



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104685409 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 03

(21) 申请号 201380049670. 6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 09. 30

G02F 1/133(2006. 01)

(30) 优先权数据

G02F 1/13(2006. 01)

61/707, 962 2012. 09. 30 US

G02F 1/1343(2006. 01)

G02F 1/29(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

G09G 3/18(2006. 01)

2015. 03. 24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2013/058989 2013. 09. 30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/049577 EN 2014. 04. 03

(71) 申请人 奥普蒂卡阿姆卡(艾阿)有限公司

地址 以色列佩塔提科瓦

(72) 发明人 约阿夫·亚丁 亚历克斯·艾伦

亚里夫·海戴德

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

有限公司 11262

代理人 宁晓 郑霞

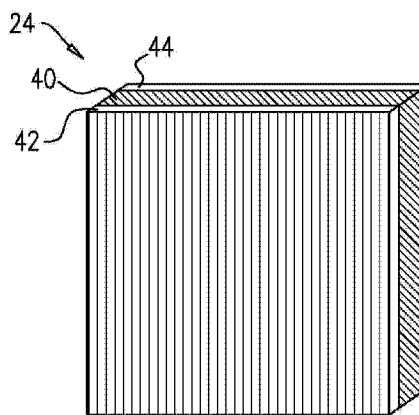
权利要求书6页 说明书13页 附图5页

(54) 发明名称

具有电可调谐功率和对准的透镜

(57) 摘要

一种光学装置 (24, 60), 其包括电光学层 (40, 62), 其在该电光学层的活动区内的任何给定位置处具有有效的局部折射率, 该折射率由施加到在该位置处的电光学层两端的电压波形确定。包括在活动区上延伸的平行导电条纹的激励电极 (46, 68, 72) 的阵列被布置于电光学层的一侧或两侧上。控制电路 (48, 70, 74) 被耦合以将各自的控制电压施加到激励电极, 并且被配置为同时修改施加到激励电极的各自的控制电压波形, 以便在该电光学层中生成指定的相位调制分布图。



1. 一种光学装置,其包括:

电光学层,其在所述电光学层的活动区内的任何给定位置处具有局部有效的折射率,所述局部有效的折射率由施加到在所述位置处的所述电光学层两端的电压波形确定;

公共电极,其被放置在所述电光学层的第一侧上的所述活动区上;

激励电极的阵列,其包括在所述电光学层的与所述第一侧相对的第二侧上的所述活动区上延伸的平行导电条纹;以及

控制电路,其被耦合以将各自的控制电压波形施加到所述激励电极并且被配置为同时修改施加到多个所述激励电极的所述各自的控制电压波形,从而修改所述电光学层的相位调制分布图。

2. 根据权利要求 1 所述的装置,其中所述控制电路被配置为将所述控制电压波形施加到所述激励电极,使得所述装置起到圆柱形透镜的作用,所述圆柱形透镜具有由所述相位调制分布图所确定的聚焦特性。

3. 根据权利要求 2 所述的装置,其中,所述控制电路被配置为将所述控制电压波形施加到所述激励电极,使得所述装置起到圆柱形菲涅耳透镜的作用。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的装置,其中,所述控制电路被配置为修改施加到所述激励电极的所述控制电压波形以便改变所述圆柱形透镜的焦距。

5. 根据权利要求 2-4 中任一项所述的装置,其中,所述控制电路被配置为修改施加到所述激励电极的所述控制电压波形以便在横向与所述装置的方向上偏移所述圆柱形透镜的焦线。

6. 根据权利要求 1-5 中任一项所述的装置,其中,所述电光学层包括液晶。

7. 根据权利要求 6 所述的装置,其中,所述液晶被配置为偏振无关层。

8. 根据权利要求 1-7 中任一项所述的装置,其中,所述电光学层具有等于所述第一侧和第二侧之间的距离的层厚度,并且所述激励电极具有电极间的间距,所述电极间的间距小于所述电光学层的所述层厚度的四倍。

9. 一种包括根据权利要求 1-8 中的任一项所述的第一光学装置和第二光学装置的仪器,其中,所述第一光学装置和所述第二光学装置被串联布置。

10. 根据权利要求 9 所述的仪器,其中,所述第二光学装置中的所述激励电极在正交于所述第一光学装置中的所述激励电极的方向上定向。

11. 根据权利要求 9 或 10 所述的仪器,其中,所述第一光学装置和所述第二光学装置的电极共享公共的基板。

12. 根据权利要求 9-11 中任一项所述的仪器,其中,所述控制电路被配置为将所述控制电压施加到所述第一光学装置和所述第二光学装置中的激励电极,使得所述仪器模拟球形透镜。

13. 根据权利要求 12 所述的仪器,其中,所述控制电路被配置为修改施加到所述激励电极的所述控制电压,以便偏移所述球形透镜的光轴。

14. 根据权利要求 9-13 中任一项所述的仪器,其中,在所述第一光学装置中的所述电光学层具有第一双折射轴,并且在所述第二光学装置中的所述电光学层具有垂直于所述第一双折射轴的第二双折射轴。

15. 一种光学装置,其包括:

电光学层,其在所述电光学层的活动区内的任何给定位置处具有有效的局部折射率,所述有效的局部折射率由施加到在所述位置处的所述电光学层两端的电压波形确定;

第一激励电极的第一阵列,其包括在所述电光学层的第一侧上的所述活动区上在第一方向上延伸的第一平行导电条纹;

第二激励电极的第二阵列,其包括在所述电光学层的与所述第一侧相对的第二侧上的所述活动区上在第二方向上延伸的第二平行导电条纹,所述第二方向正交于所述第一方向;以及

控制电路,其被耦合以将各自的控制电压波形施加到所述激励电极,并且被配置为同时修改施加到所述第一激励电极和所述第二激励电极的所述各自的控制电压波形,以便在所述电光学层中生成指定的相位调制分布图。

16. 根据权利要求 15 所述的装置,其中,所述控制电路被配置为将在不同的各自的幅度的控制电压波形施加到所述激励电极中的不同的激励电极。

17. 根据权利要求 15 或 16 所述的装置,其中,所述控制电路被配置为将具有不同的各自的占空比的控制电压波形施加到所述激励电极中的不同的激励电极。

18. 根据权利要求 15-17 中任一项所述的装置,其中,所述控制电路被配置为将所述控制电压波形施加到所述激励电极,使得所述装置起到透镜的作用,所述透镜具有由所述相位调制分布图所确定的聚焦特性。

19. 根据权利要求 18 所述的装置,其中,所述控制电路被配置为将所述控制电压波形施加到所述激励电极,使得所述装置起到菲涅耳透镜的作用。

20. 根据权利要求 18 或 19 所述的装置,其中,所述控制电路被配置为修改施加到所述激励电极的所述控制电压波形,以便改变所述透镜的焦距。

21. 根据权利要求 18-20 中任一项所述的装置,其中,所述控制电路被配置为修改施加到所述激励电极的所述控制电压波形,以便偏移所述透镜的光轴。

22. 根据权利要求 18-21 中任一项所述的装置,其中,所述控制电路被配置为将所述电压波形施加到所述激励电极,使得所述装置起到像散球形透镜的作用。

23. 根据权利要求 15-22 中任一项所述的装置,其中,所述电光学层包括液晶。

24. 根据权利要求 23 所述的装置,其中,所述液晶被配置为偏振无关层。

25. 根据权利要求 15-24 中任一项所述的装置,其中,所述控制电路被配置为施加所述控制电压波形,使得施加到所述电光学层两端的电压被约束在其中所述局部有效的折射率作为所施加的电压的准线性函数而变化的范围内。

26. 根据权利要求 15-25 中任一项所述的装置,其中,所述相位调制分布图被定义为可分离为第一分量函数和第二分量函数的函数,所述第一分量函数和所述第二分量函数分别沿着在所述第二方向上和第一方向上对准的第一轴和第二轴变化,并且其中施加到所述第一激励电极和所述第二激励电极的所述控制电压波形被分别根据所述第一分量函数和所述第二分量函数进行指定。

27. 根据权利要求 26 所述的装置,其中,根据一组分量波形来定义所述第一分量函数和所述第二分量函数,所述一组分量波形被选择为对应于所述电光学层中的不同的、各自的相位偏移,使得所述相位调制分布图包括由于在所述活动区内的每个位置处的所述第一分量函数和所述第二分量函数引起的各自相位偏移的总和。

28. 根据权利要求 15-27 中任一项所述的装置,其中,所述电光学层具有等于所述第一侧和所述第二侧之间的距离的层厚度,并且所述激励电极具有电极间的间距,所述电极间的间距小于所述电光学层的所述层厚度的四倍。

29. 一种仪器,其包括根据权利要求 15-28 中任一项所述的第一光学装置和第二光学装置,其中,所述第一光学装置和所述第二光学装置串联布置。

30. 根据权利要求 29 所述的仪器,其中,在所述第一光学装置中的所述电光学层具有第一双折射轴,并且在所述第二光学装置中的所述电光学层具有第二双折射轴,所述第二双折射轴垂直于所述第一双折射轴。

31. 一种光学装置,其包括:

电光学层,其在所述电光学层的活动区内的任何给定位置处具有局部有效的折射率,所述局部有效的折射率由施加到在所述位置处的所述电光学层两端的电压确定,所述电光学层具有第一侧和第二侧以及等于所述第一侧和所述第二侧之间距离的层厚度;

导电电极,其在所述电光学层的所述第一侧和所述第二侧上延伸,所述电极包括激励电极的至少一个阵列,所述激励电极具有电极间的间距,所述电极间的间距小于所述电光学层的所述层厚度的四倍;以及

控制电路,其被耦合以将控制电压波形施加到所述激励电极,以便修改所述电光学层的相位调制分布图。

32. 根据权利要求 31 所述的装置,其中,所述电极包括透明导电材料的平行条纹,并在所述条纹之间具有间隙,间隙宽度小于所述电光学层的所述层厚度。

33. 根据权利要求 31 或 32 所述的装置,其中,所述电极包括在所述电光学层的所述第一侧上的所述活动区上在第一方向上延伸的第一平行导电条纹和在所述电光学层的所述第二侧上的所述活动区上在与所述第一方向正交的第二方向上延伸的第二平行导电条纹。

34. 根据权利要求 31-33 中任一项所述的装置,其中,所述控制电路被配置为将所述控制电压波形施加到所述电极,使得所述装置起到透镜的作用,所述透镜具有由所述相位调制分布图所确定的聚焦特性。

35. 根据权利要求 31-34 中任一项所述的装置,其中,所述电光学层包括液晶。

36. 根据权利要求 35 所述的装置,其中,所述液晶被配置为偏振无关层。

37. 一种眼科透镜系统,其包括根据权利要求 1-8、15-28 或 31-36 中任一项所述的装置。

38. 一种用于生产光学装置的方法,所述方法包括:

提供电光学层,其在所述电光学层的活动区内的任何给定的位置处具有局部有效的折射率,所述局部有效的折射率由施加到在所述位置处的所述电光学层两端的电压波形确定;

将公共电极放置在所述电光学层的第一侧上,以便覆盖所述活动区;

放置包括所述平行导电条纹的激励电极的阵列,以便在所述电光学层的与所述第一侧相对的第二侧上的所述活动区上延伸;以及

耦合控制电路以将各自的控制电压波形施加到所述激励电极并且同时修改施加到多个所述激励电极的所述控制电压波形,从而修改所述电光学层的相位调制分布图。

39. 根据权利要求 38 所述的方法,其中耦合所述控制电路包括将所述控制电压波形施

加到所述激励电极,使得所述装置起到圆柱形透镜的作用,所述圆柱形透镜具有由所述相位调制分布图确定的聚焦特性。

40. 根据权利要求 39 所述的方法,其中,施加所述控制电压波形包括选择所述控制电压波形,使得所述装置起到圆柱形菲涅耳透镜的作用。

41. 根据权利要求 39 或 40 所述的方法,其中,施加所述控制电压波形包括修改施加到所述激励电极的所述控制电压波形,以便改变所述圆柱形透镜的焦距。

42. 根据权利要求 39-41 中任一项所述的方法,其中,施加所述控制电压波形包括修改施加到所述激励电极的所述控制电压波形,以便在横向与所述装置的方向上偏移所述圆柱形透镜的焦线。

43. 根据权利要求 38-42 中任一项所述的方法,其中,所述电光学层包括液晶。

44. 根据权利要求 43 所述的方法,其中,所述液晶被配置为偏振无关层。

45. 根据权利要求 38-44 中任一项所述的方法,其中,所述电光学层具有等于所述第一侧和所述第二侧之间的距离的层厚度,并且所述激励电极具有电极间的间距,所述电极间的间距小于所述电光学层的所述层厚度的四倍。

46. 一种方法,其包括重叠根据权利要求 38-45 中任一项所述的方法所生产的第一光学装置和第二光学装置。

47. 根据权利要求 46 所述的方法,其中,在所述第二光学装置中的所述激励电极在正交于所述第一光学装置中的所述激励电极的方向上定向。

48. 根据权利要求 46 或 47 所述的方法,其中,所述第一光学装置和所述第二光学装置的电极共享公共的基板。

49. 根据权利要求 46-48 中任一项所述的方法,其中,耦合所述控制电路包括将所述控制电压波形施加到所述第一光学方法和第二光学方法中的所述激励电极,使得所述装置一起模拟球形透镜。

50. 根据权利要求 49 所述的方法,其中,施加所述控制电压波形包括修改施加到所述激励电极的所述控制电压波形,以便偏移所述球形透镜的光轴。

51. 根据权利要求 38-50 中任一项所述的方法,其中,在所述第一光学装置中的所述电光学层具有第一双折射轴,并且在所述第二光学装置中的所述电光学层具有垂直于所述第一双折射轴的第二双折射轴。

52. 一种用于生产光学装置的方法,所述方法包括:

提供电光学层,其在所述电光学层的活动区内的任何给定的位置处具有局部有效的折射率,所述局部有效的折射率由施加到在所述位置处的所述电光学层两端的电压波形确定;

放置包括第一平行导电条纹的第一激励电极的第一阵列,以便在所述电光学层的第一侧上的所述活动区上在第一方向上延伸;

放置包括第二平行导电条纹的第二激励电极的第二阵列,以便在与所述电光学层的与所述第一侧相对的第二侧上的所述活动区上在与所述第一方向正交的第二方向上延伸;以及

耦合控制电路以将各自的控制电压波形施加到所述激励电极并且同时修改施加到所述第一激励电极和所述第二激励电极两者的所述控制电压波形,以便在所述电光学层中生

成指定的相位调制分布图。

53. 根据权利要求 52 所述的方法, 其中, 耦合所述控制电路包括将在不同的各自的幅度的控制电压波形施加到所述激励电极中的不同的激励电极。

54. 根据权利要求 52 或 53 所述的方法, 其中, 耦合所述控制电路包括分别将具有不同的各自的占空比的所述控制电压波形施加到所述激励电极中的不同的激励电极。

55. 根据权利要求 52-54 中任一项所述的方法, 其中耦合所述控制电路包括将所述控制电压波形施加到所述激励电极, 使得所述装置起到透镜的作用, 所述透镜具有由所述相位调制分布图所确定的聚焦特性。

56. 根据权利要求 55 所述的方法, 其中, 施加所述控制电压波形包括选择所述控制电压波形, 使得所述装置起到菲涅耳透镜的作用。

57. 根据权利要求 55 或 56 所述的方法, 其中, 施加所述控制电压波形包括修改施加到所述激励电极的所述控制电压波形, 以便改变所述透镜的焦距。

58. 根据权利要求 55-57 中任一项所述的方法, 其中, 施加所述控制电压波形包括修改施加到所述激励电极的所述控制电压波形以便偏移所述透镜的光轴。

59. 根据权利要求 55-58 中任一项所述的方法, 其中, 施加所述控制电压波形包括选择施加到所述激励电极的所述控制电压波形, 使得所述装置起到像散球形透镜的作用。

60. 根据权利要求 52-59 中任一项所述的方法, 其中, 所述电光学层包括液晶。

61. 根据权利要求 60 所述的方法, 其中, 所述液晶被配置为偏振无关层。

62. 根据权利要求 52-61 中任一项所述的方法, 其中, 耦合所述控制电路包括施加所述控制电压波形, 使得施加在所述电光学层两端的电压被约束在其中所述局部有效的折射率作为所施加的电压的准线性函数而变化的范围内。

63. 根据权利要求 52-62 中任一项所述的方法, 其中, 所述相位调制分布图被定义为可分离为第一分量函数和第二分量函数的函数, 所述第一分量函数和所述第二分量函数分别沿着在所述第二方向和第一方向对准的第一轴和第二轴变化, 并且其中, 施加到所述第一激励电极和所述第二激励电极的所述控制电压波形分别被根据所述第一分量函数和所述第二分量函数进行指定。

64. 根据权利要求 63 所述的方法, 其中根据一组分量波形来定义所述第一分量函数和所述第二分量函数, 所述一组分量波形被选择为对应于在所述电光学层中的不同的各自的相位偏移, 使得所述相位调制分布图包括由于在所述活动区内的每个位置处的所述第一分量函数和所述第二分量函数引起的各自的相位偏移的总和。

65. 根据权利要求 52-64 中任一项所述的方法, 其中, 所述电光学层具有等于所述第一侧和所述第二侧之间的距离的层厚度, 并且所述激励电极具有电极间的间距, 所述电极间的间距小于所述电光学层的所述层厚度的四倍。

66. 一种用于生产光学装置的方法, 所述方法包括:

提供电光学层, 所述电光学层在所述电光学层的活动区内的任何给定的位置处具有局部有效的折射率, 所述局部有效的折射率由施加到在所述位置处的所述电光学层两端的电压确定, 所述电光学层具有第一侧和第二侧以及层厚度, 所述层厚度等于所述第一侧和所述第二侧之间的距离;

放置导电电极以便在所述电光学层的所述第一侧和所述第二侧上延伸, 所述电极包括

激励电极的至少一个阵列,所述激励电极具有电极间的间距,所述电极间的间距小于所述电光学层的所述层厚度的四倍;以及

耦合控制电路以将控制电压波形施加到所述激励电极,以便修改所述电光学层的相位调制分布图。

67. 根据权利要求 66 所述的方法,其中放置所述电极包括将透明导电材料的平行条纹放置在所述电光学层上,所述条纹具有所述条纹之间的间隙,所述间隙的间隙宽度小于所述电光学层的所述层厚度。

68. 根据权利要求 66 或 67 所述的方法,其中,放置所述电极包括放置第一平行导电条纹以便在所述电光学层的所述第一侧上的所述活动区上在第一方向上延伸,并且放置第二平行导电条纹以便在所述电光学层的所述第二侧上的所述活动区上在与所述第一方向正交的第二方向上延伸。

69. 根据权利要求 66-68 中任一项所述的方法,其中,耦合所述控制电路包括将所述控制电压波形施加到所述电极,使得所述装置起到透镜的作用,所述透镜具有由所述相位调制分布图所确定的聚焦特性。

70. 根据权利要求 66-69 中任一项所述的方法,其中,所述电光学层包括液晶。

71. 根据权利要求 70 所述的方法,其中,所述液晶被配置为偏振无关层。

## 具有电可调谐功率和对准的透镜

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于 2012 年 9 月 30 日提交的美国临时专利申请序号为 61/707,962 的权益,其通过引用并入本文。

### 发明领域

[0003] 本发明总体上涉及光学装置,并且特别涉及电可调谐透镜。

[0004] 背景

[0005] 可调谐透镜是光学元件,其光学特征(诸如焦距和/或光轴的位置)在使用期间可以被调整(通常处于电子控制下)。这样的透镜可以在各种各样的应用中使用。例如,其公开通过引用并入本文的第 7,475,985 号美国专利,为了视力矫正的目的描述了电活性透镜的使用。

[0006] 电可调谐透镜通常包含薄层的适合的电光学材料,即,其局部有效的折射率根据施加在材料两端的电压而改变的材料。电极或电极阵列被用于施加所期望的电压以便于将折射率局部地调整到所期望的值。液晶是最常见的用于此目的(其中所施加的电压使分子转动,这改变了双折射的轴并且由此改变了有效的折射率)的电光学材料,但是具有相似的电光学特性的其他材料(诸如聚合物凝胶)可代替地用于此目的。

[0007] 基于液晶的透镜的各种设计在本领域中已熟知,虽然它们的实际使用已经受到限制。例如,莫诺夫(Naumov)等人在光学快报(Optics Letters)第 23 期,992-994 页(1998)的“Liquid-Crystal Adaptive Lenses with Modal Control”中描述了用于此目的的一种方法,其通过引用该并入本文。作者使用了向列液晶(LC)相位校正器以形成球形波前和圆柱形波前。具有分布式反应电阻抗的 LC 单元由施加到单元边界的 AC 电压驱动以产生所期望的折射率的空间分布。

[0008] 其它的可调谐透镜的设计使用电极阵列来定义在液晶中的像素网格,其相似于在液晶显示器中所使用的这种像素网格。单独的像素的折射率可以被电控制以给出所期望的相位调制分布图。(在本说明书和权利要求中使用的术语“相位调制分布图”是指局部相位偏移的分布,该局部相位偏移的分布被施加到通过该层的光,作为可调谐透镜的电光学层的区域上的局部可变的有效的折射率的结果。)例如,在上面所提到的第 7,475,985 号美国专利中描述了使用这种网格阵列的透镜。

[0009] 概要

[0010] 下文所描述的本发明的实施例提供了改进的电可调谐光学装置。

[0011] 因此,根据本发明的实施例提供了一种光学装置,其包括电光学层,该电光学层在电光学层的活动区内的任何给定位置具有局部有效的折射率,其中该折射率是由施加在该位置处的电光学层两端的电压波形所确定。公共电极被放置在电光学层的第一侧的活动区上。包括平行导电条纹的激励电极的阵列在与第一侧相对的电光学层的第二侧的活动区上延伸。控制电路被耦合以将各自的控制电压波形施加到激励电极并且被配置为同时修改施加到多个激励电极的控制电压波形,从而修改电光学层的相位调制分布图。



[0012] 在一些实施例中,控制电路被配置为施加控制电压波形到激励电极,使得装置起到圆柱形透镜的作用,可能是圆柱形菲涅耳透镜(Fresnel lens),其具有由相位调制分布图所确定的聚焦特性。通常,控制电路被配置为修改施加到激励电极的控制电压波形以便改变圆柱形透镜的焦距和/或偏移在横向于装置的方向上的圆柱形透镜的焦线。

[0013] 在公开的实施例中,电光学层包括液晶,其可以被配置为偏振无关层。

[0014] 根据本发明的实施例,还提供包括如上所述的第一光学装置和第二光学装置的仪器,其中第一光学装置和第二光学装置被串联布置。其中第一光学装置和第二光学装置的电极可以共享公共的基板。在所公开的实施例中,在第二光学装置中的激励电极被定向在与第一装置中的激励电极正交的方向上,并且控制电路可以被配置为将控制电压施加到第一光学装置和第二装置中的激励电极使得仪器模拟球形透镜。可选的是,控制电路可以修改施加到激励电极的控制电压以便偏移球形透镜的光轴。

[0015] 可代替的是,在第一光学装置中的电光学层具有双折射轴,并且在第二光学装置中的电光学层具有垂直于第一双折射轴的第二双折射轴。

[0016] 根据本发明的实施例,另外提供包括如上所述的装置的眼科透镜系统。

[0017] 根据本发明的实施例,还提供包括电光学层的光学装置,其在电光学层的活动区内的任何给定位置具有局部有效的折射率,其由该位置处的施加在电光学层两端的电压波形确定。包括第一平行导电条纹的第一激励电极的第一阵列在电光学层的第一侧上的活动区上的第一方向上延伸。包括第二平行导电条纹的第二激励电极的第二阵列在电光学层的与第一侧相对的第二侧上的活动区上的正交于第一方向的第二方向上延伸。控制电路被耦合以将各自的控制电压波形施加到激励电极并且被配置为同时修改施加到第一激励电极和第二激励电极两者的各自的控制电压波形以便在电光学层中产生指定的相位调制分布图。

[0018] 在所公开的实施例中,控制电路被配置为将在不同的、各自的幅度的控制电压波形施加到激励电极中的不同的激励电极和/或将具有不同的、各自的占空比的控制电压波形施加到激励电极中的不同的激励电极。

[0019] 在一些实施例中,控制电路被配置为将控制电压施加到激励电极,使得装置起到透镜(诸如菲涅耳透镜)的作用,其具有由相位调制分布图所确定的聚焦特性。通常,控制电路被配置为修改施加到激励电极的控制电压波形以便改变透镜的焦距和/或偏移透镜的光轴。控制电路可以将电压波形施加到激励电极,使得该装置起到像散球形透镜的作用。

[0020] 在一个实施例中,控制电路被配置为施加控制电压波形,使得在电光学层两端所施加的电压被限制在其中局部有限的折射率作为施加电压的准线性函数变化的范围内。

[0021] 在另一个实施例中,相位调制分布图被定义为函数,该函数被可分为第一分量函数和第二分量函数,它们分别沿着分别在第二方向和第一方向对准的第一轴和第二轴变化,并且分别根据第一分量函数和第二分量函数来指定施加到第一激励电极和第二激励电极的控制电压波形。可以根据一组分量波形来定义第一分量函数和第二分量函数,所述一组分量波形被选择为对应于电光学层中的不同的、各自的相位偏移,使得相位调制分布图包括由于在活动区内的每个位置处的第一分量函数和第二分量函数的各自的相位偏移的总和。

[0022] 根据本发明的实施例,另外提供包括如上所述的第一光学装置和第二光学装置的

仪器,其中第一光学装置和第二光学装置被串联布置,可能具有垂直的双折射轴。

[0023] 根据本发明的实施例,还另外提供包括电光学层的光学装置,电光学层在电光学层的活动区内的任何给定位置处具有局部有效的折射率,该折射率是由该位置处的在电光学层两端所施加的电压波形确定。电光学层具有第一侧和第二侧以及等于第一侧和第二侧之间的距离的层厚度。导电电极在电光学层的第一侧和第二侧上延伸。电极包括具有小于四倍的电光学层的层厚度的电极间的间距的激励电极的至少一个阵列。控制电路被耦合以将控制电压施加到激励电极,以便修改电光学层的相位调制分布图。

[0024] 在公开的实施例中,电极包括透明导电材料的具有间隙的平行条纹,条纹之间的间隙宽度小于所述电光学层的层厚度。

[0025] 根本发明的实施例,还提供用于生产光学装置的方法。该方法包括提供电光学层,其具有在电光学层的活动区内的给定位置处的局部有效的折射率,该折射率由该位置处的在电光学层两端所施加的电压波形确定。公共电极被放置在电光学层的第一侧上,以便覆盖活动区。放置包括平行导电条纹的激励电极的阵列以便在电光学层的与第一侧相对的第二侧上的活动区上延伸。控制电路被耦合以将各自的控制电压波形施加到激励电极,并同时修改施加到多个激励电极的控制电压波形,从而修改电光学层的相位调制分布图。

[0026] 根据本发明的实施例,另外提供一种用于生产光学装置的方法,该方法包括提供电光学层,其在电光学层的活动区内的任何给定位置处具有局部有效的折射率,该折射率是由在该位置处的在电光学层两端所施加的电压波形确定。放置包括第一平行导电条纹的第一激励电极的第一阵列以便在电光学层的第一侧上的活动区上的第一方向上延伸。放置包括第二平行导电条纹的第二激励电极的第二阵列以便在电光学层的相对于第一侧的第二侧上的活动区上的正交于第一方向的第二方向上延伸。控制电路被耦合以将各自的控制电压波形施加于激励电极并且同时修改施加到第一激励电极和第二激励电极两者的控制电压波形以便在电光学层中生成指定的相位调制分布图。

[0027] 根据本发明的实施例,还提供一种用于生产光学装置的方法。该方法包括提供电光学层,其在电光学层的活动区内的任何给定位置处具有局部有效的折射率,该折射率是由施加在该位置处的电光学层两端的电压确定,电光学层具有第一侧和第二侧,并且层厚度等于第一侧和第二侧之间的距离。导电电极被放置以便在电光学层的第一侧和第二侧上延伸,包括至少一个激励电极阵列的电极具有小于四倍的电光学层的层厚度的电极间的间距。控制电路被耦合以将控制电压波形施加于激励电极以便修改电光学层的相位调制分布图。

[0028] 根据其实施例的以下详细描述连同附图将更充分理解本发明,在附图中:

[0029] 附图简述

[0030] 图 1 是根据本发明的实施例的光学系统的示意性的侧视图;

[0031] 图 2A 是根据本发明的实施例的光学装置的示意性的图示说明。

[0032] 图 2B 和 2C 是根据本发明的实施例的设置在图 2A 的装置的相对侧上的电极的示意性的侧视图;

[0033] 图 3A 是根据本发明的另一个实施例的光学装置的示意性的图示说明;

[0034] 图 3B 和 3C 是根据本发明的实施例的形成在图 3A 中的装置的相对侧上的电极的示意性的侧视图;

[0035] 图 3D 是根据本发明的实施例的显示了在装置的相对侧上的电极的重叠的图 3A 的装置的示意性的侧视图。

[0036] 图 4 是根据本发明的实施例的显示了在光学装置中的根据施加的电压在控制光学装置时使用的液晶层的有效折射率的依赖性的示意图。

[0037] 实施例的详细说明

[0038] 概述

[0039] 使用具有像素网格的电光学材料的电可调谐透镜原则上可以在局部折射率和像素间距的可实现的范围极限内生成任何期望的相位调制分布图。然而,对于许多应用的实际透镜的实现(诸如用于眼部使用)要求非常小的像素的大的可寻址的网格,例如,具有  $50\ \mu\text{m}$  或更小的间距的至少  $400\times 400$  像素的阵列。

[0040] 在液晶演示器(LCD)面板中,像素通常布置在  $N$  行和  $M$  列的矩阵中。 $N\times M$  像素中的每个像素可以接收独立于所有其它像素的一组可能的值(灰度等级)。通过改变所施加到液晶(LC)层的局部电压来获得不同的像素值。通常电压是时变的并且在符号(AC)中以比 LC 响应时间更快的速率改变,并且只要平均电压高于一定的阈值,则 LC 响应于所施加电压的有效均值。

[0041] 施加到 LCD 面板像素的有效电压由驱动电路控制。由于大的像素数,驱动电路通常控制列电极和行电极的电压并且不直接控制在每个像素上的电压。该方案使驱动器能够只控制  $N+M$  个电压值而不是  $N\times M$  个电压值。由于需要独立地控制在每个像素上的有效电压,在驱动器中使用分时技术以连续地更新像素的值。行电极通常被用来控制电压(选择活动的行),而列电极用于施加数据依赖性电压,对应于在由行控制电压所选择的目前活动的行中的像素所要求的值。一定的列所要求的像素值因此在列电压波形上被多路复用。

[0042] 例如,通过将晶体管放置在每个像素旁边,可以实现这种分时。晶体管将列电极连接到像素电极,并且晶体管的导电率由对应的行电极控制。行因此是连续可寻址的,一次一行。当一定的行(例如行号为  $k$ ) 将被更新时,第  $k$  行电极的电压被设置以打开该行的像素的晶体管,而所有其他行电压被设置为关闭晶体管。根据将在行  $k$  中所显示的数据,然后更新列电极电压。虽然这种面板能够实现透镜,但是由于晶体管引起的相对低的像素填充系数,故产生限制透镜质量的衍射效应。

[0043] 还可以不借助于晶体管而实现分时。在该被称为时分多路复用的方案中,LC 层被放置在平行电极的定向为正交的两个阵列之间。 $X$  轴电极被放置在 LC 的一侧上,并且正交于  $X$  轴电极的  $Y$  轴电极被放置在 LC 的另一侧上。每个像素上的电压因此是它的行电极和列电极的电压波形之间的差。为了达到所期望的相位调制分布图,所有行电极(除了要被更新的行之外)的电压都被设置为  $V$  偏压的值,该值被选择以确保  $V$  偏压和列电极电压之间的电压差低于 LC 响应阈值电压。只有要被更新的行中的像素接收大于 LC 阈值电压的电压并因此而更新。然而,该方案不能支持大像素数,并且因此不能用于实现高质量的透镜。

[0044] 在本文所描述的本发明的实施例通过提供新颖的电可调谐的光学装置来克服上述限制,该新颖的电可调谐的光学装置能够达到比本领域已知的装置更细的间距和更灵活的寻址能力。例如,公开的装置可以被配置为起到圆柱形透镜(其中沿着一个轴聚焦,使用条纹电极的阵列)的作用或模拟具有双轴聚焦的球形透镜。可以通过应用合适的控制电压来自由地和快速地改变焦距和光轴的位置(即,以这种方式定义的有效中心点和透镜的

轴) 两者。

[0045] 一般而言, 所公开的装置可以被配置为应用任何可分离的相位调制分布图。二维相位分布图  $e^{i\phi(x,y)}$  是可分离的, 如果它可以被分解为两个一维函数的乘积,

$e^{i\phi(x,y)} = e^{i\phi_x(x)} \cdot e^{i\phi_y(y)}$ 。换句话说, 这些装置能够应用定义为可分离为沿着各自的相互正交的

轴而变化的两个分量函数的函数的任何相位调制分布图, 并且该相位调制分布图然后将包括由于第一分量函数和第二分量函数引起的各自的相位偏移的总和。(因为相位是具有周期  $2\pi$  的循环函数, 术语“总和”应该在上下文中理解为包括具有模为  $2\pi$  的模的总和。)

[0046] 在公开的实施例中的一些实施例中, 光学装置包括如上面所解释的电光学层, 意味着在该层的活动区内的任何给定位置处的局部有效的折射率由施加在在邻近该位置的层两端的电压所确定。通常, 电光学层包括液晶, 可能是偏振无关液晶层 (诸如胆甾型 LC 层), 虽然其他类型的电光学材料可以被代替使用。公共电极被放置在电光学层的一侧上的活动区上。包括导电材料的平行条纹的激励电极阵列在电光学层的相对侧上的活动区上延伸。

[0047] 为了驱动和修改电光学层的相位调制分布图, 控制电路将各自的控制电压施加到激励电极。通常, 每个条纹 (即, 每个激励电极) 被单独的连接到控制电路并由控制电路控制, 使得可以同时修改施加到激励电极的中的几个或者甚至全部激励电极的电压波形。该配置提供具有仅由电光学层的条纹和厚度之间的距离限定的分辨率的、任意的、可调谐的一维分布图的光学元件 (例如圆柱形透镜)。可以以仅由控制电路的速度和电光学层的响应时间所限制的速率来修改该装置的相位调制特性。

[0048] 该类型的两个装置可以在直角处被重叠, 其中一个装置中的激励电极在正交于另一个装置中的那些激励电极的方向上定向, 以便提供能够在近轴近似下模拟球形透镜的仪器。

[0049] 在其它实施例中, 光学装置包括电光学层, 该电光学层具有在该层相对侧上的激励电极的第一阵列和第二阵列。阵列中的每个阵列包括在活动区上延伸的导电材料的平行条纹, 其中第二阵列在正交于第一阵列的方向上定向。控制电路将各自的控制电压波形施加到两个阵列中的电极并且能够修改施加到在电光学层的两侧上的多个激励电极 (并且可能是全部激励电极) 的控制电压。控制电路可以同时修改施加到在第一阵列和第二阵列两者中的激励电极的各自的控制电压波形, 以便在电光学层中生成指定的相位调制分布图。

[0050] 在这些实施例中, 不要求时分多路复用方案, 并且行电压波形和列电压波形两者都是数据依赖性的。选择电压波形以在电光学材料中创建线性相位响应。正式声明, 使用的与施加到 LC 的电压波形有关的术语“线性相位响应”意味着当对应于第一预定义的组的相位值  $\{\phi_{x,i}\}_{i=1}^N$  的一组电压波形  $\{V_{x,i}(t)\}_{i=1}^N$  被施加到第一组电极时, 并且对应于第二预定义的组的相位值  $\{\phi_{y,j}\}_{j=1}^M$  的一组电压波形  $\{V_{y,j}(t)\}_{j=1}^M$  被施加到第二组电极时, 其中第二组电极与第一组电极正交地放置, 然后对于每个  $i = 1 \dots N$  和  $j = 1 \dots M$ , 当将电压波形  $V(t)$  施加到电光学层时, 针对通过电光学层的光的相位调制分布图  $T_{LC}\{V(t)\}$  将是

$T_{LC}\{V_{X,i}(t) - V_{Y,j}(t)\} = e^{i(\phi_{X,i} + \phi_{Y,j})}$  在实际的实施例中, 发明人已找到成组的 16 个或更多的相位值 (即  $N, M \geq 16$ ), 在光学性能方面给出良好的结果。

[0051] 例如, 球形透镜是具有传递函数  $T_{(x,y)} = e^{\frac{i\pi}{\lambda f}(x^2 + y^2)}$  的光学元件, 其中  $f$  和  $\lambda$  分别是焦距和波长。  $T_{(x,y)}$  是可分离的,  $T_{(x,y)} = e^{\frac{i\pi}{\lambda f}x^2} + e^{\frac{i\pi}{\lambda f}y^2}$ , 并且总的波长响应可以表示为在  $x$  轴中的相位贡献和  $y$  轴中的相位贡献的总和。具有孔半径  $R$  的透镜的最大相位延迟  $\frac{\pi}{\lambda f}R^2$ 。相位调制范围可以被分为  $N$  个量化等级,  $\phi_i = \frac{i}{N} \cdot \frac{\pi}{\lambda f} R^2$ 。

[0052] 在本发明的一些实施例中, 线性相位响应电压被定义为对应于这些相位值。然后针对每个电极计算所要求的相位调制值。例如, 电极放置于  $x = x_1$  处, 要求相位  $\frac{\pi}{\lambda f}(x_1 - x_0)^2$ , 其中  $x_0$  是透镜的中心点。该相位值被量化为最接近于预定义的量化等级。

最接近的量化等级由  $\phi_i = \frac{1}{N} \cdot \frac{\pi}{\lambda f}(x_1 - x_0)^2 \cong \frac{\pi}{\lambda f}(x_1 - x_0)^2$  表示, 施加到  $x = x_1$  处的电极的电压波形将是  $V_{x,1}(t)$ 。

通过适当的选择线性相位响应电压波形, 在每个像素处的相位调制将是对应于在  $X$  轴和  $Y$  轴上的电极电压波形的相位调制的总和, 因此形成透镜。

[0053] 因此, 与本领域中已知的 LCD 面板的区别在于, 用数据依赖性的电压波形来驱动  $X$  轴电极和  $Y$  轴电极, 并且所有电极可以被同时地和独立地驱动。如在上下文中所使用的术语“同时地”意味着在没有时分多路复用的情况下将驱动波形同时施加到由电极所定义的阵列的不同行和列中的多个像素。术语“独立地”意味着不同的、数据依赖性的波形可以沿着  $X$  轴和  $Y$  轴被施加到每个电极。控制电路可以将不同幅度的和 / 或具有时序波形 (通常具有不同的占空比) 的各自的电压施加到电极中的不同的电极。

[0054] 在本领域中已知的 LCD 装置中, 与液晶层的厚度相比, 像素的间距要大, 以便于保持区别于它们的邻居和最小化串扰的像素。相对于液晶层厚度, 邻接的电极之间的距离是同样大的。相比之下, 在本发明的一些实施例中, 电极间间距 (其可以是恒定的或是可变的) 小于四倍的电光学层的层厚度, 或可能是小于层厚度的两倍或甚至小于层厚度本身。电极条纹之间的距离同样可以小于电光学层的层厚度。电极之间的小的电极间距和窄缝增强可调谐光学装置的所期望的精细分辨率。另外, 由细的电极几何形状引起的相邻像素之间的串扰可以实际上在平滑相位分布图时是有益的, 其中相位分布图在光学装置的区域上生成。

[0055] 系统说明

[0056] 图 1 是根据本发明的实施例的光学系统 20 的示意性的侧视图。在图示的实施例中, 系统 20 被配置为起到镜片的作用, 其对用户的眼睛 22 的视力提供动态的矫正。然而, 该实施例是本发明原则上的可能应用的一个非限制性的例子。

[0057] 系统 20 包括两个电可调谐光学装置 24 和 26, 其被串行布置并被配置为起到可调节的圆柱形透镜的作用。在图 2A-2C 中示出了这种装置。凭借在装置 24 和 26 中的激励电

极的定向,两个装置的各自的圆柱轴相互垂直,使得装置 24 例如具有垂直焦线,而装置 26 具有水平焦线。为了清楚起见,虽然装置 24 和 26 被示出为单独的单元,但是两个装置可以可选地共享一个公共的基板。

[0058] 作为另外的选择,其在图 1 中示出,装置 24 和 26 可以与常规透镜 28 结合使用。该透镜提供系统 20 的基准屈光力,通过操作装置 24 和 26 来动态地调节该基准屈光力。

[0059] 控制单元(未示出)控制光学装置 24 和 26 以便对它们的各自的功率和对准进行调谐。例如,各自的功率可以被增加或减少以调节距离,在该距离处眼睛 22 试图聚焦。装置 24 和 26 可以设置为具有相同的功率,以便模拟可能添加有非球形组件的球形透镜。可代替的是,装置 24 和 26 可以具有不同的功率,以便起到非球形透镜的作用。

[0060] 作为图 1 中示出的另一个例子,装置 24 和 26 的光学中心线可以横向偏移,使得系统 20 的光轴从基准轴 30 偏移至偏离轴 32。这种轴偏移可以可能结合对眼镜的追踪而进行应用,以随着用户的凝视角动态调整系统的光轴。

[0061] 更一般来说,可以通过将适合的控制电压施加到装置 24 和 26 来控制系统 20,以大体上实现任何所期望的相位分布图,该相位分布图被分离为水平分量和垂直分量,只要装置 24 和 26 中的电光学层的折射率变化和厚度的范围可达到在该分布图中的相位偏移的范围。为了减小所要求的相位偏移的范围,可以选择施加到装置 24 和 26 的电压,使得装置起到圆柱形菲涅耳透镜的作用。

[0062] 在其它实施例中,圆柱形装置 24 和 26 可以被具有被布置为生成二维相位分布图的电极的单个光学装置代替。在下面参考图 3A-D 描述了这样的装置。

[0063] 可调谐圆柱形透镜

[0064] 现在参考图 2A-2C,其根据本发明的实施例示意性地示出了光学装置 24 的细节。图 2A 是装置的图示说明,而图 2B 和 2C 是装置相对侧的侧视图。在系统 20(图 1)中,装置 26 可以在设计上与装置 24 相同,但是具有水平定向的激励电极 46,而非如图 2B 中示出的垂直定向。

[0065] 装置 24 包括通常被包含在如本领域所熟知的合适的封装中的电光学层 40,诸如液晶层。层 40 在它的活动区内的给定位置处具有局部有效的折射率(例如,在实际上包含液晶的层 40 的区域内),该折射率由施加到在该位置处的层的两端的电压所确定。在层 40 中的液晶可以是双折射的,在这种情况下,装置 24 或系统 20 可以包括如本领域中所熟知的偏光器(为了简单化已经从图中省略),以便选择将要通过层 40 并且由层 40 折射的光的偏振。可代替的是,为了避免需要偏光器,两个这样的透镜可以与双折射的垂直轴级联,使得在不同的、正交偏振或偏振无关的液晶层上的每个操作可以使用例如胆甾型的液晶材料层。

[0066] 透明基板 42 和 44(诸如玻璃毛坯)被放置在层 40 的相对侧上,并且各自的电极被布置在如图 2B 和 2C 中所示的基板上。电极包括透明的、导电的材料,诸如如在本领域中熟知的铟锡氧化物(ITO)。可代替的是,可以使用非透明的电极,只要它们足够的薄,使得它们不引起干扰的光学效应。基板 44 上的公共电极 50 被放置在一侧上的层 40 的活动区上。虽然该公共电极被展示为整个矩形,它可替代地具有充分地覆盖层 40 的活动区的任何合适的形状。包括在基板 42 上的透明导电材料的平行条纹的激励电极 46 的阵列在层 40

的相对侧上的活动区上延伸。(上下文中的“平行”也可以包括偏离几度角的电极。)

[0067] 例如,可以通过在基板 42 和 44 上的光刻形成在图中所示出的电极图样,在这之后通过使用如在本领域中熟知的胶水或蚀刻衬垫,基板以预定义距离(通常为几微米)被粘合在一起。层 40 然后被插入和密封到基板之间的间隙中。虽然为了视觉清晰的目的,只有一些电极 46 被显示在图 2C 中,但是在实际中,为了良好的光学质量,装置 24 将通常包括至少 100 个用于激励的条纹电极,并且可能甚至是 400 个或者更多。该相同的附带条件适用于图 3B 和 3C 中示出的条纹电极。

[0068] 相对于电极 50 的公共电压等级,控制电路 48 被耦合以将各自的控制电压施加到激励电极 46。控制电路 48 通常包括如本领域中已知的放大器和/或开关,其控制施加到每个电极 46 的电压的幅度或占空比或幅度和占空比两者。施加到电极 46 的幅度和/或占空比的图样确定层 40 的相位调制分布图。在电路 48 中的电路组件通常被组装为硅芯片,如图 2B 中所示,该硅芯片然后被粘合到基板 42 上。可代替的是,电路 48 的组件中的一些或全部组件可以形成在单独的芯片上并通过适合的焊线或其它连接件连接到基板 42。在任何情况下,如图 3C 中所示,控制电路可以放置在电极的阵列的侧面,并且不需要控制电路的任何部件被放置在层 40 的活动区上。

[0069] 电路 48 能够同时和独立地修改施加到一组激励电极 46(其可以包括所有电极)中的每个激励电极的控制电压。例如,电路 48 可以更新轮流施加到阵列中的所有奇数电极与所有偶数电极的控制电压。这种方法容易扩展到大电极数量,并且可以因此被用来创建具有高像素数和精细分辨率的电可调谐光学系统。

[0070] 如前面所指出的,可以通过该种方式控制装置 24 以起到具有聚焦特性的圆柱形透镜的作用该聚焦特性通过由施加到电极 46 的电压在层 40 中感应的相位调制分布图进行确定。可选的是,设置这些电压,使得装置 24 起到圆柱形菲涅耳透镜的作用。施加到激励电极 46 的控制电压可以被修改,以便改变圆柱形透镜的焦距,以及偏移在横向于装置的方向上的圆柱形透镜的焦线(即,在平行于基板 42 和 44 表面的方向上)。

[0071] 具有二维相位调制分布图的装置

[0072] 图 3A-3D 根据本发明的另一个实施例示意性地说明了光学装置 60,其中二维相位调制分布图被在单个电光学层 62 中创建。图 3A 是装置 60 的图示说明,而图 3B 和 3C 是显示在装置的相对侧上的透明基板 64 和 66 的侧视图。图 3D 是装置 60 的侧视图,其显示了位于装置的相对侧上的基板 64 和 66 上的激励电极 68 和 72 的重叠。装置 60 可以代替系统 20(图 1),例如,代替装置 24 和 26 的组合。

[0073] 装置 60 包括电光学层 62,诸如相似于如上所述的层 40 的液晶层。在基板 64 和 66 上的电极 68 和 72 分别包括于在相互正交的方向上的层 62 的活动区上延伸的透明导电材料的平行条纹。虽然电极 68 和 72 在图中具有均匀的形状和间隔,但是条纹可以可代替地具有不同大小和/或间距。

[0074] 可以具有与电路 48(图 2B)相似的结构和设计的控制电路 70 和 74 分别将控制电压施加到激励电极 68 和 72。如在装置 24 中,在装置 60 中的控制电路能够同时地并且独立地修改施加到一组激励电极(其可以包括全部电极)中每个激励电极的控制电压。然而,控制电路 70 和 74 可以一起修改施加到层 62 的两侧上的成组的激励电极的电压,从而修改二维中的层的相位调制分布图。

[0075] 控制电压可以因此被施加到激励电极 68 和 72,使得装置 60 起到透镜(可能是菲涅耳透镜)的作用,该透镜具有由相位调制分布图所确定的聚焦特性。控制电压波形导致如上所定义和解释的电光学层的线性相位响应。控制电路可以修改控制电压以便改变透镜的焦距和/或偏移透镜的光轴。通过电路 70 和 74 施加在电极 68 和 72 两端的电压图样可以被选择以便给出循环对称的相位调制分布图,并且可以因此模拟球形透镜。可代替的是,可以施加不同的电压图样,使得装置 60 例如起到具有沿着一个轴或另一个轴的更强的圆柱形组件的像散透镜的作用。

[0076] 如图 3D 中所示出的,电极 68 和 72 的重叠创建像素 76 的阵列,该像素 76 的阵列由电极 68 的垂直条纹与电极 72 的水平条纹重叠的区域所限定。条纹之间的中心到中心的距离定义像素阵列的间距 P,而导电条纹自身的宽度定义像素 76 的大小。(虽然这些参数相对于装置 60 的二维阵列在这里被说明,相似的维度和考虑适用于上面所描述的装置 24 和 26 的一维阵列。)电极阵列的这些维度参数与在图 3A 中所示的电光学层 62 的层厚度 T 进行比较。

[0077] 与本领域中已知的大多数液晶装置相比,装置 60 的电极间的间距 P 小于四倍的层 62 的厚度 T。此外或可代替的是,电极条纹 (P-D) 之间的距离可以小于层厚度 T 或者可能甚至小于 T 的一半。在一些实施例中,甚至间距 P 可以小于 T。该维度的选择允许像素 76 的高的填充因子,并且因此允许高的分辨率。此外,相对厚的层 62 使装置 60 能够产生大范围的不同的相位偏移,而小间距支持折射率的调制,并且因此支持具有高分辨率的相位偏移。该维度选择引起的相邻像素之间的串扰可能实际上在平滑装置的相位调制分布图时是有益的,并且因此更接近地近似于常规透镜的二次分布图。

[0078] 如前所述,装置 60 以及系统 20 中的装置 24 和 26 的组合可以被特别地用于产生在 X 方向和 Y 方向可分离的相位调制分布图。然而,液晶或其他电光学层的有效折射率的变化通常在所施加的电压中不是线性的。在系统 20 中,装置 24 和 26 中的每个装置被独立的控制,使得由控制电路 48 施加到电极 46 的电压可以被补偿以针对非线性进行调整。在装置 60 中,另一个方面,在每个像素 76 两端的电压是施加到垂直电极 68 和水平电极 72 两者的电压的函数,其中垂直电极 68 和水平电极 72 在像素处相交,使得针对非线性的补偿并不是直接的。

[0079] 在本发明的实施例中,可以使用至少两个不同的方法以达到所期望的线性相位响应,并且因此实现在 X 方向和 Y 方向可分离的相位调制分布图。一个这样的方法是限制所施加电压的范围,如下面参考图 4 所描述的。可代替的是,施加到电极 68 和 72 的电压波形可以被选择,使得它们的重叠给出在层 62 中的线性响应。

[0080] 图 4 是根据本发明实施例的示意图,其显示了关于在控制装置 60 时使用的所施加的电压 V 的在光学装置中的液晶层的有效折射率 n 的依赖性。(该图示基于由王等人,在“Liquid Crystal Blazed Grating Beam Deflector”第 39 期 Applied Optics,页码 6545-6555(2000)中所呈现的数据。)虽然所展示的曲线整体上是而非线性的,但是它在 1-2V 的近似范围内具有大体上的线性区域,在本文被称为准线性区域。在本说明书和权利要求中所使用的术语“准线性”指的是区域,在该区域中有效的折射率在电压中是近似线性的,即,  $n(V) = a+bV$  在预定义的误差界限内,诸如在  $\pm 10\%$  内,其中 a 和 b 分别是恒定补偿和斜率参数。



[0081] 当形成圆柱形透镜分布图的电压  $V_x(x)$  被施加到垂直电极 68 ( $n(x) = a+bV_x(x)$  时产生圆柱形相位分布图), 并且相似但倒置的分布图  $V_y(y) = -V_x(y)$  被施加到水平电极 72, 层 62 两端的电压分布图是  $V(x, y) = V_x(x) - V_y(y)$ 。该电压分布图给出了折射率分布图:

$$[0082] \quad n(x, y) = a+b[V_x(x) - V_y(y)] = a+bV_x(x) - bV_y(y),$$

[0083] 只要电压在线性 (或准线性) 响应区域内。方程的右手边上的第一项 (a) 是恒量并且因此不贡献到相位调制。第二项和第三项是水平圆柱形透镜组件和垂直圆柱形透镜组件, 这两个组件共同构成了二维透镜。

[0084] 在层 62 的准线性响应区域内, 可以通过施加不同的电压或对于不同的占空比施加相同的电压或两个技术的组合来获得在不同像素 76 处的不同相位调制值, 只要折射率响应是准线性的, 使得方程  $n(x, y) = a+bV_x(x) - bV_y(y)$  保持。

[0085] 另一个方面, 虽然将施加的电压限制在电光学层 62 的准线性范围简化了装置 60 的操作, 但是该限制并不是必要的。甚至在准线性范围外操作时, 层 62 的相位调制可以表示为在 X 轴和 Y 轴上是施加的调制的总和。在这种情况下, 控制电路 70 和 74 可以将控制电压施加到电极 68 和 72 作为各自的波形 (具有各自的选择的时间变化图样) 以在层 62 中生成一组指定的相位偏移。例如, 如果 N 个不同的相位等级是菲涅耳透镜要求的, 则 X 方向的电极和 Y 方向的电极的成对的 N 个不同的电压波形被选择以便给出所期望的相位响应的等级。形式上是, 对于 X 方向的电极和 Y 方向的电极, 电压波形定义为,  $V_{x_i}(t)$  和  $V_{y_i}(t)$ ,  $i = 0 \cdots N-1$ , 使得对于每个  $i, j = 0 \cdots N-1$ , 对电极之间的电压差的层 62 的相位响应是:

$$[0086] \quad \phi\{V_{x_i}(t) - V_{y_j}(t)\} = \phi_0 + (i+j) \frac{2\pi}{N}, \text{ 其中 } t \text{ 表示时间, 并且 } \phi_0 \text{ 是基准相位。}$$

[0087] 选择适合的波形允许实现任何所期望的可分离的相位分布图 (在电光学层的限制内)。在下面的附录中呈现用于生成这些电压波形的方法。在附录中所描述的方法中, 占空比调制被应用到在一定的固定电压的电极, 但是波形被选择, 使得在一定 (通常很短) 的时间周期期间, 由于 X 方向的和 Y 方向的波形的重叠, 所以在电光学层两端的电压是双倍的。电压影响由液晶平均, 但不是线性的, 即, 周期为  $2T$  的电压  $V$  不等于周期  $T$  的  $2V$  电压。周期  $T$  的  $2V$  电压将具有更大的效应。这种附加的自由度被用来解决该问题以及选择适当的波形以实现所期望的线性响应。

[0088] 然而, 明显的是, 基于该推导, 波形的这种特定的选择仅仅是这种实施例的可能实现的一个例子。可以同样地得到其它组的波形, 并且被认为在本发明的范围之内。

[0089] 因此, 应该理解的是, 通过示例的方式来引用上面所描述的实施例, 并且本发明不受限于在上文中已经特别地显示和描述的内容。相反的是, 本发明的范围包括上文中所描述的各种特征的组合和子组合两者, 以及其变化和修改, 当阅读前面的说明书时本领域技术人员将想到该变化和修改并且该变化和修改没有被在现有技术中公开。

[0090] 附录 - 构建电光学层的相位响应的电压波形

[0091] 问题陈述

[0092] 定义 X 方向的电极和 Y 方向的电极的波形  $\{V_{X,i}(t)\}_{i=0}^{N-1}$  和  $\{V_{Y,i}(t)\}_{i=0}^{N-1}$ , 使得对于每个  $k, I = 0 \cdots N-1$ , 对于 X 方向的电极和 Y 方向的电极之间的电压差的 LC 相位

响应是

[0093]

$$T_{LC}\{V_{X,k}(t) - V_{Y,l}(t)\} = e^{i(\phi_0 + (k+l)\frac{2\pi}{N})}$$

[0094] 定义

[0095] 对于  $-T/4 < t < T/4$ , 定义下面的电压波形函数。假设电压函数是周期性的并且在标志中交替:  $V(t+T/2) = -V(t)$ , 可以完成其余的函数。

[0096] 其中在  $t_1$  和  $t_2$  之间支集的阶跃函数被定义为:  $S_{t_1,t_2}(V_0, t) = \begin{cases} V_0 & t_1 < t < t_2 \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$ , 其

中,  $D = \frac{t_2 - t_1}{T/2}$  是  $S_{t_1,t_2}(V_0, t)$  的占空比。LC 响应取决于占空比, 并且不单独地取决于  $t_1$  和  $t_2$ 。

[0097] 对阶跃函数的典型的 LC 响应的相位,  $R(t_2 - t_1, V_0) = T_{LC}\{S_{t_1,t_2}(V_0, t)\}$ , 是:

[0098] 1. 单调非递减作为  $V_0$  的函数, 并且还凹形作为  $V_0$  的函数。

[0099] 2. 单调非递减作为  $D$  的函数, 并且还凹形作为  $D$  的函数。

[0100] 通过减去两个阶跃函数, 对于不同的时间领域, 我们可以得到等于  $2V_0$ ,  $V_0$  和 0 的波形。例如, 对于  $t_1 < t_2 < t_3$ :

[0101]

$$S_{t_1,t_3}(V_0, t) - S_{t_1,t_2}(-V_0, t) = \begin{cases} 2V_0 & t_1 < t < t_2 \\ V_0 & t_2 < t < t_3 \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

[0102] 该波形在电压  $2V_0$  处具有  $D_1 = \frac{t_2 - t_1}{T/2}$  的占空比, 并且在电压  $V_0$  处具有  $D_2 = \frac{t_3 - t_2}{T/2}$  的

占空比。LC 响应取决于占空比  $D_1$  和  $D_2$ , 并不单独地取决于  $t_1$ ,  $t_2$  和  $t_3$ 。

[0103] 构建所要求的波形

[0104] 假设: 对于每个  $i$ ,  $V_{X,i}(t) = -V_{Y,i}(-t)$ 。

[0105] 步骤 0: 定义  $V_{X,0}(t)$ :

[0106] 步骤 0.0: 组合  $k = 0, l = 0$

[0107] a. 对于哪个  $R(p_0, V_0) = e^{i\phi_0}$ , 寻找  $P_0$ 。

[0108] b. 定义  $t_0 = \frac{p_0}{2}$

[0109]  $V_{X,0}(t) = S_{0,t_0}(V_0, t)$

[0110] 因此,  $V_{Y,0}(t) = S_{-t_0,0}(-V_0, t)$ ,

[0111]  $V_{X,0}(t) - V_{Y,0}(t) = S_{-t_0,t_0}(V_0, t)$ , 并且对于  $V_{X,0}(t) - V_{Y,0}(t)$  的响应, 这是长度  $p_0$

的阶跃函数,是  $R(p_0, V_0) = e^{i\phi_0}$ 。对于  $k = 1, l = 0$ , 因此这些波形解决问题陈述。

[0112] 步骤 1: 定义  $V_{x,1}(t)$  :

[0113] 步骤 1.0: 组合  $k = 0, l = 0$  (并且同样  $k = 0, l = 1$ )

[0114] a. 对于哪个  $R(p_1, V_0) = e^{i(\phi_0 + \frac{2\pi}{N})}$ , 寻找  $P_1$

[0115] b. 定义  $t_1 = p_1 - t_0$

[0116]  $V_{X,1}(t) = S_{0,t_1}(V_0, t)$

[0117] 因此, 对  $V_{x,1}(t) - V_{y,0}(t)$  的响应是长度  $t_1 + t_0 = p_1$  的阶跃函数, 是  $R(p_1, V_0) = e^{i(\phi_0 + \frac{2\pi}{N})}$ , 并且对于  $k = 1, l = 0$  (并且同样  $k = 0, l = 1$ ) 这些波长解决问题陈述。

[0118] 步骤 1.1: 组合  $k = 1, l = 1$

[0119] 要求是:

[0120]

$$T_{LC}\{V_{X,1}(t) - V_{Y,1}(t)\} = e^{i(\phi_0 + 2\frac{2\pi}{N})}$$

[0121] a. 计算  $T_{LC}\{V_{x,1}(t) - V_{y,1}(t)\}$  的相位响应  $\phi$ , 对于如步骤 1.0 中所定义的  $V_{x,1}(t)$ 。

[0122] b. 如果它足够 (在要求的公差内) 接近于所要求的值 ( $\phi \cong \phi_0 + 2\frac{2\pi}{N}$ ), 不做任何处理。

[0123] c. 如果  $\phi$  不是足够接近于所要求的值, 则  $\phi < \phi_0 + 2\frac{2\pi}{N}$  (由于 R 的凹形性质)。在这种情况下, 长度的脉冲  $t_1$  被分别分成长度  $t_1 - x$  和长度  $x$  的两个脉冲, 形式是:

[0124]  $V_{X,1}(t) = S_{0,t_1-x}(V_0, t) + S_{-t_0-x,-t_0}(V_0, t)$ 。

[0125] 该波形的形式确保:

[0126] a.  $V_{x,1}(t)$  和  $V_{y,0}(t)$  的支集是不相交的, 因此对组合  $k = 1$  和  $l = 1$  的 LC 响应不改变, 由于对于  $P_1$  周期,  $V_{x,1}(t) - V_{y,0}(t)$  仍然等于  $V_0$ , 否则为 0。

[0127] b. 对于  $2x$  的周期,  $V_{x,1}(t) - V_{y,1}(t)$  等于  $2V_0$ 。由于对  $2V_0$  的电压的 LC 响应比  $V_0$  的电压的响应更强, 所以增加  $x$  也将增加相位响应, 并且针对以下公式可以找到值  $x$  :

[0128]

$$T_{LC}\{V_{X,1}(t) - V_{Y,1}(t)\} = e^{i(\phi_0 + 2\frac{2\pi}{N})}$$

[0129] 步骤 n: 定义  $V_{x,n}(t)$  :

[0130] 步骤 n.0: 组合  $k = n, l = 0$  (并且同样  $k = 0, l = n$ )

[0131] a. 对于哪个  $R(p_n, V_0) = e^{i(\phi_0 + n\frac{2\pi}{N})}$ , 寻找  $P_n$

[0132] b. 定义  $t_n = p_n - t_0$

$$[0133] \quad V_{X,n}(t) = S_{0,t_n}(V_0, t)$$

[0134] 因此, 对  $V_{X,n}(t) - V_{Y,0}(t)$  的响应是长度  $t_n + t_0 = p_n$  的阶跃函数, 是  $R(p_n, V_0) = e^{i(\phi_0 + n\frac{2\pi}{N})}$ , 并且对于  $k = n$ , 和  $l = 0$  (并且同样  $k = 0$ , 和  $l = n$ ), 这些波形解决问题陈述。

[0135] 步骤 n, m, m = 1 到 n: 组合  $K = n$  和  $l = m$ :

[0136] 要求是:

[0137]

$$T_{LC}\{V_{X,n}(t) - V_{Y,m}(t)\} = e^{i(\phi_0 + (n+m)\frac{2\pi}{N})}$$

[0138] . 计算  $T_{LC}\{V_{X,n}(t) - V_{Y,m}(t)\}$  的相位响应  $\phi$ 。

[0139] b. 如果它足够 (在所要求的公差内) 接近于所要求的值 ( $\phi \cong \phi_0 + 2\frac{2\pi}{N}$ ) 不做任何处理。

[0140] c. 如果  $\phi$  不是足够接近于所要求的值, 则  $\phi < \phi_0 + 2\frac{2\pi}{N}$  (由于 R 的凹形性质)。在这种情况下,  $V_{X,n}(t)$  的脉冲被分为:  $x$  的周期从范围  $[t_{n-1}, t_n]$  中减去, 并且添加到范围  $[-t_{1,m}, -t_{1,m-1}]$ 。

[0141] 这确保:

[0142] a. 对于组合  $k = n$  和  $l = 0 \cdots m-1$  的 LC 响应不改变。

[0143] b. 对于组合  $k = n$  和  $l = m$  的 LC 响应增加, 由于添加的区域, 其中  $V_{X,n}(t) - V_{Y,m}(t) = 2V_0$ 。增加  $x$  将增加相位响应, 针对下面的公式可以找到值  $x$ :

[0144]

$$T_{LC}\{V_{X,n}(t) - V_{Y,m}(t)\} = e^{i(\phi_0 + (n+m)\frac{2\pi}{N})}$$

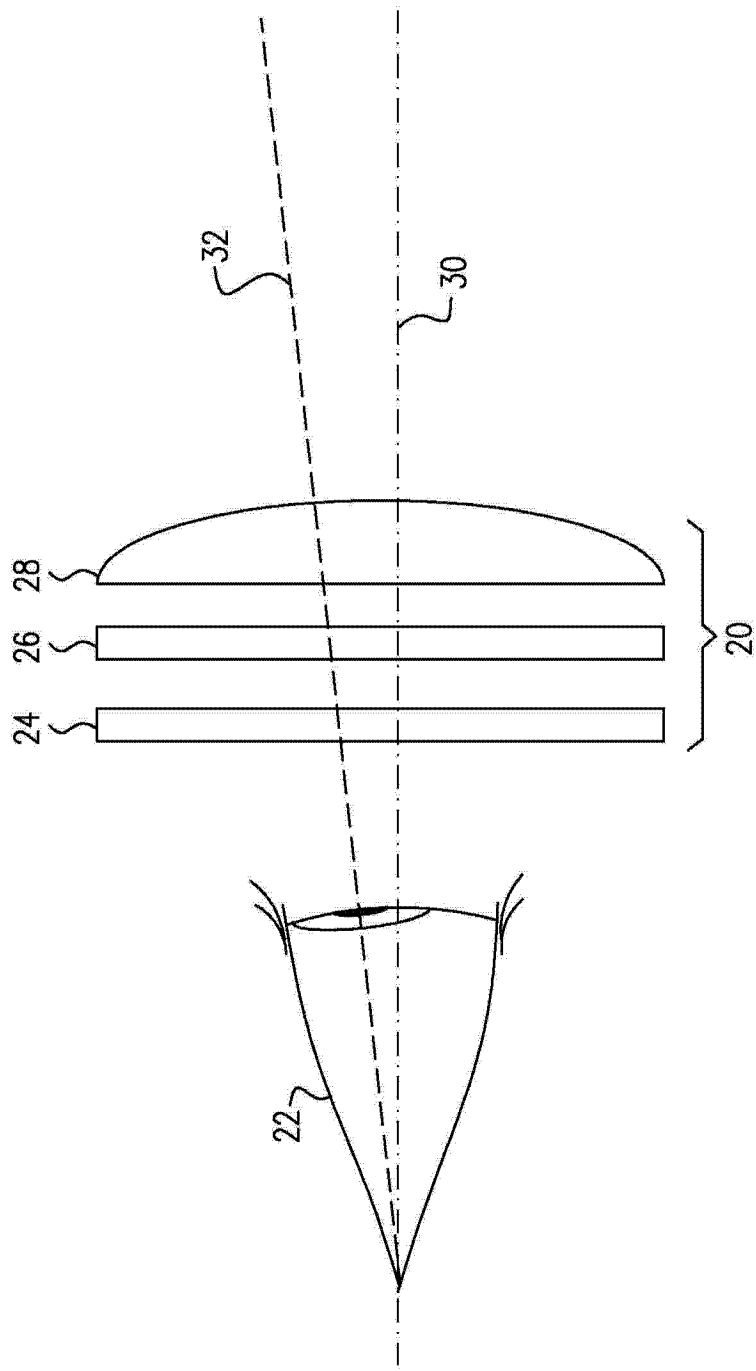


图 1

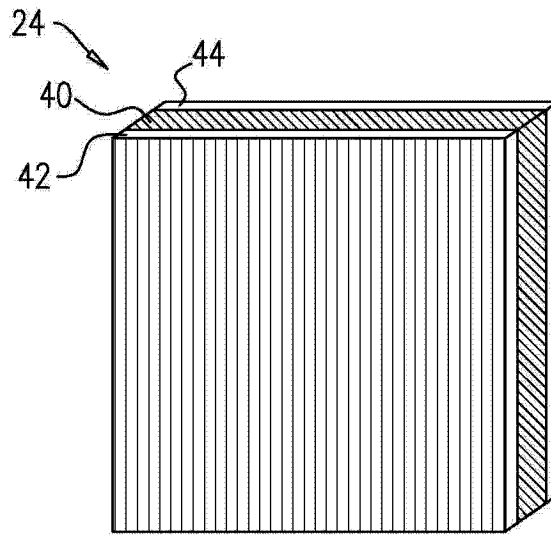


图 2A

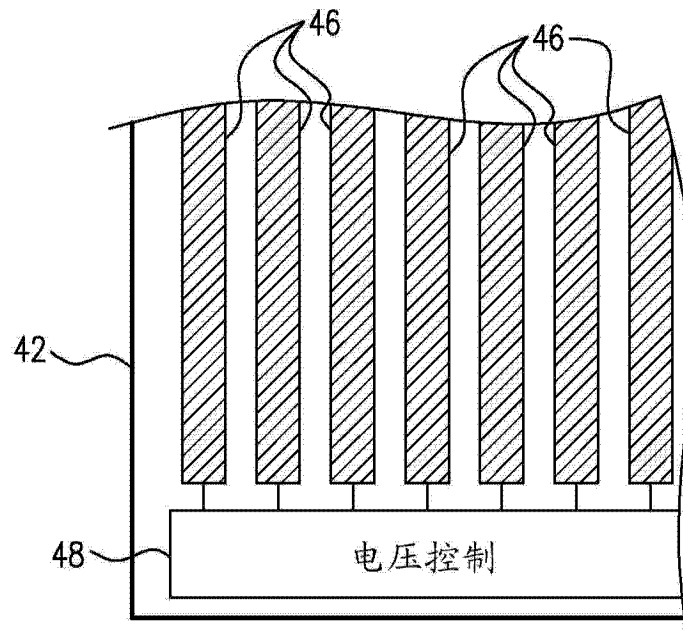


图 2B

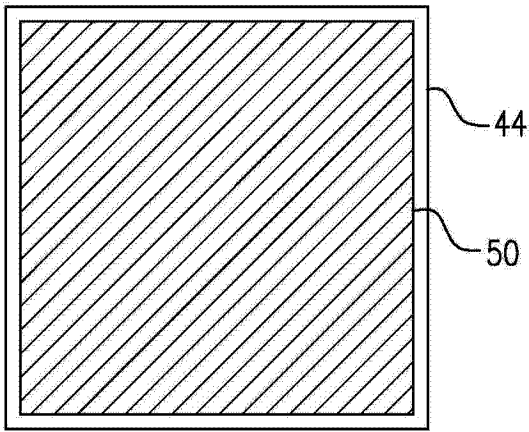


图 2C

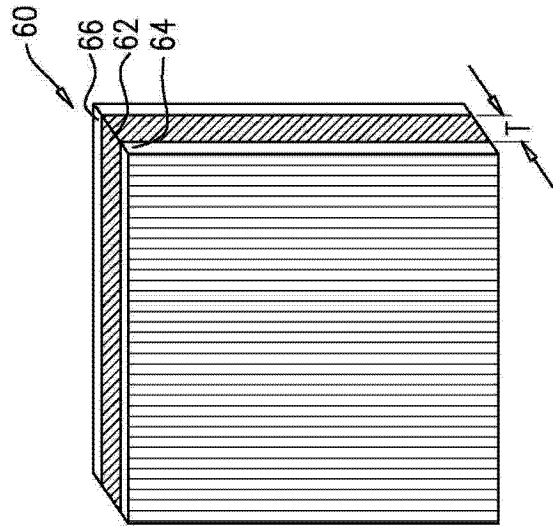


图 3A

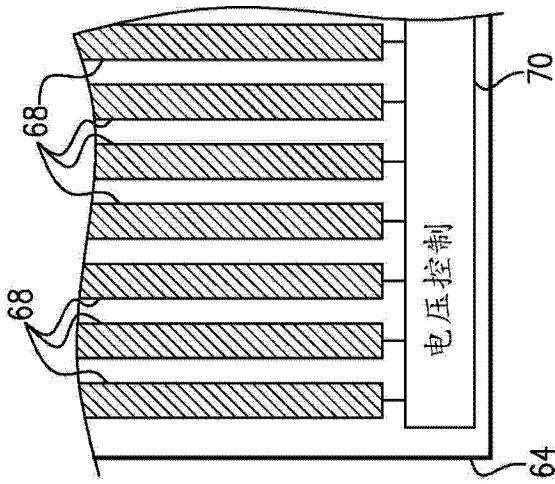


图 3B

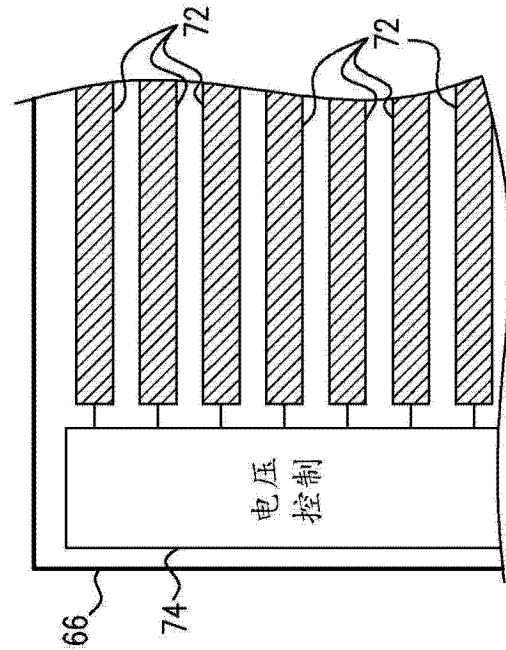


图 3C

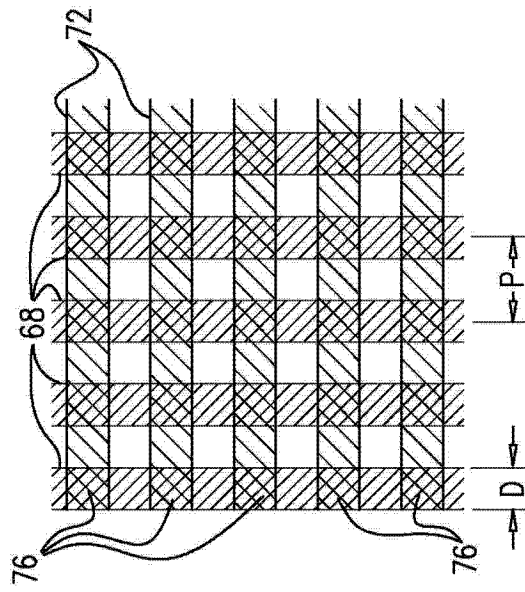


图 3D



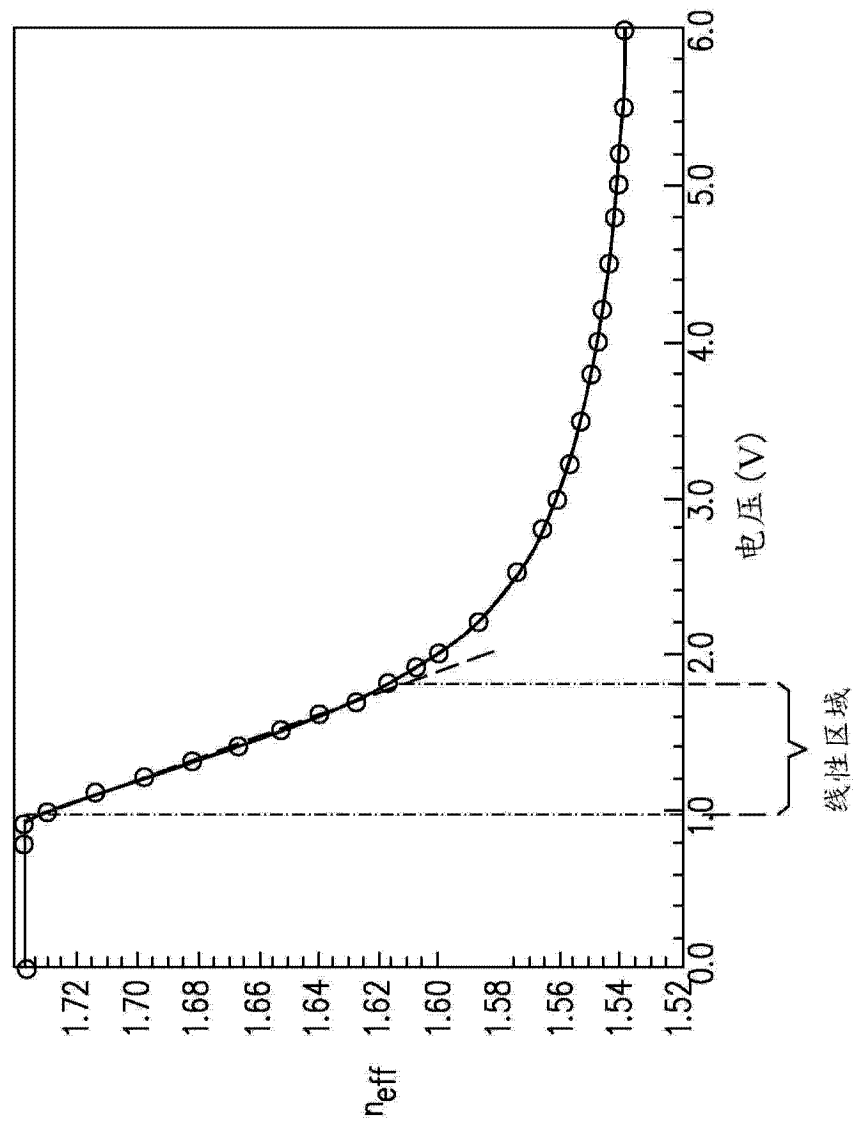


图 4