



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110036319 A

(43)申请公布日 2019.07.19

(21)申请号 201780068182.8

李华 B·鲍尔斯

(22)申请日 2017.09.28

(74)专利代理机构 北京市中咨律师事务所
11247

(30)优先权数据

62/425,201 2016.11.22 US

62/433,619 2016.12.13 US

15/715,435 2017.09.26 US

代理人 牛南辉 杨晓光

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.05.05

(51)Int.Cl.

G02B 5/30(2006.01)

G02B 5/18(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2017/053914 2017.09.28

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/097892 EN 2018.05.31

(71)申请人 莫克斯泰克公司

地址 美国犹他州

(72)发明人 王滨 S·奥格登 R·S·尼尔森

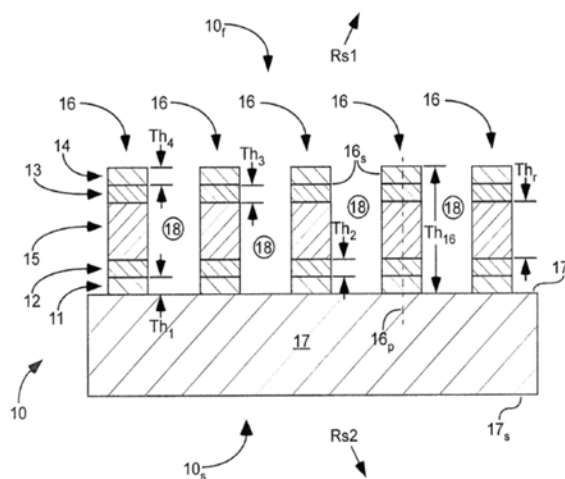
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

两侧均具有高反射率的线栅偏振器

(57)摘要

一种线栅偏振器(WGP)(10)可以包括在每一侧夹在一对透明层(11-12和13-14)中间的反射层(15)。每个外部透明层(11或14)的折射率可以相应地大于相邻的内部透明层(12或13)的折射率。这些外部透明层(11和14)的材料成分可以与相邻的内部透明层(12和13)的材料成分相同,并且这些相邻的内部透明层的材料成分相同。对于入射到该WGP的任一侧上的光,可以存在对一种偏振的高反射性(例如 $Rs1 > 93\%$ 、并且 $Rs2 > 93\%$)。



1. 一种线栅偏振器 (WGP), 该线栅偏振器包括:
透明基板, 该透明基板具有第一侧以及与该第一侧相反的第二侧;
线材阵列, 该线材阵列位于该透明基板的第一侧的上方, 在相邻的线材之间具有通道;
这些线材中的每一个都可以包括叠层, 该叠层按照以下顺序包括以下各层: 离该透明基板最近的第一透明层; 第二透明层; 反射层; 第三透明层; 以及离该透明基板最远的第四透明层; 并且

对于可见光谱中的至少100nm的波长范围: 该第一透明层的折射率 (n_1) 大于该第二透明层的折射率 (n_2), 并且该第四透明层的折射率 (n_4) 大于该第三透明层的折射率 (n_3)。

2. 如权利要求1所述的WGP, 其中, 对于可见光谱中的至少100nm的波长范围: $n_1 - n_2 > 0.5$ 、并且 $n_4 - n_3 > 0.5$ 。

3. 如权利要求1所述的WGP, 其中, 对于可见光谱中的至少100nm的波长范围: $n_1 > 2.0$ 、 $n_4 > 2.0$ 、 $n_2 < 1.55$ 、并且 $n_3 < 1.55$ 。

4. 如权利要求1所述的WGP, 其中:
该第一透明层的材料成分与该第四透明层的材料成分相同; 并且
该第二透明层的材料成分与该第三透明层的材料成分相同, 但是与该第一透明层和该第四透明层的材料成分不同。

5. 如权利要求4所述的WGP, 其中
该第一透明层的材料成分和该第四透明层的材料成分包括二氧化钛; 并且
该第二透明层的材料成分和该第三透明层的材料成分包括二氧化硅。

6. 如权利要求1所述的WGP, 其中, 对于可见光谱中的至少100nm的波长范围, $R_{s1} > 93\%$ 、并且 $R_{s2} > 93\%$, 其中: R_{s1} 是来自该WGP的第一侧的s偏振光的反射百分率; R_{s2} 是来自该WGP的第二侧的s偏振光的反射百分率; s偏振光是入射光的主要反射偏振; 该WGP的第一侧是该WGP的该线材阵列所在的一侧; 并且该WGP的第二侧与该WGP的第一侧相反、并且是该WGP的该透明基板所在的一侧。

7. 如权利要求6所述的WGP, 其中, 对于可见光谱中的至少100nm的波长范围: $|R_{s1} - R_{s2}| < 2\%$ 。

8. 如权利要求1所述的WGP, 其中, 该WGP夹在两个棱镜之间, 从而形成立方体偏振光束分光器。

9. 如权利要求1所述的WGP, 其中:
该叠层进一步包括第五透明层、第六透明层、第七透明层、以及第八透明层;
该叠层按照以下顺序包括以下各层: 离该透明基板最近的该第五透明层、该第六透明层、该第一透明层、该第二透明层、该反射层、该第三透明层、该第四透明层、该第七透明层、然后是离该透明基板最远的该第八透明层;

对于可见光谱中的至少100nm的波长范围: 该第五透明层的折射率大于该第六透明层的折射率, 并且该第八透明层的折射率大于该第七透明层的折射率。

10. 一种制造权利要求1所述的WGP的方法, 该方法包括: 按以下顺序进行的以下步骤:
为了使该透明基板的第一侧和该透明基板的第二侧上的入射光的一种偏振的反射相等, 计算以下厚度: 该第一透明层的厚度, 从而限定第一厚度; 该第二透明层的厚度, 从而限定第二厚度; 该第三透明层的厚度, 从而限定第三厚度; 以及该第四透明层的厚度, 从而限

定第四厚度；

按照以下顺序沉积以下薄膜叠层：具有该第一厚度的该第一透明层的材料，具有该第二厚度的该第二透明层的材料，该反射层的材料，具有该第三厚度的该第三透明层的材料，然后是具有该第四厚度的该第四透明层的材料；并且

对这些薄膜叠层进行蚀刻以形成该线材阵列。

两侧均具有高反射率的线栅偏振器

技术领域

[0001] 本申请总体上涉及线栅偏振器。

背景技术

[0002] 线栅偏振器 (WGP) 可以传输一种偏振 (例如 p 偏振)、并且反射或吸收反相偏振 (例如 s 偏振)。反相偏振的高反射率 (例如高 R_s) 可能是重要的, 这是由于一些应用使用了两种偏振光束 (例如 s 和 p)。反相偏振的高吸收性/低反射率 (例如低 R_s) 在一些应用中可能是重要的, 这是由于在一些应用中这种偏振的反射 (R_s) 可能会干扰光学系统。例如, 被反射的 s 偏振可以致使图像投影仪出现重影。一些 WGP 被设计成对于 s 偏振具有高反射性、而另一些被设计成对于 s 偏振具有高吸收性。

[0003] 一种偏振的高透光量 (例如高 T_p) 可能是 WGP 的重要特征, 以便将光源功率需求降至最小。反相偏振的低透光量 (例如 T_s) 对于改进的光图像分辨率可能是重要的。WGP 的质量或性能可以通过效能 ($T_p \cdot R_s$) 和高对比度 (T_p/T_s) 示出。

发明内容

[0004] 本发明涉及在 WGP 相反两侧对一种偏振 (例如 s 偏振) 具有高反射性的线栅偏振器 (WGP) 的多个不同的实施例。WGP 可以包括透明基板, 该透明基板具有第一侧以及与第一侧相反的第二侧。线材阵列可以位于该透明基板的第一侧的上方, 在相邻的线材之间具有通道。这些线材中的每一个都可以包括叠层, 该叠层按照如下顺序包括以下各层: 离该透明基板最近的第一透明层; 第二透明层; 反射层; 第三透明层; 以及离该透明基板最远的第四透明层。

[0005] 在一个实施例中, 第一透明层的折射率 (n_1) 可以大于第二透明层的折射率 (n_2), 并且第四透明层的折射率 (n_4) 可以大于第三透明层的折射率 (n_3)。

[0006] 在另一个实施例中, 该第一透明层的材料成分可以与该第四透明层的材料成分相同; 并且该第二透明层的材料成分可以与该第三透明层的材料成分相同, 但是与该第一透明层和该第四透明层的材料成分不同。

[0007] 在另一个实施例中, $R_{s1} > 93\%$ 、并且 $R_{s2} > 93\%$, 其中: R_{s1} 是来自该 WGP 的第一侧的 s 偏振光的反射百分率; R_{s2} 是来自该 WGP 的第二侧的 s 偏振光的反射百分率; s 偏振光是入射光的主要反射偏振; 该 WGP 的第一侧是该 WGP 的该线材阵列所在的一侧; 并且该 WGP 的第二侧与该 WGP 的第一侧相反、并且是该 WGP 的该透明基板所在的一侧。

[0008] 附图说明 (附图可能不是按比例绘制的)

[0009] 图 1 是根据本发明的实施例的线栅偏振器 10 (WGP) 的示意性截面侧视图, 该线栅偏振器包括位于透明基板 17 上方的线材阵列 16, 线材 16 中的每一个都包括叠层, 该叠层按照以下顺序包括以下各层: 离透明基板 17 最近的第一透明层 11、第二透明层 12、反射层 15、第三透明层 13、以及离透明基板 17 最远的第四透明层 14。

[0010] 图 2 是根据本发明的实施例的 WGP 10 的示意性透视图。

[0011] 图3是根据本发明的实施例的WGP 30的示意性截面侧视图,与WGP10相似,但是进一步包括附加透明层35-38。

[0012] 图4是根据本发明的实施例的示出了制造WGP 10中的一个步骤40的示意性截面侧视图。

[0013] 图5是根据本发明的实施例的立方体偏振光束分光器50的示意性端视图,该偏振光束分光器包括WGP 51,该WGP可以是夹在两个棱镜52之间的WGP 10或WGP 30。

[0014] 定义

[0015] 如本文所使用的,术语“长形的”是指线材16的长度L远大于线材宽度W或线材厚度 Th_{16} (例如L可以比线材宽度W和/或线材厚度 Th_{16} 大至少10倍、至少100倍、至少1000倍或至少10000倍)。

[0016] 如本文中使用的,术语“相等反射”是指精确相等的反射或几乎相等的反射,使得任何与精确相等的反射的偏差对于装置的常规使用而言将具有微不足道的影响。

[0017] 如本文中使用的,术语“光”可以指在X光、紫外光、可见光和/或红外光、或电磁光谱的其他区域中的光或辐射。

[0018] 如本文所使用的,术语“在……上”、“位于……上”、“位于……处”以及“位于……上方”是指直接位于其上或在其间有一些其他材料的情况下位于其之上。术语“直接位于……上”、“邻接(adjoin)”、“邻接(adjoins)”以及“邻接(adjoining)”是指在其间没有其他固体材料的情况下直接且紧密接触。

[0019] 如本文中使用的,术语“位于离……最近的位置”和“位于离……最远的位置”是指所提及的材料、层或结构,但是可以存在没有提及的位于离其更近或离其更远的位置的其他固体材料。

[0020] 如本文中使用的,术语“nm”是指纳米。

[0021] 如本文所使用的,术语“平行的”是指完全平行、在正常制造公差内平行或几乎平行,使得任何与完全平行的偏差对于装置的常规使用而言具有的影响将会忽略不计。

[0022] 如本文中使用的,术语“基板”包括基部材料,例如玻璃晶圆。术语“基板”包括单个材料,并且还包含多个材料,例如在晶圆表面上具有至少一个薄膜的玻璃晶圆,该至少一个薄膜与该晶圆一起用作基材。

[0023] 在光学结构中使用的材料可以吸收某些光、反射某些光并且传输某些光。以下定义对主要是吸收性的、主要是反射性的或主要是透明性的材料之间进行了区分。每种材料可以被认为在特定波长范围(例如紫外光谱、可见光谱或红外光谱)中是吸收性的、反射性的或透明性的,并且在不同波长范围内可以具有不同性质。基于反射比R、折射率n的实部和折射率/吸光系数k的虚部,这种材料被分成吸收性、反射性和透明性材料。等式1用于确定在正入射时空气与均厚材料板之间的界面的反射比R:

[0024] 等式1:
$$R = \frac{(n-1)^2+k^2}{(n+1)^2+k^2}$$

[0025] 除非本文中另作明确指定,在指定波长范围内 $k \leq 0.1$ 的材料是“透明性”材料,在指定波长范围内 $k > 0.1$ 且 $R \leq 0.6$ 的材料是“吸收性”材料,并且在指定波长范围内 $k > 0.1$ 且 $R > 0.6$ 的材料是“反射性”材料。

具体实施方式

[0026] 如图1所展示的,示出了线栅偏振器10(WGP),该线栅偏振器包括透明基板17,该透明基板具有第一侧17_f以及与第一侧17_f相反的第二侧17_s。线材阵列16(图2中示出,具有延伸到图1的页面中的长度L)可以位于透明基板17的第一侧17_f上方、或可以直接位于其上,在相邻的线材16之间具有通道18。线材阵列16可以是平行的且长形的。线材阵列16可以包括数量非常大的线材,例如 $>10^3$ 、 $>10^4$ 或 $>10^6$ 。

[0027] 线材16中的每一个都可以包括叠层,该叠层按照以下顺序包括以下各层:离透明基板17最近的第一透明层11;第二透明层12;反射层15;第三透明层13;以及离透明基板17最远的第四透明层14。

[0028] 对于每根线材16,叠层中的各层11-15可以与平面16_p对齐,该平面垂直于透明基板17的第一侧17_f、并且与线材16的长度L平行。换言之,对于每根线材16,垂直于透明基板17的第一侧17_f的单个平面16_p可以穿过叠层中所有的层11-15。并且,每根线材的侧边16_s可以与平面16_p平行。

[0029] 通道18可以填充有空气、玻璃、另一种固体材料、液体、或真空。如果通道18填充有固体材料,这种固体材料可以具有与第一透明层11、第二透明层12、反射层15、第三透明层13、第四透明层14、或其组合的材料成分不同的材料成分。各个通道18可以在叠层的所有层之间延伸;即从离透明基板17最远的第四透明层14的面(或者从以下描述的第八透明层38的面)到透明基板17。

[0030] 第一透明层11可以邻接(即直接接触)透明基板17和/或第二透明层12;可替代地,在第一透明层11与透明基板17和/或第二透明层12之间可以存在其他(多个)层。反射层15可以邻接第三透明层13和/或第二透明层12;可替代地,在反射层15与第三透明层13和/或第二透明层12之间可以存在其他(多个)层。第四透明层14可以邻接第三透明层13、或在第四透明层14与第三透明层13之间可以存在其他(多个)层。

[0031] 虽然透明层11-14的材料是透明的(见定义部分),但是当与叠层中的反射层15相结合时,它们可以增强对反射层15的一种偏振(例如s偏振)的反射。在专利US 7,961,393和US 8,755,113中描述了用于反射层15的材料(例如通常是可见光用金属)和透明层11-14和35-38(以下描述的)的材料(例如电介质),这些专利通过引用并入本文。

[0032] 以下是以上WGP 10的特定实施例,包括对一种偏振的反射的特定值以及透明层11-14的折射率之间的关系。对一种偏振的反射以及折射率可以随入射光的波长而变化。特定值可能对于光的特定波长范围是有效的,例如紫外光谱、可见光谱或红外光谱中的至少100nm或至少200nm的波长范围、或紫外光谱、可见光谱和红外光谱中的一个或多个的波长范围。

[0033] 一种偏振状态(例如p偏振)可以主要通过WGP 10传输,并且反相偏振状态(例如s偏振)可以主要反射离开WGP 10。通过这种叠层的适当设计,WGP 10可以:(a)对于入射到WGP 10的第一侧10_f的光具有对一种光偏振的高反射性(例如对s偏振光的高反射性、并且因此具有高R_{s1});并且(b)对于入射到WGP 10的第二侧10_s的光具有对一种光偏振的高反射性(例如对s偏振光的高反射性、并且因此具有高R_{s2})。WGP 10的第一侧10_f可以是WGP 10的线材阵列16所在的一侧。WGP 10的第二侧10_s可以与WGP 10的第一侧10_f相反、并且可以是WGP 10的透明基板17所在的一侧。因此,WGP 10可以是针对入射到侧边10_f和10_s的光的有效

偏振光束分光器。例如,一方面 R_{s1} 和/或 R_{s2} 可以大于92%、另一方面可以大于93%、另一方面可以大于95%、或另一方面可以大于97%。

[0034] 为了提高 R_{s1} 和 R_{s2} ,透明层11-14的折射率之间可以存在以下关系。第一透明层的折射率(n_1)可以大于第二透明层的折射率(n_2)和/或第四透明层的折射率(n_4)可以大于第三透明层的折射率(n_3)。例如,在这些指数之间可以存在以下差异中的一项或多项: $n_1-n_2>0.1$ 、 $n_1-n_2>0.2$ 、 $n_1-n_2>0.5$ 、 $n_1-n_2>1$; $n_4-n_3>0.1$ 、 $n_4-n_3>0.2$ 、 $n_4-n_3>0.5$ 、 $n_4-n_3>1$; $|n_1-n_4|<0.2$ 、 $|n_1-n_4|<0.1$; $|n_2-n_3|<0.2$ 、 $|n_2-n_3|<0.1$ 。

[0035] 为了提高 R_{s1} 和 R_{s2} , n_1 和 n_4 具有高折射率、并且 n_2 和 n_3 具有低折射率可能是有益的。例如,折射率可以具有以下各值中的一个或多个: $n_1>2.0$ 、 $n_1>1.65$ 、 $n_4>2.0$ 、 $n_4>1.65$ 、 $n_2<1.55$ 、 $n_3<1.55$ 。

[0036] 图3中所示的WGP 30可以具有以上描述的WGP 10的特征,并且还具有以下特征。通过包括交替地具有高折射率和低折射率的附加的成对的层,WGP 30可以具有提高的 R_{s1} 和 R_{s2} 。例如,WGP 30可以具有线材16,该线材按照以下顺序包括以下叠层:具有折射率 n_5 、离透明基板17最近的第五透明层35;具有折射率 n_6 的第六透明层36;第一透明层11;第二透明层12;反射层15;第三透明层13;第四透明层14;具有折射率 n_7 的第七透明层37;以及具有折射率 n_8 、离透明基板17最远的第八透明层38。

[0037] 以下是这些附加层35、36、37、38的折射率之间可能的关系及其值: $n_5>n_6$ 、 $n_8>n_7$; $n_5-n_6>0.1$ 、 $n_5-n_6>0.2$ 、 $n_5-n_6>0.5$ 、 $n_5-n_6>1$; $n_8-n_7>0.1$ 、 $n_8-n_7>0.2$ 、 $n_8-n_7>0.5$ 、 $n_8-n_7>1$; $|n_5-n_8|<0.2$ 、 $|n_5-n_8|<0.1$; $|n_6-n_7|<0.2$ 、 $|n_6-n_7|<0.1$; $n_5>2.0$ 、 $n_5>1.65$ 、 $n_8>2.0$ 、 $n_8>1.65$ 、 $n_6<1.55$ 、 $n_7<1.55$ 。对一种偏振的反射以及折射率可以随入射光的波长而变化。特定值可能对于光的特定波长范围是有效的,例如紫外光谱、可见光谱或红外光谱中的至少100nm或至少200nm的波长范围、或紫外光谱、可见光谱和红外光谱中的一个或多个的波长范围。

[0038] 除了所示的那些之外,在叠层中可以存在附加的成对的高折射率层和低折射率层,并且这些附加层可以具有折射率之间的相似关系。虽然WGP 30可以具有优于WGP 10的改进的性能,但是添加的层35-38可能会增加制造成本。因此,可以基于成本和所需性能而在WGP 10与WGP 30之间进行选择。

[0039] 根据本申请,可能是有益的是在 R_{s1} 与 R_{s2} 之间存在较小差异。例如:一方面 $|R_{s1}-R_{s2}|<1\%$ 、另一方面 $|R_{s1}-R_{s2}|<2\%$ 、另一方面 $|R_{s1}-R_{s2}|<3\%$ 、或另一方面 $|R_{s1}-R_{s2}|<5\%$ 。实现 R_{s1} 与 R_{s2} 之间这种较低差异的一种方式是在反射层15的两侧具有透明材料的镜像。因此,第一透明层11的材料成分可以与第四透明层14的材料成分相同。而且,第二透明层12的材料成分可以与第三透明层13的材料成分相同,但是与第一透明层11和第四透明层14的材料成分不同。对于WGP 30,还可以是,第五透明层35与第八透明层38的材料成分相同,并且第六透明层36与第七透明层37的材料成分相同。

[0040] 材料成分的一个实例是第一透明层11、第四透明层14、第五透明层35和第八透明层38中的一层或多层可以是二氧化钛或可以包括二氧化钛。材料成分的另一个实例是第二透明层12、第三透明层13、第六透明层36和第七透明层37中的一层或多层可以是二氧化硅或可以包括二氧化硅。由于透明层11-14和35-38的材料的沉积的不完全性,这些化学式未必是精确的化学计量比。例如,术语“二氧化钛”是指大约每两个氧原子有一个钛原子,例如 Ti_xO_y ,其中 $0.9\leq x\leq 1.1$ 、并且 $1.9\leq y\leq 2.1$ 。作为另一个实例,二氧化硅通常是指 SiO_2 ,但是

如本文中使用的,术语二氧化硅是指大约每两个氧原子有一个硅原子,例如 Si_vO_z ,其中 $0.9 \leq v \leq 1.1$ 、并且 $1.9 \leq z \leq 2.1$ 。

[0041] 虽然第一透明层11和第四透明层14的组成物的材料可以相等、并且第二透明层12和第三透明层13的组成物的材料可以相等,但是可能需要等效层的厚度不同以使 R_{s1} 与 R_{s2} 相等,这是由于叠层的一端的材料相对于相反一端的材料可能是不同的。例如,第一透明层11可能与玻璃相邻,并且第四透明层14可能与空气相邻。可以遵循以下方法来使 R_{s1} 与 R_{s2} 即使在叠层的一端(例如玻璃基板)的材料相对于相反一端(例如空气)的材料不同的情况下也会相等或几乎相等。以下制造WGP 10的方法可以包括按以下顺序进行的以下步骤:

[0042] 1.为了使WGP 10的第一侧 10_f 和WGP 10的第二侧 10_s 的入射光的一种偏振(例如s偏振光)的反射相等(例如 $R_{s1} = R_{s2}$)而计算以下各项:第一透明层11的厚度,从而限定第一厚度 Th_1 ;第二透明层12的厚度,从而限定第二厚度 Th_2 ;第三透明层13的厚度,从而限定第三厚度 Th_3 ;以及第四透明层14的厚度,从而限定第四厚度 Th_4 ;

[0043] 2.按照以下顺序沉积以下薄膜叠层(见图4):

[0044] a.具有第一厚度 Th_1 的第一透明层41的材料;

[0045] b.具有第二厚度 Th_2 的第二透明层42的材料;

[0046] c.反射层45的材料;

[0047] d.具有第三厚度 Th_3 的第三透明层43的材料;以及

[0048] e.具有第四厚度 Th_4 的第四透明层44的材料;

[0049] 3.对薄膜叠层进行蚀刻以形成线材阵列16(见图1)。

[0050] 叠层中每层的厚度 Th_1 、 Th_2 、 Th_3 、 Th_4 、 Th_5 、 Th_6 、 Th_7 、 Th_8 和 Th_r 可以比所期望的偏振的波长范围中的最短波长更短,并且每个厚度可以小于400nm。厚度的实例:第二层12的 Th_2 、第三层13的 Th_3 、第六层36的 Th_6 、以及第七层37的 Th_7 可以是: $=80\text{nm}$ 、 $>40\text{nm}$ 、或 $>60\text{nm}$;以及 $<110\text{nm}$ 、或 $<150\text{nm}$ 。第一层11的 Th_1 、第四层14的 Th_4 、第五层35的 Th_5 、以及第八层38的 Th_8 可以是: $=50\text{nm}$ 、 $>10\text{nm}$ 、或 $>30\text{nm}$;以及 $<80\text{nm}$ 、或 $<110\text{nm}$ 。

[0051] 图5是立方体偏振光束分光器50的示意性端视图,该偏振光束分光器包括WGP 51,该WGP可以是夹在两个棱镜52之间的WGP 10或WGP 30。

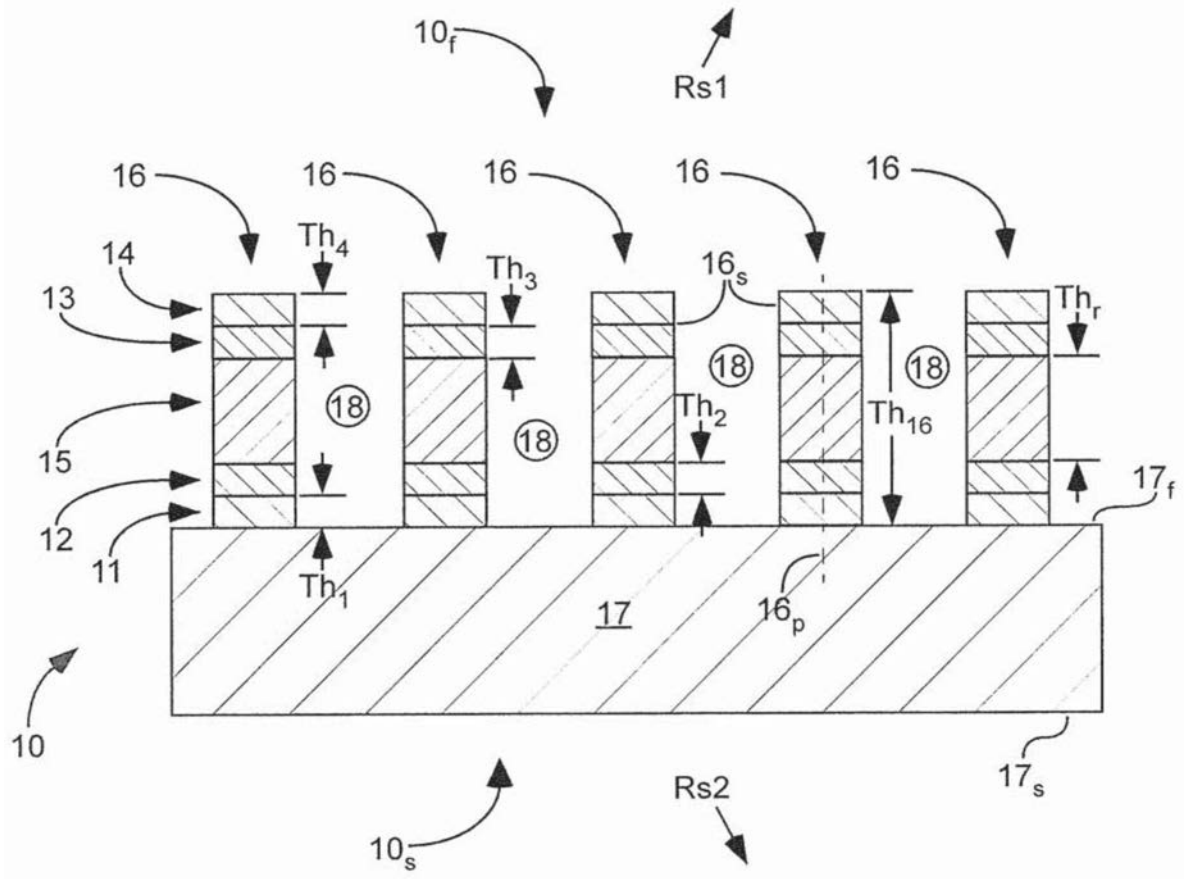


图1

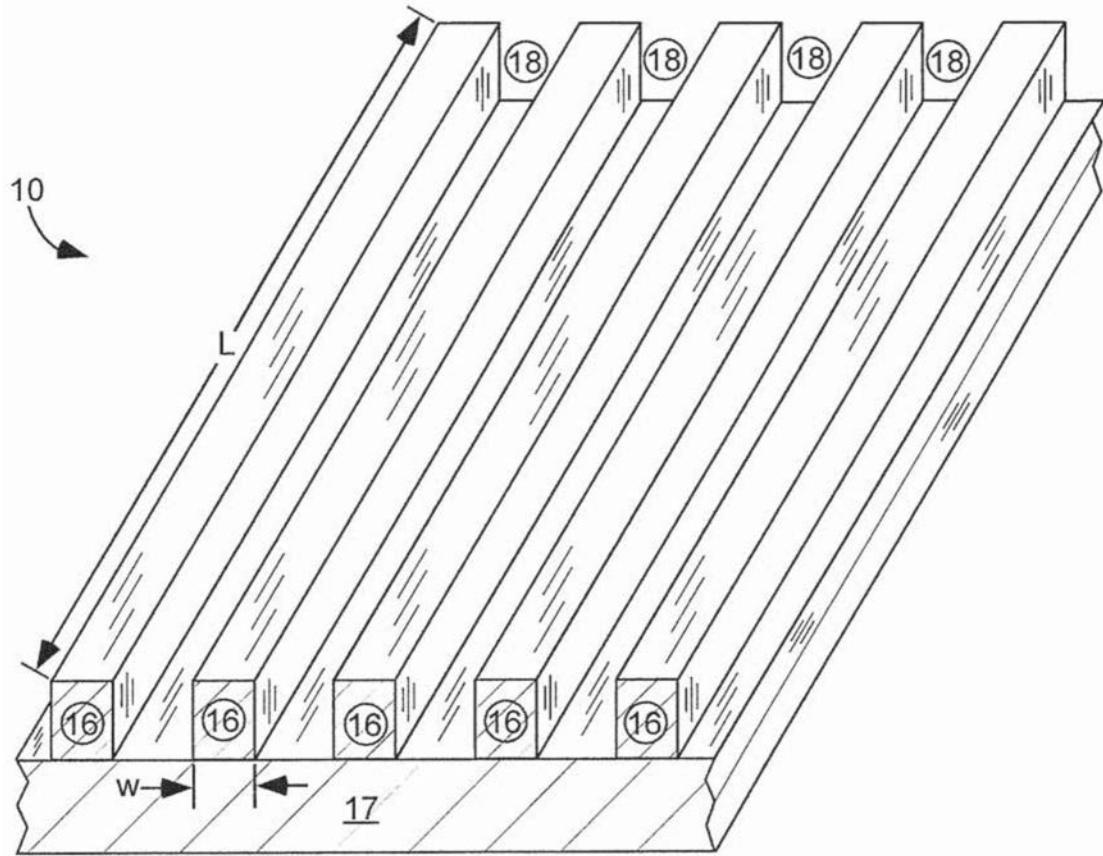


图2

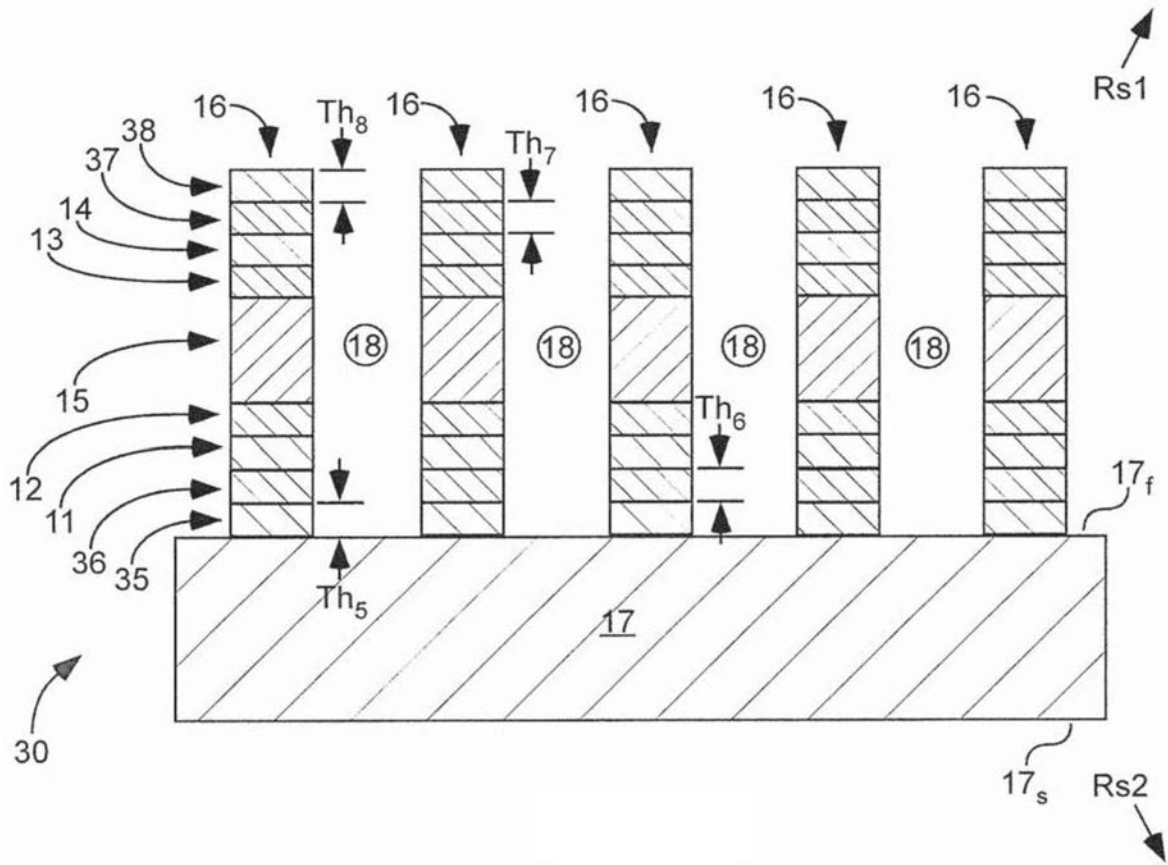


图3

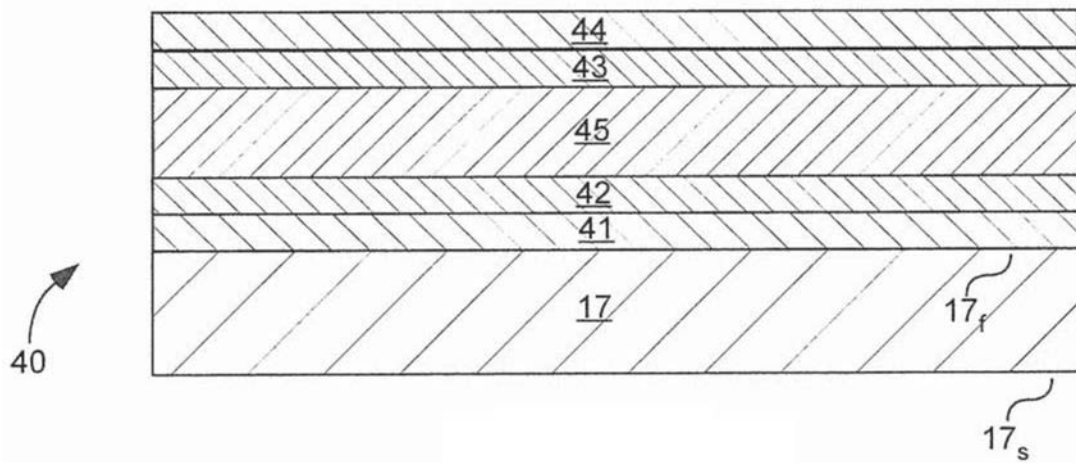


图4

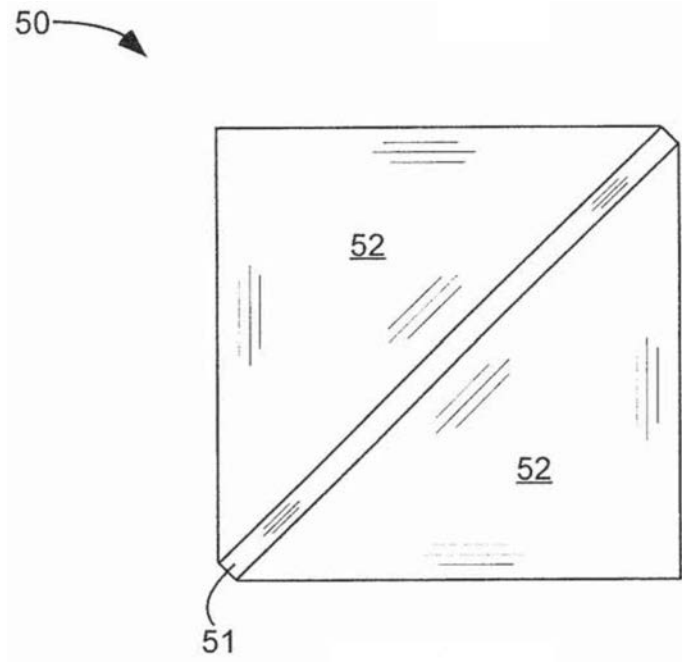


图5