



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114384135 A

(43) 申请公布日 2022.04.22

(21) 申请号 202210085857.2

(22) 申请日 2022.01.25

(71) 申请人 四川大学

地址 610065 四川省成都市武侯区一环路  
南一段24号

(72) 发明人 王云兵 胡雪丰 张婕妤 鲁玉辉

(74) 专利代理机构 成都智言知识产权代理有限公司 51282

代理人 蒋秀清

(51) Int. Cl.

G01N 27/327 (2006.01)

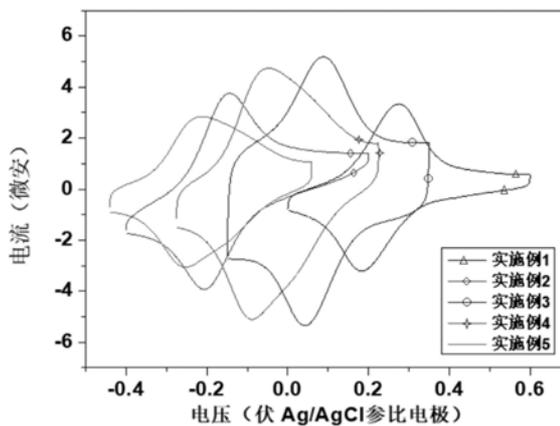
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种导电纳米材料葡萄糖传感材料及其制备方法和应用

(57) 摘要

本发明公开了一种导电纳米材料葡萄糖传感材料及其制备方法和应用,涉及葡萄糖智能监测专用材料技术领域,本发明提供的导电纳米材料葡萄糖传感材料由含有氧化还原配体的导电纳米材料和葡萄糖氧化酶通过交联剂共价交联得到。本发明通过带有氧化还原配体的导电纳米材料,增加了媒介的电子转移速率,从而克服目前有线酶技术当中的氧效应,利用本发明提供的材料制备的电化学葡萄糖传感器能够特异性检测葡萄糖,且其稳定电流信号与葡萄糖浓度线性相关系数高,且能排除干扰物质对乙酰氨基酚对葡萄糖检测的影响。因此,本发明涉及的基于氧化还原配体修饰的导电纳米材料葡萄糖传感材料在葡萄糖智能监测上具有广泛的应用价值。



1. 一种导电纳米材料葡萄糖传感材料,其特征在于:所述传感材料由含有氧化还原配体的导电纳米材料和葡萄糖氧化酶通过交联剂共价交联得到。

2. 一种如权利要求1所述的导电纳米材料葡萄糖传感材料的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 先对导电纳米材料表面使用硅烷偶联剂进行表面改性处理,使其表面具有活性基团;

(2) 将改性后的导电纳米材料与氧化还原配体通过共价键相连;

(3) 将连接有氧化还原配体的导电纳米材料和葡萄糖氧化酶通过交联剂进行共价交联。

3. 如权利要求2所述的制备方法,其特征在于,步骤(1)中所述的导电纳米材料为石墨炔、纳米金、纳米银、纳米铂、纳米导电碳黑、碳纳米管、足球烯、石墨烯或还原氧化石墨烯中的一种或多种。

4. 如权利要求2所述的制备方法,其特征在于,步骤(1)中所述的硅烷偶联剂的通式为 $(\text{CH}_2)_n\text{SiX}_3$ ,其中, $n=0\sim 3$ ,所述X为甲氧基、乙氧基、甲氧基乙氧基、乙酰氧基中的一种或多种;所述Y为乙烯基、氨基、环氧基、甲基丙烯酰氧基、巯基或脲基中的一种。

5. 如权利要求2所述的制备方法,其特征在于,步骤(2)中所述的氧化还原配体的通式为 $\text{Os}(\text{L})_2\text{RCl}_n$ 或 $\text{Ru}(\text{L})_2\text{RCl}_n$ ,其中,L为含有两个氮杂环的配体,R为含有反应活性基团的单杂环配体或双杂环配体,若R为含有反应活性基团的单杂环配体,则 $n=1$ ,若R为含有反应活性基团的双杂环配体,则 $n=0$ 。

6. 如权利要求5所述的制备方法,其特征在于,所述L为N,N'-二甲基-2,2'-联咪唑、2,2'-联吡啶、4,4'-二甲基-2,2'-联吡啶、4,4'-二甲氧基-2,2'-联吡啶、4,4'-二氯-2,2'-联吡啶、4,4'-二氨基-2,2'-联吡啶中的一种。

7. 如权利要求5所述的制备方法,其特征在于,所述R为带有氨基、羧基或醛基的咪唑、吡啶、联吡啶、联咪唑、吡啶联咪唑中的一种。

8. 如权利要求2所述的制备方法,其特征在于,步骤(3)中所述交联剂为戊二醛、聚乙二醇二缩水甘油醚、聚(丙二醇)二缩水甘油醚、1,4-丁二醇二缩水甘油醚、1,6-己二醇二缩水甘油醚、二缩水甘油醚、新戊二醇二缩水甘油醚、三羟甲基丙烷(乙烷)三缩水甘油醚、丙三醇三缩水甘油醚、季戊四醇四缩水甘油醚、京尼平的一种或多种。

9. 如权利要求2所述的制备方法,其特征在于,步骤(3)的交联反应为:将连接有氧化还原配体的导电纳米材料、葡萄糖氧化酶以及交联剂溶液按照交联反应投料比混合,在 $20\sim 45^\circ\text{C}$ 的温度下,反应时间为 $45\text{min}\sim 2\text{d}$ 。

10. 如权利要求1所述的导电纳米材料葡萄糖传感材料在葡萄糖智能监控和糖尿病管理仪器中的应用。

## 一种导电纳米材料葡萄糖传感材料及其制备方法和应用

### 技术领域

[0001] 本发明涉及葡萄糖智能监测专用材料及应用技术领域,具体涉及一种导电纳米材料葡萄糖传感材料及其制备方法和应用。

### 背景技术

[0002] 目前商品化的连续性血糖检测仪 (CGMS) 都是采用基于酶反应的电化学方法,实时将葡萄糖浓度转化成电信号。这类CGMS产品都包含葡萄糖氧化酶,葡萄糖氧化酶能够特异性识别葡萄糖,对生物体内其他糖类不敏感。目前市售的CGMS所使用的技术可分为第一代酶技术和第二代有线酶技术。

[0003] 第一代酶技术是通过检测葡萄糖氧化过程中产生的过氧化氢的浓度来间接检测葡萄糖浓度,所使用的工作电极通常为贵金属电极。过氧化氢的生成需要消耗氧气,而人体血液中的氧气浓度 (0.2~0.3mM) 远远低于血液中葡萄糖浓度 (5~10mM),因此需要在葡萄糖传感器表面覆盖一层特殊设计的能够同时控制氧气和葡萄糖通量的生物相容性外膜。这类外膜材料结构复杂,比如专利申请号为CN201080053713.4、CN201080062485.7、CN201980030243.0等专利申请文件就公开了类似的技术。此外,产生的过氧化氢在传感层的扩散方向是不受限制的,只有扩散到电极表面的过氧化氢才能产生电流用于传感,因此对电极的制备工艺提出很高的要求。另外,通常第一代酶技术使用的检测电位都在0.4V以上。在该电位,一些干扰物质,比如抗坏血酸、对乙酰氨基酚都会被氧化,产生干扰电流。因此,基于第一代酶技术的CGMS的有效工作时间通常为7天到10天不等。

[0004] 第二代有线酶技术是通过人工合成媒介体替代氧气,实现葡萄糖氧化酶和电极之间的电子传递。电子媒介体通过一个长的柔性链接枝到聚合物的侧链,具体技术详情如公开号为US6605200 B1的美国专利申请文件。葡萄糖氧化酶的氧化还原中心黄素腺嘌呤二核苷酸 (FAD) 被一层较厚的绝缘层包裹,带有长柔性链的媒介体可以实现与FAD的有效接触,将电子转移出来。并通过快速还原和快速氧化形成电子或空穴等载流子,通过自交换来传导电流。还原的媒介体与氧化的媒介体碰撞,还原的媒介体转移电子,或者氧化的媒介体转移空穴。尽管在理论上,电子或空穴也可以通过在固定位置的媒介体之间跳跃而传播,但在氧化还原水凝胶中很少见到固态物理的trap-trap跳变现象。长柔性链的媒介体转移电子速度比短链的媒介体快,这是因为长柔性链增大了被栓系的媒介体的位移幅度,显著增加接触碰撞频率。此外,专利申请号为CN200980139400.8的专利申请文件中,通过调整合成媒介体的配体合成了不同氧化还原电位的电子媒介体,这些电子媒介体氧化还原电位一般都是小于0.3V,提高了CGMS的抗干扰能力。虽然人工合成媒介体替代了氧气,实现葡萄糖氧化酶和电极之间进行的电子传递,但是氧气仍然会与葡萄糖氧化酶发生电子传递。所以氧气和人工合成媒介体会存在一个竞争关系。所以,在CN113521399 A、US6932894 B2等文献中,制备了一种生物相容性外膜来减少氧气向传感层的渗透,同时还要控制葡萄糖向传感层的通量。通过此外膜,减少了氧气的干扰。但是氧气作为一种溶解在体液里的小分子,仍然会在微溶胀的孔隙中随着水分子扩散到传感层,与电子媒介体竞争转移葡萄糖氧化酶的电

子。若提高膜的交联度,减少氧气的流入,虽然进一步提高了CGMS的检测范围,但是灵敏度会下降,检测的电流值受外界的干扰也会变大。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术中的上述问题,本发明提供一种葡萄糖智能监测专用材料及应用,以解决现有二代CGMS有线酶技术检测葡萄糖过程中因氧气的干扰而引起的灵敏度降低、抗干扰能力变弱等问题。

[0006] 本发明采用的技术方案如下:

[0007] 一种导电纳米材料葡萄糖专用材料,由含有氧化还原配体的导电纳米材料和葡萄糖氧化酶通过交联剂共价交联得到。

[0008] 导电纳米材料葡萄糖专用材料的制备方法,包括如下步骤:

[0009] (1) 先对导电纳米材料表面使用硅烷偶联剂进行表面改性处理,使其表面具有活性基团;

[0010] (2) 将改性后的导电纳米材料与氧化还原配体通过共价键相连;

[0011] (3) 将连接有氧化还原配体的导电纳米材料和葡萄糖氧化酶通过交联剂进行共价交联。

[0012] 作为优选地,步骤(1)中所述的导电纳米材料为石墨炔、纳米金、纳米银、纳米铂、纳米导电碳黑、碳纳米管、足球烯、石墨烯或还原氧化石墨烯中的一种或多种。

[0013] 作为优选地,步骤(1)中所述的硅烷偶联剂的通式为 $Y(CH_2)_nSiX_3$ ,其中, $n=0\sim 3$ ,所述X为甲氧基、乙氧基、甲氧基乙氧基、乙酰氧基中的一种或多种;所述Y为乙烯基、氨基、环氧基、甲基丙烯酰氧基、巯基或脲基中的一种。

[0014] 作为优选地,步骤(2)中所述的氧化还原配体的通式为 $Os(L)_2RCl_n$ 或 $Ru(L)_2RCl_n$ ,其中L为含有两个氮杂环的配体,R为含有反应活性基团的单杂环配体或双杂环配体,若R为含有反应活性基团的单杂环配体,则 $n=1$ ,若R为含有反应活性基团的双杂环配体,则 $n=0$ 。

[0015] 进一步地,所述L为N,N'-二甲基-2,2'-联咪唑、2,2'-联吡啶、4,4'-二甲基-2,2'-联吡啶、4,4'-二甲氧基-2,2'-联吡啶、4,4'-二氯-2,2'-联吡啶、4,4'-二氨基-2,2'-联吡啶中的一种;

[0016] 更进一步地,所述R为带有氨基、羧基或醛基的咪唑、吡啶、联吡啶、联咪唑、吡啶联咪唑中的一种。

[0017] 作为优选地,步骤(3)中所述交联剂为戊二醛、聚乙二醇二缩水甘油醚、聚(丙二醇)二缩水甘油醚、1,4-丁二醇二缩水甘油醚、1,6-己二醇二缩水甘油醚、二缩水甘油醚、新戊二醇二缩水甘油醚、三羟甲基丙烷(乙烷)三缩水甘油醚、丙三醇三缩水甘油醚、季戊四醇四缩水甘油醚、京尼平的一种或多种。

[0018] 作为优选地,步骤(3)的交联反应为:将连接有氧化还原配体的导电纳米材料、葡萄糖氧化酶以及交联剂溶液按照交联反应投料比混合,在 $20\sim 45^\circ C$ 的温度下,反应时间为 $45\text{min}\sim 2\text{d}$ 。

[0019] 本发明还提供了所述导电纳米材料葡萄糖专用材料在血糖监测和糖尿病管理仪器中的应用。

[0020] 综上所述,相比于现有技术,本发明具有如下优点及有益效果:

[0021] 1. 本发明通过带有氧化还原配体的导电纳米材料,增加了电子媒介体的转移电子的速率,从而克服二代有线酶技术当中的氧效应;利用本发明提供的传感材料制备的电化学葡萄糖传感器能够特异性检测葡萄糖,其稳定电流信号与葡萄糖浓度线性相关系数高,且能排除干扰物质对乙酰氨基酚对葡萄糖检测的影响,因此,本发明涉及的基于氧化还原配体修饰的导电纳米葡萄糖传感材料在葡萄糖智能检测上具有广泛的应用价值;

[0022] 2. 本发明中,作为电子媒介体的氧化还原配体通过与导电纳米材料的共价连接,实现电子媒介体通过碰撞将电子直接转移至下一个电子媒介体,或者转移至连接在导电纳米材料表面的多个电子媒介体,或者通过高导电的纳米材料直接传递给电极,实现多通路传递,通过这种方法,大大增加了电子媒介体转移电子的速率,有效克服了氧效应;

[0023] 3. 本发明提供的导电纳米材料葡萄糖传感材料,因其多通路电子传递以及结构的稳定性,其有效工作时间长,不会随着时间的变化而影响其工作性能。

## 附图说明

[0024] 本发明将通过实施例并参照附图的方式说明,下面附图为实施例的测试结果:

[0025] 图1为本发明实施例1-5中葡萄糖传感层试剂包裹一层生物相容性层后在PBS中的循环伏安图。

[0026] 图2为本发明实施例1-5中葡萄糖传感层试剂包裹一层生物相容性层后在0-40mM葡萄糖PBS溶液中的时间电流曲线。

[0027] 图3为本发明实施例1-5中葡萄糖传感层试剂包裹一层生物相容性层后的抗干扰实验。

[0028] 图4为基于本发明实施例1-5中葡萄糖传感层试剂包裹一层生物相容性层后在不同氧气浓度下的测试实验。

[0029] 图5为本发明实施例1-5中葡萄糖传感层试剂包裹一层生物相容性层后的长期稳定性测试。

## 具体实施方式

[0030] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明,即所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。

[0031] 实施例1

[0032] 本实施例提供一种基于氧化还原配体修饰的导电纳米材料葡萄糖传感材料,其制备过程包括以下步骤:

[0033] A、称取1~100mg的多壁碳纳米管置于10mL的小瓶中,加入1~3mL去离子水和0.01~1mL3-氨基丙基三乙氧基硅烷,超声10~100min,得到均匀的分散液,25~50℃放置1~24h,向其中加入0.1~100μL 0.1M盐酸,室温放置6~48h,将得到的悬浮液透析,多次离心清洗透析后的悬浮液,得到表面带氨基的碳纳米管。

[0034] B、将10~100mg Os(bpy)<sub>2</sub>ClIm(CH<sub>2</sub>)<sub>11</sub>-COOH搅拌下充分溶解在pH=5~8的PBS中,然后加入150mg 1-乙基-(3-二甲基氨基丙基)碳酰二亚胺盐酸盐和200mg N-羟基琥珀酰亚胺,室温搅拌15~60min。逐滴加入100μL浓度为200mg/mL的氨基化碳纳米管分散液(pH=

7.4), 室温搅拌12~72h。反应完成后, 用去离子水离心清洗得到的产物, 在用去离子水透析, 除去游离态的小分子, 得到表面修饰氧化还原配体的碳纳米管。

[0035] C、将10 $\mu$ L步骤B中得到的表面修饰氧化还原配体的碳纳米管分散液(10mg/mL)和10 $\mu$ L葡萄糖氧化酶溶液(10mg/mL)通过10 $\mu$ L 5%戊二醛溶液混合45min, 滴涂到电极表面得到基于氧化还原配体修饰的导电纳米材料葡萄糖传感层试剂。

[0036] 实施例2

[0037] 本实施例提供一种基于氧化还原配体修饰的导电纳米材料葡萄糖传感材料, 其制备过程包括以下步骤:

[0038] A、称取1~100mg的石墨烯置于10mL的小瓶中, 加入1~3mL去离子水和0.01~1mL甲基丙烯酰氧基丙基三甲氧基硅烷, 超声10~100min, 得到均匀的分散液, 25~50 $^{\circ}$ C放置1~24h, 向其中加入0.1~100 $\mu$ L 0.1M盐酸, 室温放置6~48h, 将得到的悬浮液透析, 多次离心清洗透析后的悬浮液, 得到表面带丙烯酰氧基的石墨烯。

[0039] B、将10~100mg Os(diamino-bpy)<sub>2</sub>ClIm(CH<sub>2</sub>)<sub>11</sub>-NH<sub>2</sub>搅拌下充分溶解在乙醇中, 加入100 $\mu$ L浓度为200mg/mL的丙烯酰氧基修饰的石墨烯分散液, 40~90 $^{\circ}$ C搅拌1~12h。反应完成后, 用乙醇离心清洗得到的产物, 在用去离子水透析, 除去游离态的小分子, 得到表面修饰氧化还原配体的石墨烯。

[0040] C、将10 $\mu$ L步骤B中得到的表面修饰氧化还原配体的石墨烯分散液(10mg/mL)和10 $\mu$ L葡萄糖氧化酶溶液(10mg/mL)通过10 $\mu$ L聚乙二醇二缩水甘油醚溶液(10mg/mL)混合后, 滴涂到电极表面, 室温真空干燥48h, 得到基于氧化还原配体修饰的导电纳米材料葡萄糖传感层试剂。

[0041] 实施例3

[0042] 本实施例提供一种基于氧化还原配体修饰的导电纳米材料葡萄糖传感材料, 其制备过程包括以下步骤:

[0043] A、称取1~100mg的纳米导电碳黑置于10mL的小瓶中, 加入1~3mL去离子水和0.01~1mL  $\gamma$ -缩水甘油醚氧丙基三甲氧基硅烷, 超声10~100min, 得到均匀的分散液, 25~50 $^{\circ}$ C放置1~24h, 向其中加入0.1~100 $\mu$ L 0.1M盐酸, 室温放置6~48h, 将得到的悬浮液透析, 多次离心清洗透析后的悬浮液, 得到表面带环氧基的纳米导电碳黑。

[0044] B、将10~100mg Os(dimethyl-bpy)<sub>2</sub>ClIm(CH<sub>2</sub>)<sub>11</sub>-NH<sub>2</sub>搅拌下充分溶解在乙醇中, 加入100 $\mu$ L浓度为200mg/mL的环氧基修饰的导电炭黑分散液, 40~90 $^{\circ}$ C搅拌1~12h。反应完成后, 用乙醇离心清洗得到的产物, 在用去离子水透析, 除去游离态的小分子, 得到表面修饰氧化还原配体的纳米导电炭黑。

[0045] C、将10 $\mu$ L步骤B中得到的表面修饰氧化还原配体的纳米导电炭黑分散液(10mg/mL)和10 $\mu$ L葡萄糖氧化酶溶液(10mg/mL)通过10 $\mu$ L 1,4-丁二醇二缩水甘油醚溶液(10mg/mL)混合后, 滴涂到电极表面, 室温真空干燥48h, 得到基于氧化还原配体修饰的导电纳米材料葡萄糖传感层试剂。

[0046] 实施例4

[0047] 本实施例提供一种基于氧化还原配体修饰的导电纳米材料葡萄糖传感材料, 其制备过程包括以下步骤:

[0048] A、称取1~100mg的纳米导电石墨炔置于10mL的小瓶中, 加入1~3mL去离子水和

0.01~1mL 3-(2-氨基乙基氨基)丙基三甲氧基硅烷,超声10~100min,得到均匀分散液,25~50℃放置1~24h,向其中加入0.1~100μL 0.1M盐酸,室温放置6~48h,将得到的悬浮液透析,多次离心清洗透析后的悬浮液,得到表面带氨基的纳米导电石墨炔。

[0049] B、将10~100mg Os(dimethoxy-bpy)<sub>2</sub>ClIm(CH<sub>2</sub>)<sub>11</sub>-COOH搅拌下充分溶解在pH=5~8的PBS中,然后加入150mg 1-乙基-(3-二甲基氨基丙基)碳酰二亚胺盐酸盐和200mg N-羟基琥珀酰亚胺,室温搅拌15~60min。逐滴加入100μL浓度为200mg/mL的氨基化纳米导电石墨炔分散液(pH=7.4),室温搅拌12~72h。反应完成后,用去离子水离心清洗得到的产物,在用去离子水透析,除去游离态的小分子,得到表面修饰氧化还原配体的纳米导电石墨炔。

[0050] C、将10μL步骤B中得到的表面修饰氧化还原配体的纳米导电石墨炔分散液(10mg/mL)和10μL葡萄糖氧化酶溶液(10mg/mL)通过10μL 1,6-己二醇二缩水甘油醚溶液(10mg/mL)混合后,滴涂到电极表面,室温真空干燥48h,得到基于氧化还原配体修饰的导电纳米材料葡萄糖传感层试剂。

[0051] 实施例5

[0052] 本实施例提供一种基于氧化还原配体修饰的导电纳米材料葡萄糖传感材料,其制备过程包括以下步骤:

[0053] A、称取100μL的纳米金分散液置于10mL的小瓶中,加入1~3mL去离子水和0.01~1mL 3-(2-氨基乙基氨基)丙基三甲氧基硅烷,超声10~100min,得到均匀分散液,25~50℃放置1~24h,向其中加入0.1~100μL 0.1M盐酸,室温放置6~48h,将得到的悬浮液透析,多次离心清洗透析后的悬浮液,得到表面带氨基的纳米金。

[0054] B、将10~100mg Os(N,N'-dialkylated-2,2'-bi-imidazole)<sub>2</sub>Im-ImCOOH搅拌下充分溶解在pH=5~8的PBS中,然后加入150mg 1-乙基-(3-二甲基氨基丙基)碳酰二亚胺盐酸盐和200mg N-羟基琥珀酰亚胺,室温搅拌15~60min。逐滴加入100μL浓度为200mg/mL的氨基化纳米导电纳米金分散液(pH=7.4),室温搅拌12~72h。反应完成后,用去离子水离心清洗得到的产物,在用去离子水透析,除去游离态的小分子,得到表面修饰氧化还原配体的纳米导电金。

[0055] C、将10μL步骤B中得到的表面修饰氧化还原配体的纳米导电金分散液(10mg/mL)和10μL葡萄糖氧化酶溶液(10mg/mL)通过10μL 1,6-聚丙二醇二缩水甘油醚溶液(10mg/mL)混合后,滴涂到电极表面,室温真空干燥48h,得到基于氧化还原配体修饰的导电纳米材料葡萄糖传感层试剂。

[0056] 分别以实施例1-5中所述得到的电极为工作电极,银/氯化银为参比电极,铂丝为参比电极,测试这些工作电极在pH=7.4的磷酸缓冲溶液中的循环伏安曲线。由图1可知,这些电极的氧化还原峰在0.3V以下,远低于干扰物质对乙酰氨基催化氧化所需要的电压。故这些电极有较好的抗干扰能力。

[0057] 分别以实施例1-5中葡萄糖传感层试剂包裹一层生物相容性层后在0-40mM葡萄糖PBS溶液中进行的时间电流曲线,其中,每次葡萄糖浓度递增5mM。如图2所示,随着葡萄糖浓度的增加,电流信号值也增加。且葡萄糖浓度和电流信号值呈比较好的线性关系。该结果表明,制备的这些电极能够较好的测试在0~40mM的葡萄糖浓度范围内的葡萄糖浓度。

[0058] 分别以实施例1-5中葡萄糖传感层试剂包裹一层生物相容性层后进行抗干扰实验。如图3所示,这些电极的电流信号值与葡萄糖浓度呈比较好的线性关系,随后重新置换

PBS溶液,加入5mM的对乙酰氨基酚,电流值几乎不变化。该结果表明,制备的电极对对乙酰氨基酚基本没有响应,这说明了这些电极对对乙酰氨基酚具有较强的抗干扰能力。

[0059] 分别以实施例1-5中葡萄糖传感层试剂包裹一层生物相容性层后在不同氧气浓度下进行测试实验。如图4所示,在5%氧气氛围内,这些电极的电流信号值在0-40mM葡萄糖浓度范围内呈比较好的线性关系。随后鼓入氮气改变测试环境的氧气浓度,电流值几乎不变化。该结果表明,制备的电极受氧气浓度干扰较小。

[0060] 分别以实施例1-5中葡萄糖传感层试剂包裹一层生物相容性层后进行长期稳定性测试。这些电极在测试溶液中连续工作了15天后,每天测试其灵敏度,结果如图5所示。其中第0天的灵敏度是未灭菌的电极测试结果,第1天的灵敏度较后续14天的灵敏度低的原因是生物相容性层未完全溶胀平衡。这些电极在后续14天的灵敏度变化较小,这表明制备的电极长期稳定性良好。

[0061] 以上所述实施例仅表达了本申请的具体实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对本申请保护范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请技术方案构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本申请的保护范围。

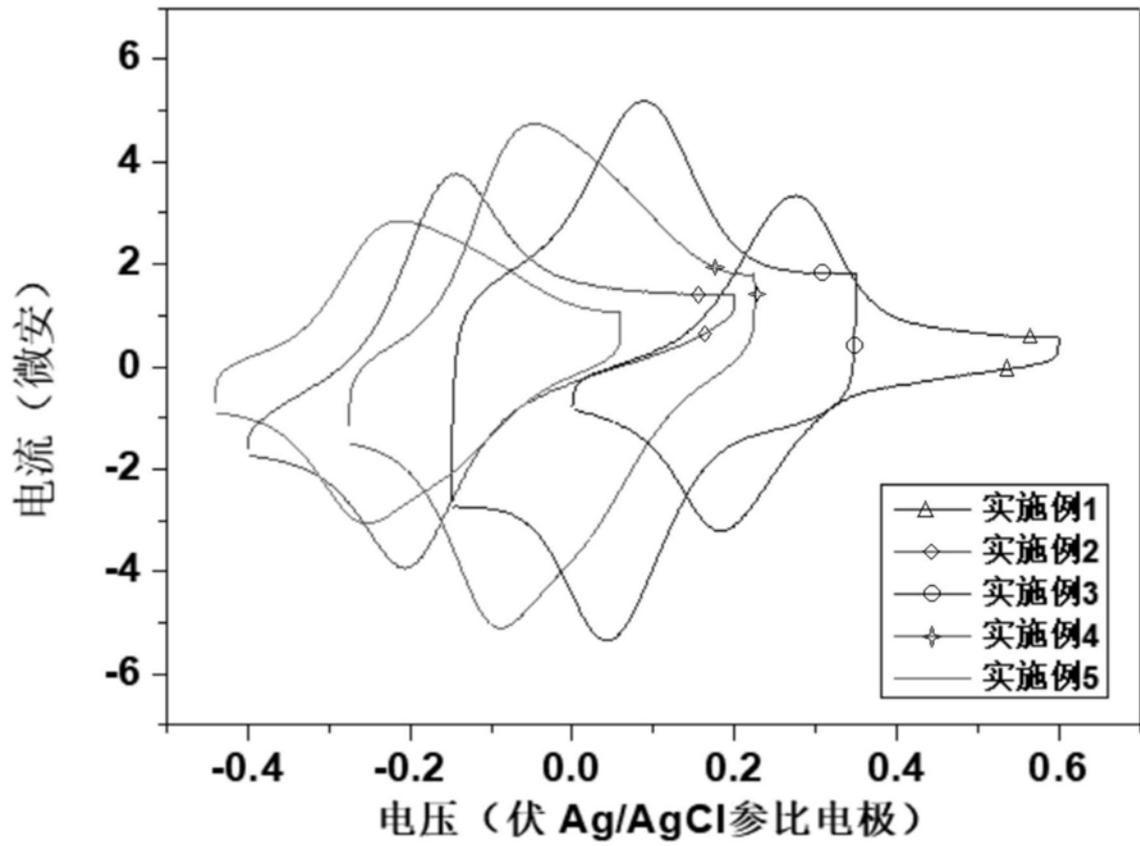


图1

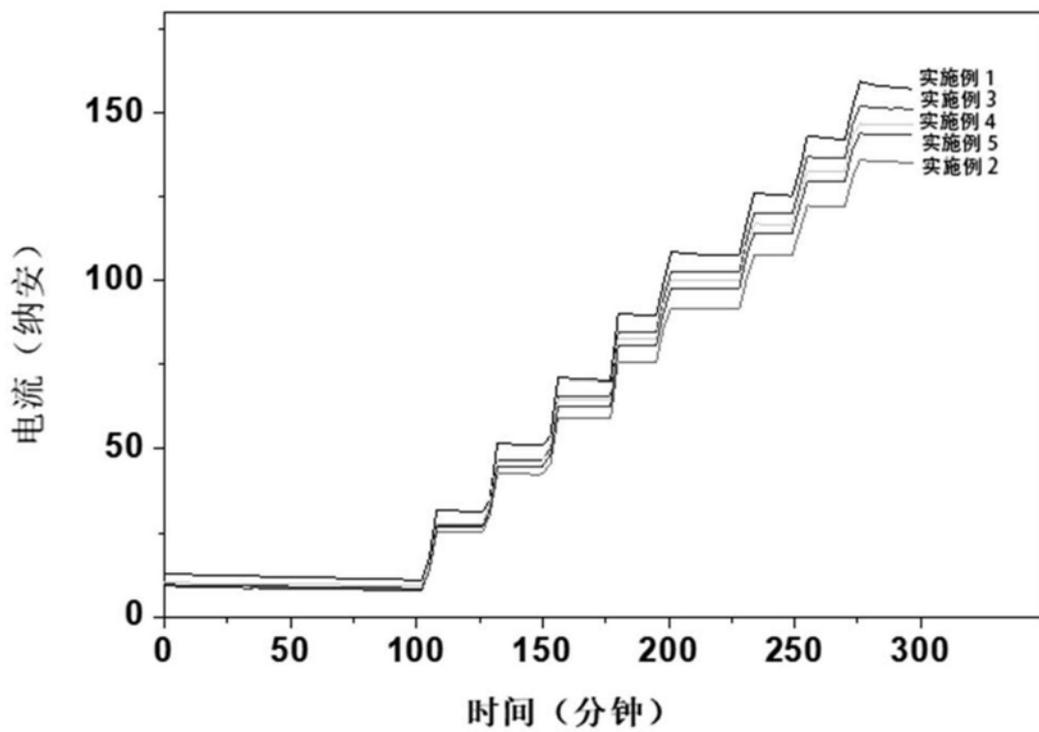


图2

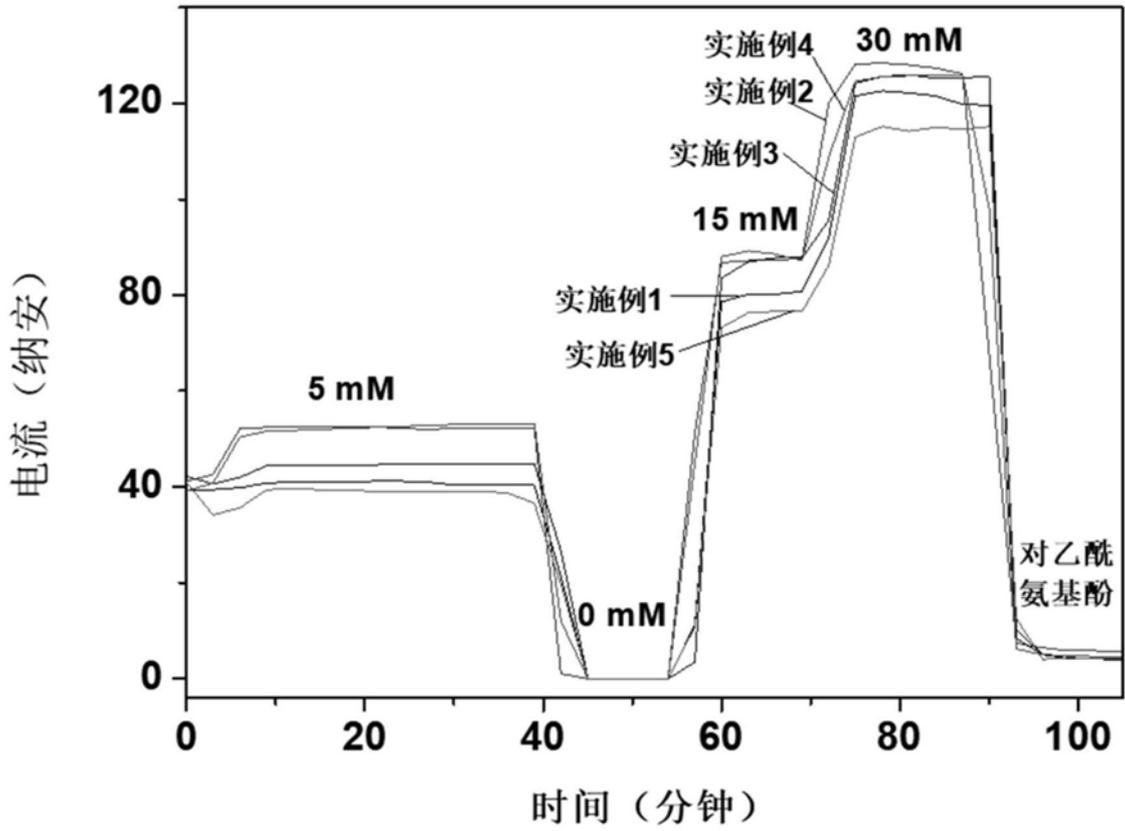


图3

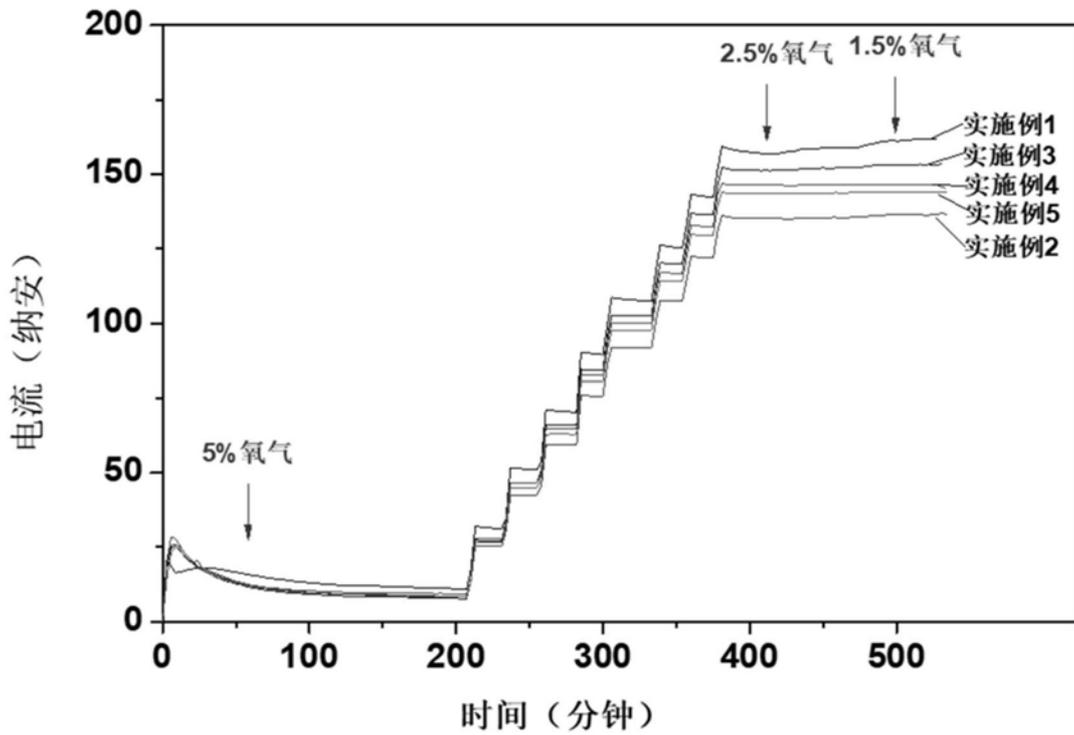


图4

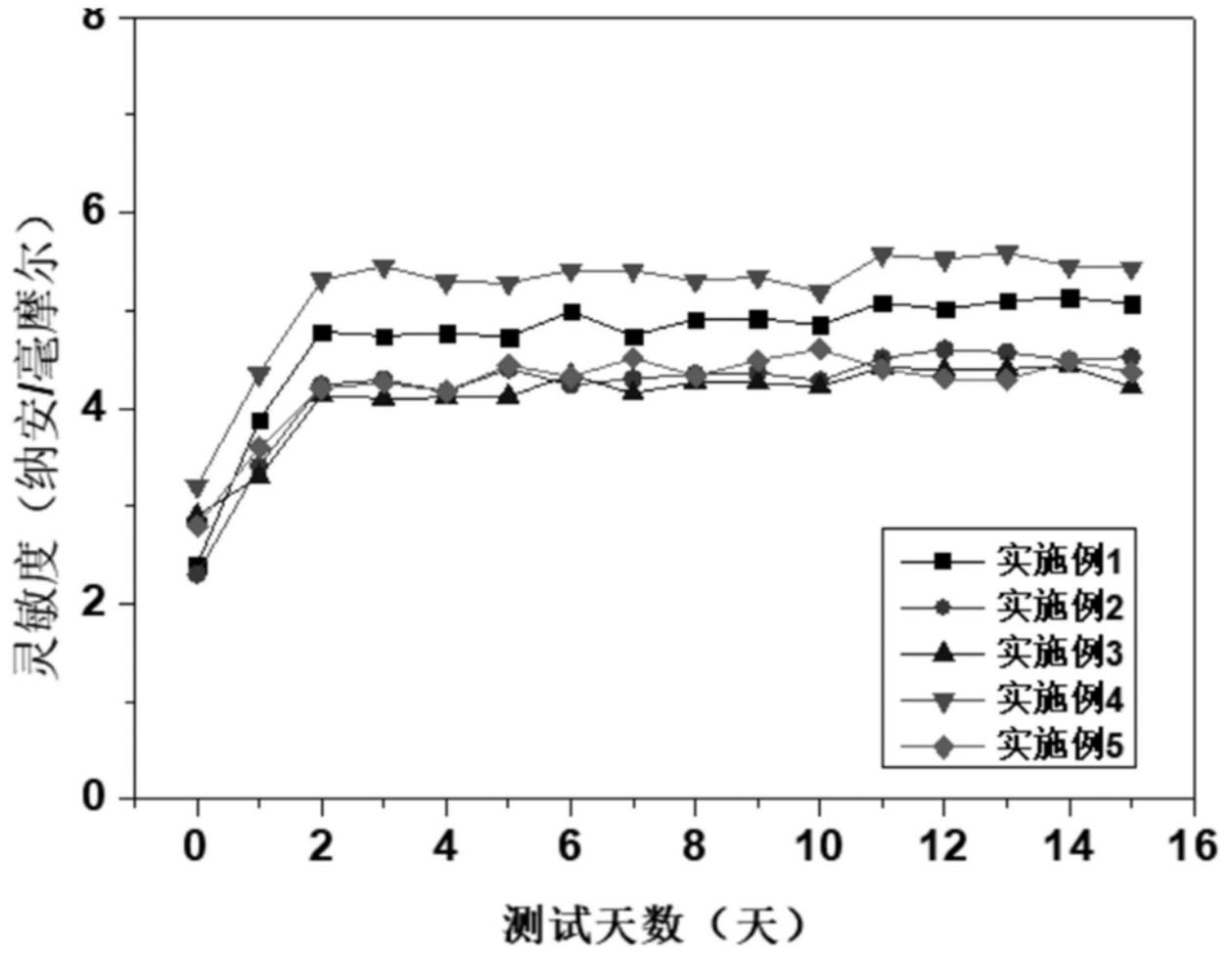


图5