



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116119606 B

(45) 授权公告日 2024. 11. 05

(21) 申请号 202310134434.X

(56) 对比文件

(22) 申请日 2023.02.10

CN 105377755 A, 2016.03.02

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 刘俊凯

申请公布号 CN 116119606 A

(43) 申请公布日 2023.05.16

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 赵亚溥 李培柳 黄先富

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

专利代理师 胡剑辉

(51) Int. Cl.

B81C 1/00 (2006.01)

B82Y 40/00 (2011.01)

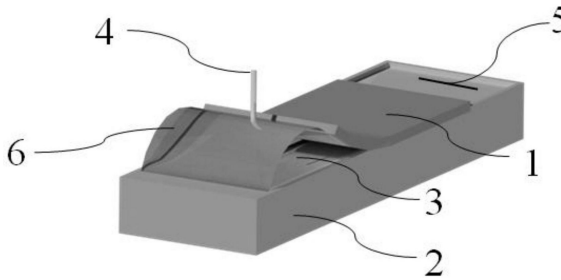
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于电场驱动下的薄膜的剥离方法及应用

(57) 摘要

本发明实施例公开了一种基于电场驱动下的薄膜的剥离方法,包括:在黏附于导电基底的薄膜的至少部分受限边界条件处滴加电解质溶液;将电解质溶液与电源的第一电极电性连接,导电基底与电源的第二电极连接,通过第一电极与第二电极施加外加电场,电解质溶液在外加电场的作用下沿薄膜的受限边界铺展;电解质溶液侵入薄膜与导电基底的界面结合层,将薄膜从导电基底上的抬升与剥离。本发明基于电场操控液体的动态特性,通过电场力克服薄膜张力及界面结合力,从而使得电解质溶液能够侵入薄膜和导电基底的界面结合层中,对薄膜进行抬升并剥离。该方法不受预留空白区的局限,且能有效并完全地实现对黏附的薄膜的完全剥离。



1. 一种基于电场驱动下的薄膜的剥离方法,其特征在于,包括:

S100、在黏附于导电基底的薄膜的至少部分受限边界条件处滴加电解质溶液;

S200、将所述电解质溶液与电源的第一电极电性连接,所述导电基底与所述电源的第二电极连接,通过所述第一电极与所述第二电极施加外加电场,所述电解质溶液在外加电场的作用下沿薄膜的受限边界铺展;

S300、所述电解质溶液侵入所述薄膜与所述导电基底的界面结合层,将所述薄膜从所述导电基底上的抬升与剥离;

步骤S200具体包括:

S201、将所述第一电极插入所述电解质溶液中,所述第二电极与所述导电基底相连;

S202、预先设定剥离参数,并根据预设的剥离参数,计算电源的电性参数;

S203、根据步骤S202中的电源的电性参数调节电源后,接通所述电源,使得所述第一电极与所述第二电极在所述电解质溶液中形成电场,迫使所述电解质溶液发生铺展;

步骤S202中,所述薄膜的预设剥离参数的计算如下公式所示:

$$w(s) = k[\ln(s) - 1]s - k\ln(s_0)s + ks_0, \text{公式 I};$$

$$w^2 \frac{dp}{ds} t = \mu s, \text{公式 II};$$

其中,公式I中, s 为预设剥离长度, s_0 为初始剥离长度, k 是根据电场力及薄膜张力、界面结合强度间竞争所获得的无量纲参数,且 $k = f_1 E \epsilon d_0$, E 为薄膜弹性模量, d_0 为薄膜厚度;

公式II中, w 为公式I中得到的 $w(s)$, s 为预设剥离长度, t 为剥离时间, μ 为溶液的黏度系数, p 为薄膜所受到的净压强,且 $p = \epsilon_f \rho_f (U/s) - \sigma_0$,其中, ϵ_f , ρ_f , U 和 σ_0 分别是溶液的相对介电常数、电荷体密度、施加的电压和薄膜的预应力。

2. 根据权利要求1所述的一种剥离方法,其特征在于,所述导电基底的边界与所述薄膜的至少部分受限边界之间形成有用于容纳所述电解质溶液的容液区。

3. 根据权利要求2所述的一种剥离方法,其特征在于,所述导电基底中形成有所述容液区的部分的侧面向上凸起形成有围边;且

所述容液区中靠近所述薄膜的受限边界的部分的上端面不高于所述薄膜的下端面。

4. 根据权利要求1-3中任意一项所述的一种剥离方法,其特征在于,所述电解质溶液选自水、盐溶液、酸溶液和碱溶液中的至少一种。

5. 根据权利要求1-3中任意一项所述的一种剥离方法,其特征在于,所述导电基底为导电金属、导电玻璃和导电高分子材料中的任意一种。

6. 根据权利要求1-3中任意一项所述的一种剥离方法,步骤300具体包括:

S301、在电场作用下,所述电解质溶液会沿着所述薄膜受限边界铺展,该边界处的所述薄膜和导电基底的结合层为界面强度最低处;

S302、在电场的作用下,所述电解质溶液克服所述薄膜的界面结合力及拉伸张力,侵入所述薄膜与基底的结合层并在所述结合层中铺展,将所述薄膜从所述导电基底上的抬升与剥离。

7. 根据权利要求6所述的一种剥离方法,其特征在于,所述剥离方法还包括:根据步骤S300中薄膜的实际剥离参数,重新计算电源的电性参数,并对电源的电性参数进行校正和

调节。

8.一种根据权利要求1-7中任意一项所述的剥离方法的应用,其特征在于,所述薄膜抬升的轮廓线如抛物线形状。

一种基于电场驱动下的薄膜的剥离方法及应用

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及黏附薄膜的剥离技术领域,具体涉及一种基于电场驱动下的薄膜的剥离方法。

背景技术

[0002] 随着微纳米加工技术的飞速发展,纳/微电子机械系统(Nano/Micro electromechanical systems,NEMS/MEMS)、柔性电子(Flexible electronics)、二维材料(Two dimensional materials)、软体机器人(Soft robot)及生物医学设备(Biomedical devices)逐渐成为科学界、产业界以及普通民众所关注的热门领域。薄膜材料是这些领域中一种具备多种优异性能的通用材料,在这些领域的研究与应用中具有十分重要的地位,例如:具有高度柔性和大扭曲自由度的薄膜对于可穿戴设备和可植入系统的柔性电子至关重要;薄膜基材是MEMS/NEMS器件中的典型部件;柔性且整体的薄膜复合材料是软体机器人实现任意图案化运动的关键等。

[0003] 目前,薄膜剥离的主要方法是机械剥离方法,包括脱黏条、鼓包法等。但是这些方法一般都需要预留空白区域且剥离过程薄膜变形较大,很难应用于完全附着的薄膜表面。并且,薄膜的研究与应用也越来越趋于微米、纳米尺度,传统剥离方法很难满足这一尺度下实际生产需要,亟待发展新型技术解决这一基础性难题。

发明内容

[0004] 为此,本发明实施例提供一种基于电场驱动下的薄膜的剥离方法,通过基于电场控制液体实现微纳米尺寸的完全黏附薄膜的快速剥离,解决了现有技术中传统剥离方法对完全附着的微纳米尺寸的薄膜剥离的局限性。

[0005] 为了实现上述目的,本发明的实施方式提供如下技术方案:

[0006] 在本发明实施例的一个方面,提供了一种基于电场驱动下的薄膜的剥离方法,包括:

[0007] S100、在黏附于导电基底的薄膜的至少部分受限边界条件处滴加电解质溶液;

[0008] S200、将所述电解质溶液与电源的第一电极电性连接,所述导电基底与所述电源的第二电极连接,通过所述第一电极与所述第二电极施加外加电场,所述电解质溶液在外加电场的作用下沿薄膜的受限边界铺展;

[0009] S300、所述电解质溶液侵入所述薄膜与所述导电基底的界面结合层,将所述薄膜从所述导电基底上的抬升与剥离。

[0010] 作为本发明的一种优选方案,所述导电基底的边界与所述薄膜的至少部分受限边界之间形成有用于容纳所述电解质溶液的容液区。

[0011] 作为本发明的一种优选方案,所述导电基底中形成有所述容液区的部分的侧面向上凸起形成有围边;且

[0012] 所述容液区中靠近所述薄膜的受限边界的部分的上端面不高于所述薄膜的下端

面。

[0013] 作为本发明的一种优选方案,所述电解质溶液选自水、盐溶液、酸溶液和碱溶液中的至少一种。

[0014] 作为本发明的一种优选方案,所述导电基底为导电金属、导电玻璃和导电高分子材料中的任意一种。

[0015] 作为本发明的一种优选方案,步骤S200具体包括:

[0016] S201、将所述第一电极插入所述电解质溶液中,所述第二电极与所述导电基底相连;

[0017] S202、预先设定剥离参数,并根据预设的剥离参数,计算电源的电性参数;

[0018] S203、根据步骤S202中的电源的电性参数调节电源后,接通所述电源,使得所述第一电极与所述第二电极在所述电解质溶液中形成电场,迫使所述电解质溶液发生铺展。

[0019] 作为本发明的一种优选方案,步骤300具体包括:

[0020] S301、在电场作用下,所述电解质溶液会沿着所述薄膜受限边界铺展,该边界处的所述薄膜和导电基底的结合层为界面强度最低处;

[0021] S302、在电场的作用下,所述电解质溶液克服所述薄膜的界面结合力及拉伸张力,侵入所述薄膜与基底的结合层并在所述结合层中铺展,将所述薄膜从所述导电基底上的抬升与剥离。

[0022] 作为本发明的一种优选方案,所述剥离方法还包括:根据步骤S300中薄膜的实际剥离参数,重新计算电源的电性参数,并对电源的电性参数进行校正和调节。

[0023] 本发明还提供了一种根据上述所述的剥离方法的应用,所述薄膜抬升的轮廓线如抛物线形状。

[0024] 作为本发明的一种优选方案,所述薄膜的预设剥离参数的计算如下公式所示:

[0025] $w(s) = k[\ln(s) - 1]s - k\ln(s_0)s + ks_0$, 公式 I;

[0026] $w^2 \frac{dp}{ds} t = \mu s$, 公式 II;

[0027] 其中,公式I中, s 为预设剥离长度, s_0 为初始剥离长度, k 是根据电场力及薄膜张力、界面结合强度间竞争所获得的无量纲参数,其可以被表述为 $k = f_1 / E\epsilon d_0$, E 为薄膜弹性模量, d_0 为薄膜厚度;

[0028] 公式II中, w 为公式I中得到的 $w(s)$, s 为预设剥离长度, t 为剥离时间, μ 为溶液的黏度系数, p 为薄膜所受到的净压强,可以表述为 $p = \epsilon_f \rho_f (U/s) - \sigma_0$,其中, ϵ_f , ρ_f , U 和 σ_0 分别是溶液的相对介电常数、电荷体密度、施加的电压和薄膜的预应力。

[0029] 本发明的实施方式具有如下优点:

[0030] 本发明基于电场操控液体的动态特性,通过电场力克服薄膜张力及界面结合力,从而使得电解质溶液能够侵入薄膜和导电基底的界面结合层中,对薄膜进行抬升并剥离。该方法不受预留空白区的局限,且能有效并完全地实现对黏附的薄膜的完全剥离。

附图说明

[0031] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方

式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0032] 本说明书所绘示的结构、比例、大小等,均仅用以配合说明书所揭示的内容,以供熟悉此技术的人士了解与阅读,并非用以限定本发明可实施的限定条件,故不具技术上的实质意义,任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整,在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下,均应仍落在本发明所揭示的技术内容得能涵盖的范围内。

[0033] 图1为本发明实施例提供的薄膜剥离过程的结构示意图;

[0034] 图2为本发明实施例提供的薄膜键合于导电基底表面的SEM图像;

[0035] 图3为本发明实施例中滴放20 μ L的电解质溶液后薄膜随时间变化的抬升过程的侧视图;

[0036] 图4为本发明实施例中滴放20 μ L的电解质溶液后薄膜随时间变化的抬升过程的俯视图;

[0037] 图5为本发明实施例提供的剥离方法的流程图;

[0038] 图6为本发明实施例提供的薄膜键合于导电基底表面的结构示意图。

[0039] 图中:

[0040] 1-薄膜;2-导电基底;3-容液区;4-第一电极;5-第二电极;6-电解质溶液。

具体实施方式

[0041] 以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式,熟悉此技术的人士可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点及功效,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0042] 以下结合附图通过具体实施例对本发明的技术方案进行详细的说明。

[0043] 首先选用所需的薄膜1(本发明实施例中采用的PDMS薄膜),如图1所示,通过现有的离子溅射工艺使薄膜1键合到导电基底2(本发明实施例中采用的ITO玻璃)上,导电基底2上具有滴附预定量电解质溶液6的容液区3,在导电基底2的上表面形成第一电极4,第一电极4位于容液区3的上方并部分位于容液区3内,以便于在容液区3内滴上电解质溶液6时可与电解质溶液6相导通。在导电基底2的表面形成第二电极5,第二电极5与导电基底2相连接。当然,本发明中的薄膜1的类型并不局限于此,例如,PET、PEN和水凝胶膜都可以在此使用。

[0044] 然后,在导电基底2表面的容液区3中滴放预定量的电解质溶液6(本发明实施例中采用水),并使得电解质溶液6与薄膜1的受限边界相接触,即电解质溶液6填满容液区3。

[0045] 通过第一电极4和第二电极5施加外加电场,由于电解质溶液6与第一电极4相接触,因此电解质溶液6就会导电且受到电场所产生的电场力的作用,因此,电解质溶液6会在导电基底2上发生铺展和运动,侵入薄膜1与导电基底2的结合层(如图2所示),从导电基底2上剥离薄膜1(如图3和图4所示)。

[0046] 调整第一电极4和第二电极5之间的电压大小,电解质溶液6中形成的电场强度也会随之改变。由于电解质溶液受到的电场力与电场强度有关,电解质溶液的前沿受到的电

场力也会随之改变。当薄膜张力、界面结合强度不变的情况下,电场力的改变会直接调控液体(即电解质溶液6)前驱的速率,即剥膜速率可以通过第一电极4和第二电极5之间的电压大小调控。

[0047] 另外,这里的电解质溶液6可为任意类型,包括盐溶液、酸溶液和碱溶液等,本实施方式选择水溶液。在满足实验其它条件的情况下,也可以选用其它类型的电解质溶液6。

[0048] 这里的导电基底2可为任意导电界面,包括金属界面、导电玻璃界面、导电高分子界面等,本实施方式选择ITO导电玻璃界面。在满足实验其它条件的情况下,也可以选用其它的导电界面。

[0049] 薄膜1厚度、弹性模量及界面结合强度均可根据需求选用。本申请的具体实施方式选择的PDMS薄膜,薄膜厚度为25-300 μm 、弹性模量为1.0MPa-2.4MPa,界面结合强度为3.0-17.1N/m。在满足实验其它条件的情况下,也可以选用其它类型和参数的膜类材料。例如,可以选用弹性模量能够达到GPa量级的PET膜和PEN膜等。

[0050] 这里的电极(包括第一电极4和第二电极5)可为任意电极类型,可根据实际需求选用适合的电极材料。本实施方式选择的铂铱丝电极和金属铜电极。在满足实验其它条件的情况下,也可以选用其它的电极材料。

[0051] 这里的电源设备可为任意电源,包括直流电源和交流电源,本实施方式选择的是0-30V的直流电源。在满足实验其它条件的情况下,也可以选用其它的电源设备。

[0052] 整个操作过程基于第一电极4和第二电极5施加外加电场,电解质溶液6在外加电场下,受电场力、薄膜1的张力,以及薄膜1和导电基底2之间的界面结合力的共同作用,使得电解质溶液6沿着薄膜1的受限边界扩展并侵入薄膜1与导电基底2的结合层,从而实现电解质溶液6对薄膜1的抬升和剥离。

[0053] 以下对本发明中关于电场驱动实现剥离的过程进行进一步的详细说明。

[0054] 具体地,将所述第一电极插入所述电解质溶液中,所述第二电极与所述导电基底相连;预先设定剥离参数,并根据预设的剥离参数,计算电源的电性参数;根据前述的电源的电性参数调节电源后,接通所述电源,使得所述第一电极与所述第二电极在所述电解质溶液中形成电场,迫使所述电解质溶液发生铺展。

[0055] 基于此,在电场作用下,所述电解质溶液会沿着所述薄膜受限边界铺展,该边界处的所述薄膜和导电基底的结合层为界面强度最低处;在电场的作用下,所述电解质溶液克服所述薄膜的界面结合力及拉伸张力,侵入所述薄膜与基底的结合层并在所述结合层中铺展,将所述薄膜从所述导电基底上的抬升与剥离。

[0056] 需要进一步说明的是,该具体过程中还包括,根据薄膜的实际剥离参数,重新计算电源的电性参数,并对电源的电性参数进行校正和调节。

[0057] 这一根据薄膜的实际剥离参数进行重新计算的过程可以为多次循环,本领域技术人员能够根据实际操作中的需要进行针对性的调节。

[0058] 并且,薄膜剥离中的各个参数的计算可以参照如下公式所示:

[0059] $w(s) = k[\ln(s) - 1]s - k\ln(s_0)s + ks_0$, 公式 I;

[0060] $w^2 \frac{dp}{ds} t = \mu s$, 公式 II;

[0061] 其中,公式I中, s 为预设剥离长度, s_0 为初始剥离长度, k 是根据电场力及薄膜张力、界面结合强度间竞争所获得的无量纲参数,其可以被表述为 $k=f_1/E\epsilon d_0$, E 为薄膜弹性模量, d_0 为薄膜厚度;

[0062] 公式II中, w 为公式I中得到的 $w(s)$, s 为预设剥离长度, t 为剥离时间, μ 为溶液的黏度系数, p 为薄膜所受到的净压强,可以表述为 $p=\epsilon_f \rho_f (U/s) - \sigma_0$,其中, ϵ_f , ρ_f , U 和 σ_0 分别是溶液的相对介电常数、电荷体密度、施加的电压和薄膜的预应力。

[0063] 其中,公式I所体现的是剥离过程中薄膜的轮廓线曲线公式。

[0064] 相比于传统的剥离方法,本发明提出的剥离方法可以有效适用于微纳尺度完全黏附膜,剥离效率具有很好的调控性,且剥离模式是利用电解质溶液6侵入薄膜1与导电基底2二者之间界面的结合层,实现薄膜1从导电基底2表面的分离,此种剥离模式产生的变形较小,很好的保护了薄膜1表面的功能性设计或结构,因此这种电场控制液体剥离薄膜方法可以被广泛应用于纳/微电子机械系统、柔性电子、二维材料、软体机器人及生物医学设备等多种领域中。

[0065] 且其具有良好的剥离效率,例如,一种具体的实施例,在0.7V的电压下电解质溶液6就可实现键合强度为2.3N/m的100 μ m厚度的PDMS薄膜的有效剥离,剥离速率约为0.1mm/s。另外,当施加电压增至4.5V时,该剥离速率可增加至0.5mm/s。在剥离过程中,薄膜1抬升的轮廓线如抛物线,边界处薄膜抬升高度最大,约为1.0mm。

[0066] 虽然,上文中已经用一般性说明及具体实施例对本发明作了详尽的描述,但在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进,均属于本发明要求保护的范畴。

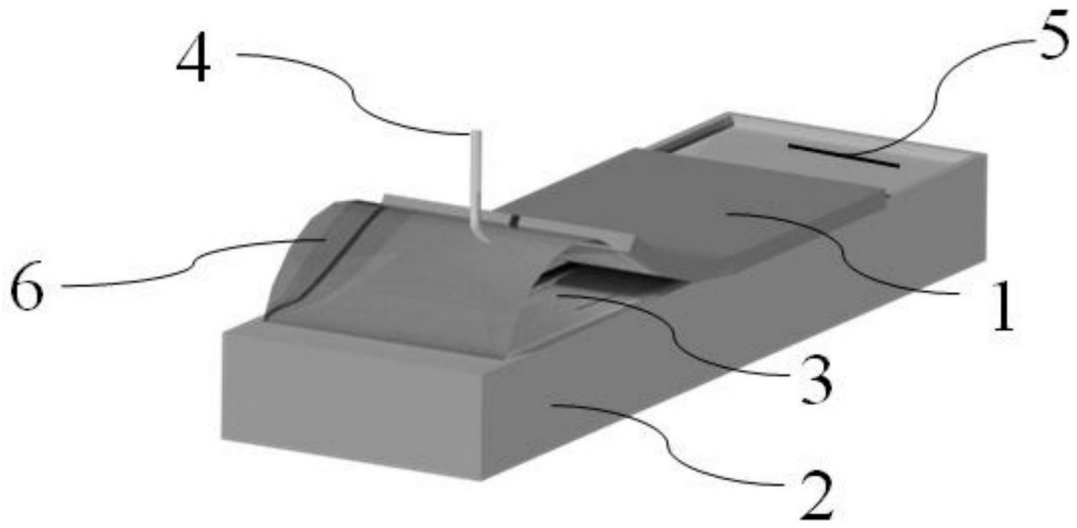


图1

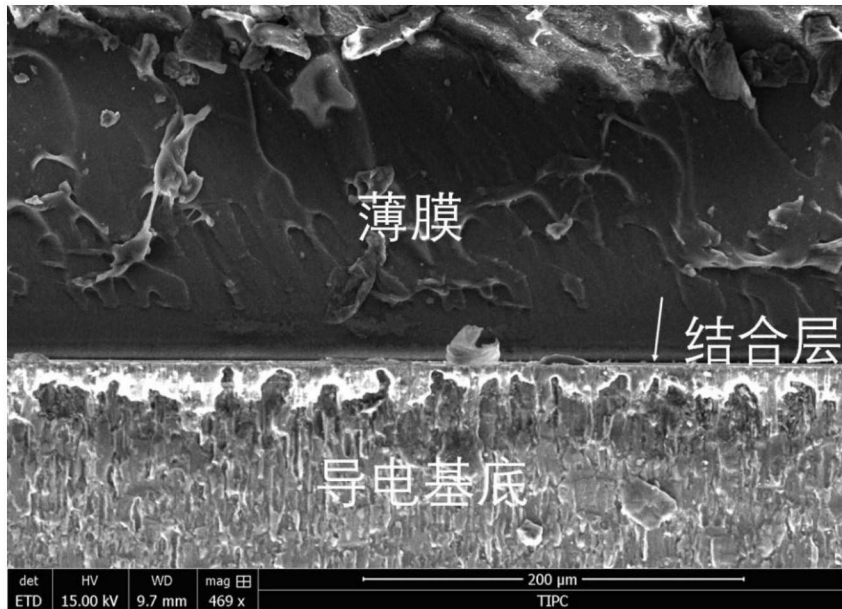


图2

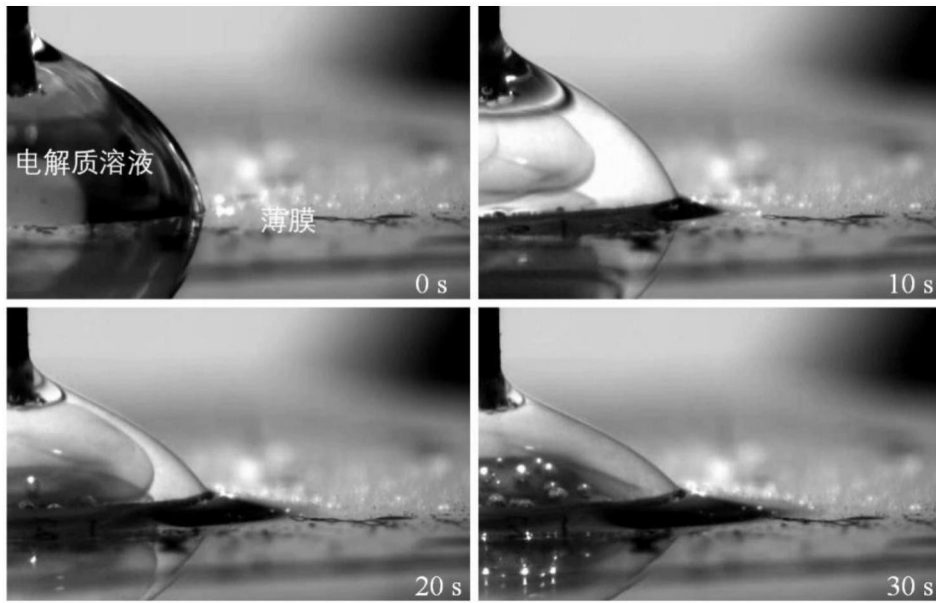


图3

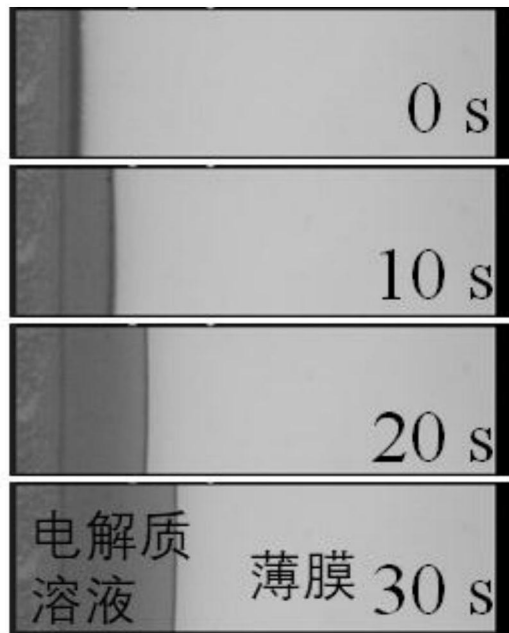


图4

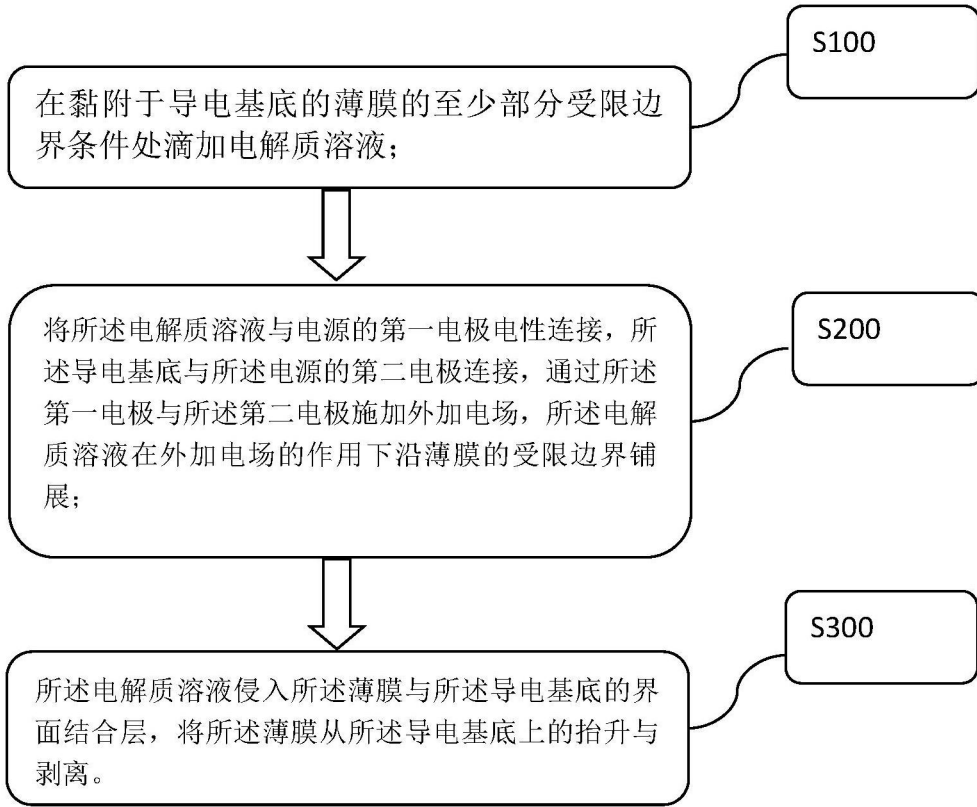


图5

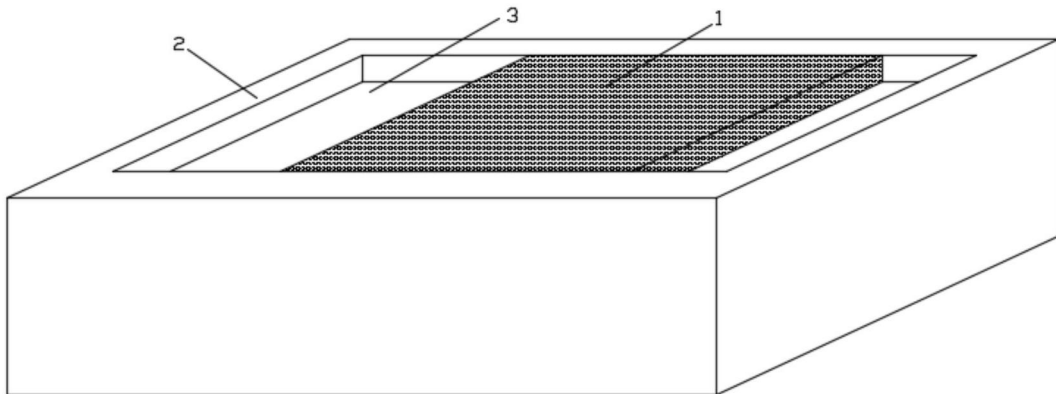


图6