



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111908896 A

(43) 申请公布日 2020.11.10

(21) 申请号 202010601945.4

(22) 申请日 2020.06.29

(71) 申请人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路  
381号

(72) 发明人 凌志远 吴丽娟

(74) 专利代理机构 广州市华学知识产权代理有  
限公司 44245

代理人 殷妹

(51) Int. Cl.

C04B 35/01 (2006.01)

C04B 35/622 (2006.01)

C04B 37/02 (2006.01)

C04B 41/88 (2006.01)

H02N 2/04 (2006.01)

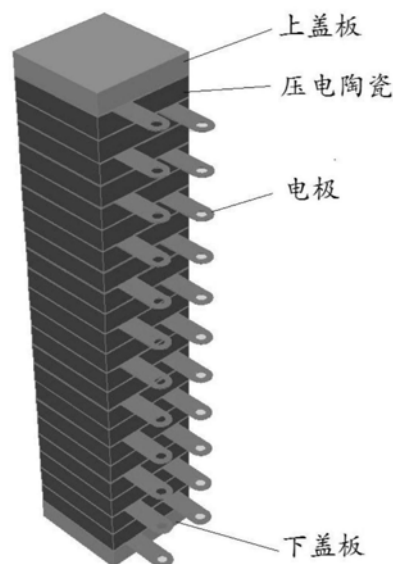
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种场诱应变微位移致动器及其制备方法  
与应用

(57) 摘要

本发明公开了一种场诱应变微位移致动器及其制备方法与应用。所述场诱应变微位移致动器由方形压电陶瓷薄片作为位移元件、方形不锈钢金属薄片作为引出电极交替堆叠构成,所述方形压电陶瓷薄片材料化学组成为  $\text{Pb}_{0.9625}\text{Sm}_{0.025}[(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{1-x}\text{Ti}_x]\text{O}_3$ ,  $0.28 \leq x \leq 0.31$ 。所述场诱应变微位移致动器的制备方法是以环氧树脂为粘结剂,方形压电陶瓷薄片与方形不锈钢金属薄片交替堆叠固化而成。本发明所制备的场诱应变微位移致动器具有大的位移输出、小的迟滞、良好的重复稳定性。在最优条件下,长度为26.24mm的致动器在室温1kV驱动电场下产生的位移量可达14.25  $\mu\text{m}$ ,在精密定位领域具有广泛的用途。



1. 一种场诱应变微位移致动器, 其特征在于, 由压电陶瓷薄片和不锈钢金属薄片交替堆叠构成, 其中, 压电陶瓷薄片的化学组成为  $\text{Pb}_{0.9625}\text{Sm}_{0.025}[(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{1-x}\text{Ti}_x]\text{O}_3$ ,  $0.28 \leq x \leq 0.31$ ; 压电陶瓷薄片作为位移元件, 不锈钢金属薄片作为引出电极, 所述压电陶瓷薄片和不锈钢金属薄片通过环氧树脂粘合剂固定。

2. 根据权利要求1所述一种场诱应变微位移致动器, 其特征在于, 每片不锈钢金属薄片均有引出端作为引出电极, 堆叠后的不锈钢金属薄片引出电极的正极对齐一列, 负极对齐一列, 或正负极对齐同一列; 所述环氧树脂粘合剂为热固化单组分或双组份环氧树脂粘合剂。

3. 根据权利要求1所述一种场诱应变微位移致动器, 其特征在于, 所述场诱应变微位移致动器的结构还包括上下盖板, 所述上下盖板为无电极陶瓷片, 其材料为钽掺杂铌镁酸铅-钛酸铅陶瓷。

4. 根据权利要求1或2或3所述一种场诱应变微位移致动器, 其特征在于, 所述压电陶瓷薄片和不锈钢金属薄片均为方形; 每片不锈钢金属薄片均具有一个位于薄片一侧的引出端, 引出端头呈圆弧状并具有一个同心于圆弧的小孔; 所述环氧树脂粘合剂为乐泰的Hysol E-214HP、Hysol EA 9466、Hysol EA 9340、Hysol 9464、A-1177-B、HF 8015、9461、327和81120中的至少一种。

5. 根据权利要求4所述一种场诱应变微位移致动器, 其特征在于, 所述压电陶瓷薄片的尺寸为  $5\text{mm} \times 5\text{mm} \times 1\text{mm}$ ; 不锈钢金属薄片的尺寸为  $5\text{mm} \times 5\text{mm} \times 0.05\text{mm}$ , 引出端尺寸为宽  $1\text{mm}$ 、长  $2\text{mm}$ 、厚  $0.05\text{mm}$ , 引出端头圆弧半径为  $0.5\text{mm}$ , 同心于圆弧具有一个半径为  $0.25\text{mm}$  的小孔; 所述不锈钢金属薄片为304不锈钢金属薄片。

6. 权利要求1~5任一项所述一种场诱应变微位移致动器的制备方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

将无电极陶瓷薄片作为下盖板, 在其上依次交替堆叠不锈钢金属薄片和压电陶瓷薄片, 堆叠至设定层数后, 用无电极陶瓷薄片作为上盖板, 其中无电极陶瓷薄片、不锈钢金属薄片和压电陶瓷薄片之间通过环氧树脂粘合剂固定, 每片不锈钢金属薄片均带有引出端作为引出电极, 将所有引出正极和引出负极分别用引线连接作为致动器的正负极, 从而得到场诱应变微位移致动器。

7. 根据权利要求6所述一种场诱应变微位移致动器的制备方法, 其特征在于, 所述无电极陶瓷薄片、不锈钢金属薄片和压电陶瓷薄片通过丝网印刷环氧树脂粘合剂并堆叠后, 于  $25 \sim 200^\circ\text{C}$  下固化  $6 \sim 24\text{h}$ 。

8. 根据权利要求6所述一种场诱应变微位移致动器的制备方法, 其特征在于, 所述场诱应变微位移致动器的制备方法, 包括以下步骤:

(1) 采用两步氧化物固相反应法制备压电陶瓷圆片, 经过研磨、抛光、切割、被银电极, 得到压电陶瓷薄片; 化学蚀刻法得到不锈钢金属薄片;

(2) 在压电陶瓷薄片和不锈钢金属薄片两面均丝网印刷环氧树脂粘合剂;

(3) 将无电极陶瓷薄片作为下盖板, 在其上放置不锈钢金属薄片, 然后在不锈钢金属薄片上放置有电极压电陶瓷薄片, 再反转放置不锈钢金属薄片, 依次堆叠至设定层数, 最后放置一片无电极陶瓷片作为上盖板, 交替反转堆叠的不锈钢金属薄片的正极引出端取向一致, 负极引出端取向一致;

(4) 使用不锈钢夹具沿堆叠方向上固定并保持垂直,置于烘箱中在25~200℃下固化6~24h;

(5) 将所有不锈钢金属薄片的正极用引线连接作为致动器正极,将所有不锈钢金属薄片的负极用引线连接作为致动器负极,得到场诱应变微位移致动器。

9. 权利要求1~5任一项所述一种场诱应变微位移致动器的应用。

10. 根据权利要求9所述一种场诱应变微位移致动器的应用,其特征在于,在微位移刀架、精密微位移系统和精密定位工作台领域中的应用。

## 一种场诱应变微位移致动器及其制备方法与应用

### 技术领域

[0001] 本发明属于微位移致动器技术领域,具体涉及一种场诱应变微位移致动器及其制备方法与应用。

### 背景技术

[0002] 随着科学技术的发展,纳米驱动/定位技术已成为前沿科学、工程技术领域的关键技术之一。压电陶瓷微位移致动器由于体积小、不发热、定位精度高等优点,在许多领域得到了广泛应用,如微位移刀架、精密微位移系统、精密定位工作台等。压电陶瓷微位移致动器的工作原理是利用压电陶瓷的逆压电效应。根据第一类压电方程,施加电场时压电陶瓷位移满足下式: $S_3 = d_{33}E_3$ ,其中, $S_3$ 为应变, $d_{33}$ 为压电电荷常数, $E$ 为电场强度。压电电荷常数 $d_{33}$ 越大, $S_3$ 就越大。为获得大应变,材料应具有尽可能大的 $d_{33}$ 值。近年,Li F等人(Ultrahigh piezoelectricity in ferroelectric ceramics by design.Nature Materials.2018,17(4):349-354)报道了钐掺杂铌镁酸铅-钛酸铅(Sm-PMN-xPT)体系压电陶瓷可获得超高的 $d_{33}$ 值,在此基础上,发明人课题组通过调节 $x$ 的大小,在组成为0.025Sm-PMN-0.28PT的陶瓷片中获得最强压电性能, $d_{33}$ 可达1310pC/N,为大应变微位移致动器的制备创造了条件。

[0003] 目前,制备多层微位移致动器最常用的方法是将压电陶瓷粉体与有机溶剂混合,流延成陶瓷膜片,然后将陶瓷膜片与内电极交替叠加,经层压工艺后共烧成多层压电陶瓷致动器。这种独石结构致动器的内电极一般采用Pd或AgPd贵金属材料,价格昂贵使得生产成本居高不下。相比之下,Ag电极价格低廉,然而由于熔点低(961℃)难于实现与陶瓷材料共烧。因此设计并制备一种性能更优的场诱应变微位移致动器成为了目前亟待解决的问题。

### 发明内容

[0004] 为解决现有技术的缺点和不足之处,本发明的首要目的在于提供一种场诱应变微位移致动器。

[0005] 本发明的另一目的在于提供上述一种场诱应变微位移致动器的制备方法。

[0006] 本发明的再一目的在于提供上述一种场诱应变微位移致动器的应用。

[0007] 本发明目的通过以下技术方案实现:

[0008] 一种场诱应变微位移致动器,由压电陶瓷薄片和不锈钢金属薄片交替堆叠构成,其中,压电陶瓷薄片的化学组成为 $Pb_{0.9625}Sm_{0.025}[(Mg_{1/3}Nb_{2/3})_{1-x}Ti_x]O_3$ ,简称为0.025Sm-PMN-xPT, $0.28 \leq x \leq 0.31$ ;压电陶瓷薄片作为位移元件,不锈钢金属薄片作为引出电极,所述压电陶瓷薄片和不锈钢金属薄片通过环氧树脂粘合剂固定。

[0009] 优选的,所述压电陶瓷薄片和不锈钢金属薄片均为方形;每片不锈钢金属薄片具有一个位于薄片一侧的引出端,引出端头呈圆弧状并具有一个同心于圆弧的小孔。

[0010] 更优选的,所述压电陶瓷薄片的尺寸为 $5mm \times 5mm \times 1mm$ ;不锈钢金属薄片的尺寸为 $5mm \times 5mm \times 0.05mm$ ,引出端尺寸为宽1mm、长2mm、厚0.05mm,引出端头圆弧半径为0.5mm,同

心于圆弧具有一个半径为0.25mm的小孔。

[0011] 优选的,所述压电陶瓷薄片采用两步氧化物固相反应法制备。

[0012] 优选的,所述场诱应变微位移致动器的结构还包括上下盖板,所述上下盖板为无电极陶瓷片,更优选为无电极方形陶瓷片;所述无电极陶瓷片为钐掺杂铌镁酸铅-钛酸铅陶瓷。

[0013] 优选的,每片不锈钢金属薄片均有引出端作为引出电极,堆叠后的不锈钢金属薄片引出电极的正极对齐一列,负极对齐一列,或正负极对齐同一列。

[0014] 优选的,所述不锈钢金属薄片为304不锈钢金属薄片。

[0015] 优选的,所述环氧树脂粘合剂为热固化单组分或双组份环氧树脂粘合剂;更优选为乐泰的Hysol E-214HP、Hysol EA 9466、Hysol EA 9340、Hysol 9464、A-1177-B、HF 8015、9461、327和81120中的至少一种。所述环氧树脂粘合剂适用于粘合不锈钢金属薄片和陶瓷的热固化单组分和双组份环氧树脂粘合剂,完全固化后具有高剥离强度、高抗冲击强度和耐腐蚀强度。

[0016] 上述一种场诱应变微位移致动器的制备方法,包括以下步骤:

[0017] 将无电极陶瓷薄片作为下盖板,在其上依次交替堆叠不锈钢金属薄片和压电陶瓷薄片,堆叠至设定层数后,用无电极陶瓷薄片作为上盖板,其中无电极陶瓷薄片、不锈钢金属薄片和压电陶瓷薄片之间通过环氧树脂粘合剂固定,每片不锈钢金属薄片均带有引出端作为引出电极,将所有引出正极和引出负极分别用引线连接作为致动器的正负极,从而得到场诱应变微位移致动器。

[0018] 优选的,所述无电极陶瓷薄片、不锈钢金属薄片和压电陶瓷薄片通过丝网印刷环氧树脂粘合剂并堆叠后,于25~200℃下固化6~24h。

[0019] 优选的,所述一种场诱应变微位移致动器的制备方法,包括以下步骤:

[0020] (1) 采用两步氧化物固相反应法制备压电陶瓷圆片,经过研磨、抛光、切割、被银电极,得到压电陶瓷薄片;化学蚀刻法得到不锈钢金属薄片;

[0021] (2) 在压电陶瓷薄片和不锈钢金属薄片两面均丝网印刷环氧树脂粘合剂;

[0022] (3) 将无电极陶瓷薄片作为下盖板,在其上放置不锈钢金属薄片,然后在不锈钢金属薄片上放置有电极压电陶瓷薄片,再反转放置不锈钢金属薄片,依次堆叠至设定层数,最后放置一片无电极陶瓷片作为上盖板,交替反转堆叠的不锈钢金属薄片的正极引出端取向一致,负极引出端取向一致;

[0023] (4) 使用不锈钢夹具沿堆叠方向上固定并保持垂直,置于烘箱中在25~200℃下固化6~24h;

[0024] (5) 将所有不锈钢金属薄片的正极用引线连接作为致动器正极,将所有不锈钢金属薄片的负极用引线连接作为致动器负极,得到场诱应变微位移致动器。

[0025] 上述一种场诱应变微位移致动器的应用。

[0026] 优选在微位移刀架、精密微位移系统和精密定位工作台领域中的应用。

[0027] 与现有技术相比,本发明具有以下优点及有益效果:

[0028] (1) 本发明所述的场诱应变微位移致动器,具有大的位移输出、小的迟滞、良好的重复稳定性。在最优条件下,长度为26.24mm的致动器在室温1kV驱动电场下产生的位移量可达14.25 $\mu$ m,滞后仅为0.045‰。

[0029] (2) 本发明所述场诱应变微位移致动器中位移元件和引出电极通过环氧树脂粘结剂固定,解决了现有技术中Ag电极难于实现与陶瓷材料共烧的问题。由压电陶瓷薄片作为位移元件、不锈钢金属薄片作为引出电极交替堆叠构成,在相同驱动电场作用下应变随堆叠长度成线性比例增大,堆叠长度越长,输出的位移量越大。

[0030] (3) 本发明所述的场诱应变微位移致动器,可望用于微位移刀架、精密微位移系统、精密定位工作台等领域。

## 附图说明

[0031] 图1为本发明场诱应变微位移致动器的结构示意图。

[0032] 图2为本发明场诱应变微位移致动器的堆叠过程示意图。

[0033] 图3为实施例1制备的长度为10.51mm的致动器在1kV单向驱动电压下的位移曲线。

[0034] 图4为实施例2制备的长度为17.88mm的致动器在1kV单向驱动电压下的位移曲线。

[0035] 图5为实施例3制备的长度为26.24mm的致动器在1kV单向驱动电压下的位移曲线。

## 具体实施方式

[0036] 下面结合实施例和附图对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此。

[0037] 本发明实施例中未注明具体条件者,按照常规条件或者制造商建议的条件进行。所用未注明生产厂商者的原料、试剂等,均为可以通过市售购买获得的常规产品。

[0038] 本发明所述的方形压电陶瓷薄片材料及上下盖板为钕掺杂铌镁酸铅-钛酸铅系列陶瓷,所述的粘合剂为环氧树脂粘合剂(乐泰产品Hysol E-214HP,是一种软膏型工业级环氧树脂胶粘剂,该胶粘剂是一种单组分非混合型胶粘剂,加热引发聚合形成一种具有高剥离强度和高抗冲击强度的坚韧,牢固结构型胶粘剂。完全固化后,产品具有优异的耐热冲击性能、机械性能和电气绝缘性能,并且可以耐大多数化学药品和溶剂),所述的方形不锈钢金属薄片为304不锈钢材质。

[0039] 本发明中场致应变数据由计算机控制Keithley 2410源表和MDS系列LVDT测微仪测试获得。

[0040] 本发明实施例中所述钕掺杂铌镁酸铅-钛酸铅陶瓷的化学式为: $\text{Pb}_{0.9625}\text{Sm}_{0.025}[(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.72}\text{Ti}_{0.28}]_3\text{O}_3$ ,简化为0.025Sm-PMN-0.28PT。

[0041] 该陶瓷的制备方法包括以下步骤:

[0042] (1) 将 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 和 $(\text{MgCO}_3)_4 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 原料在110℃下保温12h烘干,并在干燥环境中晾至室温,用电子天平称量13.516g  $(\text{MgCO}_3)_4 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、36.989g  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,使用行星式球磨机以350r/min的转速球磨1.5h以充分混合,其中锆球:原料:水的质量比为4:1:2,将球磨后的湿料烘干,用80目筛网筛出粉体,放入氧化铝坩埚中,移至马弗炉中,以200摄氏度/小时(℃/h)的升温速率从室温升至1200℃,保温6h,获得 $\text{MgNb}_2\text{O}_6$ 前驱体粉体。

[0043] (2) 将 $\text{Sm}_2\text{O}_3$ 原料放入马弗炉中进行预烧处理,以200℃/h的升温速率,从室温升至500℃,在500℃下保温4h,获得预处理过的 $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ;使用电热恒温鼓风干燥箱将 $\text{Pb}_3\text{O}_4$ 、 $\text{TiO}_2$ 、预处理过的 $\text{Sm}_2\text{O}_3$ 和 $\text{MgNb}_2\text{O}_6$ 前驱体粉体在110℃下保温12h烘干,在干燥环境中晾至室温,用电子天平依次称量69.005g  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ 、1.362g  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ 、6.985g  $\text{TiO}_2$ 、22.948g  $\text{MgNb}_2\text{O}_6$ ,以350r/min

的转速球磨1.5h以充分混合, 锆球: 料: 水的质量比为2:1:1, 将球磨后的湿料烘干, 用80目筛网筛出粉体, 放入氧化铝坩埚中, 移至马弗炉中, 以200℃/h的升温速率从室温升至900℃, 保温4h后, 获得预烧粉体。

[0044] (3) 将步骤(2)所得预烧粉体再次球磨, 使用行星式球磨机以350r/min的转速球磨1.5h以充分混合, 其中锆球: 预烧粉料: 水的质量比为2:1:1, 将球磨后的湿料烘干, 在干燥粉体中加入粘合剂进行造粒, 该粘合剂为质量分数为10%的聚乙烯醇(PVA)溶液, 添加量为干燥预烧粉体质量的10%, 研磨混合, 过60目筛网, 得到粒径均匀细小粉体。

[0045] (4) 称量3g造粒所得粉体, 通过粉末压片机施加24MPa的压强, 保持20s, 干压得到直径为25mm, 厚度约为1.2mm的圆片, 为保证数据的科学有效性, 多次重复该步, 获得圆片数量不少于10片。

[0046] (5) 将干压成型的圆片以堆叠的方式置于氧化铝陶瓷板上, 放入马弗炉中排胶, 得到素坯。排胶程序为: 从室温开始, 经过1h升温至120℃, 在120℃下保温1h, 再经过1h升温至250℃, 在250℃下保温1h, 再经过2h升温至450℃, 在450℃下保温1h, 最后经过1h升温至750℃, 在750℃下保温0.5h, 随后自然降温。

[0047] (6) 将素坯圆片放入坩埚中, 用氧化锆粉末密封, 放入马弗炉中进行烧结, 得到陶瓷片。烧结程序: 从室温开始, 经过6h升温至1250℃, 在1250℃下保温2h, 随后自然降温。

[0048] (7) 通过丝网印刷技术涂覆银电极(直径为19mm), 放入马弗炉中烧银, 获得具有电极的陶瓷片。烧银程序: 从室温开始, 经过4h升温至750℃, 在750℃下保温15min, 随后自然降温。

[0049] (8) 以硅油作为保护, 在陶瓷片厚度方向上施加直流电场, 进行极化处理。极化条件: 室温下, 极化电场强度为1kV/mm, 极化10min, 得到最终的钐掺杂铌镁酸铅-钛酸铅陶瓷。

[0050] 实施例1

[0051] 一种场诱应变微位移致动器, 如图1所示, 由方形压电陶瓷薄片作为位移元件、方形不锈钢金属薄片作为引出电极交替堆叠构成。

[0052] 该场诱应变微位移致动器的制备方法, 包括以下操作步骤:

[0053] (1) 制备方形压电陶瓷薄片和盖板: 将直径约为22mm, 厚度约为1mm的 $\text{Pb}_{0.9625}\text{Sm}_{0.025}[(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_{0.72}\text{Ti}_{0.28}]\text{O}_3$  (0.025Sm-PMN-0.28PT) 陶瓷圆片, 经过研磨、抛光、切割、被银电极, 获得尺寸为5mm×5mm×1mm的方形陶瓷薄片。

[0054] 采用常规的化学蚀刻获得5mm×5mm×0.05mm的带引出端的304不锈钢方形薄片, 引出端尺寸为宽1mm、长2mm、厚0.05mm, 引出端头圆弧半径为0.5mm, 同心于圆弧具有一个半径0.25mm小孔。

[0055] (2) 印刷粘结剂: 方形陶瓷片和不锈钢薄片方形面丝网印刷环氧树脂粘合剂。

[0056] (3) 堆叠: 底层放置一片无电极方形钐掺杂铌镁酸铅-钛酸铅陶瓷薄片作为下盖板, 在其上放置方形不锈钢薄片, 然后放置有电极方形陶瓷薄片, 再反转放置不锈钢金属薄片, 依次堆叠, 有电极方形压电陶瓷薄片堆叠数量达到8片, 最后放置一片无电极方形钐掺杂铌镁酸铅-钛酸铅陶瓷片作为上盖板, 交替反转堆叠的不锈钢金属薄片的正极引出端取向一致, 负极引出端取向一致, 如图2所示。

[0057] (4) 固化: 使用不锈钢夹具沿堆叠高度方向上固定并保持垂直, 置于烘箱中在180℃下保温8h固化。

[0058] (5) 焊接引线:将两根引线从两列引出端小孔中穿过并锡焊连接,最终引出两根引线。

[0059] 场致应变数据由计算机控制Keithley 2410源表和MDS系列LVDT测微仪测试获得,测试条件:施加周期为50s,幅值1kV单向三角波电压。

[0060] 测试结果:从图3中可以看出,致动器长度为10.51mm时产生5.45 $\mu\text{m}$ 位移,滞后量为0.45 $\mu\text{m}$ ,换算成应变为0.043‰。

[0061] 实施例2

[0062] 按实施例1的制备方法制备场诱应变微位移致动器,仅将步骤(3)中有电极方形陶瓷薄片的堆叠数量改为15片,其余制备条件与测试方法均与实施例1相同,获得5mm $\times$ 5mm $\times$ 17.88mm的叠层致动器。

[0063] 测试结果:从图4中可以看出,致动器长度为17.88mm时产生10.26 $\mu\text{m}$ 位移,滞后量为1 $\mu\text{m}$ ,换算成应变为0.056‰。

[0064] 实施例3

[0065] 按实施例1的制备方法制备场诱应变微位移致动器,仅将步骤(3)中有电极方形陶瓷薄片的堆叠数量改为24片,其余制备条件与测试方法均与实施例1相同,获得5mm $\times$ 5mm $\times$ 26.24mm的叠层致动器。

[0066] 测试结果:从图5中可以看出,致动器长度为26.24mm时产生14.25 $\mu\text{m}$ 位移,滞后量为1.17 $\mu\text{m}$ ,换算成应变为0.045‰。

[0067] 综上所述,采用本发明所提供的材料与制备方法所制备的场诱应变微位移致动器具有大的位移输出、小的迟滞、良好的重复稳定性,满足大位移量高精度致动器应变要求,且制备方法简单,成本低。

[0068] 上述实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都包含在本发明的保护范围之内。

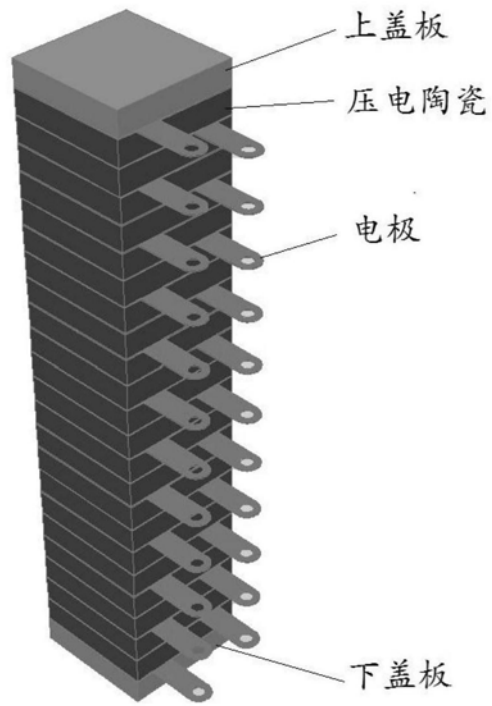


图1

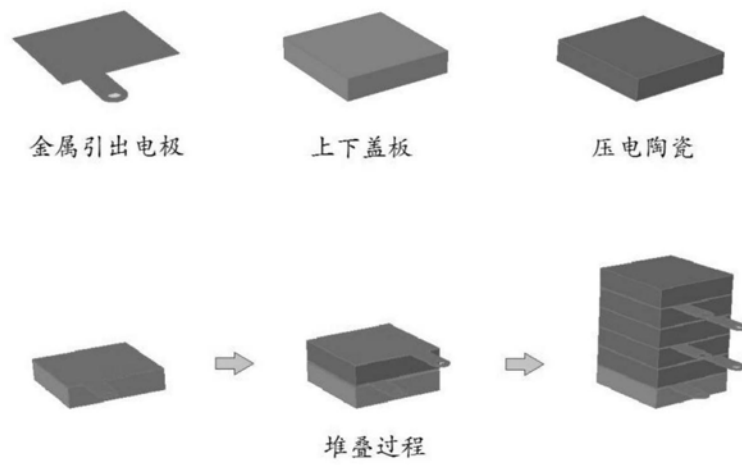


图2

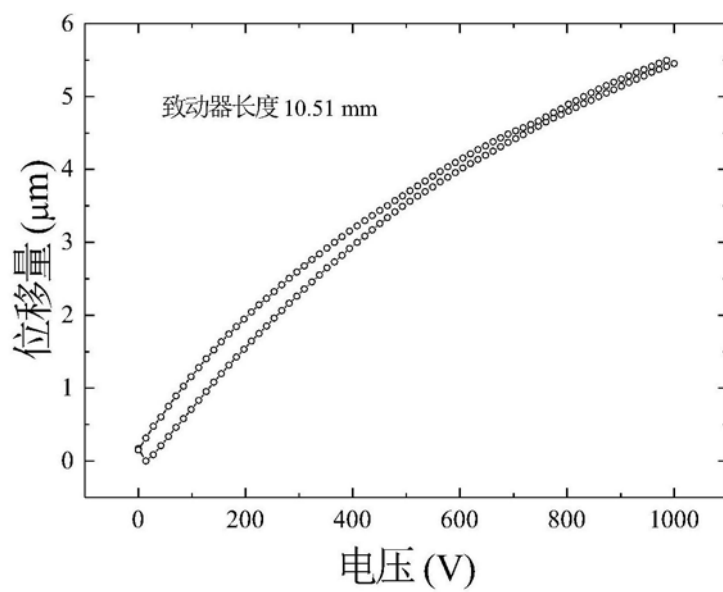


图3

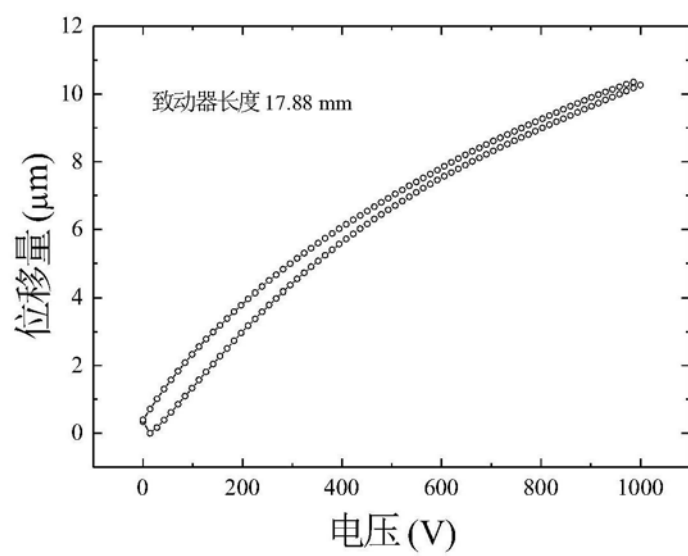


图4

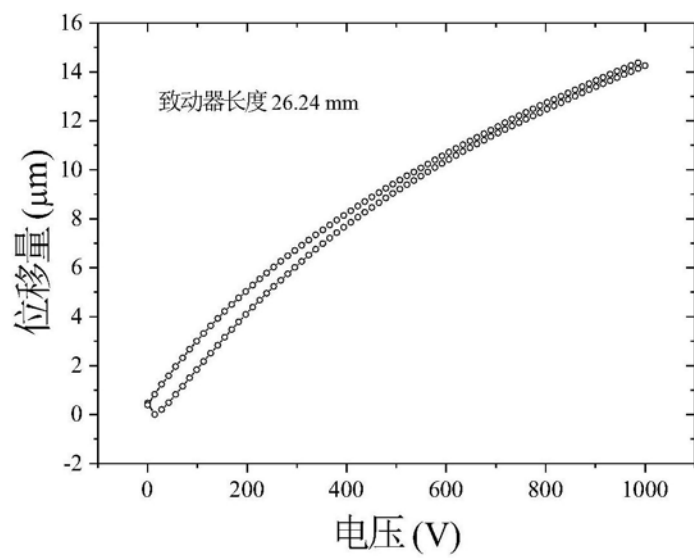


图5