

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01125128. X

[43] 公开日 2002 年 9 月 4 日

[11] 公开号 CN 1367398A

[22] 申请日 2001. 8. 14 [21] 申请号 01125128. X
[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 130022 吉林省长春市人民大街 140 号
[72] 发明人 任洪文 宣 丽

[74] 专利代理机构 长春科宇专利代理有限责任公司
代理人 李恩庆

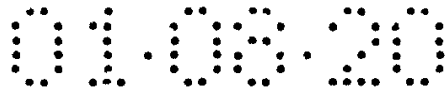
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图页数 3 页

[54] 发明名称 连续变焦菲涅耳透镜

[57] 摘要

本发明属于光学器件领域,涉及一种连续变焦菲涅耳透镜。其特征是由上下两个玻璃基板和液晶夹层组成,基板内表面的 ITO 导电膜被刻蚀成波带电极结构。通过电场控制液晶层的折射率,使穿过相邻波带间的两光束到主焦点的位相差为 2π ,因此聚光能力比常规菲涅耳波带片更强。另外,经液晶排列技术处理,无需偏振片,光利用率高。又由于液晶的折射率连续可调,可使透镜的主焦距在 $0.5f \sim 2f$ 范围内连续变化。

I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4



权 利 要 求 书

1. 一种连续变焦菲涅耳透镜,由带透明电极的玻璃基板、液晶层和另一块带透明电极的玻璃基板组成,其特征是玻璃基板上的透明电极刻蚀成菲涅耳环状波带电极结构,上下基板电极图形镜像对称,并用一条公共直带电极把这些波带电极连接起来,上下基板公共电极不交迭;以电极面为基板内表面,两环状波带电极上均涂液晶取向层;上下基板之间的液晶层是掺有手性剂的向列液晶材料。

2. 根据权利要求1所述的连续变焦菲涅耳透镜,其特征是液晶呈 180° 扭曲旋转排列,其螺旋轴沿基板表面法线方向。

3. 根据权利要求2所述的连续变焦菲涅耳透镜,其特征是液晶的折射率变化差值 Δn 在 $0.2 \sim 0.3$ 范围之内,两基板之间的等厚间隙为 $4 \sim 6\mu\text{m}$ 。

4. 根据权利要求1所述的连续变焦菲涅耳透镜,其特征是用电场调制液晶的折射率,使透镜的焦距在原焦距 $0.5 \sim 2$ 倍范围内连续变化。



说 明 书

连续变焦菲涅耳透镜

一、技术领域

本发明属于光学器件领域，涉及一种在电场作用下，利用液晶折射率发生连续变化的特性，使焦距连续可调的菲涅耳透镜。用液晶层弥补半波位相，达到光能损失最小，同时通过电控液晶的有效折射率实现透镜连续变焦。

二、背景技术

透镜是基本的光学器件，在光学仪器和设备中随处可见。随着光学技术的发展，对透镜的要求越来越高。一个是透镜的焦距的连续可变，另一个是大焦距的透镜。无论是那一种，要想满足要求都会使得光学系统变得庞大和复杂。

微型透镜也是一种重要的光学器件，目前用传统的工艺法制作微透镜主要有离子交换法、模压成型法、光敏玻璃热成形法和光刻胶热溶成形法。由于所用材料和传统工艺的限制，使得用这些方法制作的微型透镜有一个共同的特点，就是透镜只有一个焦距。要改变透镜的焦距长，需用一组透镜，通过机械调节透镜间的间距才能实现。使用透镜组不仅增加器件的成本，增大设备体积，而且不易有效地实现所需要的焦距。因此，人们希望能开发出结构简单、重量轻、低成本的可变焦透镜。

近年来，人们提出了采用液晶技术制作可变焦微透镜，液晶微透镜采用光透射方式，具有控制简单，可靠性强及驱动电压低等优点，这种器件具有巨大的潜在应用性。目前用液晶技术已设计了几种透镜器件，如线型分离电极结构，见 U.S. patent 4,572,616 (Feb.25, 1985)、凸，凹透镜与液晶结合 (Liquid-Crystal Lens-Cells with Variable Focal Length, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.24, No.8, 1985 pp.



L626-628), 孔状电极结构 (APPLIED OPTICS/Vol.36, No.20/10 July 1997, pp4772-4778)。上述结构的透镜都属于折射型液晶透镜, 其中有些器件的制作技术比较复杂。我们曾采用聚合物分散液晶技术制备菲涅耳波带衍射器件 (CN2348405Y,1999,11,10), 通过对基板上 ITO(氧化铟锡)电极的结构设计, 可实现具有奇数半波带或偶数半波带起作用的电场可调菲涅耳液晶波带器件。

三、发明内容

本发明根据常规菲涅耳波带结构, 利用液晶在变化电场的作用下, 折射率发生变化的特性, 目的是提供一种大焦距或微型的连续变焦的菲涅耳透镜。

常规菲涅耳波带片的结构如图 1 所示, 它是采用把奇数半波带或偶数半波带遮蔽起来, 让具有相同或相差为 2π 整数倍位相的光波衍射透过波带片, 并通过干涉使光波聚集在波带的轴线上, 从而具有透镜功能。然而, 这种波带片由于对光的选择遮蔽, 使光的利用率降低一半, 而且其主焦距不可调节。从图 1 可以看出, 如果不遮蔽奇数半波带 (或偶数半波带), 而是让透过奇数半波带 (或偶数半波带) 的光波再产生 π 或 π 的奇数倍的位相差, 则这种波带片为位相波带片, 采用液晶技术可以达到这一目的。

图 2 为相同厚度, 不同折射率产生的位相差, n_1 表示液晶盒中上半部液晶的折射率, n_2 表示下半部分液晶的折射率, Δn 为 $|n_1 - n_2|$, d 为液晶盒的厚度。如果光通过两部分后产生的光程差 $\Delta nd = (1 + \frac{1}{2})\lambda$, λ 为光波长, 且把这两部分看作相邻的两个波带, 则相位型液晶波带片可以设计。

根据上述原理和分析, 本发明设计了如图 3 所示的波带结构。图 3 为上下玻璃基板的 ITO 电极刻蚀图案及公共电极部分。

根据图 3 设计的结构, 一玻璃基板上的 ITO 电极呈环状波带结构、另一块玻璃基板也带有环状电极, 每个基板上的环状波带用一公共直



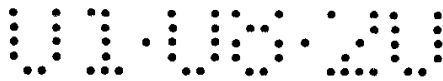
带电极连接在一起，上下基板上 ITO 的环状波带完全相同。用此两环状电极面作内表面，上下基板电极图形镜像对称，且公共电极不交迭，两基板间夹一液晶层。在两环状波带电极上均涂有液晶取向层聚酰亚胺(PI)。两玻璃基板间的液晶层是掺有手性剂的扭曲向列相液晶材料。两基板的间隙 d ，也就是液晶层的厚度可以选择在 $4\sim 6\mu\text{m}$ 之间。在这种器件中，每一波带圆的半径表示为 $r_m = \sqrt{m}r_1$ ， r_1 为最内圆的半径， m 为正整数是波带环的序数。可以看出，如果给上下基板施加电压，则只有镜相对称的环状电极部分之间存在电场，即电场的形状为波带状。用波带状的电场驱动液晶，则液晶层亦呈波带状，因此，液晶和菲涅耳波带结合可用来制作液晶透镜。

为了便于理解本发明，用图 4 来进一步给出说明。图 4 表示菲涅耳波带中液晶分子的排列取向结构，图 4(a)是未加电场时液晶排列情况，图 4(b)为菲涅耳波带电极在施加电场时，液晶排列取向情况。其中， n_{ave} 为未加电场时液晶的平均折射率， n_{eff} 为加电场时液晶排列取向的有效折射率。在图 4 中，1—玻璃基板，2—为 ITO 电极，3—为取向层，4—液晶层。

根据液晶的光学各向异性特性，要使单色自然光通过液晶层后在任何光波振动方向上产生相同的位相延迟，则液晶应呈 180° 扭曲排列。图 4(a)为未加电压的情况下，相邻两波带的透光过程，两者因折射率相同，透射情形相同。图 4 中(b)是相邻波带中有一个施加电场的情况。在液晶被驱动的情况下，被驱动部分的液晶在任何方向上都呈相同的有效折射率 n_{eff} ，而没有被驱动的液晶呈平均折射率 n_{ave} 。相邻两波带折射率不同，但透过光产生的光程差在任何方向上都相同。通过对有效折射率的调节，可以对这种液晶位相波带片进行控制，这样不仅显著提高器件对光的利用率，而且还能改变器件的焦距。

为求出这种波带器件的结构与焦距的关系，图 5 给出液晶波带器件的结构。当光由器件左边进入并在右侧聚焦时，相邻波带的位相差应满足：

$$2\pi = \frac{2\pi}{\lambda} [n_{\text{ave}} - n_{\text{eff}}(V)]d + \frac{2\pi}{\lambda} b, \quad (1)$$



其中

$\frac{2\pi}{\lambda}[n_{ave} - n_{eff}(V)]d$ 为光通过液晶层时产生的位相差, b 为光由相邻波带到聚焦点处产生的光程差, O 为焦点。

由(1)式可推导

$$\lambda = [n_{ave} - n_{eff}(V)]d + b \quad (2)$$

根据传统波带片的主焦距公式:

$$f = \frac{r_1^2}{\lambda} \quad (r_1 \text{ 为最内奇波带的半径}) \quad (3)$$

由上两式得:

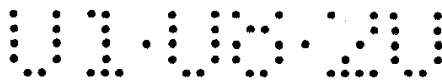
$$f_{LCFZ} = r_1^2 / \lambda = \frac{r_1^2}{[n_{ave} - n_{eff}(V)]d + b} \quad (4)$$

由(4)式可以看出, 菲涅耳液晶波带片的焦距 f_{LCFZ} 具有电场连续可调性。

图 7 为这种液晶波带片在施加不同电压情况下用 CCD 所测得的聚光特性, 液晶器件和 CCD 的距离保持不变, 所用光源为 He-Ne 激光器。图 7(a)为不加电压时, 本发明的聚焦情况, (b)和(c)分别为电压为 3V 和 4V 时, 本发明的聚焦情况。可以看出, 在不加电压的情况下, He-Ne 激光光束透过液晶盒而不被聚焦, 在施加 3V 和 4V 的情况下, 透射光束明显变窄, 光强显著增加。在 3V, 4V 两种情况下所得到的光强不同, 说明器件的焦距长度不同。因此, 这种器件的焦距具有电场可调性。用偏光显微镜检测透视光的光强, 发现光强不呈现偏振性。

根据公式 (3) 的表达式, 如果把波带片看作振幅型波带片, 则其焦距经计算约为 40mm, 考虑到第 1 波带与第 2 波带、第 2 波带与第 3 波带中由于 b 变化的不一致导致光聚焦能力下降, 根据图 5 的几何结构, 由勾股定理可计算, 当相邻波带的光程差不超过 $\lambda/20$, 可认为仍有聚光能力。于是我们可以得到:

$$\sqrt{f^2 + 2r_1^2} - \sqrt{f^2 + r_1^2} = \sqrt{f^2 + 3r_1^2} - \sqrt{f^2 - 2r_1^2} \pm \frac{\lambda}{20} \quad (5)$$



从此公式中可以估算出这种器件焦距的可调范围为 1cm~100cm，因此我们认为有效焦距的可调范围大约在原固有焦距的 0.5~2 倍范围。

从理论上考虑，如果激光的强度为 I_0 ，激光通过每一波带在主焦点上产生的振动振幅为 a ($I_0=a^2$)，则总振动振幅为 $2 \times 16a$ ，其光强为 $I=(2 \times 16a)^2$ 即光强将增加 1024 倍。

四、附图说明

图 1 为常规菲涅耳波带片的结构图。

图 2 为本发明相邻两相位型液晶波带透过光产生的光程差情况，其中 n_1 ， n_2 为液晶的折射率。

图 3 为本发明的结构示意图。

图 4 为本发明在电场作用下相邻波带的折射率变化情况。

图 5 为本发明的聚焦示意图。

图 6 为本发明实施方式在偏光显微镜下所观察的波带结构。

图 7 为本发明在施加不同电压情况下，CCD 所测得的聚光特性。

五、具体实施方式

采用光刻方法把两玻璃基板上的 ITO 电极均刻蚀成相同波带结构，其波带的最内半径为 0.5mm，共有 16 个奇数带，用公共电极把各自的波带连接起来。在 ITO 电极表面再涂上聚酰亚胺取向层，并被单方向摩擦。把玻璃板对称放置做成液晶盒，摩擦方向反平行，其公共电极不交迭。在公共电极上施加一适度电压，在偏光显微镜下所观察的波带结构如图 6 所示。

在照片中，奇数带为在电场作用下液晶取向部分，偶数带为液晶最初取向部分。

说明书附图

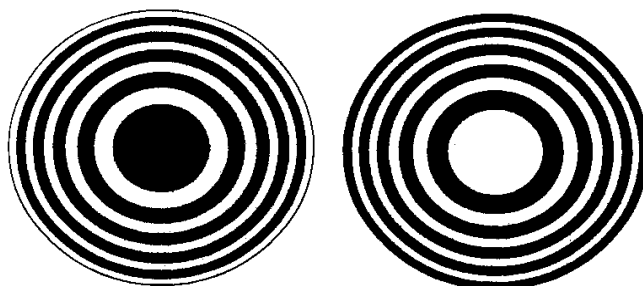


图 1

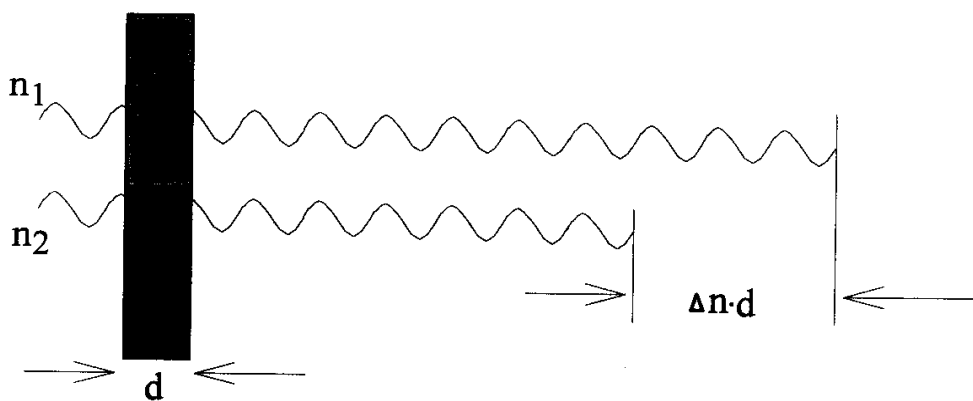


图 2

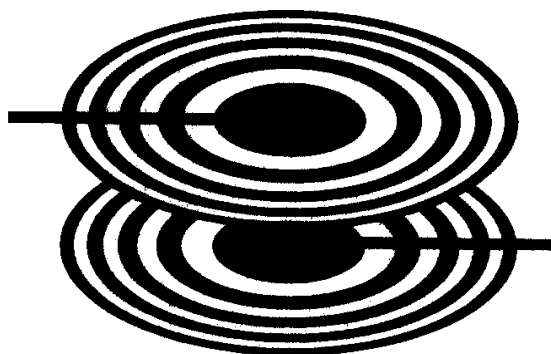


图 3

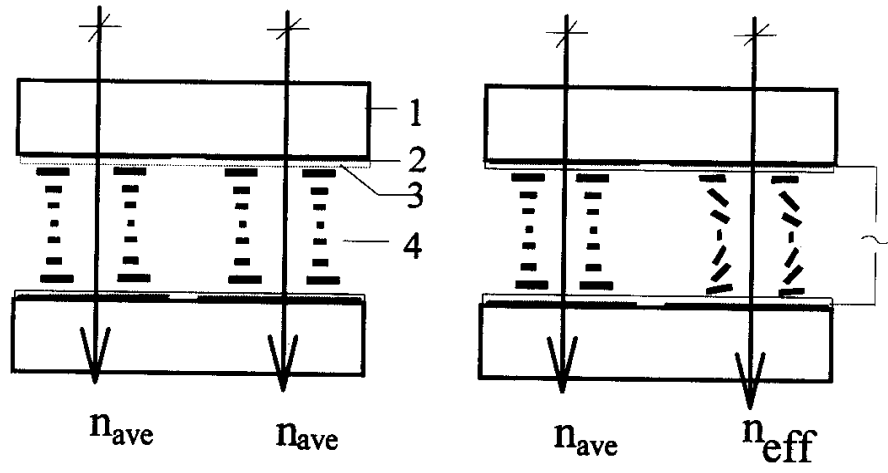


图 4

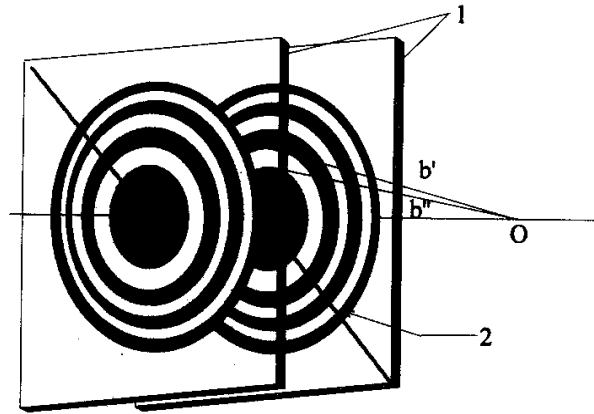
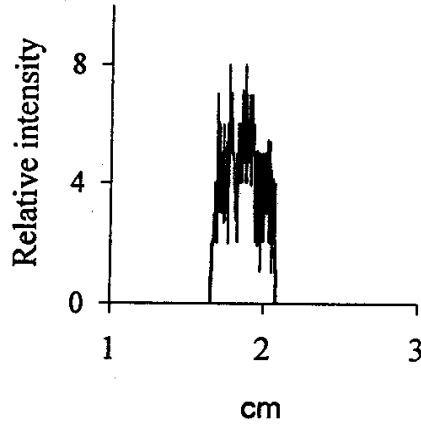


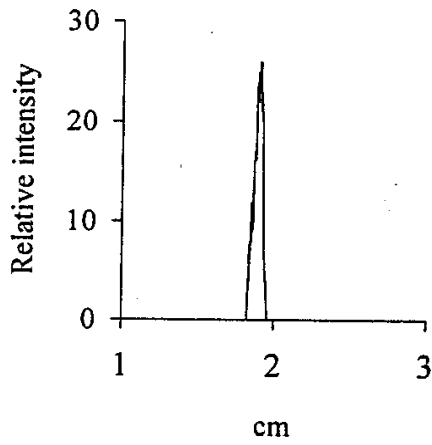
图 5



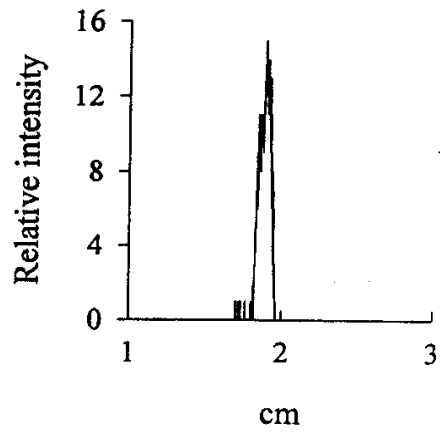
图 6



(a) 0V



(b) 3V



(c) 4V

图 7