



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101147095 B

(45) 授权公告日 2010.05.19

(21) 申请号 200680009591.2

(22) 申请日 2006.03.14

(30) 优先权数据

11/088,153 2005.03.23 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2007.09.24

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2006/009265 2006.03.14

(87) PCT申请的公布数据

W02006/101879 EN 2006.09.28

(73) 专利权人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

(72) 发明人 大卫·J·W·奥斯吐恩

查尔斯·L·布鲁佐内 马家颖

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112

代理人 顾红霞 张天舒

(51) Int. Cl.

G02B 27/28 (2006.01)

G02B 5/30 (2006.01)

(56) 对比文件

US 5576854 A, 1996.11.19, 全文.

CN 1470903 A, 2004.01.28, 全文.

CN 1485648 A, 2004.03.31, 全文.

CN 1349618 A, 2002.05.15, 全文.

US 5327270 A, 1994.07.05, 说明书第3栏第39行, 第4栏第65行、附图1.

审查员 黄翠萍

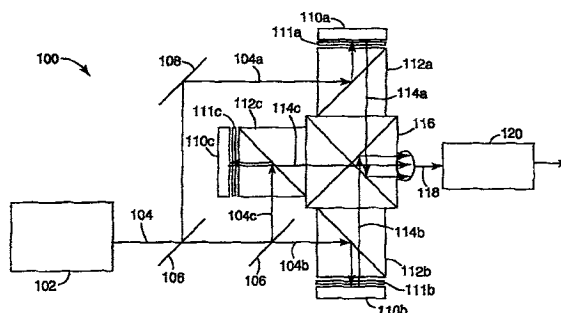
权利要求书 5 页 说明书 12 页 附图 10 页

(54) 发明名称

在偏振分束器以及使用该偏振分束器的系统中的应力双折射补偿的装置和方法

(57) 摘要

本发明涉及投影系统,所述投影系统使用偏振分束器以将光耦合到成像装置和从成像装置耦合出。所述偏振分束器通常由设置在玻璃盖之间的反射式偏振层形成。位于所述反射式偏振层和所述成像装置之间的玻璃盖中的应力双折射会降低所述投影系统的图像对比度。使用设置在所述玻璃盖和所述成像装置之间的四分之一波延迟元件至少部分地补偿所述双折射。这允许所述偏振分束器使用由具有比以前更高的应力光学系数的玻璃材料形成的所述玻璃盖,而同时仍保持高图像对比度。



1. 一种光学单元,包括:
偏振分束器,其包括:
第一盖,其具有用于透射光束的第一表面和第二表面;
第二盖,其至少具有用于透射光束的第一表面,所述第二盖的第一表面设置为与所述第一盖的第一表面相对;以及
反射式偏振层,其设置在所述第一盖的第一表面和所述第二盖的第一表面之间;以及
四分之一波延迟元件,其设置在所述第一盖的第二表面附近,所述四分之一波延迟元件布置成基本上使得对如下光在所述第一盖中的双折射的补偿最大化,即在所述第一盖的第一表面和第二表面之间两次透射所述第一盖的光。
2. 根据权利要求 1 所述的光学单元,其中
所述第一盖由折射率不大于 1.8 的玻璃形成。
3. 根据权利要求 2 所述的光学单元,其中
所述玻璃的折射率不大于 1.7。
4. 根据权利要求 3 所述的光学单元,其中
所述玻璃的折射率不大于 1.6。
5. 根据权利要求 1 所述的光学单元,其中
所述应力光学系数大于 $0.1 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 。
6. 根据权利要求 5 所述的光学单元,其中
所述应力光学系数大于 $0.5 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 。
7. 根据权利要求 6 所述的光学单元,其中
所述应力光学系数大于 $1.0 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 。
8. 根据权利要求 1 所述的光学单元,其中
所述反射式偏振层包括多层聚合物光学膜。
9. 根据权利要求 1 所述的光学单元,还包括:
成像装置,其设置在从所述第一盖的第二表面经过所述四分之一波延迟元件的光学路径上。
10. 根据权利要求 9 所述的光学单元,其中
所述成像装置包括反射式液晶成像装置。
11. 根据权利要求 9 所述的光学单元,其中
所述四分之一波延迟元件的快轴的取向角选择为至少部分地补偿光两次透射所述第一盖的光经历的双折射和所述成像装置的残余双折射。
12. 根据权利要求 9 所述的光学单元,其中
从所述成像装置经过所述偏振分束器的成像光的横截面部分的对比度大于 1000 : 1。
13. 根据权利要求 1 所述的光学单元,还包括:
第二双折射元件,其设置在所述四分之一波延迟元件和所述反射式偏振层之间。
14. 根据权利要求 13 所述的光学单元,其中
所述第二双折射元件包括透镜。
15. 根据权利要求 1 所述的光学单元,其中
光经所述反射式偏振层反射并垂直地透射所述第一盖的第二表面传播到所述四分之一

一波延迟元件的路径限定入射平面,所述四分之一波延迟元件的快轴取向为不平行于也不垂直于所述入射平面。

16. 根据权利要求 1 所述的光学单元,还包括:

产生光束的光源,所述光束经过第三表面入射到所述第一盖,所述光束具有大于 $f/2.5$ 的 f - 数。

17. 根据权利要求 1 所述的光学单元,还包括:

产生光束的光源,所述光束经过第三表面入射到所述第一盖,所述光束具有不大于 $f/2.5$ 的 f - 数。

18. 根据权利要求 1 所述的光学单元,其中

所述第一盖由基本无铅的玻璃材料形成。

19. 一种光学系统,包括:

第一偏振分束器,其具有设置在第一盖和第二盖之间的反射式偏振层,所述第一盖由具有大于 0.1 的应力光学系数的材料形成;

第一反射式成像装置,其朝向所述第一盖的第一表面,以使得光从所述第一偏振分束器的反射式偏振层透射通过所述第一盖到达所述反射式成像装置,并且由所述反射式成像装置反射从而透射所述第一盖到达所述第一偏振分束器的反射式偏振层,所述光在所述第一盖中受到应力双折射的影响,并且在所述反射式成像装置中受到残余双折射的影响;以及

第一四分之一波延迟元件,其设置为延迟穿过所述第一盖的第一表面和所述反射式成像装置之间的光,所述第一四分之一波延迟元件布置成基本上使得对两次透射所述第一盖的光在所述第一盖中的双折射的补偿最大化。

20. 根据权利要求 19 所述的光学系统,其中

所述第一四分之一波延迟元件取向为使得对所述第一偏振分束器的第一盖和所述反射式成像装置中的双折射的补偿最大化。

21. 根据权利要求 19 所述的光学系统,其中

所述应力光学系数大于 $0.5 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 。

22. 根据权利要求 21 所述的光学系统,其中

所述应力光学系数大于 $1.0 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 。

23. 根据权利要求 19 所述的光学系统,其中

所述第一盖由折射率不大于 1.8 的玻璃形成。

24. 根据权利要求 23 所述的光学系统,其中

所述玻璃具有不大于 1.7 的折射率。

25. 根据权利要求 24 所述的光学系统,其中

所述玻璃具有不大于 1.6 的折射率。

26. 根据权利要求 19 所述的光学系统,还包括:

光源;以及

光束管理光学系统,其用于经由所述偏振分束器将照明光束导向所述成像装置。

27. 根据权利要求 19 所述的光学系统,还包括:

投影透镜单元,其设置为投影来自所述成像装置的图像。

28. 根据权利要求 27 所述的光学系统,其中
投影图像的对比度不小于 1000 : 1。

29. 根据权利要求 28 所述的光学系统,其中
所述投影图像的对比度不小于 2500 : 1。

30. 根据权利要求 19 所述的光学系统,还包括:

至少第二偏振分束器、至少第二反射式成像装置和合色单元,来自所述第一和至少第二反射式成像装置的成像光在所述合色单元中组合,以产生组合成像光束。

31. 根据权利要求 30 所述的光学系统,还包括:

至少第三偏振分束器和至少第三反射式成像装置,来自所述第一、第二和至少第三反射式成像装置的成像光在所述合色单元中组合,以产生所述组合成像光束。

32. 根据权利要求 31 所述的光学系统,其中

所述合色单元包括 x-cube 合色单元,所述第一、第二和第三偏振分束器安装到所述 x-cube 合色单元上,所述第一、第二和第三反射式成像装置分别安装到所述第一、第二和第三偏振分束器上。

33. 一种光学系统,包括:

成像装置;

反射式偏振层,其设置为将处于所选偏振态的光反射到所述成像装置或者反射来自所述成像装置的处于所选偏振态的光;

至少第一双折射元件,其设置在所述成像装置和所述反射式偏振层之间的光学路径上,所述第一双折射元件具有基本与所述光学路径垂直的面,所述双折射元件的双折射是不均匀的,所以对于透射穿过所述面的不同部分的光来说,双折射延迟量的值不同;以及,

四分之一波延迟元件,其设置在所述第一双折射元件和所述成像装置之间,所述四分之一波延迟元件取向为至少部分地补偿在所述反射式偏振层和所述成像装置之间往返传播的光的延迟量。

34. 根据权利要求 33 所述的光学系统,其中

所述第一双折射元件包括用于所述反射式偏振层的玻璃盖。

35. 根据权利要求 33 所述的光学系统,其中

对于透射穿过所述面的至少一部分的光来说,所述第一双折射元件具有大于至少 1nm 的单程延迟量。

36. 根据权利要求 35 所述的光学系统,其中

所述第一双折射元件具有大于至少 5nm 的单程延迟量。

37. 根据权利要求 36 所述的光学系统,其中

所述第一双折射元件具有大于至少 10nm 的单程延迟量。

38. 根据权利要求 33 所述的光学系统,其中

所述第一双折射元件是具有大于 $0.5 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 的应力光学系数的玻璃盖。

39. 根据权利要求 38 所述的光学系统,其中

所述应力光学系数大于 $1.0 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 。

40. 根据权利要求 33 所述的光学系统,还包括:

第二双折射元件,其设置在所述成像装置和所述偏振层之间的光学路径上。

41. 根据权利要求 40 所述的光学系统,其中
所述第二双折射元件包括透镜。

42. 根据权利要求 33 所述的光学系统,还包括:
光源;以及

光束管理光学系统,其用于经由所述反射式偏振层将照明光束导向所述成像装置。

43. 根据权利要求 33 所述的光学系统,还包括:
投影透镜单元,其设置为投射来自所述成像装置的图像。

44. 根据权利要求 43 所述的光学系统,其中
所述图像的对比度不小于 2500 : 1。

45. 一种光学系统,包括:

合色单元,其具有至少两个与不同色带相关的入射面;

至少两个偏振分束器,其分别相对于所述至少两个入射面操作地设置,所述至少两个偏振分束器中的至少第一偏振分束器包括设置在第一盖的第一表面和第二盖的第一表面之间的第一反射式偏振层,所述第二盖设置在所述反射式偏振层和所述合色单元之间,所述第一盖由具有大于 $0.1 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 的应力光学系数的透明材料形成,所述第一偏振分束器限定第一反射平面;以及,

第一四分之一波延迟元件,所述第一偏振分束器的第一盖位于所述四分之一波延迟元件和所述反射式偏振层之间,所述四分之一波延迟元件的快轴的取向不平行并且不垂直于所述第一反射平面,所述第一四分之一波延迟元件布置成基本上使得对两次透射所述第一盖的光在所述第一盖中的双折射的补偿最大化。

46. 根据权利要求 45 所述的光学系统,其中

所述至少两个偏振分束器中的第二偏振分束器包括设置在第三盖的第一表面和第四盖的第一表面之间的第二反射式偏振层,所述第四盖设置在所述第二反射式偏振层和所述合色单元之间,所述第三盖由具有大于 $0.1 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 的应力光学系数的透明材料形成,所述第二偏振分束器限定第二反射平面,所述光学系统还包括第二四分之一波延迟元件,所述第二偏振分束器的第三盖位于所述第二四分之一波延迟元件和所述第二反射式偏振层之间,所述第二四分之一波延迟元件的快轴的取向不平行并且不垂直于所述第二反射平面。

47. 根据权利要求 46 所述的光学系统,其中

所述至少两个偏振分束器中的第三偏振分束器包括设置在第五盖的第一表面和第六盖的第一表面之间的第三反射式偏振层,所述第六盖设置在所述第三反射式偏振层和所述合色单元之间,所述第五盖由具有大于 $0.1 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 的应力光学系数的透明材料形成,所述第三偏振分束器限定第三反射平面,所述光学系统还包括第三四分之一波延迟元件,所述第三偏振分束器的第五盖位于所述第三四分之一波延迟元件和所述第三反射式偏振层之间,所述第三四分之一波延迟元件的快轴的取向不平行并且不垂直于所述第三反射平面。

48. 根据权利要求 47 所述的光学系统,其中

所述第一、第二和第三偏振分束器安装到所述合色单元上。

49. 根据权利要求 48 所述的光学系统,其中

所述第二、第四和第六盖安装到所述合色单元上。

50. 根据权利要求 47 所述的光学系统,还包括:

第一、第二和第三成像装置,其分别操作地设置在所述第一、第二和第三偏振分束器附近。

51. 根据权利要求 50 所述的光学系统,其中

所述第一、第二和第三成像装置分别安装到所述第二、第四和第六盖上。

52. 根据权利要求 50 所述的光学系统,其中

所述第一、第二和第三成像装置中的至少一个是反射式成像装置。

53. 根据权利要求 45 所述的光学系统,还包括:

光源;以及

光束管理光学系统,其用于将照明光导向所述第一偏振分束器。

54. 根据权利要求 45 所述的光学系统,还包括:

投影透镜单元,其设置为投射从所述合色单元接收的图像。

55. 一种补偿图像投影系统中的双折射的方法,包括:

在偏振层处使光基本起偏成所选的偏振态;

引导偏振光透过双折射元件到达成像装置;

在所述成像装置上反射所述偏振光;

在所述偏振层上对反射偏振光检偏;以及

使所述偏振光和所述反射偏振光透射经过设置在所述双折射元件和所述成像装置之间的四分之一波延迟元件,所述四分之一波延迟元件取向为充分优化对所述双折射元件中的延迟量的补偿。

56. 根据权利要求 55 所述的方法,还包括:

产生光并将所述光导向所述偏振层。

57. 根据权利要求 55 所述的方法,还包括:

将所述检偏光投射到屏幕上。

在偏振分束器以及使用该偏振分束器的系统中的应力双折射补偿的装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光学系统,更具体地说,涉及使用如下偏振分束器的光学系统,该偏振分束器用于分离或者组合处于不同偏振态的光束。

背景技术

[0002] 偏振分束器(PBS)的功能是反射处于一个偏振态的光而透射处于正交偏振态的光。所以,PBS 广泛应用于在依靠光偏振的光学系统中。这种系统的一个实例是使用反射式液晶显示(LCD)面板调制照明光束的图像投影系统,偏振照明光束通过例如在 PBS 中的反射而引导至 LCD 面板。由 LCD 面板对该光束进行空间调制,使得反射光束包含一些处于照明光束的偏振态上的未调制光和一些处于正交偏振态上的调制光。未调制的非成像光由 PBS 反射而包含所需图像的调制成像光透射通过 PBS。这样,PBS 将成像光和非成像光分离,然后可以将成像光投影到屏幕供用户观看。

[0003] 可以使用不同种类的 PBS:已经报导了使用 MacNeille PBS 的投影系统,该 PBS 依靠各向同性材料制成的四分之一波膜堆,该膜堆对于一个偏振态取向在布儒斯特角(Brewster angle);以及使用笛卡尔(Cartesian)多层光学膜(MOF)PBS 的投影系统,该 PBS 采用交替的各向同性和双折射聚合物材料堆。与 MacNeille PBS 相比,笛卡尔多层光学膜 PBS 能够以更小的 f 数以及更高的对比度和透射率操作。

[0004] PBS 经常形成为夹在两个直角玻璃棱镜的斜边之间的偏振层。然而,如果在设置于偏振层和成像面板之间的玻璃棱镜内存在任何双折射延迟,那么由 PBS 提供的对比度会减小,这是因为从偏振表面反射来的名义 s-偏振照明光在入射到成像面板时发生旋转而成为部分 p-偏振光。这使得光在由成像面板反射之后发生漏光,从而使得暗态的亮度水平提高,因此对比度减小。很多不同因素可以产生玻璃棱镜内的双折射延迟,例如,在装配 PBS 时在 PBS 部件内引发的机械应力、由 PBS 固定装置引发的应力、或者在 PBS 受到强照明光束照射时 PBS 的热膨胀引发的应力。此外,如果将用于安装成像装置的硬件安装到 PBS 的入射棱镜上,那么由于在玻璃中产生的应力,这通常会在 PBS 的至少一部分区域内引起显著的对比度降低。

[0005] 为了解决这个问题,玻璃制造商做出了大量的工作以制造出具有低应力光学系数(SOC)的玻璃,该玻璃在机械应力下几乎不产生双折射。分别由 Ohara 和 Schott 制造的 PBH56 和 SF57 是这种玻璃的实例。这些玻璃包含大量的铅:PBH56 和 SF57 都包含重量百分比高于 70%的铅氧化物。因此,这些低 SOC 玻璃不是环保材料并且也很昂贵和难以制造。此外,该低 SOC 玻璃具有高折射率(大于 1.8),这在与更低折射率的偏振层匹配时会造成光学效率低或者引起像差。

发明内容

[0006] 本发明的一个实施例涉及包括偏振分束器(PBS)的光学单元。所述偏振分束器具

有：第一盖，其具有用于透射光束的第一表面和第二表面；以及第二盖，其至少具有用于透射光束的第一表面。所述第二盖设置为其第一表面与所述第一盖的第一表面相对。反射式偏振层设置在所述第一盖的第一表面和所述第二盖的第一表面之间。四分之一波延迟元件设置在所述第一盖的第二表面附近。所述四分之一波延迟元件布置成基本上使得对如下光在所述第一盖中的双折射的补偿最大化，即在所述第一盖的第一表面和第二表面之间两次透射所述第一盖的光。

[0007] 本发明的另一个实施例涉及光学系统，其包括具有设置在第一盖和第二盖之间的反射式偏振层的第一偏振分束器 (PBS)。所述第一盖由具有大于 0.1 的应力光学系数的材料形成。第一反射式成像装置朝向所述第一盖的第一表面，以使得光从所述第一偏振分束器的反射式偏振层透射通过所述第一盖到达所述反射式成像装置，并且由所述反射式成像装置反射从而透射所述第一盖到达所述第一偏振分束器的反射式偏振层，所述光在所述第一盖中受到应力双折射的影响，并且在所述反射式成像装置中受到残余双折射的影响。设置第一四分之一波延迟元件以延迟穿过所述第一盖的第一表面和所述反射式成像装置之间的光。

[0008] 本发明的另一个实施例涉及光学系统，其具有成像装置和反射式偏振层，所述反射式偏振层设置为将处于所选偏振态的光反射到所述成像装置，或者反射来自所述成像装置的处于所选偏振态的光。双折射元件设置在所述成像装置和所述反射式偏振层之间的光学路径上。所述双折射元件具有基本与所述光学路径垂直的面。所述双折射元件的双折射是不均匀的，所以对于透射穿过所述面的不同部分的光来说，双折射延迟量的值不同。四分之一波延迟元件设置在所述双折射元件和所述成像装置之间。所述四分之一波延迟元件取向为至少部分地补偿在所述反射式偏振层和所述成像装置之间往返传播的光的延迟量。

[0009] 本发明的另一个实施例涉及光学系统，其包括：合色单元，其具有至少两个与不同色带相关的入射面；以及至少两个偏振分束器 (PBS)，其分别相对于所述至少两个入射面操作性设置。所述至少两个偏振分束器中的至少第一偏振分束器包括设置在第一盖的第一表面和第二盖的第一表面之间的第一反射式偏振层。所述第二盖设置在所述反射式偏振层和所述合色单元之间。所述第一盖由具有大于 $0.1 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 的应力光学系数 (SOC) 的透明材料形成。所述第一偏振分束器限定第一反射平面。所述第一偏振分束器的第一盖位于四分之一波延迟元件和所述反射式偏振层之间。所述四分之一波延迟元件的快轴的取向不平行并且不垂直于所述反射平面。

[0010] 本发明的另一个实施例涉及补偿图像投影系统中的双折射的方法。所述方法包括：使得光在偏振层基本偏振成所选的偏振态，并且引导偏振光透过双折射元件到达成像装置。所述偏振光在所述成像装置上反射，而反射偏振光在所述偏振层处检偏。所述偏振光和所述反射偏振光经过设置在所述双折射元件和所述成像装置之间的四分之一波延迟元件。所述四分之一波延迟元件取向为充分优化对所述双折射元件中的延迟量的补偿。

[0011] 本发明的上述概述并非旨在描述本发明的每一个示出的实施例或者每一种实施方式。下面的附图说明和详细说明将更具体地说明这些实施例。

附图说明

[0012] 通过下面结合附图对本发明各种实施例的详细描述可以更全面地理解本发明，其

中：

- [0013] 图 1 示意性示出根据本发明原理的投影系统的实施例；
- [0014] 图 2 示意性示出偏振分束器的操作；
- [0015] 图 3A 和图 3B 示意性示出用于获得实验结果的实验装置；
- [0016] 图 4A 示意性示出投影图像区域；
- [0017] 图 4B 和图 4C 表示实验结果，示出在投影图像区域上的不同位置处，不使用四分之一波补偿的暗态光的亮度与使用四分之一波补偿的暗态光的亮度的比值；
- [0018] 图 5 示意性示出在偏振分束器的盖内的双折射角；
- [0019] 图 6A 示意性示出根据本发明原理的具有四分之一波延迟补偿器的偏振分束器的实施例；
- [0020] 图 6B 至图 6D 是示出在图 6A 所示装置中的不同点处光的偏振角的图。
- [0021] 图 7 示出在双折射角为 45° 的情况下计算出的作为如下参数的函数的对比度等高线图：i) 偏振分束器的玻璃盖中的双折射，以及 ii) 四分之一波延迟器的取向角；
- [0022] 图 8 示出在双折射角为 22.5° 的情况下计算出的作为如下参数的函数的对比度等高线图：i) 偏振分束器的玻璃盖中的双折射，以及 ii) 四分之一波延迟器的取向角；
- [0023] 图 9 示出在玻璃盖中的延迟量为 10nm 的情况下计算出的作为如下参数的函数的对比度等高线图：i) 双折射角，以及 ii) 四分之一波延迟器的取向角；以及
- [0024] 图 10 是示出在使用和不使用四分之一波延迟器进行补偿时作为玻璃盖中的双折射的函数的对比度的图。
- [0025] 可以对本发明进行修改并获得各种变型和可选形式。在附图中通过实例显示了本发明的细节，并且将在下面进行详细说明。然而，应该理解，其意图并非将本发明限于所述具体实施例。相反，其意图是涵盖在所附权利要求书所限定的本发明的精神和范围内的所有变型、等同物和可选形式。

具体实施方式

[0026] 本发明适用于使用偏振分束器 (PBS) 的系统，可以认为本发明尤其适用于包括如下 PBS 的图像投影系统：该 PBS 用于将使用偏振调制器产生的成像光从照明光中分离出来。虽然本发明可以用于任何使用 PBS 的应用场合，但是下面将具体描述 PBS 用于投影系统的情况。其意图不是将本发明的范围仅局限于投影系统。

[0027] 本发明可以用于许多不同种类的投影系统。在图 1 中示意性示出可以包括本发明的多面板投影系统 100 的一个示例性实施例。该投影系统 100 是三面板投影系统，具有发射光束 104 的光源 102，该光束 104 包含处于三个不同色带的光。光束 104 由诸如二向色反射镜等分色元件 106 分成包含不同颜色的光的第一光束 104a、第二光束 104b 和第三光束 104c。光束 104a、104b 和 104c 的颜色可以分别为，例如红色、绿色和蓝色。可以使用光束偏转元件 108（例如平面镜或棱镜）以偏转光束 104、104a、104b 和 104c 中的任何一个。

[0028] 将光束 104a、104b 和 104c 引导至各自的成像装置 110a、110b 和 110c，例如，成像装置可以是诸如硅基液晶 (LCoS) 面板等基于 LCD 的反射式图像形成面板。光束 104a、104b 和 104c 通过各自的偏振分束器 (PBS) 112a、112b 和 112c 耦合到各自的成像装置 110a、110b 和 110c，或从各自的成像装置耦合出。成像装置 110a、110b 和 110c 通过偏振调制入射光束

104a、104b 和 104c,从而使得各个成像光束 114a、114b 和 114c 由 PBS 112a、112b 和 112c 分离并且到达合色单元 116。在示出的示例性实施例中,照明光束 104a、104b 和 104c 由 PBS 112a、112b 和 112c 反射到成像装置 110a、110b 和 110c,得到的成像光束 114a、114b 和 114c 透射通过 PBS 112a、112b 和 112c。在未示出的另一种方法中,照明光可以通过 PBS 透射到成像装置,而成像光由 PBS 反射。

[0029] 四分之一波延迟元件 111a、111b 和 111c 设置在成像装置 110a、110b 和 110c 和它们各自的 PBS 112a、112b 和 112c 之间。可以使用四分之一波延迟元件 111a、111b 和 111c 以补偿成像装置 110a、110b 和 110c 中的残余双折射,并且如下文更详细的描述,用于补偿 PBS 112a、112b 和 112c 中的双折射。

[0030] 在示出的示例性实施例中,合色单元 116 例如使用一个或者多个二向色元件组合不同颜色的成像光束 114a、114b 和 114c。具体地说,示出的示例性实施例示出 x-cube 合色器,但是可以使用其它类型的合成器。三个成像光束 114a、114b 和 114c 在合色单元 116 中组合以产生单束有色成像光束 118,可以通过投影透镜系统 120 将该成像光束 118 引导至屏幕(未示出)。

[0031] 投影系统的其它实施例可以使用一个或者多个 PBS。例如,投影系统可以使用一个或者两个具有各自 PBS 的成像装置,这在美国专利申请 No.10/439449 和 10/914596 中有更详细的描述。成像装置的最大数量不限于三个,投影系统可以使用多于三个成像装置。此外,可以使用不同类型的光源,包括白光光源(例如高压水银灯)和有色光源(例如发光二极管)。其意图不是限制如何产生到达 PBS 的照明光或者在光到达 PBS 之前如何处理光线。

[0032] 用于为投影系统提供高对比度图像的高质量的偏振分束器(PBS)以前需要使用具有低应力光学系数(SOC)(也称为光弹常数)的玻璃。低 SOC 玻璃的实例包括 PBH56 和 SF57 玻璃。这些玻璃具有高的铅含量,例如含有重量百分比为 70%或者更多的铅氧化物,并且具有高的折射率(大于 1.8)。使用含有大量铅的 PBS 玻璃引起对环境的担忧。此外,因为多层光学膜偏振器中的偏振层具有通常在约 1.5 到 1.6 的范围内的折射率,所以偏振层和玻璃之间的折射率差很高,这样在使用 SOC 玻璃时,使得光以次最佳角度入射到偏振层。例如在美国专利 No. 6,672,721 和 6,786,604 中所述,该相对较大的折射率差可能引入像差,该像差可以由系统的光学设计或者 PBS 本身克服。同时,低 SOC 玻璃具有低的阿贝数(Abbe number),这意味着色散较高,所以低 SOC 玻璃不适用于覆盖较宽波长范围的应用。

[0033] 消除产品中的铅是重要的环保目标,并且影响对双折射敏感的光学系统的性能。本发明旨在使用标准玻璃,例如可以从 Schott North America、Duryea、Pennsylvania 获得的 N-BK7、N-SK5 等或者等同玻璃。例如 S-BAL35 和 ZK3 与 NSK5 基本等同,分别由日本的 Ohara Incorporated 和中国的 Chengdu Guangming 提供。尽管这些玻璃具有高的 SOC 值,例如最高比上述低 SOC 玻璃的 SOC 值的 100 倍还大,但是根据本发明可以在如下的 PBS 应用中使用这些玻璃:即使受到在照明投影电视的成像核心时所经受的应力时,也可以维持高的对比度。这些标准玻璃不含铅。

[0034] 在成像 PBS 应用中使用无铅玻璃方面已经做出了许多不成功的尝试。例如 Cline 等人(LCOS 投影显示器中的热应力双折射(Thermal stress birefringence in LCOS projection displays), Display 23(2002)pp. 151-159)分析并测试了大量玻璃的照明致热应力双折射(即,由于在照明光照射玻璃时玻璃吸收光而升温,从而产生应力双折射)。

该分析提出了用于照明致热应力双折射的品质因数,该品质因数表明 SK5、BK7 和 Ultralan30 的照明致热应力双折射可以低至足以用于投影电视系统。然而 Cline 等人提到,他们的分析没有考虑其它应力双折射源,包括由装配和安装引起的机械应力和因为照明以外的原因而引起的热应力,例如冷却风扇、电子器件发热或者由反射成像器吸收和辐射的热量。例如,设置在偏振层和 PBS 的玻璃棱镜之间的粘接剂可以引起一些额外的应力双折射。例如,该粘接剂可以固化,从而在玻璃盖中产生应力,这导致制造应力。此外,在升高的温度下进行的操作可以导致由于粘接剂、玻璃盖和 / 或偏振层之间的热膨胀系数不同而产生额外的热致应力。除了上述由 Cline 讨论的照明致热双折射之外,这些额外的应力源引起大量的应力双折射,使得这些无铅玻璃不适合完全代替用于投影系统的 PBS 中的低 SOC 玻璃。下面提供的实验结果表明,当使用 N-SK5 玻璃时将极大地降低 PBS 的对比度。

[0035] 本发明的一些实施例涉及用于补偿 PBS 部件内的双折射光学玻璃的效应的方法,而不是消除 PBS 组件内的双折射的方法。虽然本发明被认为可以用于 PBS 内的许多不同种类的反射式偏振层,但是本发明被认为对于笛卡尔多层光学膜 (MOF) PBS 尤其有用,例如在共同拥有的美国专利 No. 6, 486, 997 中描述的偏振膜。本发明也对其它种类的 PBS 有效,例如 MacNeille PBS 和线栅 PBS,其中玻璃元件设置在偏振层和成像装置之间。

[0036] 可以在本发明中使用的玻璃包括折射率小于 1.8, 小于 1.7 甚至小于 1.6 的玻璃。此外,玻璃的 SOC 值在一个实施例中可以大于 $0.1 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$, 在另一个实施例中可以大于 $0.5 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$, 或者在另一个实施例中可以大于 $1.0 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 。可以在本发明中用于使 PBS 提供高对比度性能的一些无铅玻璃的实例包括可以从 Schott North America、Duryea、Pennsylvania 获得的 N-SK5 和 N-BK7 玻璃。N-SK5 玻璃在可见光谱内的 SOC 值为 $2.16 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$, 而 N-BK7 的 SOC 值为 $2.7 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$ 。这大于 PBH56 玻璃的 SOC 值 ($0.09 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$) 的 20 倍, 并且大于 SF57 玻璃的 SOC 值 ($0.02 \times 10^{-6} \text{mm}^2 \text{N}^{-1}$) 的 100 倍。因此,无铅玻璃对于机械应力和 / 或热应力的敏感度比高铅玻璃高大约 20 到 100 倍。没有装配应力的 PBS 仍然会对如下应力敏感,即:由于粘接剂和多层偏振器的聚合物膜中的热传递和水分吸收而产生的应力。如下文所述,即使最初制备出无应力的 PBS,也难以使用处于平面镜暗态的 PBS 并在对 PBS 加热、冷却以及将其安装到适当位置时维持良好的暗态均匀性。

[0037] 设置在 PBS 和成像装置之间的四分之一波延迟元件 (例如四分之一波膜或者四分之一波片) 可以用于至少部分地补偿无铅玻璃中的与应力相关的双折射。这减小通常与在 PBS 中使用的传统无铅玻璃相关联的对比度降低。

[0038] 现在,将参照图 2 更详细地描述有应力的 PBS 的双折射,图 2 示意性示出 PBS 200, 其具有夹在两个盖 204、206 的相对表面 204a、206a 之间的反射式偏振层 202。盖 204、206 采用棱镜的形式,具有用于传输光线进入和射出 PBS 200 的不平行于表面 204a、206a 的其它表面。在示出的实施例中,盖 204、206 是直角棱镜,相对表面 204a、206a 相对于反射式偏振层 202 的输出表面 204b 以 45° 设置,但是也可以用不同角度设置表面 204a、206a。盖 204、206 可以使用例如分别位于反射式偏振层 202 与盖 204、206 之间的粘接剂层 205a、205b 安装到反射式偏振层 202 上。粘接剂的一个合适的实例是在美国专利公开 No. 2004/0234774A1 中披露的光学环氧树脂。

[0039] 在一些实施例中,反射式偏振层 202 可以由不同聚合物材料的交替层形成的多

层光学膜反射式偏振器,其中交替层组中的一组是由如下的双折射材料形成的:不同材料的折射率对于以一个线性偏振态偏振的光匹配,而对于正交线性偏振态的光失配。因此,在匹配偏振态上的入射光基本透射通过偏振层 202,而在失配偏振态上的光基本上由偏振层 202 反射。

[0040] 可以使用其它类型的反射式偏振层,例如,MacNeille PBS 中经常使用的无机电介质层堆、如美国专利 No. 6, 719, 426 所述的用于玻璃棱镜中的线栅偏振器、或者以类似方法使用的任何其它偏振选择层。反射式偏振层 202 可以采用与上述相似的方式粘合到盖 204 上。

[0041] 当非偏振照明光 210 或者混合偏振态的光入射到 PBS 200 上时,反射式偏振层 202 基本反射一个偏振态 210a(本文称为 s 偏振态)的光,并且基本透射正交偏振态(本文称为 p 偏振态)210b 的光。然而,应该注意到,当 PBS 是笛卡尔 MOF 时,反射光和透射光的偏振态是参照 PBS 的固定的材料光轴来确定的,而材料光轴由反射式偏振层本身的物理各向异性的方向决定。对于 MacNeille 偏振器,偏振方向是参照偏振器的反射平面来确定的。所以,本文使用术语 s 偏振和 p 偏振以分别表示由 PBS 基本反射和透射的光的正交的偏振态,在使用 MacNeille PBS 的情况下两个术语严格准确,而在使用笛卡尔 PBS 的情况下两个术语大概并且基本准确,这样在两种情况下都方便描述。线栅偏振器和 MOF 偏振器是笛卡尔偏振器的两个实例。

[0042] 入射 s 偏振光被反射式偏振层 202 反射的比率为 R_s ,而入射 p 偏振光被反射式偏振层 202 透射的比率为 T_p 。即使反射式偏振层 202 是理想的偏振器,即仅反射 s 偏振光($R_s = 1$)而仅透射 p 偏振光($T_p = 1$),到达成像装置 212 的光仍然是混合偏振光,下面进行解释。

[0043] 第一盖 204 受到应力从而产生应力双折射。许多不同原因可以产生应力。例如,可能由于在制造过程中或者在将 PBS 200 安装到光学系统内时的各种机械因素而产生应力。此外,应力的本质可能是热应力,例如由照明致热应力产生,或者由玻璃、光学粘接剂、反射式偏振层或者 PBS 底座的热膨胀系数的差异产生。这样,即使当没有反射 p 偏振光,即 $T_p = 1$ 时,反射光 210a 穿过双折射盖 204 到达成像装置 212,因此到达成像装置 212 的光包含 s 偏振光和 p 偏振光。而且在反射式偏振层 202 和第一盖 204 之间的粘接剂层 205a 中也存在额外双折射。

[0044] 在 PBS 200 的一侧由于应力导致的双折射而产生的延迟效应可能大于另一侧,下面对此进行解释。光线 220 入射到第一盖 204 的左侧边缘并在第一盖 204 内沿相对较长的路径传播,然后经反射成为光束 220a,该光束 220a 在第一盖 204 内沿相对较短的路径到达成像装置 212。光线 230 入射到第一盖 204 的右侧边缘并在第一盖 204 内沿相对较短的路径传播,然后经反射成为光束 230a,该光束 230a 在第一盖 204 内沿相对较长的路径到达成像装置 212。这样,到达成像装置的光束 230a 在经反射式偏振层 202 反射后在第一盖 204 内穿过的路径相对于光束 220a 来说更长,因此,由于第一盖 204 内的双折射,光束 230a 相对于光束 220a 来说可能包含更多的 p 偏振光。可以放弃透射通过反射式偏振层 202 的光束 220b 和 230b。

[0045] 在暗态中,成像装置 212 基本不调制反射光的偏振,因此经成像装置 212 反射的光束 222 和 232 的偏振态与入射到成像装置 212 的光基本相同。因为光束 222 几乎不包含 p

偏振光,所以仅相对较小量的光被反射式偏振层 202 透射成为光束 222a,而相对大量的光被反射成为光束 222b。另一方面,光束 232 包含较大比率的 p 偏振光,当返回到反射式偏振层 202 时 p 偏振光的量增加,因此与光束 222a 相比,透射光束 232a 具有更大的光强度。所以,由反射式偏振层 202 反射的光束 232b 没有光束 222b 强。这样,在暗态中,成像光可能会是不均匀的,而且在 PBS 的一侧比另一侧更亮。

[0046] 在第一盖 204 中的应力双折射效应施加在所有入射到成像装置的光线上,包括轴上光线和斜光线。此外,该效应从 PBS 的一侧到另一侧增加,因此至少在反射平面内关于照明光束的中心不对称。

[0047] 已经通过实验观察到该现象。如图 3A 和图 3B 所示,使用了两个实验装置。在如图 3A 所示的装置 300 中,高压水银弧光灯发射的 s 偏振光 302 以 $f/2.3$ 的光束引导到 MOF PBS 304。MOF PBS 304 基本反射 s 偏振光到平面镜 306,使用该平面镜 306 来模拟在暗态下的反射式成像装置。从平面镜 306 反射并透射通过 PBS 304 的光 308 由偏向棱镜 310 引导到透镜 312,该透镜 312 在对角线尺寸为 50"(127cm) 的屏幕上形成平面镜 306 的图像。然后,使用由 Radiant Imaging Inc. (Duval WA) 制造的 ProMetric PM-1421-1 ImagingColorimeter 捕捉屏幕上的图像。该 PBS 是在共同拥有的美国专利 6,609,705 和 6,721,096 中描述的 MOF PBS。对于 $f/2.3$ 的光束,该 PBS 具有在可见光区域(从 430nm 到 700nm)上的 T_p 和 R_s 值都大于 95% 的偏振层。

[0048] 除了采用四分之一波反射镜(QWM)356(即安装了四分之一波延迟片 358 的反射镜 357)代替平面镜 306 以外,图 3B 所示的装置 350 与图 3A 所示的装置相同。对每个装置 300、350 记录暗态图像。围绕平行于 z 轴的轴线旋转 QWM 356 以得到最佳的暗态。另外,通过围绕平行于 z 轴的轴线旋转 QWM 356 而得到屏幕上的最亮光束,记录 QWM 装置 350 的亮态图像。

[0049] 图 4A 示意性示出投影图像 400 的外周界,其具有 16 : 9 的高宽比。六条虚线 402a-402c、404a-404c 代表横过投影图像的线。图 4B 示出沿屏幕上三条竖直线 402a-402c 的平面镜暗态的亮度:曲线 412a 表示沿线 402a 的暗态亮度,曲线 412b 表示沿线 402b 的暗态亮度,以及曲线 412c 表示沿线 402c 的暗态亮度。将暗态的亮度值相对于 QWM 暗态亮度标准化,即,通过将平面镜暗态亮度除以 QWM 暗态亮度而得到图中的值。这可以从结果中去除一些系统误差,例如由照射平面镜的光束的光强分布不均匀性引起的误差。

[0050] 将坐标系的原点设置在屏幕的中心,即线 402b 和 404b 相交的位置。竖直线 402a-402c 的 x 坐标分别为 -0.45、0 和 0.45,而水平线 404a-404c 的 y 坐标分别为 0.27、0 和 -0.27。这样,标记为 A 到 I 的点,即线 402a-402c 和 404a-404c 的交点,具有如下的坐标:A(-0.45,0.27)、B(0,0.27)、C(0.45,0.27)、D(-0.45,0)、E(0,0)、F(0.45,0)、G(-0.45,-0.27)、H(0,-0.27) 和 I(0.45,-0.27)。这些坐标对应于在投影屏幕上测量的位置(单位:m)。

[0051] 首先,观察对应于图像右侧的线 402c 的曲线 412c,在大约 -0.3m 到 0m 的位置上平面镜暗态亮度接近 QWM 亮度。然而,对于 0m 和 0.3m 之间的位置,平面镜暗态的相对亮度大幅增加,其值高达大约 7。换句话说,平面镜暗态的亮度是 QWM 暗态亮度的大约 7 倍。这说明,当不使用四分之一波延迟片的时候,在这个区域内存在更多的暗态漏光。这样,图像的右上角看起来比左下角亮。其它曲线 412a、412b 不像曲线 412c 在图像的高度上有如此大

的变化,这说明暗态图像在图像 400 的右上角最亮。

[0052] 图 4C 示出对于横过屏幕 400 的三条水平线 404a-404c,平面镜暗态的标准化亮度:曲线 414a 表示沿线 404a 的暗态亮度,曲线 414b 表示沿线 404b 的暗态亮度,以及曲线 414c 表示沿线 404c 的暗态亮度。曲线 414a 表示沿图像 400 上部的位置处的暗态图像亮度,该曲线 414a 对于屏幕左侧的位置(小于 0m 的位置)具有较低的值,但是对于屏幕右侧的位置具有较高的值。这个结果与前一段中所讨论的竖直线 412a-412c 的结果吻合。曲线 414b 和 414c 相对较平坦,这表明在这些区域中平面镜 306 或者 QWM 356 的暗态光强差别不大。标记 416 的点对应于存在灰尘从而妨碍测量出暗态亮度真实值的区域。

[0053] 对于投影图像区域内的 9 个不同位置(对应于位置 A-I) 计算对比度(contrast ratio),即亮态照度除以暗态照度的比值。通过如下方法测量对比度,即:测量当 QWM 旋转对探测器 314 具有最大透射率的位置时暗态光的亮度和亮态光的亮度。在表 I 中列出对每个装置 300 和 350 测量对比度的结果。

[0054] 表 1 使用和不使用四分之一波补偿时成像光中不同位置处的对比度

[0055]

暗态	A	B	C	D	E
平面镜 (306)	15214	2397	1051	7972	4294
QWM (356)	6052	5009	6844	8275	5754

[0056]

暗态	F	G	H	I
平面镜 (306)	6904	5926	6661	19171
QWM (356)	6252	7723	8223	11486

[0057] 优选的是,电视投影系统的对比度是 2500 或者更高的水平。可以看出,在单独使用平面镜 306 时,点 B 和 C 不能满足这个标准,这是因为在 PBS 盖中的应力双折射的缘故。相反的是,对于投影图像上的所有点,QWM 暗态的对比度都远大于 2500。

[0058] 对于一些点,例如点 A 和 I,当使用平面镜 306 而不是 QWM 356 时,对比度更高。这些点对应于 PBS 盖上几乎没有或者完全没有产生应力双折射的位置。由于四分之一波延迟

片 358 的可能由安装引起的或者是延迟片 358 本身固有的缺陷,例如取向缺陷,所得到的 QWM 投影图像的对比度减小。此外,使用 QWM 356 的装置 350 没有进行波长优化,优化后的组件预期会具有改善的对比度性能。QWM 356 上的四分之一波延迟片 358 不是光谱中性的,而是具有大约 137nm 的双折射。因此,该四分之一波片仅针对 550nm 附近的波长提供真正的四分之一波延迟。在 QWM 的情况下,可以预期的是,通过如下方法获得改善的对比度结果:即,通过缩小使用的入射光带宽或者通过使用对于照明光的波长范围具有更一致的延迟量的 (flatter retardation) 的 QWM 356。应该注意,在三面板投影系统中,入射到成像装置上的光的带宽通常为大约 70nm 或者更小,并且可以优化光学元件 (包括 PBS 和四分之一波延迟片) 在每个投影色带上的表现。

[0059] 已经使用米勒矩阵 (Mueller Matrix) 偏振模型来模拟使用四分之一波延迟片 (QWR) 的效果。展示该效果的最简单的模型包括与 PBS 功能等同的交叉线性偏振器,交叉偏振器等同于一次反射和一次穿过 PBS 的透射。在等同的偏振器之间设置双折射玻璃以模拟 PBS 盖、QWR、具有一些杂散延迟 (stray retardance) 的 LCoS 成像器以及反射镜。

[0060] 图 5 示意性示出 PBS 的面 500,并示出偏振 (s 偏振) 方向,而且面 500 上的不同箭头示出不同的双折射方向。双折射方向取决于玻璃材料中的应力方向。得到的分析结果表明 QWR 补偿器基本校正取向与偏振方向夹角为 45° (标记为箭头 (a)) 的任何水平的双折射或者应力。取向在 0° 或 90° 的应力 (分别为箭头 (b) 和 (c)) 对于偏振光束的偏振没有影响。分析结果表明,取向在 22.5° 的应力 (模 45°) (箭头 (d) 和 (e)) 最难以用 QWR 进行补偿。

[0061] 现在将参照图 6A 至图 6D 讨论这种现象的原因。图 6A 示意性示出光束 610 入射到由两个盖 604、606 之间的反射式偏振层 602 形成的 PBS 600。光进入第一盖 604 并由反射式偏振层 602 朝向成像装置 608 反射。第一盖 604 显示出应力双折射。

[0062] 光 610 在反射式偏振层 602 内起偏,或者如果该光 610 先前已经起偏则进行再次起偏。这以如下条件为假设:反射式偏振层 602 具有高的 T_p 值,在入射光的带宽和入射角的范围内该 T_p 值至少大于 90%,优选的是大于 92%,更为优选的是大于 94%。在美国专利 No. 6,609,795 中所述的多层膜偏振层获得了高的 T_p 值,在整个波长范围 (430nm 到 700nm) 内对于 $f/2.3$ 的光束,典型值达到 96% 和 98% 之间。这样,仅有处于不需要的偏振态的一小部分光反射到成像装置 608。

[0063] 反射光 610a 沿穿过第一盖 604 的一条路径传输。在射出第一盖 604 时,在与 z 轴垂直的平面 A 内的光 610a 的偏振态是正交偏振成分的混合。图 6B 所示是对光束偏振成分的示例性选择,该图示出当观察者沿负 z 方向透过 PBS 600 观察成像装置时,穿过玻璃延迟区域的一部分光束 610a 的偏振态。假设 s 偏振方向与 y 方向平行,而 p 偏振方向与 x 方向平行,该假设适用于轴向光线的情况。光束 610 具有相对于 y 轴 (s 偏振方向) 的偏振角 θ_0 。光是椭圆偏振的,而偏振角 θ_0 是偏振椭圆的长轴方向。对于与偏振方向夹角为 45° 的延迟,采用下式得到偏振角 θ_0 :

$$[0064] \quad \theta_0 = \tan^{-1}(I_x/I_y)$$

[0065] 其中, $I_x = I_0 \cdot \sin^2(2 \square \square n \cdot d / \square)$, 以及

$$[0066] \quad I_y = I_0 \cdot \cos^2(2 \square \square n \cdot d / \square)$$

[0067] I_0 是入射光的光强, I_x 和 I_y 分别是平行于 x 轴偏振的光 (p 偏振光) 和平行于 y

轴偏振的光(s 偏振光)的相对强度; $\square nd$ 是沿所研究玻璃区域中的光学路径的总延迟量;而 $\square$ 是光在真空中的波长。对于其它延迟取向,上述公式更复杂,但是在本质上相似。 θ_0 的实际值取决于第一盖604的延迟量,并且在实际情况下,该 θ_0 的实际值可以小于图6B所示的值。选择图6B所示的具体值 θ_0 仅为了说明的目的。

[0068] 光束610a透射通过QWR 612,并由成像装置608反射成为反射光束614并再次透射通过QWR。两次透射通过QWR 612在功能上相当于通过一个半波延迟片。所以,反射光束614的偏振角翻转到 $-\theta_0$ 。图6C示出在由成像装置608反射之后反射光束614在平面A上的偏振角。

[0069] 在再次透射通过QWR 612后,光束614沿基本相同的路径通过盖604到达反射偏振层602,因此经历与光610在入射路径上基本相同的由于应力双折射产生的延迟量。虽然光束614在平面A内的偏振角相对于光束610翻转,然而净效果是这样的:一旦光束614再次通过第一盖604到达偏振层602,偏振角 θ 旋转返回到等于0或者接近0的值。这在图6D中示意性示出,该图示出在反射偏振层602上,光束614在平面B内的偏振态。在示出的实例中,补偿是理想的,光束614是s偏振的,即其偏振方向平行于y轴。该光束将被PBS 600的偏振层602反射,并且基本不对投影图像的亮度做贡献,这正如在暗态成像时应有的情况一样。另一方面,偏振调制光614透射通过反射偏振层602而成为成像光。应该理解到,由于上述的原因,对PBS盖的双折射的补偿可能不总是完全的。然而,补偿的程度会是明显的,并且使得能够将无铅玻璃应用到具有高对比度的PBS中。

[0070] 在反射偏振器具有相对较高的 T_p 值的情况下,使用QWR 612对轴上光610a(即沿平行于z轴的方向从反射偏振层602透过第一盖604传播的光)可以进行良好的应力双折射补偿。然而,在实际中,条件没有这么理想。例如,通常由在特定锥角范围内的光照射成像元件,因此,入射到成像装置608的光线不一定平行于z轴。这样,对于入射和出射光线,双折射的情况不同:反射光线的传播角偏离z轴越大,则照明光的偏振角旋转与反射光线的偏振角旋转的差越大。这样,对第一盖604内的应力双折射的补偿程度可能减小。

[0071] 此外,当 T_p 值降低到小于100%时,由反射偏振层602朝向成像装置608反射的光包含的p偏振光的量增加。由QWR 612产生的偏振角翻转仅仅补偿如下双折射效应,即:经过反射偏振层602反射后的在反射偏振层602和成像装置608之间的路径上的双折射效应。相应地,当反射光610a包含p偏振光时,对比度将降低。因此,非常重要的是, T_p 应该是高的以减少在反射偏振层602上反射的p偏振光的量。因此,这个减少应力双折射效应的方法对于下述情况非常有用:即,当使用有效f-数为,例如f/3.0或者甚至小到f/2.0或者更小的照明光时,对于极限光线 T_p 值大于90%。优选的是, T_p 值大于92%,更优选的是大于94%。

[0072] 除了PBS盖604以外,QWR 612还至少部分地补偿设置在偏振层602和QWR 612之间的任意组成部件中的双折射。例如,QWR 612可以补偿在盖604和偏振层602之间的粘接剂层内产生的双折射。此外,可以将可选的物镜618设置在成像装置608的附近:这种设置(尤其在横向色差方面)可以为投影透镜获得更多的设计自由度。如果物镜618置于QWR 612和偏振层602之间,则物镜618中的双折射可以由QWR 612补偿。其它可以设置在QWR 612和偏振层602之间的组成元件包括,例如用于支撑QWR 612的玻璃衬底(未示出)。

[0073] 在成像装置608的镜面和偏振层602之间的光学面可以设置有增透性能,例如使

用增透涂层。这减少反射损耗,从而增加成像光的光通量。另外,使用增透面可以减少在亮区(相对投影图像的暗背景设置)的周围产生的光晕。这种光晕可能由于从亮区背离光学面朝向成像装置 608 中的反射镜的发散光线而产生。然后光由反射镜反射并具有正确的偏振态以透射通过 PBS 600 而成为成像光。这些光线位于亮区以外,并且对于观察者来说,看起来像从紧邻地包围亮区的暗区中发射的。

[0074] 现在讨论一些从数值模拟得到的结果。图 7 示出作为如下参数的函数计算出的对比度等高线图:i) 在单次透射偏振层 602 和成像装置 608 之间的玻璃盖时在玻璃盖 604 中的延迟量,以及 ii) QWR 612 的取向角。相对于如下条件设置 QWR 612 的取向角(以度为单位):即 QWR 612 的快轴与反射面平行或者垂直。假设盖 604 中的双折射相对于反射面有 45° 夹角。该模型假设:成像装置是在相对于反射面的 45° 夹角处具有 5nm 的面内残余双折射的 VAN 模式液晶显示面板。可以看出,当 QWR 612 的快轴旋转到相对于反射面为大约 1.8° 时得到最大对比度。该计算假设 PBS 600 内的 $T_p = 100\%$ 。既然一些 MOF PBS 可以具有大于 98% 的 T_p 值,所以这个假设是合理的。应该注意到,如上所述,对于玻璃盖 604 中的该双折射取向角,玻璃盖 604 中的任意双折射量可以由一个 QWR 612 的单一取向角进行完全补偿。

[0075] 图 8 示出与图 7 相似的等高线图,但是玻璃盖 604 中的双折射取向角为 22.5° ,这是最难以使用本方法进行补偿的情况。显然,在一定的延迟量水平上,QWR 不能理想地补偿双折射。然而,明智地选择 QWR 的取向角,例如由直线 802 所示的水平,对于玻璃盖延迟量达到 20nm 的情况仍然能够提供相对较高的对比度(大于 6000 : 1)。应该注意到的是,在实际的 PBS 中,玻璃盖的双折射不是都具有 22.5° 的取向角,因此得到的实际对比度可能高于该图中所示。这样,可以使用 QWR 补偿盖中延迟量水平大于 1nm、大于 5nm 和大于 10nm 的情况。

[0076] 图 9 示出作为盖 604 中双折射取向角和 QWR 612 的取向角的函数的对比度等高线图。通过假设玻璃盖 604 的延迟量为 10nm 得到该图中的结果。这些结果清楚地表明,如水平线 902 所示,QWR 612 的单一取向角能够为任意的双折射取向角提供大于 8000 : 1 的高对比度性能。

[0077] 图 10 示出将如下情况下作为玻璃盖 604 中延迟量的函数的对比度进行比较的图:a) 无 QWR 补偿的情况,曲线 1002;b) 优化的 QWR 补偿,假设在成像装置中不存在残余双折射的情况,曲线 1004;c) 优化的 QWR 补偿,在暗态下相对于入射偏振态为 45° 时具有约 5nm 的残余延迟量的情况,曲线 1006。玻璃盖 604 中的双折射的取向角假设为 25° 。在没有补偿的情况下(曲线 1002),在玻璃盖 604 中的延迟量为小值时对比度迅速下降。在延迟量为大约 0.004 个波长时(对于可见光大约为 2nm),对比度减少一半。然而,在进行补偿的情况下(曲线 1004、1006),延迟量的大小必须大于 0.03 个波长(对于可见光大约为 15nm)才能产生相似水平的对比度减小。对于大多背投电视机(RPTV),有用的 PBS 对比度水平应该大于 2500 : 1。图 10 的结果表明,当没有 QWR 补偿时,在应力取向角为 25° 的情况下这个水平的对比度需要不多于 0.004 个波长的延迟量。对比之下,进行双折射补偿的系统可以容许该双折射水平的至少 10 倍,同时仍然满足 2500 : 1 的对比度要求。从表 I 总结的实验结果可以推断,该玻璃盖具有大约 0.0085 个波长(对于可见光大约为 4.7nm)的应力导致的延迟量,这是未进行补偿的系统所不容许的,但是完全在进行补偿的系统可接受的

延迟量水平范围内。

[0078] 除了使用 QWR 进行补偿,对于减小应力导致的双折射的影响来说,可以考虑的另一个因素是减小施加在 PBS 上的应力量。一些应力源很难避免,例如由 PBS 玻璃中的光吸收引起的热致应力。另一些应力源可以通过谨慎的制造和设计而减少,例如由安装引起的应力。

[0079] 通常方便的是将包括一个或者多个 PBS 的光学核心器件安装到光学元件上。例如,图 1 的投影系统 100 示出例如使用诸如压敏粘接剂或者光学环氧树脂等光学粘接剂将 PBS 112a、112b、112c 安装到合色单元 116 上。

[0080] 因此,不应该认为本发明只限于上述具体实例,而是应该认为本发明包括如所附权利要求书中明确提出的本发明的所有方面。本发明所属领域的技术人员将很容易明白适用于本发明的各种修改、等同处理以及多种结构。权利要求书旨在包括这些修改和设计。

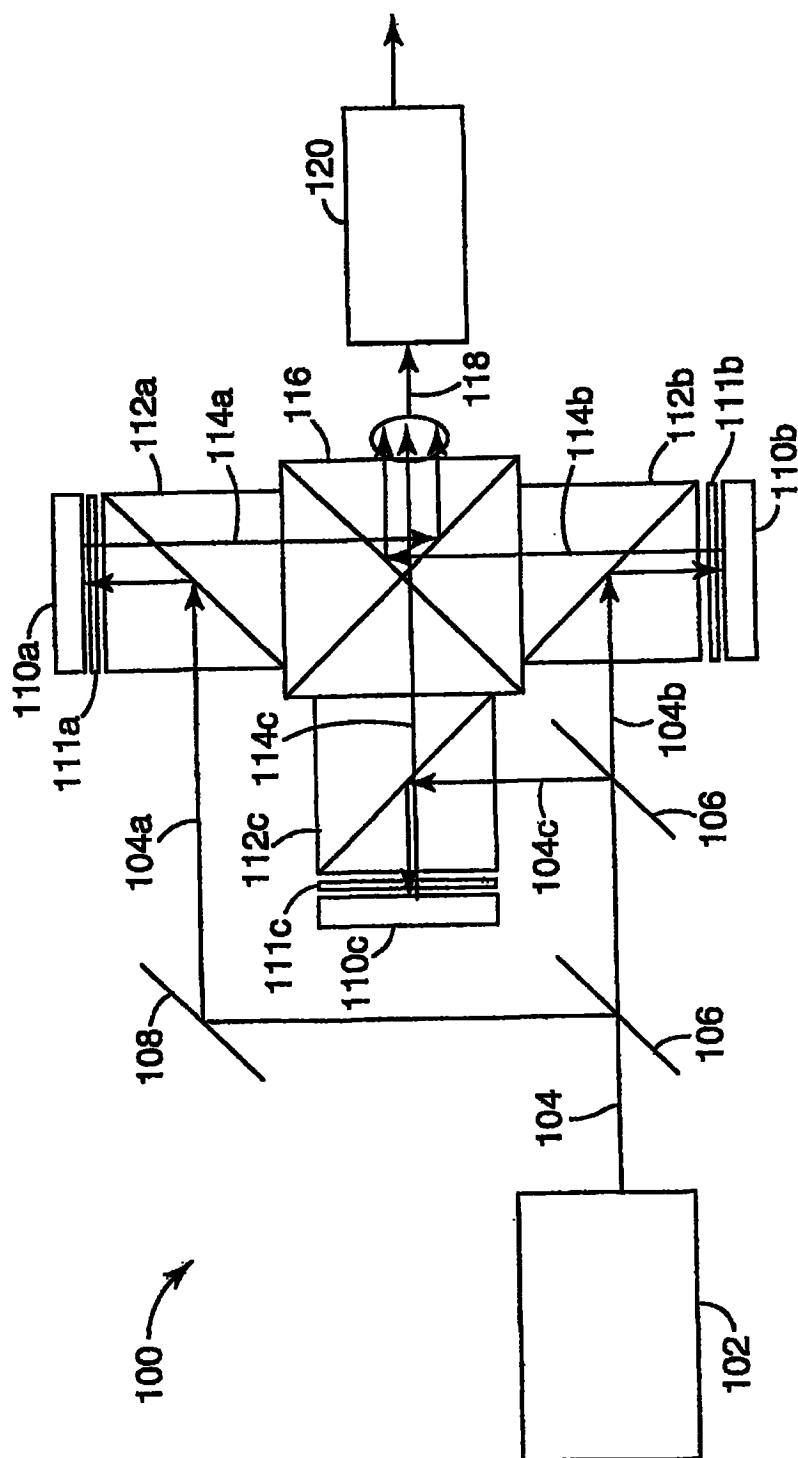


图 1

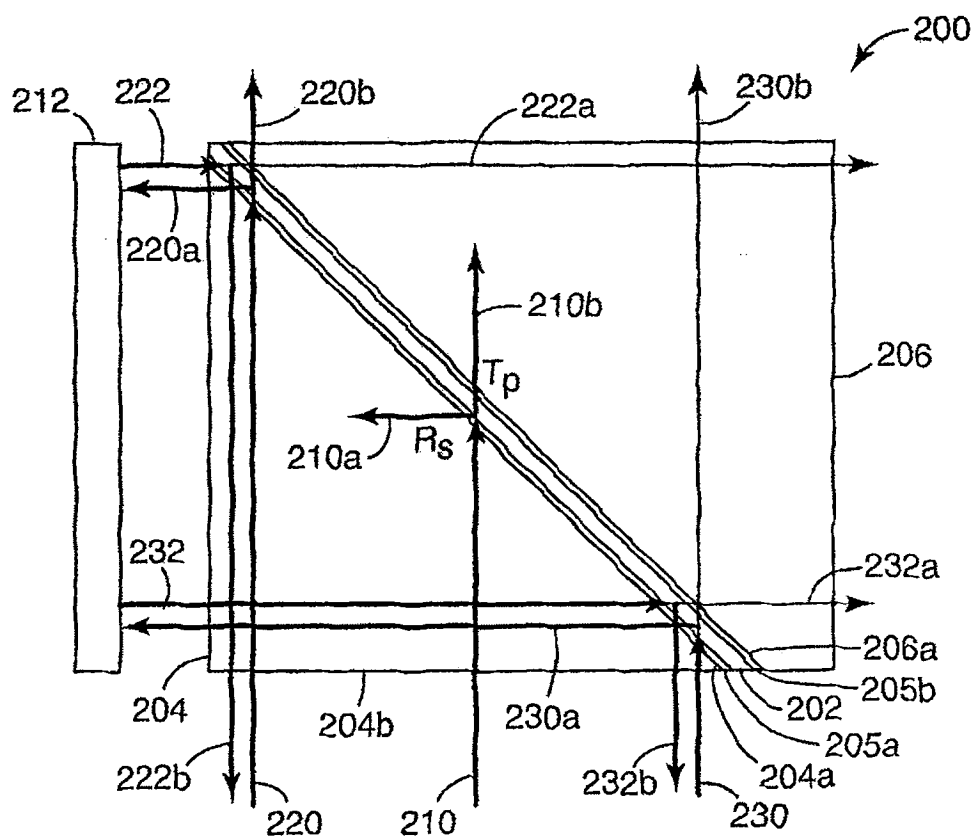


图 2

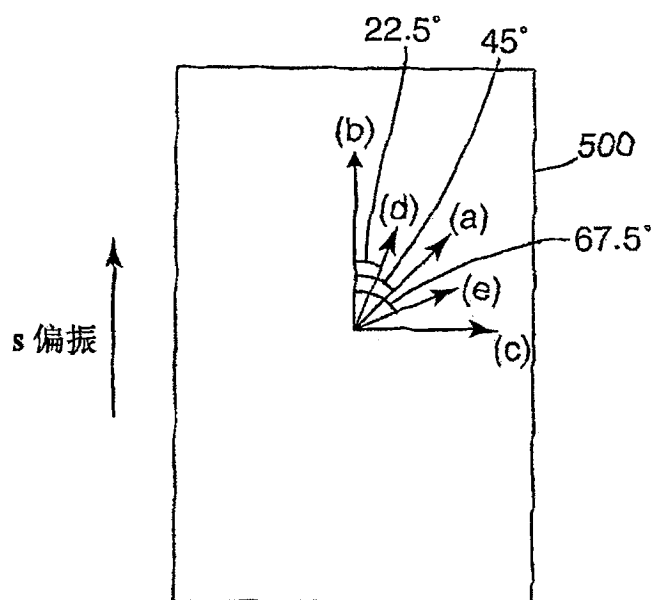


图 5

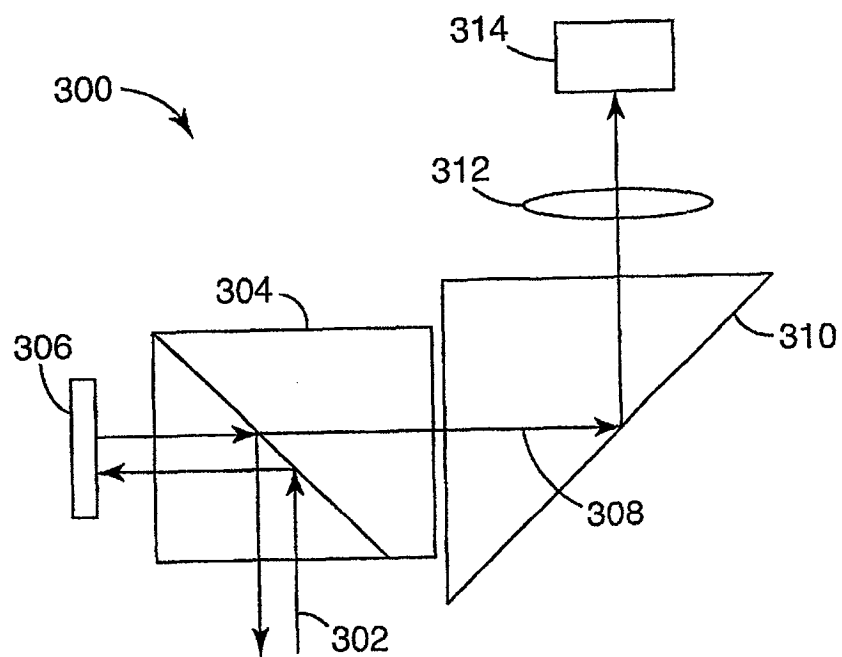


图 3A

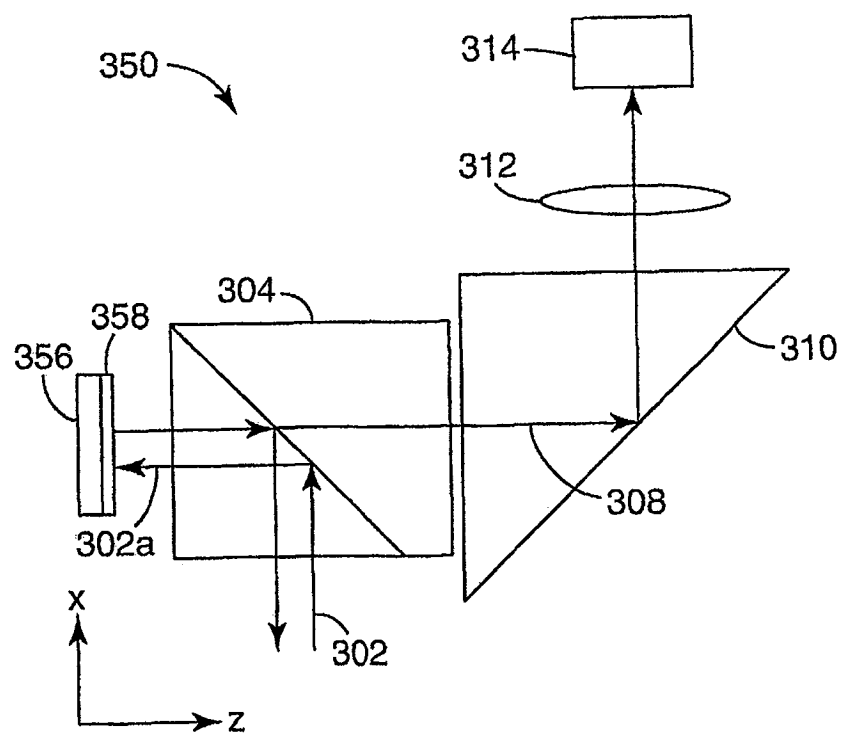


图 3B

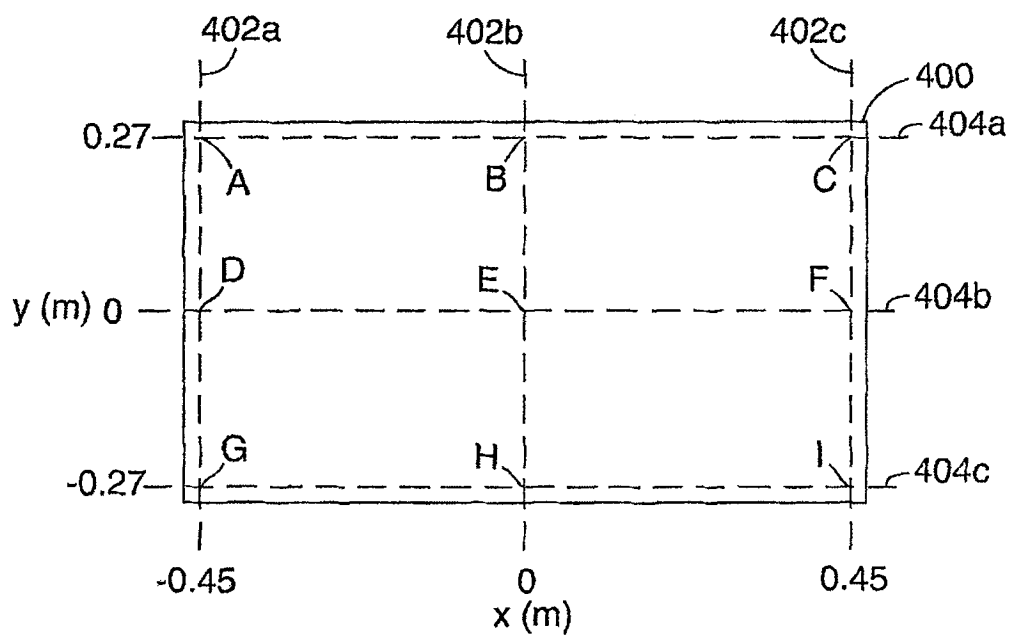


图 4A

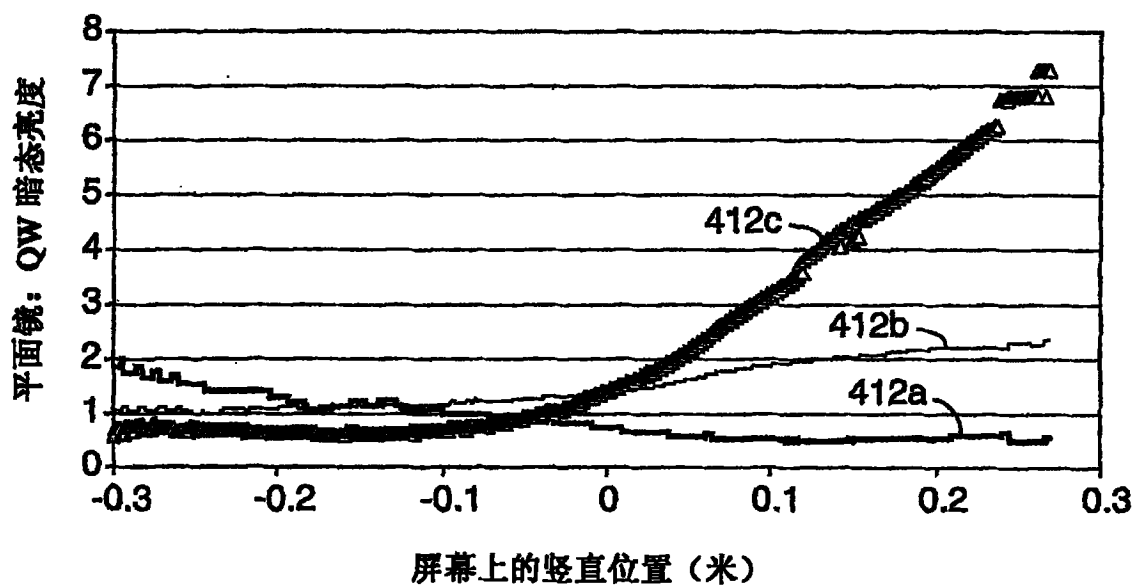


图 4B

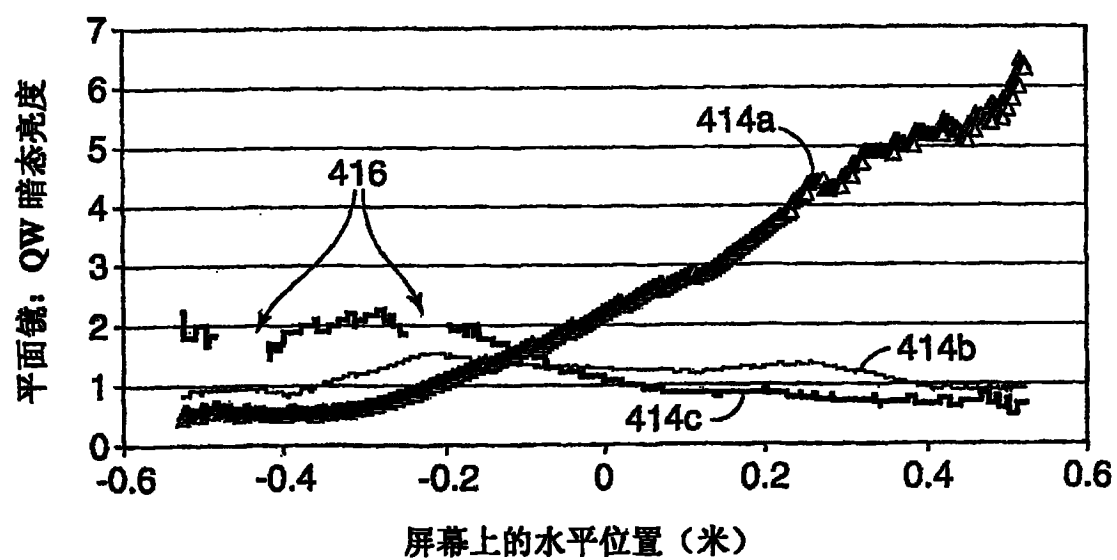


图 4C

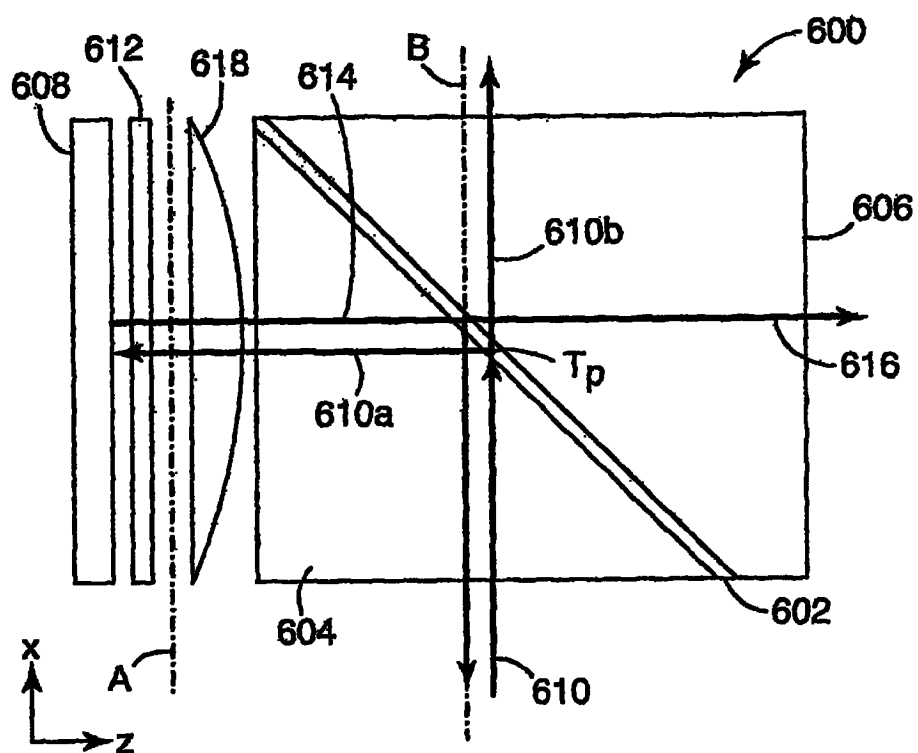


图 6A

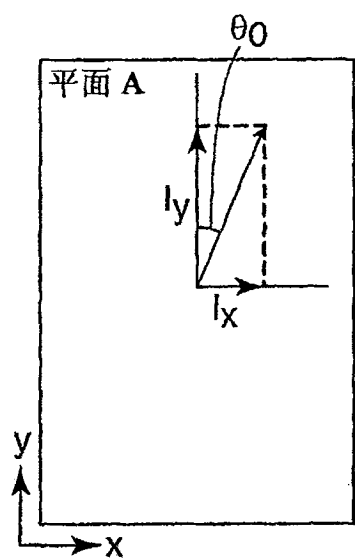


图 6B

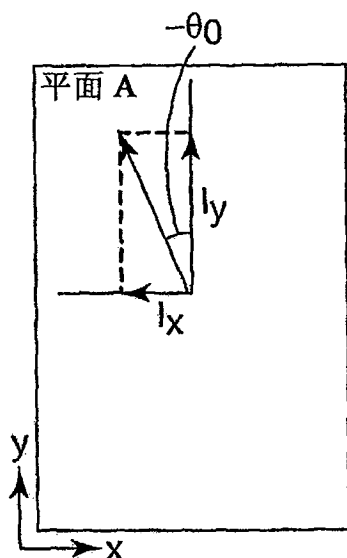


图 6C

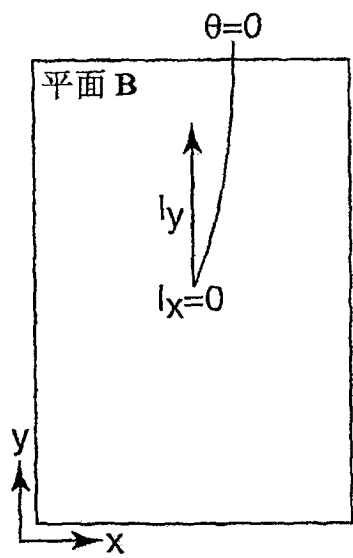


图 6D

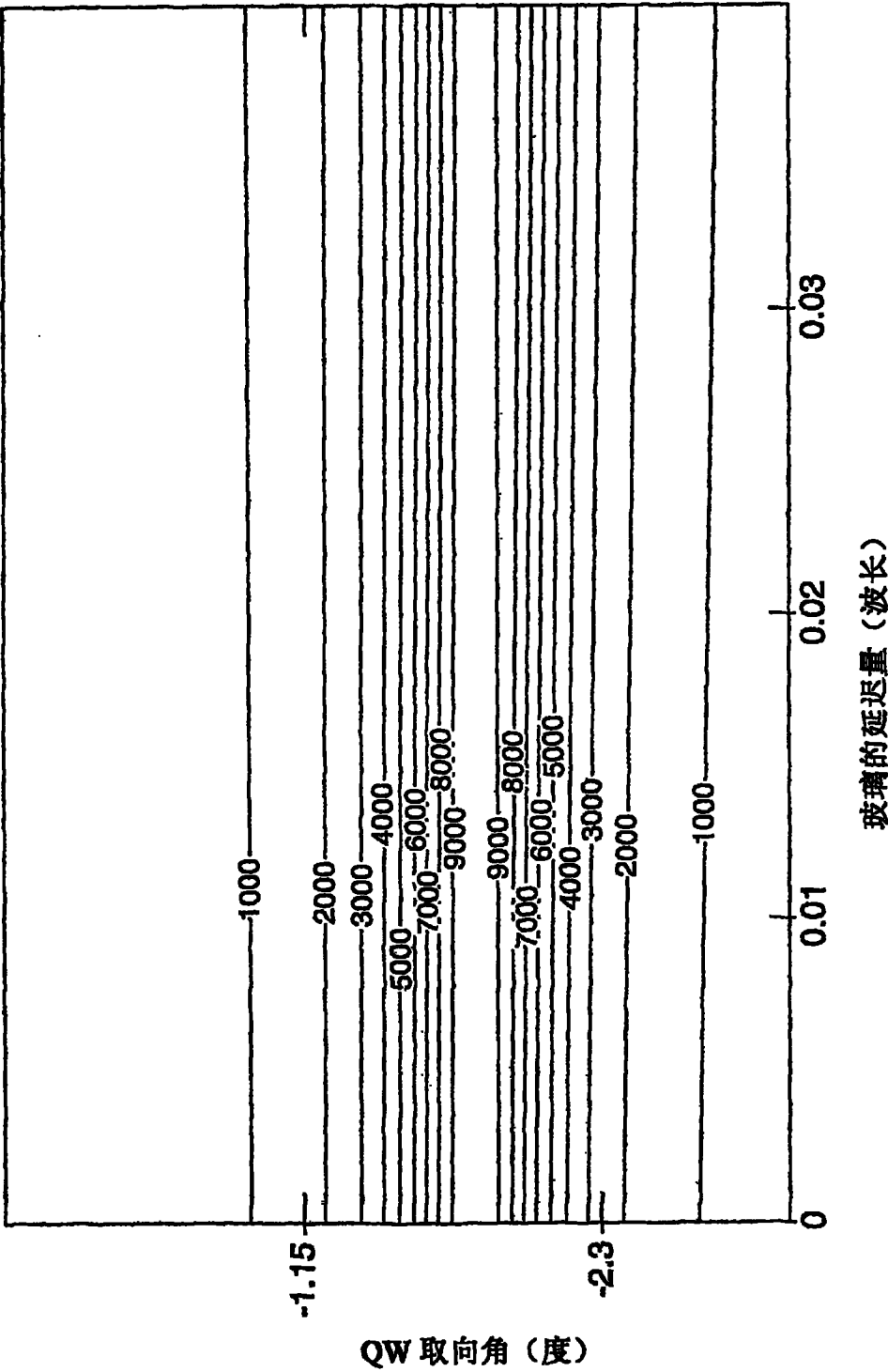


图 7

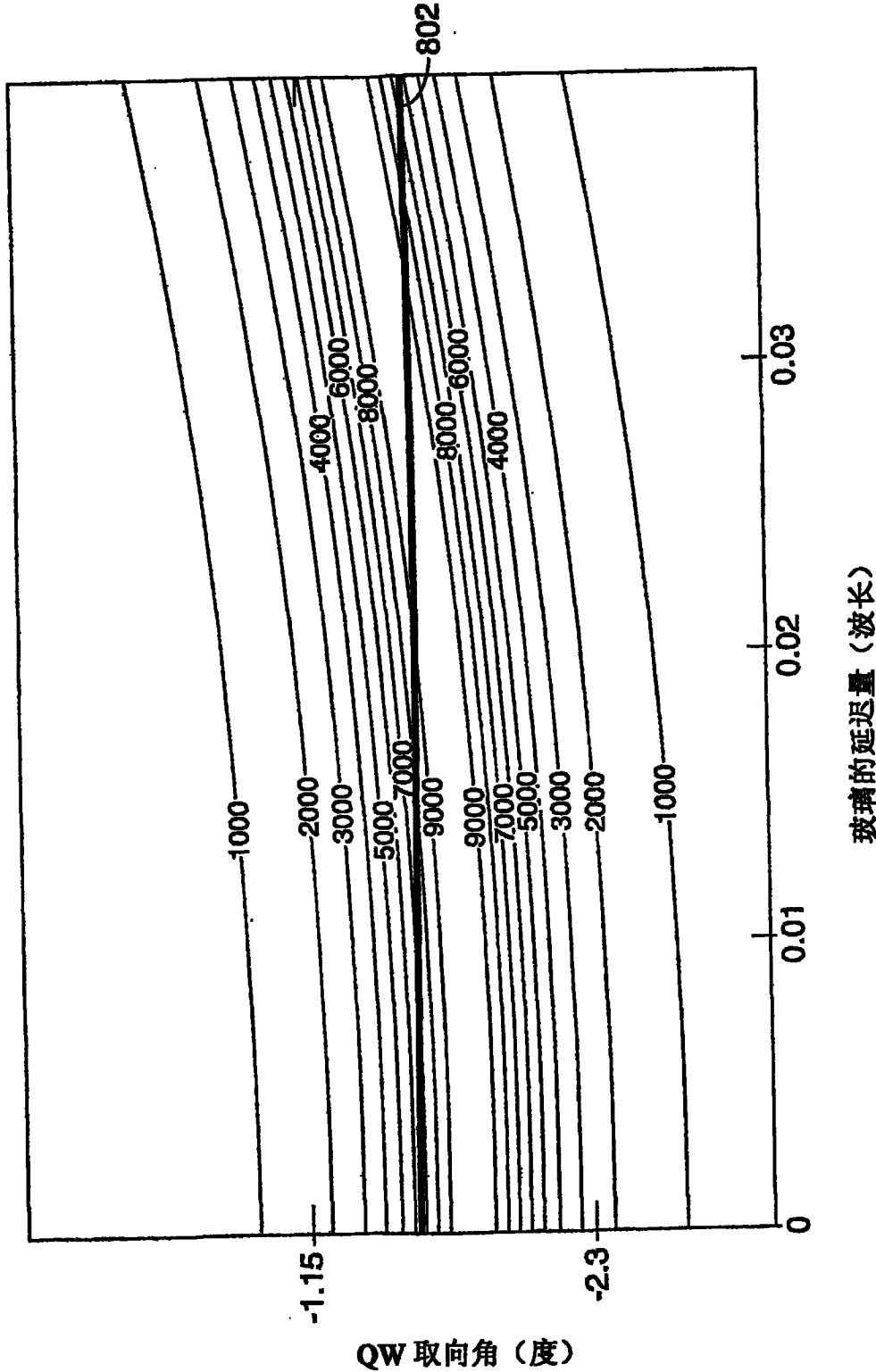


图 8

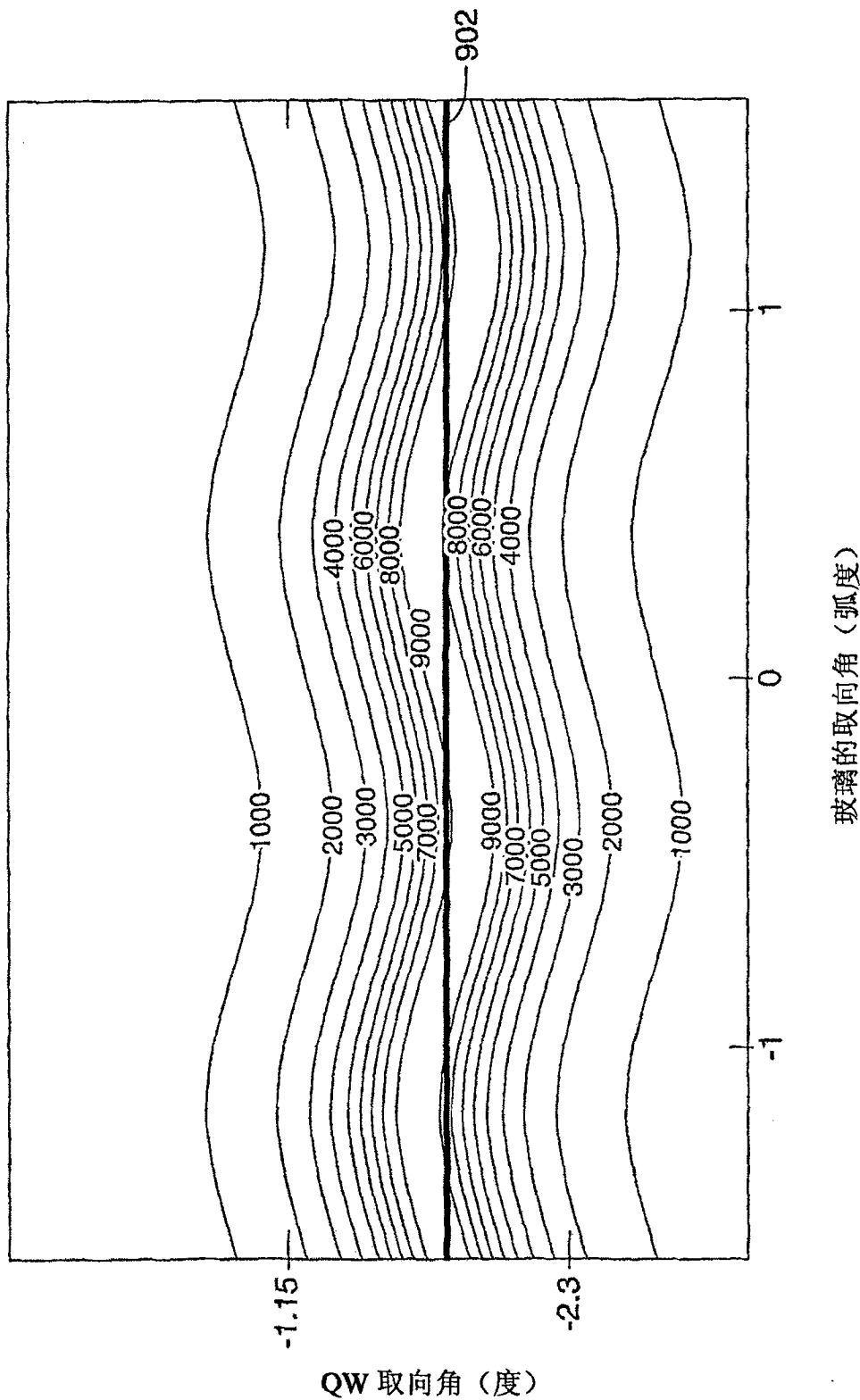


图 9

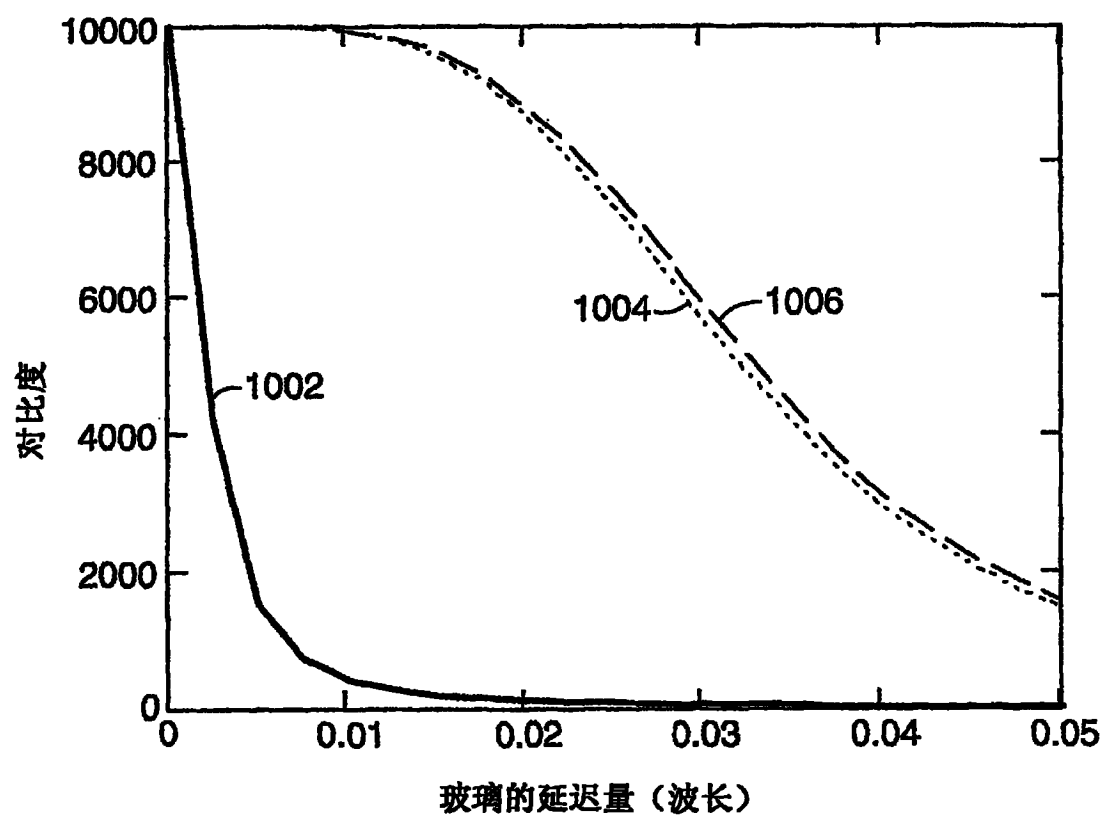


图 10