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

[0003] 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。

[0004] 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)。

[0005] 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)。

[0006] 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。

[0007] 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 (Thelen)、5,103,337 (Schrenk等人)、5,360,659 (Arends等人)以及7,019,905 (Weber)。

发明内容

[0008] 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。

[0009] 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。

[0010] 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。

[0011] 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。

[0012] 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。

[0013] 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。

[0014] 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。

[0015] 本文也讨论了相关方法、系统和制品。

[0016] 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

[0017] 结合附图可有助于更全面地理解本发明,其中:

[0018] 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;

[0019] 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;

[0020] 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;

[0021] 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;

[0022] 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;

[0023] 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;

[0024] 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;

[0025] 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;

[0026] 图7是具有一个微层叠堆的多层光学膜的示意透视图;

- [0027] 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；
- [0028] 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；
- [0029] 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；
- [0030] 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；
- [0031] 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；
- [0032] 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；
- [0033] 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；
- [0034] 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；
- [0035] 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；
- [0036] 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；
- [0037] 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；
- [0038] 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；
- [0039] 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；
- [0040] 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；
- [0041] 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；
- [0042] 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；
- [0043] 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；
- [0044] 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；

[0045] 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；

[0046] 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；

[0047] 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；

[0048] 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；

[0049] 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；

[0050] 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

[0051] 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。

[0052] 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。

[0053] 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为在膜主体的平面内具有空间变化的形式。

[0054] 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)。

[0055] 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 Δ_{nx} (= n_{1x} - n_{2x})、沿y方向为 Δ_{ny} (= n_{1y} - n_{2y}),并且沿z方向为 Δ_{nz} (= 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(Δ_{nx} 大),并且沿正交面内方向具有小的折射率失配($\Delta_{ny} \approx 0$),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。

[0056] 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(Δ_{nz}),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 Δ_{nz} 可以控制为显著小于面内折射率最大差值 Δ_{nx} ,使得 $\Delta_{nz} \leq 0.5 * \Delta_{nx}$ 。作为另外一种选择, $\Delta_{nz} \leq 0.25 * \Delta_{nx}$ 。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 Δ_{nz} 可以控制为与面内折射率差值 Δ_{nx} 相比具有相反的极性,即, $\Delta_{nz} < 0$ 。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 $\Delta_{nz} > 0$,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 Δ_{nz} 和 Δ_{ny} 的关系,例如,在其中需要沿两个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)。

[0057] 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。

[0058] 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。

[0059] 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。

[0060] 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可通过相干干涉有效地反射光,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。

[0061] 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。

[0062] 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,而与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。

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 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。

[0066] 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。

[0067] 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。

[0068] 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)。

[0069] 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。

[0070] 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。

[0071] 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。

[0072] 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。

[0073] 重叠来自给定光学叠堆的谐波反射带

[0074] 以制备加宽的单反射带。

[0075] 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。

[0076] 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为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。

[0077] 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。

[0078] 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。

[0079] 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。

[0080] 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:

$$[0081] \Delta n_{\text{有效}} = c_m \frac{\pi}{4} \Delta n,$$

[0082] 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:

$$[0083] RP \propto (\Delta n_{\text{有效}})^2.$$

[0084] 不对称方波的每阶m的傅立叶系数如下:

$$[0085] c_m = \left(\frac{4}{m\pi} \right) \times |\sin(m\pi f)|,$$

[0086] 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:

$$[0087] RP \propto \left(\frac{1}{m} \right) \sin^2(m\pi f).$$

[0088] 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 。

[0089] 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。

[0090] 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。

[0091] 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。

[0092] 在图7中,制品710可以是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。

[0093] 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。

[0094] 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。

[0095] 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,因而如图所示的第一阶、第二阶和第三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比率产生第一阶、第二阶和第三阶谐波,其中第一阶谐波的反射能力与第二阶谐波的反射能力一样,而第三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,但是在第一阶和第二阶带具有大致相同反射率并且第三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。第一阶反射带从左带边缘800nm处延伸到右带边缘1600nm处。第二阶反射带从左带边缘400nm处延伸到右带边缘800nm处。第三阶反射带从左带边缘266nm处延伸到右带边缘533nm处。为了简洁,图中未示出高于第三阶的谐波。因此,第二阶反射带(在光谱上)与第一阶反射带和/或第三阶反射带(如果存在)重叠。当第二阶带的右带边缘与第一阶带的左带边缘重合时,或者当第二阶带的右带边缘落在第一阶带之内时,即第二阶带的右带边缘在第一阶带的左右带边缘之间时,第二阶带与第一阶带建立重叠。同样地,当第二阶带的左带边缘与第三阶带的右带边缘重合时,或者当第二阶带的右带边缘落在第三阶带之内时,即第二阶带的左带边缘在第三阶带的左右带边缘之间时,第二阶带与第三阶带建立重叠。

[0096] 第一阶、第二阶和第三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(对应第三阶带的左带边缘)延伸到约1600nm的右带边缘(对应第一阶带的右带边缘)。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,由于第二阶和第三阶的结合,400-533nm处的反射率稍高,而266-400nm处的反射率显著降低。

[0097] 在整个文件中,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,第一阶或第二阶。因此,例如, λ_{s1st} 指第一阶反射带的左带边缘的波长, λ_{l2nd} 指第二阶反射带右带边缘的波长。

[0098] 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,

$$[0099] R = \frac{R1 + R2 \times (1 - 2R1)}{1 - R1 \times R2} ,$$

[0100] 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%。

[0101] 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任何其他介质而产生)的情况下反射率。“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。

[0102] 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。

[0103] 实际上,微层叠堆产生的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。

[0104] 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。

[0105] 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。

[0106] 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。

[0107] 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。

[0108] 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。

[0109] 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。

[0110] 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降至最低。

[0111] 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。

[0112] 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。

[0113] 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)。

[0114] 模型化实例

[0115] 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。

[0116] 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。

[0117] 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。

[0118] 谐波分析方法

[0119] 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。

[0120] 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。

[0121] 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。

[0122] 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。

[0123] 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。

[0124] 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:

$$[0125] \quad c_m = \frac{4}{m\pi} |\sin(m\pi f)|,$$

[0126] 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:

$$[0127] \quad \Delta n_{\text{eff}} = c_m (n_H - n_L) \pi/4,$$

[0128] 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。

[0129] 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。

[0130] 带宽分析方法

[0131] 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

$$[0132] \lambda_{0,m} = (2/m) \times (d_H n_H + d_L n_L),$$

[0133] 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。

[0134] $(d_H n_H + d_L n_L)$ 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。

[0135] 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:

$$[0136] IBW_m = \left(\frac{4}{\pi} \right) \bullet \left| \frac{(1 - a_m N_r)}{(1 + a_m N_r)} \right|,$$

[0137] 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。

[0138] 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。

[0139] 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。

[0140] 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:

$$[0141] R_m = \left(\frac{(1 - a_m N_r^{2CNC})}{(1 + a_m N_r^{2CNC})} \right)^2$$

[0142] 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。

[0143] 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。

[0144] 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。

[0145] 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 。

[0146] 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。

[0147] 第一模型化叠堆

[0148] 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的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。

[0149] ORU被设计为具有0.25的f比率。

[0150] 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:

$$[0151] \quad d_H = \lambda_0 \times f \times \left(\frac{g^n}{2n_H} \right), \text{ 和}$$

$$[0152] \quad d_L = \lambda_0 \times (1-f) \times \left(\frac{g^n}{2n_L} \right),$$

[0153] 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。

[0154] 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。

[0155] 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。

[0156] 下表中汇总了与第一模型化叠堆相关的参数。

[0157] 第一模型化微层叠堆

[0158]	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
	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

[0159] 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:

$$[0160] \quad air = \left(\frac{1.65 - 1.00}{1.65 + 1.00} \right)^2$$

[0161] 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}:

$$[0162] \quad R_{int} = \frac{1 - air - (1 + air) \times T_{total}}{1 - air - 2 \times air \times T_{total}}$$

[0163] 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。

[0164] 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。

[0165] 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。

[0166] 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。

[0167] 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。

[0168] 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。

[0169] 第一模型化叠堆与第一对比叠堆的比较

[0170]	阶次 m	f比率	N	梯度	Cm	n_H	n_L	λ_0
[0171]	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

[0172] 第二模型化叠堆

[0173] 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。

[0174] 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。

[0175] 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。

[0176] 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。

[0177] 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。

[0178] 下表中汇总了与第二模型化叠堆相关的参数。

[0179] 第二模型化微层叠堆

[0180]	阶次m	f比率	N	梯度	Cm	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

[0181] 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。

[0182] 第三模型化叠堆

[0183] 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。

[0184] 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。

[0185] 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。

[0186] 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。

[0187] 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、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。

[0188] 下表中汇总了与第三模型化叠堆相关的参数。

[0189] 第三模型化微层叠堆

[0190]	阶次m	f比率	N	梯度	Cm	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

[0191] 第二对比微层叠堆

[0192] 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。

[0193] 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。

[0194] 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。

[0195] 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。

[0196] 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说,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。

[0197] 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。

[0198] 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。

[0199] 本文公开了许多实施例,包括但不限于以下实施例:

[0200] 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;

[0201] 其中,在设计的入射角下,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;

[0202] 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;

[0203] 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;

[0204] 并且

[0205] 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。

[0206] 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。

[0207] 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。

[0208] 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。

[0209] 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。

[0210] 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。

[0211] 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。

[0212] 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。

[0213] 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。

[0214] 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。

[0215] 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。

[0216] 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。

[0217] 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。

[0218] 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。

[0219] 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。

[0220] 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。

[0221] 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。

[0222] 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。

[0223] 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。

[0224] 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。

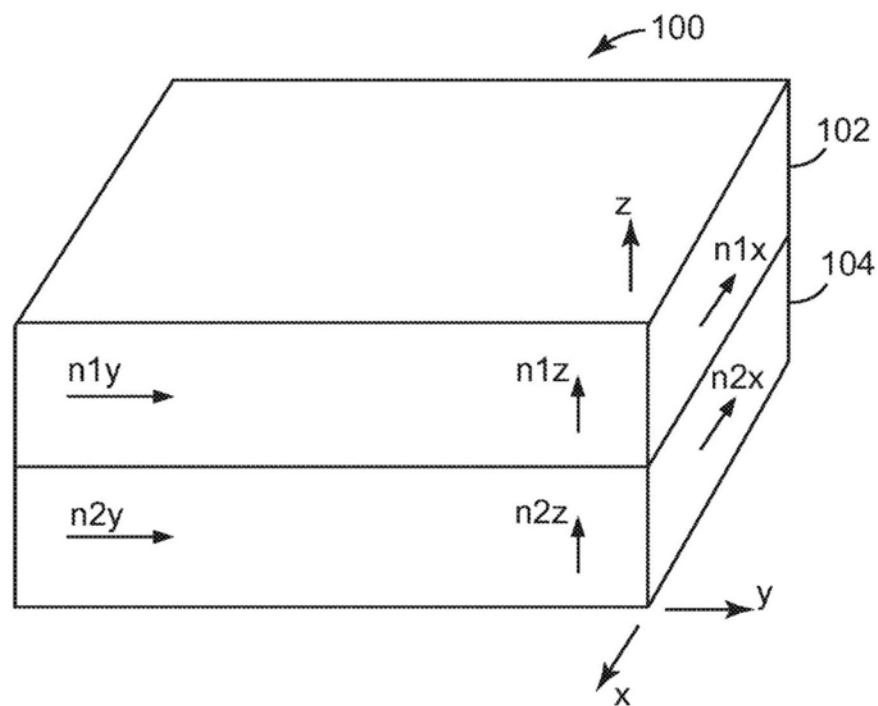


图1

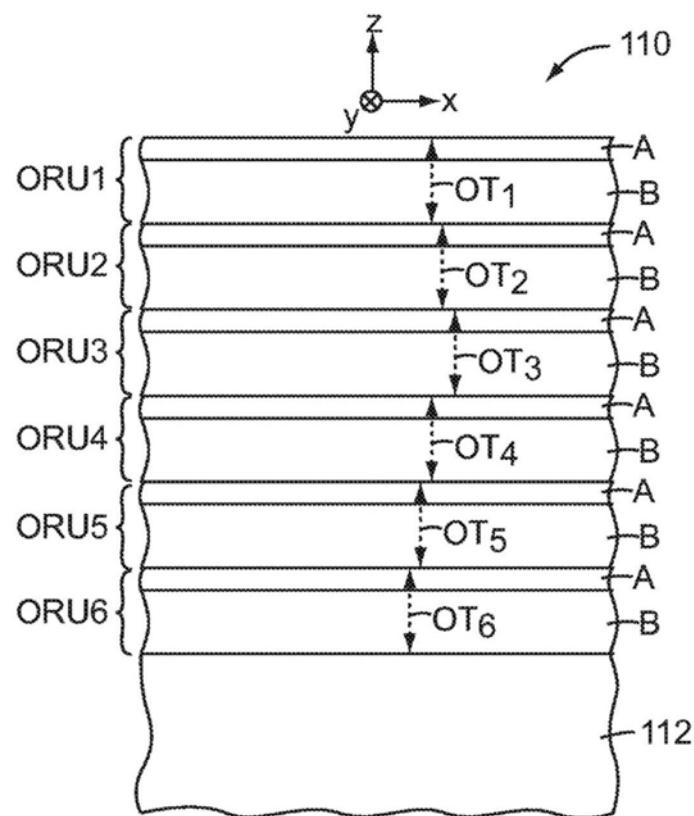


图2

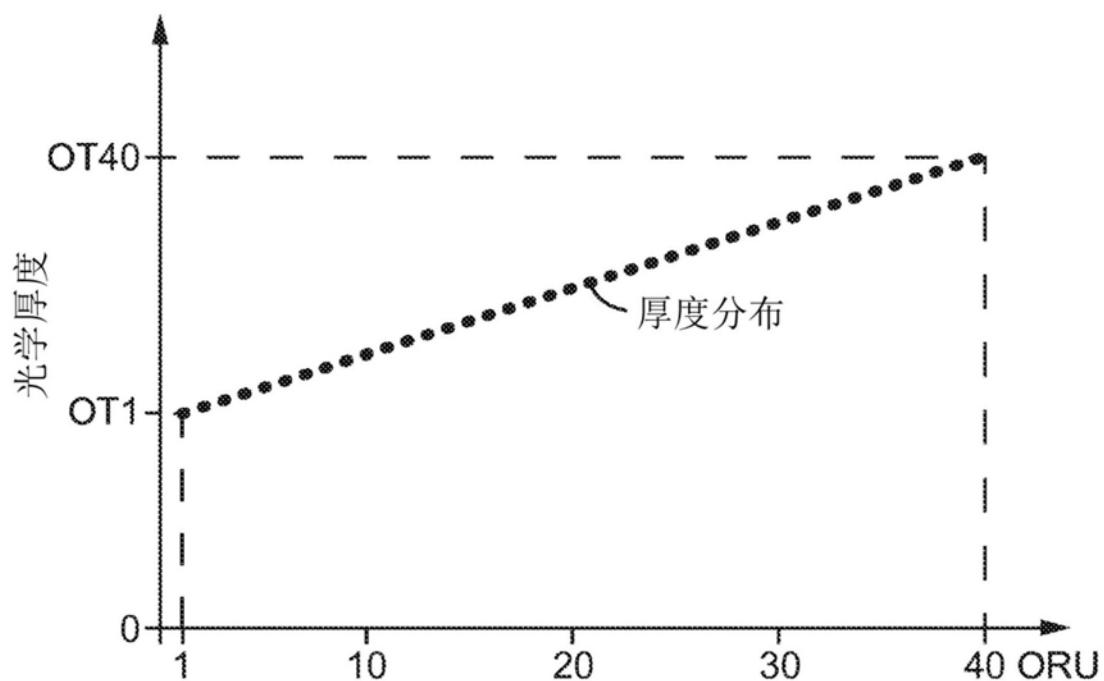


图3

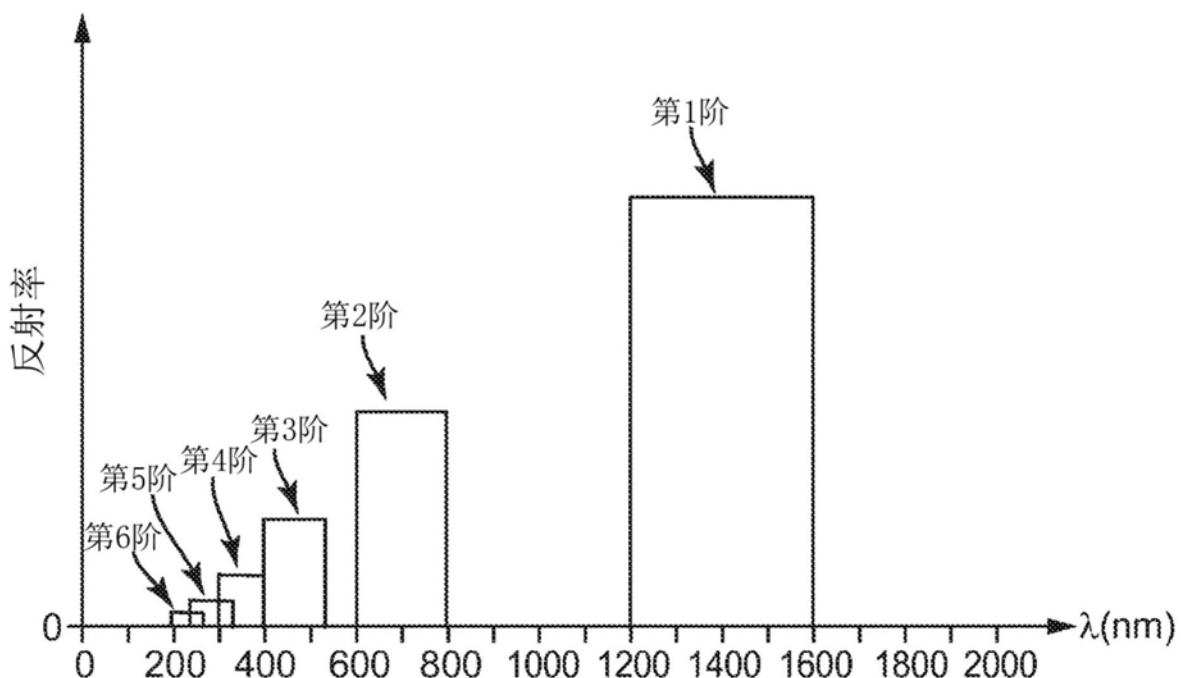


图4

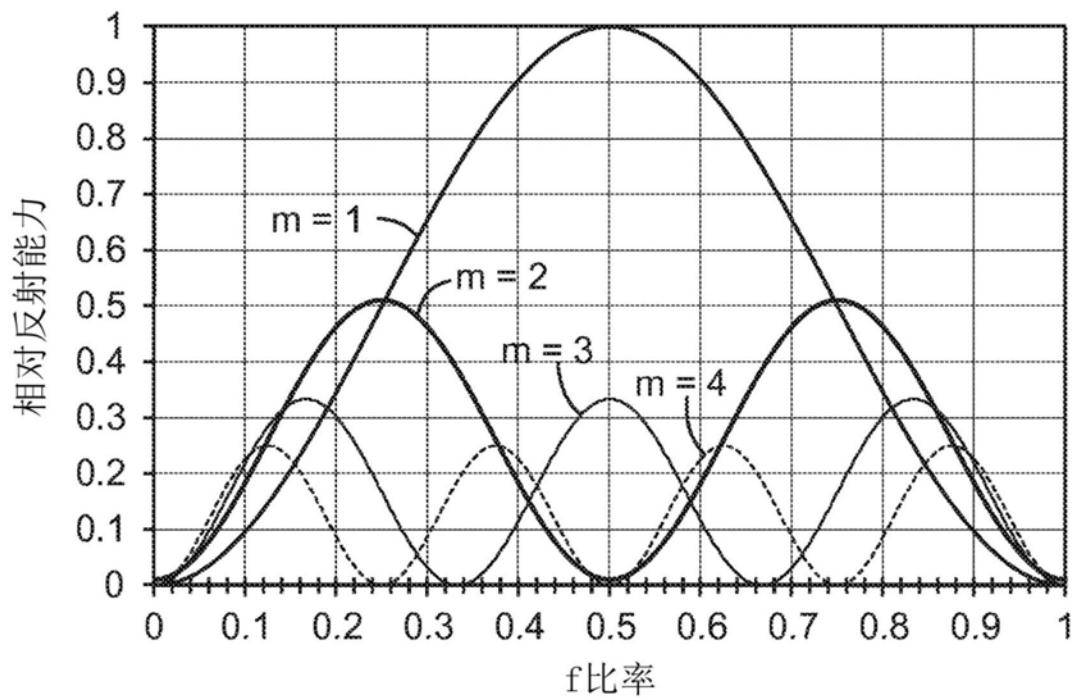


图5A

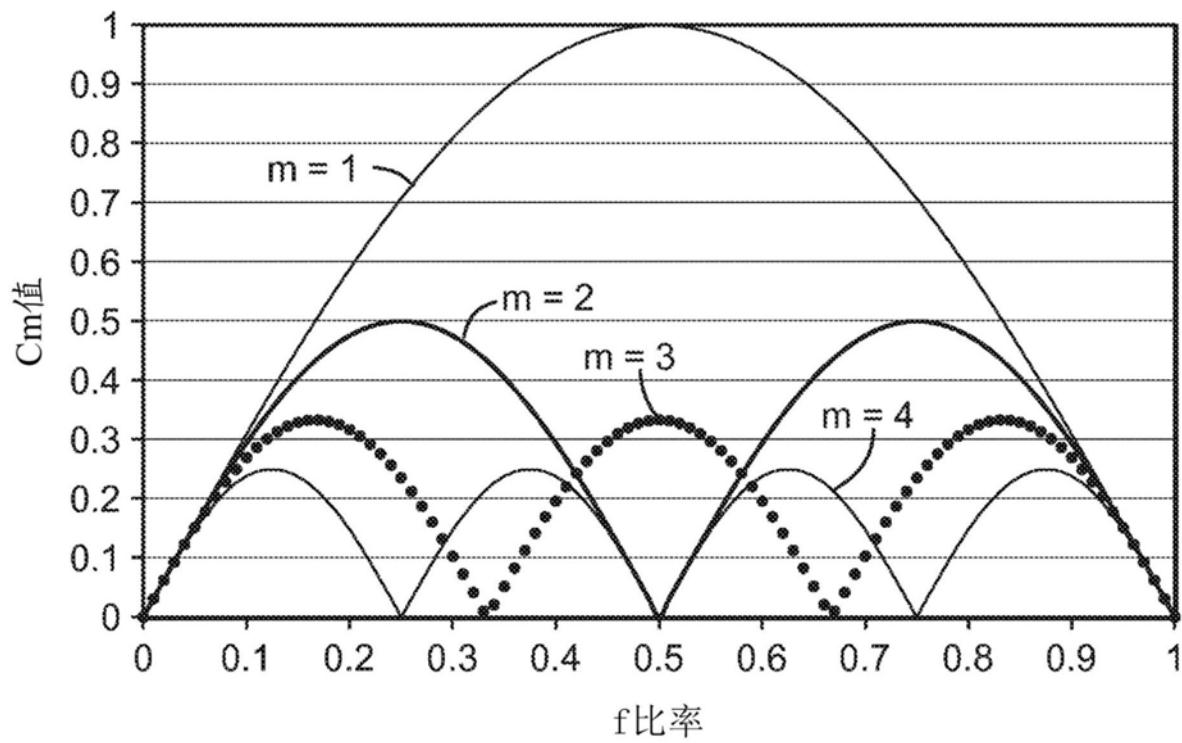


图5B

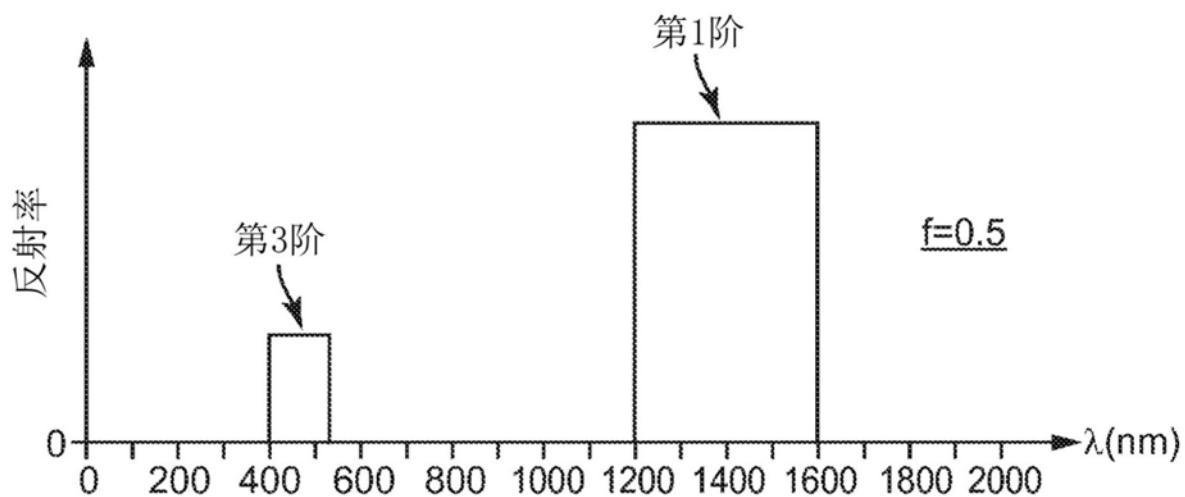


图6A

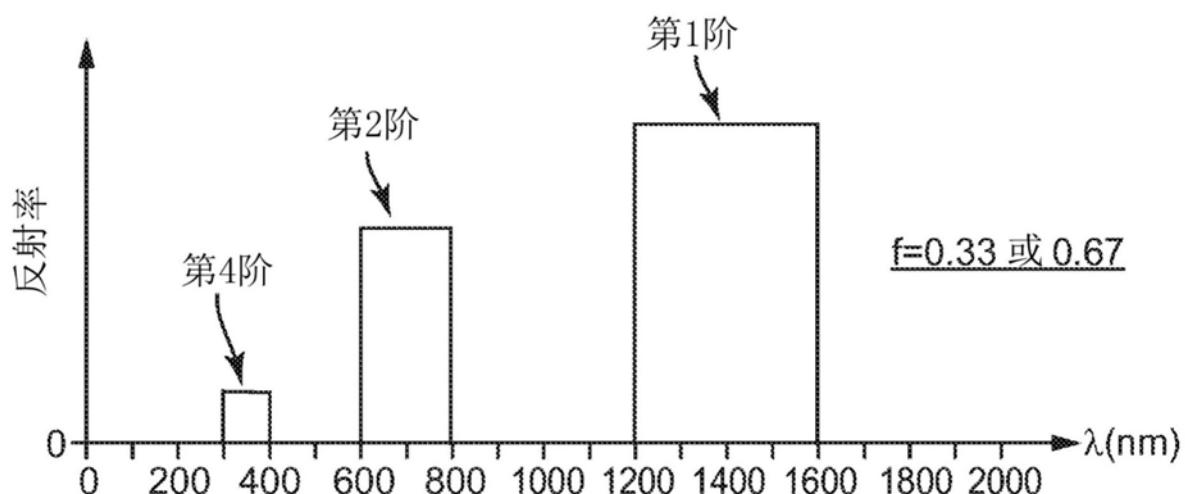


图6B

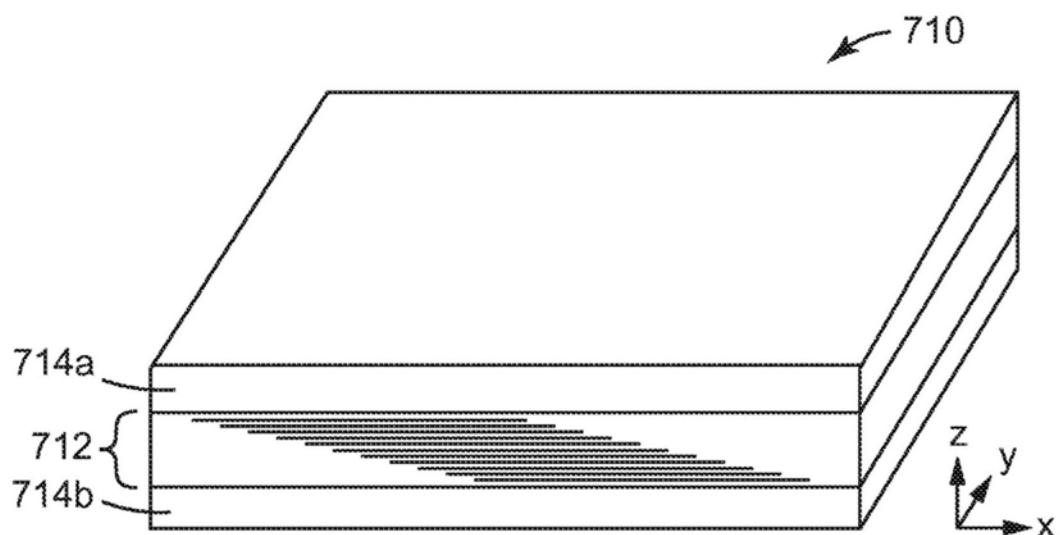


图7

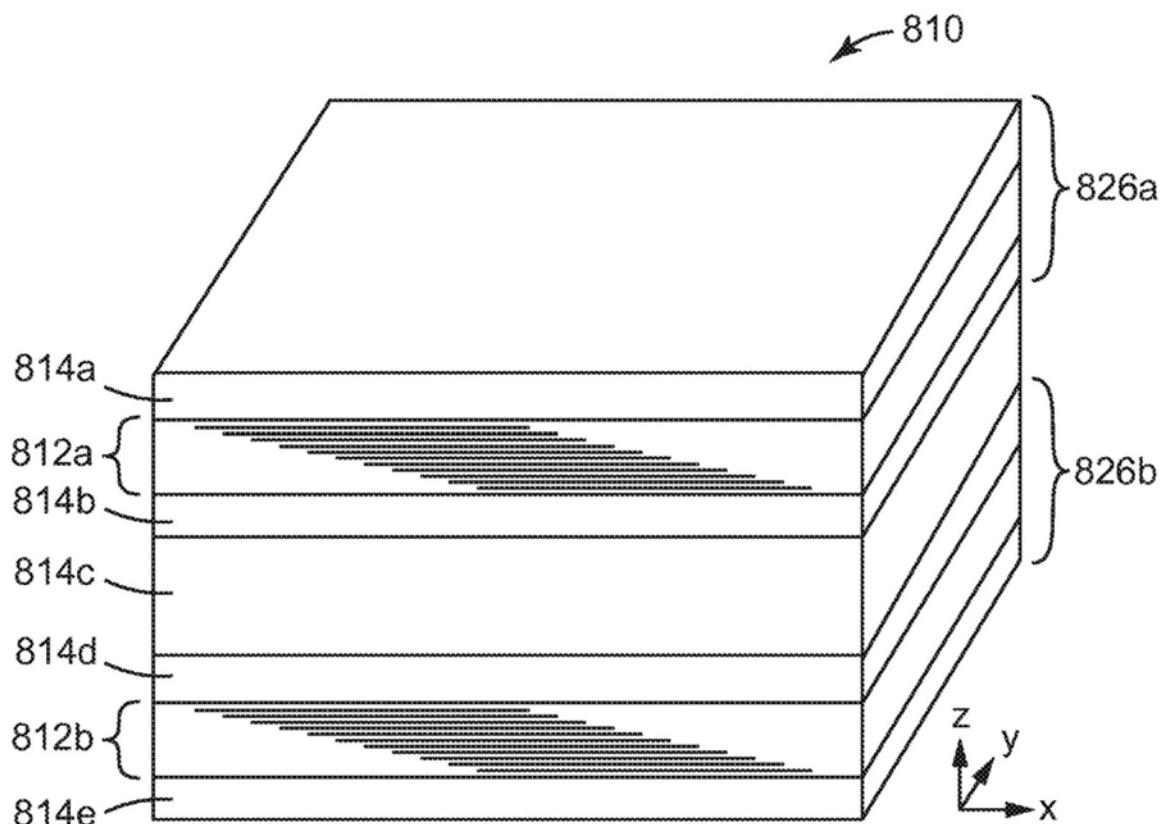


图8

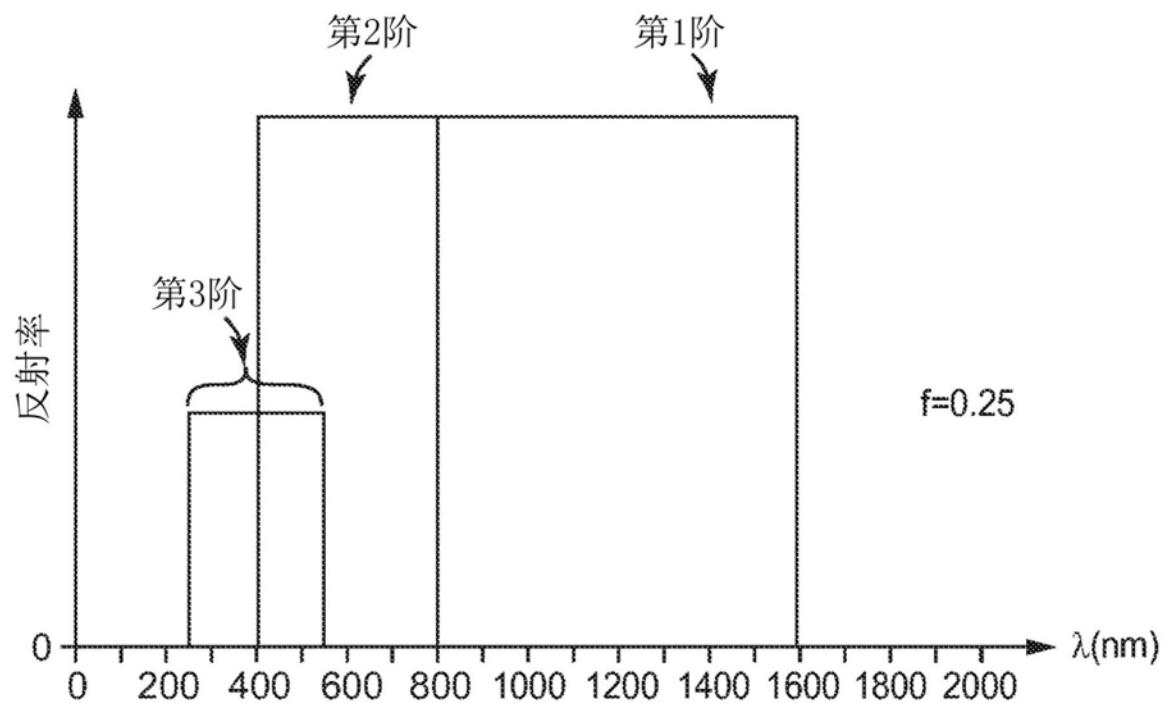


图9A

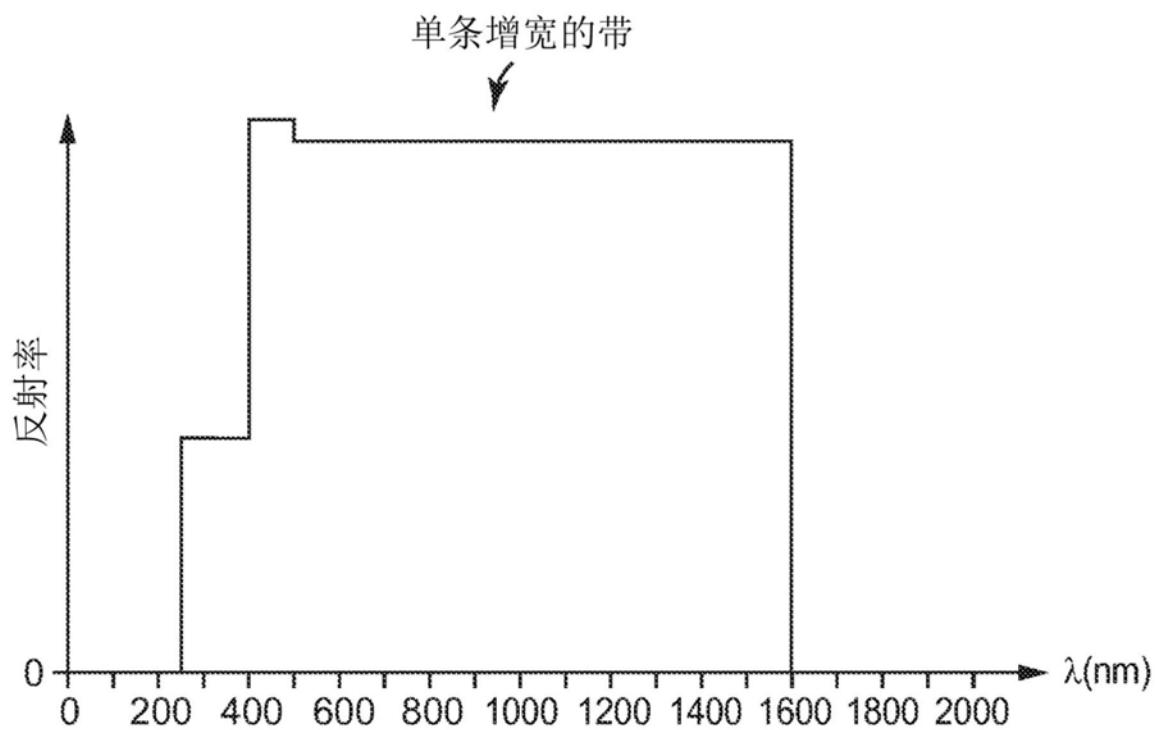


图9B

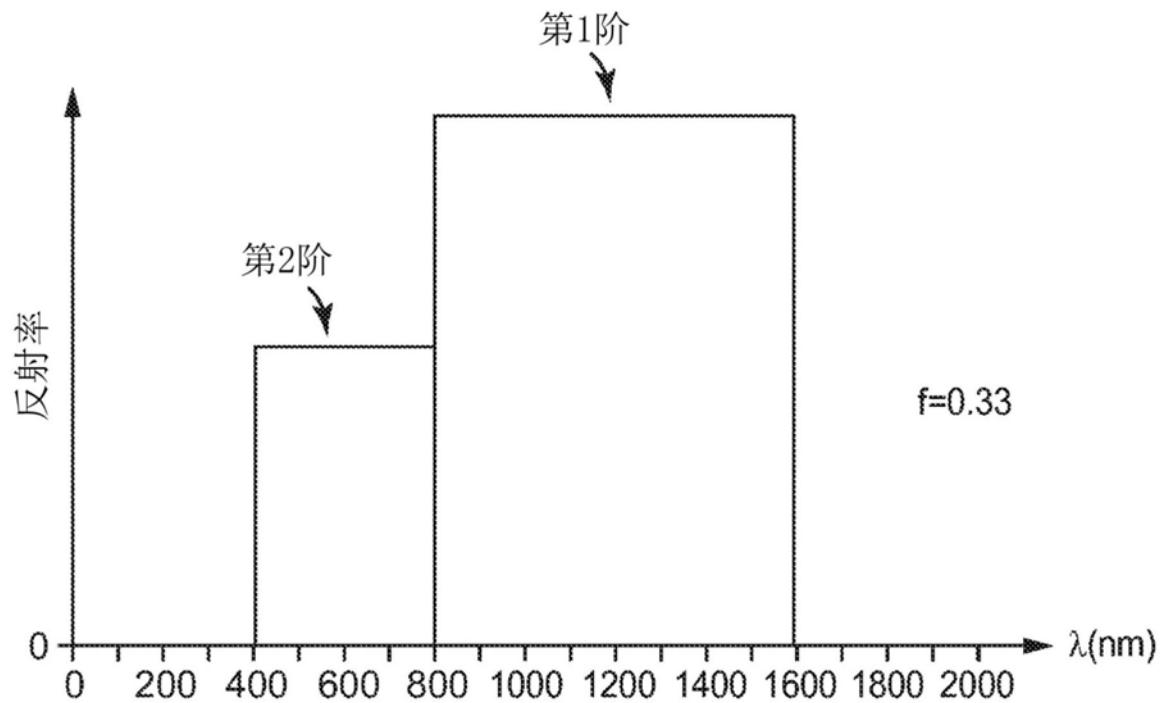


图10A

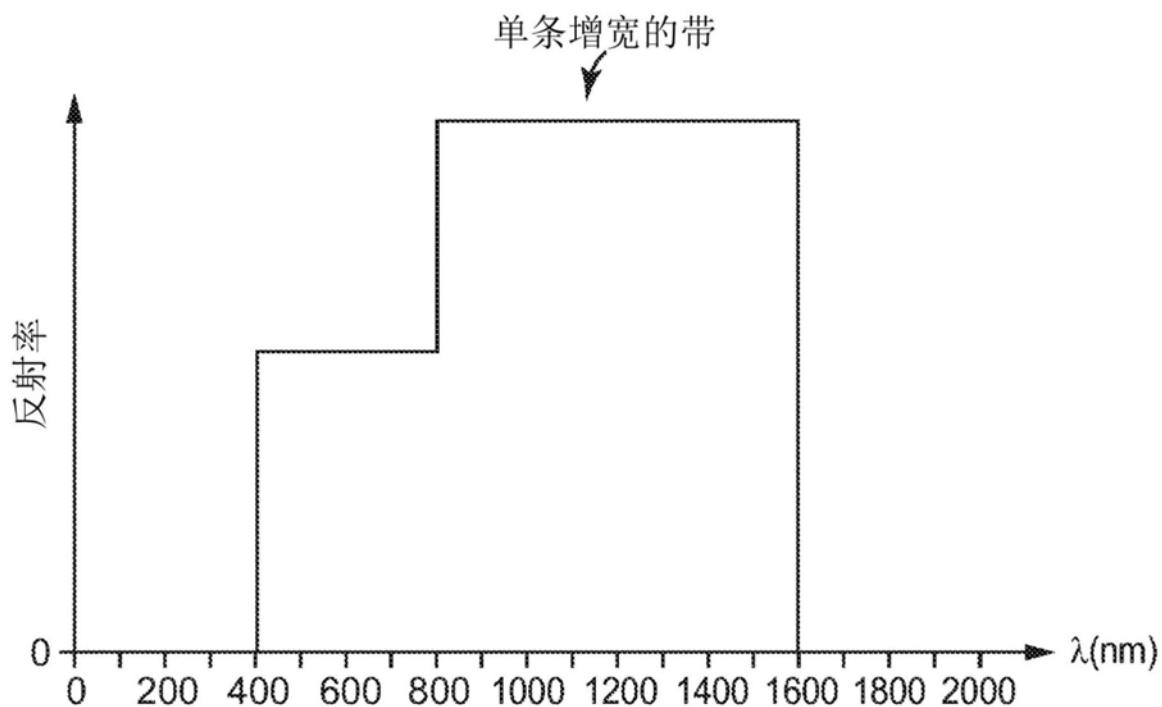
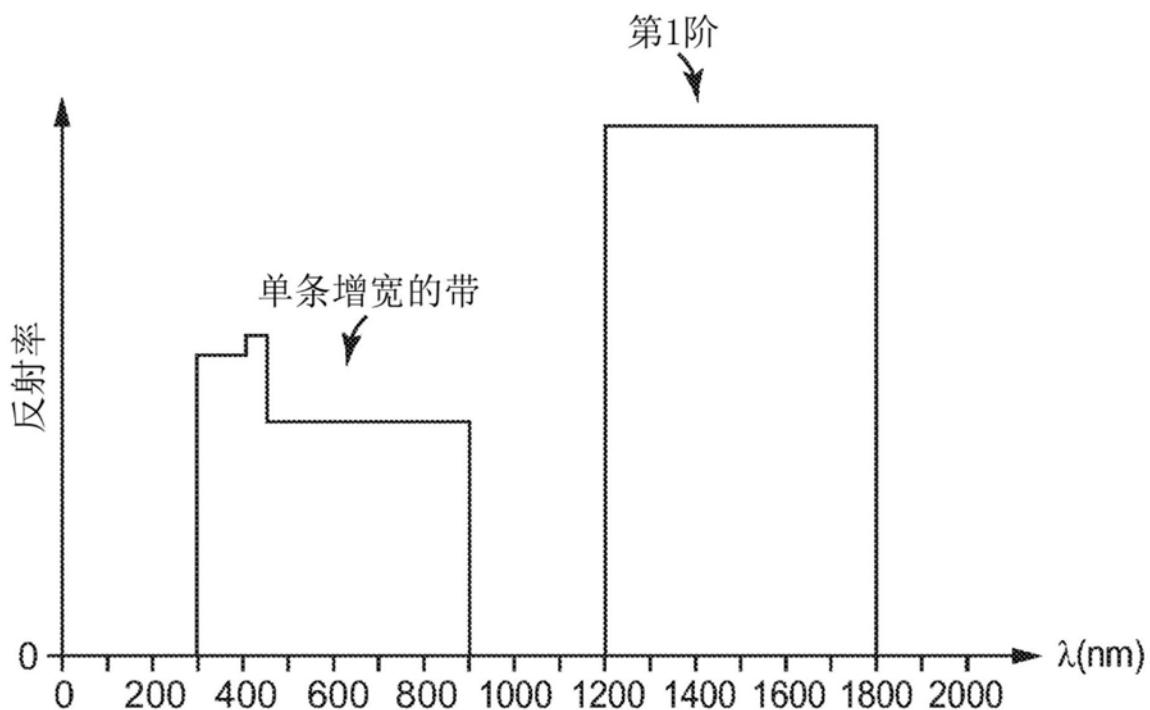
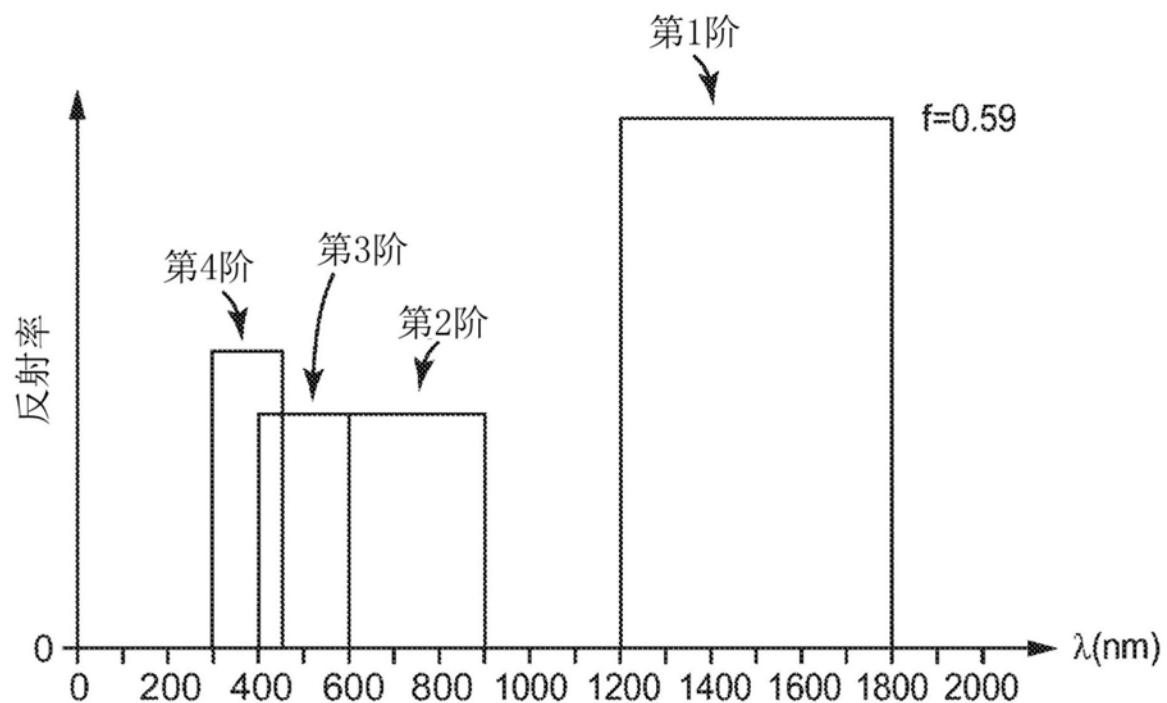


图10B



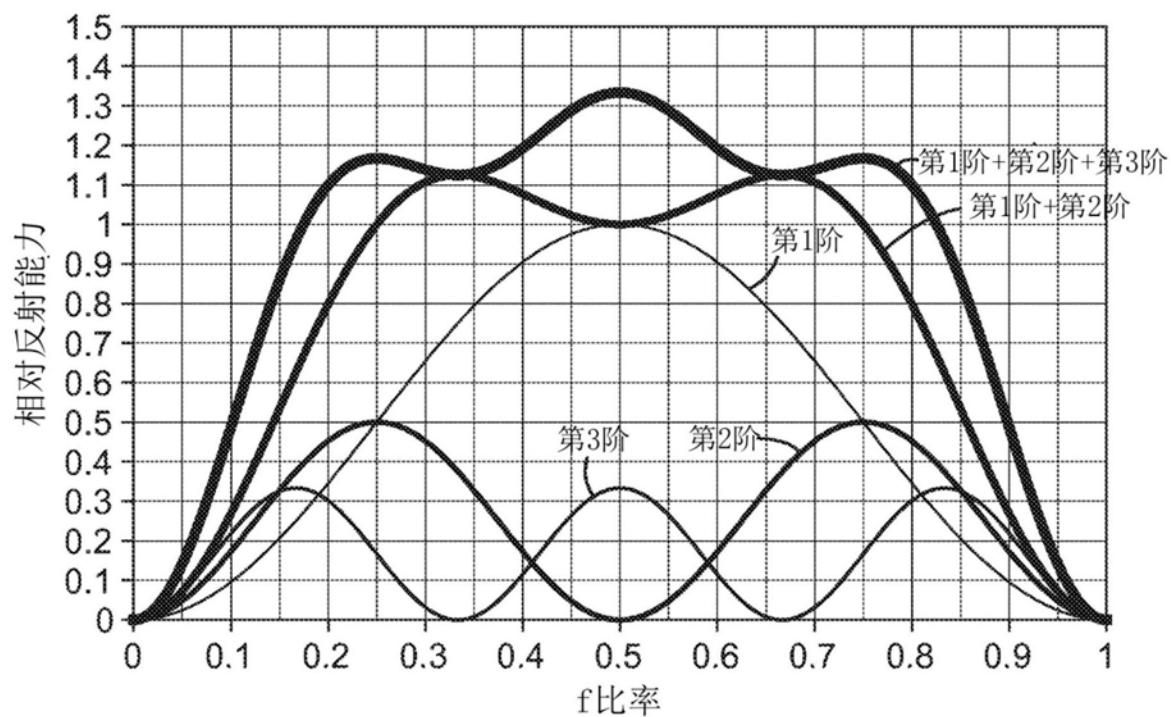


图12

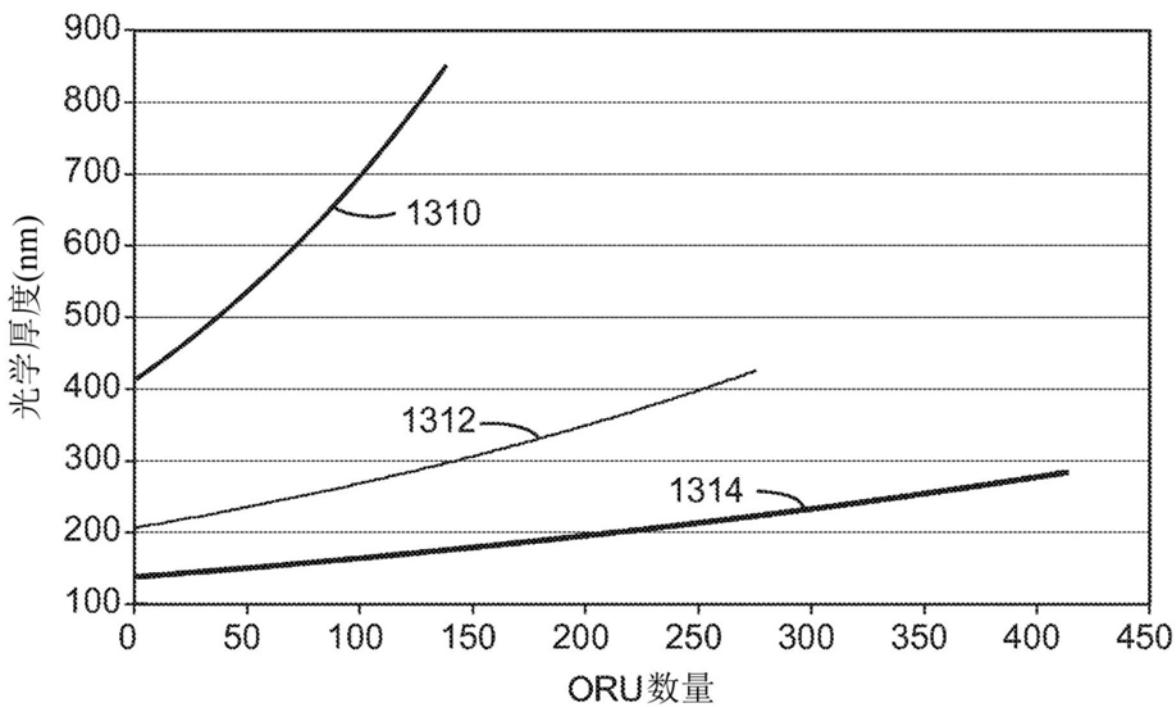


图13

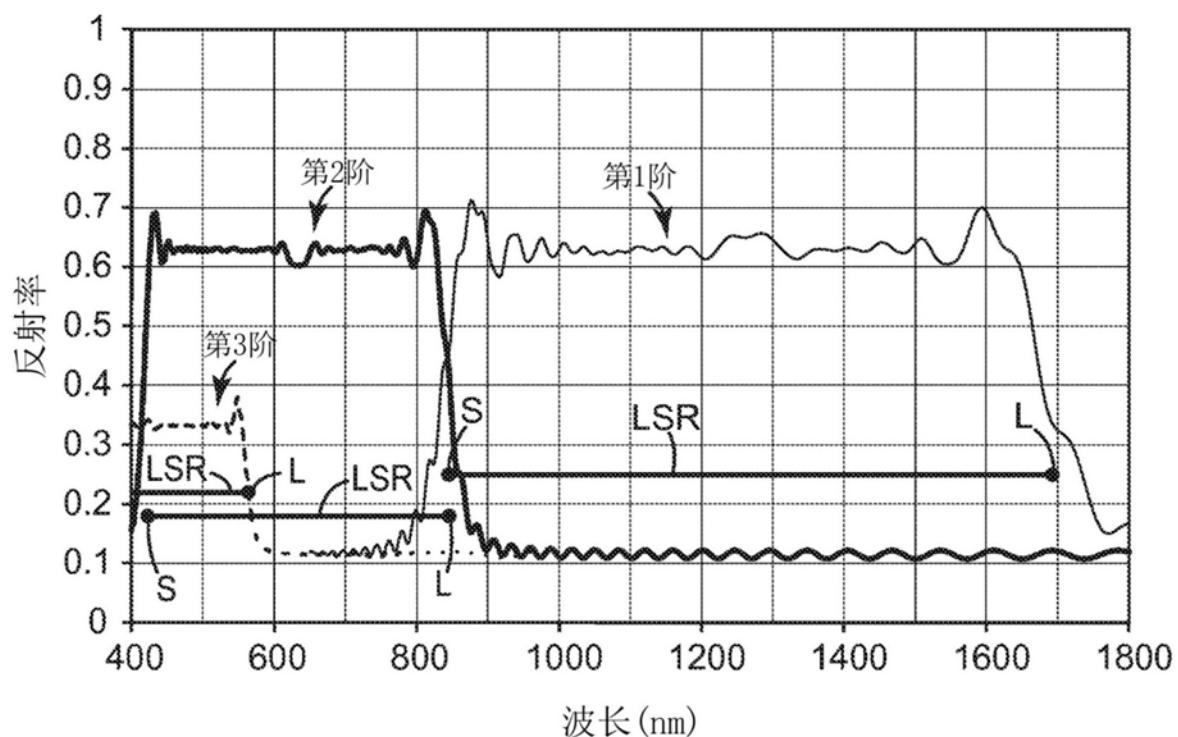


图14A

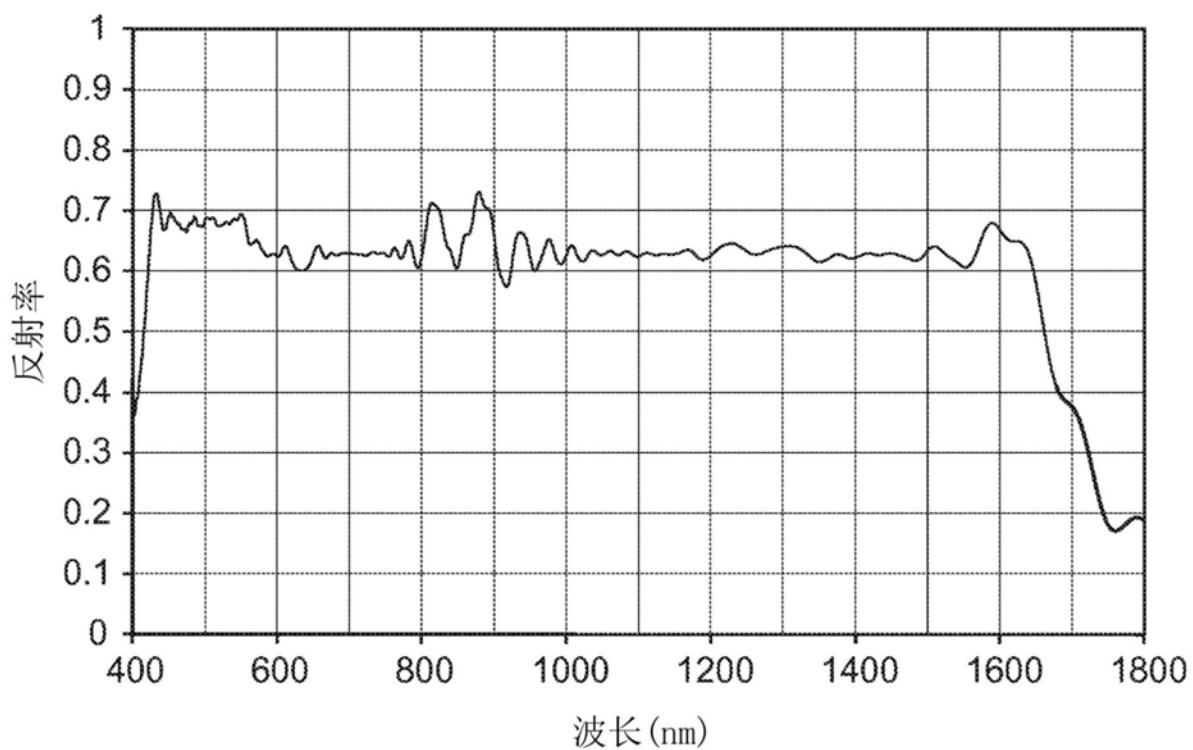


图14B

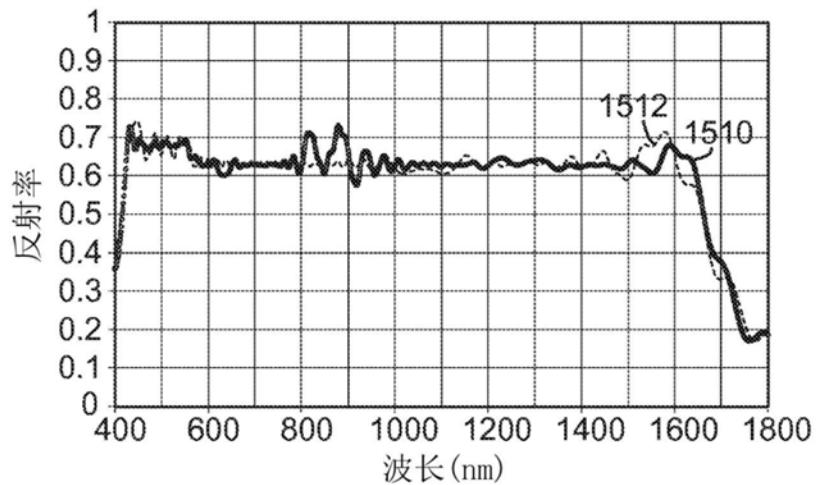


图15A

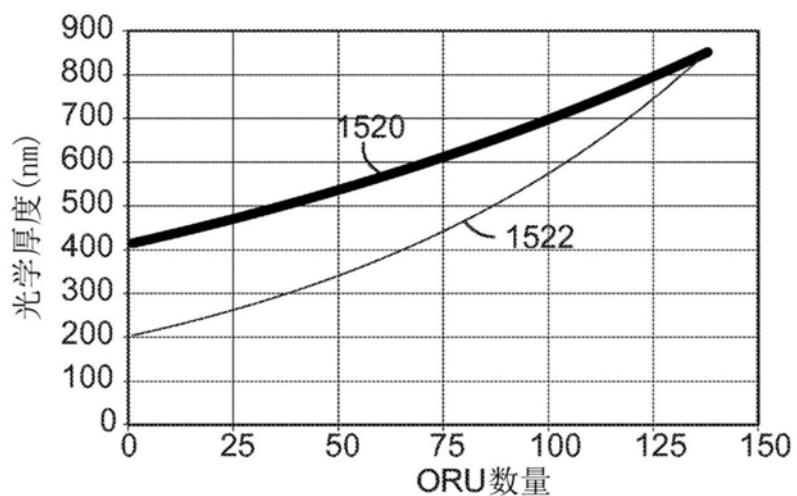


图15B

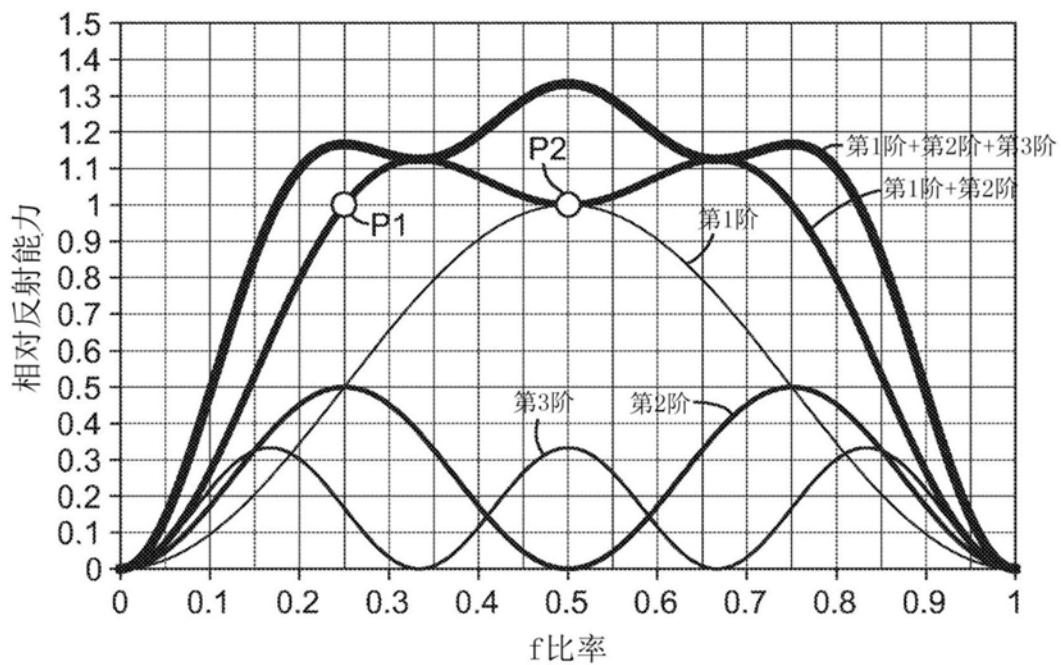


图15C

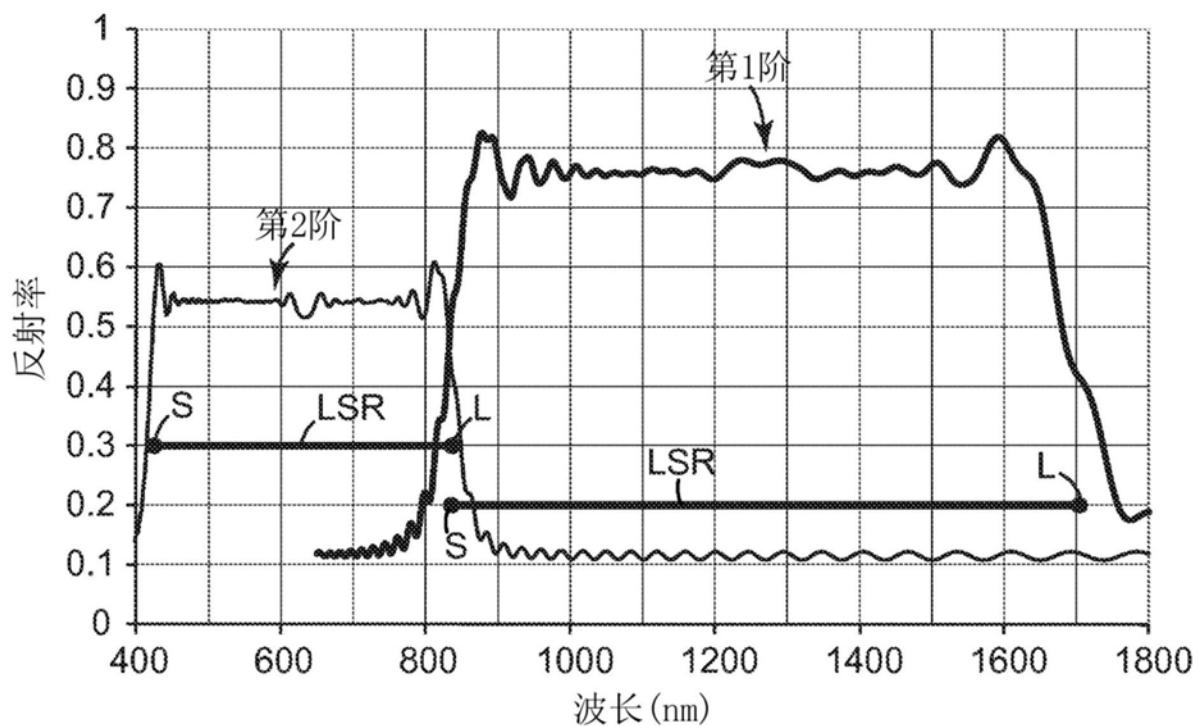


图16A

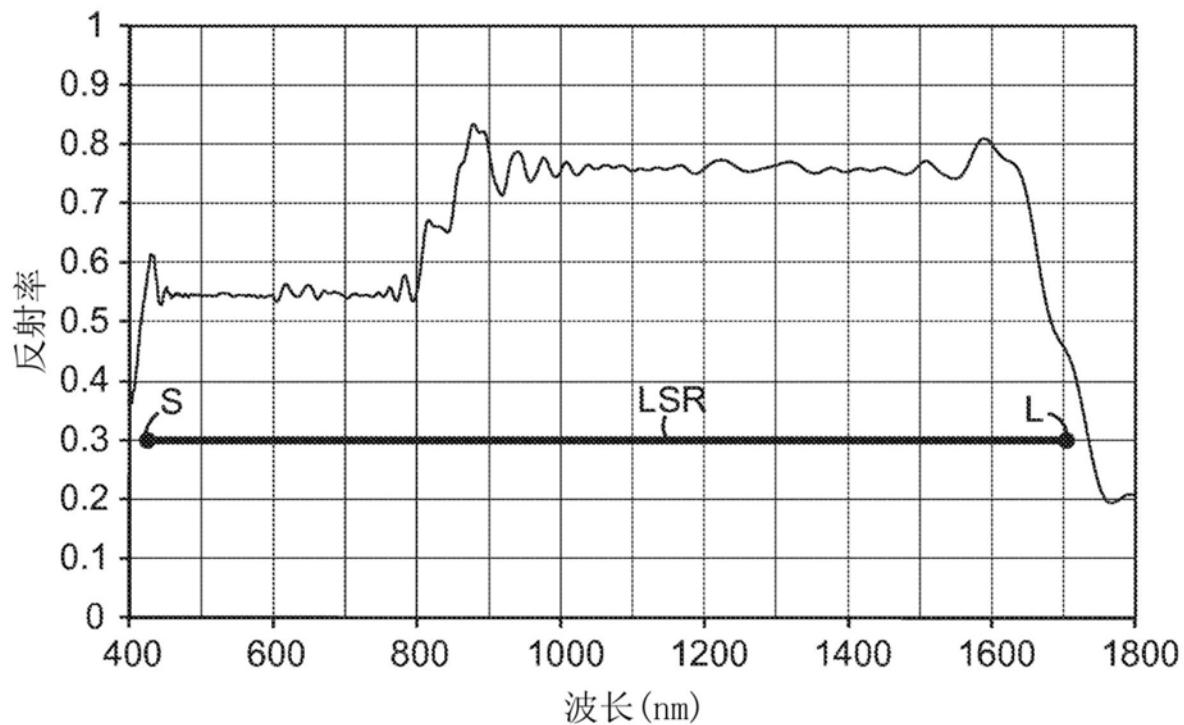


图16B

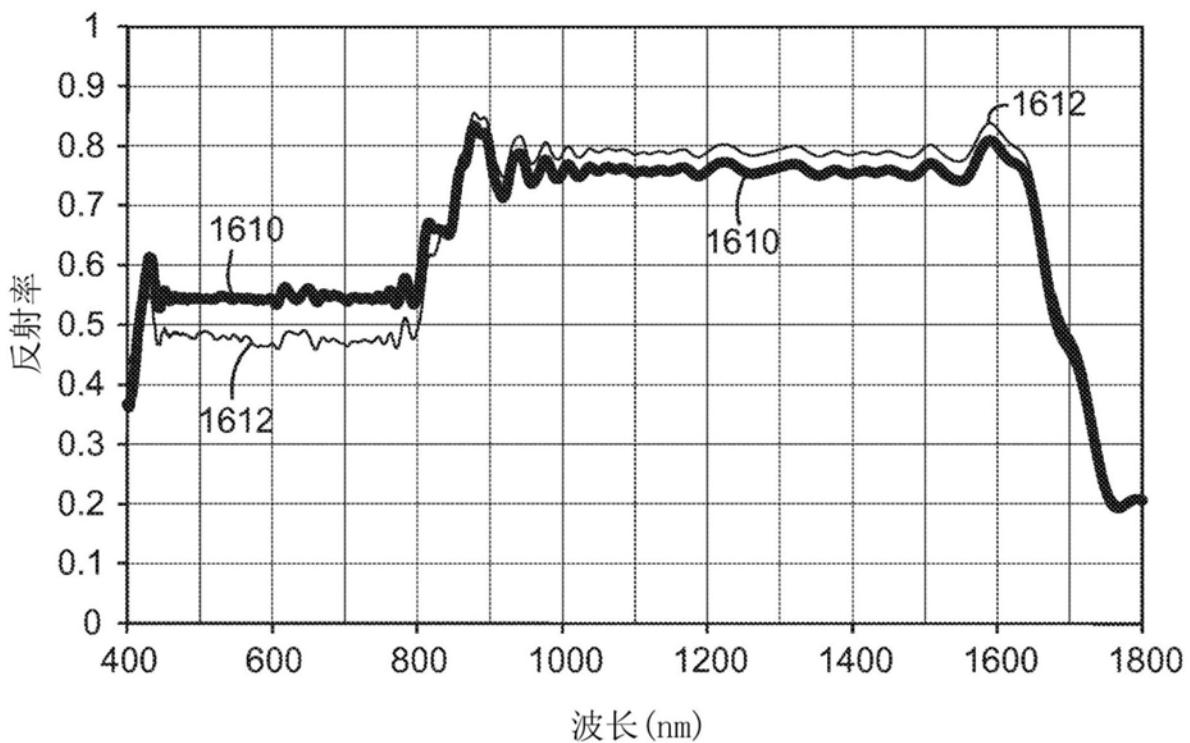


图16C

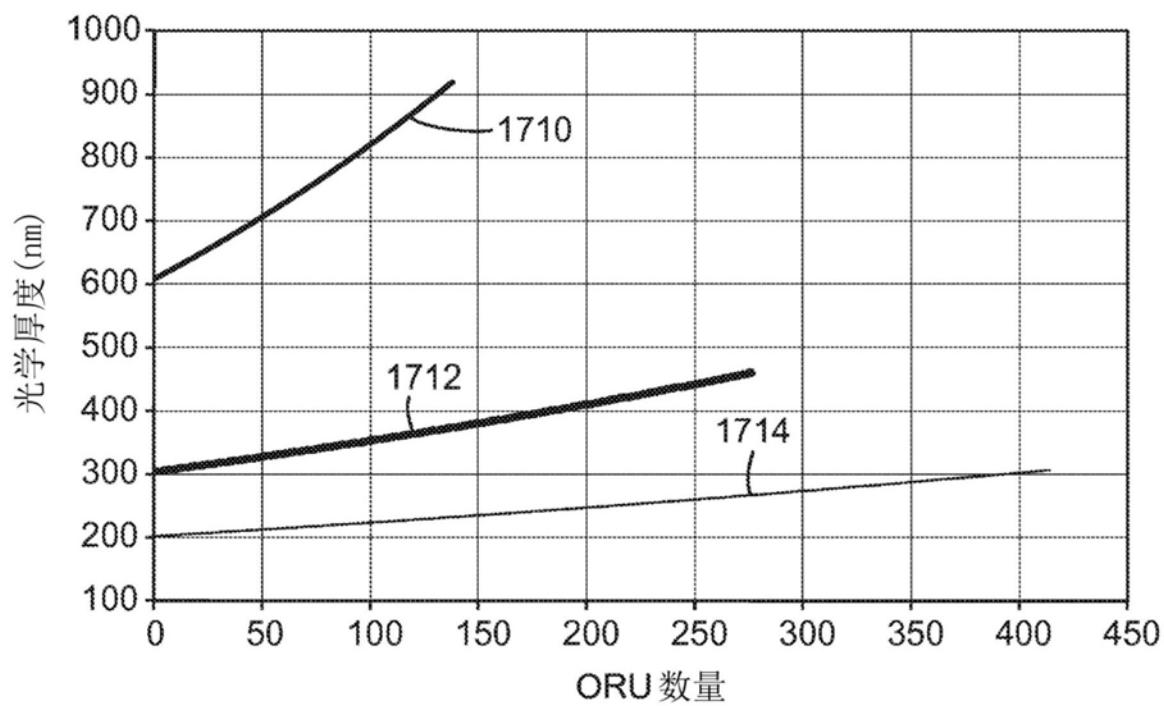


图17

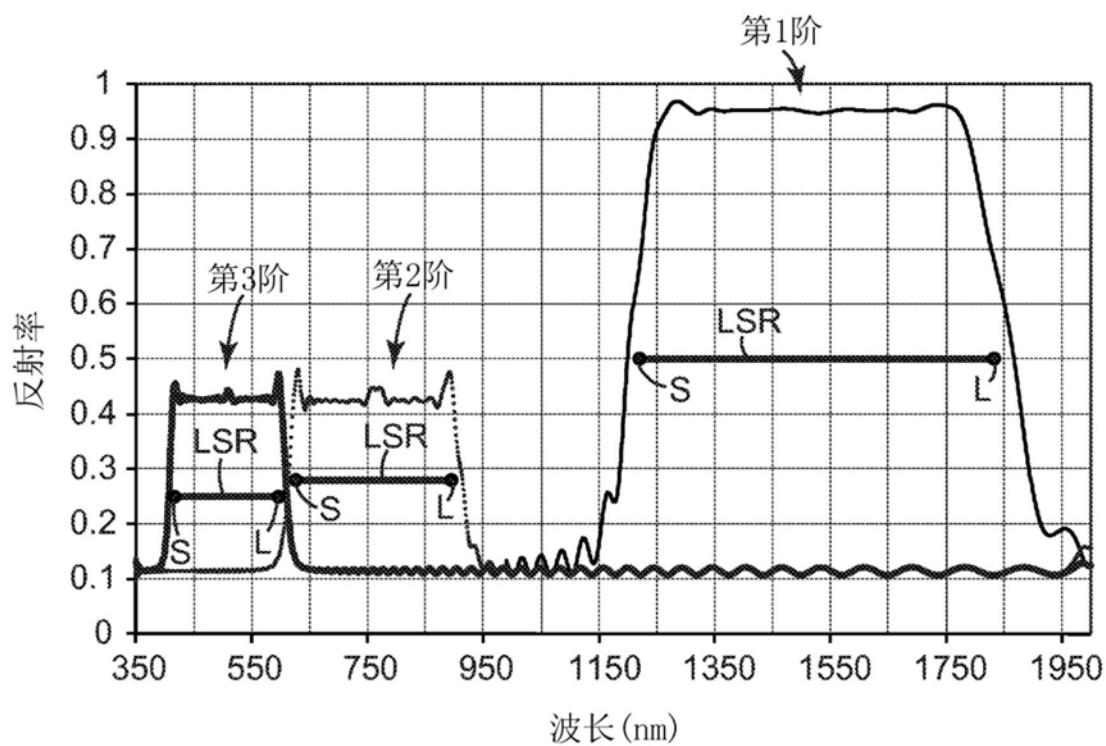
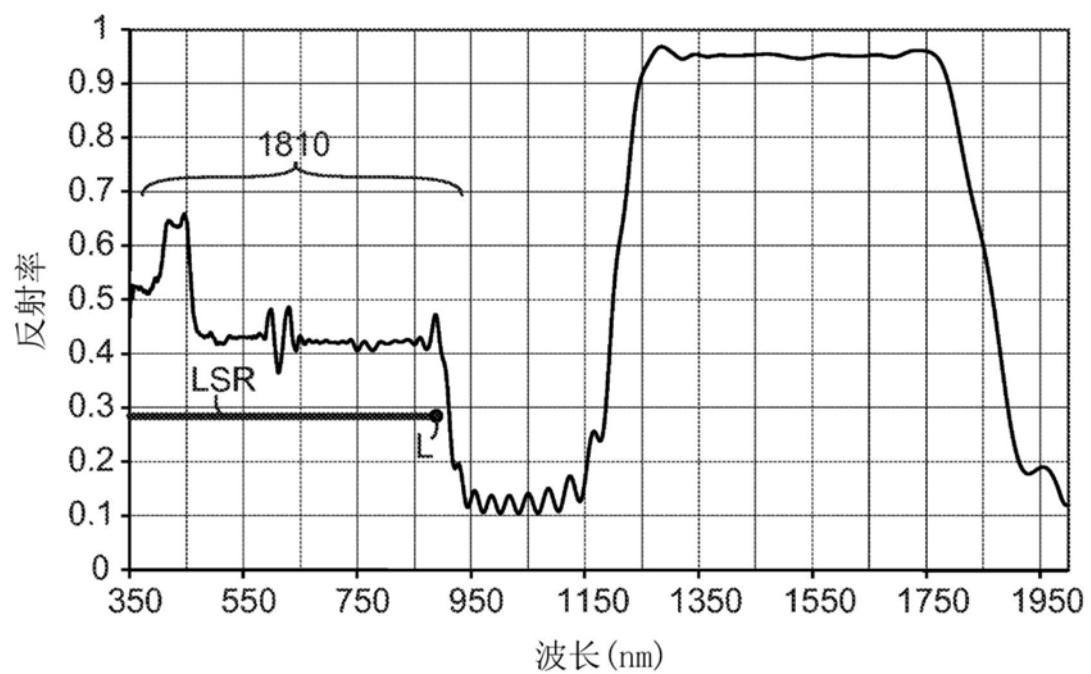


图18A



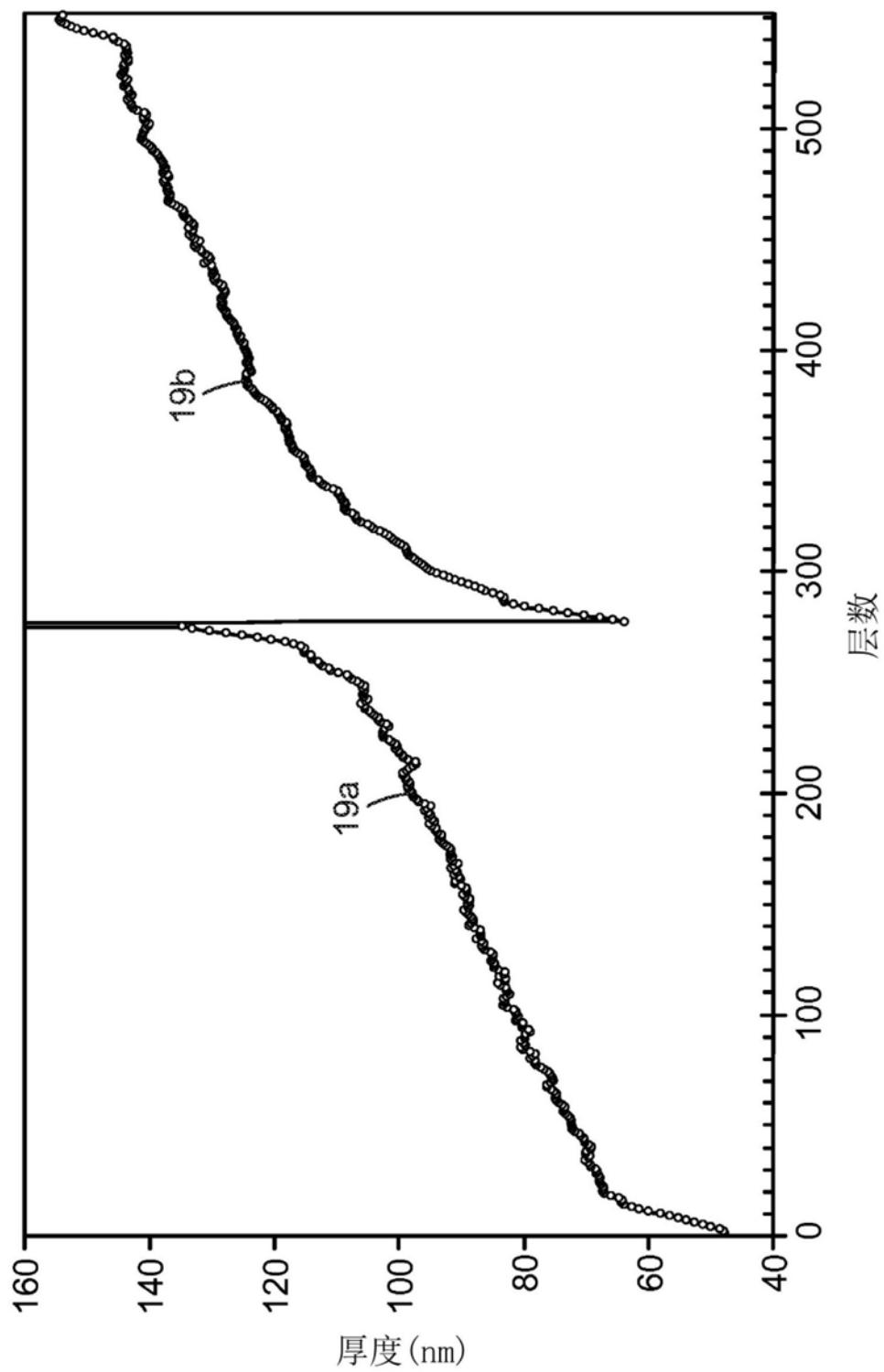


图19

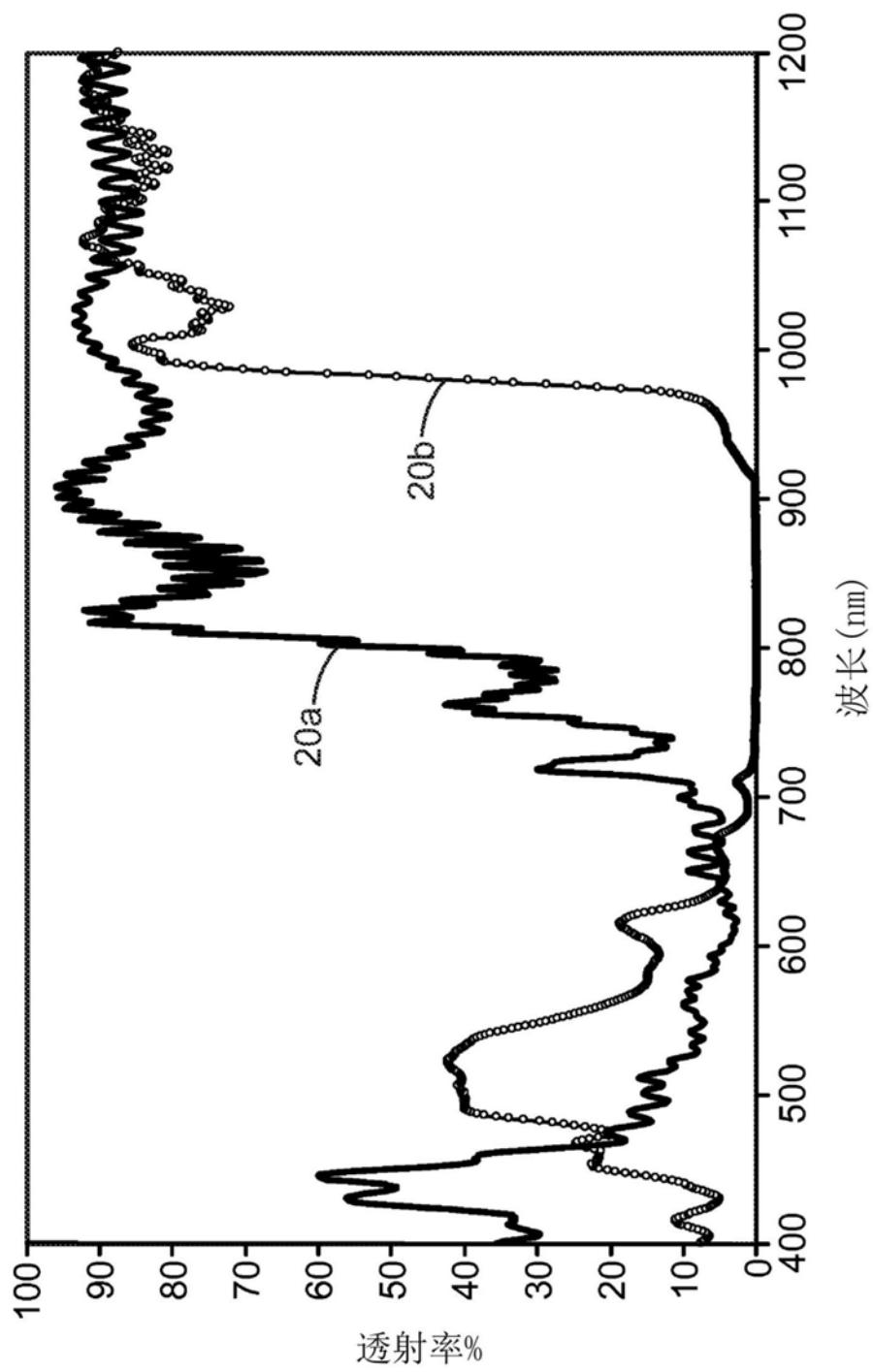


图20

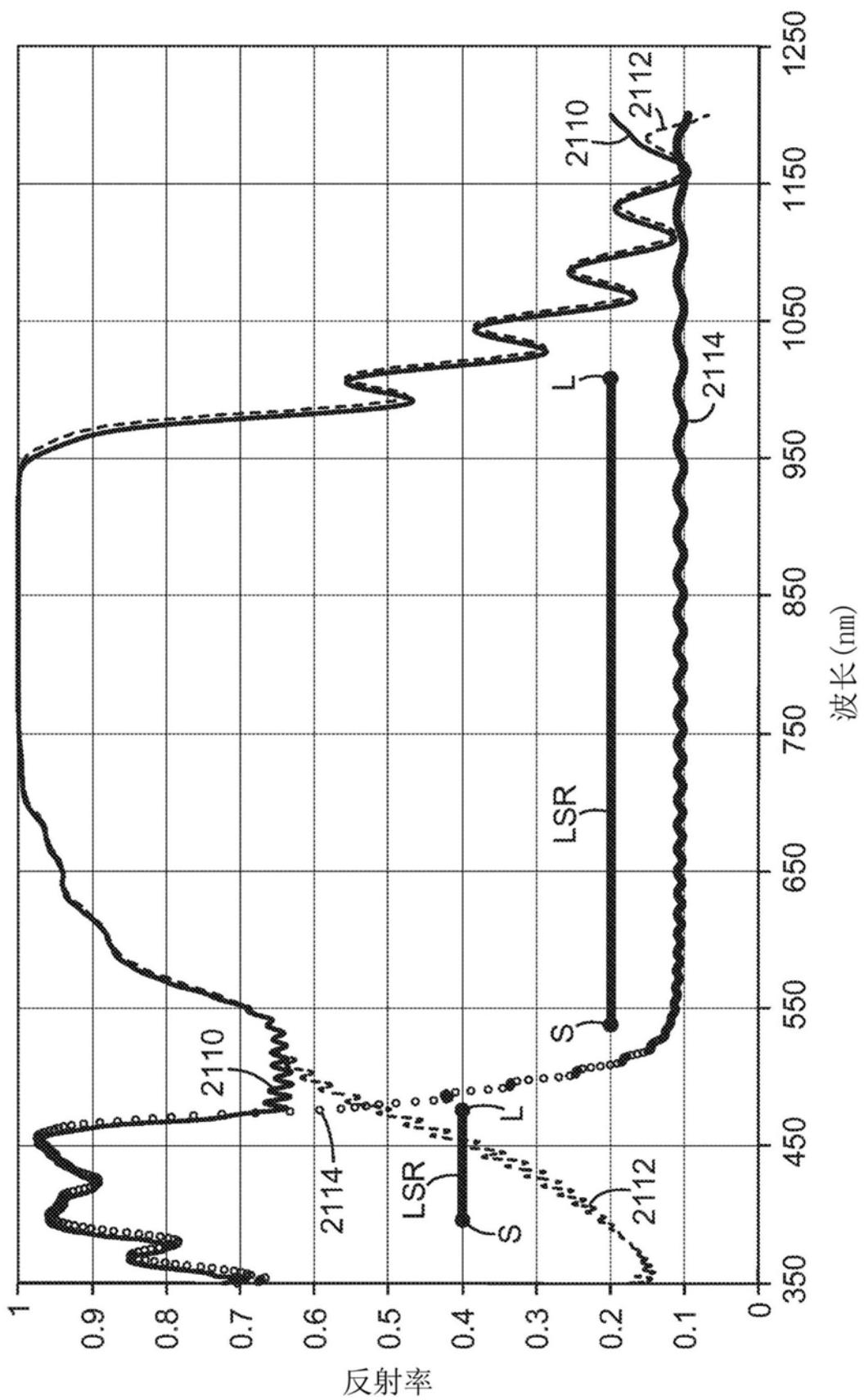


图21