

(19) 中华人民共和国国家知识产权局



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104880746 A

(43) 申请公布日 2015.09.02

---

(21) 申请号 201510345348.9

(22) 申请日 2015.06.19

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁路28号

(72) 发明人 陈咏梅 陈宝鸿 周进雄

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务所 61215

代理人 段俊涛

(51) Int. Cl.

G02B 3/14(2006.01)

G02B 26/02(2006.01)

---

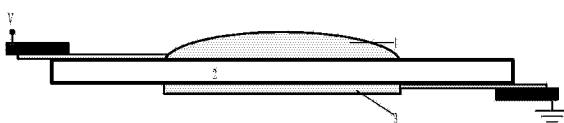
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种可变焦光学透镜系统及其制备

(57) 摘要

一种可变焦光学透镜系统，包括透明的弹性或柔性的离子导体和透明或者局部透明的介电弹性体薄膜，按照离子导体 / 介电弹性体薄膜 / 离子导体的顺序组合，形成夹心结构，本发明还提供了相应的制备方法，本发明可变焦光学透镜系统具有质量轻、性能好、选材广、制备工艺简单、商业集成便利等特点，电场响应速度非常快（理论响应时间为1-10ms），工作温度区间大（-100°C到300°C）；该系统具有优良的力学、光学和电学性能，采用全固态设计，避免了液态成像体系所带来的图像受重力扭曲的缺点和潜在的泄露、短路风险等，具有超越人眼的光学变焦能力。



1. 一种可变焦光学透镜系统,其特征在于,包括:

透明的弹性或柔性的离子导体,为离子液体凝胶或掺杂有可解离金属盐的水凝胶;

介电弹性体薄膜,为透明或者局部透明的弹性绝缘材料;

其中,所述离子导体粘结于介电弹性体薄膜的两侧,按照离子导体 / 介电弹性体薄膜 / 离子导体的顺序组合,形成夹心结构。

2. 根据权利要求 1 所述可变焦光学透镜系统,其特征在于,所述离子液体凝胶为在咪唑类离子液体中聚合单体所得,所述可解离金属盐为氯化钠 (NaCl)、醋酸钠 (NaAc)、氯化锂 (LiCl)、氯化钾 (KCl)、氯化镁 (MgCl<sub>2</sub>) 或醋酸钾 (KAc),相对于溶剂,可解离金属盐的掺杂量范围为 0.5-12mol/L,所述咪唑类离子液体为丙烯酰胺 (acrylamide, AAm)、甲基丙烯酸 (methacrylic acid, MAA)、2-甲基丙烯酰胺 (2-methylacrylamide, MAA)、丙烯酸 (AA)、异丙基丙烯酰胺 (N-isopropylacrylamide, NIPAm) 或甲基丙烯酸羟乙酯 (hydroxyethyl methacrylate, HEMA);所述单体为 1-乙基-3-甲基咪唑硫酸乙酯、1-甲基-3-甲基咪唑硫酸乙酯、1-丁基-3-甲基咪唑硫酸甲酯或 1-丁基-3-甲基咪唑硫酸甲酯。

3. 根据权利要求 1 所述可变焦光学透镜系统,其特征在于,所述弹性绝缘材料为聚丙烯酸酯、硅橡胶或聚氯乙烯,所述局部透明是指与离子导体交接的部位是透明的。

4. 根据权利要求 1 所述可变焦光学透镜系统,其特征在于,所述夹心结构的周边以刚性或弹性的固体边框固定,外电路的两端电极分别连接至介电弹性体薄膜两侧的离子导体上。

5. 根据权利要求 1 所述可变焦光学透镜系统,其特征在于,所述介电弹性体薄膜两侧的离子导体形态为:

一侧为球缺状,另一侧为片状;

或,两侧均为球缺状。

6. 一种制备权利要求 1 所述可变焦光学透镜系统的方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤 1,把高分子单体加入溶剂中,充分搅拌溶解,制备高分子单体溶液,其中所述溶剂为离子液体或去离子水;

步骤 2,如果步骤 1 中使用溶剂为去离子水,则将金属盐加入至所得高分子单体溶液中,然后转入步骤 3;如果步骤 1 中使用溶剂为离子液体,则直接进入步骤 3;

步骤 3,在高分子单体溶液中加入交联剂、引发剂和催化剂,搅拌混合均匀得到混合液体;

步骤 4,将混合液体倒入模具中,密封隔绝空气中,放入恒温箱中,35-60℃加热 1-2 个小时;或者,放入紫外线交联仪,室温条件下光照 1-2 个小时;制备得到离子液体凝胶或掺杂有可解离金属盐的水凝胶,即离子导体;

步骤 5,将离子导体转印或粘贴至透明或局部透明的介电弹性体薄膜上,构成离子导体 / 介电弹性体薄膜 / 离子导体的夹心结构。

7. 根据权利要求 6 所述可变焦光学透镜系统的制备方法,其特征在于,所述步骤 1 中,高分子单体为丙烯酰胺 (acrylamide, AAm)、甲基丙烯酸 (methacrylic acid, MAA)、2-甲基丙烯酰胺 (2-methylacrylamide, MAA)、丙烯酸 (AA)、异丙基丙烯酰胺 (N-isopropylacrylamide, NIPAm) 或甲基丙烯酸羟乙酯 (hydroxyethyl methacrylate, HEMA),高分子单体溶液的质量分数为 1% -20%。

8. 根据权利要求 6 所述可变焦光学透镜系统的制备方法, 其特征在于, 所述步骤 2 中, 当溶剂为去离子水时, 金属盐为氯化钠 (NaCl)、醋酸钠 (NaAc)、氯化锂 (LiCl)、氯化钾 (KCl)、氯化镁 ( $MgCl_2$ ) 或醋酸钾 (KAc), 相对于去离子水的浓度为 0.5 ~ 12mol/L。

9. 根据权利要求 6 所述可变焦光学透镜系统的制备方法, 其特征在于, 所述步骤 3 中, 交联剂相对于高分子单体的质量分数为 0.001 ~ 0.06%, 热引发剂相对于高分子单体的质量分数为 0.001% ~ 0.01%, 催化剂相对于溶剂的体积分数为 0.001% ~ 0.05%。

10. 根据权利要求 6 或 8 所述可变焦光学透镜系统的制备方法, 其特征在于, 所述步骤 3 中, 交联剂为 N, N- 亚甲基双丙烯酰胺, 分子量为 154.17g/mol; 热引发剂为过硫酸铵, 分子量为 228.201g/mol; 催化剂为 N, N, N', N' - 四甲基乙二胺, 分子量为 116.20g/mol。

## 一种可变焦光学透镜系统及其制备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及材料、光学、机电与软机器技术领域，特别涉及一种可变焦光学透镜系统及其制备。

### 背景技术

[0002] 可调（变）焦光学镜头的应用十分广泛。以单反相机为例，现有的镜头巨大笨重且十分昂贵。因此不依赖于机械旋移机构的可调（变）焦光学元件（如镜头）一直以来受到科技和工业界的关注，尤其是应用在可移动设备（如手机、卡片相机等）和医学设备（如内窥镜）等空间紧凑型设备上的可变焦光学元件。

[0003] 现有的技术资料将可变焦光学系统的设计几乎都集中在由液体填充（或液态）的光学单元在外界激励（刺激）下改变曲率或者折射率以实现变焦的方案。该类方案存在响应缓慢、液体泄露和液体受重力影响使图像扭曲等的缺陷。并且，大部分设计中所需的外界激励（化学、光学、声学、电磁场等）对于该类方案的广泛应用具有较大的限制，使其难以在电子设备上进行集成。

[0004] 基于以上问题，一种全新的固态、电调、快捷、微小、简易、低成本、可集成的自变焦光学系统的设计是令人期待的。然而，人类自身就具有这种结构简单却功能强大的光学系统：眼睛。在动物界，眼睛是信息获取的重要通道，大多数动物的眼睛具有焦距调节功能。多年来仿生的光学系统一直是研究的重点，但是由于人们没有找到能够具有优越的力、电、光学的弹性导体，该方面的研究一直难以得到工业界的应用。除了材料以外，一个重要的原因是人们试图用统一的思路去解决所有问题，而并没有意识到自然界和工业界的真正区别。自从法拉第发现电磁感应之后，工业界几乎处处都在和电子导体打交道，而忽略了自然界中所有信息的传递是通过离子导体进行的。动物的神经元通过离子的调节而传递动作电位，这些信号到达神经末梢刺激肌纤维细胞，使得其发生舒张或收缩的变化。动物的眼睛正是通过这种环节进行透光体曲率调节的。

### 发明内容

[0005] 为了克服上述现有技术的缺点，本发明的目的在于提供一种可变焦光学透镜系统及其制备，打破了传统技术液体介质的局限，采用全固态的柔性材料，有利工艺的优化和模块化集成。

[0006] 为了实现上述目的，本发明采用的技术方案是：

[0007] 一种可变焦光学透镜系统，包括：

[0008] 透明的弹性或柔性的离子导体，为离子液体凝胶或掺杂有可解离金属盐的水凝胶；

[0009] 介电弹性体薄膜，为透明或者局部透明的弹性绝缘材料；

[0010] 其中，所述离子导体粘结于介电弹性体薄膜的两侧，按照离子导体 / 介电弹性体薄膜 / 离子导体的顺序组合，形成夹心结构。

[0011] 所述离子液体凝胶为在咪唑类离子液体中聚合单体所得,所述可解离金属盐为氯化钠(NaCl)、醋酸钠(NaAc)、氯化锂(LiCl)、氯化钾(KCl)、氯化镁(MgCl<sub>2</sub>)或醋酸钾(KAc),相对于溶剂,可解离金属盐的掺杂量范围为0.5~12mol/L,所述咪唑类离子液体为丙烯酰胺(acrylamide,AAm)、甲基丙烯酸(methacrylic acid,MAA)、2-甲基丙烯酰胺(2-methylacrylamide,MAA)、丙烯酸(AA)、异丙基丙烯酰胺(N-isopropylacrylamide,NIPAm)或甲基丙烯酸羟乙酯(hydroxyethyl methacrylate,HEMA);所述单体为1-乙基-3-甲基咪唑硫酸乙酯、1-甲基-3-甲基咪唑硫酸乙酯、1-丁基-3-甲基咪唑硫酸甲酯或1-丁基-3-甲基咪唑硫酸甲酯。

[0012] 所述弹性绝缘材料为聚丙烯酸酯、硅橡胶或聚氯乙烯,所述局部透明是指与离子导体交接的部位是透明的。

[0013] 所述夹心结构的周边以刚性或弹性的固体边框固定,外电路的两端电极分别连接至介电弹性体薄膜两侧的离子导体上。

[0014] 所述介电弹性体薄膜两侧的离子导体形态为:

[0015] 一侧为球缺状,另一侧为片状;

[0016] 或,两侧均为球缺状。

[0017] 本发明还提供了一种制备所述可变焦光学透镜系统的方法,包括如下步骤:

[0018] 步骤1,把高分子单体加入溶剂中,充分搅拌溶解,制备高分子单体溶液,其中所述溶剂为离子液体或去离子水;

[0019] 步骤2,如果步骤1中使用溶剂为去离子水,则将金属盐加入至所得高分子单体溶液中,然后转入步骤3;如果步骤1中使用溶剂为离子液体,则直接进入步骤3;

[0020] 步骤3,在高分子单体溶液中加入交联剂、引发剂和催化剂,搅拌混合均匀得到混合液体;

[0021] 步骤4,将混合液体倒入模具中,密封隔绝空气中,放入恒温箱中,35~60℃加热1~2个小时;或者,放入紫外线交联仪,室温条件下光照1~2个小时;制备得到离子液体凝胶或掺杂有可解离金属盐的水凝胶,即离子导体;

[0022] 步骤5,将离子导体转印或粘贴至透明或局部透明的介电弹性体薄膜上,构成离子导体/介电弹性体薄膜/离子导体的夹心结构。

[0023] 所述步骤1中,高分子单体为丙烯酰胺(acrylamide,AAm)、甲基丙烯酸(methacrylic acid,MAA)、2-甲基丙烯酰胺(2-methylacrylamide,MAA)、丙烯酸(AA)、异丙基丙烯酰胺(N-isopropylacrylamide,NIPAm)或甲基丙烯酸羟乙酯(hydroxyethyl methacrylate,HEMA),高分子单体溶液的质量分数为1%~20%。

[0024] 所述步骤2中,当溶剂为去离子水时,金属盐为氯化钠(NaCl)、醋酸钠(NaAc)、氯化锂(LiCl)、氯化钾(KCl)、氯化镁(MgCl<sub>2</sub>)或醋酸钾(KAc),相对于去离子水的浓度为0.5~12mol/L。

[0025] 所述步骤3中,交联剂相对于高分子单体的质量分数为0.001~0.06%,热引发剂相对于高分子单体的质量分数为0.001%~0.01%,催化剂相对于溶剂的体积分数为0.001%~0.05%。

[0026] 所述步骤3中,交联剂为N,N-亚甲基双丙烯酰胺,分子量为154.17g/mol;热引发剂为过硫酸铵,分子量为228.201g/mol;催化剂为N,N,N',N'-四甲基乙二胺,分子量为

116. 20g/mol。

[0027] 本发明所包含的可变焦光学透镜系统模拟了生物眼结构调节的机制。通过对于智能材料的电刺激，引入了显著的机械变形，改变了光学透镜（离子透镜）的曲率，从而改变了光学透镜（离子透镜）的焦距，以实现在小空间内的自变焦功能。夹心结构的设计避免了离子导体和电子导体在界面上发生电化学反应。

[0028] 本发明在认识到离子导体在仿生研究中的重要意义后，第一次将类神经传导的离子导体和类肌肉作动的聚合物结合在一起，该可变焦光学透镜实现了变焦透镜从概念到器件的创新和突破，为将来离子导体的广泛应用提供了基本的范例。

[0029] 与已有的变焦光学系统相比，本发明具有极其简单的设计、安装结构；该结构在很大程度上节省了整个可变焦光学系统的体积空间；本发明使用了具有超弹性的柔性材料，具有质量轻、性能好、选材广、制备工艺简单（或商业成品化高）等特点；采用电控智能材料，响应速度非常快（1-10ms）；材料和器件能够在较大的温度范围（-100℃到300℃）进行稳定的工作；全固态的光学体系，避免了液态体系所带来的图像受重力扭曲、潜在泄露短路风险等缺点；光学变焦范围至少是人类眼球的2倍以上，选用不同的材料和尺寸将会提高上限；在可见光波长范围内（380～720nm）装置透射率为90%以上，离子导体的电导率为1到100S/cm量级。

## 附图说明

[0030] 图1是处于静息状态下，尚未受到电刺激的自变焦透镜系统结构示意图。

[0031] 图2是本发明自变焦透镜系统（别称：离子眼）在电场作用下处于驱动状态的结构示意图。

## 具体实施方式

[0032] 下面结合附图和实施例详细说明本发明的实施方式。

[0033] 如图1所示，本发明是一种自变焦光学系统，包括透明的弹性或柔性的离子导体和介电弹性体薄膜，离子导体为离子液体凝胶或掺杂有可解离金属盐的水凝胶，而介电弹性体薄膜为透明或者局部透明的绝缘弹性材料。其中，采用不同形态的离子导体贴于介电弹性体薄膜的两侧，例如，一侧为球缺状，另一侧为薄片状；或两侧均为球缺状；或者其他能够随变形改变曲率的任何结构，按照离子导体一1/介电弹性体薄膜2/离子导体二3的顺序组合，形成具有三层夹心结构的光学变焦系统（离子眼）。

[0034] 如图2所示，将离子导体一1串接于外置的正极线路，离子导体二3串接于外置的负极线路，如图2所示，将离子导体一1串接于外置的正极线路，离子导体二3串接于外置的负极线路。当外接电路正负极间施加适当的电压，介电弹性体2和离子导体的两界面间形成一定场强的静电场。此时介电弹性体受到静电力的挤压作用，中心区域（即表面有离子导体的区域）截面厚度减小，表面积均匀地显著地扩大。介电弹性体的变形带动其上下表面弹性离子导体的变形，尤其是上表面的半球状离子导体（亦可以为其他形状）的变形，使得其改变曲面的曲率，从而使得离子透镜的焦距发生变化。焦距变化的显著程度和施加电压大小、材料的强度、刚度和厚度以及离子透镜的初始曲率等参数有关。

[0035] 本发明自变焦光学系统的制备过程如下：

[0036] 实施例 1

[0037] 步骤 1, 把高分子单体丙烯酰胺 (AAm) 加入去离子水中, 充分搅拌溶解, 制备得到质量分数为 1% 的高分子单体溶液;

[0038] 步骤 2, 把相对于溶剂的浓度为 0.5mol/L 的金属盐氯化钠 (LiCl) 加入到所述高分子单体溶液中, 并加入分子量为 154.17g/mol 的交联剂 N,N- 亚甲基双丙烯酰胺, 分子量为 228.201g/mol 的热引发剂过硫酸铵, 分子量为 116.20g/mol 的催化剂 N,N,N',N' - 四甲基乙二胺, 混合均匀得到混合液。交联剂相对于高分子单体的质量分数为 0.001%, 热引发剂相对于高分子单体的质量分数为 0.001%, 催化剂相对于溶剂的体积分数为 0.001%。

[0039] 步骤 3, 将上述混合溶液分别倒入球缺状的玻璃或有机玻璃模具和夹有硅胶垫片的玻璃板或有机玻璃板模具中, 放置在恒温箱中加热 2 小时, 制备成为具有特定形状的导电水凝胶。

[0040] 步骤 4, 将厚度 1mm 的介电弹性体薄膜聚丙烯酸酯四周固定。

[0041] 步骤 5, 将步骤 3 中所述球缺状和薄片状离子导体对齐分别贴在步骤 4 所述的被固定的薄膜两侧的中心位置, 得到三层夹心结构。

[0042] 步骤 6, 将离子导体一 1 串接于外置的正极线路, 离子导体二 3 串接于外置的负极线路, 给外接电路正负极间施加 6000V 的电压, 随着电压周期性开 / 关 (on/off) 循环, 上表面的半球状离子导体变形, 改变曲面曲率, 从而实现离子眼调节焦距。焦距随着电压的增加而增大, 焦距的变化和电压成二次关系。当电压从 1kV 上升到 6kV, 焦距的变化从 3% 非线性增加至 47%。

[0043] 实施例 2

[0044] 步骤 1, 选用 1-丁基-3-甲基咪唑硫酸甲酯作为离子液体, 将相对于离子液体 4-15wt% 的甲基丙烯酸羟乙酯加入到离子液体中。

[0045] 步骤 2, 继续加入相对于甲基丙烯酸羟乙酯单体 3-5wt% 的聚乙二醇二甲基丙烯酸酯和相对于甲基丙烯酸羟乙酯单体 1-2wt% 的 2-羟基-2-甲基苯丙酮, 并搅拌使之充分混合。

[0046] 步骤 3, 将上述混合溶液分别倒入球缺状的玻璃或有机玻璃模具和夹有硅胶垫片的玻璃板或有机玻璃板模具中, 放置在紫外交联仪中照射 3 小时, 制备成为具有特定形状的导电离子凝胶, 该实例制备的离子液体凝胶的模量在 2.0-8.0kPa, 应变可以达到 4-10 倍。

[0047] 步骤 4, 将介电弹性体薄膜 PDMS 等双轴预拉伸后四周固定。

[0048] 步骤 5, 将步骤 3 中所述球缺状和薄片状离子导体对齐分别贴在步骤 4 所述的被固定的薄膜两侧的中心位置, 得到三层夹心结构。

[0049] 步骤 6, 将离子导体一 1 串接于外置的正极线路, 离子导体二 3 串接于外置的负极线路, 给外接电路正负极间施加 3000V 的电压, 随着电压周期性开 / 关 (on/off) 循环, 上表面的半球状离子导体变形, 改变曲面曲率, 从而实现离子眼调节焦距。焦距随着电压的增加而增大, 焦距的变化和电压成二次关系。电压为 0V 时, 焦距无改变, 电压为 1kV 时, 焦距增大 2.8%, 电压为 2kV 时, 焦距增加 11.2%, 电压为 3kV 时, 最大的焦距变化约为 20%。

[0050] 更多的实施例中, 高分子单体还可以为其它性质类似的物质, 例如乙烯醇 (vinyl alcohol) 或异丙基丙烯酰胺 (NIPAm) 等, 金属盐还可以为氯化钾 (KCl) 或氯化镁 (MgCl<sub>2</sub>)

等,离子液体可以为其他类型的离子液体,而所用溶剂也可以使其它的混合溶剂。介电弹性体有多种,亦可以通过多种材料的复合来实现介电弹性体在本发明中的功能。

[0051] 综上,本发明设计、制备、展示了一种基于离子导体和介电弹性体的可变焦光学透镜系统。本发明在原则上,可以使用掺杂有任意一种可解离金属盐的任意一种凝胶材料,包括但不限于水凝胶,离子液体凝胶或者含有混合溶剂的凝胶材料作为柔性离子导体,使用任意一种可拉伸透明(或局部透明)绝缘体作为介电弹性体材料,按照柔性离子导体/介电弹性体/离子柔性导体的顺序组合成三层夹心结构,制备可变焦光学透镜系统。本领域的技术人员依据上述方案做出非本质的调整和改进均属于本案的保护范围之内。

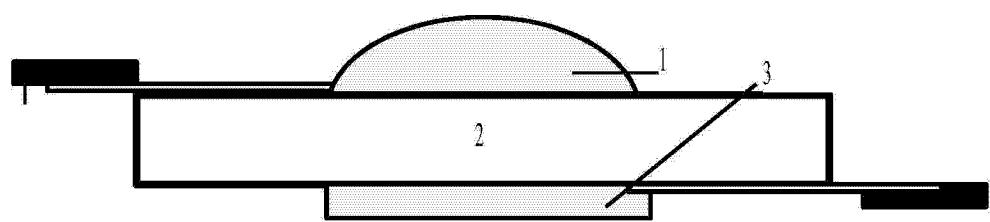


图 1

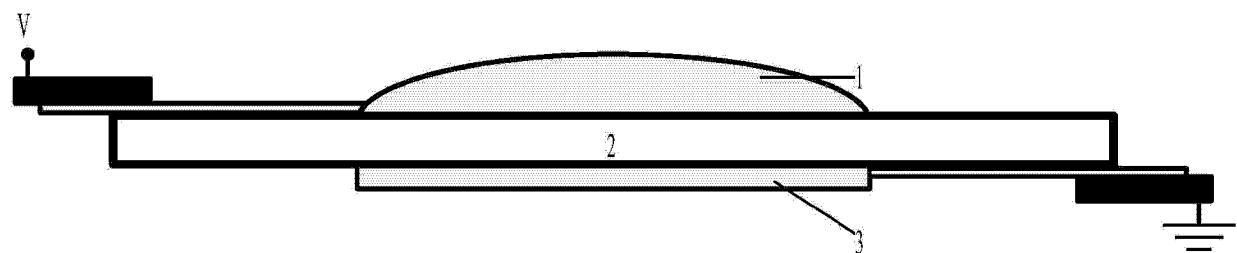


图 2