



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102368124 A

(43) 申请公布日 2012. 03. 07

(21) 申请号 201110352666. X

(22) 申请日 2011. 11. 09

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 3888 号

(72) 发明人 彭增辉 刘永刚 姚丽双 胡立发 曹召良 穆全全 宣丽

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 王淑秋

(51) Int. Cl.

G02F 1/13(2006. 01)

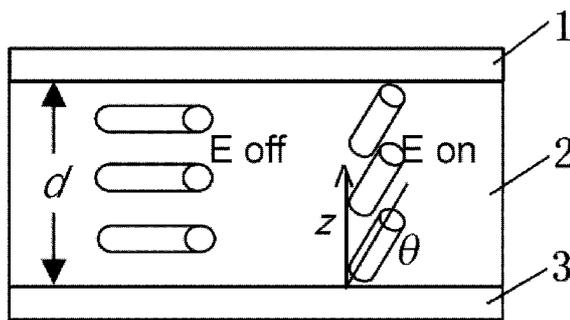
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

## (54) 发明名称

液晶空间光调制器

## (57) 摘要

本发明涉及一种液晶空间光调制器,该调制器包括上基板、下基板、位于上基板和下基板之间的液晶层;所述上基板与下基板之间的距离为  $0.9d_{\text{optimal}} \sim 1.1d_{\text{optimal}}$ ,其中  $d_{\text{optimal}}$  为通过计算得到的最佳盒厚。本发明在特定调制量下具有较快的响应速度,使光学系统达到较高的运行频率,获得良好的光学效果。



1. 一种液晶空间光调制器,包括上基板、下基板、位于上基板和下基板之间的液晶层;其特征在于所述上基板与下基板之间的距离为  $0.9d_{\text{optimal}} \sim 1.1d_{\text{optimal}}$ ,其中  $d_{\text{optimal}}$  为利用公式(5)和公式(6)得到盒厚  $d$ ;

$$t_{\text{obj}}(d) = -\tau_d \ln \left\{ \frac{1}{\bar{\theta}_{t0}} \arcsin \sqrt{\frac{1}{n_e^2 - n_o^2} \left[ \frac{1}{\sqrt{n_o^2 \cos^2 \bar{\theta}_{t0} + n_e^2 \sin^2 \bar{\theta}_{t0}} + \frac{\lambda \delta_{\text{obj}} / 2\pi}{dn_e n_o}} \right]^2 - \frac{n_o^2}{n_e^2 - n_o^2}} \right\} \quad (5)$$

$$\partial t_{\text{obj}}(d) / \partial d = 0 \quad (6)$$

式中  $t_{\text{obj}}$  为响应时间,  $\pi_d = \gamma_1 d^2 / K_{11} \pi^2$ ,  $\gamma_1$  是液晶指向矢运动时的旋转粘度系数,  $K_{11}$  为液晶的展曲弹性系数,  $\bar{\theta}_{t0}$  为液晶分子在施加驱动电压时的初始平均倾角,  $\lambda$  为入射光的波长,  $n_e, n_o$  分别为液晶材料在  $\lambda$  波长下的非常光、寻常光折射率,  $\delta_{\text{obj}}$  为目标调制量。

2. 根据权利要求1所述的液晶空间光调制器,其特征在于所述液晶层采用基异硫脲酸酯材料,在目标调制量  $\delta_{\text{obj}} = 2\pi$ , 入射光波长  $\lambda = 635\text{nm}$ , 驱动电压为  $4.0V_{\text{p-p}}$  时,上基板与下基板之间的距离为  $2.58 \mu\text{m} \sim 3.15 \mu\text{m}$ 。

3. 根据权利要求1所述的液晶空间光调制器,其特征在于所述液晶层采用4'-正戊基-4-腈基-联苯,在目标调制量  $\delta_{\text{obj}} = \pi$ , 入射光波长  $\lambda = 633\text{nm}$ , 驱动电压为  $7.0V_{\text{p-p}}$  时,上基板与下基板之间的距离为  $2.25 \mu\text{m} \sim 2.75 \mu\text{m}$ 。

## 液晶空间光调制器

### 技术领域

[0001] 本发明属于液晶器件技术领域,涉及一种液晶空间光调制器。

### 背景技术

[0002] 液晶器件(LCD)不仅可以用于显示器,而且可以用作光学器件,例如空间光调制器(SLM)、可调谐棱镜和其他光学器件。LCD最重要的应用之一是空间光调制器,它既可用于波前校正器来调节偏振光的波前,也可配合检偏器来调节偏振光的强度。相比其它具有机械结构的空間光调制器,液晶器件具有精度高、低成本、高可靠性和低能耗等优点[G. D. Love, Applied Optics, 36, 1517 (1997)]。在LC SLM应用中,器件采用多平行取向模式。空间光调制器两个重要的技术参数为:1是调制量;2是响应速度。几乎在所有的光学应用中,SLM都需要有一定的调制量。例如,在液晶波前校正器中,Cao等提出了基于相息图的衍射光学法,可将器件具有的1波长调制量扩展到几十个波长,此时可满足大气自适应光学的需求,在这种方法中要求器件必须具有1波长调制量[Z. Cao, L. Xuan, L. Hu, Y. Liu, and Q. Mu, Opt. Express, 13, 5186 (2005)]。除调制量外,LC SLM还需要有尽量快的响应速度,使光学系统达到尽量高的运行频率,获得良好的光学效果。例如,自适应系统的要求SLM的校正频率要大于200Hz,即器件响应速度为毫秒量级。液晶器件的响应速度与液晶材料的性质及器件厚度有关。

[0003] 一般认为,液晶器件的响应时间与盒厚的平方成正比,也就是说,随着盒厚变厚响应时间迅速增加。此时,响应时间指的是液晶分子指向矢从 $\theta$ 变化到 $1/e\theta$ 的时间[E. Jakeman and E. P. Raynes, Phys. Lett. A39, 69 (1972)]。但迄今为止,几乎所有的文献专利中都没有给出液晶器件厚度对于特定调制量下(例如,1波长)响应时间的影响。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是提供一种在特定调制量下响应时间较快的液晶空间光调制器。

[0005] 为了解决上述技术问题,本发明的液晶空间光调制器包括上基板、下基板、位于上基板和下基板之间的液晶层;所述上基板与下基板之间的距离为 $0.9d_{\text{optimal}} \sim 1.1d_{\text{optimal}}$ ,其中 $d_{\text{optimal}}$ 为利用公式(5)和公式(6)得到盒厚 $d$ ;

[0006]

$$t_{\text{obj}}(d) = -\tau_d \ln \left\{ \frac{1}{\bar{\theta}_{i0}} \arcsin \sqrt{\frac{1}{n_e^2 - n_o^2} \left[ \frac{1}{\sqrt{n_o^2 \cos^2 \bar{\theta}_{i0} + n_e^2 \sin^2 \bar{\theta}_{i0}} + \frac{\lambda \delta_{\text{obj}} / 2\pi}{dn_e n_o}} \right]^2 - \frac{n_o^2}{n_e^2 - n_o^2}} \right\} \quad (5)$$

$$[0007] \quad \partial t_{\text{obj}}(d) / \partial d = 0 \quad (6)$$

[0008] 式中 $t_{\text{obj}}$ 为响应时间, $\tau_d = \gamma_1 d^2 / K_{11} \pi^2$ , $\gamma_1$ 是液晶指向矢运动时的旋转粘度系数, $K_{11}$ 为液晶的展曲弹性系数, $\bar{\theta}_{i0}$ 为液晶分子在施加驱动电压时的初始平均倾角, $\lambda$ 为入射光的波长, $n_e$ , $n_o$ 分别为液晶材料在 $\lambda$ 波长时的非常光、寻常光折射率, $\delta_{\text{obj}}$ 为目标调制

量,其中公式(6)的数值解定义为  $d_{\text{optimal}}$ 。

[0009] 本发明利用公式(5)和公式(6)得到在特定调制量下响应速度最快时对应的最佳盒厚  $d_{\text{optimal}}$ ,从而确定上基板与下基板之间的距离,液晶空间光调制器在特定调制量下具有较快的响应速度,使光学系统达到较高的运行频率,获得良好的光学效果。

### 附图说明

[0010] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0011] 图1为本发明的液晶空间光调制器结构示意图。

[0012] 图2为实施例1在目标调制量为  $2\pi$  时响应时间与盒厚的关系曲线。

[0013] 图3为实施例1在目标调制量为  $2\pi$ ,入射光波长为  $635\text{nm}$ ,盒厚  $d$  为  $2.94\mu\text{m}$  时的实测响应曲线。

### 具体实施方式

[0014] 如图1所示,本发明的液晶空间光调制器包括上基板1、下基板3、位于上基板和下基板之间的液晶层2;所述上基板与下基板之间的距离为  $0.9d_{\text{optimal}} \sim 1.1d_{\text{optimal}}$ ,其中  $d_{\text{optimal}}$  为利用公式(5)和公式(6)得到最佳盒厚;

[0015]

$$t_{\text{obj}}(d) = -\tau_d \ln \left\{ \frac{1}{\bar{\theta}_{10}} \arcsin \sqrt{\frac{1}{n_e^2 - n_o^2} \left[ \frac{1}{\sqrt{n_o^2 \cos^2 \bar{\theta}_{10} + n_e^2 \sin^2 \bar{\theta}_{10}} + \frac{\lambda \delta_{\text{obj}} / 2\pi}{dn_e n_o}} \right]^2 - \frac{n_o^2}{n_e^2 - n_o^2}} \right\} \quad (5)$$

$$[0016] \quad \partial t_{\text{obj}}(d) / \partial d = 0 \quad (6)$$

[0017] 式中  $t_{\text{obj}}$  为响应时间,  $\tau_d = \gamma_1 d^2 / K_{11} \pi^2$ ,  $\gamma_1$  是液晶指向矢运动时的旋转粘度系数,  $K_{11}$  为液晶的展曲弹性系数,  $\bar{\theta}_{10}$  为液晶分子在施加驱动电压时的初始平均倾角,  $n_e$ ,  $n_o$  分别为液晶材料在  $\lambda$  波长时的非常光、寻常光折射率,  $\lambda$  为入射光的波长,  $\delta_{\text{obj}}$  为目标调制量。驱动电压根据液晶器件所用驱动电路的实际驱动能力而定。在驱动电压固定的情况下可由实验确定  $\bar{\theta}_{10}$ 。

[0018] LC SLM 是一种平行取向的液晶器件,其结构示意图如图1所示,其中  $\theta$  为液晶指向矢的旋转角度,  $d$  为液晶器件的厚度(盒厚),  $E$  是液晶器件外加电场的强度,  $z$  是某一个液晶分子在  $Z$  轴方向位置。

[0019] 在液晶的流体动力学模型中,如果不考虑背流和惯性效应,液晶指向矢的运动可以用 Erickson-Leslie 方程来描述 [J. L. Erickson, Soc. Rheol. 5, 23(1961)]。

[0020]

$$\gamma_1 \frac{\partial \theta}{\partial t} = (K_{11} \cos^2 \theta + K_{33} \sin^2 \theta) \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + (K_{33} - K_{11}) \sin \theta \cos \theta \left( \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^2 + \epsilon_0 |\Delta \epsilon| E^2 \sin \theta \cos \theta \quad (1)$$

[0021] 在方程中,  $\gamma_1$  是液晶指向矢运动时的旋转粘度系数,  $K_{11}$  和  $K_{33}$  分别是液晶的展曲和弯曲弹性系数。  $E$  是液晶器件外加电场的强度。  $\epsilon_0$ ,  $\Delta \epsilon$  分别是真空介电常数和液晶材料的介电各向异性。

[0022] 利用液晶体系的流体动力学模型分析盒厚对于器件的特定调制量下响应时间的

影响。当液晶材料的参数已知,入射光波长已知,我们使用推出的公式可以定量计算出不同盒厚对应的的响应时间,及响应速度最快时对应的最佳的盒厚。通常来说,在液晶响应速度中施加电压时对应的上升响应时间较短;释放电压时对应的下降响应时间较长,是器件响应速度的决定性,因而我们只考虑下降响应时间的因素。

[0023] 在器件下降响应时,电场  $E = 0$ ;认为  $K_{33}$  近似等于  $K_{11}$ ,上述公式可获得如下通解:

$$[0024] \quad \bar{\theta}(t) = \bar{\theta}_{t_0} \exp(-t/\tau_d). \quad (2)$$

[0025] 公式中的  $\tau_d = \gamma_1 d^2 / K_{11} \pi^2$ ,通常定义为器件的下降响应时间,即液晶分子指向矢旋转角从  $\theta$  变化到  $1/e \theta$  的时间。 $\bar{\theta}(t)$ 为  $t$  时刻的平均倾角。 $\bar{\theta}_{t_0}$ 为液晶分子在施加电压时的初始平均倾角。

[0026] 在施加电场时液晶器件初始的相对位相变化量可以表示为:

$$[0027] \quad \delta_{t_0} = \Delta n d \frac{2\pi}{\lambda} \cong \frac{2\pi d}{\lambda} \left[ \frac{n_e n_o}{\sqrt{n_o^2 \cos^2 \bar{\theta}_{t_0} + n_e^2 \sin^2 \bar{\theta}_{t_0}}} - n_o \right] \quad (3)$$

[0028] 公式中  $\lambda$  为入射光的波长,  $n_e$ ,  $n_o$  分别为液晶材料在  $\lambda$  波长时的非常光、寻常光折射率。

[0029] 因此,在  $t = 0$  时撤去驱动电压,器件下降响应时,  $t$  时刻的器件产生的位相变化可以表示为公式 (4)

$$[0030] \quad \delta(t) = \frac{2\pi d}{\lambda} \left\{ \frac{n_e n_o}{\sqrt{n_o^2 + (n_e^2 - n_o^2) \sin^2 [\bar{\theta}_{t_0} \exp(-t/\tau_d)]}} - n_o \right\} \quad (4)$$

[0031] 当液晶器件的目标位相变化(目标调制量)为  $\delta_{obj}$  时,可以得到表达式  $\delta(t_{obj}) = \delta_{t_0} + \delta_{obj}$ ,将公式 (3) 和公式 (4) 代入上述表达式,器件到达  $\delta_{obj}$  位相对应的响应时间  $t_{obj}$  就可表示为公式 (5)。

[0032]

$$t_{obj}(d) = -\tau_d \ln \left\{ \frac{1}{\bar{\theta}_{t_0}} \arcsin \sqrt{\frac{1}{n_e^2 - n_o^2} \left[ \frac{1}{\sqrt{n_o^2 \cos^2 \bar{\theta}_{t_0} + n_e^2 \sin^2 \bar{\theta}_{t_0}} + \frac{\lambda \delta_{obj} / 2\pi}{dn_e n_o}} \right]^2 - \frac{n_o^2}{n_e^2 - n_o^2}} \right\} \quad (5)$$

[0033] 将已知液晶材料的参数、调制光波长、目标的位相变化量(目标调制量)、测得液晶分子在施加驱动电压时的初始平均倾角  $\bar{\theta}_{t_0}$  代入上式,可以得到此时响应时间  $t_{obj}$  对于液晶盒厚  $d$  的变化曲线。响应时间  $t_{obj}$  随盒厚的增加先减小,再缓慢增加,存在一个最佳值获得最短的响应时间。

[0034] 为了获得这个最佳的盒厚值,将公式 (5) 对盒厚  $d$  求微分,并将微分后的表达式等于 0,获得方程 (6),这个方程的解  $d_{optimal}$  即为最佳的盒厚。

$$[0035] \quad \partial t_{obj}(d) / \partial d = 0 \quad (6)$$

[0036] 实施例 1

[0037] 液晶空间光调制器为自适应光学的透射式波前校正器,SLM 的目标调制量  $\delta_{obj} = 2\pi$ 。采用的液晶材料为苯基异硫脲酸酯,其参数为:入射光波长  $\lambda = 635\text{nm}$ ,  $n_e = 1.884$ ,  $n_o = 1.541$ ,  $\gamma_1 / K_{11} = 8.310\text{ms} \mu\text{m}^{-2}$ ,  $\bar{\theta}_{t_0} = 1.065$  (驱动电压为  $4.0V_{pp}$ ),由公式 (5) 计算获得盒厚  $-2\pi$  响应时间的关系曲线,见图 2。从图中可看出:随盒厚增加,  $2\pi$  位相的响应时

间先减小后增加,存在最佳值。采用公式(6)计算盒厚最佳值为 $2.86\mu\text{m}$ ,对应的最短响应时间为 $7.3\text{ms}$ 。上基板与下基板之间的距离可为 $2.58\mu\text{m}\sim 3.15\mu\text{m}$ 。

[0038] 实际制备的自适应光学透射式波前校正器厚度为 $2.94\mu\text{m}$ ,测得其响应时间为 $7.1\text{ms}$ ,与理论预测大致相符,如图3所示。

[0039] 实施例2

[0040] 液晶空间光调制器为反射式波前校正器,SLM的目标调制量 $\delta_{\text{obj}} = \pi$ 。采用的液晶材料为4'-正戊基-4-腈基-联苯(5CB),其参数为:入射光波长 $\lambda = 633\text{nm}$ , $n_e = 1.71$ , $n_o = 1.53$ , $\gamma_1/K_{11} = 9.54\text{ms}\mu\text{m}^{-2}$ , $\bar{\theta}_{i0} = 1.19$ (驱动电压为 $7.0V_{\text{p-p}}$ ),采用公式(6)计算盒厚 $d$ 最佳值为 $2.50\mu\text{m}$ ,对应的最短响应时间为 $6.5\text{ms}$ 。上基板与下基板之间的距离可为 $2.25\mu\text{m}\sim 2.75\mu\text{m}$ 。

[0041] 实际制备的反射式波前校正器盒厚 $d$ 为 $2.60\mu\text{m}$ ,测得其响应时间为 $6.3\text{ms}$ ,与理论预测大致相符。

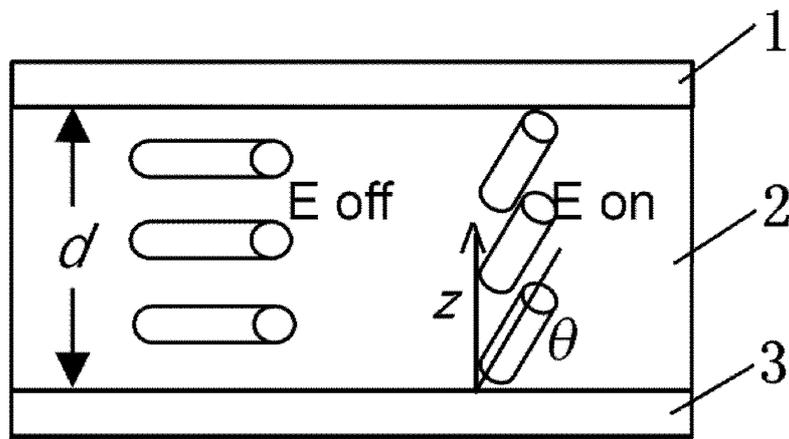


图 1

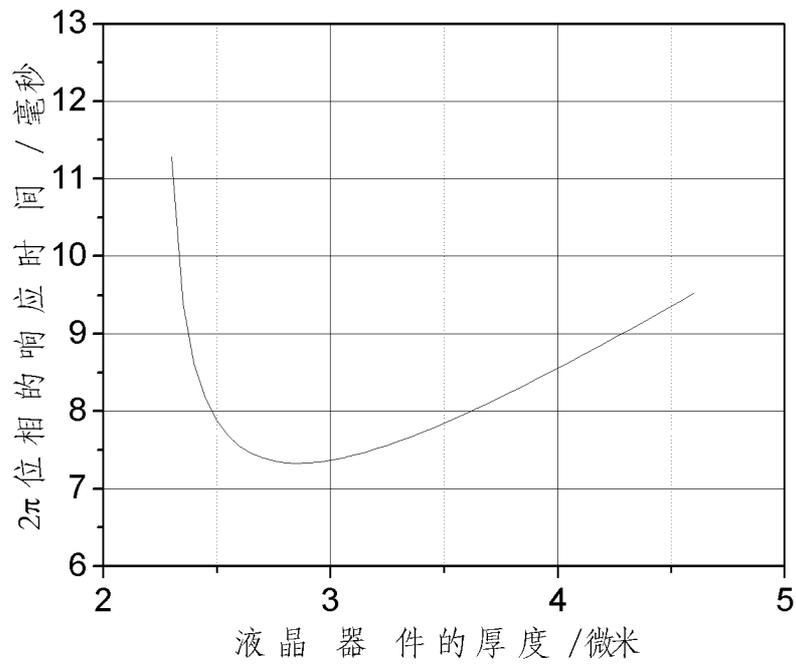


图 2

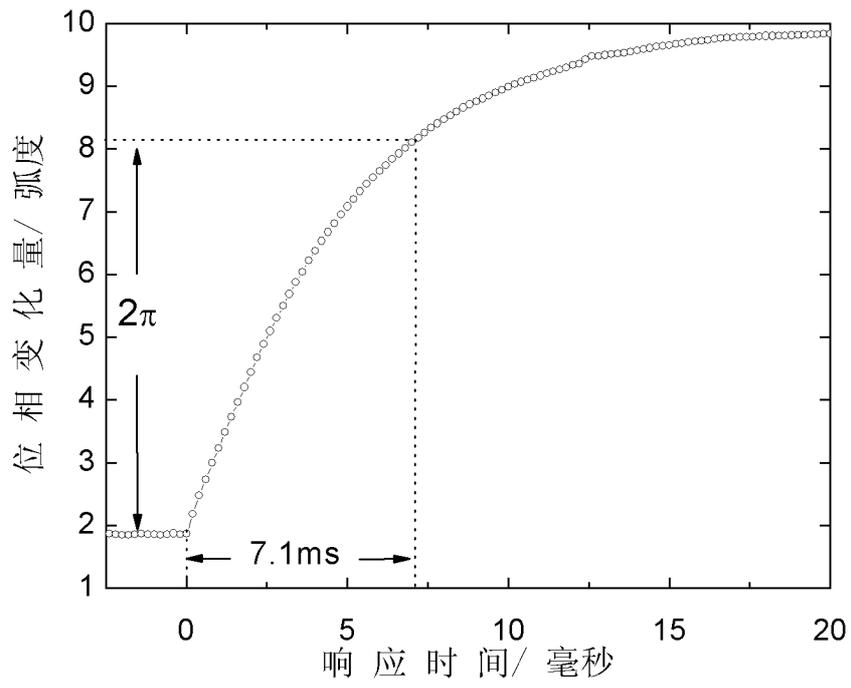


图 3