(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102076501 B
(45)授权公告日 2013.08.21

(21)申请号 200980125104.2
(22)申请日 2009.06.02
(30)优先权数据
2008/04765 2008.06.02 ZA
(85)PCT申请进入国家阶段日
2010.12.29
(86)PCT申请的申请数据
PCT/IB2009/052317 2009.06.02
(87)PCT申请的公布数据
WO2009/147619 EN 2009.12.10
(73)专利权人 PST传感器(私人)有限公司
地址 南非开普敦
(72)发明人 戴维·托马斯·布里顿
埃昆达尔·阿约德勒·奥多
马尔吉特·黑廷
(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021
代理人 陈平
(51)Int.Cl.
B41J 2/035(2006.01)
H05K 3/12(2006.01)
(56)对比文件
EP 0761441 A3,1997.09.10,
US 2005219323 A1,2005.10.06,
审查员 朱滢

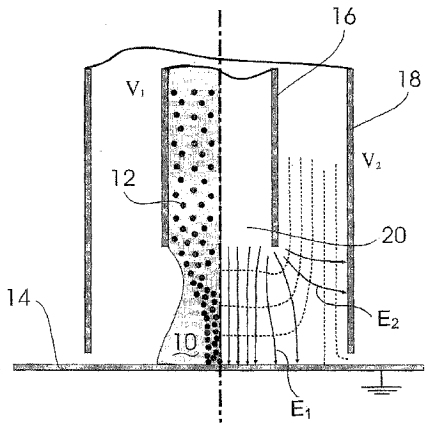
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

将墨水沉积在基板上的方法和用于将墨水沉积在基板上的设备

(57)摘要

用于将墨水沉积在基板上的设备包括限定用于墨水的出口的喷嘴,其中喷嘴的至少一部分是导电的。第一电压源将第一电势施加到出口喷嘴上。一个或多个辅助电极是邻近出口喷嘴安置的,且第二电压源将第二电势施加到辅助电极上。该设备包括用于将墨水从喷嘴向基板上的目标区域喷射的压电或热致动器,所述墨水包含液体连接料和分散在所述连接料中的颜料粒子。至少颜料粒子是带电荷的,典型地原因在于施加的电势。在一个实施方案中,辅助电极共轴地被设置在由喷嘴形成的电极周围。在另一个实施方案中,辅助电极在与由喷嘴形成的电极的共轴上被设置在喷嘴以外。选择出口喷嘴、辅助电极的构造以及第一和第二电势的值以使颜料粒子富集在目标区域中,从而在目标区域中沉积一定量的浓度高于墨水中的颜料粒子的浓度的颜料粒子。本发明涉及用于在基板上沉积墨水的方法。



CN 102076501 B

1. 一种将墨水沉积在基板上的方法，该方法包括：

制备墨水，所述墨水包含液体连接料和分散在所述连接料中的颜料粒子，至少所述颜料粒子是带电荷的；

将第一电势施加到用于所述墨水的出口喷嘴上；

至少将第二电势施加到与出口喷嘴相邻设置的一个或多个辅助电极上；和

将墨滴从所述出口喷嘴向基板上的目标区域喷射，

其中所述一个或多个辅助电极被安置成向离开所述喷嘴的墨滴施加电场，根据由粒子携带的电荷，电场在液滴接近基板时是发散或收敛的，以使所述颜料粒子随着离开所述喷嘴的所述墨滴降落而朝所述墨滴的中心以电泳的方式富集，从而在所述目标区域中沉积一定量的浓度高于所述墨水中的颜料粒子的浓度的颜料粒子。

2. 根据权利要求 1 的方法，其中所述颜料粒子具有永久电荷。

3. 根据权利要求 1 的方法，其中所述颜料粒子具有感生电荷。

4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项的方法，所述方法被设计为在沉积工序中利用施加的电势引起所述颜料的在径向上向内电泳运动，以使所述颜料粒子朝所述墨滴的中心富集，因此富集在所述目标区域中。

5. 根据权利要求 1 至 3 中任一项的方法，所述方法被设计为利用施加的电势在所述墨滴的所述液体连接料上产生电流体动力，从而使得所述液体连接料远离所述目标区域分散。

6. 根据权利要求 1 至 3 中任一项的方法，其中与所述出口喷嘴相邻设置的所述一个或多个辅助电极被共轴地设置在由所述喷嘴形成的电极周围。

7. 根据权利要求 1 至 3 中任一项的方法，其中在将墨滴从所述喷嘴向所述目标区域喷射的同时，将所述基板保持在限定的电势。

8. 根据权利要求 7 的方法，其中将所述基板保持在接地或地电势。

9. 根据权利要求 1 至 3 中任一项的方法，其中所述出口喷嘴和所述一个或多个辅助电极之间的电势差至少与所述出口喷嘴和所述基板之间的电势差一样大。

10. 根据权利要求 9 的方法，其中所述出口喷嘴和所述一个或多个辅助电极之间的电势差在 1 至 100V 的范围内。

11. 根据权利要求 1 的方法，所述方法包括：使至少一个辅助电极在与由所述喷嘴形成的电极的共轴上设置在所述基板后面。

12. 根据权利要求 11 的方法，其中安置底板以支撑所述基板，所述底板保持在限定的电势。

13. 根据权利要求 12 的方法，其中所述底板保持在接地或地电势。

14. 根据权利要求 12 或权利要求 13 的方法，其中所述底板被设置在所述基板后面，而所述基板被设置在所述喷嘴和所述底板之间。

15. 根据权利要求 12 或权利要求 13 的方法，其中所述底板被设置在所述基板和所述喷嘴之间。

16. 根据权利要求 11 的方法，其中所述喷嘴和在所述基板后面的所述至少一个辅助电极可相对于所述基板移动，所述喷嘴和所述至少一个辅助电极的移动是同步的。

17. 根据权利要求 11 的方法，其中将在底板中的多个电极和相应的孔保持在固定的绝

对位置。

18. 根据权利要求 11 的方法，其中将所述喷嘴和所述辅助电极保持在固定的位置，并且使所述基板相对于它们移动。

19. 根据权利要求 12 或 13 的方法，其中保持所述辅助电极的电势使其相对于所述喷嘴的电势更加吸引带电荷的纳米粒子。

20. 根据权利要求 19 的方法，其中保持所述辅助电极和所述喷嘴的电势的比率大于邻近所述辅助电极的底板中的孔的半径与所述喷嘴的半径的比率。

21. 一种用于将墨水沉积在基板上的设备，该设备包括：

喷嘴，其限定用于墨水的出口，所述喷嘴的至少一部分是导电的；

第一电压源，其用于将第一电势施加到所述出口喷嘴上；

一个或多个辅助电极，其邻近所述出口喷嘴安置并且被布置成向离开所述喷嘴的墨滴施加电场；

第二电压源，其用于将第二电势施加到所述一个或多个辅助电极上；和

用于将墨滴从所述喷嘴向基板上的目标区域喷射的装置，所述墨水包含液体连接料和分散在所述连接料中的颜料粒子，至少所述颜料粒子是带电荷的；

其中根据由粒子携带的电荷，电场在液滴接近基板时是发散或收敛的，以使所述颜料粒子随着离开所述喷嘴的所述墨滴降落而朝所述墨滴的中心以电泳的方式富集，从而在所述目标区域中沉积一定量的浓度高于所述墨水中的颜料粒子的浓度的颜料粒子。

22. 根据权利要求 21 的设备，其中与所述出口喷嘴相邻设置的所述一个或多个辅助电极被共轴地设置在由所述喷嘴形成的电极周围。

23. 根据权利要求 22 的设备，其中所述电压源被布置成将在所述出口喷嘴和所述一个或多个辅助电极之间的电势差保持为至少与所述出口喷嘴和所述基板之间的电势差一样大。

24. 根据权利要求 23 的设备，其中所述电压源被布置成将保持所述出口喷嘴和所述一个或多个辅助电极之间的电势差在 1 至 100V 的范围内。

25. 根据权利要求 21 的设备，其包括至少一个辅助电极，该辅助电极在与由所述喷嘴形成的电极的共轴上被设置在所述喷嘴以外，使得在使用时，所述基板在所述喷嘴和所述至少一个辅助电极之间。

26. 根据权利要求 25 的设备，其包括被布置成支撑所述基板的底板，所述底板保持在限定的电势。

27. 根据权利要求 26 的设备，其中所述电压源被布置成保持所述辅助电极的电势使其相对于所述喷嘴的电势更加吸引带电荷的纳米粒子。

28. 根据权利要求 27 的设备，其中所述电压源被布置成保持所述辅助电极和所述喷嘴的电势的比率大于邻近所述辅助电极的底板中的孔的半径与所述喷嘴的半径的比率。

将墨水沉积在基板上的方法和用于将墨水沉积在基板上的设备

[0001] 发明背景

[0002] 本发明涉及含有纳米微粒的墨水的喷墨印刷的方法，并且涉及用于实施该方法的印刷设备。

[0003] 该方法和设备特别地但不是专有地适用于电子用途的功能墨水的印刷，其中需要高密度的互连粒子和小特征尺寸的印刷图案。

[0004] 功能墨水的印刷在电子领域内有着悠久的传统。例如，颜料基墨水用于在印刷线路板上丝网印刷互连和电阻器。在这些用途中，所用的厚膜墨水由连接料 (vehicle) 并且分别地银和碳的颜料组成，其中颜料粒子可以具有在纳米范围内的尺寸。最近的研发针对不仅印刷电路的无源部件，而且印刷有源部件。一个实例是在本申请人的国际专利申请 WO2004/068536 中公开的印刷的纳米微粒硅，其在器件如太阳能电池和晶体管中提供半导电层。

[0005] 传统上大多数功能材料已经通过常规的印刷技术如丝网印刷和胶版印刷而印刷，丝网印刷和胶版印刷都需要制造用于被印刷的每个设计的母版图案（例如丝网或印刷版）。通常适宜的是，应当使用数字印刷方法如喷墨印刷，原因在于它们使用的灵活性和更高的空间精度。但是，为了防止喷墨喷嘴的堵塞，喷墨印刷需要较分散的粒子溶液和低粘度墨水。这使得这种方法不适用于电子领域内的某些用途，在电子领域内的某些用途中，必须使高密度粒子到达基板上的特定位置，以实现印刷图案所需要的功能性。

[0006] 对于小特征尺寸图案的沉积，已知的是含有纳米粒子的溶液的喷墨印刷，该溶液对印刷的结构提供功能性。最常见的用途是使用分散在墨水中的导电纳米粒子，例如银纳米粒子喷墨印刷用于电路的导电迹线。在这些用途中，通过热处理获得了低电阻，所述热处理的结果是除去分散剂，随后烧结纳米粒子。在功能层沉积中的最近的研发是纳米微粒透明导电氧化物的喷墨印刷，其中通过在干燥工序中使用电磁辐射的处理控制图案化的结构和粒子堆积。

[0007] 另一种增强由功能墨水组成的喷墨印刷的结构中的图案化的精度的方法是 Jang-Ung Park 等 (Nature，第 6 卷 (2007) 第 782 页）所述的电流体动力 (electrohydrodynamic) 喷射印刷，所述功能墨水包括含有纳米粒子的墨水。在这种情况下，印刷图案的分辨率通过施加到喷墨设备的微毛细管喷嘴上的静电场而提高，这形成 (shape) 并且控制了从喷嘴喷射的液滴的运动。但是，电流体动力喷射印刷对印刷的结构中的粒子的密度或布置没有影响，并且后处理对于实现所需的性能是必需的。

[0008] 在某些用途中，通常含有粒子特别是含有纳米粒子的沉积层的功能性通过这些粒子的互连网络而提供。为了实现这些层的压实，由在 GB2355338 中公开了用于场发射显示器的电泳沉积的改良。该工作教导了粒子从粘合剂材料的稀溶液中通过施加的电场而强制沉降。仔细地计算在溶液中的粘合剂的量，使得在蒸发溶剂之后，将沉降物保持在微观井的底部的适当位置。如在用于由溶液浴涂布的其它常规的电泳沉积技术中，在该工序过程中没有图案的形成或流体流动的控制。

发明内容

[0009] 根据本发明，提供一种将墨水沉积在基板上的方法，该方法包括：

[0010] 制备墨水，所述墨水包含液体连接料和分散在连接料中的颜料粒子，至少颜料粒子是带电荷的；

[0011] 将第一电势施加到用于墨水的出口喷嘴上；

[0012] 至少将第二电势施加到与出口喷嘴相邻设置的一个或多个辅助电极上；和

[0013] 将墨滴从出口喷嘴向基板上的目标区域喷射，

[0014] 选择出口喷嘴和所述一个或多个辅助电极的构造以及第一和第二电势的值以使颜料粒子富集在目标区域中，从而在目标区域中沉积一定量的浓度高于墨水中的颜料粒子的浓度的颜料粒子。

[0015] 颜料粒子可以具有永久的电荷，或可以具有感生电荷。在后一种情况下，在粒子上的电荷可以通过施加的电势而感生。

[0016] 该方法优选被设计为在沉积工序中利用施加的电势引起颜料的电泳运动，以使颜料粒子富集在目标区域中。

[0017] 该方法优选进一步被设计为利用施加的电势在墨水的液体连接料上产生电流体动力，从而使得液体连接料远离目标区域分散。

[0018] 与出口喷嘴相邻设置的一个或多个辅助电极可以被共轴地设置在由喷嘴形成的电极周围。

[0019] 在将墨滴从喷嘴向目标区域喷射的同时，可以将基板保持在限定的电势。

[0020] 优选地，将基板保持在接地或地电势。

[0021] 优选地，出口喷嘴和所述一个或多个辅助电极之间的电势差至少与出口喷嘴和基板之间的电势差一样大。

[0022] 在该方法的一个优选实施方案中，出口喷嘴和所述一个或多个辅助电极之间的电势差在 1 至 100V 的范围内。

[0023] 该方法可以包括：使至少一个辅助电极在与由喷嘴形成的电极的共轴上被设置在基板后面。

[0024] 在该方法的一个实施方案中，将支撑基板的另一个底板保持在限定的电势。

[0025] 优选地，将底板保持在接地或地电势。

[0026] 在一个实施方案中，底板被设置在基板后面，即，所述基板被设置在喷嘴和底板之间。

[0027] 在另一个实施方案中，底板被设置在基板和喷嘴之间。

[0028] 在至少一个辅助电极被设置在基板后面的情况下，喷嘴和在基板后面的所述至少一个辅助电极可以相对于基板移动，所述喷嘴和所述至少一个辅助电极的移动是同步的。

[0029] 在另一个实施方案中，将在底板中的多个电极和相应的孔保持在固定的绝对位置。

[0030] 在另一个实施方案中，将喷嘴和辅助电极保持在固定的位置，并且使基板相对于其移动。

[0031] 优选地，保持辅助电极的电势使其相对于喷嘴的电势更加吸引带电荷的纳米粒

子。

[0032] 在一个优选实施方案中，保持辅助电极和喷嘴的电势的比率大于邻近辅助电极的底板中的孔的半径与喷嘴的半径的比率。

[0033] 此外，根据本发明，提供用于将墨水沉积在基板上的设备，该设备包括：

[0034] 喷嘴，其限定用于墨水的出口，所述喷嘴的至少一部分是导电的；

[0035] 第一电压源，其用于将第一电势施加到出口喷嘴上；

[0036] 一个或多个辅助电极，其是邻近出口喷嘴安置的；

[0037] 第二电压源，其用于将第二电势施加到所述一个或多个辅助电极上；和

[0038] 用于将墨水从喷嘴向基板上的目标区域喷射的装置，所述墨水包含液体连接料和分散在连接料中的颜料粒子，至少颜料粒子是带电荷的；

[0039] 选择出口喷嘴和所述一个或多个辅助电极的构造以及第一和第二电势的值以使颜料粒子富集在目标区域中，从而在目标区域中沉积一定量的浓度高于墨水中的颜料粒子的浓度的颜料粒子。

[0040] 在一个实施方案中，与出口喷嘴相邻设置的一个或多个辅助电极可以被共轴地设置在由喷嘴形成的电极周围。

[0041] 电压源可以被布置成将在出口喷嘴和一个或多个辅助电极之间的电势差保持为至少与出口喷嘴和基板之间的电势差一样大。

[0042] 优选地，电压源被布置成将保持出口喷嘴和一个或多个辅助电极之间的电势差在1至100V的范围内。

[0043] 在另一个实施方案中，至少一个辅助电极可以被设置在喷嘴以外(beyond)，而基板在与由喷嘴形成的电极的共轴被设置在喷嘴和底板之间，使得在使用时，基板在喷嘴和所述至少一个辅助电极之间。

[0044] 所述设备可以包括被安置成支撑基板的底板，所述底板保持在限定的电势。

[0045] 电压源被布置成保持辅助电极的电势使其相对于喷嘴的电势更加吸引带电荷的纳米粒子。

[0046] 优选地，电压源被布置成保持辅助电极和喷嘴的电势的比率大于邻近辅助电极的底板中的孔的半径与喷嘴的半径的比率。

[0047] 本发明涉及在喷墨印刷过程中通过组合电泳和电流体动力作用而分离并且压实颜料粒子的方法，这些是通过施加非线性或非均匀的聚焦电场而实现的。这样一种方法的两个目的是首先允许以高堆积密度的粒子印刷小的区域，其次是制备具有小特征尺寸的高清晰度图案。具体的用途是用于印刷需要致密的互连半导电纳米粒子层的电子部件和电路。如在此公开的本发明的实施方案还包括形成需要的电场所需的印刷系统的具体方面。这些将参考两个优选实施方案进行描述。

[0048] 对于本申请，墨水可以被认为是由颜料和连接料液体两种组分组成，所述颜料由小的粒子组成，并且连接料液体由粘合剂、溶剂和任何其它适合的液体或可溶性添加剂如表面活性剂、润湿剂或干燥剂组成。优选地，颜料粒子是具有在1nm至1微米之间的特征尺寸的纳米粒子，但是可以使用更大的粒子。在喷墨印刷中，通常承认的是，颜料应当均匀地分散于连接料中，而没有团聚，并且墨水的粘度应当较低，从而防止印刷喷嘴的堵塞。

[0049] 通常地，这些考虑因素不与电子材料的印刷层的性能相容，所述电子材料必须高

度团聚而允许在各个粒子之间转移电荷。因此，需要粘合剂材料的另外的处理步骤如烧结或热解，以获得在粒子之间的良好的连接。如果在印刷工艺中可以使粒子在一起，并且与大部分连接料分离，则可以避免后续的步骤，并且可以直接印刷这些器件。在本发明的方法和设备中，这是通过对颜料赋予运动的电泳和使液滴的液体相铺展的电流体动力作用组合而实现的。

附图说明

[0050] 图 1 是根据本发明的包括共轴管的喷墨喷嘴的第一实施方案的示意性截面图；

[0051] 图 2 是根据本发明的包括单管和相关针状电极的喷墨喷嘴的第二实施方案的示意性截面图；

[0052] 图 3 是利用本发明的原理形成的晶体管测试结构体的示意图；

[0053] 图 4 是将通过本发明的方法制造的晶体管的源极 - 漏极特性与其它不是使用本发明的方法制造的类似晶体管比较的图；

[0054] 图 5 是根据本发明的喷墨印刷设备的一个实施方案的简化示意图；和

[0055] 图 6 是在根据本发明的原理将电势施加到喷嘴上的情况下并且通过现有技术方法从喷嘴沉积在滤纸上的含有硅纳米粒子的墨滴的照片。

具体实施方式

[0056] 尽管如上所述电泳沉积和电流体动力喷射印刷都是已知的，但是在同一工艺中两者的组合是违反直觉的 (counterintuitive)，并且其实现是不平凡的。该方法的关键在于，颜料粒子必须携带限定的电荷，并且连接料必须携带相反的电荷或保持中性。这些电荷可以是永久的，或通过在印刷工艺过程中或在进料至印刷头过程中施加电势而感生。

[0057] 在粒子和连接料均带电荷的情况下，所施加的电场将引起粒子和液体这两者的绝对运动。在粒子带电而连接料不带电荷的情况下，尽管液体连接料不受电场的影响，但是固体物质仍然经受力。但是，在两种情况下，将存在两种组分的相对运动，其中颜料富集在特定的区域中。优选地，粒子的富集应当在液滴的中心，直接与喷墨喷嘴的轴对齐。为了发生此情况，电场应当在喷嘴和基板之间的空间内具有径向分量。因此，根据由粒子携带的电荷，电场在液滴接近基板时必须是发散或收敛的。参考下列优选的实施方案描述如何才能实现这种情形。

[0058] 在图 1 中，示意性地显示了根据本发明的包括喷墨喷嘴结构的设备的第一实施方案。该设备包括用于从喷嘴喷射墨水的装置（未显示在该图中），该装置可以使用例如在喷墨印刷领域中的技术人员熟知的热或压电技术。由液体连接料 10 和纳米微粒颜料 12 组成的墨水将被印刷在基板 14 上。颜料纳米粒子应当携带限定的电荷，该电荷对于本实施例是负的。液体连接料可以是中性的，或者携带相反的电荷，该电荷在这种情况下是正的。电荷可以是墨水中的本征电荷分离的结果，或者可以通过施加电势 V_1 而感生，该电势 V_1 被施加到 2 个共轴导电管 16 和 18 中的第一内管 16 上。管 16 同时起着电极的作用，并且在其底端限定喷嘴 20，其用于将墨水传送到基板上。

[0059] 电势 V_1 与纳米粒子上的电荷相反，并且对于本实施例被认为是正的。基板 14 被认为形成等势面，其优选在接地电势。如果基板本身是导电的或者由安装在导电载体上的

薄电介质材料组成，这通常是这种情况。对于厚的绝缘基板，大量已建立的方法可以用于保持恒定的电势。

[0060] 在喷嘴 20 底端下面延伸的第二外共轴管 18 被保持在电势 V_2 并且起着韦内 (Wehnelt) 电极的作用。电势 V_2 应当使得其排斥带电荷的纳米粒子，并且在这种情况下是负的。在该实施方案的另一种变型中，这些共轴电极中的多个可以进一步用于限定电场。备选地，所述电极之一可以采取具有孔的平坦板的形式，所述孔与其它电极共轴并且被安置在基板和喷嘴 20 之间。

[0061] 图 1 的右半部分显示了在这样的情形下引起的电势和电场。刚好在喷嘴 20 的下方，由施加的电势 V_1 引起的电场 E_1 与喷嘴 20 的轴对齐，并且被导向基板，因此对离开喷嘴的墨水液体或其中的颜料纳米粒子的轨迹没有影响。但是，对于略微偏离中心的材料，粒子朝喷嘴的轴经历电泳漂移，原因在于由施加的电势 V_2 引起的径向发散电场 E_2 的横向分量的影响。为了实现高度发散的电场，对于相同的距离，在 V_2 和 V_1 之间的电势差应当至少与 V_1 和基板之间的电势差一样大。如果液体连接料携带相反的电荷，则其经历在径向上朝外的电流体动力漂移。最终结果是粒子直接富集在喷嘴的下方，其中粒子与连接料的比率（或粒子与粘合剂的比率）远高于在最初的墨水混合物中的比率。

[0062] 因此，总之，对共轴电极 16 和 18 施加相反的电势以形成不均匀的电场，该电场将颜料粒子在径向上向内导向印刷区域的中心并且以电泳的方式使它们富集，而液体连接料同时被向外引导，远离印刷的区域的中心。如在实施例中所论述的，为了实现粒子的强电泳运动，需要约数伏 / 微米的电场。因此，V_1 和 V_2 的典型值在 1-100V 的范围内，优选在 5-50V 的范围内。

[0063] 在图 2 中所示的第二实施方案中，在喷墨印刷设备中仅使用限定喷嘴 20 的单管 16，并且电场的聚焦作用几何形状是通过刚好在基板 14 后面存在针状电极 24 实现的。同样，管 16 具有对其施加的电势 V_1，而针状电极 24 具有对其施加的电势 V_2。与喷嘴的电势 V_1 相比，针状电极的电势 V_2 应当更吸引带电荷的纳米粒子。

[0064] 在该实施方案中，电场必须透过基板 14。因此，优选较薄的电介质基板。针状电极 24 可以是单个部件，其被安装在托台 (gantry) 上并且通过机械装置移动以跟踪容纳喷嘴 16 的印刷头的位置。备选地，可以将多个这样的电极安装在固定的位置的孔内，并且对它们的电势进行电切换。另一个变体是保持电极和喷嘴的位置固定，并且移动基板。在所有这些情况下，可以将任选的背面 26 用于同时支撑基板并且限定其位置，并且增加电场在将要印刷的位置的收敛性。备选地，在厚基板的情况下，背面可以任选地置于基板和喷嘴之间。如所示的，背面形成有孔，所述孔具有半径 r_2，其中针状电极 24 的尖端被设置在孔的中心或孔的中心附近。

[0065] 在所示的情况下，对于在带正电荷的连接料 10 中的带负电荷的颜料粒子 12，电势 V_1 和 V_2 是正的，其中 V_2 优选大于 V_1，并且背面 26 被保持在接地电势。如在第一实施方案一样中，这样产生的电场的影响是粒子朝印刷区域中心的向内电泳漂移以及在液体相上的向外电流体动力，这是由发散电场 E_3 的横向分量引起的。如在下面的实施例中所述，该实施方案将如对大于或等于背面的电势的全部电势 V_2 所设想的那样起作用，但是，第二电极当其大小 (V_2) 与第一电极的大小 (V_1) 的比率大于孔半径 (r_1) 与喷嘴的半径 (r_2) 的比率时，具有更大的影响。理想地，该比率应当是 $V_2/V_1 > 2r_2/r_1$。

[0066] 未按比例绘制的图 5 的简化示意图显示了根据本发明的喷墨印刷设备的一个实施方案的主要部件。在图 5 中，储存器 40 容纳有一定量的墨水 42，该墨水 42 包含如上所述的液体连接料 10 和纳米微粒颜料 12。与储存器 40 连通的是喷嘴 20，喷嘴 20 被限定在导电内管 16 的最下端处，该导电内管 16 被在上面参考图 1 所述的共轴导电外管 18 包围。在内管 16 内部的是压电或热致动器 44，其通过导体 48 连接至控制电路 46。以本领域技术人员已知的方式，将短暂的电脉冲传输给致动器 44，从而使其瞬间变形（在压电致动器的情况下 0 或加热并且蒸发墨水的少量的液体连接料 10（在热致动器的情况下），因此将墨水的液滴 50 从被限定在管 16 的开口端的喷嘴 20 喷射。

[0067] 如在图 5 的放大图中最清楚地看到，在液体连接料 10 内的颜料纳米粒子 12 的分布基本上是均匀的，因此液滴 50 内的纳米粒子在其从喷嘴排出时的分布基本上是均匀的。但是，由于由分别从相应的电压源施加到管 16 和 18 上的电势 V_1 和 V_2 引起的电场的影响，颜料纳米粒子 12 随着液滴的下降朝液滴中心以电泳的方式富集，如在下降的液滴 52 中所示。

[0068] 实施例 1

[0069] 在初步的实施例中，使用用手沉积到如图 3 中所示的晶体管测试结构体上的单液滴，已经模型化将电泳包括到喷墨印刷方法中的影响。将结构体形成于包括聚甲基丙烯酸甲酯的基板 30 上并且采取场效应晶体管 (FET) 的形式，该场效应晶体管具有沉积在薄的电介质层 38 上的源极电极 32、漏极电极 34 和栅极电极 36。

[0070] 为了制备晶体管结构体，通过将硅纳米粒子分散在三次蒸馏的水中而制备没有粘合剂的稀的低粘度墨水。硅纳米粒子根据在名称为“制备稳定的氧封端的半导电纳米粒子的方法 (Method of Producing Stable Oxygen Terminated Semiconducting Nanoparticles)”的南非专利申请 2008/02727 中所述的方法通过研磨而制备。为了确定粒子上的电荷，在源极电极和漏极电极之间施加 3V 的电势差。粒子在正电极的方向上的电泳漂移表明粒子上的电荷是负的。

[0071] 粒子的压实或富集是通过对栅极电极以与上述第二实施方案的针状电极类似的方式施加 20V 的正偏压而实现的，其中栅极电极 36 代替薄的电介质基板 14。保持电势直至液滴已经完全干燥。为了比较，进行在不使用电场的情况下相同墨水在类似的结构体上的沉积。

[0072] 图 4 显示了两种晶体管（即，在沉积过程中施加电势或不施加电势的情况下制备的其它方面相同的晶体管）对于不同的施加栅极电势的源极 - 漏极特性。下曲线是对于在不施加电势的情况下制备的晶体管而言的，并且上曲线是对于根据本发明的方法制备的晶体管而言的。

[0073] 第一个重要的差别在于，在含有压实的纳米粒子的晶体管中的漏极 - 源极电流是在没有施加电场的情况下沉积的层中相应的电流的超过 1 万倍。第二，在源极 - 漏极电流中观察到了类似的增加，该源极 - 漏极电流通过施加栅偏压而切换。

[0074] 实施例 2

[0075] 构建上述第二实施方案的宏观模型，以研究在液滴沉积过程中电泳和电流体动力的影响。在该模型中，将表示图 2 的单管 16 的 23 标准规格 (23gauge)(0.6mm) 钝钢针 (blunt steel needle) 保持在实心铝背板上方 1.5mm 的距离，该铝背板被保持在接地电势。该构造

相当于将辅助针状电极 24 和底板 26 的电势 V_2 固定在接地电势。因此所得到的电场沿着喷嘴的轴是均匀的，并且在大于喷嘴半径的径向距离是发散的，因此实际上更接近地类似于图 1 所示的场图案，而非图 2 中的场图案。

[0076] 通过将硅纳米粒子分散在三次蒸馏的水中而制备没有粘合剂的稀的低粘度墨水。硅纳米粒子根据在名称为“制备稳定的氧封端的半导电纳米粒子的方法 (Method of Producing Stable Oxygen Terminated Semiconducting Nanoparticles)”的南非专利申请 2008/02727 中所述的方法通过研磨 p 型硅晶片而制备。在吸附差的基板如通常的金融票据 (office paper) 上，在该体系中沉积的所述尺寸的液滴仍然以液体形式保持数十分钟，从而使墨水中的组分材料重新分布。为了研究在沉积液滴时材料的分布，而非在基板上的静止液体中的硅纳米粉末的电泳移动，因此使用高度吸收的滤纸作为基板材料。

[0077] 在沉积过程中将 1.5kV 的负电势施加到针上诱导对液体连接料的电流体动力效应和硅纳米粒子相对于液体的电泳运动。在图 6 中可以观察到这两种效应，图 6 是在施加和不施加电场的情况下沉积的干燥墨滴的照片。在不施加电场的情况下，液滴 (1) 是大的，并且所沉积的材料均匀地铺展。当将电势施加到针上时，水连接料朝基板被吸引，因此液滴被朝基板被吸引，从而导致在针尖端的更小液滴的形成。但是，更重要的是，电场的径向分量导致液滴中的粒子的电泳运动 - 在沉积过程中 - 并且在固体材料在液滴 (2) 的中心的富集。

[0078] 由于实验模型的尺寸大，与在两个实施方案中所需的那些相比，必须将大的电势施加到针上。在两个实施例中的粒子的电泳运动所需的额定电场强度为约 1kV/mm。当按两个实施方案的实际尺寸规定时，将需要在 1 至 100V 的范围内的 V_2 和 V_1 之间以及 V_2 和接地之间的电势差，优选在 5 至 50V 的范围内的电势差。

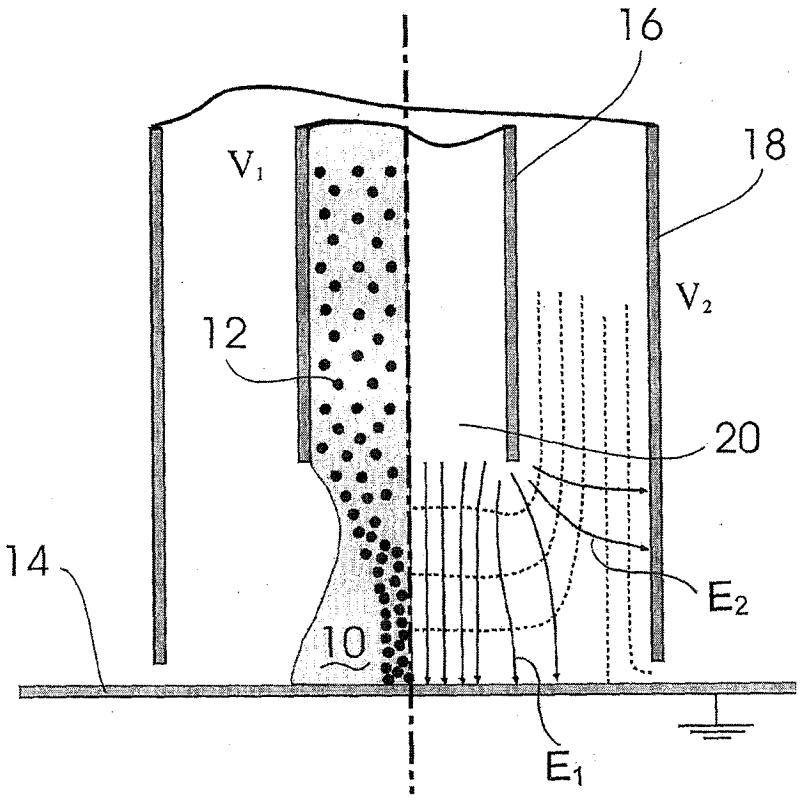


图 1

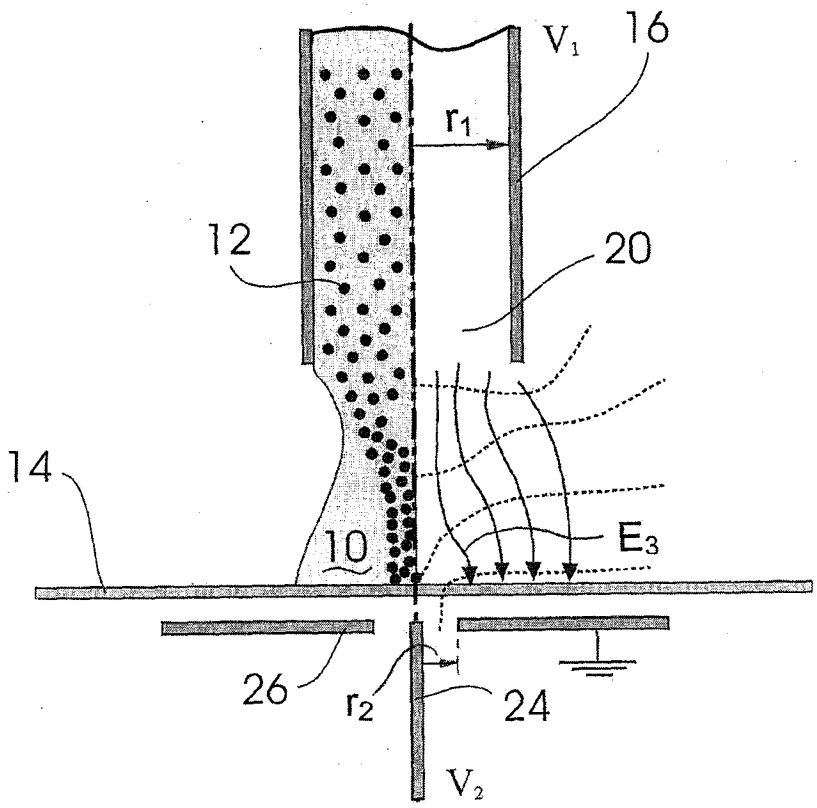


图 2

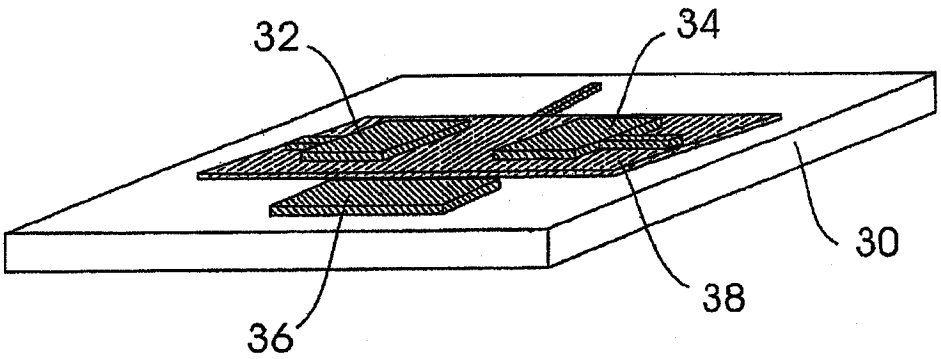


图 3

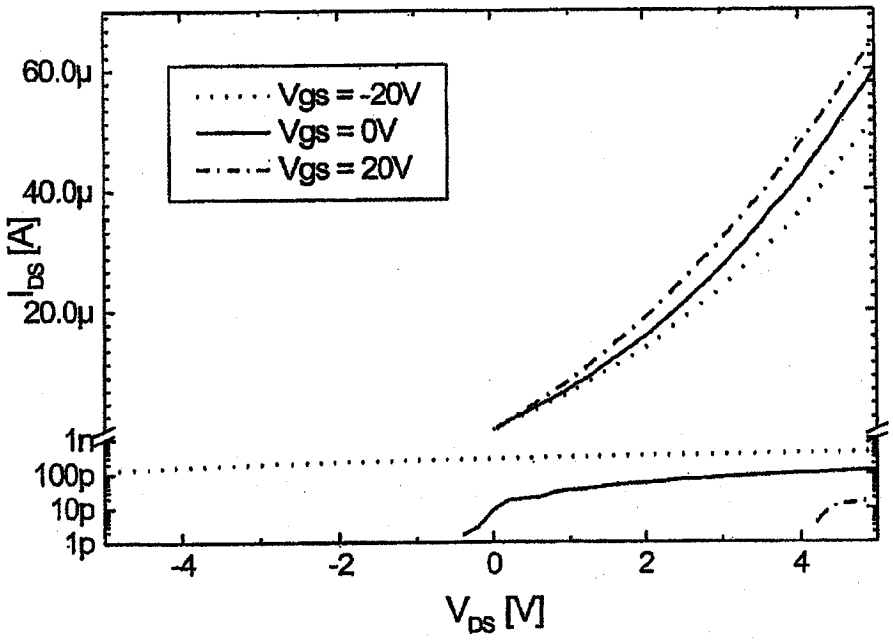

60.0μ
40.0μ
20.0μ
1n
100p
10p
1p
I_{DS} [A]
Vgs = -20V
Vgs = 0V
Vgs = 20V
-4
-2
0
2
4
V_{DS} [V]

图 4

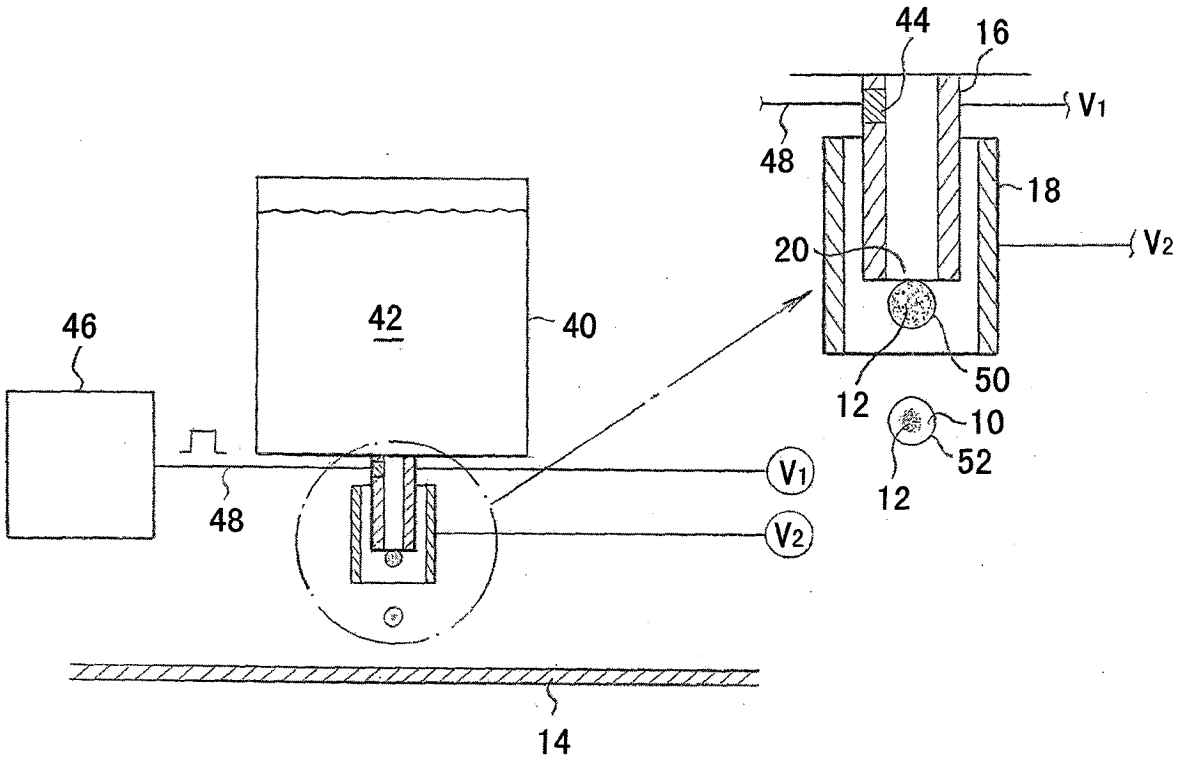

44
16
V1
48
18
20
V2
46
42
40
50
12
10
52
12
48
V1
V2
14

图 5

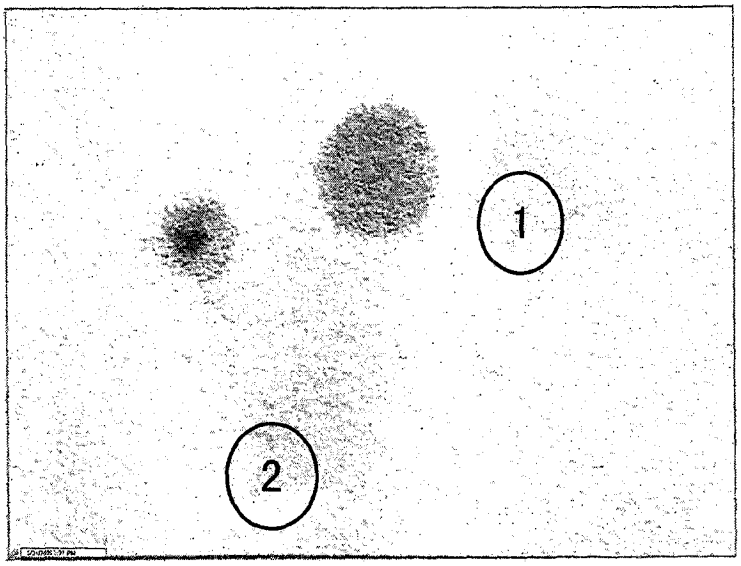


图 6