

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01813710.5

G02B 26/02 (2006.01)

G09F 9/37 (2006.01)

G02F 1/167 (2006.01)

G02B 5/04 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008 年 9 月 3 日

[11] 授权公告号 CN 100416334C

[22] 申请日 2001.5.23 [21] 申请号 01813710.5

[30] 优先权

[32] 2000. 6. 2 [33] US [31] 09/585,552

[86] 国际申请 PCT/CA2001/000747 2001.5.23

[87] 国际公布 WO2001/092980 英 2001.12.6

[85] 进入国家阶段日期 2003.1.30

[73] 专利权人 英属哥伦比亚大学

地址 加拿大温哥华

[72] 发明人 洛恩·A·怀特黑德

[56] 参考文献

US5471348A 1995.11.28

JP9-304608A 1997.11.28

US6064784A 2000.5.16

US5598280A 1997.1.28

US5608837A 1997.3.4

JP7-270603A 1995.10.20

审查员 孙苏晋

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 陶凤波 李晓舒

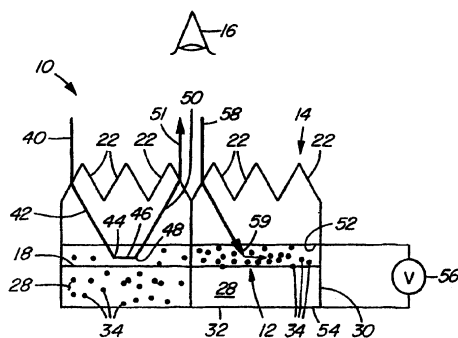
权利要求书 6 页 说明书 19 页 附图 8 页

[54] 发明名称

提高了有效折射系数的全内反射图像显示器

[57] 摘要

一种用于在最佳方向(26)上观看图像的显示器。平行、宏观平整、带有构造面的非光吸收光折射和反射部分在垂直于方向(26)的相互垂直的方向(24, 20)上纵向对称。一含组元(34)的液体(28)接触该反射部分。一控制器(56)施加一电磁力来选择性地将该组元移动到一个与该反射部分相邻的隐失波区域内,在反射部分上的选定位置处阻止 TIR。该折射部分的构造面通过对方向(26)上入射的光线(40)引入一个该反射部分的纵向对称方向上的方向分量,将该光线朝该反射部分折射(42)。该反射部分的构造面在 TIR 未被阻止的位置上将折射的光线向该折射部分全内反射(44, 48)。该折射部分的构造面折射(50) TIR 光线,消除了该方向分量,使得折射后的 TIR 光线基本上平行于方向(26)射出(51)。



1. 一种具有一最佳观看方向的图像显示器，所述图像显示器的特征在于：

一个宏观上平整的光折射部分，该光折射部分在一个垂直于所述最佳观看方向的第一方向上纵向对称；

一个宏观上平整的光反射部分，该光反射部分在一个第二方向上纵向对称，所述第二方向垂直于所述第一方向并且垂直于所述最佳观看方向，所述光反射部分平行于所述光折射部分；

一种与所述光反射部分接触的液体；

位于所述液体中的大量可移动组元；

一个用于向所述组元施加电磁力的控制器，以选择性地使所述组元移动到一个与所述光反射部分相邻的隐失波区域内，从而阻止光线在所述光反射部分上的选定位置处的全内反射；

其中：

所述光折射部分不吸收光线，并且具有构造面，这些构造面通过向沿着所述最佳观看方向入射到所述显示器上的光线引入一个沿着所述第二方向的方向分量，来使得所述入射光线朝所述光反射部分发生偏转；

所述光反射部分不吸收光线，并且具有构造面，这些构造面在除了所述选定位置之外的位置处将所述折射光线向所述光折射部分全内反射；并且

所述光折射部分构造面通过消除所述全内反射光线的所述方向分量来折射所述全内反射光线，从而所述被折射的全内反射光线在一个平行于所述最佳观看方向的方向上从所述图像显示器中射出。

2. 如权利要求1所述的图像显示器，其中：

所述构造面为棱柱表面；

所述光折射部分还包括一个外向薄板表面，其具有相互平行延伸的大量第一棱柱；并且

所述光反射部分还包括所述薄板的一个内向表面，其具有大量的第二棱柱，这些第二棱柱相互平行地延伸、并且垂直于所述大量的第一棱柱而延伸。

3. 如权利要求1所述的图像显示器，其中：

所述构造面为棱柱表面；

所述光折射部分还包括：

一个第一薄板，其具有一个外向表面并具有一个相对立的平整内向表面，所述外向表面具有相互平行延伸的大量第一棱柱；

一个平行于所述第一薄板的第二薄板的外向表面，所述第二薄板外向表面具有大量的第二棱柱，这些第二棱柱相互平行地延伸、并且平行于所述大量的第一棱柱而延伸；

一个位于所述第一薄板与第二薄板之间的气隙；以及

所述光反射部分还包括所述第二薄板的内向表面上的大量第三棱柱，所述大量第三棱柱相互平行地延伸、并且垂直于所述大量的第一和第二棱柱而延伸。

4. 如权利要求1所述的图像显示器，其中：

所述构造面为棱柱表面；

所述光折射部分还包括：

一个第一薄板，其具有一个平整的外向表面并具有一个相对立的内向表面，该内向表面具有相互平行地延伸的大量第一棱柱；

一个平行于所述第一薄板的第二薄板的平整外向表面；

一个位于所述第一与第二薄板之间的间隙，其中容置有一种低折射系数介质；以及

所述光反射部分还包括所述第二薄板的内向表面上的大量的第二棱柱，所述大量第二棱柱相互平行地延伸、并且垂直于所述大量的第一棱柱延伸。

5. 如权利要求1所述的图像显示器，其中：

所述构造面为棱柱表面；

所述光折射部分还包括一个第一薄板，该第一薄板具有一个平整的外向表面并具有一个相对立的内向表面，该内向表面具有相互平行地延伸的大量第一棱柱；

所述光反射部分还包括一个第二薄板，其具有平行于所述第一薄板的平整的内向表面、并具有一个相对立的外向表面，该外向表面具有大量的

第二棱柱，这些第二棱柱相互平行地延伸、并且垂直于所述大量的第一棱柱而延伸；以及

所述光折射部分还包括所述第一与第二薄板之间的间隙，其中包含有一种低折射系数介质。

6. 如权利要求2所述的图像显示器，其中，所述薄板由一种折射系数大于1.65的材料制成。

7. 如权利要求2所述的图像显示器，其中，所述薄板由一种折射系数为1.73的复合聚合物材料制成。

8. 如权利要求3所述的图像显示器，其中，所述薄板由一种折射系数大于或者等于1.6的材料制成。

9. 如权利要求4所述的图像显示器，其中，所述薄板由一种折射系数大于或者等于1.6的材料制成。

10. 如权利要求5所述的图像显示器，其中，所述薄板由一种折射系数大于或者等于1.6的材料制成。

11. 如权利要求6所述的图像显示器，其中，所述液体是一种折射系数为1.27的电泳介质。

12. 如权利要求7所述的图像显示器，其中，所述液体是一种折射系数为1.27的电泳介质，并且所述可移动组元是悬浮于所述电泳介质内的微粒。

13. 如权利要求8所述的图像显示器，其中，所述液体是一种折射系数为1.27的电泳介质，并且所述可移动组元是悬浮于所述电泳介质内的微粒。

14. 如权利要求9所述的图像显示器，其中，所述液体是一种折射系数为1.27的电泳介质，并且所述可移动组元是悬浮于所述电泳介质内的微粒。

15. 如权利要求10所述的图像显示器，其中，所述液体是一种折射系数为1.27的电泳介质，并且所述可移动组元是悬浮于所述电泳介质内的微粒。

16. 如权利要求6所述的图像显示器，其中，所述液体是福罗瑞内特牌电子液体，并且所述可移动组元为悬浮于所述液体中的微粒。

17. 如权利要求7所述的图像显示器，其中，所述液体是福罗瑞内特牌电子液体，并且所述可移动组元为悬浮于所述液体中的微粒。

18. 如权利要求8所述的图像显示器，其中，所述液体是福罗瑞内特牌电子液体，并且所述可移动组元为悬浮于所述液体中的微粒。

19. 如权利要求9所述的图像显示器, 其中, 所述液体是福罗瑞内特牌电子液体, 并且所述可移动组元为悬浮于所述液体中的微粒。

20. 如权利要求10所述的图像显示器, 其中, 所述液体是福罗瑞内特牌电子液体, 并且所述可移动组元为悬浮于所述液体中的微粒。

21. 如权利要求2所述的图像显示器, 其中, 所述大量的第一棱柱为60度角的等腰棱柱, 且所述大量的第二棱柱为直角等腰棱柱。

22. 如权利要求3所述的图像显示器, 其中,
所述大量的第一棱柱是顶点对应角度 θ 的等腰棱柱, 所述角度作为所述第一薄板的折射系数的函数而变化; 以及

所述大量的第二和第三棱柱为直角的等腰棱柱。

23. 如权利要求4所述的图像显示器, 其中, 所述大量的第一棱柱为60度等腰棱柱, 而所述大量的第二棱柱为直角等腰棱柱。

24. 如权利要求5所述的图像显示器, 其中, 所述大量的第一和第二棱柱为60度等腰棱柱。

25. 如权利要求4所述的图像显示器, 其中, 所述低折射系数介质的折射系数为1.27。

26. 如权利要求5所述的图像显示器, 其中, 所述低折射系数介质的折射系数为1.27。

27. 如权利要求4所述的图像显示器, 其中, 所述低折射系数介质为福罗瑞内特牌电子液体。

28. 如权利要求5所述的图像显示器, 其中, 所述低折射系数介质为福罗瑞内特牌电子液体。

29. 如权利要求6所述的图像显示器, 其中, 所述可移动组元是颗粒直径小于或者等于1微米的微粒。

30. 如权利要求7所述的图像显示器, 其中, 所述可移动组元是颗粒直径小于或者等于1微米的微粒。

31. 如权利要求8所述的图像显示器, 其中, 所述可移动组元是颗粒直径小于或者等于1微米的微粒。

32. 如权利要求9所述的图像显示器, 其中, 所述可移动组元是颗粒直径小于或者等于1微米的微粒。

33. 如权利要求10所述的图像显示器, 其中, 所述可移动组元是颗粒直径小于或者等于1微米的微粒。

34. 如权利要求6所述的图像显示器, 其中, 所述可移动组元是颗粒直径为100纳米的微粒。

35. 如权利要求7所述的图像显示器, 其中, 所述可移动组元是颗粒直径为100纳米的微粒。

36. 如权利要求8所述的图像显示器, 其中, 所述可移动组元是颗粒直径为100纳米的微粒。

37. 如权利要求9所述的图像显示器, 其中, 所述可移动组元是颗粒直径为100纳米的微粒。

38. 如权利要求10所述的图像显示器, 其中, 所述可移动组元是颗粒直径为100纳米的微粒。

39. 如权利要求1所述的图像显示器, 其中, 所述构造面为梯形表面。

40. 如权利要求1所述的图像显示器, 其中, 所述构造面为抛物线形表面。

41. 如权利要求1所述的图像显示器, 其中, 所述光折射部分的构造面是绕平行于所述第二方向的轴旋转的棱柱表面, 以使所述折射光线相对于所述最佳观看方向偏离10度至20度。

42. 一种显示图像的方法, 用于在一个最佳观看方向观看所述图像, 所述方法的特征在于:

通过对一个沿着所述最佳观看方向入射的光线引入一个沿着一纵向对称反射体的纵向对称方向的方向分量, 利用一个纵向对称折射体将所述光线朝所述反射体折射;

在所述反射体上的选定位置处阻止所述折射光线的全内反射;

在所述反射体上在除了所述选定位置之外的位置处, 全内反射所述折射光线;

通过利用所述折射体折射所述全内反射光线来消除所述全内反射光线的所述方向分量, 使得所述折射后的全内反射光线平行于所述最佳观看方向;

其中:

所述折射体的纵向对称方向垂直于所述反射体的所述纵向对称方向；
并且

所述纵向对称方向相互垂直于所述最佳观看方向。

43. 如权利要求 42 所述的方法，其中，所述的阻止全内反射还包括，使大量的微粒电泳移动到一个隐失波区域内，所述隐失波区域与所述反射体上的所述选定位置相邻。

提高了有效折射系数的全内反射图像显示器

技术领域

一种显示装置和方法，其中，相互垂直排列的棱柱表面(prismatic surfaces)提高了显示器的有效折射系数，并且通过受控阻止全内反射现象(“TIR”)来增强显示器显示信息的能力。

背景技术

众所周知，光线在不同介质中以不同的速度进行传播。速度的改变会导致发生折射现象。斯涅耳(Snell)定律表征了光线从一种介质进入到另外一种其折射系数与第一种介质不同的介质内的行为。具体来说：

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad (1)$$

其中，正如在图1中所示出的那样， n_1 是第一种介质的折射系数， n_2 是第二种介质的折射系数， θ_1 是第一种介质内光线与两种介质交界面的法向向量之间的入射角(或者折射角)，而 θ_2 是第二种介质内光线与法线之间的折射角(或者入射角)。

正如在图1中所示出的那样，当光线1000从一种诸如玻璃这样的较高折射系数介质入射到一种诸如空气这样的较低折射系数介质中时，光线1000会远离法线1200而折射。相反，如果光线1000的方向相反，从而使得光线从较低折射系数介质进入到较高折射系数介质中，那么光线会朝向法线1200折射。

因此，当光线1000从玻璃入射到空气中时，光线1000的折射部分会弯离法线1200。光线1000的入射部分越远离法线1200，光线1000的折射部分就会越远离法线。斯涅耳定律可以如下求解，以确定出从玻璃入射到空气中的光线1000的折射部分角度 θ_2 ：

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin\theta_1\right) \quad (2)$$

$\sin\theta_1$ 随着光线1000在玻璃内的入射部分远离法线1200而增大。反正弦函数自变量中的 n_1/n_2 部分大于1(即，对于玻璃来说 $n_1 \approx 1.5$ ；对于空气来说， n_2

≈ 1 ; 因此 $n_1/n_2 \approx 1.5$)。但是正弦函数的最大值为1, 因此反正弦函数不会获得大于1的实际自变量值。因此, 如果 $n_1/n_2 \sin\theta_1 \geq 1$, 那么将无法求得折射角度 θ_2 的解。实际上, 在这种情况下, 如果 $n_1/n_2 \sin\theta_1 \geq 1$, 那么将发生全内反射现象(TIR), 并且入射光线会反射回玻璃内。随着光线1000的折射部分远离法线1200, 第一次发生TIR现象的角度被称作临界角 θ_c , 该临界角 θ_c 这样求出:

$$\theta_c = \arcsin(n_2/n_1) \quad (3)$$

公式(3)表示, 临界角的大小与两个折射系数 n_1 和 n_2 之比有关。如果两个折射系数的比率较大, 那么临界角将较小(即更为靠近法线), 反之亦然。对于本发明来说, 临界角越小越好(从而两个折射系数的比率更大), 因为它们提供了一个能够发生TIR现象的较大角度范围。这就意味着可以反射更多的入射光线, 并且因此可以提供一种具有较大视角范围和/或更亮洁显示效果的显示装置, 较大的视角范围和更亮洁的显示效果均是所希望的特性。因此, n_1 最好尽可能地大, 而 n_2 最好尽可能地小。

众所周知, 经历TIR现象的光线入射部分会略微地穿透发生TIR现象的界面。这种所谓的“隐失波穿透现象(evanescent wave penetration)”是由大约0.25微米量级的可见光产生的。由于与隐失波发生干涉(即散射和/或吸收)而可防止或者“阻止”发生TIR现象。具体来说, 改变隐失波周围的折射系数可以阻止TIR。这可以通过将一种光吸收材料引入到隐失波中来实现; 或者通过将一种具有不均匀折射系数的非光吸收材料引入到隐失波中来实现。对于非吸收性材料而言, 不均匀性非常重要。例如, 将一种均匀的微细弥散颗粒型非吸收材料引入到隐失波中, 可以略微改变折射系数, 达到一个与相对介质相等的值。这不仅无法防止TIR现象, 而且仅会形成一个相邻边界层, 在该相邻边界层中将会发生TIR。

正如在2000年5月16日授权的美国专利No. 6064784中所描述的那样, 可以利用一种电泳介质来在采用棱柱形反射表面的图像显示装置中可控地阻止TIR。“电泳”是一种公知现象, 其中, 在所施加的电场作用下, 带电物质(即微粒、离子或者分子)会移动穿过介质。对于本发明来说, 优选的电泳介质是由明尼苏达州圣保罗市(ST. PUAL, MN)的3M公司生产的福罗瑞内特牌电子液体(Fluorinert™ Electronic Liquid) FC-72 ($n \approx 1.25$) 或者FC-75 ($n \approx 1.27$) 传热介质。但是, 需要明白的是, 即使这种较低的折射系数(即

与诸如乙腈这样的普通有机溶剂电泳介质的 $n \approx 1.33$ 相比), 也不足以相对于具有1.5至1.7范围内的折射系数的普通塑料介质(比如聚碳酸酯, $n \approx 1.59$)获得较大的折射系数比率。尤其是, 在这种情况下系数比率为 $n_2/n_1 = 1.59/1.27 \approx 1.25$, 其对应于一个较大的临界角53度, 该角度是在这样的一个界面处获得TIR现象所需要的。

为了获得与一种福罗瑞内特牌(Fluorinert™)电泳介质相关的所需的高临界角, 相邻材料(假设为一种形成有等腰直角棱柱的棱柱形材料)必须具有这样一个折射系数, 该折射系数至少为 $n_1 = 2^{1/2} \cdot n_2 = 2^{1/2} \cdot 1.27 \approx 1.8$, 该折射系数无法利用廉价的塑料材料获得。实际上, 相邻材料的折射系数最好大约为2.0, 以有利于入射到图像显示器表面上的光线发生TIR现象, 所述入射光线位于一个接近垂直于显示器表面的角度范围内, 但并非精确地垂直于显示器的表面。某些陶瓷材料的折射系数基本上大于1.8。但是, 在这些材料上精密复制棱柱形表面是困难而昂贵的。

本发明克服了前述难题。

发明内容

本发明提供了一种供沿着一最佳观看方向观看图像的图像显示器。这种显示器具有平行、宏观上平整、带有构造面(structured surface)、非光吸收性光折射和反射部分, 它们沿着相互垂直的方向纵向对称, 并且都垂直于最佳观看方向。一种包含大量可移动组元(优选地是悬浮在介质中的微粒)的液体(优选地是一种电泳介质)与光反射部分接触。一个控制器施加电磁力以选择性地(优选地电泳性地)使得所述组元移动到一个与光反射部分相邻的隐失波区域内, 来阻止光线在光反射部分上的选定部位处发生TIR。位于光折射部分上的构造面, 通过使得沿着最佳观看方向入射的光线具有一个沿着光反射部分的纵向对称方向的方向分量, 使所述光线朝光反射部分偏斜。位于光反射部分上的构造面, 在除了TIR受阻的所选定位置之外的位置处将折射的光线向光折射部分全内反射。随后, 光折射部分上的构造面再次折射全内反射的光线, 消除其上的方向分量, 以便折射后的全内反射光线沿着一个基本上平行于最佳观看方向的方向从显示器中射出。

所述构造面优选地为棱柱表面。在第一实施例中，光折射部分是一个薄板的外向表面，其上承载有相互平行延伸的大量第一棱柱；并且，光反射部分是所述薄板上承载有大量第二棱柱的内向表面，所述第二棱柱相互平行地延伸并且基本上垂直于大量的第一棱柱进行延伸。该薄板由一种折射系数大于或者等于1.6的材料制成，优选地由一种折射系数大约为1.73的复合聚合物材料制成。有利的是，电泳介质具有大约1.27的折射系数，比如福罗瑞内特牌电子液体(Fluorinert™ Electronic Liquid)。

在第二实施例中，光折射部分是：(i) 一第一薄板，其具有一个承载有相互平行延伸的大量第一棱柱的外向表面，并具有一个相对立的平整内向表面，(ii) 一个基本上平行于第一薄板的第二薄板的外向表面，该第二薄板的外向表面承载有相互平行延伸的大量第二棱柱，这些第二棱柱平行于大量的第一棱柱而延伸，和(iii) 一个位于第一薄板与第二薄板之间的间隙。该第二实施例的光反射部分是位于所述第二薄板的内向表面上的大量第三棱柱，这些大量的第三棱柱相互平行地延伸、并且基本上垂直于大量的第一和第二棱柱而延伸。

在第三实施例中，光折射部分是：(i) 一个第一薄板，其具有一个平整的外向表面、并具有一个相对立的内向表面，该内表面承载有相互平行延伸的大量第一棱柱，(ii) 一个基本上平行于第一薄板的第二薄板的平整外向表面，和(iii) 一个位于第一薄板与第二薄板之间的间隙，其中容置有一种低折射系数介质。该第三实施例中的光反射部分是位于所述第二薄板的内向表面上的大量第二棱柱，这些大量的第二棱柱相互平行地延伸并且基本上垂直于大量的第一棱柱进行延伸。

在第四实施例中，光折射部分是一个第一薄板，该第一薄板具有一个平整的外向表面和一个相对立的内向表面，该内向表面承载有相互平行延伸的大量第一棱柱；并且，光反射部分是一个第二薄板，该第二薄板具有一个基本上平行于第一薄板的平整内向表面，并且具有一个相对立的外向表面，该外向表面承载有大量的第二棱柱，这些第二棱柱相互平行地延伸并且基本上垂直于大量的第一棱柱进行延伸。该第四实施例的光折射部分包括一个位于第一薄板与第二薄板之间的间隙，其中容置有一种低折射系数介质。

在第二、第三或者第四实施例中，所述薄板可以由一种折射系数大于或者等于约1.6的材料制成，而电泳介质仍然具有大约1.27的折射系数，比如福罗瑞内特牌电子液体(Fluorinert™ Electronic Liquid)。

在第一实施例中，大量的第一棱柱优选地是60度角的等腰棱柱，而大量的第二棱柱优选地是直角等腰棱柱。在第二实施例中，大量的第一棱柱优选地是顶点对应角度 θ 的等腰棱柱，所述角 θ 作为第一薄板折射系数的函数而变化，且大量的第二和第三棱柱优选地是直角等腰棱柱。在第三实施例中，大量的第一棱柱优选地为60度等腰棱柱，且大量的第二棱柱优选地是直角等腰棱柱。在第四实施例中，大量的第一和第二棱柱优选地为60度等腰棱柱。

在第三或者第四实施例中，低折射系数介质优选地具有低于或者等于约1.27的折射系数，比如福罗瑞内特牌电子液体(Fluorinert™ Electronic Liquid)。

附图说明

图1示意性示出了在玻璃:空气界面处发生折射的光线；

图2是根据本发明的图像显示器的一部分的放大视图，在该图像显示器中结合有一个反射性材料薄板，在该反射性材料薄板的相对侧面上带有相互垂直延伸的棱柱，并且示出了与一种电泳介质接触的下部棱柱表面，以在下部棱柱表面与电泳介质之间的“TIR界面”处实现全内反射（“TIR”）的可控阻止；

图3A、3B和3C分别为图2装置的放大的正向剖视图、侧向剖视图以及俯视平面图，其示出了发生TIR的光线；

图4类似于图3A，示出了微粒穿过图2装置中的电泳介质的电泳运动，以改变所述装置在TIR界面处的光学性能。图4的左侧示出的是未发生电泳活动，从而入射到TIR界面上的光线发生TIR现象。图4的右侧示出了电泳移动到TIR界面处的微粒，阻止了TIR现象，使得入射到TIR界面上的光线不发生TIR现象；

图5A和5B分别是根据本发明的一可选实施例的图像显示器的一部分的放大侧向剖视图和端部正视图，该图像显示器具有一个光折射部分，该光折射部分在两个指向外侧的平行棱柱形表面之间具有气隙，并且具有一

个互补的光反射部分，该光反射部分在指向内侧的棱柱表面与一种电泳介质之间具有TIR界面；

图6是一个放大的正向剖视图，描绘了一种用于图5A - 5B所示装置的上部棱柱表面的优选棱柱结构；

图7是一个曲线图，绘出了图6中所示等腰棱柱角度的优选值 θ 与材料的折射系数 n 的函数关系，所述材料用于制取图5A - 5B所示装置的上部棱柱表面；

图8A和8B分别是根据本发明又一可选实施例的图像显示器一部分的放大侧向剖视图和端部正视图，该图像显示器具有一个光折射部分，该光折射部分在相对的棱柱表面之间带有一种低折射系数介质，并且具有一个互补的光反射部分，该光反射部分在内侧棱柱表面与电泳介质之间具有TIR界面；以及

图9A、9B、9C和9D均类似于图8B，示出了分别具有直角等腰棱柱（图9A）、梯形棱柱（图9B）、抛物线形棱柱（图9C）以及60度的等腰棱柱（图9D）形状的光反射结构。

具体实施方式

图2和3A - 3C描绘了一个反射材料薄板10，其折射系数优选地大于1.65，更优选地是大于或者等于1.73。尽管这是一个远高于诸如 $n \approx 1.59$ 的聚碳酸酯的普通塑料的折射系数的适当高的折射系数，但是其也能够通过使用一种较高折射系数的复合聚合物材料来达到，比如亚光学尺寸（sub-optical size）的氧化锆微粒在一种透明聚合物中的悬浮体，其在实验中达到了 $n \approx 1.73$ 。尤其是，如Mohammadi在Colloidal Refractometry: Meaning and Measurement of Refractive Index for Dispersions; The Science That Time Forgot, Advances in Colloid and Interface Science 62 (1995) 17-29中所论述的那样，公知的是，亚光学尺寸的高折射系数微粒在低折射系数介质中的弥散在光学上类似于一种中等折射系数的均质介质，随着高折射系数微粒浓度的提高，折射系数增加量增大。

薄板10形成了一个具有内表面12和外表面14的图像显示器。观看者16沿着一个基本上垂直于表面12、14的优选观看方向通过外表面14观看显示内容。内表面12上具有大量的棱柱18，这些棱柱18沿着第一纵向20相互平

行地延伸。外表面14上也有大量的棱柱22，这些棱柱22沿着第二纵向24相互平行地延伸，第二纵向24基本上垂直于第一纵向20。内表面棱柱18优选地为直角等腰棱柱。也就是说，各个内表面棱柱18的内面顶点对着90度角，正如在图2中示出的那样。各个内表面棱柱18的各个面因此相对于一个沿着第三方向26延伸的向量倾斜45度，所述第三方向26垂直于第一纵向20和第二纵向24两者。外表面棱柱22也优选地为等腰棱柱，但是并非直角等腰棱柱。相反，各个外表面棱柱22的外面顶点优选地对角60度角，正如在图2中示出的那样。

棱柱18、22可以通过对一个原本平整的薄板进行微机械加工形成棱柱而成形在薄板10的相对表面上；或者，通过任何一种公知的精确模制技术而成形在薄板10的相对表面上，同时，模具本身被微机械加工成所需的负片形状。所述棱柱要足够大，以具有相当高的光学质量（即各个棱柱的底宽于约10微米），但是又要足够小，以便肉眼基本上看不见（即各个棱柱的底只有约250微米宽）。薄板10因此在宏观上基本上是平整的，但是在微观上呈棱柱形状。

通过将一种电泳介质28容置在由下部薄板限定而成的容器30中，保持电泳介质28与内棱柱表面12接触。电泳介质28优选地是一种低折射系数、低粘度、电绝缘的液体，比如由明尼苏达州圣保罗市(St. Paul, MN)的3M公司生产的福罗瑞内特牌电子液体(Fluorinert™ Electronic Liquid) FC-72 ($n \approx 1.25$) 或者FC-75 ($n \approx 1.27$) 传热介质。假设利用一种高折射系数的复合聚合物材料制取薄板10，从而在棱柱18与介质28之间形成一个复合聚合物:福罗瑞内特(Fluorinert)的“TIR界面”。介质28中含有光散射和/或光吸收微粒34的微细弥散悬浮体(图4)，比如染过色的或者其它的散射/吸收性氧化硅微粒($n \approx 1.44$)、染过色的或者其它的散射/吸收性乳胶微粒($n \approx 1.5$)等等。下部薄板的光学特性相对来说不太重要；下部薄板仅用于制取一个用于容置电泳介质28和微粒34的容器。

正如前面所解释的那样，优选地在TIR界面处存在有一个小的临界角，因为这将提供一个能够发生TIR现象的较大角度范围。一种高折射系数复合聚合物材料的折射系数($n \approx 1.79$)与福罗瑞内特(Fluorinert)的折射系数的比形成一个约47度的临界角，该角度并非足够小到使入射到形成于复合聚合物:福罗瑞内特(Fluorinert)界面上的直角等腰棱柱上的光线发生TIR现象。但

是，正如下面将要描述的那样，本发明能够在复合聚合物:福罗瑞内特(Fluorinert)界面处实现TIR。

尤其是，正如在图3A - 3C和4中的42处所示出的那样，入射光线40以约60度的入射角遇到由外棱柱22中的一个的小平面(facet)形成的空气:复合聚合物界面，并且被该棱柱向内棱柱表面12折射。对于折射系数比为1:1.73的空气:复合聚合物界面来说，折射角度大约为30度。在发生前述的折射之前，光线40基本上在第一纵向20上不存在分量。前述折射现象通过使该光线具有一个第一纵向20上的行进分量来使之偏转。众所周知(参见:L.A. Whitehead, Simplified Ray Tracing in Cylindrical Systems, Applied Optics, Vol. 21, No. 19, pp. 3536-3538, 1982年10月1日)，这种折射提高了薄板10的有效折射系数(平移对称系统(a translationally symmetrical system)内纵向上的一个行进分量的增加相对于光线的平移运动来说增大了有效折射系数)。尤其是，如果入射光线40偏离入射法线方向30度，如图3A所示，则如果薄板10相对于电泳介质28的折射系数比为1.64，那么将在复合聚合物:福罗瑞内特(Fluorinert)界面处发生TIR，正如前面所解释的那样，比率1.64远小于其它情况下所需的值1.8。折射光线42因此以一个角度在TIR界面遭遇到一个内棱柱18的第一表面，如44处所示，所述角度明显超过了TIR界面的47度临界角，并且被全内反射成光线46。如图3C中清楚示出的那样，光线46以相对于两个纵向20和24的一个角度反射。反射光线46随后遭遇到一个相邻内棱柱18上的与第一棱柱表面相对的第二表面，如48处所示，并且再次在第二棱柱表面发生TIR，因为其入射角度明显大于TIR界面的47度临界角。在如前所述那样在回反射(retro-reflective)内棱柱表面12处发生两次TIR之后，回反射光线50将穿过复合聚合物:空气界面折射，并且如51处所示，沿着一个近乎180度相反于原始入射光线40的方向(即在一个基本上平行于最佳观看方向的方向上)射出，从而使得反射光线具有“亮洁”的显示效果。

可以看出，图2的装置具有互补的光折射和光反射特性。外棱柱22构成了显示器的“光折射”部分；并且，内棱柱18与介质28之间的TIR界面构成了显示器的“光反射”部分，其中，微粒34如下所述那样相对于该界面电泳移动。“光折射”部分折射几乎垂直入射的光线，以便该光线获得一个沿一“纵向对称”方向的前行分量。如果一个物体的在一个垂直于一特定

方向的平面内的剖面形状在该方向平移不变，那么该物体沿着所述特定方向纵向对称。在一个纵向对称物体的任何表面上的任何位置处，该表面的法线向量均垂直于物体的纵向对称方向。如在上述Whitehead的文章中所描述的那样，通过对形成纵向对称物体的各种材料赋予一个有效折射系数（取决于纵向上的运动程度），可以具有数学地精度模拟光线在纵向对称物体横剖面内的传播，说明光线在该纵向上的运动。因此，内棱柱18沿着第一纵向20纵向对称，而外棱柱22沿着第二纵向24纵向对称。棱柱22首先将近乎垂直的入射光线40朝向第一纵向20偏转（即如图3C所示那样，折射光线42具有平行于第一纵向20的一个方向分量），所述第一纵向20是棱柱18的纵向对称方向。如前所述这增大了棱柱18的有效折射系数，使得如前所述那样更易于在位置44、48处获得TIR。在如前所述那样发生两次TIR之后，回反射光线50再次由棱柱22沿着棱柱18的纵向对称方向进行折射，精确地消除或者去除了初始折射的影响，并且允许光线51沿着近乎180度相反于原始入射光线40的方向的方向射出。

如图4所示，可以经由电极52、54横跨电泳介质28施加一个电压，所述电极52、54分别设置于表面12和32上。电极52是透明的并且相当薄，以便其不会干扰TIR界面处的入射光线。电极54无需是透明的。如果通过启动电压源56以横跨介质28施加一个电压来作用于电泳介质28，正如在图4中所描绘的右半部分介质28那样，悬浮微粒34电泳移动到约0.25微米TIR界面内（即内棱柱表面12附近的隐失波区(evanescent wave region)）。在如前所述那样发生电泳移动时，微粒34散射或者吸收光，从而防止棱柱18表面处的TIR。这由图4中的光线58示出，该光线随着其在TIR界面处的隐失波区内撞击微粒34而被散射和/或吸收，如59处所示，从而在非反射性的散射/吸收区域内获得一个“暗”的显示效果。颠倒所加电压的极性使得微粒34电泳移动到隐失波区域之外，从而恢复“亮洁”的显示效果。

通过对经由电极52、54横跨介质28施加的电压进行转换控制，可以控制内棱柱表面12的光学特性。例如，可以对电极52、54进行划分，以控制电泳微粒进入到与表面12上的不同点相邻的隐失波区域内。可以启动电极52、54上用于表面12的选定位置的特定区段，来使得微粒34移动到在这些位置处与表面12相邻的隐失波区域内，或者从其中移出，同时，各个位置

因此而构成一个可切换的“像素”，并且所有的像素集合起来形成一个显示器。

除了具有所需的低折射系数之外，福罗瑞内特(Fluorinerts)还非常适合于使用在根据本发明制成的显示器中，因为它们是优质的电绝缘体，并且是惰性的。福罗瑞内特(Fluorinerts)也具有低粘度和高密度，所以悬浮在福罗瑞内特(Fluorinerts)中的微粒可以相对容易地发生电泳移动。正如前面所指出的那样，高折射系数复合聚合物材料是一种优选的适用于制取薄板10的高折射系数材料。薄板10优选地是光学洁净的，并且具有高的折射系数，该折射系数优选地在可见光波长范围内大于或者等于1.6。“光学洁净”是指垂直入射到所述材料上的光线的大部分将穿过所述材料的特定厚度，同时这些光线仅有一小部分被所述材料散射和/或吸收掉。随着光线穿过所述材料，这种散射和/或吸收现象（通常是两种现象都有）导致光学透明度降低。薄板10的厚度仅需要10微米左右。对于本发明目的来说，如果10微米厚的这样的材料仅散射和/或吸收垂直入射光的一小部分，那么在块状形式下“不透明”的材料仍然是“光学洁净”的。高折射系数复合聚合物材料也非常适用于根据本发明制成的显示器，因为其具有低的吸收/散射特性，并且因此在前述波长范围内具有高的光学透明度。此外，可以对高折射系数复合聚合物材料进行模制，以获得如前所述的所需回反射微结构。

借助于电极52、54和电压源56横跨介质28施加一个电压，就向微粒34施加一个静电力，使得它们如前所述那样移动到隐失波区域内。当微粒34移动到隐失波区域内时，它们必须能够通过散射和/或吸收所述隐失波而阻止TIR界面处的TIR。尽管微粒34的直径可以大至1微米，但是微粒的直径优选地明显地为亚光学的（即小于1微米的量级，通常为100纳米的直径），使得TIR界面处的微粒单层完全填充隐失波区域。如果微粒34的直径大约为1微米，那么获得有用的结果，但是显示器的对比度会减低，因为微粒34在TIR界面处紧密堆积在一起的能力受到了其直径的限制。尤其是，在临界角附近，隐失波会在介质28中延伸得更远，从而直径大约为1微米的微粒能散射和/或吸收所述波，从而阻止TIR。但是，随着入射光线撞击TIR界面的角度相对于临界角不断增大，隐失波区域的深度会明显减少。直径相对较大（即1微米）的微粒无法尽可能紧密地堆积在这个小厚度区域内，从而这些微粒无法以所需程度阻止TIR。但是，直径较小（即100纳米）的微粒可以

紧密地挤压在这个小厚度区域内，从而这些微粒能够阻止入射光线的TIR，其中，所述入射光线以超过临界角的角度撞击TIR界面。

对TIR的机械阻止（即，如1999年9月28日授权的美国专利No.5959777中所公开的那样，使一个弹性薄板移动到隐失波区域内或者从隐失波区域内移出）优选地在一个平整的表面实现，因为在一个平整的表面上更易于实现光学接触。在棱柱表面上相对难以机械阻止TIR，因为在棱柱表面与所述部件之间难以获得所需的对齐精度，所述部件将机械移动到与棱柱表面发生接触和脱离与棱柱表面发生接触。但是，电泳介质28易于流动而围绕回反射性内棱柱表面12，从而消除对齐困难，并且能够在实际中使用棱柱形微观构造面作为TIR界面。

如在图3A中所示的那样，与薄板10的1.73折射系数相结合，外棱柱22的60度角的一个重要特征在于，入射光线40由棱柱22中的一个的小平面22A中的一个折射，以便折射光线42基本上平行于相对成角度的棱柱小平面对22B。因此，由于与相对成角度的棱柱小平面对22B的相互作用，会损失非常少量的由折射光线42代表的光线。还有，通过回反射光线50的后续折射，避免或者消除了折射光线42的任何弥散。另一优点在于，发生了两次TIR反射（即，如前所述那样在44和48处），这减少了在棱柱18的小平面处每次反射所需要的光线吸收量，以达到所需的对比度。

总体而言，本发明提供了一种光折射光学系统和一种光反射光学系统，所述光折射光学系统沿着一个方向纵向对称，而所述光反射光学系统沿着一个垂直方向纵向对称。两个纵向对称方向相互垂直于最佳观看的第三方向，该第三方向本身垂直于构成所述两个光学系统的宏观平整、微观上带有结构表面、平行、薄的材料。但是，图2-4中的实施例是符合本发明前述一般特性的诸多可能实施例中的一个特殊示例。图2-4中所示实施例可以在较高的光效率条件下进行工作，并且在反射系统中获得TIR，这种TIR现象服从于电泳或者其它合适的电磁控制，但是这些所需特性均不是本发明大多数通用形式的关键之处。为了进一步图示出本发明的通用性，有用的是考虑多个替换实施例，这些实施例相对于图2-4中所示实施例具有不同的优点和缺点。

图5A和5B描绘了本发明的一个这样的实施例，其中，内聚合物薄板10A和外聚合物薄板10B由一个气隙11分隔开，以形成一个供观看者16观看的图

像显示器。内部或者“第一”薄板10A的内向表面12A上具有大量指向内侧的棱柱18A，这些棱柱18A沿着第一纵向20A相互平行延伸。内薄板10A的相对的、外向表面上承载有大量指向外侧的棱柱22A，这些棱柱22A沿着第二方向24A相互平行延伸，并且基本上垂直于第一纵向20A。棱柱18A和棱柱22A优选地为直角等腰棱柱。也就是说，各个棱柱18A的内向面顶点对着90度角，并且各个棱柱22A的外向面顶点对着90度角。各个棱柱18A的各个面因此相对于一个沿着第三纵向26A延伸的向量倾斜45度角，所述第三纵向26A垂直于第一纵向20A和第二纵向24A；并且，各个棱柱22A的各个表面也相对于同一向量倾斜45度。

外部或者“第二”薄板10B的外向表面14A上承载有大量指向外侧的棱柱23，这些棱柱23沿着第二纵向24A相互平行延伸，并且基本上平行于棱柱22A。薄板10B的内向表面14B是平整的。棱柱23优选地为等腰棱柱，但并非直角等腰棱柱。相反，各个棱柱23的外向面顶点优选地对角 θ ，正如下面参照图6和7所描述的那样。正如前面所描述的那样，所有的棱柱必须足够大，以具有相当高的光学质量（即，各个棱柱的底宽于约10微米），但是又要足够小，以便肉眼基本上难以分辨（即各个棱柱的底仅约250微米宽）。一种电泳介质保持与内向棱柱表面12A接触，该电泳介质中含有微细弥散的光散射和/或吸收微粒的悬浮体（在图5A - 5B中未示出）。如同前面参照图4所描述的那样，设置有电极（未示出）和一个电压源（未示出），以在电泳介质内可控地电泳移动所述微粒，来选择性地阻止在电泳介质与棱柱表面12A之间的界面处发生TIR现象。

尽管图5A - 5B中所示实施例比图2 - 4中所示实施例更为复杂，并且甚至更易于受到内部界面处的所不希望的局部反射的影响，但是图5A - 5B中所示实施例的优点在于，其可以利用低折射系数的聚合物材料（即 $n \approx 1.6$ ）构造。具体地说，图5A - 5B中所示实施例相对于图2 - 4中所示实施例来说具有更大的有效折射系数的增加。通过考虑一个典型光线的路径可以明白这一点。入射光线62以约62度的角遭遇到由棱柱23中的一个的小平面形成的空气:聚合物界面，并且朝向平整的内向表面14B折射，从而折射光线64基本上平行于棱柱23的相对成角度的小平面。因此，由于与棱柱23的相对成角度的小平面的相互作用，损失非常少量的由折射光线64代表的光线。通过穿过表面14B而出射到气隙11内，光线64再次以约45度的角度发生

折射，成为光线66，从而，进一步折射的光线66基本上垂直于棱柱22A的左向小平面（如同在图5A中所看到的那样），并且基本上平行于棱柱22A的相对成角度的小平面（即如同在图5A中看到的那样，朝向右侧）。因此，光线66基本上垂直地撞击到棱柱22A的一个小平面上，并且从而最低限度地在气隙11与薄板10A之间的空气:聚合物界面处折射，作为光线68穿入薄板10A，该光线68基本上平行于棱柱22A的相对成角度的小平面。光线68具有一个沿着棱柱18A的纵向对称方向20A的基本分量，从而如前所述那样提高薄板10A的有效折射系数。需要注意的是，光线68仅偏离方向20A45度，而在图2-4所示实施例中的等效角度为60度，因此，在这种情况下的折射系数增大效果更为明显，这允许薄板10A、10B由一种（非复合的）聚合物材料制成，这种材料具有低至1.6的折射系数。也就是说，如果薄板10A相对于电泳介质的折射系数比率为1.6，那么将会在内向表面12A处的聚合物:福罗瑞内特(Fluorinert)界面处发生TIR现象，正如前面所描述的那样，1.6的折射系数比率明显低于以其它方式所需的值1.7。折射光线68从而会在TIR界面处以一个角度遭遇到一个内向棱柱18A的第一表面，正如在70处所示出的那样，所述角度超过了TIR界面的临界角（对于一种折射系数为1.59的聚合物和折射系数为1.27的福罗瑞内特牌电子液体(Fluorinert™ Electronic Liquid) FC-75来说，为53度），并且正如在72处所示出的那样发生全内反射。随后，反射光线72会遭遇到一个相邻内向棱柱18A的第二表面，该第二表面与第一棱柱表面相对，正如在74处所示出的那样，并且再次在该第二棱柱表面处发生TIR现象，因为反射光线72遭遇到第二棱柱表面之处的角度超过了TIR界面的53度临界角。在如前所述那样在回反射内向棱柱表面12A处发生两次TIR之后，回反射光线76基本上垂直于棱柱22A的右向小平面（正如在图5A中所看到的那样），并且基本上平行于棱柱22A的相对成角的小平面（即正如在图5A中所看到的那样，朝向左侧）。因此，光线76基本上垂直地撞击棱柱22A的一个小平面，从而最低限度地在薄板10A与气隙11之间的聚合物:空气界面处发生折射，作为光线78穿过气隙11。

光线78以约45度的角度在平整表面14B处遭遇到空气:聚合物界面，并且朝向棱柱23发生折射，从而折射光线80基本上平行于棱柱23的左向小平面（正如在图5A中所看到的那样），并且基本上垂直于棱柱23的相对成角的小平面（即正如在图5A中所看到的那样，朝向右侧）。因此，由于与棱

柱23的相对成角的小平面相互作用，损失非常少量的由折射光线80代表的光线。光线80穿过聚合物:空气界面再次射出，并且正如在82处所示出的那样，在一个几乎180度相反于原始入射光线62的方向的方向上射出，从而使得反射光线具有“亮洁”的显示效果。

图5A-5B中所示装置，类似于图2-4中所示装置，具有互补的光折射和光反射特性。棱柱23、内向表面14B、以及棱柱22A共同构成显示器的“光折射”部分；并且，内向棱柱表面12A和电泳介质之间的TIR界面构成了显示器的“光反射”部分。光折射部分对近乎垂直入射的光线进行折射，从而使得它们获得一个沿着显示器上反射部分的纵向对称方向的基本方向分量。更具体地说，棱柱23、内向表面14B、以及棱柱22A的共同作用是使得近乎垂直入射的光线朝向棱柱18A的纵向对称方向发生偏斜，以提高薄板10A的有效折射系数，并且使得更易于在位置70、74处获得TIR。在如前所述那样发生了两次TIR之后，回反射光线76再次被棱柱22A和23沿着棱柱18A的纵向对称方向折射，精确地消除或者去除初始折射的影响，并且允许光线82沿着一个几乎180度相反于原始入射光线62的方向的方向射出。

正如在图6中所示出的那样，各个棱柱23的外向面顶点对着相对成角度的棱柱小平面84、86之间的角度 θ 。 θ 作为制取薄板10B的材料的折射系数的函数而加以选择，从而撞击一个小平面84的垂直或者近乎垂直的入射光线62基本上平行于相对成角度的小平面86而折射（即作为光线64）。因此，由于与相对成角度的小平面86的相互作用，所以损失了非常少量的由折射光线64代表的光线。图7示出了 θ 与折射系数的关系曲线。例如，如果薄板10B由一种折射系数 $n \approx 1.73$ 的复合聚合物材料制成，那么 θ 优选地大约为60度。但是如果薄板10B由一种折射系数 $n \approx 1.59$ 的非复合聚合物材料制成，那么 θ 优选地大约为56度。

图8A-8B描绘出了本发明的再一个可选实施例，其中，内向非复合聚合物薄板10C和外向非复合聚合物薄板10D由一个流体间隙11A分隔开，以形成一个供观看者16观看的图像显示器。内向或者“第一”薄板10C的内向表面12C上承载有大量指向内侧的棱柱18B，这些棱柱18B沿着第一纵向20B相互平行延伸。内向薄板10C的相对的外向表面12D是平整的。外向或者“第二”薄板10D的内向表面14D承载有大量指向内侧的棱柱23B，这些棱柱23B沿着第二纵向24B相互平行延伸，并且垂直于棱柱18B。薄板10D的相对的

外向表面14C是平整的。一种诸如福罗瑞内特牌电子液体(Fluorinert™ Electronic Liquid)($n \approx 1.27$)的低折射系数介质被留置于棱柱表面12D与14D之间的间隙11内。在间隙11A中容置一种低折射系数介质减小了进入内向薄板10C的光线发生折射的范围,从而保持内向薄板10C具有一个高的有效折射系数。

棱柱18B优选地是直角等腰棱柱。也就是说,各个棱柱18B的内向面顶点对着90度角。各个棱柱18B的各个表面因此相对于一个沿着第三纵向26B延伸的向量倾斜45度,所述第三纵向26B垂直于第一纵向20B和第二纵向24B两者。棱柱23B优选地为60度等腰棱柱。也就是说,各个棱柱23B的内向面顶点优选地对着60度角。各个棱柱23B的各个表面因此相对于前述沿着第三纵向26B延伸的向量倾斜30度。正如前面所描述的那样,所有棱柱均需足够大,以具有相当高的光线质量(即各个棱柱的底宽于10微米),但是又要足够小,以便肉眼基本上无法分辨(即各个棱柱的底仅250微米宽)。

一种诸如福罗瑞内特牌电子液体(Fluorinert™ Electronic Liquid)($n \approx 1.27$)的电泳介质保持与内向棱柱表面12C接触,该电泳介质中含有一种微细弥散的光散射和/或吸收微粒(在图8A-8B中未示出)。如同前面参照图4所描述的那样,设置有电极(未示出)和一个电压源(未示出),以在电泳介质内可控地电泳移动该微粒,以选择性地阻止电泳介质与棱柱表面12C之间的界面处的TIR。

图8A-8B中所示实施例也比图2-4中所示实施例更为复杂,并且更易于受到内部界面处的局部内反射的影响。但是,类似于图5A-5B中所示实施例,图8A-8B中所示实施例的优点在于,其可以由非复合的低折射系数聚合物材料(即 $n \approx 1.59$)构造而成,因为图8A-8B中所示实施例相对于图2-4中所示实施例具有一个更大的有效折射系数的增加。考虑一条典型的光线的路径可以明白这一点。入射光线62A穿过外向薄板10D的平整外向表面14C,在由一个棱柱23B的一个小平面形成的聚合物:福罗瑞内特(Fluorinert)界面处发生TIR,并且作为光线64A基本上垂直于棱柱的相对成角度的小平面对发生折射。因此,光线64A最低限定地在薄板10D与流体间隙11A之间的聚合物:福罗瑞内特(Fluorinert)界面处发生折射,作为光线66A穿入间隙11A。光线66A具有一个沿着棱柱18B的纵向对称方向20B的基本分量,从而如前所述那样提高薄板10C的有效折射系数。

光线66A穿过流体间隙11A，以大约60度的角度遭遇到薄板10C的平整外向表面12D，并且作为光线68A进入薄板10C内，同时发生某种程度的折射。需要注意的是，光线68A仅偏离方向20B 43度，而在图2-4中所示实施例中的等效角度为60度，从而在这种情况下折射系数的增大效果更为明显，这允许薄板10C和10D由一种折射系数低至1.6的(非复合)聚合物材料制成。也就是说，如果薄板10C相对于间隙11A中流体的折射系数比率为1.6，那么将会在内向表面12C处的福罗瑞内特(Fluorinert):聚合物界面处发生TIR现象，1.6的折射系数比率明显低于其它情况下所需的1.7的值，正如前面所描述的那样。光线68A因此以一个角度在TIR界面处遭遇到一个内向棱柱18B上的第一表面，正如在70A处所示出的那样，所述角度超过了TIR界面的临界角(对于一种折射系数为1.59的聚合物相对于折射系数为1.27的福罗瑞内特牌电子液体(Fluorinert™ Electronic Liquid) FC-75来说，为53度)，并且如同在72A处所示出的那样发生全内反射现象。反射光线72A随后遭遇到一个相邻内向棱柱18B上的与第一棱柱表面相对的第二表面，正如在74A处所示出的那样，并且再次在第二棱柱表面处发生TIR，因为反射光线72A遭遇到第二棱柱表面的角度超过了TIR界面的53度临界角。在如前所述那样在回反射内向棱柱表面12C处发生两次TIR之后，回反射光线76A以大约43度的角遭遇到薄板10C的平整外向表面，并且作为光线78A进入流体间隙11A内，同时发生某种程度的折射。光线78A因此基本上垂直于棱柱23B的左向小平面(正如在图8A中所看到的那样)。因此，光线78A基本上垂直地撞击一个棱柱23B的一个小平面，并且因此最低程度地在间隙11A与薄板10D之间的福罗瑞内特(Fluorinert):聚合物界面处发生折射，作为光线80A进入到薄板10D内。光线80A随后在棱柱23B的相对成角度的小平面(即正如在图8A中所看到的那样，右侧处)处发生TIR现象，在这里如同在82A处所示出的那样进一步反射，并且随后以大约90度角遭遇到薄板10C的平整外向表面，从而在没有进一步折射的情况下作为光线84A从薄板10C中射出，并且其方向在几乎180度相反于原始入射光线62A的方向的方向上，从而使得反射光线具有“亮洁”的显示效果。

图8A-8B中所示装置类似于图2-4和图5A-5B中所示装置，具有互补的光折射和光反射特性。外向薄板10D的平整外向表面14C、棱柱23B、流体间隙11A以及内向薄板10C的平整外向表面12D共同构成了显示器上的

“光折射”部分；并且，流体间隙11A与棱柱18B之间的TIR界面构成了显示器上的“光反射”部分。光折射部分对近乎垂直入射的光线进行折射，从而使得它们具有一个沿着显示器反射部分的纵向对称方向的基本分量。具体地说，表面14C、棱柱23B、流体间隙11A以及表面12D的共同作用是使得近乎垂直的入射光线朝向棱柱18B的纵向对称方向偏转，提高了薄板10C的有效折射系数，并且使得更易于在位置70A、74A处获得TIR。在如前所述那样发生两次TIR之后，回反射光线76A再次被棱柱23B沿着棱柱18B的纵向对称方向进行折射，精确地消除或者去除初始折射的影响，并且允许光线84A沿一个几乎180度相反于原始入射光线62A的方向的方向射出。

图8A - 8B中所示实施例通过使用60度的棱柱23B获得了高的光效率，其中，所有的光线均如前所述那样发生了TIR，但却不会遭遇到将会导致所述光线偏离前述最佳路径的表面。另外一个优点在于，与图2 - 4和图5A - 5B所示实施例中的棱柱外向表面14或者14A相比，图8A - 8B所示实施例中的平整外向表面14C更易于维护。图8A - 8B中所示实施例的缺点在于，其需要两个由较低折射系数材料制成的独立薄板10C和10D，目前，所述材料仅能够以液态形式提供。尽管如此，与图2 - 4中所示实施例相比，图8A - 8B中所示实施例仍旧能够利用较低折射系数材料在宽角度范围内获得TIR。

图9A - 9D示了这样一个事实，即用于实施本发明的图像显示器的光反射部分无需采用直角等腰棱柱，而是可以引入纵向对称的其它形状。这种显示器的反射部分仅需要借助于TIR将大部分光线返回到显示器的光折射部分即可，同时，这种TIR现象是可以控制的，比如，如前所述那样利用电泳。为了便于比较，图9A描绘了一个具有光反射部分的图像显示器，所述光反射部分如同前面参照图8A - 8B所描述的那样结合有直角等腰棱柱88，并且示出了在一个棱柱88处两次发生TIR的光线90。图9B描绘了一个类似于图8A - 8B中所示的图像显示器，但是具有一个光反射部分，在该光反射部分中结合有取代直角等腰棱柱的梯形结构92，并且示出了在一个结构92处三次经历了TIR的光线94。图9C描绘了一个类似于图8A - 8B中所示的图像显示器，但是具有一个光反射部分，在该光反射部分中结合有取代直角等腰棱柱的抛物线形结构96，并且示出了在一个结构96处两次经历了TIR的光线98。图9B所示显示器中的梯形结构92的缺点在于，初始遭遇到结构92的水平平整最下方表面（正如在图9B中所看到的那样）的光线，会直接穿过

其中，而不会发生反射以及由此而产生“损失”。图9C所示显示器中的抛物线形结构96的优点在于，某些两次经历了TIR现象的光线，比如光线100，不会返回到垂直入射方向（如同光线98那样），而是返回到一个呈镜反射(mirror reflection)特性的方向，这在不希望发生回反射现象的情况下是有益的。图9D描绘了一个类似于图8A - 8B中所示的图像显示器，但是具有一个带有外向60度的等腰棱柱102的光反射部分，所述外向60度的等腰棱柱将光线104折射到足够的程度，以便在平整的内向表面106处发生TIR。在这种TIR之后，外向棱柱102再次对光线进行折射，基本上沿着入射方向将其返回（正如分别在图9A、9B、9C中所示出的那样，光线90、94和98的情形也这样）。图9D中所示实施例的优点在于，内向表面106和外向表面108均为平整的，这可简化制造。但是，在图9D的实施例中TIR仅发生一次，而不是两次；因此，在图9D所示的实施例中必须更为彻底地阻止TIR，以达到所需的对比度。因此本领域技术人员将明白，显示器的光反射部分可以包括许多种不同的（甚至是随机的）基本上纵向对称的横截面形状，其优点在于比如制造成本较低、外形更为美观等等，但是，相对于直角等腰棱柱来说，也许会降低光效率。

正如本领域技术人员在前述内容的启示下将会明白的那样，在不脱离本发明范围的条件下可以替换和改进本发明的实施方式。例如，TIR的电泳受控阻止不是本发明的关键之处。取代电泳介质28和微粒34，人们可以使用一种含有大量可移动组元的液体，并且通过向所述组元施加合适的电磁和/或机械力来控制这些组元移动到与光反射光学系统相邻的隐失波区域内，或者从隐失波区域内移出。所述组元不必呈微粒状，而可以具有任何常规形状，比如细长的平板状。所述组元不必“悬浮”在液体中，而可以以某种方式加以约束。

作为另一个示例，对于由出射光线51（图3A，3B）代表的反射光线来说，有利的是仅具有半反射特性(semi-specular appearance)，以便显示器表面显得亮洁，并且不反射出观看者或他/她的周围物体的图像。这可以通过改进所述表面，或者通过向用于制取薄板10的材料赋予一种略微漫射的性能来实现，比如，通过将两个单侧棱柱薄板粘结在一起。在这种情况下，漫射作用可以仅在一个薄板中产生。可选择地，如果粘结材料的折射系数略

微有些不匹配，那么平整的内侧表面可以略微带有纹理，或者粘结材料本身将具有轻微的漫射。

作为又一个示例，在某些情况下所希望的是对显示器的光折射和/或光反射部分中的棱柱结构进行改变，使得反射光线相对于垂直的观看方向（即通常的优选观看方向）略微偏离。这是有用的，比如，假如用于观看显示器的光源位于观看者头部的上方。在这种情况下，所希望的是从光源方向接收光线，并且基本上朝向观看者的眼睛反射所述光线。在前述情况下，入射方向与出射方向之间的反射角的约10度至20度的偏离可以是有利的。这可以通过适当地改变棱柱的角度特性来实现。例如，在所有前述的实施例中，环绕一条平行于显示器的光反射部分的纵向对称方向的轴，显示器的光折射部分中棱柱表面的小程度旋转足以以所需方式折射该光线。

作为再一个示例，在图 8A - 8B 或者 9A - 9D 所示实施例中保留于间隙 11A 内的所述“低折射系数介质”不必是一种“流体”或者一种“液体”。一种折射系数大约为 1.27 的固态透明材料也可以工作。具有较高折射系数的材料也可以工作，只要形成光折射和反射系统的相邻材料的折射系数成比例地增大，使得折射系数的比率大于或者等于约 1.25 即可。本发明的范围根据下述权利要求所限定的主旨来形成。

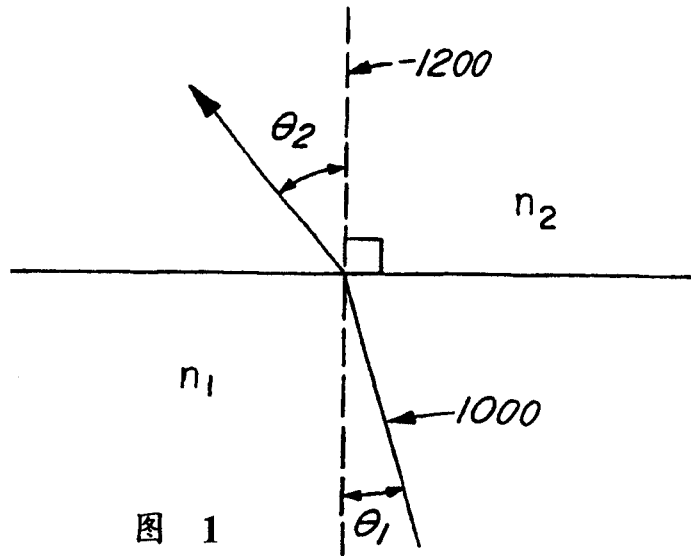


图 1

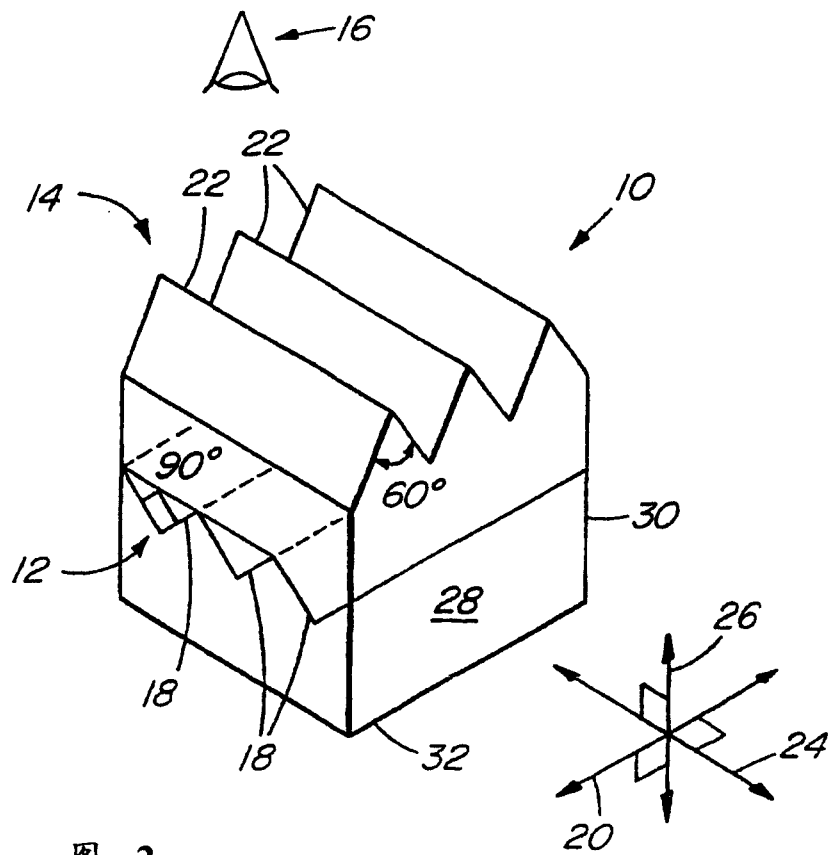


图 2

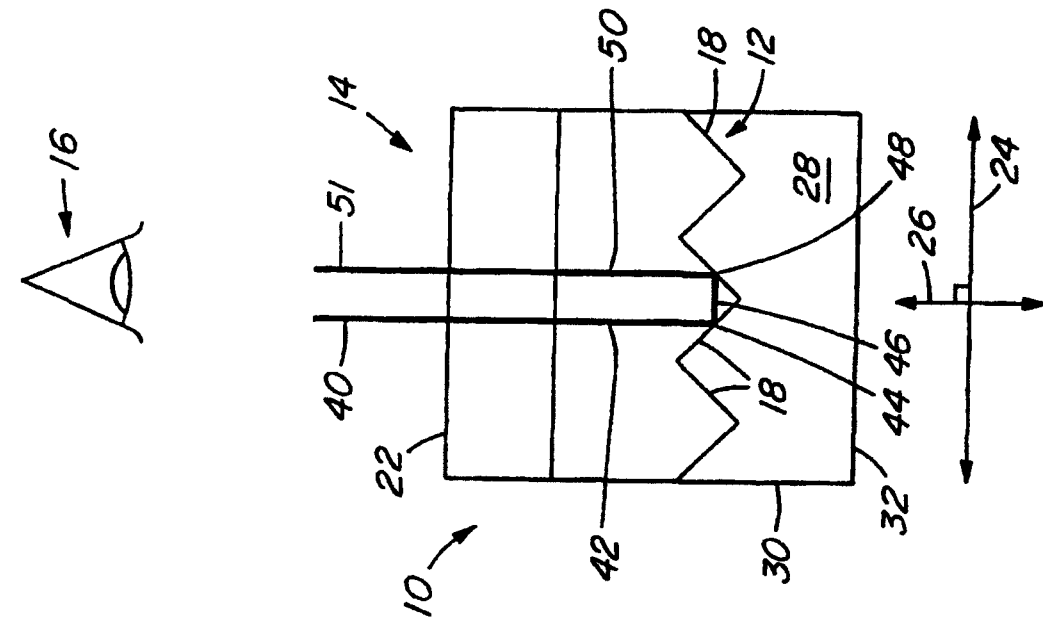


图 3A

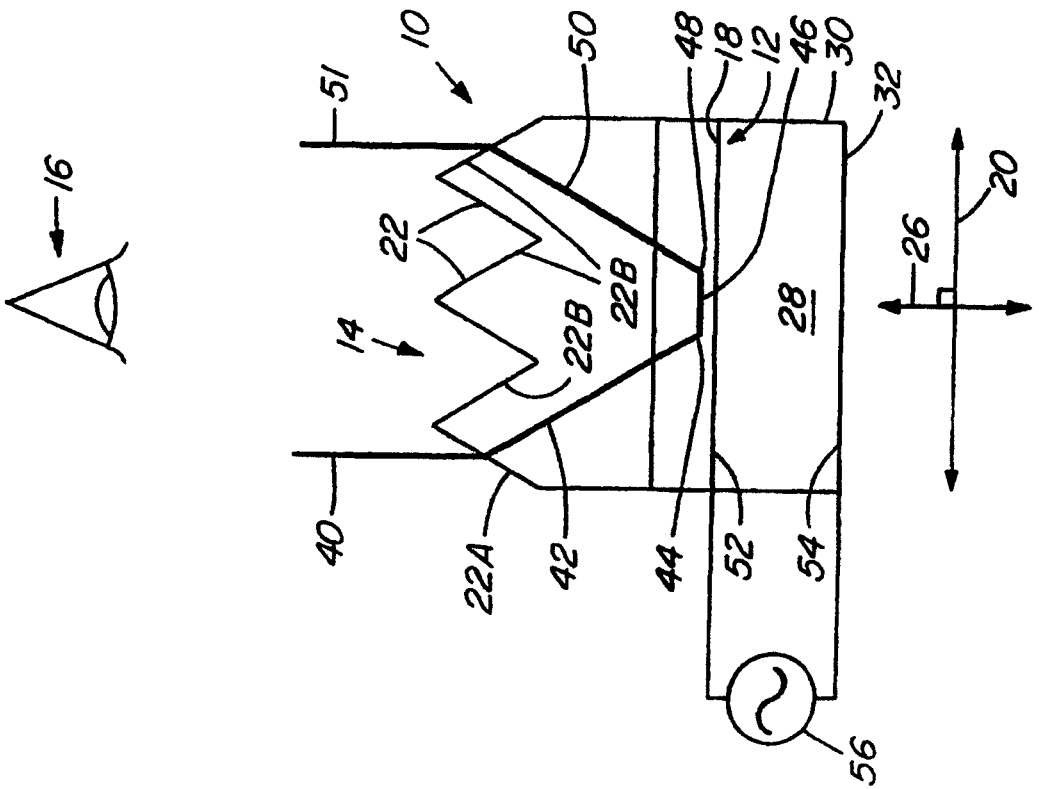


图 3B

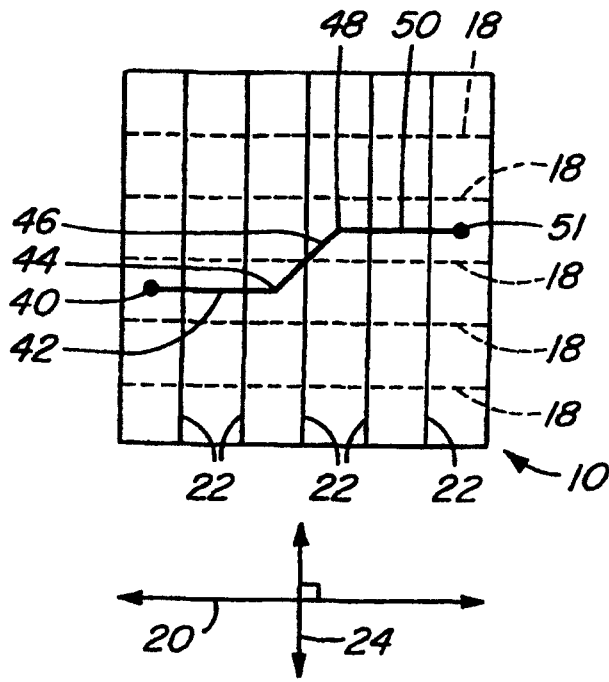


图 3C

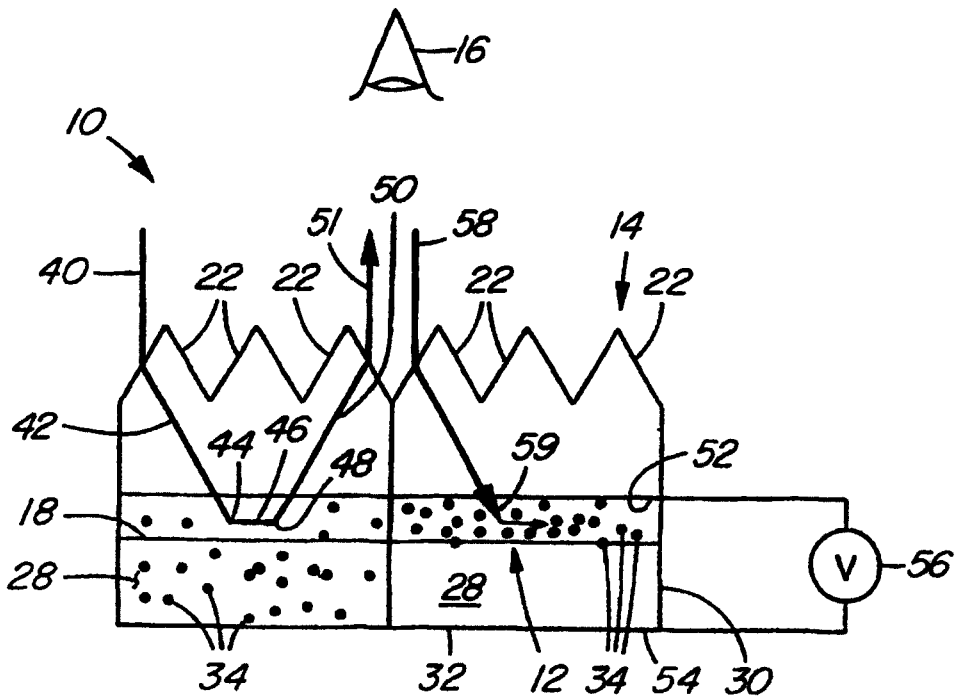


图 4

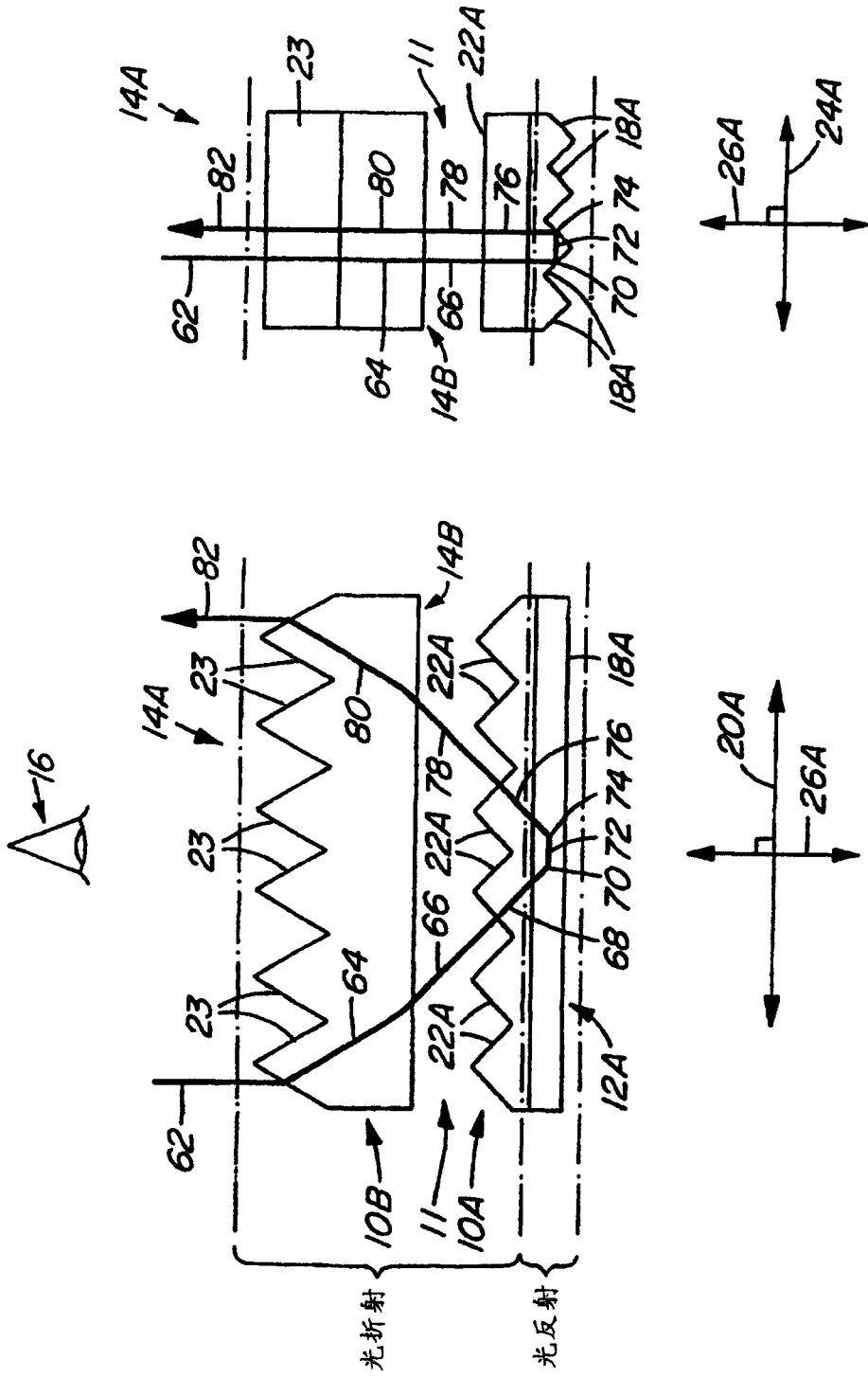


图 5B

图 5A

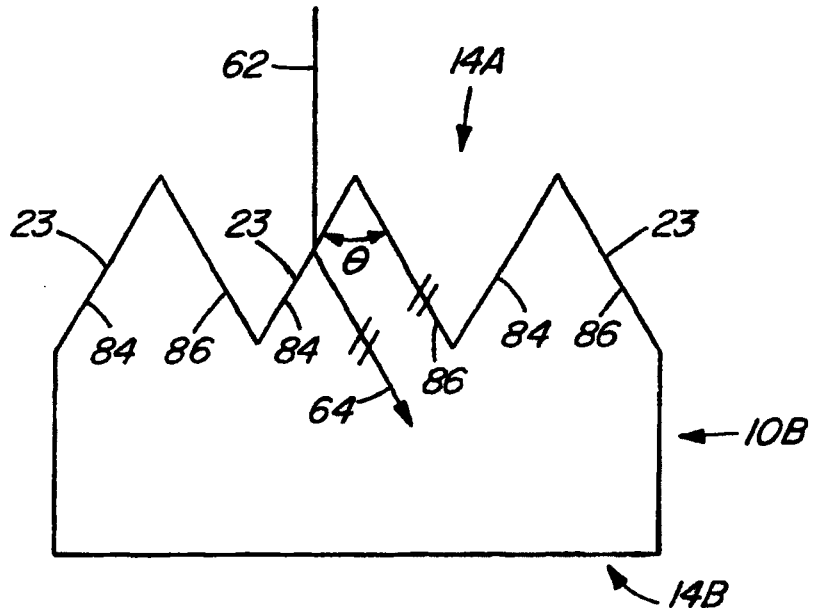


图 6

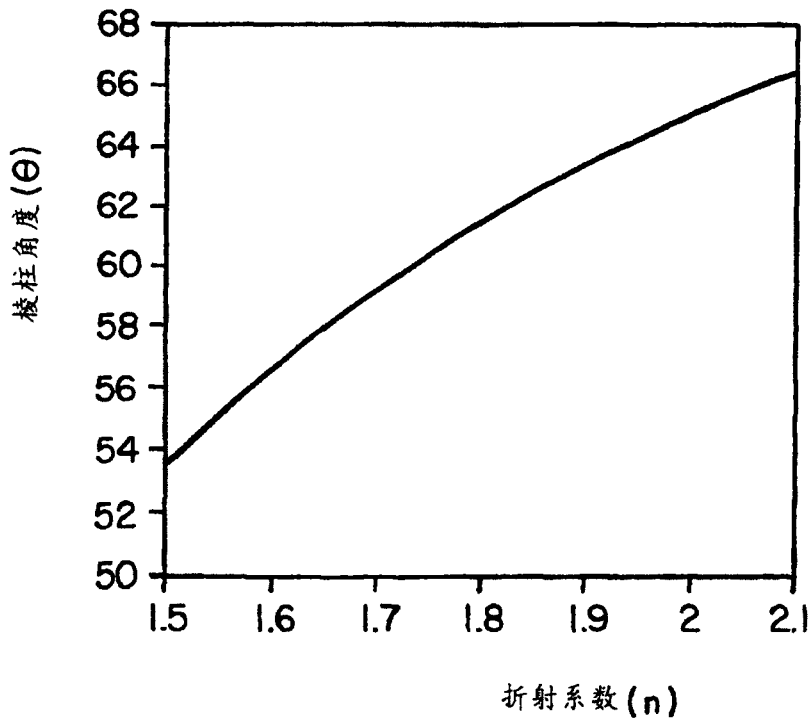


图 7

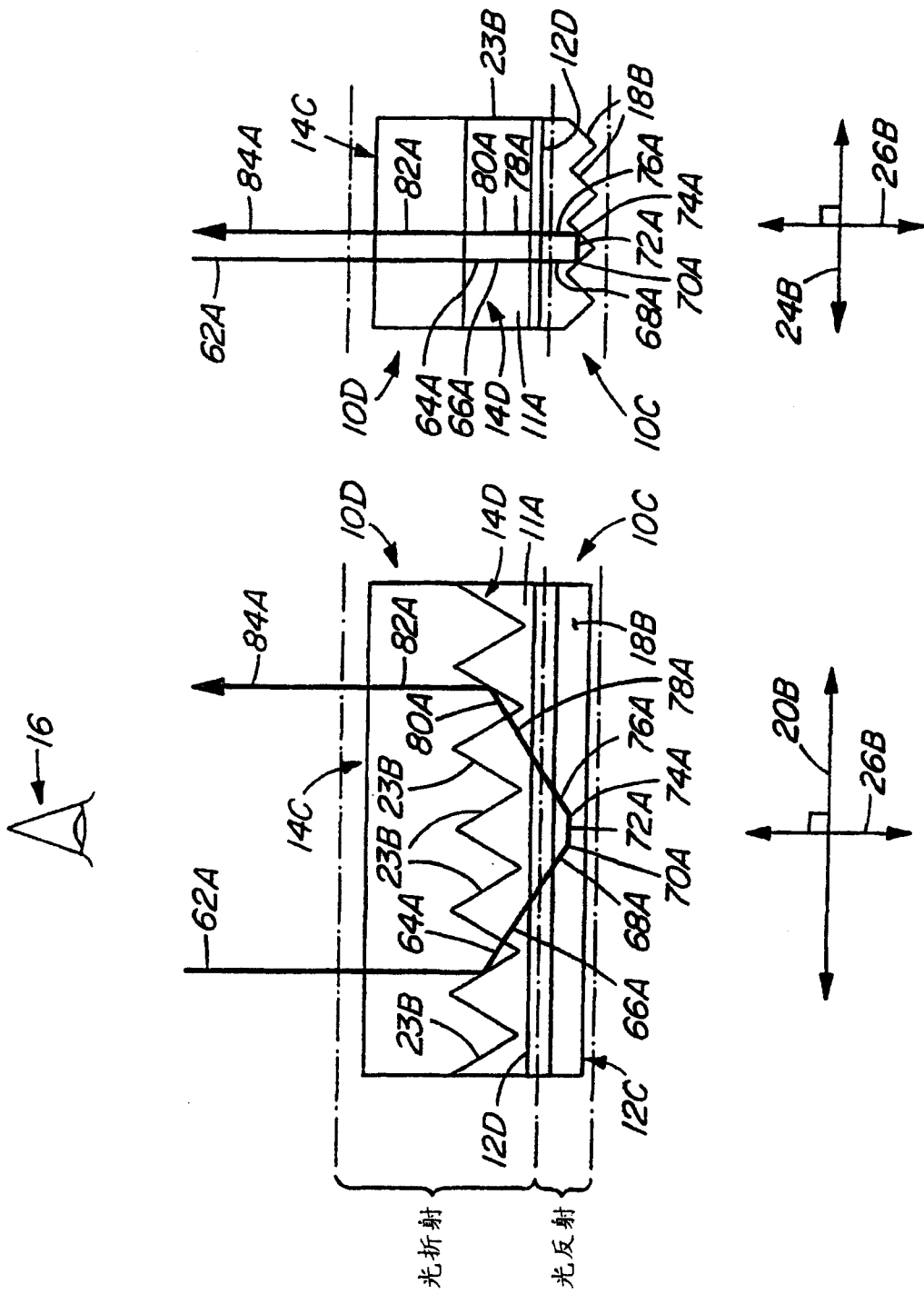


图 8B

图 8A

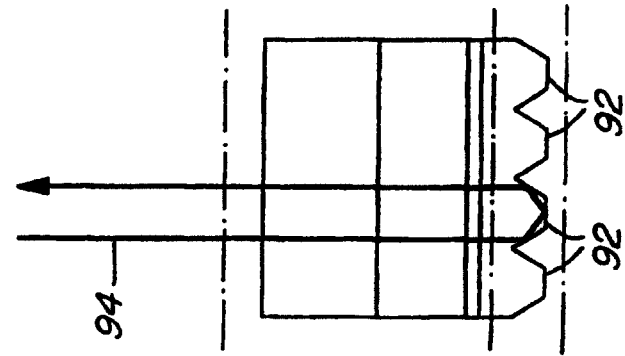


图 9B

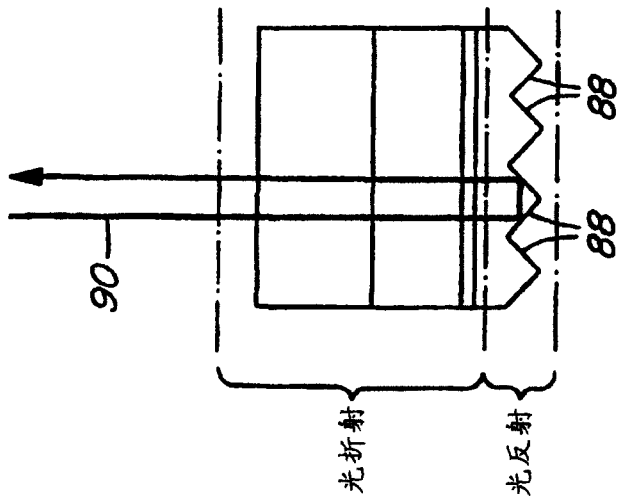


图 9A

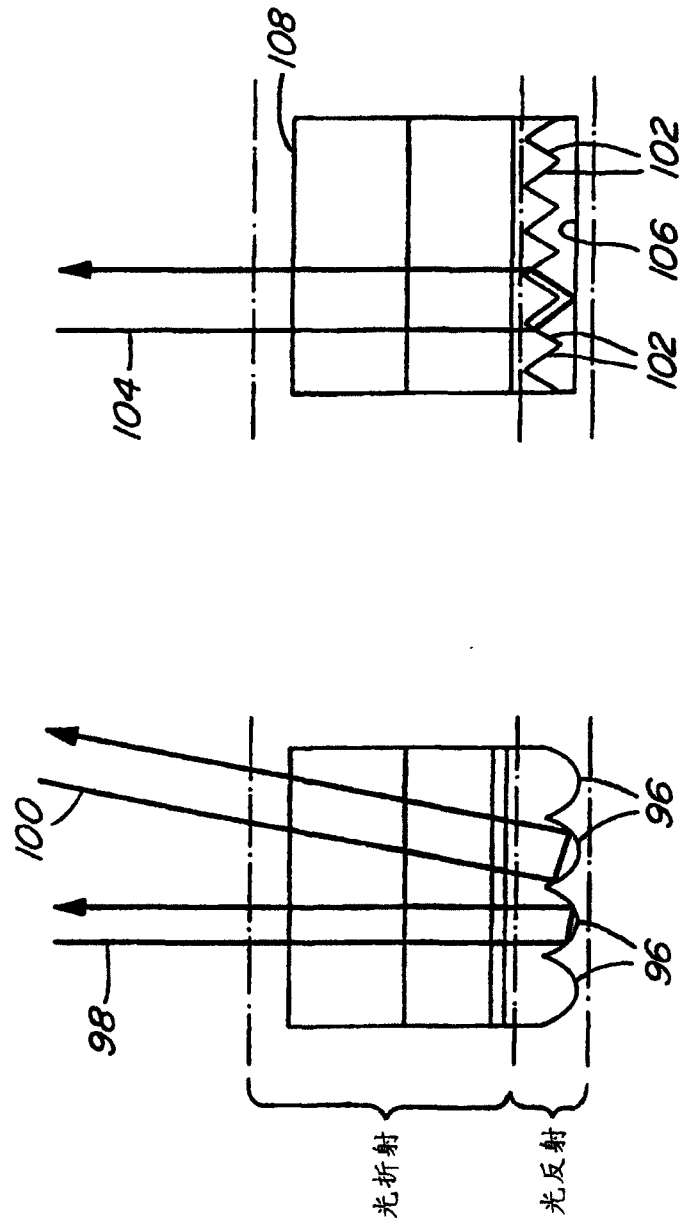


图 9D

图 9C