



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110154290 B

(45) 授权公告日 2021.03.16

(21) 申请号 201910379941.3

(22) 申请日 2018.07.17

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110154290 A

(43) 申请公布日 2019.08.23

(62) 分案原申请数据
201810780675.0 2018.07.17

(73) 专利权人 山东科技大学
地址 266590 山东省青岛市黄岛区前湾港
路579号山东科技大学

(72) 发明人 王清 张睿 郑旭 王宁

(74) 专利代理机构 青岛锦佳专利代理事务所
(普通合伙) 37283

代理人 邵朋程

(51) Int.Cl.

B29C 39/00 (2006.01)

B29C 39/02 (2006.01)

B29C 39/22 (2006.01)

B29C 39/36 (2006.01)

B29C 33/30 (2006.01)

B29C 33/72 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

B29K 83/00 (2006.01)

B29L 11/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106383403 A, 2017.02.08

CN 205910121 U, 2017.01.25

CN 101379418 A, 2009.03.04

审查员 郑楠

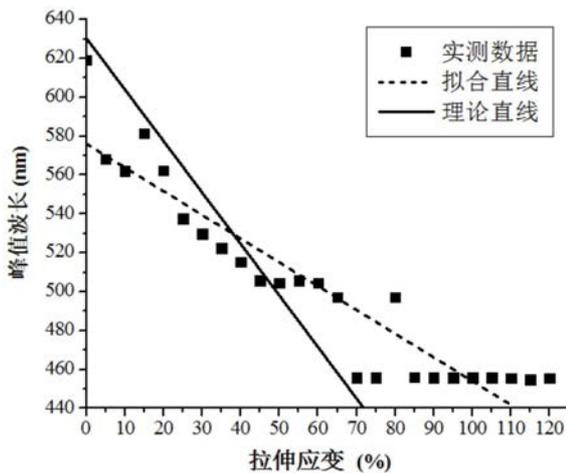
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种用于结构健康监测的柔性可变形光子晶体材料及应用

(57) 摘要

本发明公开一种用于结构健康监测的柔性可变形光子晶体材料,其采用以下步骤制备而成:光栅母模板的清洗;模具的制备和组装:采用3D打印设备打印出三维模具,该三维模具包括上模和下模,将光栅母模板安装在三维模具上,得到组装模具;采用向组装模具中浇注PDMS的方法复制光栅母模板表面的一维光栅结构,得到PDMS一维光子晶体薄膜;最后脱模,得到中间表面带有一维光子晶体结构、两端带有凸起结构的PDMS一维光子晶体薄膜,该PDMS一维光子晶体薄膜即为柔性可变形光子晶体材料。本发明采用具有光子晶体结构的母模板制备力致变色光子晶体薄膜,工艺简单易操作,大幅度缩短力致变色材料的制备周期,降低制备成本。



1. 一种用于结构健康监测的柔性可变形光子晶体材料的制备方法,其特征在于:该光子晶体材料是由PDMS加工制成的,包括平面薄膜,在平面薄膜的两端设置有方便夹持固定的凸起,在平面薄膜的表面中间设置有一维光子晶体结构;具体制备方法包括以下步骤:

a 光栅母模板的清洗

将光栅母模板从保护器皿中取出,先用无水乙醇对光栅母模板的表面进行清洗,再用纯水对其表面进行清洗,最后用氮气将光栅母模板的表面吹干,将光栅母模板的光栅结构面向上放置于洁净的培养皿中,待用;

b 模具的制备和组装

b1 模具的制备和清洗

采用3D打印设备打印出三维模具,该三维模具包括上模和下模,所述上模为中空方形框架结构,所述下模包括长方形底板,在长方形底板上设置有第一条形凸起和第二条形凸起,第一条形凸起和第二条形凸起均沿长方形底板的宽度方向设置,且高度相等,长方形底板和第一条形凸起、第二条形凸起为一体式设计;所述方形框架的边框高度高于第一条形凸起和第二条形凸起的高度;

进行模具组装前,先用无水乙醇分别对模具的上模、下模两部分进行彻底清洗,然后用氮气将模具的上模、下模两部分吹干,将其放置于洁净的培养皿中,待用;

b2 模具和光栅母模板的组装

首先,将已经清洗干净的上模、下模和光栅母模板取出待用;然后,将光栅母模板安装在下模的第一条形凸起和第二条形凸起之间;最后,将上模卡在下模的第一条形凸起和第二条形凸起外侧,上模和下模固定在一起,得到组装模具,待用;组装模具中,光栅母模板的顶面高度高于下模的第一条形凸起和第二条形凸起的顶面高度,且低于上模的顶面高度;

c PDMS一维光子晶体薄膜的成型

采用向组装模具中浇注PDMS的方法复制光栅母模板表面的一维光栅结构,得到PDMS一维光子晶体薄膜,其成型过程主要包括以下三个步骤:

c1 PDMS的配制和浇筑

c11 将PDMS的预聚物A和交联剂B按照10:1的重量配比倒入塑料烧杯中;

c12 将盛有PDMS的塑料烧杯置于除泡搅拌机中搅拌,混合均匀并除去PDMS中多余的气泡;

c13 将组装模具平放在水平试验台上,采用移液枪将一定体积的PDMS浇注在光栅母模板表面,PDMS凭借其自身良好的流动性,能够充分地填充于组装模具的凹槽中以及光栅母模板的表面,将整体静置15分钟,观察到PDMS形成均匀、平整的表面,待固化;

c2 PDMS的热固化成型

c21 将浇注有PDMS的组装模具平放在真空干燥器中,密封好后抽真空15分钟,除去PDMS中因流动产生的气泡,然后将组装模具取出;

c22 再将浇注有PDMS的组装模具平放在鼓风干燥箱中,在80℃中进行热固化20分钟,然后将组装模具取出并冷却10分钟,待脱模;

d PDMS一维光子晶体薄膜的脱模

首先,采用尖头镊子或刀片将固化成型的PDMS薄膜从模具的四周侧壁上轻轻剥离;然后,将模具的上模、下模两部分结构拆分开;最后,用镊子将整块PDMS薄膜从模具上剥离下

来,得到中间表面带有一维光子晶体结构、两端带有凸起结构的PDMS一维光子晶体薄膜,该PDMS一维光子晶体薄膜即为柔性可变形光子晶体材料。

一种用于结构健康监测的柔性可变形光子晶体材料及应用

技术领域

[0001] 本发明属于结构健康监测材料的制备及应用技术领域,尤其涉及利用纳米成型技术简单快速地制备柔性可变形光子晶体材料的方法。

背景技术

[0002] 受自然界生物体的启发,采用生物感知的方式监测损伤的自我监测材料引起研究人员的广泛关注。生物体通过皮肤瘀伤或伤口出血的方式发出损伤警告信号,类似地,工程结构可以通过材料颜色的改变“感知”损伤出现的位置和程度。目前制备仿生自我监测材料的方法主要有包埋微型储液器法和合成力致变色材料法。

[0003] 第一种方法采用微胶囊、中空纤维或微通道等储液器包裹染料并将储液器埋入材料中,或将储液器制成损伤报告涂层涂覆于材料表面,当这些微型储液器随材料破裂后,被包裹的染料会渗入材料的裂缝和空隙中,从而显示材料损伤的位置。该方法模拟了生物体在损伤处的瘀伤或流血效应,使材料微损伤肉眼可视化,但是,从储液器释放到损伤部位的液体会使材料产生空隙,导致材料的机械强度降低;由于储液器破裂后无法还原,自我报告损伤的效果只能在材料的特定部位发生一次。

[0004] 第二种方法是合成具有力致变色特性的材料,采用官能团、添加剂或生物大分子等使材料响应于力学变形而改变其外观颜色。该方法不仅能识别损伤的位置,还能根据材料颜色判断损伤的程度,理解材料损伤的演化过程,但是,合成力致变色材料的过程复杂,制备周期长。而且,以上两种方法中具有指示功能的颜色都属于化学色,性质不稳定,易褪色,易受外界环境影响,会对环境造成污染。

[0005] 总结来说,现有方法存在以下技术问题:(1)工艺复杂,制备周期长;(2)降低母体材料强度;(3)自我监测效果受限;(4)材料化学色不稳定,易褪色,污染环境。

发明内容

[0006] 基于上述技术问题,本发明提供一种用于结构健康监测的柔性可变形光子晶体材料的制备方法。

[0007] 本发明所采用的技术解决方案是:

[0008] 一种用于结构健康监测的柔性可变形光子晶体材料的制备方法,包括以下步骤:

[0009] a光栅母模板的清洗

[0010] 将光栅母模板从保护器皿中取出,先用无水乙醇对光栅母模板的表面进行清洗,再用纯水对其表面进行清洗,最后用氮气将光栅母模板的表面吹干,将光栅母模板的光栅结构面向上放置于洁净的培养皿中,待用;

[0011] b模具的制备和组装

[0012] b1模具的制备和清洗

[0013] 采用3D打印设备打印出三维模具,该三维模具包括上模和下模,所述上模为中空的正方形框架结构,所述下模包括长方形底板,在长方形底板上设置有第一条形凸起和第二条

条形凸起,第一条形凸起和第二条形凸起均沿长方形底板的宽度方向设置,且高度相等,长方形底板和第一条形凸起、第二条形凸起为一体式设计;所述方形框架的边框高度高于第一条形凸起和第二条形凸起的高度;

[0014] 进行模具组装前,先用无水乙醇分别对模具的上模、下模两部分进行彻底清洗,然后用氮气将模具的上模、下模两部分吹干,将其放置于洁净的培养皿中,待用;

[0015] b2模具和光栅母模板的组装

[0016] 首先,将已经清洗干净的上模、下模和光栅母模板取出待用;然后,将光栅母模板安装在下模的第一条形凸起和第二条形凸起之间;最后,将上模卡在下模的第一条形凸起和第二条形凸起外侧,上模和下模固定在一起,得到组装模具,待用;组装模具中,光栅母模板的顶面高度高于下模的第一条形凸起和第二条形凸起的顶面高度,且低于上模的顶面高度;

[0017] c PDMS一维光子晶体薄膜的成型

[0018] 采用向组装模具中浇注PDMS的方法复制光栅母模板表面的一维光栅结构,得到PDMS一维光子晶体薄膜,其成型过程主要包括以下三个步骤:

[0019] c1PDMS的配制和浇筑

[0020] c11将PDMS的预聚物A和交联剂B按照20:1的重量配比倒入塑料烧杯中;

[0021] c12将盛有PDMS的塑料烧杯置于除泡搅拌机中搅拌,混合均匀并除去PDMS中多余的气泡;

[0022] c13将组装模具平放在水平试验台上,采用移液枪将一定体积的PDMS浇注在光栅母模板表面,PDMS凭借其自身良好的流动性,能够充分地填充于组装模具的凹槽中以及光栅母模板的表面,将整体静置15分钟,观察到PDMS形成均匀、平整的表面,待固化;

[0023] c2PDMS的热固化成型

[0024] c21将浇注有PDMS的组装模具平放在真空干燥器中,密封好后抽真空15分钟,除去PDMS中因流动产生的气泡,然后将组装模具取出;

[0025] c22再将浇注有PDMS的组装模具平放在鼓风干燥箱中,在80℃中进行热固化20分钟,然后将组装模具取出并冷却10分钟,待脱模;

[0026] d PDMS一维光子晶体薄膜的脱模

[0027] 首先,采用尖头镊子或刀片将固化成型的PDMS薄膜从模具的四周侧壁上轻轻剥离;然后,将模具的上模、下模两部分结构拆分开;最后,用镊子将整块PDMS薄膜从模具上剥离下来,得到中间表面带有一维光子晶体结构、两端带有凸起结构的PDMS一维光子晶体薄膜,该PDMS一维光子晶体薄膜即为柔性可变形光子晶体材料。

[0028] 本发明采用具有光子晶体结构的光栅母模板作为母体,采用PDMS作为光子晶体材料的主体,采用向自行设计的组装模具中浇注PDMS的方法复制光栅母模板表面的一维光栅结构,得到PDMS一维光子晶体薄膜即柔性可变形光子晶体材料的方法,具有工艺简单易操作,大幅度缩短力致变色材料的制备周期,降低制备成本等优点。所制得的PDMS一维光子晶体薄膜是独立的自我监测体系,不会降低母体材料强度,不受时间限制,具有可重复的自我监测效果。

[0029] 在此还需要说明的是,选用PDMS(聚二甲基硅氧烷)作为光子晶体材料的主体是本发明的其中一个主要创新点。在此次申请之前,发明人也提出过有关力响应性光子晶体材

料的制备方法的一系列申请,但基本是采用多步转印的繁琐步骤,其中虽也采用了PDMS(聚二甲基硅氧烷),但利用的是其柔软的介质特性,即将PDMS作为二次模板,用于转印石英母模板上的光子晶体结构,其并没有综合考虑折射率和微观结构对结构色效应的影响。本发明中的PDMS光子晶体薄膜是综合考虑了材料折射率和光子晶体微观锯齿形结构之后,得到的本身就具有力致变色功能的单一材料的光子晶体薄膜。而PDMS材料因其折射率等特性适于制备本身就具有力致变色功能的单一材料的光子晶体薄膜在现有技术中并未有揭示。

[0030] 另外,在制备PDMS一维光子晶体薄膜时,所采用的三维模具也为自行设计,PDMS浇筑成型后可得到中间表面带有一维光子晶体结构、两端带有凸起结构的PDMS一维光子晶体薄膜,其中两端一体成型的凸起结构便于PDMS一维光子晶体薄膜在进行结构健康监测时夹持固定。

[0031] 本发明为了确保所制备PDMS一维光子晶体薄膜的精度及监测效果,还对PDMS的配制条件,PDMS的热固化成型条件等进行选择,如控制密封干燥抽真空时间,热固化温度及时间等等。

[0032] 作为对本发明的进一步优选,在下模的长方形底板中心且位于第一条形凸起和第二条形凸起之间设置有用于辅助脱模的圆孔,以更加方便成型后的PDMS一维光子晶体薄膜从三维模具上脱下来,且尽可能避免对PDMS薄膜造成破坏。

[0033] 作为对本发明的进一步优选,步骤c12中:除泡搅拌机搅拌时间为2分钟,具体是先正转1分钟,再反转1分钟。这样可进一步保证PDMS的A、B两种组分充分混合均匀的同时,能够充分除去PDMS中多余的气泡。

[0034] 本发明还可提供另一种用于结构健康监测的柔性可变形光子晶体材料的制备方法,该方法的制备步骤基本同上,区别之处在于:将PDMS的预聚物A和交联剂B按照10:1的重量配比倒入塑料烧杯中混匀。

[0035] 通过对比具有不同光栅结构方向的光子晶体薄膜的弹性模量可知,具有横向光栅的PDMS光子晶体薄膜比具有竖向光栅的PDMS光子晶体薄膜的柔性更大。通过对比具有不同PDMS配合比的光子晶体薄膜的弹性模量可知,配合比20:1的PDMS光子晶体薄膜比配合比10:1的PDMS光子晶体薄膜的柔性更大。

[0036] 本发明还提供了一种用于结构健康监测的柔性可变形光子晶体材料,该光子晶体材料是由PDMS加工制成的,包括平面薄膜,在平面薄膜的两端设置有方便夹持固定的凸起,在平面薄膜的表面中间设置有一维光子晶体结构,具体可采用上述制备方法制得。

[0037] 该柔性可变形光子晶体材料可用于传感、检测等领域,尤其适用于岩土工程、结构工程、防灾减灾工程及防护工程等领域的结构健康监测,可以实现智能传感、灾害检测和可视化监控。

[0038] 与现有技术相比,本发明的有益技术效果是:

[0039] 1.采用具有光子晶体结构的母模板制备力致变色光子晶体薄膜,工艺简单易操作,大幅度缩短力致变色材料的制备周期,降低制备成本。

[0040] 2.采用纳米成型技术制备的力致变色光子晶体薄膜是独立的自我监测体系,不会降低母体材料强度。

[0041] 3.采用纳米成型技术制备的光子晶体薄膜的力致变色特性不受时间限制,具有可重复的自我监测效果。

[0042] 4.采用纳米成型技术制备的力致变色光子晶体薄膜的显示色属于结构色,较包埋微型储液器法和合成力致变色材料法等传统工艺,其颜色稳定、不褪色、绿色环保,且制备方法更加简单,可重复性更好,制造精度更高。

附图说明

[0043] 下面结合附图与具体实施方式对本发明作进一步说明:

[0044] 图1为本发明中三维模具的上模结构示意图;

[0045] 图2为本发明中三维模具的下模结构示意图;

[0046] 图3为本发明中组装模具的分解示意图;

[0047] 图4示出平行于光子晶体结构方向的拉伸应变增大时,对于配合比为20:1的PDMS光子晶体薄膜,理论计算得到的峰值波长—拉伸应变直线图和实际测量得到的峰值波长—拉伸应变直线图。

具体实施方式

[0048] 本发明提供一种纳米成型技术制备的具有自我监测功能的光子晶体材料,用于实现一种工艺简单、制备周期短、不影响母体材料强度、具有稳定自我监测效果且绿色环保、不褪色的力致变色光子晶体的制备。本发明采用具有纳米级图案的刚性模板作为母模板,采用3D打印制备的组装模型作为模具,采用对力响应的弹性聚合物为成型材料,通过纳米成型技术将母模板上的图案转移到成型材料中获得纳米级周期结构,再经脱模获得两端带有夹持结构的、具有仿生自我监测功能的力致变色光子晶体。

[0049] 力致变色光子晶体在外界力作用下会发生晶格常数的变化,导致所制备膜图案的色彩发生响应性变化。这种光子晶体既可以提供人的肉眼可以分辨的颜色变化,又可以实现外界力变化引起的智能显示,使其在传感、检测等领域有着广阔的应用前景,尤其适用于岩土工程、结构工程、防灾减灾工程及防护工程等领域的结构健康监测,可以实现智能传感、灾害检测和可视化监控。

[0050] 本发明利用纳米成型技术制备具有仿生自我监测功能的力致变色光子晶体,具体步骤如下:

[0051] 1.光栅母模板的清洗

[0052] 将光栅母模板从保护器皿中取出,先用无水乙醇对母模板的表面进行反复清洗,再用超纯水对其表面进行清洗,最后用氮气将母模板的表面吹干,光栅结构面向上放置于洁净的培养皿中,待用。

[0053] 在不同的观察角度下,光栅母模板能够呈现出不同的结构色,而且每种结构色的纯净度高,亮度大,显色质量好。

[0054] 2.模具的制备和组装

[0055] 2.1模具的制备和清洗

[0056] 采用3D打印设备将预先设计好的三维模具模型打印成型,打印成型的三维模具包括上模1和下模2,所述上模1为中空的正方形框架结构,所述下模2包括长方形底板201,在长方形底板201上设置有第一条形凸起202和第二条形凸起203,第一条形凸起202和第二条形凸起203均沿长方形底板的宽度方向设置,且高度相等,长方形底板201和第一条形凸起

202、第二条形凸起203为一体式设计。所述方形框架的边框高度高于第一条形凸起和第二条形凸起的高度。在下模的长方形底板中心且位于第一条形凸起和第二条形凸起之间设置有用于辅助脱模的圆孔204。使用时要将它们组装在一起,并将光栅母模板3固定在中间。下模(模具下半部分)中心的圆孔能够起到辅助脱模的作用,两侧的凸起结构(第一条形凸起202和第二条形凸起203)能够起到固定光栅母模板和上模的作用。

[0057] 进行模具组装前,先用无水乙醇分别对模具的上模、下模两部分进行彻底清洗,然后用氮气将模具的上模、下模两部分吹干,将其放置于洁净的培养皿中,待用。

[0058] 2.2模具和光栅母模板的组装

[0059] 首先,将已经清洗干净的上模、下模和光栅母模板取出待用;然后,将光栅母模板安装在下模的第一条形凸起和第二条形凸起之间;最后,将上模卡在下模的第一条形凸起和第二条形凸起外侧,上模和下模固定在一起,得到组装模具,待用。组装模具中,光栅母模板的顶面高度高于下模的第一条形凸起和第二条形凸起的顶面高度,且低于上模的顶面高度。

[0060] 3.PDMS一维光子晶体薄膜的成型

[0061] 采用向组装模具中浇注PDMS的方法复制光栅母模板表面的一维光栅结构,即一维光子晶体结构,得到PDMS一维光子晶体薄膜,其成型过程主要包括以下三个步骤:

[0062] 3.1PDMS的配制和浇注

[0063] (1)先将塑料烧杯置于电子天平上,再将电子天平的显示屏归零,然后将PDMS的预聚物(A)和交联剂(B)按照10:1(或20:1)的重量配合比倒入塑料烧杯中。

[0064] (2)将盛有PDMS的塑料烧杯置于除泡搅拌机中搅拌2分钟,其中,正转1分钟,倒转1分钟,目的是在保证PDMS的A、B两种组分充分混合均匀的同时,能够除去PDMS中多余的气泡。

[0065] (3)将组装模具平放在水平试验台上,采用移液枪将一定体积的PDMS浇注在光栅母模板表面,PDMS凭借其自身良好的流动性,能够充分地填充于组装模具的凹槽中以及光栅母模板的表面,将整体静置15分钟,可以观察到PDMS形成均匀、平整的表面,待固化。

[0066] PDMS包括两个组分:预聚物A和交联剂B(预聚物A和交联剂B可从市场上直接购买得到,然后按比例配制),预聚物A的成分主要是poly(dimethyl-methylvinylsiloxane)预聚物,还有微量铂催化剂,交联剂B的成分是带乙烯基侧链的预聚物及交联剂poly(dimethyl-methylhydrogenosiloxane)。通过混合两者,乙烯基可与硅氢键发生氢化硅烷化反应,从而形成三维网络结构。通过控制预聚物A和交联剂B的组分比例,可以控制PDMS的力学性能。

[0067] 3.2PDMS的热固化成型

[0068] (1)将浇注有PDMS的组装模具平放在真空干燥器中,密封好后抽真空15分钟,除去PDMS中因流动产生的气泡,然后将组装模具取出;

[0069] (2)将浇注有PDMS的组装模具平放在鼓风干燥箱中,在80℃中进行热固化20分钟,然后将组装模具取出并冷却10分钟,待脱模。

[0070] 4.PDMS一维光子晶体薄膜的脱模

[0071] 4.1首先,采用尖头镊子或刀片将固化成型PDMS薄膜从模具的四周侧壁上轻轻剥离;

[0072] 4.2然后,将模具的上模、下模两部分结构拆分开,需要注意的是,在拆模具的过程中要避免破坏PDMS薄膜;

[0073] 4.3最后,用镊子将整块PDMS薄膜从模具上剥离下来,得到中间表面带有一维光子晶体结构、两端带有凸起结构的PDMS一维光子晶体薄膜,即柔性可变形光子晶体材料。

[0074] 对PDMS一维光子晶体薄膜的力致变色特性进行实验,发现:平行于光子晶体结构方向的拉伸应变每增大5%时,配合比为20:1的PDMS光子晶体薄膜的结构色变化过程如下:

[0075] 拉伸应变逐渐增大的过程中,光子晶体薄膜的结构色由红色逐渐向橙、黄、绿、青色过渡,最终变为蓝色,且蓝色对应的拉伸应变的范围最大,其次是绿色,橙色最小,且差异明显;在结构色蓝移过程中,当拉伸应变超过20%后,出现了比较明显的结构色分布不均匀的现象,具体表现为薄膜中间部分的结构色比周围的结构色更趋向于蓝色,且对比不鲜明;薄膜的上端和下端均有少量的红色分布。

[0076] 平行于光子晶体结构方向的拉伸应变增大时,对于配合比为20:1的PDMS光子晶体薄膜,理论计算得到的峰值波长—拉伸应变直线图和实际测量得到的峰值波长—拉伸应变直线图如图4所示。对比图中的理论直线和拟合直线,发现两者比较相似,证明了实验结果的合理性和适用性,为光子晶体薄膜应用于可视化应变传感奠定了基础。

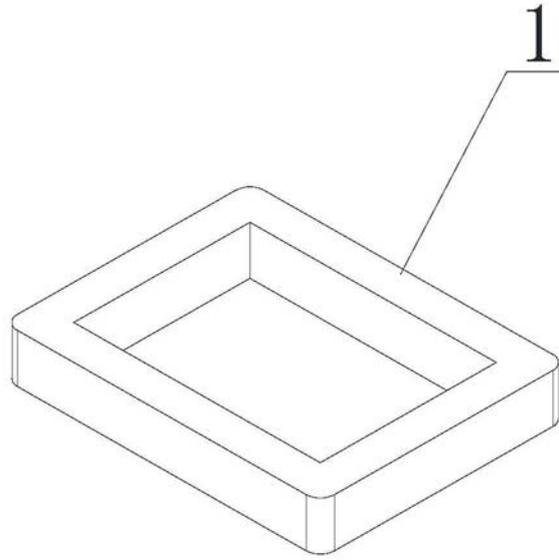


图1

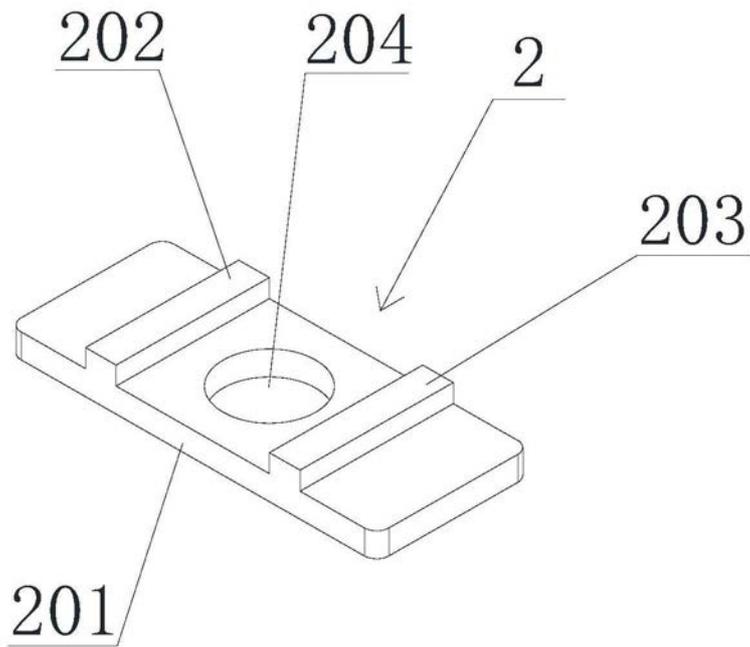


图2

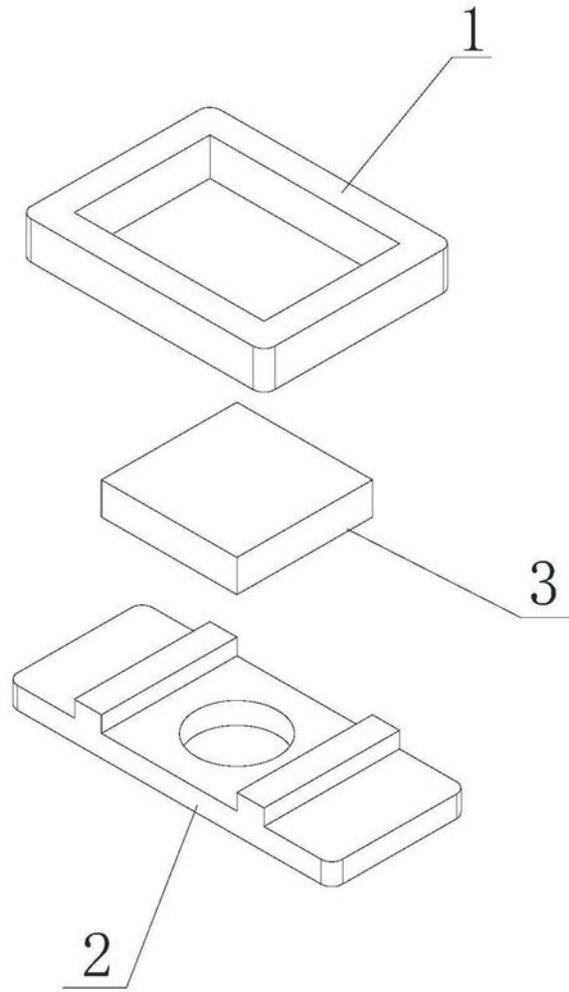


图3

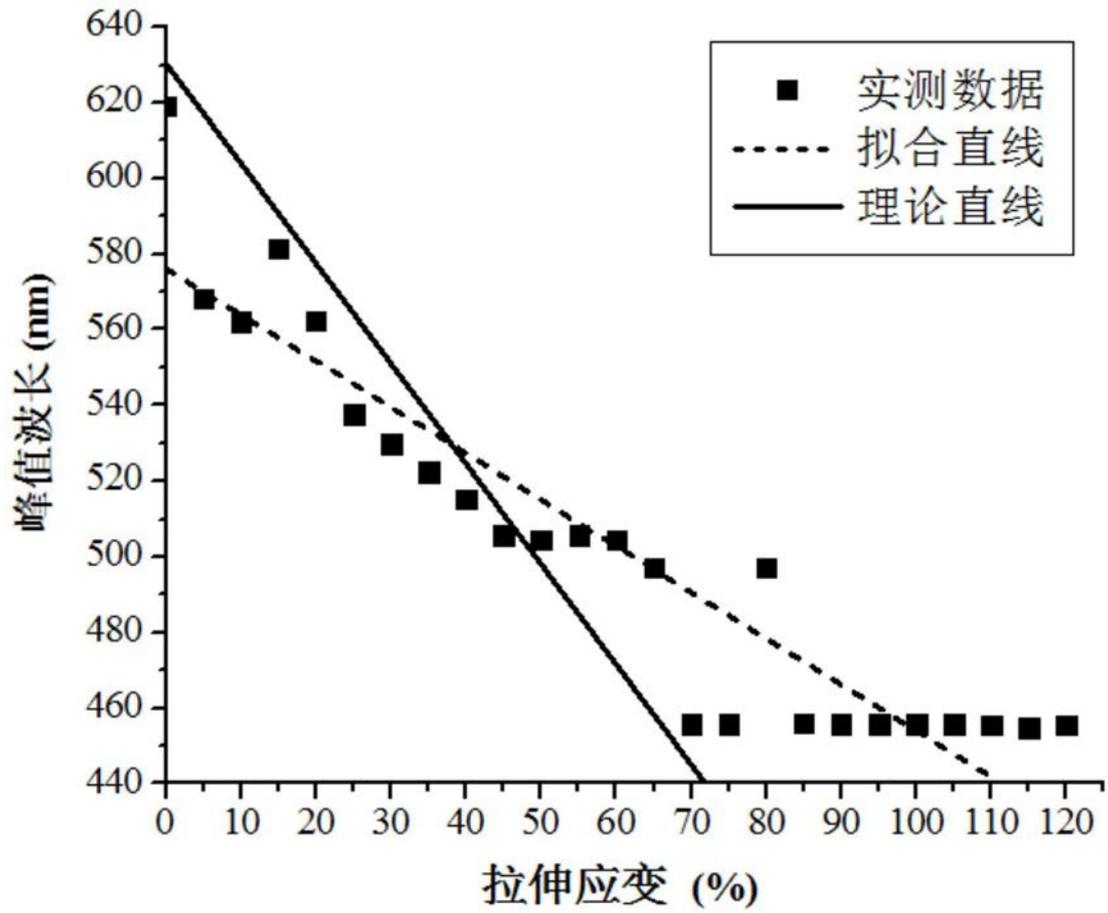


图4