



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117105168 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 24

(21) 申请号 202311040704.7

(22) 申请日 2023.08.17

(71) 申请人 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 席卷

(51) Int. Cl.

B81C 1/00 (2006.01)

B82Y 40/00 (2011.01)

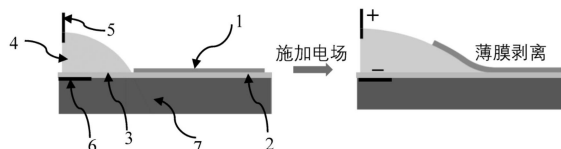
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于介电润湿效应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介电润湿效应下的薄膜的剥离方法及应用,包括:在薄膜的受限边界条件处滴加电解质溶液;在基底的一侧设置导电基台,将电解质溶液与正电极连接,导电基台与负电极连接,通过电源施加外加电场,以使得电解质溶液在外加电场的作用下沿薄膜的受限边界铺展;电解质溶液在表面张力与电场力的共同作用下侵入薄膜与基底的界面结合层,将薄膜从基底上抬升与剥离。本发明基于介电润湿效应操控液体的动态特性,通过固-液界面能和电场能共同克服薄膜的形变能及基底-薄膜的界面结合能,实现对薄膜进行抬升并剥离。本方法不受预留空白区的限制、不受基底的导电特性的限制,能有效实现薄膜从任意基底表面的完全剥离。



1. 一种基于介电润湿效应下的薄膜的剥离方法,其特征在于,包括:

S100、在黏附于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、在所述基底中背离所述薄膜的一侧设置导电基台,将所述电解质溶液与电源的正电极电性连接,所述导电基台与电源的负电极电性连接,通过所述电源施加外加电场,以使得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、所述电解质溶液在表面张力与电场力的共同作用下侵入所述薄膜与所述基底的界面结合层,固-液界面能和电场能共同克服薄膜的形变能及基底-薄膜的界面结合能,将所述薄膜从所述基底上抬升与剥离。

2. 根据权利要求1所述的一种剥离方法,其特征在于,步骤S200具体包括:

S201、预先设定剥离参数,并根据预设的剥离参数,计算剥离所需的电源的剥离电压;

S202、根据步骤S201中的计算出的电源的剥离电压调节电源后,接通所述电源,使得所述正电极与所述负电极形成的电场诱导所述基底上的电荷均匀分布并使得所述基底形成电容器,且所述基底中靠近所述正电极的端面形成为电容器负极,由于所述电解质溶液与所述正电极相接触,进而使得所述电解质溶液受到所述正电极与所述基底表面形成的电容器负极所产生的电场力作用,并在电场力和界面张力的共同作用下迫使所述电解质溶液发生铺展;

优选地,所述负电极为接地负极,以使得所述基底的电势为零。

3. 根据权利要求2所述的一种剥离方法,其特征在于,步骤S300具体包括:

S301、在电场作用下,所述电解质溶液在电场力和界面力的共同作用下沿着所述薄膜的受限边界铺展;

S302、在电场的持续作用下,固-液界面能和电场能共同克服薄膜的形变能及基底-薄膜的界面结合能,所述电解质溶液侵入所述薄膜与所述基底的结合层并在所述结合层中铺展,将所述薄膜从所述基底上抬升与剥离。

4. 根据权利要求3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,重新计算电源的剥离电压,并对电源的剥离电压进行校正和调节。

5. 根据权利要求3或4所述的一种剥离方法,其特征在于,步骤S201中的剥离电压为剥离临界电压;

步骤S202中对电源调节后的实际剥离电压不小于步骤S201中的剥离临界电压。

6. 根据权利要求5所述的一种剥离方法,其特征在于,所述剥离临界电压的计算如下公式所示:

$$G_w - 0.7 \gamma_{fw} = \gamma_{sw} + 0.3 \gamma_{fw} - \gamma_{sf} < \epsilon_0 \rho_f E_x, \quad \text{公式I};$$

$$U_c = (\gamma_{sw} + 0.3 \gamma_{fw} - \gamma_{sf}) d / (\epsilon_0 \rho_f), \quad \text{公式II};$$

其中,公式I中, $G_w$ 为黏附功, $\gamma_{fw}$ 为薄膜-电解质溶液间的界面能, $\gamma_{sw}$ 为基底-电解质溶液间的界面能, $\gamma_{sf}$ 为基底-薄膜间的界面能, $\epsilon_0$ 为真空介电常数, $\rho_f$ 为溶液电荷体密度, $E_x$ 为电场强度;

公式II中, $d$ 为基底的厚度, $U_c$ 为临界剥离电压。

7. 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,所述负电极设置于所述基底与所述导电基台之间。

8. 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。

9. 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,所述基底为绝缘材料;

优选地,所述基底的材质选自PDMS、PET和PEN。

10. 一种根据权利要求1-9中任意一项所述的剥离方法在薄膜剥离中的应用,其特征在于,附着有所述薄膜的基底为绝缘基底。

## 一种基于介电润湿效应下的薄膜的剥离方法及应用

### 技术领域

[0001] 本发明实施例涉及薄膜的剥离技术领域,具体涉及一种基于介电润湿效应下的薄膜的剥离方法及应用。

### 背景技术

[0002] 薄膜作为一种具备多种优异性能的通用材料,被广泛应用于纳/微机电系统(Nano/Micro electromechanical systems, NEMS/MEMS)、软体机器人(Soft robot)、柔性电子(Flexible electronics)及生物医学设备(Biomedical devices)。例如:柔性薄膜压力传感器件的广泛使用;具备大变形、多自由柔性电子器件的深度开发;薄膜基材广泛应用于柔性机器人的多种部件等。随着这些领域的飞速发展,薄膜材料的需求及使用迅速攀升,逐渐成为科学界、产业界以及普通民众所关注的热门材料。

[0003] 应用器件小型化促使薄膜厚度越来越趋于微米、纳米尺度。在这一尺度下,传统的机械剥离方法(脱黏条、鼓包法等)很难满足实际的生产需求。另外,新型的电场驱动下的薄膜剥离方法只适应于导电基底,难以满足黏附于绝缘基底表面薄膜的剥离需求。为了满足微米、纳米尺度下多样化基底上的薄膜剥离需要,亟待发展新型的薄膜剥离方法来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介电润湿效应下的薄膜的剥离方法,通过基于介电润湿效应控制液体实现微/纳米尺寸的完全黏附薄膜从任意基底上的快速剥离,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及电场驱动下的薄膜剥离方法对绝缘基底的不适应性。

[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,提供了一种基于介电润湿效应下的薄膜的剥离方法,包括:

[0007] S100、在黏附于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、在所述基底中背离所述薄膜的一侧设置导电基台,将所述电解质溶液与电源的正电极电性连接,所述导电基台与电源的负电极电性连接,通过所述电源施加外加电场,以使得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、所述电解质溶液在表面张力与电场力的共同作用下侵入所述薄膜与所述基底的界面结合层,固-液界面能和电场能共同克服薄膜的形变能及基底-薄膜的界面结合能,将所述薄膜从所述基底上抬升与剥离;其中,

[0010] 所述负电极为接地负极,以使得所述基底的电势为零。

[0011] 作为本发明的一种优选方案,步骤S200具体包括:

[0012] S201、预先设定剥离参数,并根据预设的剥离参数,计算剥离所需的电源的剥离电压;

[0013] S202、根据步骤S201中的计算出的电源的剥离电压调节电源后,接通所述电源,使得所述正电极与所述负电极形成的电场诱导所述基底上的电荷均匀分布并使得所述基底形成为电容器,且所述基底中靠近所述正电极的端面形成为电容器负极,由于所述电解质溶液与所述正电极相接触,进而使得所述电解质溶液受到所述正电极与所述基底表面形成的电容器负极所产生的电场力作用,并在电场力和界面张力的共同作用下迫使所述电解质溶液发生铺展。

[0014] 作为本发明的一种优选方案,所述负电极为接地负极,以使得所述基底的电势为零。

[0015] 作为本发明的一种优选方案,步骤S300具体包括:

[0016] S301、在电场作用下,所述电解质溶液在电场力和界面力的共同作用下沿着所述薄膜的受限边界铺展;

[0017] S302、在电场的持续作用下,固-液界面能和电场能共同克服薄膜的形变能及基底-薄膜的界面结合能,所述电解质溶液侵入所述薄膜与基底的结合层并在所述结合层中铺展,将所述薄膜从所述基底上抬升与剥离。

[0018] 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,重新计算电源的剥离电压,并对电源的剥离电压进行校正和调节。

[0019] 作为本发明的一种优选方案,步骤S201中的剥离电压为剥离临界电压;

[0020] 步骤S202中对电源调节后的实际剥离电压不小于步骤S201中的剥离临界电压。

[0021] 作为本发明的一种优选方案,所述剥离临界电压的计算如下公式所示:

[0022]  $G_w - 0.7 \gamma_{fw} = \gamma_{sw} + 0.3 \gamma_{fw} - \gamma_{sf} < \epsilon_0 \rho_f E_x$ , 公式I;

[0023]  $U_c = (\gamma_{sw} + 0.3 \gamma_{fw} - \gamma_{sf}) d / (\epsilon_0 \rho_f)$ , 公式II;

[0024] 其中,公式I中, $G_w$ 为黏附功, $\gamma_{fw}$ 为薄膜-电解质溶液间的界面能, $\gamma_{sw}$ 为基底-电解质溶液间的界面能, $\gamma_{sf}$ 为基底-薄膜间的界面能, $\epsilon_0$ 为真空介电常数, $\rho_f$ 为溶液电荷体密度, $E_x$ 为电场强度;

[0025] 公式II中, $d$ 为基底的厚度, $U_c$ 为临界剥离电压。

[0026] 作为本发明的一种优选方案,所述负电极设置于所述基底与所述导电基台之间。

[0027] 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。

[0028] 作为本发明的一种优选方案,所述基底为绝缘材料。

[0029] 作为本发明的一种优选方案,所述基底的材质选自PDMS、PET和PEN。

[0030] 在本发明实施例的另一个方面,还提供了一种根据上述所述的剥离方法在薄膜剥离中的应用,附着有所述薄膜的基底为绝缘基底。

[0031] 本发明的实施方式具有如下优点:

[0032] 本发明基于介电润湿效应操控液体的动态特性,通过电场力和液体界面力共同作用克服薄膜张力及基底-薄膜界面结合力,对薄膜进行抬升并剥离。本方法不受预留空白区的限制、不受基底导电特性的限制,能有效实现对完全黏附的薄膜从任意基底上的完全剥离。

## 附图说明

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] 图1为本发明实施例提供的薄膜剥离过程的结构示意图;

[0036] 图2为本发明实施例中滴放10 $\mu$ L的电解质溶液后薄膜随时间变化的抬升过程的侧视图;

[0037] 图3为本发明实施例中滴放10 $\mu$ L的电解质溶液后薄膜随时间变化的抬升过程的俯视图;

[0038] 图4为本发明实施例提供的剥离方法的流程图。

[0039] 图中:

[0040] 1-薄膜;2-基底;3-容液区;4-电解质溶液;5-正电极;6-接地负极;7-导电基台。

## 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特氟龙薄膜),如图1所示,通过去离子水、气洗后键合到基底2(本发明实施例中采用的TiO<sub>2</sub>镀层),基底2上具有滴附预定量电解质溶液4的容液区3,在电解质溶液4的上表面设置正电极5,正电极5位于电解质溶液4的上方并部分位于电解质溶液4中。以便于接通电源后可与电解质溶液4相导通。在基底2的表面形成接地负极6,接地负极6与基底2相连接,以确保基底2和导电基台7(本发明实施例中采用的ITO玻璃)在实验过程中保持0电势。在本发明中,薄膜1的类型可以为任意导电或绝缘薄膜,包括:特氟龙、PET、PEN和TPU等都可以在此使用。

[0044] 然后,在基底2表面的容液区3中滴放预定量的电解质溶液4(本发明实施例中采用氯化钾溶液),并使得电解质溶液4与薄膜1的受限边界相接触,即电解质溶液4填满容液区3。

[0045] 通过正电极5和接地负极6施加外加电场,电场诱导绝缘基底的电荷均匀分布以形成电容器,与正电极5同侧一面形成为电容器负极。由于电解质溶液4与正电极5相接触,因此电解质溶液4就会受到正电极与绝缘基底表面形成的电容器负极所产生的电场力的作用。因此,电解质溶液4会在基底2上发生铺展和运动,当电场力与液体表面张力的共同作用能克服薄膜的拉伸张力及薄膜-基底的界面结合力时,电解质溶液4就会侵入薄膜1与基底2

的结合层,从基底2上剥离薄膜1(如图2和图3所示)。

[0046] 调整正电极5和接地负极6之间的电压大小,电解质溶液4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4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4)前驱的速率,即剥膜速率可以通过正电极5和接地负极6之间的电压大小调控。

[0047] 另外,这里的电解质溶液4可为任意类型,包括盐溶液、酸溶液和碱溶液等,本实施方式选择盐溶液。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4。

[0048] 这里的基底2可为任意界面,包括绝缘界面或导电界面,本实施方式选择TiO<sub>2</sub>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特氟龙薄膜,薄膜厚度为20-200μm、弹性膜量为22.0MPa,界面结合力为3.0N/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,可以选用弹性膜量能够达到GPa量级的PET膜和PEN膜等。

[0050] 这里的电极(包括正电极5和接地负极6)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0-2000V的限电流直流电源。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] 整个操作过程基于正电极5和接地负极6施加外加电场,电解质溶液4在外加电场下,受电场力、电解质溶液4表面张力,薄膜1的拉伸张力及薄膜1-基底2之间的界面结合力的共同作用,使得电解质溶液4沿着薄膜1的受限边界扩展并侵入薄膜1与基底2的结合层,从而实现电解质溶液4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,将所述正电极插入所述电解质溶液中,所述接地负极与所述基底相连;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,使得所述正电极与所述接地负极在所述电解质溶液中形成电场,在电场力和表面张力的作用下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,此时沿所述薄膜与所述基底的结合层铺展符合能量最小化的原理;在电场的作用下,所述电解质溶液在液体表面张力和电场力的共同作用下克服所述薄膜的拉伸张力及薄膜-基底的界面结合力,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]  $G_w - 0.7 \gamma_{fw} = \gamma_{sw} + 0.3 \gamma_{fw} - \gamma_{sf} < \epsilon_0 \rho_f E_x$  公式I;

[0060]  $U_c = (\gamma_{sw} + 0.3 \gamma_{fw} - \gamma_{sf}) d / (\epsilon_0 \rho_f)$  公式II;

[0061] 其中,公式I中, $G_w$ 为黏附功, $\gamma_{fw}$ 为薄膜-水间的界面能, $\gamma_{sw}$ 为基底-水间的界面能, $\gamma_{sf}$ 为基底-薄膜间的界面能, $\epsilon_0$ 为真空介电常数, $\rho_f$ 为溶液电荷体密度, $E_x$ 为电场强度;

[0062] 公式II中, $d$ 为基底的厚度, $U_c$ 为临界剥离电压。

[0063] 其中,公式I所体现的是成功剥离的控制方程,公式II是发生剥离的临界电压计算方程。

[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4侵入薄膜1与基底2二者之间界面的结合层,实现薄膜1从基底2表面的分离,此种剥离模式不受预留空白区域的限制及黏附基底的导电特性的影响,同时具有剥离过程薄膜1变形小等优点,因此这种介电润湿效应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、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,一种具体的实施例中,在400V的电压下电解质溶液3就可实现键合强度为2.3N/m的100 $\mu$ m厚度的特氟龙薄膜的有效剥离,剥离速率约为1.0mm/s。另外,当施加电压增至1000V时,该剥离速率可增加至3.0mm/s。

[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围。



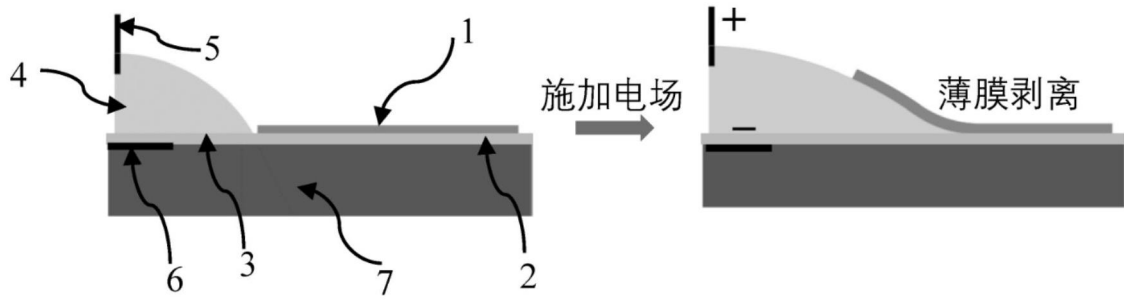


图1

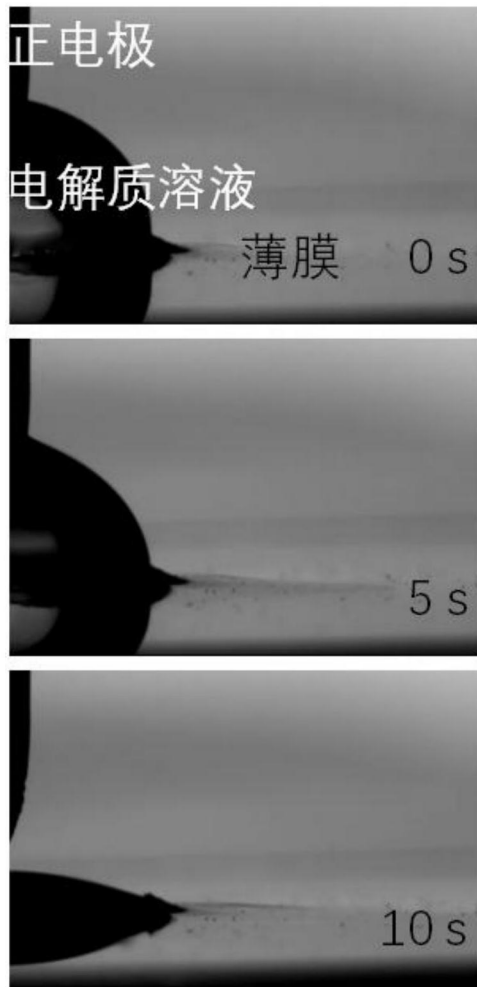


图2

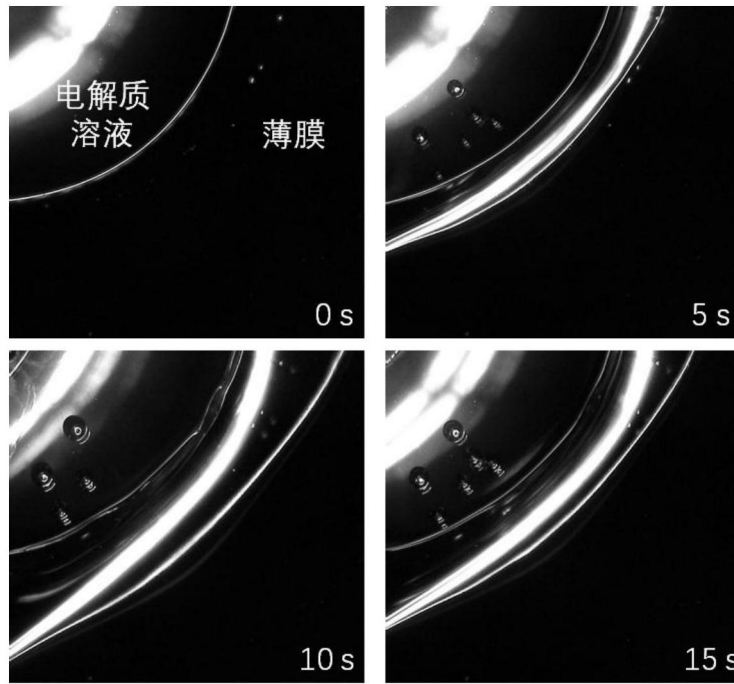


图3

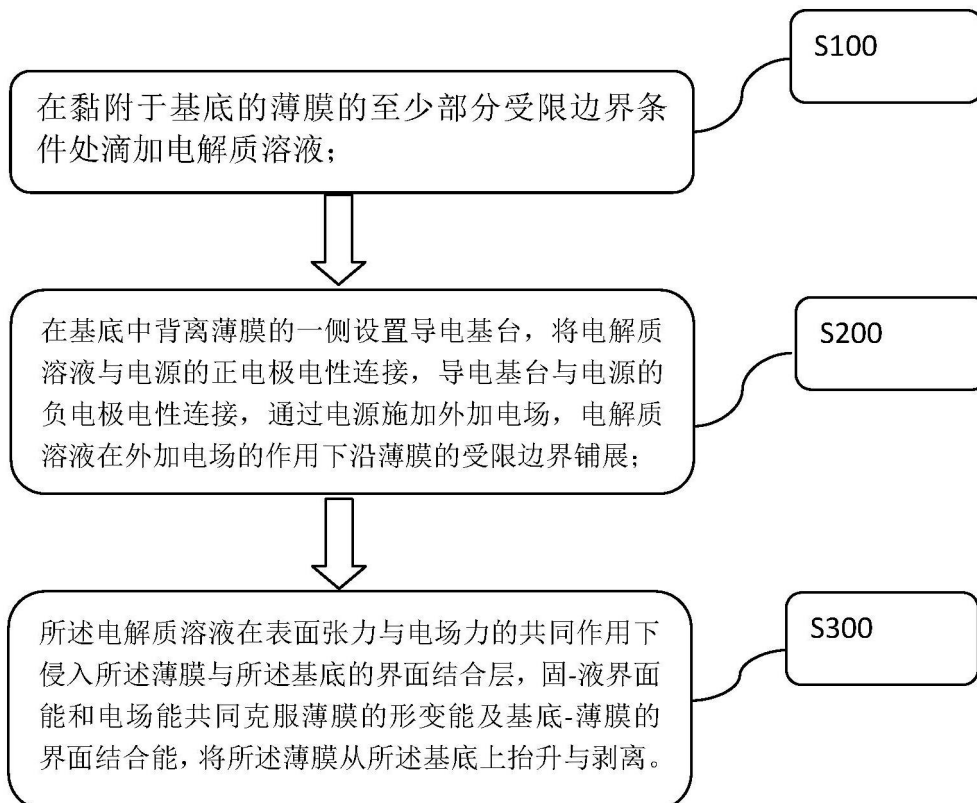


图4