



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110431122 B

(45) 授权公告日 2022.03.18

(21) 申请号 201880018479.8

S·布尔坎

(22) 申请日 2018.03.14

(74) 专利代理机构 北京思益华伦专利代理事务

(65) 同一申请的已公布的文献号

所(普通合伙) 11418

申请公布号 CN 110431122 A

代理人 赵飞 孟昆

(43) 申请公布日 2019.11.08

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据

G03C 17/34 (2006.01)

102017105372.7 2017.03.14 DE

G02B 1/115 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2019.09.17

(56) 对比文件

CN 101019043 A, 2007.08.15

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2018/056344 2018.03.14

CN 105359005 A, 2016.02.24

(87) PCT国际申请的公布数据

W02018/167126 DE 2018.09.20

CN 103688195 A, 2014.03.26

CN 102129215 A, 2011.07.20

CN 104216034 A, 2014.12.17

DE 102008054139 A1, 2010.05.12

JP H1090502 A, 1998.04.10

WO 2015179739 A1, 2015.11.26

(73) 专利权人 肖特股份有限公司

地址 德国美因茨

审查员 杨碧云

(72) 发明人 D·阿皮茨 U·布劳内克

权利要求书7页 说明书20页 附图9页

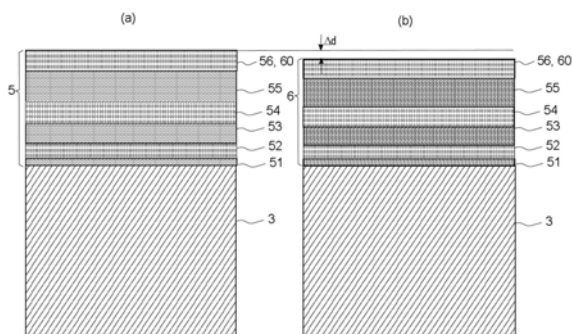
(54) 发明名称

抗反射涂层

(57) 摘要

本发明的目的是提供一种在非平面表面上的光学特性方面尽可能不敏感的抗反射系统。对此设置一种透明元件(1),包括:-透明衬底(3)以及-在该衬底(3)上的多层抗反射涂层(5),该多层抗反射涂层包括至少六层,其中,较高折射率的层(51、53、55)和较低折射率的层(50、52、54、56)交替,并且其中,较高折射率的层(51、53、55)比较低折射率的层(50、52、54、56)具有更大的硬度,并且其中,多层抗反射涂层(5)的最上层(56、60)是较低折射率的层,并且其中,-衬底具有至少两个倾斜度不同的表面区域(30、32),其中,-抗反射涂层(5)覆盖不同倾斜度的表面区域(30、32),并且其中对于表面区域(30、32)上的抗反射涂层(5),适用下列特征中的至少一个:在CIE xyz颜色系统中,在表面区域(30、32)上0°入射角的情况下,剩余反射的颜色彼此相差不超过Δx

=0.05, Δy=0.05, 优选地不超过 Δx=0.03, Δy=0.03, 更优选地不超过 Δx=0.02, Δy=0.02, 在表面区域(30、32)的0°入射角下的适光的反射率彼此相差不超过 ΔR_ph=1.5%。



CN 110431122 B

1. 一种透明元件(1),包括:
 - 透明衬底(3),以及
 - 在所述衬底(3)上的多层抗反射涂层(5),所述多层抗反射涂层包括至少六层,其中,较高折射率的层(51、53、55)和较低折射率的层(50、52、54、56)交替,并且其中,较高折射率的层(51、53、55)比较低折射率的层(50、52、54、56)具有更大的硬度,并且其中,所述多层抗反射涂层(5)的最上层(56)是较低折射率的层,并且其中,
 - 所述衬底具有至少两个倾斜度不同的表面区域(30、32),其中,
 - 所述抗反射涂层(5)覆盖倾斜度不同的表面区域(30、32),并且其中对于表面区域(30、32)上的抗反射涂层(5),适用下列特征中的至少一个:
 - 在CIE_{xyz}颜色系统中,在表面区域(30、32)上 0° 入射角的情况下,剩余反射的颜色彼此相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,
 - 在表面区域(30、32)的 0° 入射角下的适光的反射率彼此相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$ 。
2. 根据权利要求1所述的透明元件(1),其特征在于,在CIE_{xyz}颜色系统中,在表面区域(30、32)上 0° 入射角的情况下,剩余反射的颜色彼此相差不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$ 。
3. 根据权利要求1所述的透明元件(1),其特征在于,在CIE_{xyz}颜色系统中,在表面区域(30、32)上 0° 入射角的情况下,剩余反射的颜色彼此相差不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$ 。
4. 根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1),其特征在于,所述抗反射涂层(5)具有以下特征中的至少一个:
 - 当用垂直于表面区域(30、32)之一的光照射透明元件(1)时,在CIE_{xyz}颜色系统中,倾斜度不同的表面区域(30、32)的剩余反射的颜色彼此相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,
 - 当用垂直于表面区域之一的光照射透明元件(1)时,倾斜度不同的表面区域的适光的反射率彼此相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$,其中在表面区域(30、32)的法线之间的角度为至少 20° 。
5. 根据权利要求4所述的透明元件(1),其特征在于,当用垂直于表面区域(30、32)之一的光照射透明元件(1)时,在CIE_{xyz}颜色系统中,倾斜度不同的表面区域(30、32)的剩余反射的颜色彼此相差不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$ 。
6. 根据权利要求4所述的透明元件(1),其特征在于,当用垂直于表面区域(30、32)之一的光照射透明元件(1)时,在CIE_{xyz}颜色系统中,倾斜度不同的表面区域(30、32)的剩余反射的颜色彼此相差不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$ 。
7. 根据权利要求4所述的透明元件(1),其特征在于,当用垂直于表面区域之一的光照射透明元件(1)时,倾斜度不同的表面区域的适光的反射率彼此相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$,其中在表面区域(30、32)的法线之间的角度为至少 30° 。
8. 根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1),其特征在于,所述抗反射涂层(5)的层厚度根据所述表面区域(30、32)的倾斜度而变化。
9. 根据权利要求8所述的透明元件(1),其特征在于,抗反射涂层可以具有以下特征中的至少一个:
 - 在CIE_{xyz}颜色系统中,当层(50-56)的层厚度减小小于0.9的因子k时在光入射角 $\arccos(k)$ 下的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下在 0° 光入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,

-当层(50-56)的层厚度减小小于0.9的因子k时在光入射角 $\arccos(k)$ 下的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下在 0° 光入射角下的颜色相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$ 。

10.根据权利要求9所述的透明元件(1),其特征在于,在CIE xyz颜色系统中,当层(50-56)的层厚度减小小于0.9的因子k时在光入射角 $\arccos(k)$ 下的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下在 0° 光入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$ 。

11.根据权利要求9所述的透明元件(1),其特征在于,在CIE xyz颜色系统中,当层(50-56)的层厚度减小小于0.9的因子k时在光入射角 $\arccos(k)$ 下的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下在 0° 光入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$ 。

12.根据权利要求9所述的透明元件(1),其特征在于,所述衬底(3)具有平的中心区域(30)和倒角(31)或边缘区域(32),其中所述抗反射涂层(5)覆盖中心区域(30)和倒角(31)或边缘区域(32),其中抗反射涂层(5)的层(50-56)的层厚度在倒角(31)或边缘区域(32)上与中心区域(30)中的层厚度相比是减小的。

13.根据权利要求12所述的透明元件(1),其特征在于,在倒角(31)或边缘区域(32)的表面法线与中心区域的表面法线之间包括至少 20° 的角度。

14.根据权利要求4所述的透明元件(1),其特征在于,所述抗反射涂层(5)的层(50-56)的至少一部分具有随层厚度或表面倾斜度变化的折射率。

15.根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1),其特征在于,在给定折射率的情况下,选择层(51-54)的厚度使得:

-在CIE xyz颜色系统中,在层厚度减少10%的情况下在 $30^\circ - \arccos(0.9) = 4^\circ$ 和 $30^\circ + \arccos(0.9) = 56^\circ$ 之间的入射角下剩余反射的颜色与在层厚度未减少的情况下在 30° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,或

-在CIE xyz颜色系统中,在层厚度减少10%的情况下在 $45^\circ - \arccos(0.9) = 19^\circ$ 和 $45^\circ + \arccos(0.9) = 71^\circ$ 之间的入射角下剩余反射的颜色与在层厚度未减少的情况下在 45° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$ 。

16.根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1),其特征在于,在给定折射率的情况下,选择层(51-54)的厚度使得:在所有层的层厚度减小10%的情况下在 0° 入射角下的适光的反射率与在层厚度未减小的情况下的值之间的偏差不超过 $\Delta R_{ph}=1\%$ 。

17.根据权利要求16所述的透明元件(1),其特征在于,在所有层的层厚度减小10%的情况下在 0° 入射角下的适光的反射率与在层厚度未减小的情况下的值之间的偏差不超过 $\Delta R_{ph}=0.5\%$ 。

18.根据权利要求16所述的透明元件(1),其特征在于,在所有层的层厚度减小10%的情况下在 0° 入射角下的适光的反射率与在层厚度未减小的情况下的值之间的偏差不超过 $\Delta R_{ph}=0.25\%$ 。

19.根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1),其特征在于,具有以下特征中的至少一个:

-在CIE xyz颜色系统中,在层厚度未减小的情况下在 0° 入射角下在抗反射涂层(5)上的剩余反射的颜色与在所有层的层厚度减小20%的情况下在 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,

-在所有层的层厚度减小20%的情况下在 0° 入射角下适光的反射率与在层厚度未减小

的情况下在 0° 入射角下适光的反射率相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$,

-在CIE xyz颜色系统中,抗反射涂层(5)在 30° 入射角下的剩余反射的颜色与在 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$,

-在 45° 入射角下的剩余反射的颜色与 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,

- 0° 入射角下的适光的反射率小于 1.5% ,

-在 0° 入射角下,在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内的反射率的最大值小于 1.5% ,

-在 30° 入射角下的适光的反射率与在 0° 入射角下的适光的反射率之差的绝对值小于 0.5% ,

-在 45° 入射角下的适光的反射率与在 0° 入射角下的适光的反射率之差的绝对值绝对地小于 0.5% ,

-在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内平均的在 0° 入射角下的平均反射率小于 1.5% ,

-在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内平均的在 30° 入射角下的平均反射率与在 0° 入射角下的平均反射率之差的绝对值绝对地小于 0.5% ,

-在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内平均的在 45° 入射角下的平均反射率与在 0° 入射角下的平均反射率之差的绝对值小于 0.5% ,

-在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内,在 30° 入射角与 0° 入射角下的反射率的最大值之差的绝对值小于 0.5% 。

20. 根据权利要求19所述的透明元件(1),其特征在于,在CIE xyz颜色系统中,在层厚度未减小的情况下在 0° 入射角下在抗反射涂层(5)上的剩余反射的颜色与在所有层的层厚度减小 30% 的情况下在 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$ 。

21. 根据权利要求19所述的透明元件(1),其特征在于,在CIE xyz颜色系统中,在层厚度未减小的情况下在 0° 入射角下在抗反射涂层(5)上的剩余反射的颜色与在所有层的层厚度减小 40% 的情况下在 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$ 。

22. 根据权利要求19所述的透明元件(1),其特征在于,在所有层的层厚度减小 30% 的情况下在 0° 入射角下适光的反射率与在层厚度未减小的情况下在 0° 入射角下适光的反射率相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$ 。

23. 根据权利要求19所述的透明元件(1),其特征在于,在所有层的层厚度减小 40% 的情况下在 0° 入射角下适光的反射率与在层厚度未减小的情况下在 0° 入射角下适光的反射率相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$ 。

24. 根据权利要求19所述的透明元件(1),其特征在于,在 30° 入射角下的适光的反射率与在 0° 入射角下的适光的反射率之差的绝对值小于 0.3% 。

25. 根据权利要求19所述的透明元件(1),其特征在于,在 30° 入射角下的适光的反射率与在 0° 入射角下的适光的反射率之差的绝对值小于 0.1% 。

26. 根据权利要求19所述的透明元件(1),其特征在于,在 45° 入射角下的适光的反射率与在 0° 入射角下的适光的反射率之差的绝对值绝对地小于 0.3% 。

27. 根据权利要求19所述的透明元件(1),其特征在于,在 45° 入射角下的适光的反射率与在 0° 入射角下的适光的反射率之差的绝对值绝对地小于 0.1% 。

28. 根据权利要求19所述的透明元件(1),其特征在于,在 450nm 和 700nm 之间的波长范

围内平均的在 30° 入射角下的平均反射率与在 0° 入射角下的平均反射率之差的绝对值绝对地小于 0.3% 。

29. 根据权利要求19所述的透明元件(1), 其特征在于, 在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内平均的在 30° 入射角下的平均反射率与在 0° 入射角下的平均反射率之差的绝对值绝对地小于 0.1% 。

30. 根据权利要求19所述的透明元件(1), 其特征在于, 在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内平均的在 45° 入射角下的平均反射率与在 0° 入射角下的平均反射率之差的绝对值小于 0.3% 。

31. 根据权利要求19所述的透明元件(1), 其特征在于, 在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内平均的在 45° 入射角下的平均反射率与在 0° 入射角下的平均反射率之差的绝对值小于 0.1% 。

32. 根据权利要求19所述的透明元件(1), 其特征在于, 在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内, 在 30° 入射角与 0° 入射角下的反射率的最大值之差的绝对值小于 0.3% 。

33. 根据权利要求19所述的透明元件(1), 其特征在于, 在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内, 在 30° 入射角与 0° 入射角下的反射率的最大值之差的绝对值小于 0.1% 。

34. 根据权利要求19所述的透明元件(1), 其特征在于, 具有以下特征中的至少一个:

- 在 0° 入射角下的适光的反射率小于 1% ,
- 在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内在 30° 入射角下的平均反射率与在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内在 0° 入射角下的平均反射率之差的绝对值小于 0.1% ,
- 在 450nm 和 700nm 之间的波长范围内平均的在 45° 入射角与在 0° 入射角下的平均反射率之差的绝对值小于 0.5% ,
- 在 450nm 至 700nm 波长范围内平均的在 0° 入射角下的平均反射率小于 1.0% 。

35. 根据权利要求34所述的透明元件(1), 其特征在于, 在 0° 入射角下的适光的反射率小于 0.8% 。

36. 根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1), 其特征在于, 在给定折射率的情况下, 选择层(51-56)的层厚度, 使得当最上层(56)的层厚度减小 10% 或 10nm , 取决于两种情况中哪一种获得更小的剩余层厚度, 并且在其余层(50-55)的层厚度保持不变时, 适用以下特征中的至少一个:

- 在CIE xyz颜色系统中, 在最上层(56)的层厚度减小的情况下在 0° 入射角下的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下在 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,

- 在层厚度减小的情况下在 0° 入射角下的适光的反射率与在层厚度未减小的情况下在 0° 入射角下的适光的反射率相差不超过 $\Delta R_{\text{ph}}=1.5\%$ 。

37. 根据权利要求36所述的透明元件(1), 其特征在于, 在CIE xyz颜色系统中, 在最上层(56)的层厚度减小的情况下在 0° 入射角下的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下在 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$ 。

38. 根据权利要求36所述的透明元件(1), 其特征在于, 在CIE xyz颜色系统中, 在最上层(56)的层厚度减小的情况下在 0° 入射角下的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下在 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$ 。

39. 根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1), 其特征在于, 所述衬底(3)是蓝宝石衬底。

40. 根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1), 其特征在于, 所述衬底(3)具有高于1.65的折射率并且最下层(50)是具有较低折射率的层。

41. 根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1), 其特征在于, 较高折射率的层(51、53)为铝氧化物(Al_2O_3)、氮化物或氮氧化物中的至少一种。

42. 根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1), 其特征在于, 所述抗反射涂层(5)具有至多二十个层。

43. 根据权利要求42所述的透明元件(1), 其特征在于, 所述抗反射涂层(5)具有至多十五个层。

44. 根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1), 其特征在于, 具有以下特征中的至少一个:

- 抗反射涂层(5)的最上层(56)的层厚度与最上第三层(54)的层厚度的比率在0.5至8.5的范围内,

- 最上面的一对层的层厚度乘积与最上面的第二对层的层厚度乘积之比在8到22或60到140的范围内,

- 较低折射率的层中的最厚层的层厚度与较高折射率的层中的最厚层的层厚度的比率在0.2和3之间, 但不包括 $1.5/F(n)$ 至 $2.5/F(n)$ 的范围, 其中 $F(n)$ 由 $F(n) = (n-1) / (0.47)$ 给出并且 n 表示衬底的折射率,

所述抗反射涂层的层的层厚度的标准偏差与最厚层的层厚度的比率在0.25至0.45的范围内。

45. 根据权利要求44所述的透明元件(1), 其特征在于, 抗反射涂层(5)的最上层(56)的层厚度与最上第三层(54)的层厚度的比率在2至8的范围内。

46. 根据权利要求44所述的透明元件(1), 其特征在于, 抗反射涂层(5)的最上层(56)的层厚度与最上第三层(54)的层厚度的比率在3至8的范围内。

47. 根据权利要求1至3中任一项所述的透明元件(1), 其特征在于, 其构造成钟表玻璃或用于钟表玻璃的放大镜。

48. 一种用于制造透明元件(1)的方法, 包含以下步骤:

对于至少一对抗反射涂层(5、6), 所述抗反射涂层包括至少六个层(50、51、52、53、54、55、56), 其中, 较高折射率的层(51、53、55)和较低折射率的层(50、52、54、56)交替, 并且其中, 较高折射率的层(51、53、55)比较低折射率的层(50、52、54、56)具有更大的硬度, 并且其中, 多层抗反射涂层(5)的最上层(56)是较低折射率的层, 并且其中在考虑衬底(3)折射率的情况下, 计算下述参数中的至少一个:

- 剩余反射的颜色; 和

- 适光的反射率;

其中, 两个抗反射涂层的所有层的层厚度不同, 使得在一个抗反射涂层(6)中的所有层的层厚度与另一个抗反射涂层(5)的层厚度相比减少了一个共同因子, 该共同因子在0和0.9之间, 并且检查是否两个抗反射涂层(5、6)都满足至少一个条件:

- 在CIE xyz颜色系统中, 在层厚度均匀减小的情况下在 0° 入射角下的剩余反射的颜色

与在层厚度未减小的情况下在 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,

- 在所有层 (50、51、52、53、54、55、56) 层厚度均匀减小的情况下在 0° 的入射角的适光的反射率与在层厚度未减小的情况下 0° 的入射角的适光的反射率相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$,

- 在CIE xyz颜色系统中,当层 (50-56) 的层厚度减小小于0.9的因子k时在光入射角 $\arccos(k)$ 下的剩余反射的颜色与在层 (50-56) 的层厚度未减少的情况下在光入射角 0° 下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,

- 当层厚度减小小于0.9的因子k时在光入射角 $\arccos(k)$ 下剩余反射的颜色与在层 (50-56) 的层厚度未减少的情况下光入射角 0° 下的颜色相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$, 并且其中,如果第一对抗反射涂层不能满足条件时,则对于至少另一对计算剩余反射的颜色和适光的反射率并且重新检查其中至少一个条件,并且其中,从满足其中至少一个条件的一对抗反射涂层中选出层厚度未减小的层序列,并且其中,将具有所选择层序列的抗反射涂层 (5) 沉积在衬底 (3) 上。

49. 根据权利要求48所述的方法,其特征在于,在CIE xyz颜色系统中,当层 (50-56) 的层厚度减小小于0.9的因子k时在光入射角 $\arccos(k)$ 下的剩余反射的颜色与在层 (50-56) 的层厚度未减少的情况下在光入射角 0° 下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$ 。

50. 根据权利要求48所述的方法,其特征在于,在CIE xyz颜色系统中,当层 (50-56) 的层厚度减小小于0.9的因子k时在光入射角 $\arccos(k)$ 下的剩余反射的颜色与在层 (50-56) 的层厚度未减少的情况下在光入射角 0° 下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$ 。

51. 根据权利要求48所述的方法,其特征在于,在大量对的情况下检查在 0° 入射角下的剩余反射的颜色的差异或 0° 入射角下的适光的反射率的差异的条件,并且从这些经研究的对中选出沉积的层系统,其中存在 0° 入射角下的剩余反射的颜色的最小差异和/或在 0° 入射角下的适光的反射率的最小差异,然后沉积所述层系统。

52. 根据权利要求48至51中任一项所述的方法,其特征在于,如此选择抗反射涂层 (5) :

- 在CIE xyz颜色系统中,在 30° 入射角下一对的两个抗反射涂层 (5、6) 的剩余反射的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$, 或

- 在CIE xyz颜色系统中,在 45° 入射角下一对的两个抗反射涂层 (5、6) 的剩余反射的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$ 。

53. 根据权利要求48至51中任一项所述的方法,其特征在于,选择一对抗反射涂层中的至少一个抗反射涂层,对其计算参数剩余反射的颜色和适光反射率中的至少一个参数,从而满足以下条件中的至少一个:

- 抗反射涂层 (5) 的最上层的层厚度与最上第三层的层厚度之比在0.5至8.5的范围内,

- 最上面的一对层的层厚度乘积与最上面的第二对层的层厚度乘积之比在8到22或60到140的范围内,

- 较低折射率的层中的最厚层的层厚度与较高折射率的层中的最厚层的层厚度的比率在0.2和3之间,其中不包括 $1.5/F(n)$ 至 $2.5/F(n)$ 的范围,其中 $F(n)$ 由 $F(n) = (n-1) / (0.47)$ 给出并且n表示衬底的折射率,

- 所述抗反射涂层的层的层厚度的标准偏差与最厚层的层厚度的比率在0.25至0.45的范围内。

54. 根据权利要求53所述的方法,其特征在於,抗反射涂层(5)的最上层的层厚度与最上第三层的层厚度之比在2至8的范围内。

55. 根据权利要求53所述的方法,其特征在於,抗反射涂层(5)的最上层的层厚度与最上第三层的层厚度之比在3至8的范围内。

抗反射涂层

背景技术

[0001] 抗反射层系统是当今的现有技术并且以各种方式使用。应用领域尤其包括图像玻璃,诸如透镜之类的用于照相机的光学元件。这些应用不会承受很大的机械应力。

[0002] EP2492251B1描述了尤其用于钟表玻璃工业的抗反射层系统的生产。除了抗反射效果之外,在此通过引入由具有铝的添加剂的 Si_3N_4 构成的硬质材料层作为具有高折射率的层来改善AR系统的硬度。因为钟表以及特别是用于日期显示的粘合到钟表玻璃上的所谓的放大镜通常通过刮擦而受到机械应力,使用传统的抗反射层系统没有意义,因为它们会由于机械应力而被完全去除且形成衬底材料的反射。基于根据EP2492251B1发展的硬AR系统提供了一种抗反射系统,其在机械方面比传统的光学涂层更耐用。

[0003] 由于蓝宝石经常作为钟表玻璃应用在钟表工业中,但是抗反射涂层通常比蓝宝石软得多,期望的是,尽管存在机械应力,仍能够尽可能地获得抗反射效果,即,在机械应力之后,剩余反射保持尽可能低。这是根据EP2492251B1通过硬质材料层实现的,其实现层系统的高耐磨性并且因此层厚度的变化也很小。

[0004] 传统上,在硬质材料层中,双组分系统起主要作用。这里主要是Cr、Si、Ti和Zr的氧化物和氮化物。这些主要用于工具的涂层,因此对于这种应用它们不必是透明的。已知的透明硬质材料层例如是如DE20106167中所述的 Al_2O_3 和钇稳定的 ZrO_2 。EP1453770B1描述了涂覆有碳掺杂的氮化硅的玻璃陶瓷衬底。

[0005] W02009/010180A1和DE102008054391A1描述了作为单独的层的具有耐刮擦作用的铝掺杂的SiN或SiON层。

[0006] DE102016125689A1和DE102014104798A1描述了AR系统,其由具有改进的高折射率的层组成,其中根据DE102016125689A1的层是无定形的,而根据DE102014104798A1的层含有纳米晶。

[0007] 通常,通过溅射来沉积耐刮擦的抗反射涂层。在这种情况下,现有技术中描述的抗反射涂层设计用于平的衬底。如果表面不平,则局部地改变垂直于溅射源的表面的角度。这导致各个层的取决于方向的厚度变化。因此这改变了光学特性。

发明内容

[0008] 因此,本发明的目的是提供一种抗反射系统,其也可以沉积在非平面衬底上并且仍然具有良好的光学性质。优选地,该层系统尽可能对最上层的部分磨损不敏感。磨损可以通过磨损试验来完成,例如改进的拜耳试验,基于ASTMF735-11,但优选用2kg刚玉砂和8000次循环进行试验。在上述文献DE102016125689A1和DE102014104798A1中也描述了这种改进的拜耳试验,其公开内容就此包含在本申请中。这种测试通常从抗反射涂层的最上层(最后一层)去除超过十纳米的材料。对于典型的层厚度,该材料量也对应于超过层厚度的百分之十。实验已经表明,经改型的拜耳测试应用到在EP1453770B1、DE102014104798A1和DE102016125689A1中描述的涂层上导致在最上层的材料被去除。例如拜耳测试可以将平均层厚度从100nm减小到80nm。此外,会出现很多划痕,但如果(例如在 $5 \times 5\text{mm}^2$ 的面积上)大面

积地测量反射光谱,可以为磨损涂层指定对应于视觉效果宏观所得到的反射率或宏观所得到的剩余反射的颜色。

[0009] 为了使剩余反射的变化尽可能对蒸镀角度不敏感,本发明基于的思想是,在设计层系统中,将层序列相互进行比较或选择,当层的层厚度发生相等的百分比改变时,使得关于剩余反射的颜色方面的光学参数、其角度依赖性以及尤其是剩余反射强度发生的改变尽可能小。

[0010] 特别是,本发明提供了一种透明元件,其包括

[0011] -透明衬底,以及

[0012] -在该衬底上的多层抗反射涂层,所述多层抗反射涂层包括至少六个层,其中,较高折射率的层和较低折射率的层交替,并且其中,

[0013] -较高折射率的层比较低折射率的层具有更大的硬度,并且其中,多层抗反射涂层的最上层是较低折射率的层,并且其中,

[0014] -衬底具有至少两个倾斜度不同的表面区域,其中,

[0015] -抗反射涂层覆盖不同倾斜度的表面区域,并且其中对于表面区域上的抗反射涂层,适用至少下列特征之一:

[0016] -在CIE xyz 颜色系统中,在表面区域上 0° 入射角的情况下,剩余反射的颜色彼此相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,优选地不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$,更优选地不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$,

[0017] -在表面区域的 0° 入射角下的适光的反射率彼此相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$ 。

[0018] 应以数值来理解差异。术语“较高折射率”和“较低折射率”应理解为相对于彼此的比较。因此,较高折射率的层被理解为折射率高于较低折射率的层,而没有量化折射率的绝对值。

[0019] 适光的反射率是指在足够的亮度(白天视觉)下用人眼的灵敏度曲线加权之后积分的反射率。对于本文给出的信息,标准光源D65用作根据ISO标准3664的光源,其是色温为6504开尔文的辐射分布。

[0020] 特别地,由于或多或少的定向沉积过程,抗反射涂层的层厚度可以根据不同表面区域的倾斜度而变化。然后设计涂层系统,使得层系统的反射率以及剩余反射的颜色将尽可能少地依赖于各个层的层厚度的均匀减小。特别地,抗反射涂层可以设计成具有以下特征中的至少一个:

[0021] -在CIE xyz 颜色系统中,当层(50-56)的层厚度减小因子 k (小于0.9)时在光入射角 $\arccos(k)$ 下的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下在光入射角 0° 下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,优选不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$,特别优选不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$,

[0022] -当层(50-56)的层厚度减小因子 k (小于0.9)时在光入射角 $\arccos(k)$ 下的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下在光入射角 0° 下的颜色相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$ 。由于层厚度的减小是由相应表面的倾斜度引起的,因此这两个量基本上成比例并且可以等效地使用。

[0023] 根据本发明的优选实施例,衬底具有平的中心区域和倒角或更通常的边缘区域,其中抗反射涂层覆盖中心区域和倒角或边缘区域,其中抗反射涂层的层的层厚度在倒角或

边缘区域上与中心区域中的层厚度相比是减小的。特别地,通过将所有层的厚度减小相同的百分比,这种减小可以是均匀的。当通过其中心区域与涂覆源对准的定向涂覆工艺以来制造抗反射涂层时,产生这种结构。此时,本发明的抗反射涂层设计实现了倒角或边缘区域上的剩余反射的颜色或反射率没有或至少没有明显变化。根据本发明的一个改进方案,在倒角或边缘区域的表面法线与中心区域的表面法线之间可以包括至少 20° 的角度。特别是还考虑到角度为 30° 至 80° 的倒角,包括以 45° 和 60° 倾斜的倒角。通常有利的是,对于表面区域的给定倾斜度,即例如倒角的角度,也针对该角度在剩余反射的颜色和/或适光反射率方面进行优化抗反射涂层。例如,如果提供与平的中心表面具有特定角度(例如 45°)的倒角,则可以优化层系统,使得对于光的相同入射角度(例如 45°)的颜色值的差异 Δx 、 Δy 最小或至少分别小于0.05,优选小于0.03。

[0024] 中间区域例如可为颜色中性。如果设计仅限于中间区域并且倒角上的效果是偶然情况,那么倒角可以例如在涂覆之后例如具有橙色剩余反射颜色。此时在另一个实施例中,中心区域和边缘区域(例如,倒角)的设计颜色可以不同,并且中心区域例如可以为颜色中性并且倒角实施成带有蓝色。

[0025] 优选地,在给定折射率的情况下,针对抗反射涂层的厚度,进一步选择抗反射涂层的层:

[0026] -在CIE xyz颜色系统中,在层厚度减少10%的情况下在 $30^\circ - \arccos(0.9) = 4^\circ$ 和 $30^\circ + \arccos(0.9) = 56^\circ$ 之间的入射角下剩余反射的颜色与在层厚度未减少的情况下在 30° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x = 0.05$, $\Delta y = 0.05$,和/或

[0027] -在CIE xyz颜色系统中,在层厚度减少10%的情况下在 $45^\circ - \arccos(0.9) = 19^\circ$ 和 $45^\circ + \arccos(0.9) = 71^\circ$ 之间的入射角下剩余反射的颜色与在层厚度未减少的情况下在 45° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x = 0.05$, $\Delta y = 0.05$ 。

[0028] 还可以设计抗反射涂层,使得在CIE xyz颜色系统中,在所有层的层厚度均匀减小10%的情况下在 0° 入射角下的剩余反射的颜色与在最上层层厚度未减小的情况下在 0° 光入射角(相对于相应表面区域中的表面的视角)下的颜色相差不超过 $\Delta x = 0.05$, $\Delta y = 0.05$,特别是不超过 $\Delta x = 0.03$, $\Delta y = 0.03$,优选不超过 $\Delta x = 0.02$, $\Delta y = 0.02$ 。

[0029] 此外,根据本发明的改进方案,即使所有层的层厚度显著减小、即20%或30%,甚至40%的情况下,上述两个特征 $\Delta x = 0.05$, $\Delta y = 0.05$ 和/或适光的反射率的变化至多 $\Delta R_{ph} = 1.5\%$ 也可实现。

[0030] 这种所有层厚度的连续减小并且达到一定的角度范围例如出现在镜头和圆顶,或拱形窗口的情况下。然而,在较大的涂覆角度下很难获得非常好的光学性能。因此,在许多情况下,将涂层角度限制在在设计中实际发生的涂层角度上是有利的。对于倒角 45° 的扁平部件,设计例如限制在 0° 和 45° 两个涂层角度,而在整个 0° 至 45° 范围内的视角应结合在设计中。

[0031] 所有层厚度的减小是由于涂覆期间对于倾斜的表面在相同横截面上同时沉积相同量的材料。然而,由于待涂覆面的相应区域此时以一定角度布置(例如 45° 的倒角),因此实际面更大并且由此层厚度更小。通过完美的准直/定向涂层,层厚度将减小倾斜角余弦的因子(faktor)。在 0° 下,通常,沉积100%的相对层厚度。但在 45° 时它只有71%。然而,在典型的溅射工艺中,涂层不会以完全定向的方式完成,但是沉积以一种云的方式发生,因此层

厚度通常稍大。下表显示了在涂层表面与溅射源的各种角度下在磁控溅射中氮化物层的测量层厚度变化以及折射率变化。

由于涂覆时的倾斜角度，层厚度发生变化			
涂层角度	0°	45°	60°
[0032] Cos(涂层角度)	100%	70.7%	50%
测量的相对层厚度	100%	72%	55%
550 nm 下相对折射率	100%	100.14%	101.07%

[0033] 必要时可以进一步优化根据本发明的层系统，使得不仅光学性质变得对所有层的层厚度的均匀变化不敏感，而且仅对最上层的涂层厚度变化也不敏感。当涂层随时间磨损时会发生这种效果。对此，根据本发明的改进方案，提供一种透明元件，其包括透明衬底，以及在该衬底上的多层抗反射涂层，并且其中在给定折射率的情况下如此选择层厚度，使得当最上层的层厚度减小10%或10nm，取决于这些情况中哪一个产生更小的剩余层厚度，在第一种提到的情况下在减小之后层厚度仍然是原始层厚度的0.9倍，并且对于剩余层保持不变的层厚度时，适用至少一个以下特征：

[0034] -在CIE xyz颜色系统中，在最上层(54)的层厚度减小的情况下在0°光入射角下的剩余反射的颜色与在最上层(54)的层厚度未减小的情况下在0°光入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,

[0035] -在层厚度减小的情况下在0°光入射角下的适光的反射率与在层厚度未减小的情况下在0°光入射角下的适光的反射率相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$ 。

[0036] 层厚度减小10nm的情况使得最上层的层厚度小于100nm。

[0037] 根据改进方案，还如此设计层系统，使得在所有层的层厚度减小10%时在0°入射角下的适光的反射率与层厚度未减小时的值之间的偏差不超过 $\Delta R_{ph}=1\%$ ，特别优选地不超过 $\Delta R_{ph}=0.5\%$ ，非常特别优选不超过 $\Delta R_{ph}=0.25\%$ 。

[0038] 根据本发明的另一改进方案，在给定折射率的情况下如此选择层厚度，从而在CIE xyz颜色系统中，在所有层的层厚度减小10%的情况下在45°入射角下的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下在45°入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$ ，优选 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$ ，更优选 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$ 。

[0039] 此外，还可以进一步调整层系统，使得透明元件至少在表面的一个区域中具有以下特征中的至少一个，优选地具有多个特征，特别是具有以下所有特征：

[0040] -在CIE xyz颜色系统中，在30°入射角下抗反射涂层上的剩余反射的颜色与0°入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$,

[0041] -在45°入射角下的剩余反射的颜色与0°入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,

[0042] -0°入射角下的适光的反射率小于1.5%，优选小于1%，特别是小于0.8%，

[0043] -在0°入射角下，在450nm和700nm之间的波长范围内的反射率的最大值小于1.5%，

[0044] -在30°入射角下的适光的反射率与在0°入射角下的适光的反射率之差的绝对值小于0.5%，优选小于0.3%，特别优选小于0.1%，

- [0045] -在45°入射角下的适光的反射率与在0°入射角下的适光的反射率之差的绝对值小于0.5%，优选小于0.3%，特别优选小于0.1%，
- [0046] -在0°入射角下，在450nm和700nm之间的波长范围内平均的平均反射率小于1.5%，优选小于1.0%，
- [0047] -在450nm和700nm之间的波长范围内平均的在30°入射角下的平均反射率与在0°入射角下的平均反射率之差的绝对值小于0.5%，优选小于0.3%，特别优选小于0.1%，
- [0048] -在450nm和700nm之间的波长范围内平均的在45°入射角下的平均反射率与在0°入射角下的平均反射率之差的绝对值小于0.5%，
- [0049] -在450nm和700nm之间的波长范围内，在30°入射角与0°入射角下的反射率的最大值之差的绝对值小于0.5%，优选小于0.3%，特别优选小于0.1%，
- [0050] -在450nm和700nm之间的波长范围内，在45°入射角与0°入射角下的反射率的最大值之差的绝对值小于0.5%，优选小于0.3%，特别优选小于0.1%。
- [0051] 平均反射率为450至700nm波长范围内的反射率的平均值。
- [0052] 在该实施方案的改进方案中，涂层甚至可以实现以下特征中的至少一个：
- [0053] -0°入射角下的适光的反射率小于1%，优选小于0.8%，
- [0054] -30°入射角下的适光的反射率与0°入射角下的适光的反射率之差的绝对值小于0.1%，
- [0055] -在30°入射角下450nm至700nm波长范围内的平均反射率与在0°入射角下450nm至700nm波长范围内的平均反射率之差的绝对值小于0.1%，
- [0056] -在45°入射角下的适光的反射率与0°入射角下的适光的反射率之差的绝对值小于0.2%，
- [0057] -在45°入射角下在450nm和700nm之间的波长范围内的平均反射率与在0°入射角下在450nm和700nm之间的波长范围内的平均反射率之差的绝对值绝对地小于0.2%，
- [0058] -在0°入射角下在450nm和700nm之间的波长范围内平均的平均反射率小于1.0%。
- [0059] 根据本发明的进一步改进方案，层系统被设计成在给定的看向透明元件的角度下使具有不同倾斜度的面具有尽可能少视觉差异。因此，存在表面的至少一个另外的区域，其与前述区域成一定角度，具有上述特性（例如倒角或曲率），并且在涂覆过程中在其上沉积具有不同厚度的所有层并且其具有至少一个以下特征，优选地具有几个特征，特别是具有所有特征：
- [0060] -在CIE xyz颜色系统中，在第一区域（前述的主区域）上在0°入射角下的剩余反射的颜色与另一区域（例如倒角）上在该区域同样为0°入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,
- [0061] -在CIE xyz颜色系统中，在0°入射角下在第一区域上的剩余反射的颜色与来自相同入射方向的光入射（入射角是两个表面区域彼此的倾斜角）的情况下在另一区域上的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,
- [0062] -在CIE xyz颜色系统中，在0°入射角下在第一区域上的剩余反射的颜色与在0°和两个表面区域彼此的倾斜角之间的所有入射角下在另一区域上的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,
- [0063] -在CIE xyz颜色系统中，在0°和两个表面区域彼此的倾斜角之间的所有入射角下

在第一区域上的剩余反射的颜色与来自相同方向的光入射下在另一区域上的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$ 。

[0064] 可以限定所谓的目标以适配设计。这些是例如反射率光谱, 适光的 (积分) 反射率, 剩余反射的颜色等的技术参数。可以针对不同角度限定这些目标并且对它们的重要性或优先级进行加权。这些目标可以用诸如“小于”或“尽可能接近”的值来限定。颜色被限定为“尽可能接近”所需的颜色位置, 反射率被限定为“小于”期望的界限。此外, 然后可以对偏差进行罚分, 并且通过这些罚分可以优化设计层厚度以实现最小可能的罚分。利用权重使不同参数的偏差可以对罚分具有不同的影响。因此, 例如, 在 45° 下的剩余反射颜色或反射率的权重不如在 0° 下的重要。在该过程中调节权重, 以便实现所需的涂层特性结果。

[0065] 特别地, 限定至少两个、优选多个设计, 其中选择层厚度和层材料使得它们对应于在不同倾斜角度的不同表面区域上的涂覆工艺。例如, 如果同时垂直于所述主表面对表面的主区域以及以角度设置的其它区域进行涂层, 其中, 在其它区域中层厚度以及必要时还有不同层的折射率相比于主区域的参数发生改变, 则另外的层设计也应精确反映这些改变的涂层条件。例如, 如果涂层由7层具有两种交替材料构成, 其中 d_1, d_2, \dots 是在第一表面区域上的层厚度以及 L 和 H 是所述两种材料 (低和高折射率 L 和 H), 可以将用于表面 (B1) 的第一区域的涂层设计如下描述:

[0066] B1: $d_1[L1]d_2[H1]d_3[L1]d_4[H1]d_5[L1]d_6[H1]d_7[L1]$ 。

[0067] 对此, $[L1]$ 表示具有低折射率的层, $[H1]$ 具有高折射率的层, d_1-d_7 是这些层的各自的层厚度。

[0068] 例如, 具有改变的层厚度和改变的层折射率的设计 B2 可以如下描述。

[0069] B2: $0.71*d_1[L2]0.71*d_2[H2]0.71*d_3[L2]0.71*d_4[H2]0.71*d_5[L2]0.71*d_6[H2]0.71*d_7[L2]$ 。在设计 B2 的情况下, 所有层的厚度均匀地减少了 29%。在该示例中, 因子 0.71 近似于 45° 的余弦, 并且假设设计涉及与涂覆方向成 45° 的表面区域。确切的因子可以在初步测试中确定, 因为不同的涂覆工艺和沉积系统可以导致单独的层减少。通过在涂布机中的衬底保持器的某些三维旋转系统, 该因子可以增加至 1。对于层材料到层材料的范围, 所确定的因子也可以不同。

[0070] 各层材料的不同折射率涉及相同的涂层材料, 然而, 当以不同的角度沉积时, 也会产生不同的折射率。

[0071] 特别优选地, 限定至少三个, 更优选地更多的设计, 其中至少两个设计在所有层厚度上不同 (用于以一定角度 (例如在倒角上) 模拟涂层) 并且至少一个另外的设计仅在最上层中减少厚度, 最上层模拟磨损情况。如果以角度 α 沉积的所有层的层厚度变化是相同的并且可以用因子 w (通常在 $\cos(\alpha)$ 和 1 之间) 表示, 可如下描述的三种设计:

[0072] B1: $d_1[L1]d_2[H1]d_3[L1]d_4[H1]d_5[L1]d_6[H1]d_7[L1]$

[0073] B2: $w*d_1[L2]w*d_2[H2]w*d_3[L2]w*d_4[H2]w*d_5[L2]w*d_6[H2]w*d_7[L2]$

[0074] B3: $d_1[L1]d_2[H1]d_3[L1]d_4[H1]d_5[L1]d_6[H1]0.9*d_7[L1]$

[0075] 现在, 该方法涉及, 为这些设计中的每个设计限定目标并同时调整所有设计, 这通过改变层厚度 d_1, d_2, \dots 使设计不同仍然仅在于相同层厚度差异。不同涂层设计的目标可能不同, 并且加权不同。因此, 例如, 其中最后一层的厚度减小 40nm 的设计的剩余反射的颜色或反射率的权重将不如其中最后一层厚度没有减小的设计重要。

[0076] 经受该过程的自动调节方法通常产生若干不同的解决方案,这些解决方案具有不同的最佳效果或对于不同的参数具有不同的最佳效果。所以,例如,一个方案可在减小最后一层的厚度的情况下保持剩余反射的颜色恒定,另一个解决方案能够保持更好的适光的反射率。

[0077] 根据本发明的用于制备透明元件的方法可总结如下:

[0078] -对于至少一对包含至少六个层(50、51、52、53、54、55、56)的抗反射涂层(5、6),其中,较高折射率的层(51、53、55)与较低折射率的层(50、52、54、56)交替,其中,较高折射率的层(51、53、55)的硬度高于较低折射率的层(50、52、54、56),并且其中多层抗反射涂层(5)的最上层(56、60)是较低折射率的层,考虑到衬底(3)的折射率的情况下,计算下述参数中的至少一个参数:

[0079] -剩余反射的颜色,和

[0080] -适光的反射率,

[0081] 其中,两个抗反射涂层在所有层的层厚度方面不同,使得在一个抗反射涂层中的所有层的层厚度与另一个抗反射涂层的层厚度相比减少了一个共同因子,该共同因子为至多0.9、或在0和0.9之间,优选在0.1至0.9的范围内,并且检查是否两个抗反射涂层都满足至少一个条件:

[0082] -在CIE xyz颜色系统中,在层厚度均匀减小的情况下 0° 入射角下的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,

[0083] -在所有层(50、51、52、53、54、55、56)层厚度均匀减小的情况下 0° 入射角下的适光的反射率与在层厚度未减小的情况下 0° 入射角的适光的反射率相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$,

[0084] -在CIE xyz颜色系统中,当层(50-56)的层厚度减小因子k(小于0.9)时在光入射角 $\arccos(k)$ 下剩余反射的颜色与在层(50-56)的层厚度未减小的情况下在光入射角 0° 下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,优选不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$,更优选不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$,

[0085] -当层(50-56)的层厚度减小因子k(小于0.9)时在光入射角 $\arccos(k)$ 下剩余反射的颜色与在层(50-56)的层厚度未减小的情况下光入射角 0° 下的颜色相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$,并且其中,如果第一对抗反射层不能满足条件时,则对于至少另一对抗反射涂层(5、6),计算剩余反射的颜色和适光的反射率,并且重新检查其中至少一个条件,并且其中,从满足其中至少一个条件的一对抗反射涂层中选出层厚度未减小的层序列,并且其中,将具有所选择层序列的抗反射涂层沉积在衬底上。

[0086] 根据一个实施例,对于光垂直入射,即在 0° 入射角下,确定剩余反射的颜色和适光的反射率。不仅仅一对抗反射涂层(5、6),还可以将更多数量的设计引入同时装配过程中,例如四种设计,其中在最后一层厚度中,如前所述第二个设计层厚度减小10%,第三个设计层厚度减小20%,以及第四个设计层厚度减小30%。以这种方式也可实现层设计对连续弯曲的表面的特别好的适配性。

[0087] 如果没有满足其中一个条件,则根据本发明无论如何将继续在找到的解决方案中搜索。此外,通常需要优化目标的权重和值,以便调节设计产生满足或最佳满足期望条件的解决方案。特别地,如果已经找到合适的一对抗反射涂层(5、6),或者为了满足上面已经提

到的其他条件,或者为了找到最好的层系统,也可以继续这种搜索。通常,在任何情况下,针对大量的对,检查上述条件(即,在 0° 入射角下的剩余反射的颜色的差异和/或 0° 入射角下的适光的反射率的差异)并且从这些经研究的对中选出沉积的层系统,其中存在 0° 入射角下的剩余反射的颜色的最小差异和/或在 0° 入射角下的适光的反射率的最小差异,然后沉积该层系统。

[0088] 可以选择由特定的一对抗反射涂层(5、6)构成的抗反射层系统,以确定是否存在其他条件,即特别是上面已经列出的特征。因此,在本发明的一个改进方案中提供了如此选择抗反射涂层(5),

[0089] -在CIE xyz颜色系统中,在 30° 的入射角下一对的两个抗反射涂层(5、6)的剩余反射的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,或者

[0090] -在CIE xyz颜色系统中,在 45° 的入射角下一对的两个抗反射涂层(5、6)的剩余反射的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$ 。

[0091] 特别是,本发明适用于无机衬底。优选的衬底是蓝宝石。该衬底特别优质,坚硬且透明,因此本发明的优点是提供高质量,坚硬且非常耐磨的不敏感的抗反射涂层体系。然而,除了蓝宝石之外,还可以使用其他晶体,例如CaF₂或玻璃陶瓷或玻璃,例如钠钙玻璃、硼硅酸盐玻璃、铝硅酸盐玻璃、锂铝硅酸盐玻璃或光学玻璃,例如商品名为NBK7、D263或B270(由肖特公司销售)的玻璃。

[0092] 氮化硅(Si₃N₄)、氮化铝(AlN)、氧化铝(Al₂O₃)以及氮氧化物(Al_wSi_xN_yO_z)以及这些材料的混合物特别适用于较高折射率的层。这些材料不仅具有较高折射率,而且具有高硬度。在氮化物中,特别是氮化铝和氮化硅可以适合作为的层材料。材料可以是掺杂的,或者可以不是纯的形式。因此,具有硅含量(例如,在0.05和0.25之间)的氮化铝,或相反地,具有铝含量的硅(例如,在0.05和0.25之间)可以用作较高折射层的材料。较低折射率的层在550nm波长下具有的折射率特别是1.3至1.6,优选1.45至1.5,较高折射率的层在550nm波长下具有的折射率为1.8至2.3,优选1.95至2.1。

[0093] 如果所有层的层厚度进一步减小到未减小的层厚度的至多0.8倍,更优选至多0.7倍,特别优选至多0.6倍,则根据本发明的改进方案,在反射率和颜色位置方面的所有上述特征也可以得到满足。

[0094] 本发明特别适用于小型衬底。衬底的边长或直径优选小于200mm,优选边长或直径小于150mm,特别是小于100mm,特别是小于50mm。这种表面可以用PVD工艺均匀涂覆。

[0095] 优选地,衬底在其整个表面上涂覆在至少一侧上,从而不使用重叠的掩模。由于区域的同时涂覆,抗反射涂层优选是无缝的,如图3所示。抗反射涂层的所有层优选在一次操作中涂覆,同时不必将衬底从涂覆室中取出。特别是,还旨在同时涂覆几个衬底。

附图说明

[0096] 图1示出了具有六层抗反射涂层的透明元件,

[0097] 图2示出了具有带有七层抗反射涂层的抗反射涂层的透明元件,

[0098] 图3示出了在非平面表面上具有抗反射涂层的透明元件,

[0099] 图4示出了各种形状的衬底的示意图,

[0100] 图5示出了在对比例的倒角和主表面上的不同入射光角度的剩余反射率的颜色的

颜色位置，

[0101] 图6示出了根据本发明的抗反射涂层的倒角和主表面上的不同入射光角度的剩余反射率的颜色的位置，

[0102] 图7示出了三个图(a)，(b)，(c)，其中对于多个抗反射涂层示出了最上层与最上第三层的层厚度的比率，

[0103] 图8示出了两个图，其中针对两个不同的衬底绘制了两个最上层的层厚度的乘积与下面的一对层的层厚度的乘积的比率，

[0104] 图9示出了两个图，其中针对多个示例性实施例示出了最厚的较低折射率层的层厚度与最下的较高折射率层的层厚度的比率，

[0105] 图10示出了针对具有30°倒角的蓝宝石衬底上的大量抗反射涂层，最厚层和最薄层的层厚度之差与这些层的层厚度之和的比率，以及

[0106] 图11示出了两个图，其具有层厚度的标准偏差与最厚层的层厚度的比值。

具体实施方式

[0107] 图1示出了两个分图(a)和(b)。对此分图(a)示出了根据本发明的透明元件1的示例。透明元件1包括透明的、尤其无机的衬底3，例如由玻璃制成。在衬底3上沉积多层抗反射涂层5。抗反射涂层具有至少六层51、52、53、54、55、56。层51、53、55是较高折射的层并且层52、54、56具有较低折射率，从而层51、53、55具有比层52、54、56更高的折射率。层材料的特征通过不同的阴影线表示。从图示中可以看出，较高折射率的层51、53、55与较低折射率的层52、54、56交替。抗反射涂层5的高硬度和耐受性特别是由较高折射率的层51、53、55引起，其具有比较低折射层更大的硬度。

[0108] 层56形成抗反射涂层的最上层60并且是较低折射层。分图(b)中所示的透明元件1此时与根据分图(a)的元件1的不同之处仅在于：在抗反射涂层6中所有层51-56的层厚度分别减小一个因子、相应地减小相同的百分比量。从而引起整个层厚度的减小 Δd 。因为所有层的厚度都减小相同因子，减小量 Δd 与总层厚度D的比例也适用于各个层的层厚度。层51-56的每一个的厚度由此减小因子 $\Delta d/D$ 。在根据分图(a)的本发明的抗反射涂层5部分地沉积在朝涂层源倾斜的表面区域上时，则会发生这种情况。此时根据本发明如此选择层51-54的层厚度，即，在层的材料和衬底的给定折射率的情况下，在层厚度减小根据在两个分图(a)、(b)之间的变化时，剩余反射的颜色和/或表面的反射率几乎没有变化。特别是，在CIE xyz颜色系统中，在0°入射角的情况下，在层厚度根据分图(b)减小时的剩余反射的颜色与在层厚度未减小的情况下的颜色彼此相差不超过 $\Delta x=0.05$ ， $\Delta y=0.05$ 。另一种替代或特别附加的标准是，在不同光入射角下的适光的反射率。对此，在0°入射角的情况下在层厚度根据分图(b)减小时的适光的反射率与在0°入射角的情况下在层厚度根据分图(a)未减小时的适光的反射率相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$ 。如果在层厚度d的减小量 Δd 为至少 $0.1*d$ ，即至少10%时，则在抗反射涂层5的情况下也可以满足这些标准。

[0109] 通常抗反射涂层5可如此设计，使得抗反射涂层在层厚度未减小的情况下具有所有的或大多数(多个、优选大部分、特别优选几乎所有、非常特别优选所有)的下列特性：

[0110] a) 抗反射涂层5在0°入射角的情况下具有(例如，在CIE颜色空间中)预定颜色的剩余反射，例如蓝色(例如 $x=0.20\pm 0.05$ ， $y=0.20\pm 0.05$)或中性色(例如 $x=0.30\pm$

0.05, $y=0.32\pm 0.05$)。

[0111] b) 抗反射涂层5在 30° 入射角下的剩余反射的颜色与在 0° 入射角下的颜色相差不超过例如 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$ 。

[0112] c) 抗反射涂层5在 45° 入射角下的剩余反射的颜色与在 0° 入射角下的颜色相差不超过例如 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$)。

[0113] d) 在 0° 入射角下抗反射涂层5的适光的反射率(用人眼的灵敏度曲线加权)小于1.5% (例如也小于2%, 优选小于1.5%, 特别优选小于1.0%, 最优选小于0.8%)。

[0114] e) 在 30° 入射角下抗反射涂层5的适光的反射率与 0° 入射角下的值之差小于0.2%、特别优选小于0.1%。

[0115] f) 在 45° 入射角下抗反射涂层5的适光的反射率与 0° 入射角下的值之差小于0.2%、特别优选小于0.1%。

[0116] g) 在 0° 入射角下抗反射涂层5的平均反射率(在例如450nm和700nm之间的波长范围内平均)小于1.5%, 优选小于1.25%, 特别优选小于1.0%。

[0117] h) 在 30° 入射角下抗反射涂层5的平均反射率与 0° 入射角下的值之差小于0.5%, 优选小于0.2%, 特别优选小于0.1%。

[0118] i) 在 45° 入射角下抗反射涂层5的平均反射率与 0° 入射角下的值之差小于0.5%, 优选小于0.2%, 特别优选小于0.1%。

[0119] j) 在 0° 入射角下的绝对反射率(在例如450nm和700nm之间的波长范围内的最大值)小于2%, 优选小于1.5%, 特别优选小于1.0%。

[0120] k) 在 30° 入射角下的绝对反射率与 0° 入射角下的值之差小于0.5%, 优选小于0.2%, 特别优选小于0.1%。

[0121] l) 在 45° 入射角下的绝对反射率与 0° 入射角下的值之差小于0.5%, 优选小于0.2%, 特别优选小于0.1%。

[0122] 如果根据本发明的抗反射涂层5的层厚度减小10%, 优选减小20%, 更优选减小30%, 最优选减小40%, 或甚至减小50%, 从而获得抗反射涂层6, 例如在图1的分图(b)中所述, 以下特征可以单独存在或组合存在:

[0123] m) 所有层的层厚度均匀减小的抗反射涂层6在 0° 入射角下的剩余反射的颜色与所有层的层厚度都未减小的抗反射涂层5在 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$, 优选不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$, 特别优选不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$, 非常特别优选不超过 $\Delta x=0.01$, $\Delta y=0.01$ 。

[0124] n) 所有层的层厚度均匀减小的抗反射涂层6在 30° 入射角下的剩余反射的颜色与层厚度都未减小的抗反射涂层5在 30° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$, 优选不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$, 特别优选不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$, 非常特别优选不超过 $\Delta x=0.01$, $\Delta y=0.01$ 。

[0125] o) 所有层的层厚度均匀减小的抗反射涂层6在 45° 入射角下的剩余反射的颜色与层厚度都未减小的抗反射涂层5在 45° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$, 优选不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$, 特别优选不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$, 非常特别优选不超过 $\Delta x=0.01$, $\Delta y=0.01$ 。

[0126] p) 所有层的层厚度均匀减小的抗反射涂层6在 0° 入射角下的适光的反射率与层厚

度都未减小的抗反射涂层5在 0° 入射角下的颜色相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$ ，优选不超过 $\Delta R_{ph}=1\%$ ，特别优选不超过 $\Delta R_{ph}=0.5\%$ ，非常特别优选不超过 $\Delta R_{ph}=0.25\%$ 。

[0127] 在图1所示的示例中，抗反射涂层5由总共六层组成，其中，最下层51是较高折射率的层。如果衬底的折射率显著低于较高折射层的折射率时，则这种层系统是有利的。然而，在衬底的折射率大于1.65的情况下，提供与衬底接触的较低折射率的层50是有利的。图2示出了这样的示例，也所有层的层厚度都未减小的分图(a)和具有类似的抗反射涂层6的分图(b)，但其中所有层厚度都减小相同的百分比，或减小相同的因子。

[0128] 因此，通常，图2的实施例基于以下事实：衬底3涂覆有根据本发明的抗反射涂层5，其中衬底3具有高于1.65的折射率，其中最下层50是较低折射率的层。

[0129] 优选地，该实施例的衬底3是蓝宝石。然后，透明元件可以是例如钟表玻璃或用于钟表玻璃的放大镜，例如用于放大日期显示。作为衬底材料，除了蓝宝石，也可使用其它(单一)晶体(如 CaF_2)，或玻璃陶瓷或玻璃，例如钠钙玻璃、硼酸盐玻璃、铝硅酸盐玻璃、锂铝硅酸盐玻璃、光学玻璃，例如可以使用商品名为NBK7、D263或B270的玻璃。

[0130] 图3显示了本发明的重要应用。通过本发明的层厚度设计，该层系统特别适用于衬底的非平面表面。通常，抗反射涂层5覆盖衬底3的不同表面区域30、32，它们的倾斜度或其表面法线方向不同，其中，抗反射涂层的层厚度(并且如所解释的，涂层的所有层的层厚度)根据表面区域的倾斜度而变化。

[0131] 在或多或少的定向沉积工艺中，抗反射涂层5的不同层厚度随后取决于表面的局部倾斜度。如图所示，衬底3尤其可以具有边缘区域，该边缘区域的倾斜度不同于平的中心区域。这种表面区域32的典型情况是倒角31。根据本发明的优选实施例，通常不限于所示的示例，抗反射涂层5覆盖作为第一表面区域30的中心区域和倒角31，或更通常地，覆盖边缘区域作为另一的表面区域32，与中心区域中的层厚度相比，抗反射涂层5的层在倒角31或边缘区域上的层厚度减小。因此，抗反射涂层5在边缘区域中的总层厚度 d' 小于平的中心区域中的层厚度 d 。

[0132] 如果在不同涂覆表面区域的表面法线之间存在清晰的角度，则根据本发明的层系统在光学性质方面耐受厚度变化的性质是特别有利的。因此，在本发明的该实施例的改进中，提供了在倒角31或边缘区域的表面法线与中心区域的表面法线之间包括至少 20° 的角度。

[0133] 如果，在定向沉积过程中，例如特别是在非取向垂直于光束方向的表面上溅射过程中，即在图3示出的例子中沉积发生在倒角31上，与取向垂直于光束方向的表面相比，这可能导致层的密度或者化学组成(例如，氧化度)的变化。然后，尽管层材料的组成相似或恒定，但随密度的变化通常伴随着略微变化的折射率。在层系统的设计中已经可以考虑这种效果。在任何情况下，根据本发明的一个实施方案提供的是，抗反射涂层的至少一些层具有随着层的厚度和/或表面的倾斜度而变化的折射率。在大多数情况下折射率较小，但是取决于组成和沉积方法，折射率也可以随着较小的层厚度而更大。

[0134] 图4示出了具有不同倾斜度的表面区域30、32的另外的衬底3的三个示例。各种表面区域通常细分为主要区域和次要区域，尺度为总面积的比例。次表面的面积部分小于50%，优选小于30%，特别是小于10%，或甚至小于5%。实施例(a)，(b)，(c)中的主表面的倾斜平行于通常盘形衬底3的相对的侧表面。如在实施例(a)中，表面区域32也可以是弯曲

的,特别是圆顶形的。因此,该表面区域32中的倾斜度连续变化。然而,可以提供通常弯曲的衬底,例如设计为透镜的衬底。作为具有表面区域32(与主表面不同的倾斜度)的边缘区域可以形成为倒角或平的表面,或者甚至是弯曲的,如示例(a)中所示。

[0135] 在示例(b)中,表面区域30被细分为多个阶梯状(terrassenförmige)区域。高度水平之间的过渡形成具有不同倾斜度的表面区域32,该倾斜度又可以是恒定的或以曲率的形式连续变化。

[0136] 在示例(c)中,主表面具有一个或多个凹陷,这里过渡也由不同倾斜的边缘区域32形成。如图所示,边缘区域也可以凸出地弯曲。

[0137] 通常,有利的是在细分到主表面和次表面的情况下,对颜色均匀性和抗反射涂层进行不同的加权。对于主表面,良好的抗反射尤为重要。这里,可见光谱范围内的平均反射率,特别是适光的反射率,应优选小于5%,更优选小于3%,最优选小于1.5%。主表面还为观察者定义剩余反射的可感知颜色。优选地,这是颜色中性的,但也可以例如是蓝色的。在具有较小面积的表面区域,即次要区域中,剩余反射的颜色起着更大的作用。与主表面颜色的偏差被认为比局部较大的反射更明显。根据本发明的一个实施方案,抗反射涂层通常可以设计成使得次表面上的中值(durchschnittliche)或平均(gemittelte)反射率比主表面上的中值或平均反射率高2至5倍,但是适光的反射率仍然低于未涂覆的衬底的适光的反射率。在蓝宝石衬底的情况下,在 0° 入射(光的垂直入射)下的平均反射率为7.5%至8%,在 45° 入射下的平均反射率为30%至50%。在到目前为止所描述的实施例,相对于表面区域的相应法线以相同角度在特定光入射方向优化层系统。换句话说,设计层系统使得不同倾斜的表面区域分别在例如垂直光入射时都具有相同的剩余反射颜色和/或最低可能的反射率。然而,在利用真实光源照射的情况下,光的光入射角根据表面区域的倾斜度而变化。因此,根据本发明还特别提供了抗反射涂层5具有以下特征中的至少一个:

[0138] -在CIE xyz颜色系统中,当用垂直于表面区域之一的光照射透明元件(1)时,不同倾斜度的表面区域(30、32)的剩余反射的颜色彼此相差不超过 $\Delta x=0.05$, $\Delta y=0.05$,优选不超过 $\Delta x=0.03$, $\Delta y=0.03$,更优选不超过 $\Delta x=0.02$, $\Delta y=0.02$,

[0139] -当用垂直于表面区域之一的光照射透明元件(1)时,不同倾斜的表面区域的适光的反射率彼此相差不超过 $\Delta R_{ph}=1.5\%$ 。同样,倾斜度明显不同,因此在表面区域的法线之间的角度为至少 20° ,优选为至少 30° 。

[0140] 本发明不限于这些实施例,而是可以在权利要求的主题的范围内变化。不同的实施例也可以彼此组合。因此,可以将抗反射涂层施加到盘形衬底的两侧。然后,抗反射涂层也可具有剩余反射的不同颜色。此外,本发明不限于如图1和2中的示例所示的六层或七层涂层。也可以提供更多层,例如下述的实施例2中的9层。然而,通常优选的是,抗反射涂层5具有至多20层,特别优选至多15层,以便限制生产成本并获得耐磨性。

[0141] 下面描述根据本发明的层系统的实施例。

[0142] 示例1是蓝宝石上的抗反射涂层(7层)的理论或计算实例:

[0143] 其中,拟合过程导致系统的以下理论解决方案,该系统在主表面1上是颜色中性的和抗反射的,主表面1在视角下也保持颜色中性和轻微反射,并且如果最上层被磨损损坏也保持这种性质。另外,存在与第一表面成 45° 的第二表面,并且如果从垂直于第一表面 $+/-10^\circ$ 的方向观察该第二表面,则该第二表面看起来颜色中性且比未涂层的更少反射。

层编号	折射率		
蓝宝石衬底	高		
1	低	34.3	nm
2	高	12.5	nm
3	低	174.9	nm
4	高	15.2	nm
5	低	40.2	nm
6	高	142.6	nm
7	低	85.6	nm
空气	1		

[0145]	表面1	在0°角下进行涂层
	颜色位置-目标x	0.333
	颜色位置-目标y	0.333
	在0°下观察的颜色位置CIE x	0.327
	在0°下观察的颜色位置CIE y	0.333
	在0°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.006
	在0°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.000
	在20°下观察的颜色位置CIE x	0.334
	在20°下观察的颜色位置CIE y	0.333
	在20°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.001
	在20°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.000
	目标适光的反射率	<1.00%
	在0°下观察的适光的反射率	0.82%
	在20°下观察的适光的反射率	0.87%

表面1: 最后一层的厚度减小10%:		
[0146]	在0°下观察的颜色位置 CIE x	0.318
	在0°下观察的颜色位置 CIE y	0.293
	在0°下观察的颜色位置与目标的偏差 x	0.015
	在0°下观察的颜色位置与目标的偏差 y	0.040
	在0°下观察的适光的反射率	1.27%

[0147]	表面2(倒角)	在45°下进行涂层
	颜色位置-目标x	0.333
	颜色位置-目标y	0.333
	在45°下观察的颜色位置CIE x	0.334
	在45°下观察的颜色位置CIE y	0.330
	在45°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.001
	在45°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.003

在35°下观察的颜色位置CIE x	0.337
在35°下观察的颜色位置CIE y	0.373
在35°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.004
在35°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.040
在55°下观察的颜色位置CIE x	0.342
在55°下观察的颜色位置CIE y	0.309
在55°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.009
在55°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.024
目标适光的反射率	<4.00%
在0°下观察的适光的反射率	2.98%

[0148] 因此,表面2对应于相对于平的中心区域以45°倾斜的倒角。该实施例显示,具有层1至7(对应于图2中的层50-56)的上述厚度的层系统在倒角上也具有良好的抗反射特性,并且颜色位置仅略微不同。

[0149] 实施例2是蓝宝石上(9层)的抗反射(AR)设计。

[0150] 下表显示了设计的理论模拟值以及沉积层系统的测量值。这是一种涂层,其应该是中性的,但略带蓝色,反射率低,在0°至45°的宽视角范围内显示出这些特性。此外,当磨损试验损坏最上层时,这些性能得以保留。另外,衬底具有60°的倒角,其垂直于主表面+/-10°(即,甚至在60°+/-10°)观察也是颜色中性的并且反射较少。所用的磨损试验是在开始时描述的改进的拜耳试验,其中2kg刚玉砂(Al_2O_3)以150转/分钟的速度摩擦8000次,这是基于其在100mm移动衬底上往复摩擦的惯性。

[0151] 在大多数情况下,在实际示例中很好地满足了多方面的挑战,并且相应的设计代表了本发明的合适实施方式。虽然小倒角上的确切值不是完全可测量的。然而,在显微镜下进行视觉对比评估:视觉印象实际上是倒角比标准AR涂层更加颜色中性且反射更低。

表面1:在0°下进行涂层	设计	测量
颜色位置-设计目标x	0.295	
颜色位置-设计目标y	0.300	
在0°下观察的颜色位置CIE x	0.294	0.262
在0°下观察的颜色位置CIE y	0.293	0.285
在0°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.001	0.033
在0°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.007	0.015
在30°下观察的颜色位置CIE x	0.290	0.263
在30°下观察的颜色位置CIE y	0.289	0.280
在30°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.005	0.032
在30°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.011	0.020
在45°下观察的颜色位置CIE x	0.311	0.314
在45°下观察的颜色位置CIE y	0.319	0.319
在45°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.016	0.019
在45°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.019	0.019
目标适光的反射率	<1.5%	

	在0°下观察的适光的反射率	1.22%	1.52%
	在30°下观察的适光的反射率	1.15%	1.13%
	在45°下观察的适光的反射率	1.63%	1.31%
[0153]	表面1:最后一层的厚度减小10%:	设计	
	在0°下观察的颜色位置CIE x	0.267	
	在0°下观察的颜色位置CIE y	0.285	
	在0°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.028	
	在0°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.015	
	在30°下观察的颜色位置CIE x	0.290	
	在30°下观察的颜色位置CIE y	0.291	
	在30°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.005	
	在30°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.009	
	在45°下观察的颜色位置CIE x	0.360	
	在45°下观察的颜色位置CIE y	0.321	
	在45°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.065	
	在45°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.021	
	在0°下观察的适光的反射率	0.68%	
	在30°下观察的适光的反射率	0.77%	
	在45°下观察的适光的反射率	1.45%	
[0154]	表面1:最后一层的厚度减小20%:	设计	
	在0°下观察的颜色位置CIE x	0.266	
	在0°下观察的颜色位置CIE y	0.281	
	在0°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.029	
	在0°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.019	
	在30°下观察的颜色位置CIE x	0.325	
	在30°下观察的颜色位置CIE y	0.301	
	在30°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.030	
	在30°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.001	
	在45°下观察的颜色位置CIE x	0.402	
	在45°下观察的颜色位置CIE y	0.317	
	在45°下观察的颜色位置与目标的偏差x	0.107	
	在45°下观察的颜色位置与目标的偏差y	0.017	
	在0°下观察的适光的反射率	0.67%	
	在30°下观察的适光的反射率	0.91%	
	在45°下观察的适光的反射率	1.82%	
[0155]	表面1:根据拜耳测试(砂磨试验)	设计	测量
	在0°下观察的颜色位置CIE x		0.256
	在0°下观察的颜色位置CIE y		0.296

在0°下观察的颜色位置与目标的偏差x		0.039
在0°下观察的颜色位置与目标的偏差y		0.004
在30°下观察的颜色位置CIE x		0.240
在30°下观察的颜色位置CIE y		0.291
在30°下观察的颜色位置与目标的偏差x		0.055
在30°下观察的颜色位置与目标的偏差y		0.009
在45°下观察的颜色位置CIE x		0.276
在45°下观察的颜色位置CIE y		0.324
在45°下观察的颜色位置与目标的偏差x		0.019
在45°下观察的颜色位置与目标的偏差y		0.024
在0°下观察的适光的反射率		1.59%
在30°下观察的适光的反射率		1.35%
在45°下观察的适光的反射率		1.79%

表面 2 (倒角): 在 60° 下进行涂层		设计	测量
[0156]	颜色位置-设计目标 x	0.295	
	颜色位置-设计目标 y	0.300	
	在 60° 下观察的颜色位置 CIE x	0.305	
	在 60° 下观察的颜色位置 CIE y	0.274	
	在 60° 下观察的颜色位置与目标的偏差 x	0.010	
	在 60° 下观察的颜色位置与目标的偏差 y	0.026	
	在 50° 下观察的颜色位置 CIE x	0.282	
	在 50° 下观察的颜色位置 CIE y	0.253	
	在 50° 下观察的颜色位置与目标的偏差 x	0.013	
	在 50° 下观察的颜色位置与目标的偏差 y	0.047	
	在 70° 下观察的颜色位置 CIE x	0.323	
	在 70° 下观察的颜色位置 CIE y	0.302	
	在 70° 下观察的颜色位置与目标的偏差 x	0.028	
	在 70° 下观察的颜色位置与目标的偏差 y	0.002	

[0157] 图5和图6示出了CIE1931颜色空间中的颜色位置图,其为具有倒角的蓝宝石衬底上的涂层在不同光入射角下的剩余反射的颜色值的两个示例。图表显示了颜色空间的边界。两个层系统针对 $x=0.31, y=0.31$ 的主表面上的目标颜色位置进行了优化。

[0158] 在两个示例中,倒角与主表面成 55° 角。抗反射涂层覆盖主表面和倒角。为了计算光学性质,如图3所示,假设由于定向涂覆工艺倒角上的层厚度减小。

[0159] 图5的示例的在主表面上的层厚度从最下层到最上层的顺序为:34.8nm/27.6nm/38nm/140.4nm/91.6nm。由于角度作用,倒角上获得以下减少的层厚度:20nm/15.9nm/21.8nm/80.5nm/52.5nm。

[0160] 在图6所示的示例中,层厚度从主表面上的最下层到最高层依次为:

[0161] 44.8nm/19.9nm/62.5nm/28.9nm/30.9nm/48.2nm/20.4nm/159.8nm/76.37nm。

[0162] 倒角上的相应的层厚度为:

[0163] 44.8nm/19.9nm/62.5nm/28.9nm/30.9nm/48.2nm/20.4nm/159.8nm/76.37nm。

[0164] 在图5和6的图中,主表面的颜色值显示为点,并且倒角的值显示为空心三角形。此外,在图中加入y颜色值。

[0165] 从图的比较中可以看出,在根据本发明的抗反射涂层中,倒角和主表面之间的颜色值的变化总体上很小,其中颜色几乎不根据光入射角发生变化。在图6的颜色位置图中所有值靠近在一起,而在比较示例中,它们大致沿着直线扩展。

[0166] 下面在两个表中详细给出了这些值。在表中,EW表示入射角,R表示最上层的层厚度的减少,R_ph表示适光的反射率。

[0167] 示例1(图5)

[0168]

对于角度、磨损和倒角的未经优化的颜色	EW	R [nm]	R_ph [%]	x	y	Δ(xy)	注释
在 0° 下在主表面上的涂层	0°	0	0.72	0.310	0.310	0.030	0°, 100%层(新):完美
	15°	0	0.73	0.315	0.312	0.025	
	30°	0	0.87	0.326	0.335	0.006	在不同观察角度下强烈的颜色偏差
	45°	0	1.67	0.325	0.368	0.038	
	60°	0	5.27	0.312	0.356	0.031	
	0°	10	0.97	0.344	0.338	0.015	在磨损之后强烈的颜色偏差
	15°	10	z1.03	0.346	0.346	0.021	在磨损之后强烈的颜色偏差
	30°	10	1.30	0.343	0.370	0.041	在磨损之后强烈的颜色偏差
	45°	10	2.28	0.327	0.379	0.048	在磨损之后强烈的颜色偏差
	60°	10	6.11	0.311	0.352	0.029	
在 55° 下在倒角上的涂层	0°	0	7.64	0.460	0.451	0.176	在不同观察角度下非常强烈的颜色偏差: 明亮/鲜艳/明亮的橙色
	15°	0	8.03	0.452	0.448	0.169	
	30°	0	9.23	0.432	0.439	0.148	
	45°	0	11.67	0.401	0.419	0.112	
	60°	0	17.16	0.362	0.387	0.064	
	0°	10	7.78	0.418	0.431	0.133	在磨损之后在不同观察角度下非常强烈的颜色偏差
	15°	10	8.08	0.412	0.427	0.126	
	30°	10	9.05	0.394	0.415	0.105	
	45°	10	11.10	0.368	0.394	0.073	
	60°	10	16.12	0.340	0.366	0.036	

[0169]

示例 2 (图 6)							
对于角度、磨损和倒角的经优化的颜色	EW	R [nm]	R_ph [%]	x	y	$\Delta(xy)$	注释
在 0° 下在主表面上的涂层	0°	0	1.416	0.302	0.308	0.008	
	15°	0	1.460	0.301	0.306	0.010	
	30°	0	1.701	0.298	0.305	0.013	
	45°	0	2.656	0.309	0.315	0.005	
	60°	0	6.548	0.331	0.324	0.025	
	0°	10	2.464	0.288	0.280	0.037	
	15°	10	2.516	0.287	0.277	0.041	
	30°	10	2.788	0.288	0.277	0.040	
	45°	10	3.828	0.305	0.294	0.016	
	60°	10	7.934	0.331	0.315	0.022	
在 55° 下在倒角上的涂层	0°	0	7.716	0.298	0.356	0.048	
	15°	0	7.592	0.293	0.345	0.039	
	30°	0	7.368	0.284	0.316	0.027	
	45°	0	7.816	0.287	0.290	0.031	
	60°	0	11.497	0.307	0.291	0.020	
	0°	10	8.657	0.290	0.338	0.034	
	15°	10	8.491	0.286	0.328	0.030	
	30°	10	8.173	0.280	0.304	0.030	
	45°	10	8.542	0.286	0.283	0.036	
	60°	10	12.189	0.308	0.289	0.021	

[0170] 下面,关于层的层厚度讨论了根据本发明的抗反射涂层的其他特征。对于较低折射率的层,层厚度范围的特性在550nm波长下特别适用于1.3至1.6的范围,优选1.45至1.5的范围,对于较高折射率的层,层厚度范围在550nm的波长下适用于1.8至2.3的范围,优选1.95至2.1的范围。根据一实施例,合适的涂层的特征是最上层的层厚度与最上第三层的层厚度的比率,这通常是较低折射率的最上层和较低折射率的最上第二层。根据本发明的实施方式,但不限于该实施方式,最上层的层厚度与最上第三层的层厚度之比在0.5至8.5的范围内,优选在2至8的范围内,特别优选在3至8的范围内。图7显示了三个图(a)、(b)和(c),其中显示了多种优化的抗反射涂层的上述比率。在图的纵坐标上分别绘制比率,图中的每个点代表抗反射涂层。图(a)绘制了施加至具有作为第二表面区域的55°角刻面的蓝宝石衬底上的涂层的比率,而主表面作为第一表面区域。图(b)显示了其他实例,这里针对硼硅酸盐玻璃和55°角刻面进行优化的涂层。图(c)的示例是针对具有30°角刻面的蓝宝石衬底优化的涂层。可以看出,所有三种配置的比率在0.5至8的范围内,其中,仅在图(b)中的具有非常厚的最上第三层的示例具有小于2的比率。

[0171] 根据本发明的另一个实施例,特别是当第二表面区域相对于第一表面区域的倾斜度在50°至60°的范围内时,最上面的一对层的层厚度的乘积与最上面的第二对层的层厚度的乘积之比在从8到22或60到140的范围内。换句话说,层厚度在此在8到140的范围内,其中,不包括在22和60之间的范围。在图1的示例中,上述比率V由(层56的层厚度×层55的层厚度)/(层54的层厚度×层53的层厚度)得出。

[0172] 图8示出了两个图(a), (b), 其中对于多个实施例, 在纵坐标上绘制了比率。对此, 所述抗反射涂层对应于图7的图(a)和(b)的抗反射涂层。因此, 图(a)示出了针对具有55°角刻面的蓝宝石衬底优化的抗反射涂层的比率, 图(b)中示出了针对具有55°角刻面的硼硅酸盐玻璃衬底优化的抗反射涂层的比率。如果使用上述特征作为约束, 则可以相应地降低优化涂层系统的成本, 这是由于显著减少了可能性的数量并因此减少了计算工作量。因此, 在方法的改进方案中, 提供选择一对抗反射涂层中的至少一个抗反射涂层, 对其计算参数剩余反射的颜色和适光的反射率中的至少一个参数, 从而满足以下条件的至少一个:

[0173] -抗反射涂层5的最上层的层厚度与最上第三层的层厚度之比在0.5至8.5的范围内, 优选在2至8的范围内, 特别优选在3至8的范围内

[0174] -最上面的一对层的层厚度乘积与最上面的第二对层的层厚度乘积之比在8到22或60到140的范围内。

[0175] 最厚的较高折射率层和较低折射率层的比率对于在不同倾斜表面的涂层下的不变性方面的光学性质也有影响。图9示出两个图, 其中对于多种实施方案示出了最厚的较低折射率层的层厚度与最下的较高折射率层的层厚度的比率。图(a)示出了蓝宝石衬底上的各种实施例的比率, 其中实施例针对具有30°角刻面或具有55°角刻面进行了优化。图(b)显示了针对具有55°角刻面的硼硅酸盐玻璃衬底优化的抗反射涂层的比率值。可以看出, 在两种情况下, 在该值中都出现了其中没有具有有利性质的涂层的区域。不排除在这些区域也可出现合适的涂层, 但显然这些涂层至少不常见。还可以看出, 该区域取决于衬底的折射率。当硼硅玻璃在光波长为550nm下具有1.47的折射率时, 该区域在值2左右, 在具有约1.77的折射率的蓝宝石衬底时, 所述范围在值2左右。该依赖性可以用因子 $(n-1)/(n_{\text{Boro}}-1)$ 很好地表示, 其中 n_{Boro} 表示硼硅酸盐玻璃的折射率, 即在550nm时的值为1.47。因此, 本发明的抗反射涂层的有利特征可以被限定为: 较低折射率层中的最厚层的层厚度与较高折射率层中的最厚层的层厚度的比率在0.2和3之间, 其中不包括 $1.5/F(n)$ 至 $2.5/F(n)$ 的范围, 其中 $F(n)$ 是衬底的折射率 n 的函数, 由 $F(n) = (n-1)/(n_{\text{Boro}}-1)$ 给出, 或利用硼硅酸盐玻璃的折射率 $F(n) = (n-1)/(0.47)$ 。同样, 根据衬底的折射率为用于制造透明元件的方法建立相应的约束以限制可能设计的选择。

[0176] 对于蓝宝石衬底上多个抗反射涂层, 图10示出了最厚层和最薄层的层厚度的差与这些层的层厚度之和的比率。因此, 根据关系 $(d_{\text{max}}-d_{\text{min}})/(d_{\text{max}}+d_{\text{min}})$ 得到这些点, 其中 d_{max} 表示合适的抗反射涂层的所有层的最大层厚度, d_{min} 表示合适的抗反射涂层的所有层的最小层厚度。该比率的值对于此处作为示例讨论的其他系统是类似的, 其他系统即具有55°的倒角的蓝宝石和硼硅酸盐玻璃上的抗反射涂层。不限于所示的实施方案, 根据本发明的一个实施方案, 该比例 $(d_{\text{max}}-d_{\text{min}})/(d_{\text{max}}+d_{\text{min}})$ 的值为至少0.65。

[0177] 合适的抗反射涂层的特征还在于各层的层厚度的标准偏差与最厚层的层厚度的比率。图11显示了具有该比率的两个图。图(a)示出了蓝宝石衬底上的实施例的值, 并且图(b)示出了硼硅酸盐玻璃衬底上的值, 其分别具有55°的倒角。在具有30°倒角的蓝宝石衬底上的实施例的值位于图(a)和(b)中的最大值之间。

[0178] 因此, 不限于这些实施方案, 根据本发明的一个实施方案提供, 抗反射涂层的层的层厚度的标准偏差与抗反射涂层的最厚层的层厚度的比率在0.25至0.45的范围内。同样, 可以制定相应的约束以简化可能的适当设计的选择。

[0179] 下面列出了三个示例性实施方案,其中抗反射涂层的值的集合在图7至11中示出。

[0180] 具有 55° 倒角的蓝宝石衬底上的抗反射涂层具有以下层厚度,其中标注(h)和(1)分别表示较高折射率的层和较低折射率的层:

[0181] 衬底/17.5nm(1)/17.25nm(h)/13.45nm(1)/9.6nm(h)/32.4nm(1)/20.4nm(h)/13.45nm(1)/237.9nm(h)/94.3nm(1)。

[0182] 具有 30° 倒角的蓝宝石衬底上的抗反射涂层具有以下层厚度,其中标注(h)和(1)表示较高折射率的层或较低折射率的层:

[0183] 衬底/24.9nm(1)/28.15nm(h)/34.6nm(1)/165.4nm(h)/20.3nm(1)/150nm(h)/93.4nm(1)。

[0184] 具有 55° 倒角的硼硅酸盐玻璃衬底上的抗反射涂层具有以下层厚度,其中标注(h)和(1)表示较高折射率的层或较低折射率的层:

[0185] 衬底/268.7nm(h)/24.7nm(1)/45.3nm(h)/49.6nm(1)/30.1nm(h)/154.3nm(1)。

[0186] 本发明可用于对抗反射涂层的机械性能有特殊要求的情况。除了作为钟表玻璃或用于钟表玻璃的放大镜的应用之外,本发明还可以用于建筑、消费电子产品和光学部件领域。在消费电子产品领域,本发明特别适用于智能手机、智能手表、笔记本电脑、LCD显示器、眼镜、3D眼镜、平视显示器的盖板玻璃。

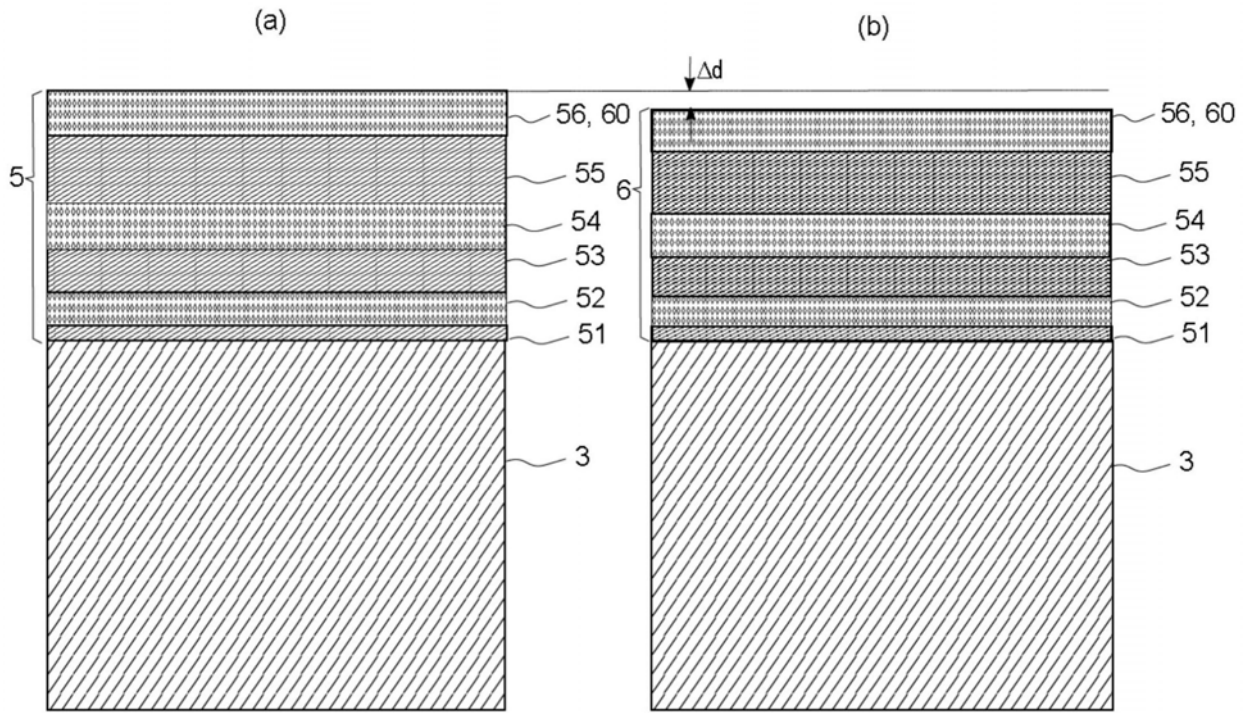


图1

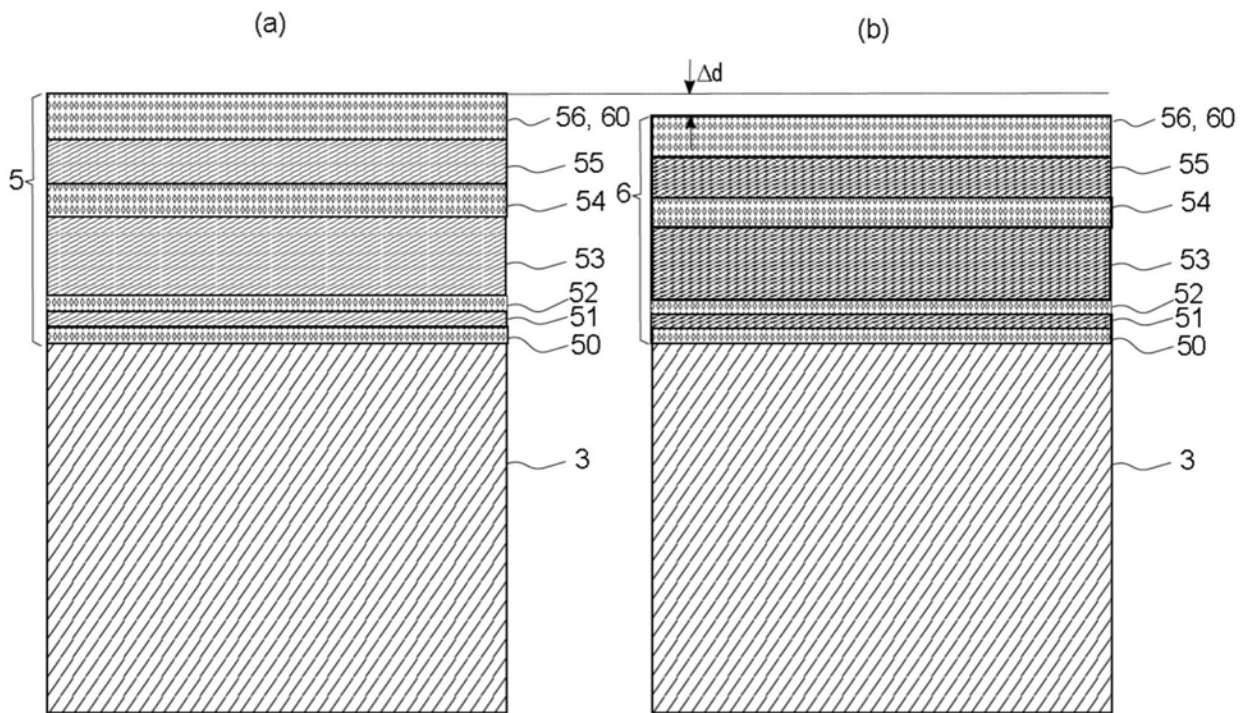


图2

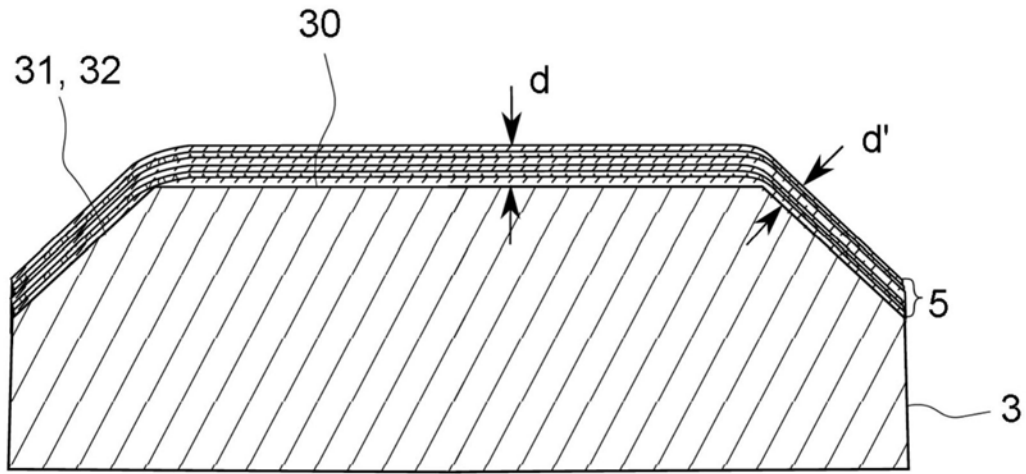


图3

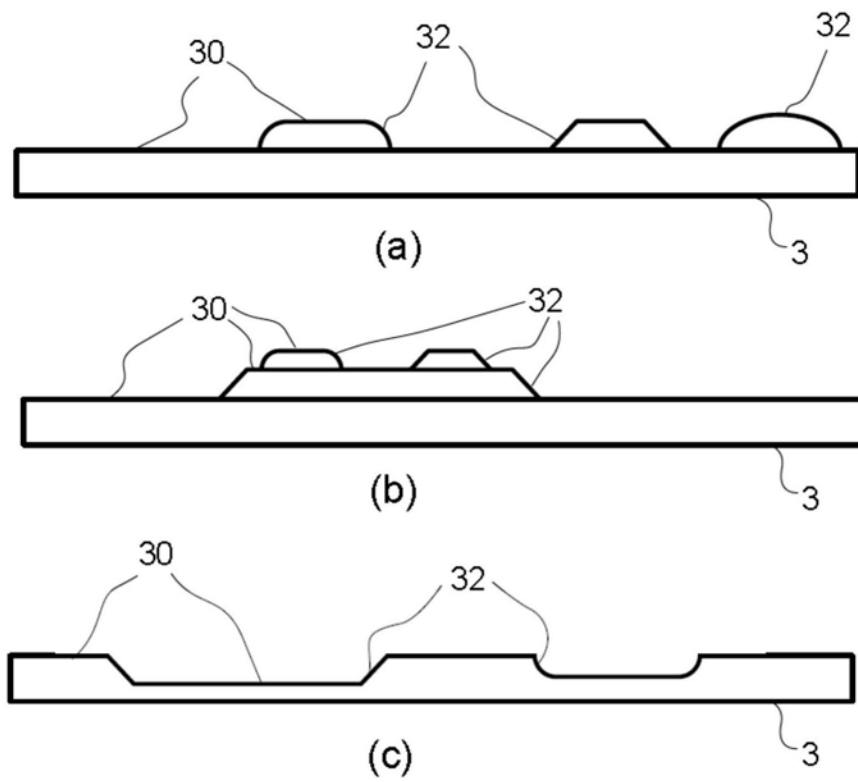


图4

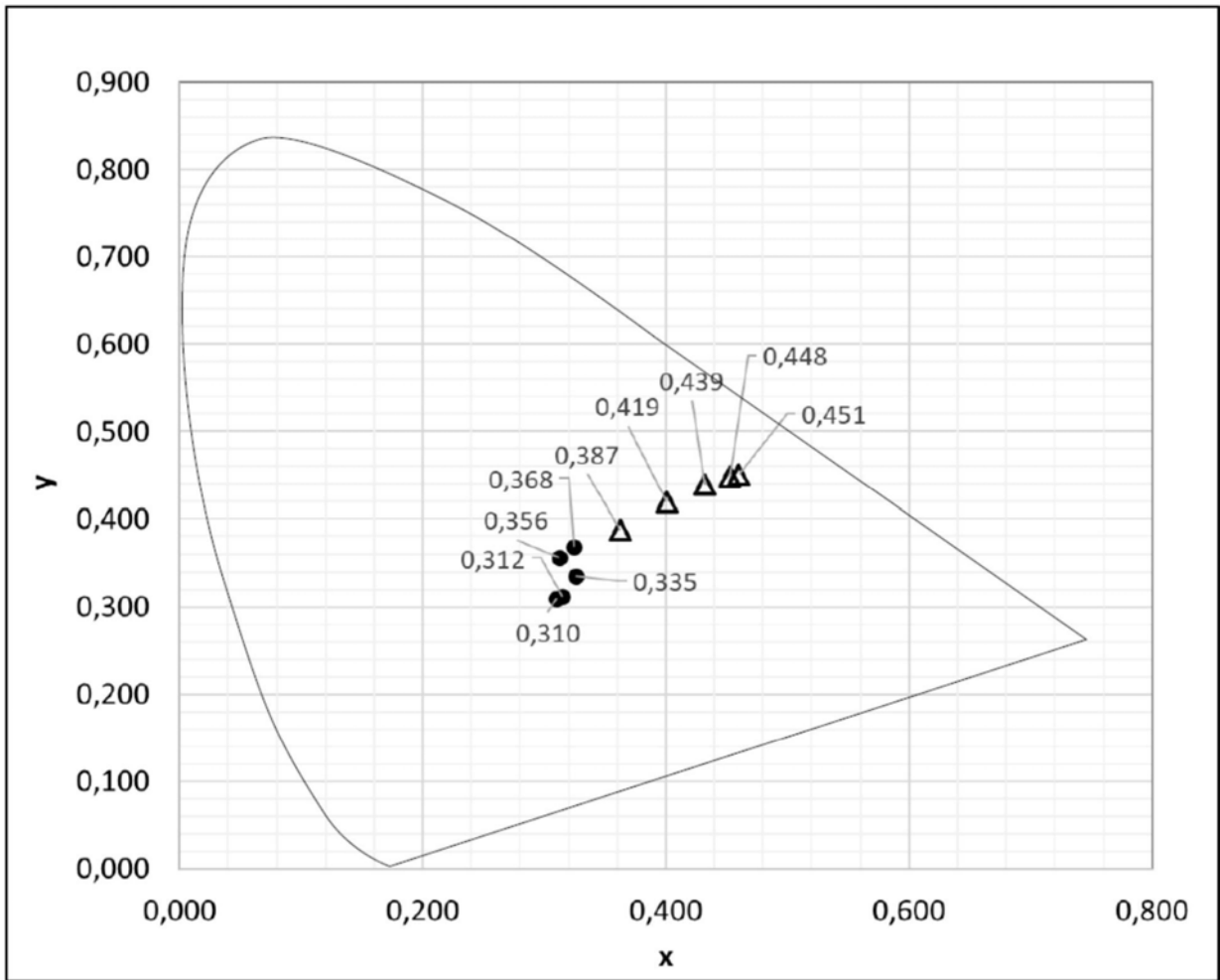


图5

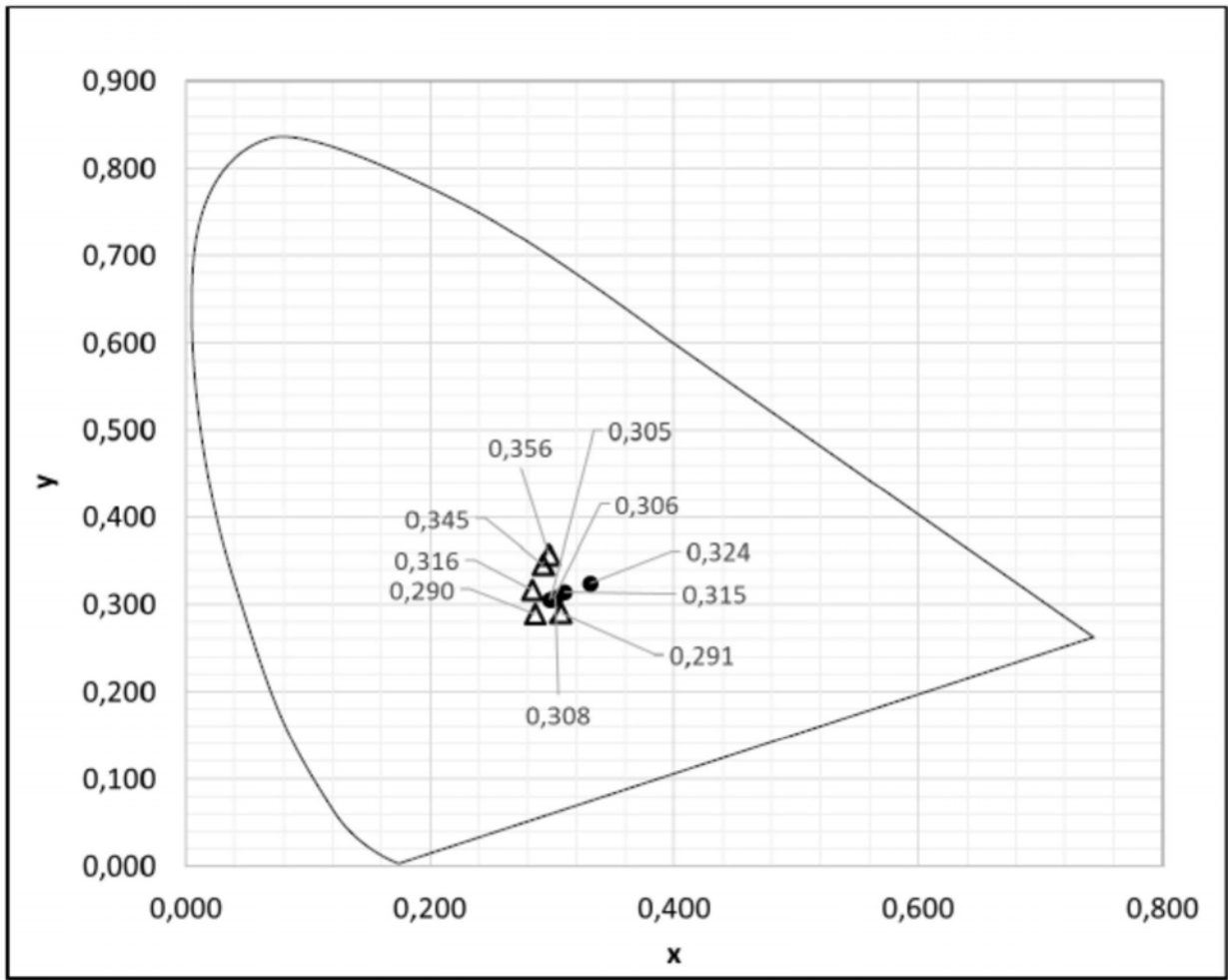


图6

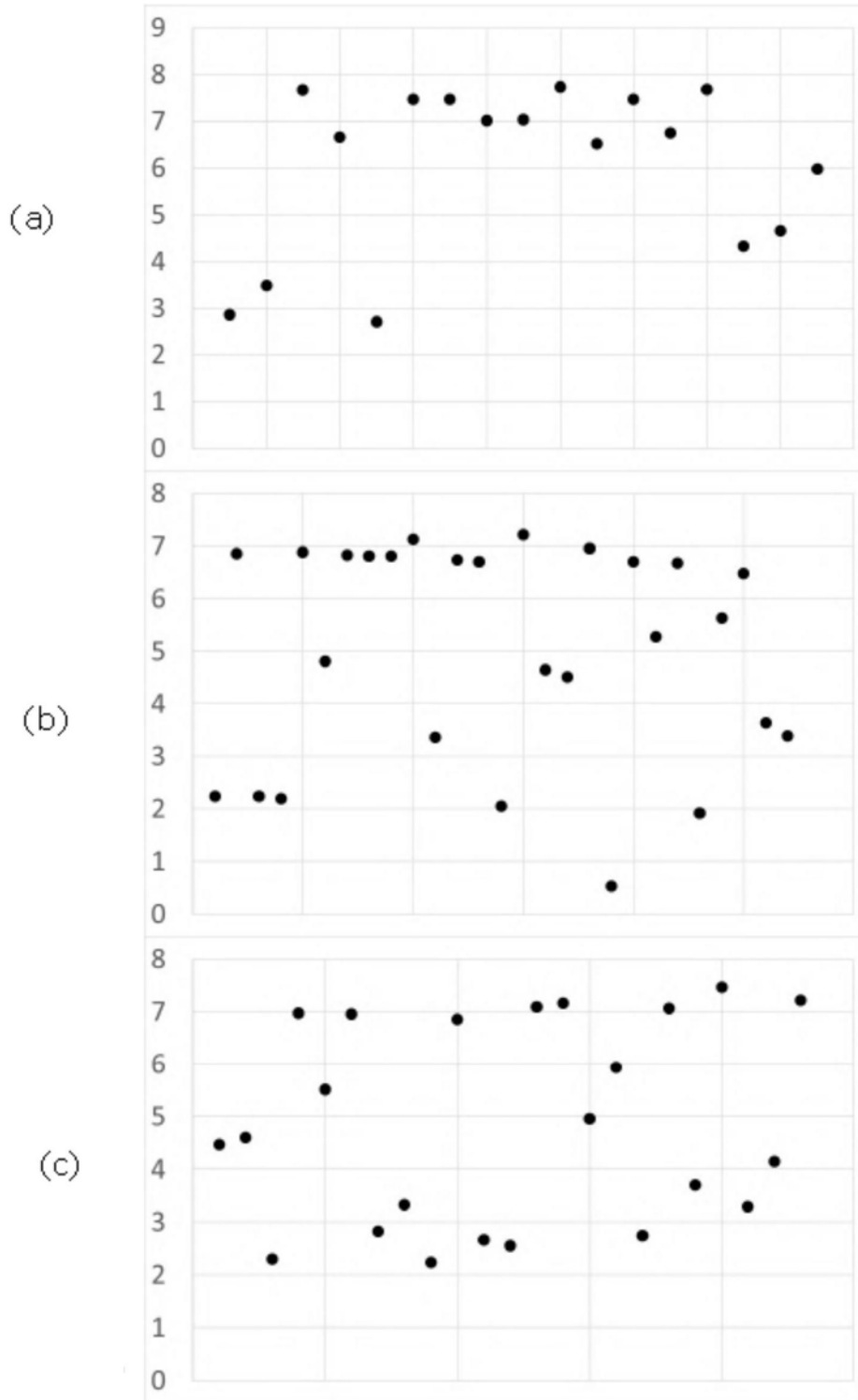


图7

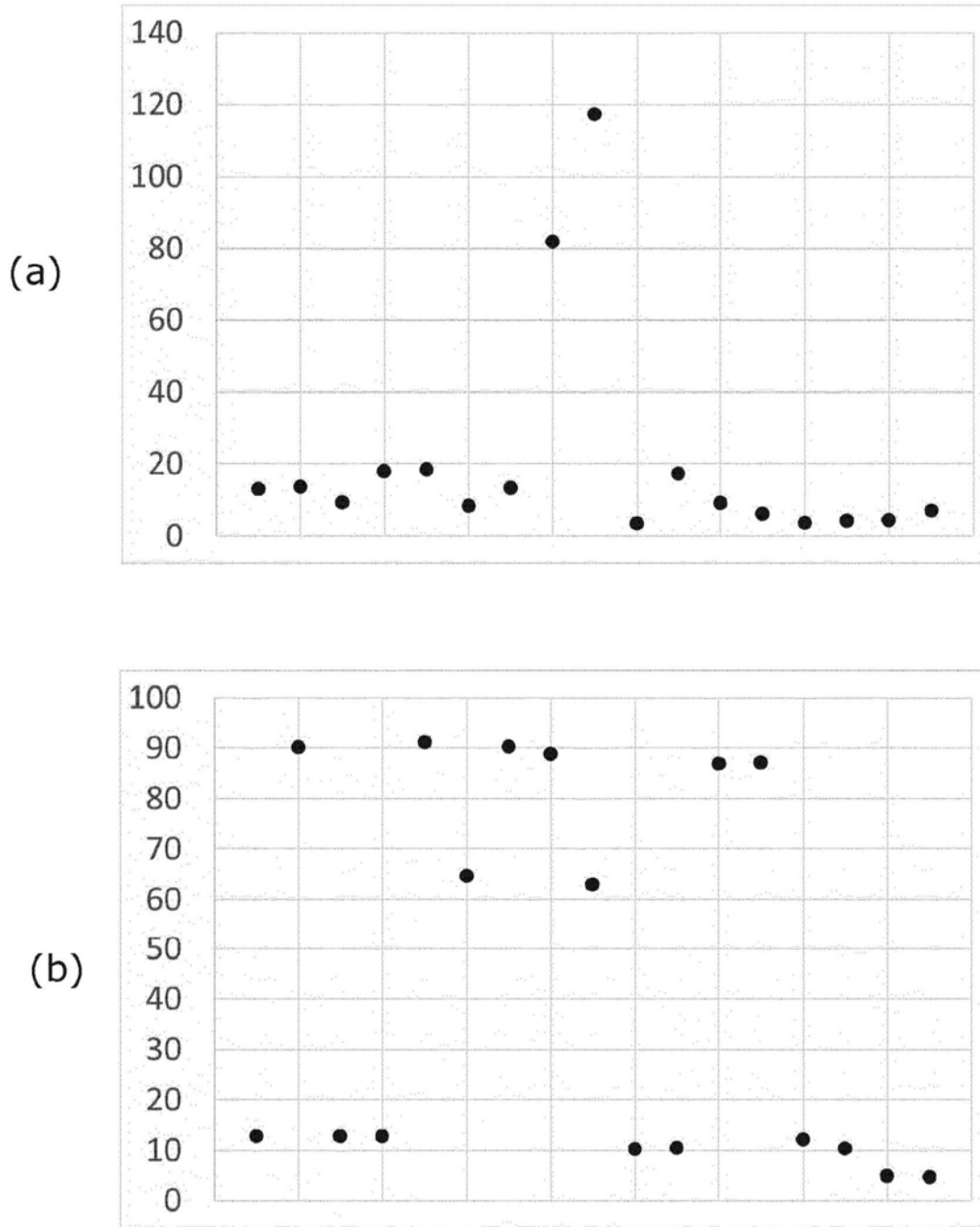


图8

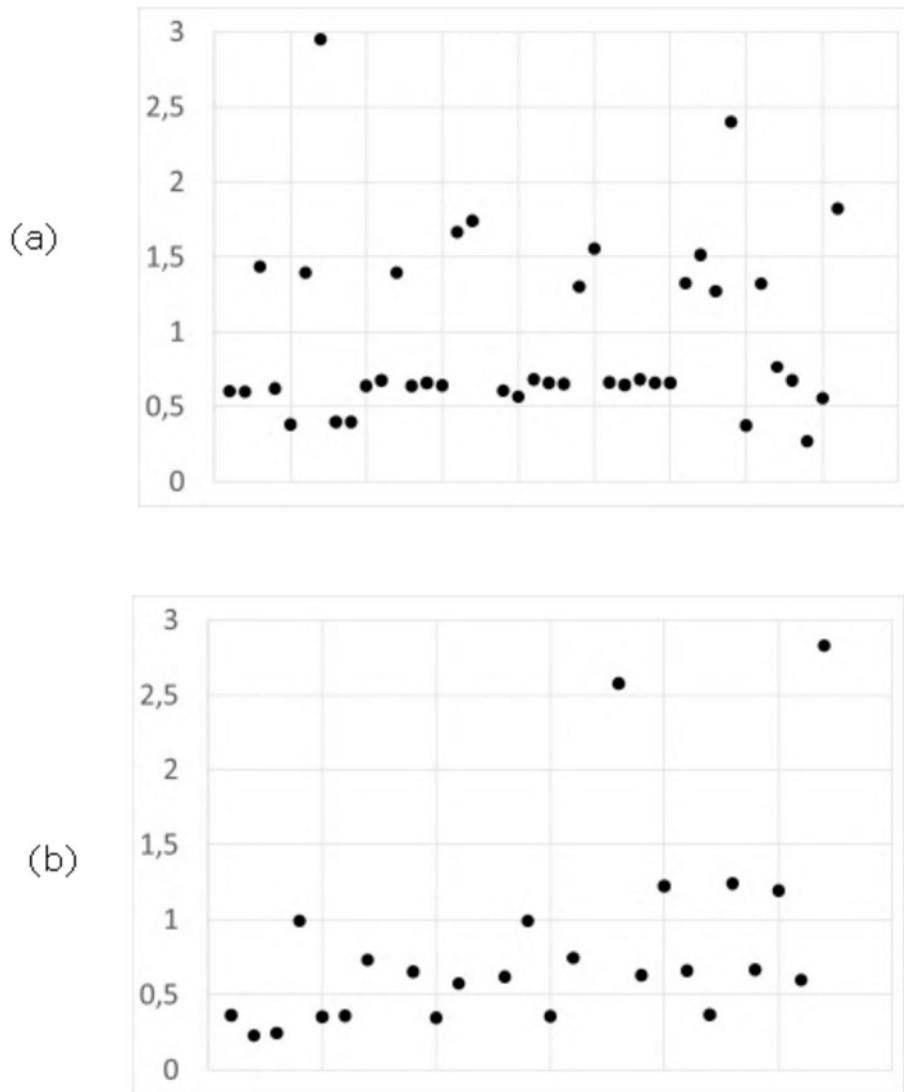


图9

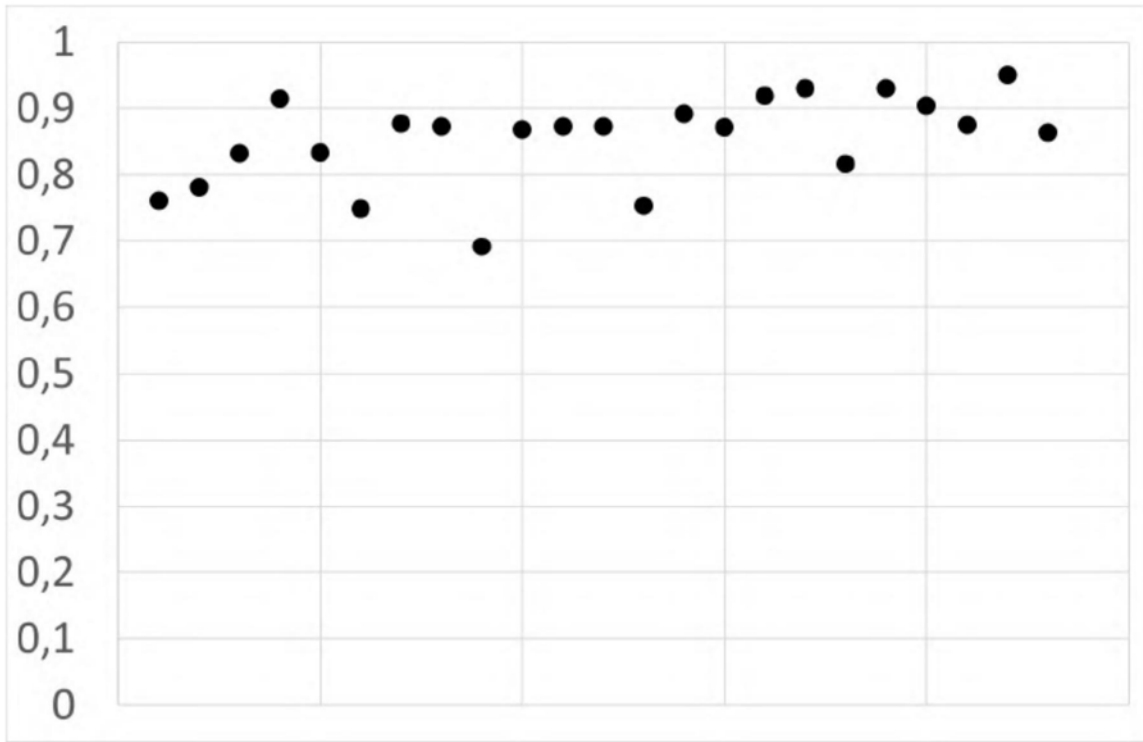


图10

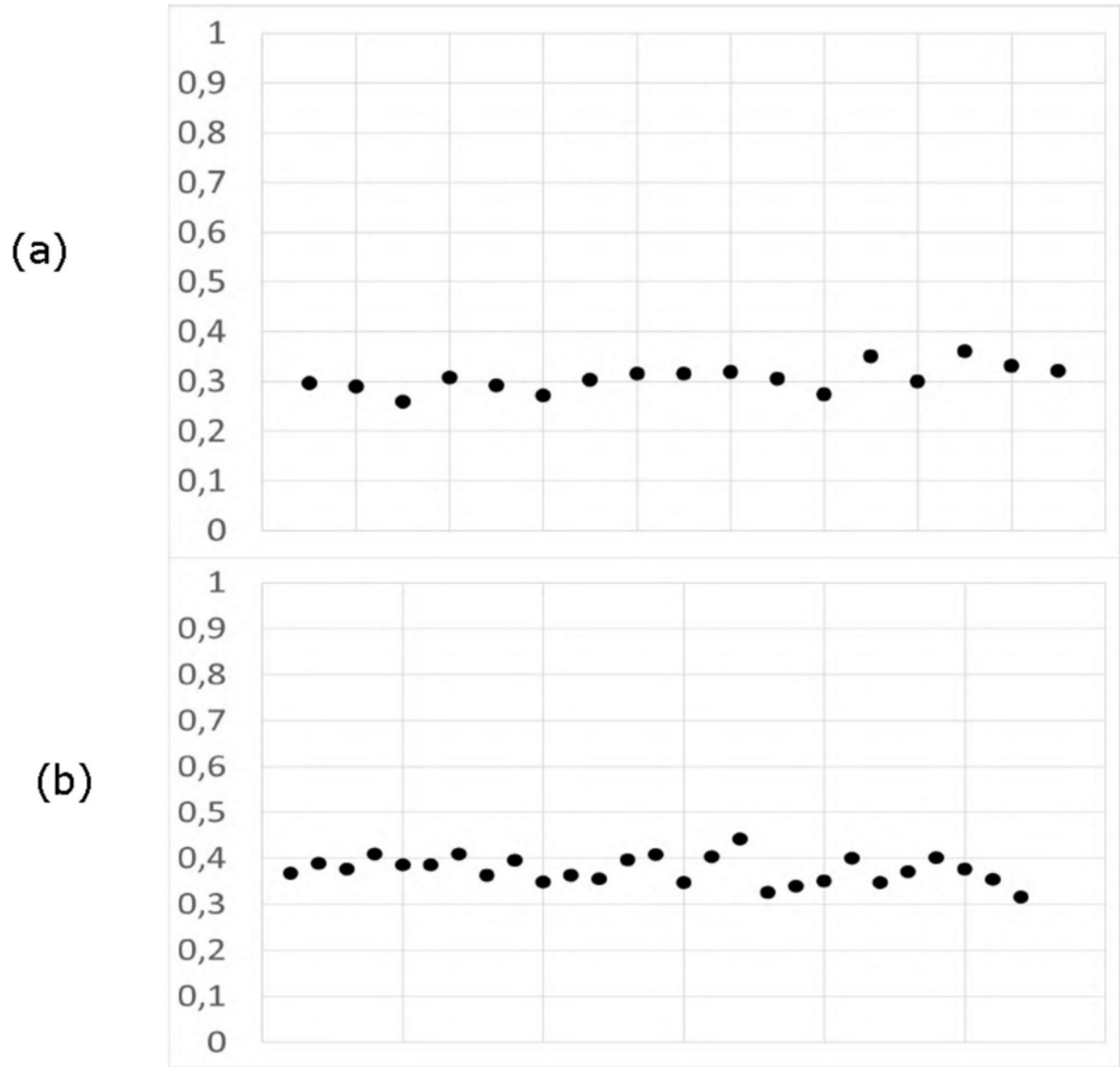


图11