



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101675331 B

(45) 授权公告日 2012.06.27

(21) 申请号 200880014687.7

(22) 申请日 2008.04.15

(30) 优先权数据

11/800,746 2007.05.07 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009.11.03

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/060321 2008.04.15

(87) PCT申请的公布数据

W02008/137260 EN 2008.11.13

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 C·肖 B·陈 W·崔 L·张

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 李波 韦欣华

(51) Int. Cl.

G01N 21/27(2006.01)

G01N 21/80(2006.01)

(56) 对比文件

US 20070092975 A1, 2007.04.26, 1-45.

CN 1890563 A, 2007.01.03, 1-25.

CN 1493873 A, 1004.05.05, 1-8.

Luke M. Mosley, Shamus L. G. Husheer et. al. Spectrophotometric pH measurement in estuaries using thymol blue and m-cresol purple. 《Marine Chemistry》. 2004, 第 91 卷 175-186.

审查员 戴琳

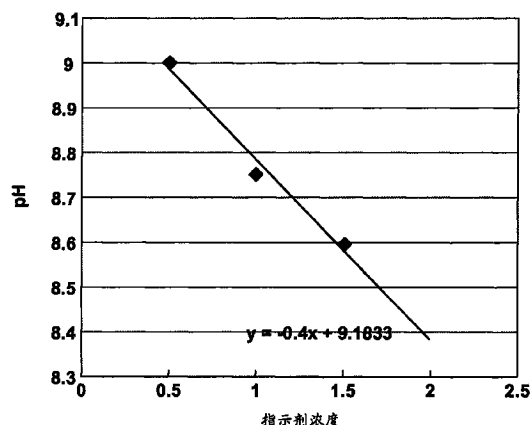
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

测量低碱度溶液 pH 的方法和设备

(57) 摘要

描述了测量低碱度样品 pH 值的系统和方法。本发明提供了包括多个 pH 指示剂的传感器阵列，各指示剂具有不同的指示剂浓度。通过将传感器阵列应用到具有已知 pH 的样品溶液而生成校准函数，以便同时记录来自各指示剂相对于各指示剂的指示剂浓度的 pH 响应。一旦校准，则将传感器阵列应用于具有未知 pH 的低碱度样品。然后将来自各 pH 指示剂的结果与校准函数进行比较，且将拟合函数进行外推，以获得低碱度样品的实际 pH 值。



1. 一种测量 pH 的方法,其包括下列步骤:

提供具有多个 pH 指示剂的 pH 传感器阵列,各所述指示剂具有不同的指示剂浓度;

将所述传感器阵列应用于具有已知 pH 的样品溶液;

同时测量来自各所述指示剂的第一 pH 响应;

生成代表所述第一 pH 响应的校准函数;

将所述传感器阵列应用于具有未知 pH 的低碱度样品溶液;

同时测量来自各所述指示剂的第二 pH 响应;

将所述第二 pH 响应和所述校准函数进行比较,以获得来自各所述指示剂的初步 pH 值;

生成代表所述初步 pH 值的拟合函数;以及

将所述拟合函数进行外推至指示剂浓度为零,以评估所述具有未知 pH 的低碱度样品溶液的实际 pH,其中所述外推包括生成所述拟合函数的线性截距点,以获得所述具有未知 pH 的低碱度样品溶液的 pH,其中所述外推包括由下述方程式确定的外推运算法则:

$$pH_{\text{样品}} = \frac{\begin{vmatrix} \sum(In_i^2) & \sum(In_i * pH_i) \\ \sum In_i & \sum pH_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum(In_i^2) & \sum In_i \\ \sum In_i & N \end{vmatrix}}$$

其中, i 为对应各 pH 指示剂的指数;

In_i 为第 i 指示剂的指示剂浓度;

pH_i 为第 i 指示剂的第二 pH 测量值;以及

N 为 pH 指示剂的数量。

2. 权利要求 1 的方法,其中所述指示剂为基于固体聚合物的含有 pH 指示剂的膜。

3. 权利要求 2 的方法,其中所述指示剂为比色 pH 指示剂或荧光 pH 指示剂。

4. 权利要求 3 的方法,其中所述比色 pH 指示剂选自下列:酚红、甲酚红、间-甲酚紫、百里酚蓝、溴氯酚蓝 W. S.、溴甲酚绿、氯酚红、溴甲酚紫、溴百里酚蓝、中性红、酚酞、邻-甲酚酞、耐尔蓝 A、百里酚酞、溴酚蓝、间甲酚紫、孔雀绿、亮绿、结晶紫、甲基绿、甲基紫 2B、苦味酸、萘酚黄 S、间胺黄、碱性品红、焰红染料 B、甲基黄、甲基橙和茜素。

5. 权利要求 1 的方法,其中通过比色计、分光光度计、或者荧光光谱仪测量所述 pH 响应。

6. 权利要求 2 的方法,其中所述基于固体聚合物的、含有 pH 指示剂的膜是从水溶性聚合物制备的。

7. 权利要求 2 的方法,其中所述基于固体聚合物的、含有 pH 指示剂的膜是从聚 2-羟乙基甲基丙烯酸酯或醋酸纤维素制备的。

8. 权利要求 2 的方法,其中所述传感器阵列包括至少四种 pH 指示剂,其中所述指示剂具有 0.01%~10%量级上的浓度。

9. 权利要求 1 的方法,其进一步包括生成代表所述校准函数和拟合函数的图形的步骤。

10. 一种测量 pH 的系统,其包括:

具有多个 pH 指示剂的 pH 传感器阵列,各所述指示剂具有不同的指示剂浓度;

用于将所述传感器阵列应用于具有已知 pH 的样品溶液的设备;

用于同时测量来自各所述指示剂的第一 pH 响应的设备;

用于生成代表所述第一 pH 响应的校准函数的设备;

用于将所述传感器阵列应用于具有未知 pH 的低碱度样品溶液的设备;

用于同时测量来自各所述指示剂的第二 pH 响应的设备;

用于将所述第二 pH 响应和所述校准函数进行比较,以获得各所述指示剂的初步 pH 值的设备;

用于生成代表所述初步 pH 值的拟合函数的设备;以及

用于外推的设备,该用于外推的设备是用于将所述拟合函数进行外推至指示剂浓度为零,以评估所述具有未知 pH 的低碱度样品溶液的实际 pH 的设备,其中所述用于外推的设备包括用于生成所述拟合函数的线性截距点,以获得所述具有未知 pH 的低碱度样品溶液的 pH 的设备,其中所述用于外推的设备包括由下述方程式确定的外推运算法则:

$$pH_{\text{样品}} = \frac{\begin{vmatrix} \sum (In_i^2) & \sum (In_i * pH_i) \\ \sum In_i & \sum pH_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum (In_i^2) & \sum In_i \\ \sum In_i & N \end{vmatrix}}$$

其中, i 为对应各 pH 指示剂的指数;

In_i 为第 i 指示剂的指示剂浓度;

pH_i 为第 i 指示剂的第二 pH 测定值;以及

N 为 pH 指示剂数量。

11. 权利要求 10 的系统,其中所述指示剂为基于固体聚合物的含有 pH 指示剂的膜。

12. 权利要求 11 的系统,其中所述指示剂为比色 pH 指示剂或荧光 pH 指示剂。

13. 权利要求 12 的系统,其中所述比色 pH 指示剂选自下列:酚红、甲酚红、间-甲酚紫、百里酚蓝、溴氯酚蓝 W. S.、溴甲酚绿、氯酚红、溴甲酚紫、溴百里酚蓝、中性红、酚酞、邻-甲酚酞、耐尔蓝 A、百里酚酞、溴酚蓝、间甲酚紫、孔雀绿、亮绿、结晶紫、甲基绿、甲基紫 2B、苦味酸、萘酚黄 S、间胺黄、碱性品红、焰红染料 B、甲基黄、甲基橙和茜素。

14. 权利要求 11 的系统,其中所述基于固体聚合物的、含有 pH 指示剂的膜是从水溶性聚合物、聚 2-羟乙基甲基丙烯酸酯或醋酸纤维素制备的。

15. 权利要求 11 的系统,其中所述传感器阵列包括至少四种 pH 指示剂,其中所述指示剂具有 0.01%~10%量级上的浓度。

16. 权利要求 10 的系统,其进一步地包括生成代表所述校准函数和拟合函数的图形的设备。

测量低碱度溶液 pH 的方法和设备

[0001] 发明背景

技术领域

[0002] 本发明整体上涉及测量 pH 的系统,更特别地涉及利用多个 pH 指示剂传感器采用外推分光光度法测量低碱度溶液的 pH 的改进方法和设备。

背景技术

[0003] 多种系统和方法已经被用于测量水系的 pH。例如,玻璃电极通常用于在实验室和工业环境下的 pH 测量。可替换的,已知分光光度技术可用于 pH 测量。在 2006 年 8 月 22 日提交的美国专利,申请号 11/507,689 中描述示例的 pH 测量的系统和方法,此专利被转让给与本申请相同的受让人,通过参照将其公开内容并入本文。

[0004] 尽管现有技术中的设备和系统已经被证实是有用的产品,但还不能完全满足以相对简单和用户容易使用的方式,快速、简单和准确测量低碱度水样的要求。与测量低碱度溶液 pH 相关的挑战之一是:由于在样品溶液中加入指示剂而导致的 pH 值扰动(perturbation)是不可忽略的。这是由于指示剂本身是弱酸或弱碱。换句话说,由于加入样品中的指示剂浓度相对于溶液中的酸或碱的量而言是显著的,所以弱缓冲(即低碱度)溶液的 pH 可能被剧烈扰动(perturbed)。

[0005] 现有技术试图通过以下方法来最小化或矫正水相中指示剂引起的扰动:(1) 将指示剂溶液的 pH 值调节至接近样品的 pH 值;(2) 降低所加入指示剂与样品体积的比例;以及(3) 通过逐步加入指示剂观察指示剂引起的 pH 值扰动,然后利用线性外推法获得样品的 pH 值。这些现有技术的方法可以提供有用的结果,但它们通常非常耗时且使用不方便。因此,非常需要改进方法和系统,其以相对高性价比、使用方便的方式提供精确的、准确的、快速的低碱度样品的 pH 检测。

发明内容

[0006] 与测量低碱度溶液 pH 值相关的挑战之一为:由于在样品溶液中加入指示剂而导致的 pH 值扰动是不可忽略的。因此,由于在弱缓冲(即低碱度)溶液中加入的指示剂浓度,pH 测量可被剧烈扰动。为解决该问题,本发明公开的系统和方法包括具有多个 pH 指示剂的传感器阵列,各指示剂具有不同的指示剂浓度。通过将传感器阵列应用于具有已知 pH 的样品溶液来校准所述传感器阵列。来自各 pH 指示剂的响应被同时记录,且产生校准函数(即校准曲线),其代表对于各指示剂浓度,相对于各指示剂浓度的 pH 响应。一旦校准,接着,可以将传感器阵列应用于具有未知 pH 的低碱度样品溶液。将来自各 pH 指示剂的 pH 值结果与校正曲线进行比较,并产生拟合函数(即拟合方程式),其代表来自各指示剂浓度的 pH 响应。然后产生拟合方程式,并进行外推以确定截距点(intercept point)(即当指示剂浓度为零时),以得到未知样品原本的(即实际的)pH 值。

[0007] 本发明的其他方面涉及此类系统和方法的用途,以及设计用于测量低碱度溶液的

示例性方法。本发明的其他方面以及其相对于现有技术的优点将在在参考附图阅读下面的详细描述以及所附权利要求后变得明显。

附图说明

- [0008] 图 1 为显示加入各种量的百里酚蓝 (thymal blue) 后 pH 的变化的示意图；
[0009] 图 2 描绘了一系列图示,其显示在加入指示剂前后,不同溶液的 pH 值；
[0010] 图 3 为表示所测量 pH 相对于酚红加入量之间关系的示意图；
[0011] 图 4 显示了基于四种不同指示剂浓度产生的校准曲线；
[0012] 图 5 为表示从本发明提供的示例性线性外推法所得到结果的示意图。

具体实施方式

[0013] 本发明描述了包括基于聚合物膜的传感器阵列的系统和方法,其用快速、准确地测量低碱度溶液的 pH 值,例如低碱度水样。已知,碱度或缓冲能力是水样的基本特征之一。碱度是溶液中和酸的能力的量度。较低的碱度意味着在讲酸加入到溶液的时候,对抗 pH 变化的能力较低。

[0014] 本发明的观念基于认识到在低碱度溶液中,样品中加入指示剂所引起的对 pH 的扰动是不可忽略的。这一点是正确的,因为指示剂本身是弱酸或者弱碱。因此,由于样品中加入指示剂浓度的量相对于低缓冲(即低碱度)溶液中存在的酸或碱的量是显著的,因此溶液 pH 可能被剧烈扰动。这种扰动影响在负载 pH 指示剂的膜上甚至更加显著。

[0015] 为解决该问题,本发明的一个方面描述了用于快速、准确测量低碱度样品 pH 值的外推法。优选地,该方法利用但不限于,按照先前通过参照并入本文的美国专利申请号 11/507,689 所述构建的传感器阵列。这类传感器阵列被设置为包括多个指示剂部分,各自具有不同的指示剂浓度。一旦被构建,则所述传感器阵列用于通过分光光度法测量样品的 pH,其中各指示剂同时提供了离散的吸光率 pH 测量。将从各指示剂部分测量的 pH 值相对于其各自的指示剂浓度进行作图,将表示所测量 pH 值的拟合函数(即拟合方程式)进行外推,以确定当指示剂浓度为零时的截距点,以获得样品最初的 pH(即实际 pH)。本发明的系统和方法与现有技术相比具有如下优势:由于没有尽力最小化由指示剂添加所造成的 pH 扰动,本发明利用了来自不同指示剂浓度的 pH 扰动之间的关系,对传感器阵列进行校准,因此提供了基线参照值用以从具有未知 pH 的低碱度样品确定 pH 量度。

[0016] 正如本文所公开的,本发明的系统和方法特别适用于快速、准确地确定低碱度溶液的 pH。测量低碱度溶液的 pH 并不是微不足道的,这是由于加入溶液的弱酸或弱碱指示剂,特别是当指示剂浓度(其通常是弱酸或弱碱)与样品溶液中酸或碱的量相比显著时,会产生扰动。可以利用比色计、分光光度计或者荧光光谱仪来测量 pH 响应。

[0017] 根据本发明的示范性实施方案,利用四层膜阵列构建 pH 传感器阵列,但可以理解,也可以使用更多或更少的膜,而没有离开本发明的范围。

[0018] 各传感器膜包括不同的 pH 指示剂浓度,其分别标记为 In_1 、 In_2 、 In_3 和 In_4 。为了本文实施例的目的,各膜的指示剂浓度范围是大约 0.01 ~ 10%。

[0019] 通常从水溶性聚合物、醋酸纤维素、或聚 2-羟乙基甲基丙烯酸酯 (pHEMA) 制备固体膜。指示剂可以是比色 pH 指示剂、荧光 pH 指示剂或者其他本领域中已知或将来开发的适

当的 pH 指示剂。比色 pH 指示剂优选自下列：酚红、甲酚红、间-甲酚紫、百里酚蓝、溴氯酚蓝 W. S.、溴甲酚绿、氯酚红、溴甲酚紫、溴百里酚蓝 (bromothymol blue)、中性红、酚酞、邻-甲酚酞 (o-cresolphthalein)、耐尔蓝 A (nile blue A)、百里酚酞 (thymolphthalein)、溴酚蓝、间甲酚紫 (metacresol purple)、孔雀绿 (malachite green)、亮绿 (brilliant green)、结晶紫 (crystal violet)、甲基绿 (methyl green)、甲基紫 2B (methyl violet 2B)、苦味酸、萘酚黄 S (naphthol yellow S)、间胺黄 (metanil yellow)、碱性品红 (basicfuchsin)、焰红染料 B (phloxine B)、甲基黄 (methyl yellow)、甲基橙 (methyl orange) 和茜素 (alizarin)。

[0020] 为了说明本发明的观念,我们对由于添加不同量的指示剂材料到样品溶液中而导致的低碱度溶液 pH 变化 (即扰动) 进行了理论计算。尽管包括本文所公开的实施例以说明本发明的宽实用性,但本领域技术人员仍应理解,本文实施例中所公开的技术代表发明人发明的技术,由此可被认为构成了其实施的示例性模式。但是,本领域技术人员在本发明的指导下,可以意识到在本所公开的具体实施方案中可以进行许多变化仍得到相同或相似的效果,而不离开本发明的范围。本文所公开的校准方法和外推方法可用于利用由比色计、分光光度计或者荧光光谱仪测量的 pH 响应确定低碱度样品的 pH。

[0021] 如图 1 所示,示意图显示溶液中加入各种量的百里酚蓝后 pH 如何变化。图 1 的结果显示 ΔpH (即 $\text{pH}_{\text{实际}} - \text{pH}_{\text{测量}}$) 随着添加到溶液中指示剂浓度的增加而变得越来越大。此结果清楚地说明弱缓冲 (即弱碱性) 溶液可以由于指示剂添加而被明显地扰动。

[0022] 继续参考图 1, pH 扰动的理论计算证明,碱度越低则 ΔpH 越大。因此,得出结论,加入的指示剂越多,碱度越低,则溶液 pH 值变化或者扰动越大。

[0023] 为证实该结论,我们进行了第一实验,其中采用一系列 100ppm 碳酸盐缓冲液,并在在指示剂添加前后测量不同溶液的 pH 值。图 2 显示了来自该第一实验的结果。如图 2 所示,一系列图显示了在指示剂添加前后,所测量的不同溶液的 pH。基于该结果,很明显,当将 20ppm 酚红 (酸形式) 加入溶液时, pH 测量结果显著地降低。图 2 还显示,随着酚红的量从 0ppm (菱形点) 增加到 100ppm (方形点),观察到 pH 值逐渐降低。当再加入 100ppm 酚红时, pH 被大大地扰动。如图 2 所示,随着加入 100ppm 酚红, pH 值高于大约 8.0 的溶液变得基本上无法区分。基于这种结果,显然地,对由于指示剂添加而导致的 ΔpH 进行矫正,可以用于获得溶液的真实 pH ($\text{pH}_{\text{实际}}$)。

[0024] 因此,我们进行了第二实验,用以说明外推法可用于确定 pH。在该第二实验中,选择两份 100ppm 的碳酸盐缓冲液,原始 pH 值分别为 8.12 和 8.53。使用 pH 反应范围是大约 6.8 ~ 8.2 的指示剂酚红。当酸形式的酚红被逐步加入到弱缓冲碳酸盐溶液时,用 pH 测试仪监控溶液的 pH 值。

[0025] 如图 3 所示,针对各 100ppm 碳酸盐缓冲液,描绘了所测量 pH 与所添加 100pp 指示剂的线性关系。代表从各指示剂类型测量的线性函数经过外推至当指示剂含量为零时,得到截距点。如图 3 所示,截距点,也就是 8.13 和 8.46,代表当指示剂浓度为零时溶液的 pH。按此方法,截距点代表在加入指示剂之前,溶液的原始 pH。明显地,截距点非常接近于碳酸盐缓冲液最初的 pH 值,也就是分别为 8.12 和 8.53。相应地,我们的实验显示当碱度非常低时,由于指示剂条件引起的 pH 扰动是不可忽略的。此外,我们的实验显示本发明示范性的线性外推技术对于获得样品的原始 pH 值是非常有用的。下面更详细地描述示范性的外推

技术中所使用的运算法则。

[0026] 为了矫正由于添加指示剂引起的 pH 变化,利用具有足够高碱度的合成冷却标准溶液,相对于具有一系列指示剂浓度的固体 pH 传感器,建立校准曲线。在第三实验中,采用相同的固体 pH 传感器测量样品 pH,且计算各指示剂浓度的 pH 测量。将 pH 测量针对指示剂浓度进行绘图,得到拟合方程式,外推至指示剂浓度为零时,获得未知样品最初的 pH(即 pH 实际)。

[0027] 如图 4 所示,在四个指示剂浓度(0.5%、1.0%、1.5%、2.0%)上形成校准曲线。测量低碱度(小于 100ppm)未知样品的 pH 值。

[0028] 图 5 为表示来自本发明所提供示例性线性外推法的结果的图。正如可以从图 5 看出的,方程式的截距点(即当指示剂浓度为零时)为 9.18。由于截距点代表在加入指示剂之前的 pH,因此我们的外推法显示截距点 9.18 与 pH 测试计测量的实际 pH 值 9.07 非常接近。

[0029] 为获得图 4 和图 5 中所示的结果,利用四膜阵列构建 pH 传感器阵列,其中各传感器膜含有不同的 pH 指示剂浓度,分别标为 In_1 、 In_2 、 In_3 和 In_4 。接着,从一系列具有特定已知碱度值的 pH 标准溶液,测量各 pH 传感器膜的吸光度响应。

[0030] 接下来,从前两步所测量的数据,形成各 pH 传感器膜的校准曲线。为进行下面所显示的计算,校准函数被分别表示为 f_1 、 f_2 、 f_3 和 f_4 。

[0031] 接着,将未知 pH 样品应用到 pH 传感器阵列,并且对各膜测量吸光度值。为进行下面所显示的计算,膜 1、2、3 和 4 上的吸光度值被分别标为 A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_4 。

[0032] 接着,从各相应的校准方程式和吸光度值,计算各膜上初步的 pH 值。例如,膜 1-4 的 pH 值分别表示为: $pH_1 = f_1(A_1)$, $pH_2 = f_2(A_2)$, $pH_3 = f_3(A_3)$ 和 $pH_4 = f_4(A_4)$ 。注意如果未知样品的碱度值等于校准标准溶液,则这些 pH 值将都相同。但是,如果未知样品溶液的碱度值不等于校准标准溶液,则 pH_1 、 pH_2 、 pH_3 和 pH_4 将均具有不同的值。

[0033] 在最后的步骤中,基于以下列出的外推法运算法则,根据最初 pH 值 pH_1 、 pH_2 、 pH_3 和 pH_4 计算未知样品溶液真正的 pH 值。

[0034] 方程式 1:

[0035]

$$pH_{\text{样品}} = \frac{\begin{vmatrix} \sum(In_i^2) & \sum(In_i * pH_i) \\ \sum In_i & \sum pH_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum(In_i^2) & \sum In_i \\ \sum In_i & N \end{vmatrix}}$$

[0036] 其中 i 是膜的编号;

[0037] In_i 代表第 i 膜中的指示剂浓度;

[0038] pH_i 是从第 i 膜的吸光度和相应的校准方程式 f_i 计算得到的表观 pH 值;以及

[0039] N 是 pH 膜的数量。

[0040] 图 5 是示范性外推法运算法则的示意图。图 5 所示结果的计算和相应的数学过程如下所示:

[0041] 方程式 2:

[0042] $N = 4$, $i = 1, 2, 3$ 和 4

[0043] 方程式 3 :

$$[0044] \quad \Sigma (\ln_i)^2 = 2.02+1.52+1.02+0.52 = 7.5$$

[0045] 方程式 4 :

$$[0046] \quad \Sigma \text{pH}_i = 8.38+8.60+8.75+9.00 = 34.73$$

[0047] 方程式 5 :

$$[0048] \quad \Sigma \ln_i = 2.0+1.5+1.0+0.5 = 5.0$$

[0049] 方程式 6 :

$$[0050] \quad \Sigma \ln_i \cdot \text{pH}_i = 2.0 \times 8.38 + 1.5 \times 8.60 + 1.0 \times 8.75 + 0.5 \times 9.00 = 42.91$$

[0051] 方程式 7 :

$$[0052] \quad \text{pH 样品} = (34.73 \times 7.5 - 5.0 \times 42.9) / (7.5 \times 4 - 5.0 \times 5.0) = 9.18$$

[0053] 因此,根据上述结果,本发明提供了用于直接测量低碱度样品 pH 的系统,其通过提供具有多个指示剂浓度的传感器阵列,以及将未知样品的所测量 pH 校准至从已知样品生成的校准曲线,以获得未知样品的 pH。根据本发明,这些测量值被及时地同时记录下来,以避免包括逐步添加指示剂的冗长费时的测量和计算过程。作为例子,本发明的示例性固体膜传感器显示出对目标的快速响应,其中对于原位(现场)测试,在大约五分钟内获得结果。

[0054] 如本文所述,本发明的系统和方法包括基于固体聚合物的 pH 传感器膜阵列,具有一系列不同的指示剂浓度。一旦构建,将传感器阵列应用于含有已知 pH 和碱度的样品溶液。来自各指示剂浓度的 pH 响应被同时测量和记录。接下来,通过将所测量 pH 针对各指示剂浓度进行作图而生成校准函数(即校准曲线)。因此,校准曲线代表所测量 pH 相对于指示剂浓度的图。接下来,生成代表各 pH 测量的拟合函数(即拟合方程式)。外推拟合方程式,以确定当指示剂浓度为零时的截距点,由此获得准确的、在加入指示剂之前、样品的原始 pH 值结果。通过此方法,校准曲线代表基线参考函数,其可用于校准来自各指示剂部分的离散结果,以快速地、简单地研究来自添加不同指示剂的 pH 扰动,以便外推得到低碱度样品的 pH 值。

[0055] 尽管已经在典型的实施方案中示出和描述了本发明,但并不是为了将本发明限制于所显示的细节,因为可以进行各种修改和替换而不以任何方式脱离本发明的范围和原理。因此,仅仅利用常规的实验,本领域技术人员就可以得到对本文所公开内容的进一步修改和等同方案,因此所有这些修改和等同方案都被认为是在后面权利要求书中所限定的本发明的范围内。

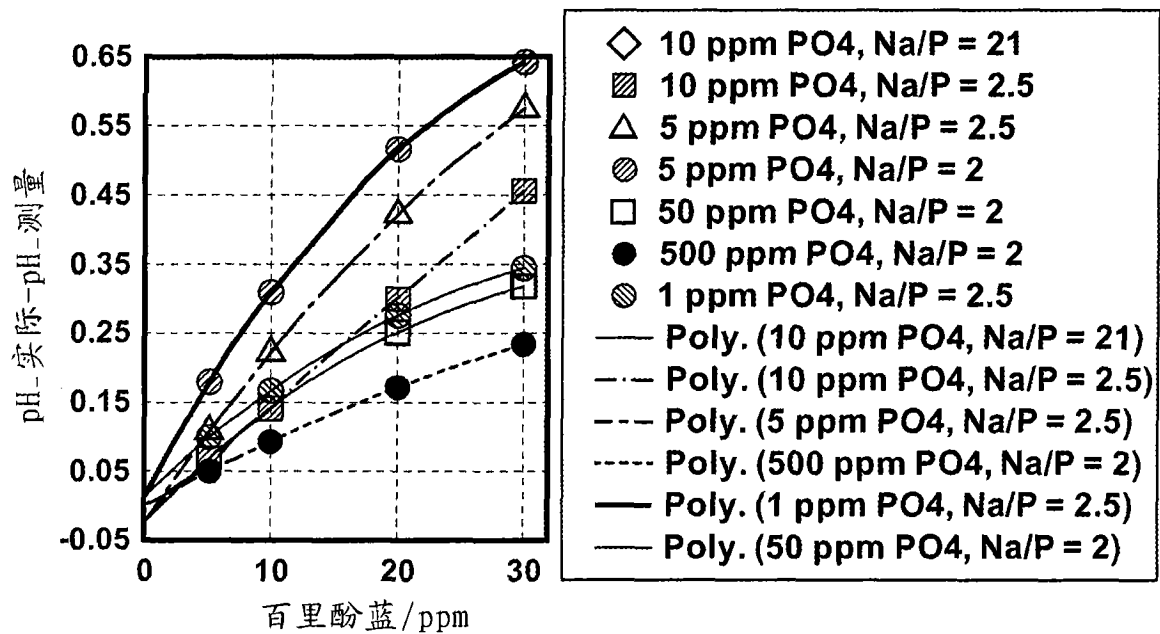


图 1

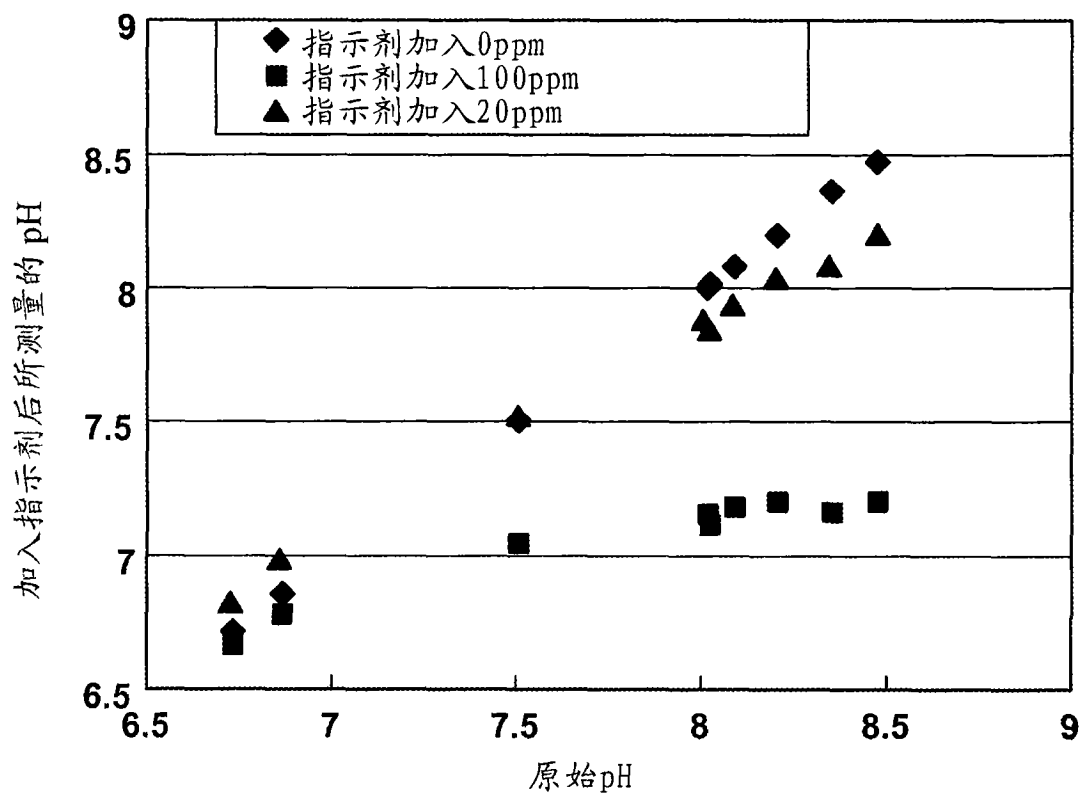


图 2

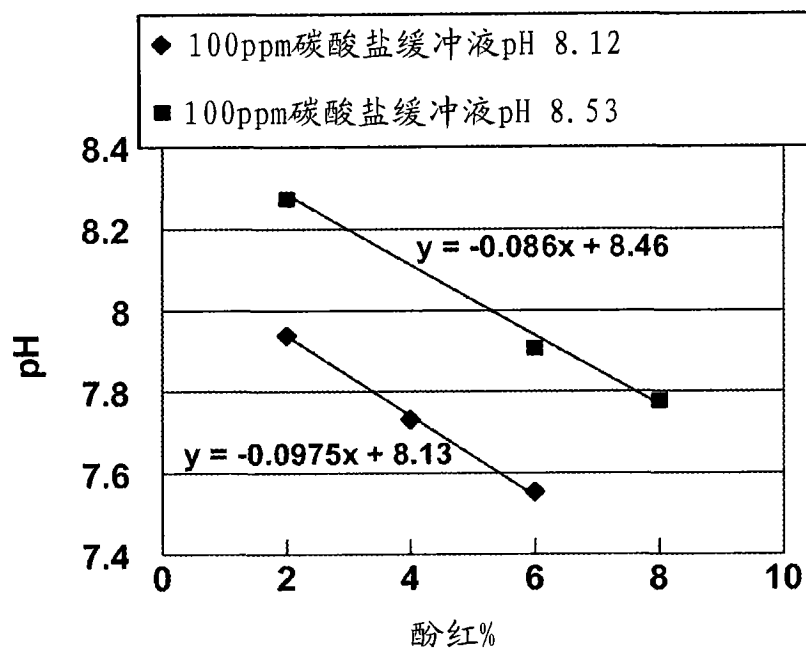


图 3

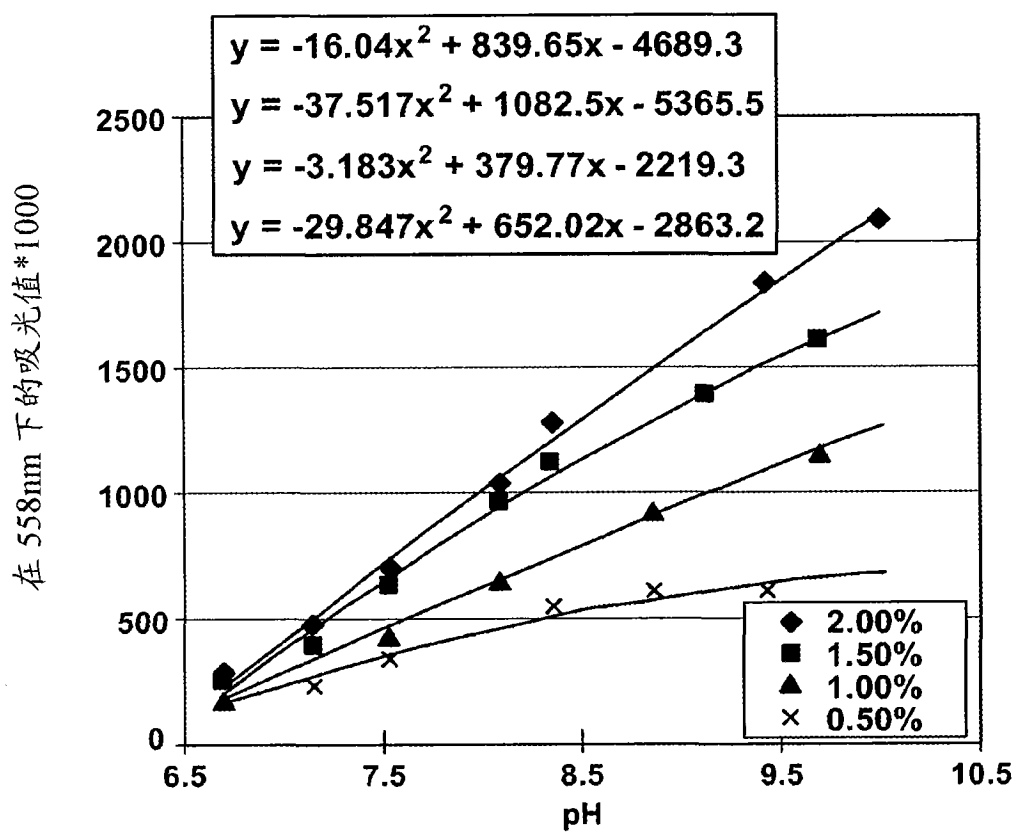


图 4

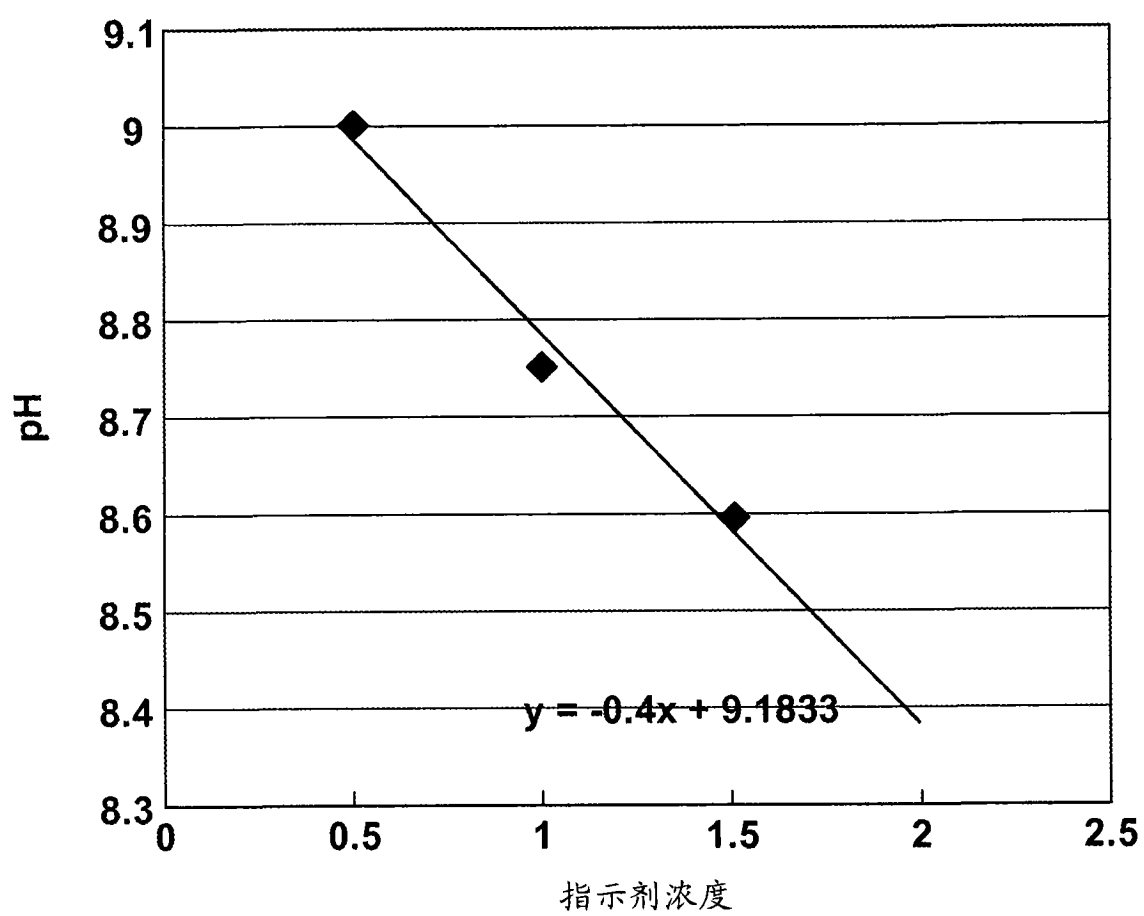


图 5