



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102119056 B

(45) 授权公告日 2015. 05. 20

(21) 申请号 200980131402. 2

D21H 25/00(2006. 01)

(22) 申请日 2009. 07. 10

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

2008903553 2008. 07. 11 AU

2008905776 2008. 11. 07 AU

US 5904824 A, 1999. 05. 18, 说明书第 3 栏倒数第 1 段 - 第 5 栏第 1 段和附图 1-2.

US 5904824 A, 1999. 05. 18, 说明书第 3 栏倒数第 1 段 - 第 5 栏第 1 段和附图 1-2.

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 02. 11

CN 101137440 A, 2008. 03. 05, 权利要求 9 和 21.

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/AU2009/000889 2009. 07. 10

US 2007137812 A1, 2007. 06. 21, 说明书第 1-7 页和附图 1-7.

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/003188 EN 2010. 01. 14

US 2004242794 A1, 2004. 12. 02, 说明书第 1-28 页和附图 1-2.

(73) 专利权人 莫纳什大学

地址 澳大利亚维多利亚

审查员 张晗

(72) 发明人 沈卫 李煦 田君飞

莫希杜什·萨马德·卡恩

吉尔·加尼尔

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

代理人 蔡胜有 吴鹏章

(51) Int. Cl.

B01L 3/00(2006. 01)

B81C 1/00(2006. 01)

权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

微流体系统的制备方法

(57) 摘要

提供一种在亲水衬底表面上制备具有微流体通道的微流体系统的方法,该方法包括如下步骤:疏水化衬底表面;定位限定衬底表面的掩模,所述掩模具有限定微流体通道的外围的开放区域;以及向通过掩模的开放区域所暴露的衬底表面区域施加辐射处理,所述暴露区域变得亲水,因此形成所述微流体通道。

1. 一种在由纤维素材料形成的柔韧性亲水衬底表面上制备具有微流体通道的微流体系统的方法,所述方法包括如下步骤:

疏水化所述柔韧性亲水衬底表面;

定位限定所述衬底表面的掩模,所述掩模具有限定所述微流体通道的外围的开放区域;以及

向通过所述掩模的开放区域暴露的所述衬底表面区域施加辐射处理,使暴露的所述衬底表面区域变得亲水,因此形成所述微流体通道。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述纤维素材料选自纸、织造材料和非织造材料。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其中使用包含溶解在挥发性溶剂中的疏水物质的溶液疏水化所述表面,所述疏水物质选自烷基乙烯酮二聚物、烯基琥珀酸酐、松香、胶乳、硅氧烷、含氟化学品、聚烯烃乳液、树脂和脂肪酸、天然和合成蜡。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述辐射处理包括等离子体或电晕处理。

5. 一种通过如前述权利要求中任一项所述的方法制备的微流体系统。

6. 一种在由纤维素材料形成的柔韧性亲水衬底表面上制备具有微流体通道的微流体系统的方法,所述方法包括如下步骤:在所述柔韧性亲水衬底表面上印刷疏水剂,从而在其上提供亲水-疏水反差,以限定所述微流体通道的外围边缘。

7. 根据权利要求 6 所述的方法,其中所述疏水剂是溶解在溶剂中的疏水分子、低聚物或聚合物。

8. 根据权利要求 6 所述的方法,其中所述疏水剂是乳化或悬浮于水中形成水基墨的疏水分子、低聚物或聚合物。

9. 根据权利要求 6 所述的方法,其中所述疏水剂是内部施胶材料或表面施胶材料。

10. 根据权利要求 9 所述的方法,其中所述内部施胶材料为烷基乙烯酮二聚物、烯基琥珀酸酐、松香、硅氧烷、含氟化学品、聚烯烃乳液、树脂和脂肪酸、天然和合成蜡中的任一种。

11. 根据权利要求 9 所述的方法,其中所述表面施胶材料为苯乙烯马来酸酐或胶乳。

12. 根据权利要求 9 所述的方法,其中所述疏水剂溶解在有机溶剂中或乳化。

13. 根据权利要求 6 所述的方法,还包括在印刷之后的活化步骤以活化所述疏水剂,包括与衬底形成共价键。

14. 根据权利要求 13 所述的方法,其中所述活化步骤包括老化、热处理或辐射。

15. 根据权利要求 6 至 14 中任一项所述的方法,其中所述纤维素材料选自纸、织造材料和非织造材料。

16. 根据权利要求 6 至 14 中任一项所述的方法,其中所述印刷是通过喷墨或其他接触和非接触法印刷应用进行的。

17. 一种通过如权利要求 6 至 16 中任一项所述的方法制备的微流体系统。

微流体系统的制备方法

技术领域

[0001] 本发明一般性地涉及微流体系统和所述系统在低成本衬底（例如纸、织造织物和非织造纤维素材料）上的制备。

背景技术

[0002] 在纸以及其他织造纤维和非织造纤维且多孔表面上制造廉价微流体通道的概念已被成功证实。建立这类系统的目的是制备低成本生物分析和指示装置，其直接设想应用于检测饮用水中的水性细菌和金属离子，体液中某些特定蛋白质或生物标记物的存在（癌症测试），人类或动物血液和尿样中的葡萄糖和其他生物化学物质的水平。低成本纸基生物分析和环境分析装置的研发迄今已允许快速和单步骤反应以检测流体样品中的分析物。

[0003] 哈佛大学由 Whitesides 引领的研究（参见 Martinez, A. W., Phillips, S. T., Butte, M. J. 和 Whitesides G. M., “Patterned Paper as a platform for Inexpensive, Low-Volume, Portable Bioassays”, *Angew. Chem. Int. Ed.* 46, 1318-1320 (2007)）近来已通过印刷传统光刻胶聚合物 (PMMA) 的图案而在纸上产生通道。纸提供毛细通道，而光刻胶聚合物形成限定通道的阻挡物。最近，哈佛团队进一步开发了他们在纸中制造精细通道的光刻胶技术。他们使用喷墨印刷机在透明聚合物膜上印刷图案，所述聚合物膜被用作光刻法的掩模，从而按照他们发表的方法在纸中产生光刻胶图案 (Martinez, A. W., Phillips, S. T., Wiley, B. J., Gupta, M. 和 Whitesides, G. M. *Lab on a Chip*, (2008) DOI:10.1039/b811135a)。这表明，可使用光刻胶阻挡方法在纸中产生精细微流体通道，并且这些通道具有与用其他衬底（例如硅晶片）制造的微流体通道相当的分辨率。与使用这类光刻技术相关的问题在于当纸折皱或起皱时，其导致硬且脆的阻挡可能易于受损。

[0004] 在另一发表的论文中，哈佛团队使用 x-y 绘图仪在纸表面上绘出通道（参见 Bruzewicz, D. A., Reches, M. 和 Whitesides, G. M., “Low-Cost Printing of Poly(dimethylsiloxane) Barriers to Define Microchannels in Paper”, *Anal. Chem.* 80, 3387-3392 (2008)）。绘图仪的笔用聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 在己烷中的疏水溶液填充，并且产生数厘米长、通道宽为 1 厘米至 2 毫米的过多图案。他们在纸表面上产生的第二种微通道系统克服了第一种微通道系统的主要缺点，即传统光刻胶聚合物的硬且脆的阻挡材料。然而，他们的第二种系统具有差的通道分辨率和清晰度 (definition)，这是因为不能控制 PDMS 溶液在纸片中的渗透。鉴于潜在的健康相关问题，使用硅氧烷来限定微通道的壁也需要 FDA 批准。两种制备方法都导致限定微通道外围的物理阻挡。

[0005] Abe 等人 (Abe, K ;Suzuki, K ;Citterio, D. “Inkjet-printed microfluidic multianalyte chemical sensing paper”, *Anal. Chem.* (2008) 6928-6934) 提出了使用疏水聚合物 (PS) 溶液浸渍纸的方法。在聚合物物理覆盖在纤维表面并且干燥之后，他们使用微滴分配装置传递溶剂液滴以从纤维表面溶解聚合物，从而通过恢复纸的亲水性来形成微流体通道。这些作者还使用微滴分配装置将化学敏感剂传递至它们的图案中，以形成用于生

物医学检测的功能装置。

[0006] 在标题为 Molecular Transfer lithography 的 US 7125639 中,发明人 Charles Daniel Schaper(分类号 430/253,430/258) 描述了将衬底图案化的方法,包括如下步骤: 1) 用光敏材料涂布阻挡物,2) 将光敏材料暴露于辐射图案,和 3) 将暴露的材料物理转移至衬底。

[0007] 在 Paul G Clem 等人的标题为 Self-assembled monolayers direct patterning of surfaces 的 US 6518168(提交日 11/02/1998) 中,一种用于产生沉积在表面上的材料的图案的技术包括在表面上以某种图案形成自组装单层并且通过化学气相沉积或通过溶胶-凝胶处理以与自组装单层图案互补的图案将材料沉积在表面上。所述材料可以是金属、金属氧化物等。

[0008] 在 BUTTE, Manish, J. 等人的标题为 MICROFLUIDIC DETECTOR 的 WO/2008/060449(申请日 9-11/2007) 中,提供了用于确定指示疾病状况的分析物的制品和方法。在某些实施方案中,其中描述的制品和方法可用于定性或定量确定流体样品中组分(例如特定类型的细胞)的存在。在一个特定的实施方案中,提供用于快速检测 T 细胞的低成本微流体系统。所述微流体系统可在通道中使用固定抗体和粘附分子以捕获来自流体样品(例如少量血液)的 T 细胞。所捕获的 T 细胞可使用 T 细胞受体(TCR) 特异性抗体用金属胶体(例如金纳米粒子)标记,并且金属银可以催化沉淀至细胞上。所捕获的 T 细胞的数量可被计算并且能指示患者的疾病状况,例如重症联合免疫缺陷或人类免疫缺陷病毒。

[0009] 这些专利申请和研究论文提出了使用多种材料(包括使用纸和其他非织造材料或多孔材料作为衬底)来制造微流体系统和装置的方法。可以使用纸和其他非织造材料或多孔材料以分批操作制备微流体通道。然而,所有上述系统都使用无法容易地适用于低成本、高速工业制备的复杂且耗时的方法。此外,所有这些先前的系统都依赖于限定微流体通道的物理阻挡。

[0010] 本发明的一个目的是提供一种克服了现有技术方法的至少一个缺点的微流体系统的制备方法。

发明内容

[0011] 鉴于此,根据本发明的一个方面,提供一种在亲水衬底表面上制备具有微流体通道的微流体系统的方法,该方法包括如下步骤:

[0012] a) 疏水化衬底表面;

[0013] b) 定位限定衬底表面的掩模,所述掩模具有限定微流体通道的外围的开放区域;和

[0014] c) 向通过掩模的开放区域所暴露的衬底表面区域施加辐射处理,所述暴露区域变得亲水,因此形成所述微流体通道。

[0015] 根据本发明的另一个方面,提供一种根据上述方法制备的微流体系统。

[0016] 根据本发明的方法在衬底中提供亲水疏水反差。与使用物理阻挡的现有技术方法不同,这使得衬底材料保持其原来的柔韧性。

[0017] 可以通过包括纸、织造织物和非织造材料的纤维素材料来提供亲水衬底。纸产品可包括滤纸、办公用纸、层析纸、薄纸(手巾、面巾、浴巾)、报纸、包装纸、特种纸等。可以使

用任何本领域已知的技术来控制或排布纸纤维的优先排列。可用任何常见技术（包括涂布、表面施胶、喷雾等）对纸进行表面处理。

[0018] 亲水处理用以降低衬底表面的表面能。可选择多种方法使表面 / 衬底疏水化。本发明的一个实施方案包括吸收或吸附溶解在挥发性溶剂中的疏水物质的溶液。疏水物质包括但不限于烷基乙烯酮二聚物 (AKD)、烯基琥珀酸酐 (ASA)、松香、胶乳、硅氧烷、含氟化学品、聚烯烃乳液、树脂和脂肪酸、天然和合成蜡以及本领域已知的任何疏水物质。另一应用是通过疏水物质的气相沉积。

[0019] 辐射处理用以显著增加衬底表面的表面能,使得处理区域具有较大的水和水性液体润湿性。随后,多孔材料的液体润湿性提供毛细驱动力并允许液体渗入由辐射处理产生的通道并且沿着该通道渗透。

[0020] 辐射处理可包括等离子体、电晕和其他辐射处理。

[0021] 微流体通道可优选为传输流体以并行分析不同检测区域的图案。典型的通道尺寸在 10 厘米至 1 毫米的长度和 2 厘米至 100 微米的宽度内变化。流体系统通常具有与原始衬底相同的刚性、机械性质和柔软度。

[0022] 使用能够提供应需的微流体通道图案变化的高容量、高速和连续的印刷法来制备微流体系统也是有利的。

[0023] 鉴于此,根据本发明的又一个方面,提供一种在亲水衬底表面上制备具有微流体通道的微流体系统的方法,该方法包括如下步骤:在所述衬底表面上印刷疏水剂,从而在其上提供疏水 / 亲水反差,以限定所述微流体通道的外围边缘。

[0024] 根据本发明的还一个方面,提供一种根据上述方法制备的微流体系统。

[0025] 疏水剂的印刷在微流体通道的外围边缘和通道自身之间提供疏水 / 亲水反差。这与设法沿着微流体通道的外围边缘提供物理阻挡的现有技术印刷法不同。

[0026] 本发明的优点在于可实现低制备成本、高处理速度和超常的图案精确度。在本发明的一个形式中,疏水化学品(蜡、聚合物、低聚物或分子)溶解在有机溶剂中并被印刷。在另一个形式中,疏水化学品的稳定水性乳液被印刷。所印刷的衬底可被进一步活化以通过分子重排(包括产生共价键)充分产生疏水性。特别感兴趣的是造纸工业中使用的疏水材料,例如内部施胶剂(AKD、ASA、松香)和表面施胶剂(聚合物、胶乳)。本发明首次提出以高速度、低成本和高质量制备微流体系统的可能性。

[0027] 可能的制造排布包括:全部串联排列的 1) 退绕机, 2) 用于疏水阻挡的第一印刷站, 3) 红外炉(用于活化)和 4) 重绕机。任选 5) 冷却单元和 6) 用于活性系统(生物分子,反应系统)的第二印刷单元。应当选择数码印刷机(喷墨印刷机),可以达到应需的图案变化。本发明理想地适于制造用于健康或环境分析和控制的纸基诊断装置。可使用单线或甚至是单一印刷机通过印刷制备全流体(complete fluidic)。

[0028] 可以用疏水剂形成墨。第一选择是将疏水剂溶解在有机溶剂中以使用常见技术印刷。第二选择是将疏水剂乳化为稳定的水性墨。该后一选择的优点在于不排放挥发性有机化合物(VOC)。在制备条件下应避免 VOC,这是因为其重大的健康隐患和火灾隐患。

[0029] 印刷之后可进一步活化疏水图案以通过分子重排(包括产生共价键)充分产生疏水性。这通过老化、加热、反应或辐射完成。该处理还将改善了图案的耐久性。

[0030] 虽然所有疏水化合物均可用作墨,但是造纸工业中常见的内部和表面施胶剂由于

其效力、低成本和低毒性而特别有吸引力。此外,它们满足许多健康和安全需要。特别感兴趣的是烷基乙烯酮二聚物 (AKD)、烯基琥珀酸酐 (ASA)、松香,以及用于表面施胶的胶乳和聚合物。

[0031] 使用接触和非接触印刷法和设备(例如凹版印刷、胶版印刷、丝网印刷、喷墨印刷等)可以在纸上印刷印刷液体以制备微流体系统和装置。本申请中,申请人使用数码喷墨印刷来说明纸上微流体系统的制备。

[0032] 与先前的物理阻挡制备方法相比,根据本发明的新制备方法使得能够以商业规模和低成本制备纸基微流体装置。亲水-疏水反差的产生是比物理阻挡方法更简单的限定纸中的液体渗透通道的方法。

[0033] 使用数码印刷技术以在纸表面上选择性地递送纤维素疏水化学品从而形成亲水-疏水反差具有某些其他优点。数码印刷提供电子图案变化,其允许在不同装置的制备过程中快速改变。由于亲水-疏水反差制备的理念可维持纸的原始柔韧性,所以其提供天然的抗弯曲性和耐折叠性,这基本克服了用其他方法制备的装置所经常遇到的差的抗弯曲性和耐折叠性。这些特性对于个人护理装置应用(例如尿布指示器应用)来说特别有吸引力。

附图说明

[0034] 参考附图便利地进一步描述本发明,所述附图阐述了根据本发明的微流体系统的优选实施方案。本发明的其他实施方案也是可能的,因此,附图的特性不应被理解为取代本发明的说明。

[0035] 在图中:

[0036] 图 1 显示了根据本发明的第一实施方案制备的单一微流体通道;

[0037] 图 2 显示了根据本发明的第一实施方案所制备的滤纸上的毛细通道图案;

[0038] 图 3 显示了根据本发明的第一实施方案在双层薄纸上制备的毛细通道图案;

[0039] 图 4 显示了根据本发明的第一实施方案在厨房纸巾上制备的毛细通道图案;

[0040] 图 5 显示了根据本发明的第一实施方案在复印纸上制备的毛细通道图案;

[0041] 图 6 显示了根据本发明的第一实施方案在新闻印刷纸上制备的毛细通道图案;

[0042] 图 7 显示了根据本发明的第二实施方案制备的印刷的微流体图案;

[0043] 图 8 和 9 显示了根据本发明的第二实施方案使用台式数码喷墨印刷机在滤纸上印刷的不同微流体图案;

[0044] 图 10 显示了根据本发明的第二实施方案所印刷的微流体图案的抗弯曲性和耐折叠性;和

[0045] 图 11 和 12 显示了根据本发明的第二实施方案所印刷的微流体通道和免疫组织化学染色酶的图案。

[0046] 发明详述

[0047] 参考以下的描述了本发明可能的不同利用的实施例来对本发明进行说明。然而,应当理解本发明并不限于这些实施例。

[0048] 实施例 1

[0049] 在图 1 所示的本发明的一个实施方案中,通过浸渍于溶解在庚烷中的 AKD 的溶液

使滤纸疏水化并且使溶剂蒸发。在炉中在 100°C 下对经处理的纸进行 30 至 50 分钟的热处理。在第二步骤中,向纸衬底施用固体掩模并将该系统暴露于等离子体反应器 (K1050X 等离子体灰化机 (Quorum Emitech, UK), 在 12 至 50W 的强度下达 10 至 100 秒)。等离子体处理在样品上未留下可见标记,且样品保持其原始柔软度和柔韧性。经处理的通道变得可被水溶液润湿并且允许所述溶液的毛细管运输。可良好地控制通道的宽度。图 1 显示了在滤纸上用 1mm 宽的掩模处理的单通道,并且显示了被水润湿之前和之后的通道。

[0050] 经处理的通道可具有如图 2 所示的任何几何图案。首先,图案包括样品配料区域 (A) 和一个或多个产生检测井或反应井的通道 (B)。其次,图案包括与一个或多个检测井或反应井连接的一个或多个样品配料区域。在该实施例中,通过等离子体处理产生通过毛细通道与多个检测井 / 反应井连接的一个样品配料区域。

[0051] 向样品配料区域加入几滴水,水迅速且准确地传递至如图 2 所示的待加入指示剂的所有的检测井 / 反应井。

[0052] 实施例 2

[0053] 在如图 3 所示的本发明的第二实施方案中,在复合纤维素材料上形成微通道。与实施例 1 相似地处理双层 Kleenex 传统面巾纸。图 3 表示 Kleenex 双层薄纸上的液体填充的微通道。

[0054] 实施例 3

[0055] 在如图 4 所示的本发明的第三实施方案中,在层状模压的纸基片 (paper basesheet) 上形成微通道。与实施例 1 相似地处理三层模压纸巾 (Kimberly-Clark Viva)。图 4 表示三层 Kimberly-Clark Viva 纸巾上的液体填充的微通道。

[0056] 实施例 4

[0057] 在如图 5 所示的本发明的第四实施方案中,在包含纳米和微米填料的非织造材料上产生微通道。反射复印纸 (80gsm) 包含粒度通常为 1 至 2 微米的 15% 的碳酸钙填料。反射复印纸被施胶且不需要疏水处理。如图 5 所示,等离子体处理在复印纸上产生微通道图案。

[0058] 实施例 5

[0059] 在如图 6 所示的本发明的第四实施方案中,在包含纳米和微米填料、木质纤维素纤维和再生纸纤维的非织造材料上产生微通道。Norstar 新闻纸 (55gsm) 包含 > 50% 的再生纤维、木质纤维素纤维、粒度通常为 1 至 2 微米的碳酸钙和粘土填料。等离子体处理在 Norstar 新闻纸上产生微通道图案。

[0060] 余下的实施例阐述了利用喷墨印刷技术来限定微流体通道的本发明的第二实施方案。

[0061] 实施例 6

[0062] 使用烯基乙烯酮二聚物 (液体 AKD) 来配制作作为溶剂基和水基的印刷流体。可以选择本领域已知的任何方法使表面 / 衬底疏水化。本发明的一个实施方案包括吸收或吸附溶解在挥发性溶剂中或以乳液形式悬浮的疏水物质的溶液。疏水物质包括但不限于 AKD、ASA、松香、胶乳、硅氧烷、含氟化学品、聚烯烃乳液、树脂和脂肪酸、天然和合成蜡以及本领域已知的任何疏水物质。使用 AKD 可溶于其中的溶剂配制溶剂基印刷流体。它们通常包括但不限于氯仿、二氯甲烷、甲苯、己烷、庚烷及其混合物。如果需要印刷图案的可见性,也可

以向印刷流体中加入溶剂可溶的染料。可以使用一种极性溶剂或极性溶剂的混合物与水配制水基印刷流体。这些溶剂包括但不限于丙酮、醇类和酯类。AKD 可首先溶解于极性溶剂或极性溶剂的混合物中,然后再与水混合。疏水剂在印刷流体中的浓度为 0.5%~8% v/v。

[0063] 在该实施例中,使用数码喷墨印刷法将印刷流体印刷至纸上。在 Whatman #4 滤纸上印刷微流体图案。印刷流体显示出对于纸片的良好渗透性并且快速干燥。对印刷图案进行高温处理以固化 AKD,以使其与纤维素反应并产生强疏水性。

[0064] 图 7 显示了印刷的微流体图案,其中用所印刷的疏水区域限制液体渗透通道。

[0065] 实施例 7

[0066] 在图 8 和图 9 所示的该实施例中,申请人显示了使用印刷法以连续方式、大量、应需的图案变化和非常低的成本来制备微流体系统。

[0067] 图 8 显示了在大的滤纸片上用台式数码喷墨印刷机印刷的不同的微流体图案。喷墨印刷可在 A4 纸上以连续方式进行印刷。

[0068] 图 8 和图 9 显示了不同的微流体图案可被设计并形成页面数据 (page-data)。数码喷墨印刷能以任何期望的顺序并且以任何所需的量印刷不同的图案。

[0069] 实施例 8

[0070] 在如图 10 所示的该实施例中,申请人显示了通过在纸上印刷疏水剂所制备的微流体装置能够保持纸片的柔韧性并克服与 Martinez 等人的先前设计相关的问题 (Angew. Chem. Int. Ed. 46 (2007) 1318-1320)。

[0071] 图 10 显示了印刷的微流体图案的抗弯曲性和耐折叠性。弄皱所印刷的纸微流体图案,但是在纸展开之后其仍旧运行良好。

[0072] 实施例 9

[0073] 申请人在图 11 和 12 中显示了可以使用印刷法来制备用于生物医学测试的装置。印刷法的独特优点在于它们可将数种流体转移至纸或其他非织造材料上,以形成由微流体系统和用于测试目的的生物医学 / 化学试剂组成的图案。现代印刷法能够为待印刷至设计目的的微流体系统内的生物医学 / 化学试剂提供精确的配准 (registration)。因此,现代印刷法能够以单一过程制备由微流体通道和生物医学 / 化学检测机制组成的装置。

[0074] 图 11 显示了微流体通道的图案,其中随后印刷免疫组织化学染色酶 (辣根过氧化物酶)。通过中心样品配料位点将有色衬底 (3,3'-二氨基联苯胺四盐酸盐) 引入微流体系统之后,其渗入通道中。获得颜色变化,确认了印刷的免疫组织化学染色酶在印刷之后是活性的。图 12 显示了使微流体系统干燥之后的颜色变化。

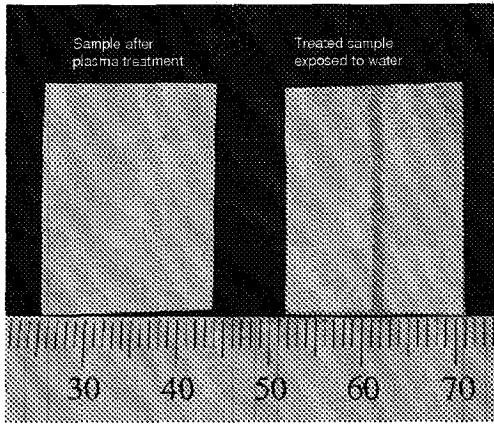


图 1

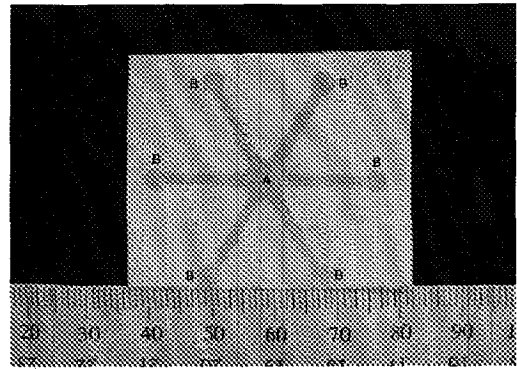


图 2

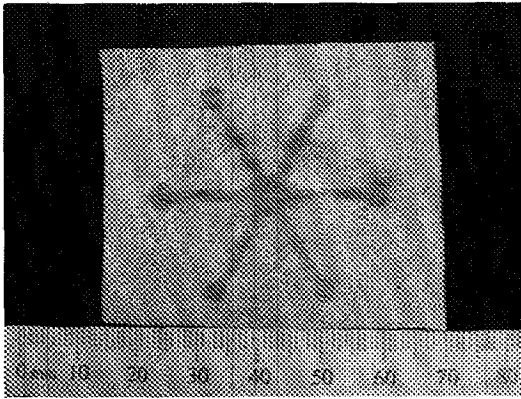


图 3

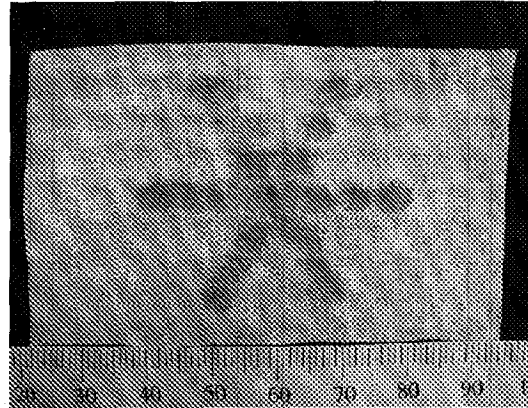


图 4

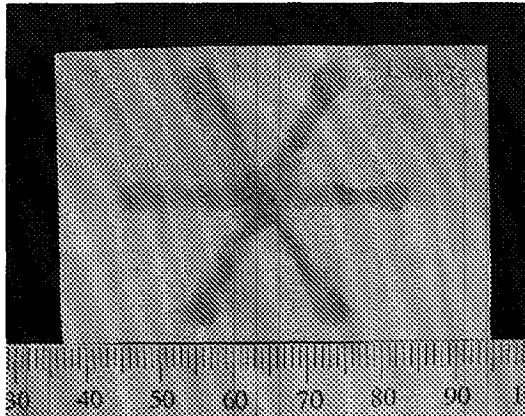


图 5

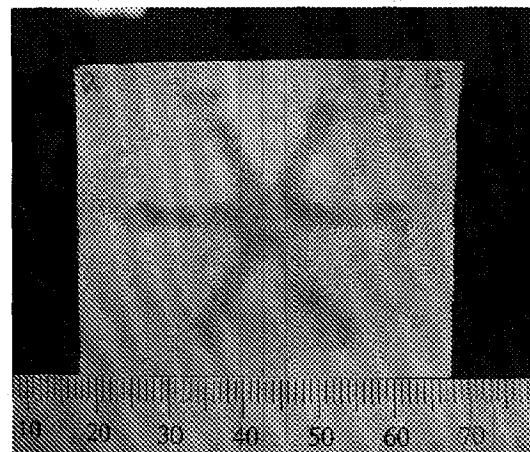


图 6

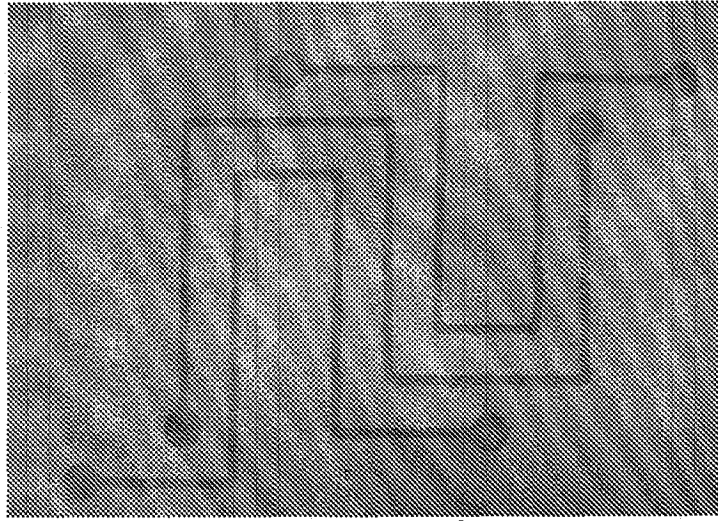


图 7

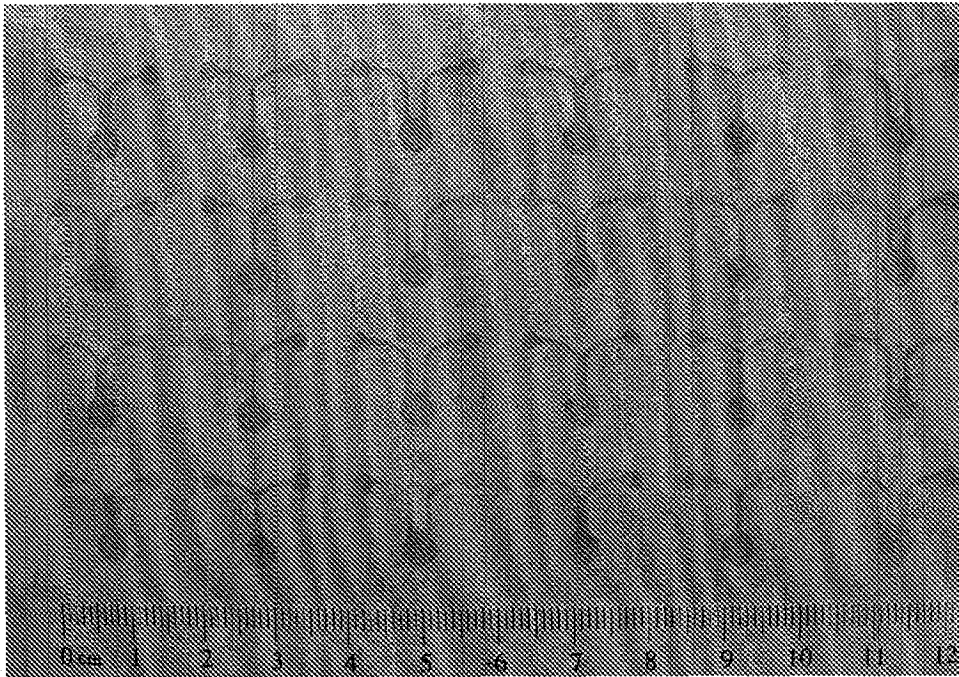


图 8

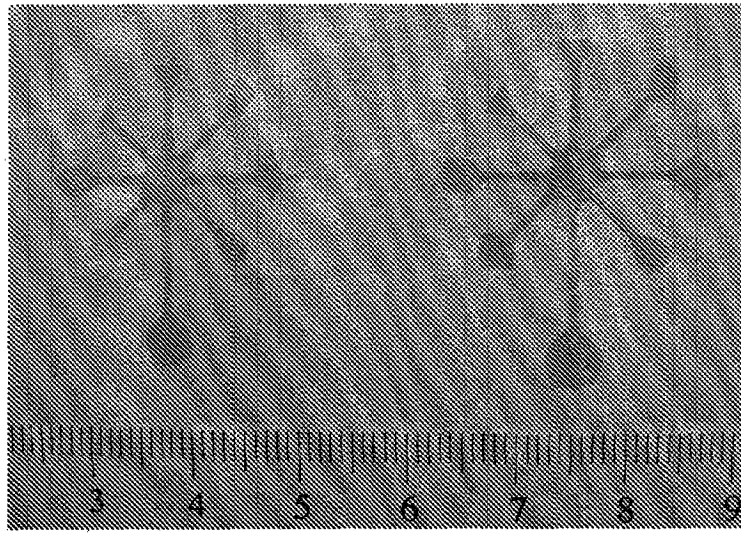


图 9

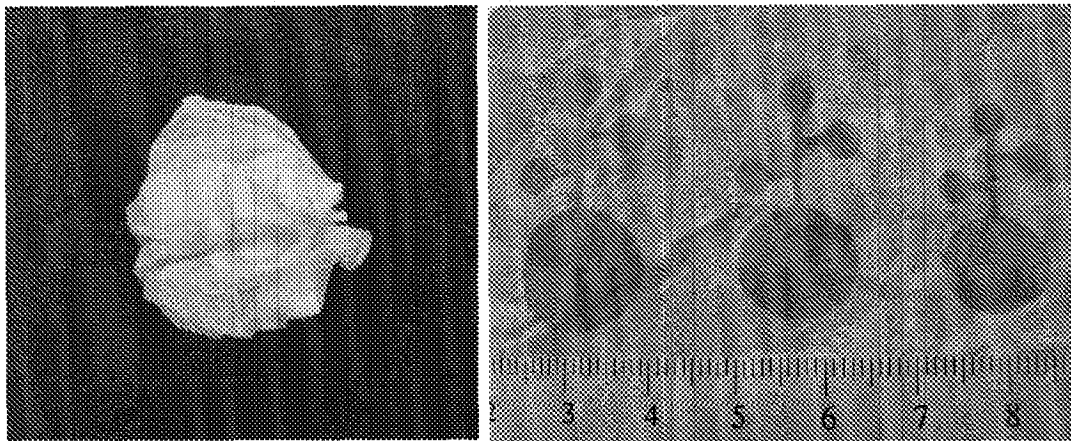


图 10

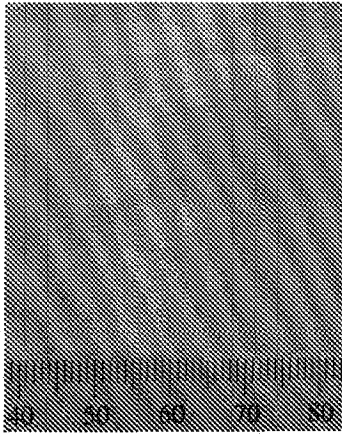


图 11

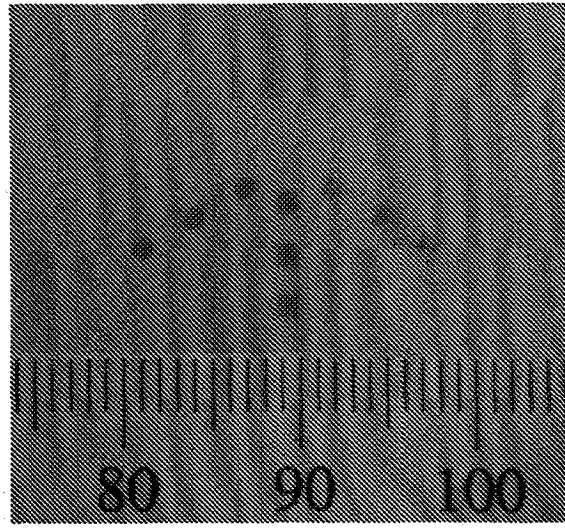


图 12