



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107705985 B

(45)授权公告日 2019.09.20

(21)申请号 201710955078.2

(22)申请日 2017.10.13

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107705985 A

(43)申请公布日 2018.02.16

(73)专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园1号

(72)发明人 曾一 林元华

(74)专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事

务所(普通合伙) 11277

代理人 刘新宇 李茂家

(51)Int.Cl.

H01G 4/18(2006.01)

H01G 4/20(2006.01)

(56)对比文件

卢铁梅等.“氮化硼纳米片的高效剥离及其

在介电材料中的应用”.《2016年全国高分子材料科学与工程研讨会论文摘要集》.2016,第315页.

Xuebin Wang等.“Large-surface-area BN nanosheets and their utilization in polymeric composites with improved thermal and dielectric properties”.

《Nanoscale Research Letters》.2012,第7卷(第662期),第1-7页.

叶会见等.“氮化硼纳米片/P(VDF-HFP)多层复合膜的储能性能”.《中国化学会2017全国高分子学术论文报告会摘要集——主题H:光电功能高分子》.2017,

于宾等.“P(VDF-HFP)/Al₂O₃复合锂离子电池隔膜的电化学性能”.《电源技术》.2015,第39卷(第4期),第702-705页.

审查员 张艳辉

权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种高储能效率铁电聚合物基电介质薄膜、及其制备方法和用途

(57)摘要

本发明涉及一种高储能效率铁电聚合物基电介质薄膜、及其制备方法和用途。本发明的铁电聚合物基电介质薄膜含有偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)和六方氮化硼h-BN,其中,以体积百分比计,两者的配比为(100-x)%P(VDF-co-HFP)-x%h-BN,0<x≤7。本发明的铁电聚合物基电介质薄膜具有高击穿场强、高储能密度以及高储能效率,且无铅环保、具有优异的储能性能,适用于高密度储能领域。



1. 一种铁电聚合物基电介质薄膜,其特征在于,所述薄膜具有至少一个第一电介质层和与所述第一电介质层交替层叠的第二电介质层,

所述第一电介质层含有偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)和六方氮化硼h-BN,其中,以体积百分比计,两者的配比为 $(100-x)\%P(VDF-co-HFP)-x\%h-BN$, $1\leq x\leq 7$,

所述第二电介质层含有偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)。

2. 根据权利要求1所述的铁电聚合物基电介质薄膜,其特征在于,所述薄膜的厚度为 $5\sim 30\mu\text{m}$ 。

3. 根据权利要求1或2所述的铁电聚合物基电介质薄膜,其特征在于,所述薄膜中,x为 $1\sim 5$ 。

4. 根据权利要求1或2所述的铁电聚合物基电介质薄膜,其特征在于,所述六方氮化硼h-BN的形貌为二维层状。

5. 一种根据权利要求1~4任一项所述的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1)、将所述六方氮化硼h-BN与所述偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)按配比在有机溶剂中混合,得到静电纺丝液1;将所述偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)在有机溶剂中溶解,得到静电纺丝液2;

步骤2)、将所述静电纺丝液1和所述静电纺丝液2交替进行高压静电纺丝,得到无纺布状纺丝体;

步骤3)、将所述无纺布状纺丝体进行热压,自然冷却至室温后进行冷淬,得到铁电聚合物基电介质薄膜。

6. 根据权利要求5所述的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法,其特征在于,所述六方氮化硼h-BN与所述偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)混合前,先经过剥离处理,剥离后得到少层六方氮化硼h-BN。

7. 根据权利要求5或6所述的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法,其特征在于,所述步骤2)中,高压静电纺丝的 $\geq 5.5\text{kV}$,收集轮的转速 ≥ 260 转/分钟,溶液推进速度 $\geq 1\text{mL/h}$ 。

8. 根据权利要求5或6所述的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法,其特征在于,所述步骤3)中,将所述无纺布状纺丝体在 $170\sim 230^\circ\text{C}$, $400\sim 600\text{dpi}$ 压力下热压 $25\sim 60$ 分钟。

9. 一种根据权利要求1~4任一项所述的铁电聚合物基电介质薄膜在电气元件中的用途。

一种高储能效率铁电聚合物基电介质薄膜、及其制备方法和用途

技术领域

[0001] 本发明涉及一种高储能效率铁电聚合物基电介质薄膜、及其制备方法和用途,属于电介质材料领域。

背景技术

[0002] 介电电容器为基础的储能器件,比超级电容器和锂电池等以电化学为基础的储能器件具有更高功率密度、更低损耗以及更高工作电压等优点。因此,不仅仅是重要的基础电子元件,同时也广泛应用于电子电力系统、能源系统等方面基本的储能器件。

[0003] 目前商业化的聚合物基电介质材料比如BOPP的储能密度仅 $\sim 2\text{J}/\text{cm}^3$,与电化学电容器或电池相比低了一至两个数量级。聚合物较低的储能密度成为其进一步发展和应用的瓶颈。陶瓷类电介质具有大的介电常数和较高的击穿场强,但是与聚合物薄膜电介质相比,其击穿场强仍不够高,并且体积大、非柔性,使得陶瓷类电介质在一些应用领域受到限制,而聚合物基电介质薄膜则具有柔性、体积小等特点,可以适应未来器件小型化、集成化等要求。

[0004] 在传统的高介电陶瓷材料和单一的聚合物薄膜材料发展高功率大容量电容器均存在若干弊端的情况下,人们把目光转向了以聚合物为基体,以无机物为填料的聚合物纳米复合电介质材料。因此,探索具有高储能密度的复合电介质是本领域的研究热点。

[0005] 目前在聚合物基电介质薄膜中已经实现了大于商用BOPP薄膜的 $2\text{J}/\text{cm}^3$ 的储能密度。其中具有代表性的材料如:Z.C.Zhang等人利用溶液法制备的P(VDF-co-CTFE)薄膜,该材料在 $400\text{MV}/\text{m}$ 场强下的储能密度约 $7\sim 10\text{J}/\text{cm}^3$,M.R.Gadinski以及B.Chu等人分别通过单轴拉伸法将此类薄膜的击穿场强提高至 $600\sim 700\text{MV}/\text{m}$,同时储能密度提高至 $20\text{J}/\text{cm}^3$ 左右。但是这些材料在制备过程中采用的溶液法不适合应用在大规模生产中。因此,开发具有高击穿场强、高储能密度和便于生产的聚合物基电介质薄膜电介质材料成为本领域当前的急迫任务。

发明内容

[0006] 发明要解决的问题

[0007] 本发明的目的是提供一种铁电聚合物基电介质薄膜、及其制备方法和用途。本发明的铁电聚合物基电介质薄膜具有高击穿场强、高储能密度以及高储能效率,制备方法简单可行,便于生产。

[0008] 用于解决问题的方案

[0009] 本发明提供一种铁电聚合物基电介质薄膜,所述薄膜含有偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)和六方氮化硼h-BN,其中,以体积百分比计,两者的配比为 $(100-x)\% \text{P(VDF-co-HFP)} - x\% \text{h-BN}$, $0 < x \leq 7$ 。

[0010] 根据本发明的铁电聚合物基电介质薄膜,所述薄膜具有至少一个第一电介质层和

与所述第一电介质层交替层叠的第二电介质层，

[0011] 所述第一电介质层含有偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P (VDF-co-HFP) 和六方氮化硼h-BN,其中,以体积百分比计,两者的配比为 $(100-x)\%P(VDF-co-HFP) - x\%h-BN$, $0 < x \leq 7$,

[0012] 所述第二电介质层含有偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P (VDF-co-HFP)。

[0013] 根据本发明的铁电聚合物基电介质薄膜,所述薄膜的厚度为 $5 \sim 30\mu\text{m}$,优选为 $6 \sim 20\mu\text{m}$ 。

[0014] 根据本发明的铁电聚合物基电介质薄膜,所述薄膜中,x为 $1 \sim 7$,优选为 $1 \sim 5$ 。

[0015] 根据本发明的铁电聚合物基电介质薄膜,所述六方氮化硼h-BN的形貌为二维层状。

[0016] 本发明还提供一种根据本发明的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法,包括如下步骤:

[0017] 步骤1)、将所述六方氮化硼h-BN与所述偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P (VDF-co-HFP) 按配比在有机溶剂中混合,得到静电纺丝液1;任选的,将所述偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P (VDF-co-HFP) 在有机溶剂中溶解,得到静电纺丝液2;

[0018] 步骤2)、将所述静电纺丝液1进行高压静电纺丝,或将所述静电纺丝液1和所述静电纺丝液2交替进行高压静电纺丝,得到无纺布状纺丝体;

[0019] 步骤3)、将所述无纺布状纺丝体进行热压,自然冷却至室温后进行冷淬,得到铁电聚合物基电介质薄膜。

[0020] 根据本发明的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法,所述六方氮化硼h-BN与所述偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P (VDF-co-HFP) 混合前,先经过剥离处理,剥离后得到少层六方氮化硼h-BN。

[0021] 根据本发明的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法,所述步骤2)中,高压静电纺丝的 $\geq 5.5\text{kV}$,收集轮的转速 ≥ 260 转/分钟,溶液推进速度 $\geq 1\text{mL/h}$ 。

[0022] 根据本发明的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法,所述步骤3)中,将所述无纺布状纺丝体在 $170 \sim 230^\circ\text{C}$, $400 \sim 600\text{dpi}$ 压力下热压 $25 \sim 60$ 分钟。

[0023] 一种根据本发明的铁电聚合物基电介质薄膜在电气元件中的用途。

[0024] 发明的效果

[0025] 本发明所提供的铁电聚合物基电介质薄膜比纯聚合物电介质薄膜的储能效率高约 10% ,且无铅环保、具有优异的储能性能,适用于高密度储能。

[0026] 同时,本发明所提供的铁电聚合物基电介质薄膜兼具较小的介电损耗,是一种能够应用于多种电气元件,例如嵌入式电容器、静电储能元器件、脉冲功率元件等领域的材料。

附图说明

[0027] 图1聚合物基电介质电容器的结构示意图。

[0028] 图2聚合物基电介质薄膜多层结构示意图。

[0029] 图3实施例2中制备的聚合物基电介质薄膜的截面SEM图。

[0030] 图4实施例3和对比例1中制备的聚合物基电介质薄膜的储能性能图。

[0031] 图5实施例3和对比例1中制备的聚合物基电介质薄膜的介电常数图。

[0032] 附图标记说明

[0033] 1:电介质电容器、2:电极、3:聚合物基电介质薄膜。

[0034] 3-1:第一电介质层、3-2:第二电介质层。

具体实施方式

[0035] 本发明提供一种铁电聚合物基电介质薄膜,所述电介质薄膜含有偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)和六方氮化硼h-BN,其中,以体积百分比计,两者的配比为 $(100-x)\%P(VDF-co-HFP)-x\%h-BN$, $0 < x \leq 7$ 。

[0036] 另外,本发明提供一种铁电聚合物基电介质薄膜,所述薄膜具有至少一个第一电介质层和与所述第一电介质层交替层叠的第二电介质层,所述第一电介质层含有偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)和六方氮化硼h-BN,其中,以体积百分比计,两者的配比为 $(100-x)\%P(VDF-co-HFP)-x\%h-BN$, $0 < x \leq 7$,所述第二电介质层含有偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)。

[0037] 与其他铁电聚合物相比,例如PVDF等,单体六氟丙烯HFP与偏氟乙烯VDF共聚后生成的P(VDF-co-HFP),具有更狭长的电滞回线,是含氟铁电聚合物PVDF的优秀替代品。

[0038] 六方氮化硼h-BN俗称白石墨,其晶体结构和石墨相同,具有高度各向异性,本发明通过添加h-BN来改善聚合物内部的击穿环境,能够达到提高储能效率和储能密度的目的。本发明的铁电聚合物基电介质薄膜在室温下的击穿场强 $\geq 400\text{kV/mm}$ 。

[0039] 当本发明的铁电聚合物基电介质薄膜具有多层时,可以具有1个或1个以上的第一电介质层,和1个或1个以上的第二电介质层,第一电介质层与第二电介质层交替层叠。具体而言,可列举出如下所示的叠层结构:

[0040] 第一电介质层/第二电介质层.../第二电介质层/第一电介质层,或

[0041] 第二电介质层/第一电介质层.../第二电介质层/第一电介质层,或

[0042] 第二电介质层/第一电介质层.../第一电介质层/第二电介质层。

[0043] 对于电介质层的层数上限没有特别的要求,只要生产工艺能够实现即可。优选的,所述薄膜包含1~13层电介质层,更优选为3~12层电介质层。电介质层数为大于等于3层时,多层结构可以有效提高所述薄膜的储能效率。

[0044] 本发明的铁电聚合物基电介质薄膜,其中,所述薄膜的厚度为 $5\sim 30\mu\text{m}$,优选为 $6\sim 20\mu\text{m}$,该厚度范围与现有工业界成熟的薄膜制备设备和工艺的匹配性较好。

[0045] 当本发明的铁电聚合物基电介质薄膜具有多层结构时,对于每一层电介质层的厚度没有特别的要求,可以相同也可以不同。第一电介质层总的厚度与第二电介质层总的厚度比为 $1:12\sim 1:1$,该厚度比可以有效增强薄膜的耐击穿性能。

[0046] 本发明的铁电聚合物基电介质薄膜,其中,所述薄膜中,x为1~7,优选为1~5,在上述范围内,铁电聚合物具有良好的柔性。需要说明的是,在本发明的多层结构铁电聚合物基电介质薄膜中,不同的第一电介质层中的h-BN含量可以相同也可以不同。从工业生产的便利性角度出发,优选每个第一电介质层中h-BN含量相同。

[0047] 本发明的铁电聚合物基电介质薄膜,其中,所述薄膜中,所述h-BN的形貌为二维层状,该形貌有利于提高薄膜的击穿场强,从而增加储能密度。通过调控纺丝工艺和热压工艺可以调控无机物在铁电聚合物中的分布状态,从而实现储能密度的可调性。

[0048] 本发明的铁电聚合物基电介质薄膜在室温下的储能密度大于 $5\text{J}/\text{cm}^3$, 优选为 $8\sim 20\text{J}/\text{cm}^3$ 。添加了无机物的聚合物的介电常数比纯的聚合物更高, 同时介电损耗基本保持不变, 即 1KHz 下损耗范围小于 0.04 。

[0049] 本发明还提供一种根据本发明所述的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法, 其中, 包括如下步骤:

[0050] 步骤1)、将所述六方氮化硼h-BN与所述偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)按配比在有机溶剂中混合, 得到静电纺丝液1; 任选的, 将所述偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)在有机溶剂中溶解, 得到静电纺丝液2;

[0051] 步骤2)、将所述静电纺丝液1进行高压静电纺丝, 或将所述静电纺丝液1和所述静电纺丝液2交替进行高压静电纺丝, 得到无纺布状纺丝体;

[0052] 步骤3)、将所述无纺布状纺丝体进行热压, 自然冷却至室温后进行冷淬, 得到铁电聚合物基电介质薄膜。

[0053] 本发明的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法, 其中, 所述六方氮化硼h-BN与所述偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)混合前, 先经过剥离处理, 剥离后得到少层六方氮化硼h-BN, 其是二维层状的。本发明中对于h-BN的剥离方法只要是在不影响本发明的最终效果的情况下就没有特别的限制。例如, 本发明的少层h-BN可以为通过h-BN的机械剥离或气相剥离等方法而得到。

[0054] 本发明中, 出于生产的便利以及经济性的角度而言, 优选通过将包含h-BN的有机溶液进行超声, 剥离得到少层二维无机物h-BN。优选的, 在室温, $200\sim 300\text{w}$ 超声功率下, 超声 $2\sim 24$ 小时。进一步, 将包含少层h-BN的有机溶液烘干, 得到少层h-BN粉末。

[0055] 本发明的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法采用了静电纺丝法, 该方法有利于制备聚合物基薄膜, 尤其适合于制备具有多层结构的聚合物基薄膜。

[0056] 本发明中, 只要能够满足制成纤维直径的要求, 就对于静电纺丝的方式没有特别的要求, 可以是本领域中常用的静电纺丝方式, 具体而言, 本发明中将偏氟乙烯-六氟丙烯共聚物P(VDF-co-HFP)和/或六方氮化硼h-BN溶于合适的溶剂中, 制备成一定浓度的溶液。采用静电纺丝技术将纺丝液进行纺制, 获得纳米纤维形成的无纺布状纺丝体。

[0057] 本发明的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法, 其中, 所述步骤1)中, 为了混合均匀, 搅拌混合 $12\sim 24$ 小时。

[0058] 本发明的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法, 其中, 所述步骤1)中的有机溶剂为丙酮、N,N-二甲基甲酰胺(DMF)或N,N-二甲基乙酰胺(DMA)。为了获得高质量纺丝体, 优选的, 其中丙酮与N,N-二甲基甲酰胺(DMF)或N,N-二甲基乙酰胺(DMA)的比例为 $1:4\sim 6:7$ 。

[0059] 本发明的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法, 其中, 所述步骤2)中, 高压静电纺丝的正负电压差 $\geq 5.5\text{kV}$, 收集轮的转速 ≥ 260 转/分钟, 溶液推进速度 $\geq 1\text{mL}/\text{h}$ 。溶质(克)和溶液(毫升)的比例范围在在 $1:4.3\sim 1:7.9$ 之间。根据纺丝液浓度的不同, 选择合适的具体纺丝工艺参数, 例如电压差, 溶液推进速度等。

[0060] 本发明的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法, 其中, 所述步骤3)中, 将所述无纺布状纺丝体在 $170\sim 230^\circ\text{C}$, $400\sim 600\text{dpi}$ 压力下热压 $25\sim 60$ 分钟。

[0061] 本发明的铁电聚合物基电介质薄膜的制备方法, 其中, 所述步骤3)中, 将所述无纺布状纺丝体进行热压, 自然冷却至室温后, 将薄膜在 $160\sim 260^\circ\text{C}$ 保温 $5\sim 20$ 分钟后, 在 0°C 进

行冷淬,有利于聚合物获得较好的储能密度。

[0062] 本发明还提供一种本发明所述的铁电聚合物基电介质薄膜在电器元件中的用途。所述电器元件为嵌入式电容器、静电储能元器件或脉冲功率元件。

[0063] 实施例

[0064] 实施例1

[0065] 将h-BN超声分散在有机溶剂中,于超声功率250w下超声10小时,然后按照99vol% P(VDF-co-HFP)-1vol%h-BN(x=1)进行配料,其中每克固体粉末对应5毫升混合溶剂的比例,以丙酮和N,N-二甲基甲酰胺(DMF)为混合溶剂,搅拌12小时后制成纺丝液备用,混合溶剂中丙酮和DMF比例为2:3。

[0066] 采用高压静电纺丝制备聚合物纳米丝的均匀纺丝体。所述高压静电纺丝的参数为:正负电压差5.9kV;滚轮转速290转/分钟,溶液推进速度每小时1mL。纺丝结束后,纺丝层在190℃,490dpi下热压40分钟,然后自然降温至室温。热压后的薄膜在240℃的环境下保温10分钟后于0℃下冷淬,得到铁电聚合物基电介质薄膜,记为薄膜-1。

[0067] 所制得的薄膜-1的厚度约12μm,该聚合物基电介质薄膜在25℃下的性能为:在1KHz下,介电常数和介电损耗分别为9.4和0.036,击穿场强为530kV/mm,储能效率为68%,储能密度为15.4J/cm³。

[0068] 实施例2

[0069] 将h-BN超声分散在有机溶剂中,于超声功率250w下超声10小时,然后按照97vol% P(VDF-co-HFP)-3vol%h-BN(x=3)进行配料,其中每克固体粉末对应5毫升混合溶剂的比例,以丙酮和N,N-二甲基甲酰胺(DMF)为混合溶剂,搅拌12小时后制成纺丝液备用,混合溶剂中丙酮和DMF比例为2:3。

[0070] 采用高压静电纺丝制备聚合物纳米丝的均匀纺丝体。所述高压静电纺丝的参数为:正负电压差5.8kV;滚轮转速285转/分钟,溶液推进速度每小时1mL。纺丝结束后,纺丝层在193℃,489dpi下热压40分钟,然后自然降温至室温。热压后的薄膜在240℃的环境下保温10分钟后于0℃下冷淬,得到铁电聚合物基电介质薄膜,记为薄膜-2。

[0071] 所制得的薄膜-2的厚度约12μm,该聚合物基电介质薄膜在25℃下的性能为:在1KHz下,介电常数和介电损耗分别为11.6和0.036,击穿场强为674kV/mm,储能效率为62.3%,储能密度约为17J/cm³。

[0072] 实施例3

[0073] 将h-BN超声分散在有机溶剂中,于超声功率250w下超声10小时,然后按照99vol% P(VDF-co-HFP)-1vol%h-BN(x=1)进行配料,其中每克固体粉末对应5毫升混合溶剂的比例,以丙酮和N,N-二甲基甲酰胺(DMF)为混合溶剂,搅拌12小时后制成纺丝液1备用,混合溶剂中丙酮和DMF比例为2:3。

[0074] 按照每克固体粉末对应5毫升混合溶剂的比例,将P(VDF-co-HFP)加入丙酮和N,N-二甲基甲酰胺(DMF)的混合溶剂中,搅拌12小时后制成纺丝液2备用,混合溶剂中丙酮和DMF比例为2:3。

[0075] 采用高压静电纺丝制备聚合物纳米丝的均匀纺丝体。所述高压静电纺丝的参数为:正负电压差6.5kV;滚轮转速285转/分钟;溶液推进速度每小时1ml;纺丝液1和纺丝液2交替纺丝,每种纺丝液分别纺丝6层,每层纺丝约10分钟,最后形成12层纺丝叠层。

[0076] 纺丝结束后,纺丝层在200℃,500dpi下热压40分钟,然后自然降温至室温。热压后的薄膜在240℃的环境下保温10分钟后于0℃下冷淬,得到铁电聚合物基电介质薄膜,记为薄膜-3。

[0077] 所制得的薄膜-3的厚度约10μm,该聚合物基电介质薄膜在25℃下的性能为:在1KHz下,介电常数和介电损耗分别为12.3和0.035,击穿场强为550kV/mm,储能效率为78%,储能密度为21J/cm³。

[0078] 对比例1

[0079] 将购买的P(VDF-co-HFP)粉体按照每克溶质对应5毫升混合有机溶剂(丙酮和二甲基甲酰胺(DMF)的混合物)混合后,室温下搅拌12-24小时,使其充分溶解。采用高压静电纺丝制备聚合物纳米丝的均匀纺丝体。所述高压静电纺丝的参数为:正负电压差6kV;滚轮转速300转/分钟,溶液推进速度每小时1ml。纺丝结束后,薄膜在200℃,500dpi压下热压60分钟,然后自然降温至室温。热压后的薄膜在240℃的环境下保温10分钟后于0℃下冷淬,得到铁电聚合物基电介质薄膜,记为薄膜-4。

[0080] 所制得的薄膜-4的厚度约10μm,该聚合物基电介质薄膜在25℃下的性能为:在1KHz下,介电常数和介电损耗分别为9和0.03,击穿场强约为400kV/mm,储能效率为56.7%,储能密度为7.8J/cm³。

[0081] 性能测试

[0082] 在样品薄膜-1~4上通过真空蒸镀方法制备金属圆电极,并测试其各项性能。

[0083] 介电性能:采用阻抗分析仪(美国安捷伦公司、E4990A)进行测试

[0084] 击穿场强和铁电电滞回线:采用铁电测试仪(Radiant Tech., Precision Premier II)进行测试,储能密度和储能效率由电滞回线计算获得。

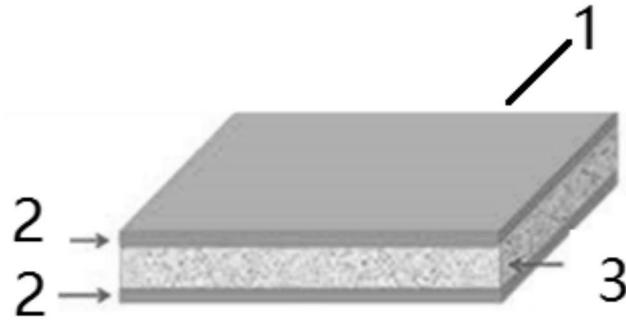


图1

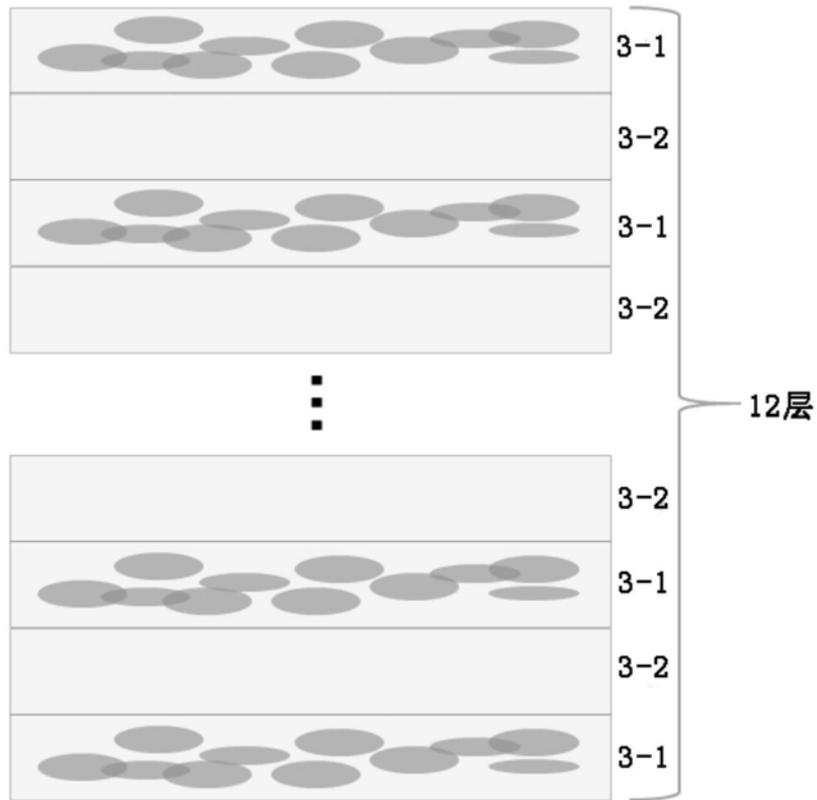


图2

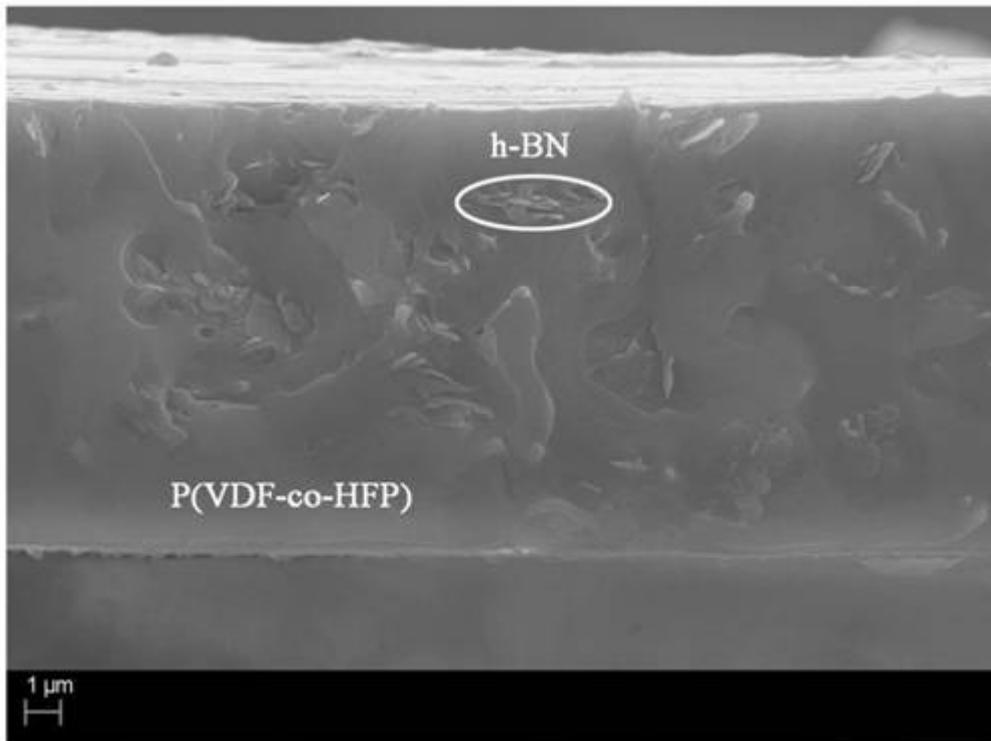


图3

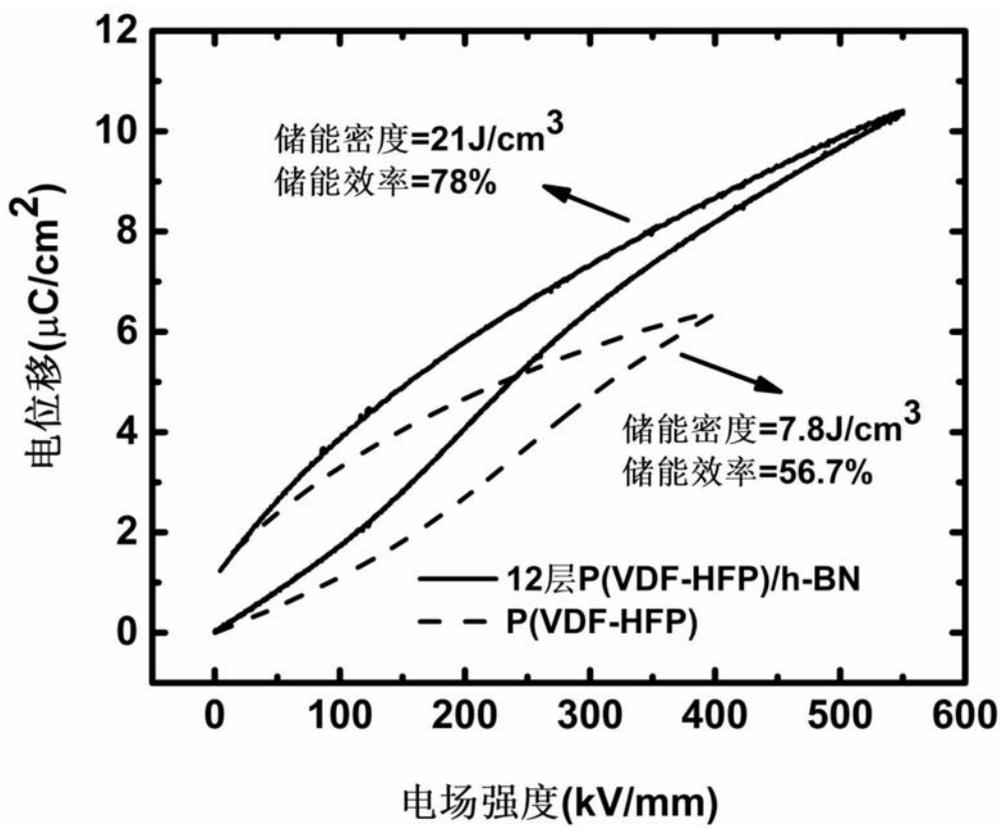


图4

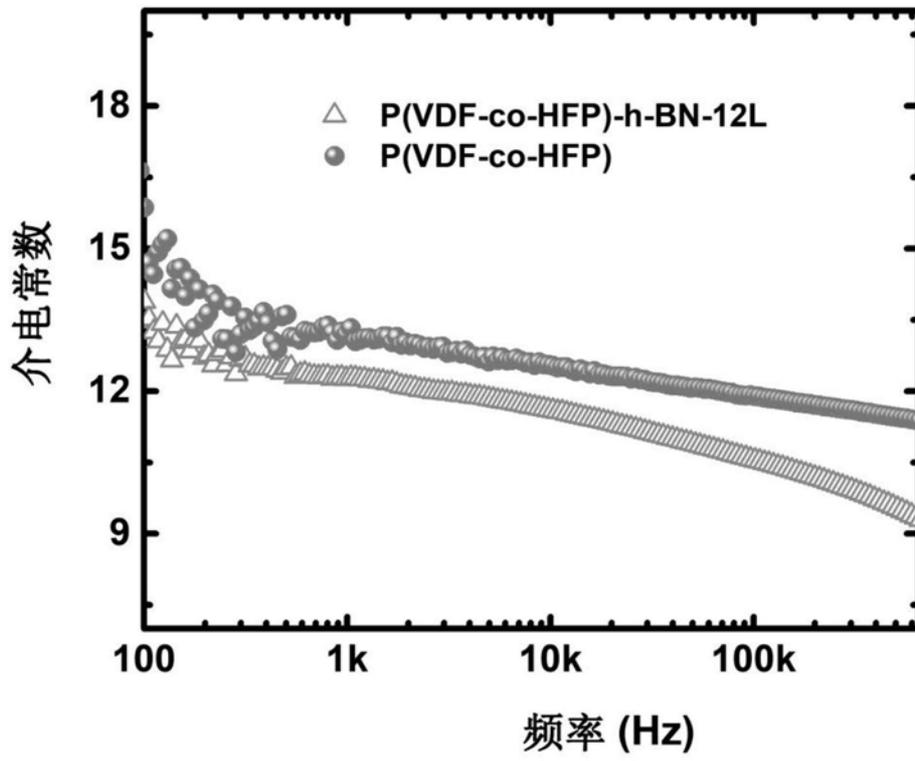


图5