



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105869158 A

(43)申请公布日 2016.08.17

(21)申请号 201610178718.9

(22)申请日 2016.03.23

(71)申请人 合肥工业大学

地址 230009 安徽省合肥市包河区屯溪路
193号

(72)发明人 王向华 吕申宸 刘中梦雪
秦梦芝 蔡凯威 吕国强

(74)专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有
限责任公司 34101

代理人 何梅生 卢敏

(51)Int.Cl.

G06T 7/00(2006.01)

G01N 21/64(2006.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于荧光纳米材料的喷墨打印和计算机辅助表征的衬底表面探测方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于荧光纳米材料的喷墨打印和计算机辅助表征的衬底表面探测方法,其特征是:基于纳米材料在微液滴中的组装行为及其在溶剂干燥后的堆积形貌与衬底表面的物理和化学特性之间的相关性,利用荧光纳米材料在图像采集和计算机分析中的优势,通过按需式喷墨打印工艺打印单层和多层荧光点阵,然后通过CCD获取荧光照片并经过计算机处理和分析获得喷墨打印稳定性参数、荧光点直径的样本标准偏差和纳米材料自组装模式的特征参数,利用这些特征参数实现对生产工艺过程中衬底的表面感知,应用于探测衬底类型及衬底表面均匀性、以及检测图层间的对位。

1.一种基于荧光纳米材料的喷墨打印和计算机辅助表征的衬底表面探测方法,其特征是:

A、获取喷墨打印稳定性参数,评判墨水稳定性

(1)取表面均匀的标准衬底,以荧光纳米材料为原料,配制墨水;通过喷墨打印的方式,将墨水打印在标准衬底上,形成 $m \times n$ 荧光点阵图案;将所述荧光点阵图案去噪后转换为二值图片;

(2)选定二值图片左上角的点为坐标原点,计算荧光点阵中各荧光点圆心的原始坐标,并根据任意一行荧光点的原始坐标对二值图片进行偏转修正,以使荧光点阵保持水平;计算偏转修正后各荧光点圆心的坐标值 (x_{ij1}, y_{ij1}) , $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$;

(3)以荧光点阵中第一个荧光点的目标格点作为参考格点,定义该目标格点的坐标值 (x_{110}, y_{110}) 为相应荧光点的圆心坐标;根据参考格点的坐标值和所打印荧光点阵中两荧光点之间的理论间距,计算荧光点阵中其他荧光点的目标格点的坐标值 (x_{ij0}, y_{ij0}) , $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$;

根据各荧光点圆心的坐标值和其目标格点的坐标值,计算各荧光点相对于其目标格点的偏移量 r_{ij} : $r_{ij} = \sqrt{(x_{ij0} - x_{ij1})^2 + (y_{ij0} - y_{ij1})^2}$;

由式(1)计算获得平均偏移量 \bar{r} ;

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |r_{ij}|}{m \times n} \quad (1);$$

(4)以荧光点阵中的其他荧光点的目标格点分别作为参考格点,并按步骤(3)分别计算平均偏移量 \bar{r} ,取所获得的平均偏移量 \bar{r} 中的最小值作为喷墨打印稳定性参数;

(5)以喷墨打印稳定性参数作为评判墨水稳定性的依据:若 $\bar{r} \leq$ 喷墨打印设备的机械精度,则该墨水可以在衬底上稳定打印;否则,该墨水不能在衬底上稳定打印;

B、评判目标衬底均匀性

以荧光纳米材料为原料,配制能够在目标衬底上稳定打印的墨水;通过喷墨打印的方式,将墨水打印在目标衬底上,形成 $m \times n$ 荧光点阵图案;将所述荧光点阵图案去噪后转换为二值图片,计算荧光点阵中各荧光点的直径 d_{ij} , $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$;然后,计算获得各荧光点

的平均直径 \bar{d} 和荧光点直径的样本标准偏差S:
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (d_{ij} - \bar{d})^2}{m \times n - 1}};$$

以所述荧光点直径的样本标准偏差S作为评判目标衬底表面均匀性的依据;

C、获取纳米材料自组装模式的特征参数,判断衬底类型

以荧光纳米材料为原料,配制能够在目标衬底上稳定打印的墨水;通过喷墨打印的方式,将墨水打印在目标衬底上,形成一层 $m \times n$ 荧光点阵;在相同位置重复打印,直至形成I层荧光点阵图案;将I层荧光点阵图案去噪后转换为二值图片,计算荧光点阵中各荧光点的平均直径 d_I ;

在I层荧光点阵的基础上继续打印,形成J层荧光点阵图案;将J层荧光点阵图案去噪后转换为二值图片,计算荧光点阵中各荧光点的平均直径 d_J ;

按式(2)计算纳米材料自组装模式的特征参数M:

$$M = \frac{\ln\left(\frac{J}{I}\right)}{\ln\left(\frac{d_J}{d_I}\right)} \quad (2);$$

以纳米材料自组装模式的特征参数作为评判衬底类型的依据。

2. 根据权利要求1所述的衬底表面探测方法,其特征是:

以荧光点直径的样本标准偏差S评判衬底表面均匀性的方法是:样本标准偏差S越小,衬底表面越均匀。

3. 根据权利要求1所述的衬底表面探测方法,其特征是:

以纳米材料自组装模式的特征参数M判断衬底类型的方法是:

若 $M=2$,则荧光点在衬底上的生长模式为二维铺展模式;

若 $M=3$,则荧光点在衬底上的生长模式为各向同性的三维组装模式;

若 $2 < M < 3$ 或 $M > 3$,则荧光点在衬底上的生长模式为各向异性的三维组装模式;

根据相同荧光纳米材料在不同衬底上的生长模式不同,判断衬底类型。

一种基于荧光纳米材料的喷墨打印和计算机辅助表征的衬底表面探测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种表面探测技术,具体涉及一种基于荧光纳米材料的喷墨打印工艺和计算机辅助分析实现的表面探测技术。

背景技术

[0002] 喷墨打印技术是将数字图形直接通过相应设备传递到衬底上形成图案化薄膜,因此不需要实物模板,同时可以高效的实现材料在柔性基底(或衬底)上大面积的图案化加工。喷墨打印纳米材料首先需要解决的问题是喷墨打印的稳定性,目前评估喷墨打印稳定性的方法主要是通过观察墨水喷射速度及其与喷射频率的关系曲线来判断墨水喷射的稳定性。该方法目前无法通过计算机辅助自动化完成,更无法对喷墨打印的稳定性做出量化的表征。

[0003] 一般的荧光粉体材料颗粒大,形状和尺寸不均匀,无法通过喷墨打印稳定地打印到衬底上形成薄膜图案。但荧光纳米材料颗粒尺寸小而且均匀,发光颜色更纯,是更加理想的色彩转换材料,可以通过喷墨打印工艺在衬底上形成精确的图案。通过对其荧光图像的采集很容易实现计算机辅助表征。

[0004] 与纳米材料相比,颗粒尺寸更大的亚微米球和尺寸更小的小分子半导体材料的喷墨打印技术相对成熟。对亚微米球和小分子半导体的相关研究表明这些材料通过微液滴在衬底上的成膜过程与衬底的表面能有明确的依赖关系。针对纳米尺度荧光材料的喷墨打印工艺的研究还比较滞后,但是,可以确定的是,纳米材料的组装行为及其荧光强度为对衬底材料表面的物理和化学特性都是敏感的。

[0005] 不同材质的衬底或同种材料但表面有不同程度污染的衬底具有不同的表面能,因而纳米荧光材料的分散液在其表面形成的薄膜在尺寸和堆积形貌上会表现出差异性。类似地,在不同衬底上进行后续工艺获得的效果和最终产品的性能会存在差异。因此需要对衬底进行清洗或预处理来保证工艺品质的一致性。即使这样,清洗过程或者预处理过程中出现的异常仍然可能导致整体工艺稳定性的下降,因此往往需要在产品的工艺线上插入一系列的衬底表征步骤来确认产品失效的机制和定位相关工艺步骤。衬底表面的常用表征方法有:光学显微镜观察、原子力显微镜、电子扫描显微镜、X射线光电子能谱技术(XPS)等,但是这些方法或复杂、或易于对衬底表面产生破坏性损伤,因而会大幅增加生产成本,降低生产设备的使用效率。

发明内容

[0006] 本发明是为避免上述现有技术所存在的不足之处,基于喷墨打印工艺的衬底敏感性这一特征,提供一种基于荧光纳米材料的喷墨打印和计算机辅助表征的衬底表面探测方法,所要解决的技术问题是在不降低机器使用效率的前提下,获取量化的特征参数,提高衬底表面检测的时效性,达到实时感知和动态控制的目的。

[0007] 本发明为解决技术问题采用如下技术方案：

[0008] 本发明基于荧光纳米材料的喷墨打印和计算机辅助表征的衬底表面探测方法，其特点是：

[0009] A、获取喷墨打印稳定性参数，评判墨水稳定性

[0010] (1)取表面均匀的标准衬底，以荧光纳米材料为原料，配制墨水；通过喷墨打印的方式，将墨水打印在标准衬底上，形成 $m \times n$ 荧光点阵图案；将所述荧光点阵图案去噪后转换为二值图片；

[0011] (2)选定二值图片左上角的点为坐标原点，计算荧光点阵中各荧光点圆心的原始坐标，并根据任意一行荧光点的原始坐标对二值图片进行偏转修正，以使荧光点阵保持水平；计算偏转修正后各荧光点圆心的坐标值 (x_{ij1}, y_{ij1}) ， $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ ；

[0012] (3)以荧光点阵中第一个荧光点的目标格点作为参考格点，定义该目标格点的坐标值 (x_{i10}, y_{i10}) 为相应荧光点的圆心坐标；根据参考格点的坐标值和所打印荧光点阵中两荧光点之间的理论间距，计算荧光点阵中其他荧光点的目标格点的坐标值 (x_{ij0}, y_{ij0}) ， $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ ；

[0013] 根据各荧光点圆心的坐标值和其目标格点的坐标值，计算各荧光点相对于其目标格点的偏移量 r_{ij} ： $r_{ij} = \sqrt{(x_{ij0} - x_{ij1})^2 + (y_{ij0} - y_{ij1})^2}$

[0014] 由式(1)计算获得平均偏移量 \bar{r} ：

$$[0015] \quad \bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |r_{ij}|}{m \times n} \quad (1);$$

[0016] (4)以荧光点阵中的其他荧光点的目标格点分别作为参考格点，并按步骤(3)分别计算平均偏移量 \bar{r} ；取所获得的平均偏移量 \bar{r} 中的最小值作为喷墨打印稳定性参数；

[0017] (5)以喷墨打印稳定性参数作为评判墨水稳定性的依据：若 $\bar{r} \leq$ 喷墨打印设备的机械精度，则该墨水可以在衬底上稳定打印；否则，该墨水不能在衬底上稳定打印；

[0018] B、评判目标衬底均匀性

[0019] 以荧光纳米材料为原料，配制能够在目标衬底上稳定打印的墨水；通过喷墨打印的方式，将墨水打印在目标衬底上，形成 $m \times n$ 荧光点阵图案；将所述荧光点阵图案去噪后转换为二值图片，计算荧光点阵中各荧光点的直径 d_{ij} ， $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$ ；计算获得各荧光点的

平均直径 \bar{d} 和荧光点直径的样本标准偏差 S ：
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (d_{ij} - \bar{d})^2}{m \times n - 1}};$$

[0020] 以所述样本标准偏差 S 作为评判目标衬底表面均匀性的依据；

[0021] C、获取纳米材料自组装模式的特征参数，判断衬底类型

[0022] 以荧光纳米材料为原料，配制能够在目标衬底上稳定打印的墨水；通过喷墨打印的方式，将墨水打印在目标衬底上，形成一层 $m \times n$ 荧光点阵；在相同位置重复打印，直至形成 I 层荧光点阵图案；将 I 层荧光点阵图案去噪后转换为二值图片，计算荧光点阵中各荧光

点的平均直径 d_I ;

[0023] 在I层荧光点阵的基础上继续打印,形成J层荧光点阵图案;将J层荧光点阵图案去噪后转换为二值图片,计算荧光点阵中各荧光点的平均直径 d_J ;

[0024] 按式(2)计算纳米材料自组装模式的特征参数M:

$$[0025] \quad M = \frac{\ln\left(\frac{J}{I}\right)}{\ln\left(\frac{d_J}{d_I}\right)} \quad (2);$$

[0026] 以纳米材料自组装模式的特征参数作为评判衬底类型的依据。

[0027] 本发明的衬底表面探测方法,其特点也在于:

[0028] 以荧光点直径的样本标准偏差S评判衬底表面均匀性的方法是:样本标准偏差S越小,衬底表面越均匀;实际工艺应用中,可以以其作为衬底均匀性是否符合要求的依据,如对于某一类型衬底的生产来说,可以根据应用需要,先确定一标准值,在后期的生产中,对同一批次生产的衬底进行抽样检测,若其样本标准偏差S小于该标准值,则该批次衬底符合均匀性要求,否则,该批次衬底不符合均匀性要求。同时,也可通过比较样本标准偏差S,来比较两衬底表面的均匀性。

[0029] 以纳米材料自组装模式的特征参数M判断衬底类型的方法是:

[0030] 若 $M=2$,则荧光点在衬底上的生长模式为二维铺展模式(即新打印层的荧光点相对与其下层的荧光点,呈二维铺展生长,高度不变,荧光点直径变大);

[0031] 若 $M=3$,则荧光点在衬底上的生长模式为各向同性的三维组装模式(即新打印层的荧光点以其下层的荧光点为内核,呈球形生长,荧光点的高度和直径变化幅度相同);

[0032] 若 $2 < M < 3$ 或 $M > 3$,则荧光点在衬底上的生长模式为各向异性的三维组装模式(即新打印层的荧光点以其下层的荧光点为内核,向外铺展生长;当 $2 < M < 3$ 时,荧光点的高度的变化幅度小于直径的变化幅度;当 $M > 3$ 时,荧光点的高度的变化幅度大于直径的变化幅度);

[0033] 根据相同荧光纳米材料在不同衬底上的生长模式不同,判断衬底类型。实际应用中,可建立不同荧光纳米材料在不同衬底上生长模式的数据库,作为后期判断衬底类型的依据。

[0034] 与已有技术相比,本发明的有益效果体现在:

[0035] 1、本发明的衬底表面探测方法,操作自动化程度高、图像信噪比高、数据处理快,因此有效信息提取速度快,时效性好。

[0036] 2、本发明的衬底表面探测方法,避免使用复杂的在线监测装置,控制更加及时,便于实施大面积衬底的多点监测和比对,可以直接对器件的边缘区域实施监测,在同一块基材上完成监测和产品的生产过程。

[0037] 3、本发明的衬底表面探测方法,通过荧光材料的传感作用,实现计算机辅助表征,通过特征参数的自动量化提取,提高了网络化信息的传播效率,促进多过程相关的更大规模的数据分析,因此基于该技术可以构建一种信息-物理融合系统,具有有效信息提取速度快,能够实时感知和动态控制的优势,实现对复杂的产品工艺线的多过程协同控制。

附图说明

[0038] 图1为本发明实施例1所获得的荧光点阵局部图案经过MATLAB降噪与偏转修正处理后的二值图片(图1(a))及各荧光点相对于其目标格点的偏移量的分布图(图1(b));其中图1(a)中所标为偏转修正后各荧光点圆心的坐标值,图1(b)中给出了平均偏移量的计算公式及计算结果,同时也给出了荧光点阵图案的偏转角度。

[0039] 图2为本发明实施例2分别在ITO、PVP衬底上打印3层、6层、9层荧光点阵的光学显微图像(上层)与荧光图像(下层)。

[0040] 图3(a)和图3(b)分别为本发明实施例2在ITO、PVP上打印3层、6层、9层荧光点阵的直径统计、M值分布图。

[0041] 图4(a)和图4(b)分别为本发明实施例2在ITO、PVP上打印3层、6层、9层荧光点的单点形貌扫描图,图中包含了打印不同层数时单点的直径和高度。

[0042] 图5(a)为本发明实施例2在PVP衬底上打印3层、6层、9层荧光点阵的光学显微图像与荧光图像;图5(b)为相应层各荧光点直径的分布图。

具体实施方式

[0043] 以下通过具体实施方法来对本发明的衬底表面探测方法进行说明。

[0044] 实施例1

[0045] 本实施例首先通过获取喷墨打印稳定性参数,来评判墨水稳定性,具体步骤如下:

[0046] (1)以经过原子力显微镜表征,确定表面均匀的PVP衬底,作为本实施例的标准衬底;以荧光纳米材料为原料,配制墨水,本实施例所用荧光纳米材料为绿色荧光量子点(浓度为20mol/L),将其与pH为4.5的醋酸按体积比1:4混合,构成墨水A。

[0047] 通过喷墨打印(所用喷墨打印设备的机械精度为5 μ m)的方式,将墨水A打印在标准衬底上,形成9 \times 9荧光点阵图案;将荧光点阵图案经计算机中的MATLAB软件(2012a版本)去噪后(去噪是为了去除图案中除荧光点以外的其他杂质点的影响)转换为二值图片,如图1(a)所示。

[0048] (2)选定二值图片左上角的点为坐标原点,计算荧光点阵中各荧光点圆心的原始坐标,并根据任意一行荧光点的原始坐标对二值图片进行偏转修正,以使荧光点阵保持水平,本实施例中的修正角度如图1(b)所示。修正角度的确定方式是以所选定行的第一个荧光点为依据,根据最小二乘法获得该行荧光点的拟合直线,该直线相对于水平位置的偏差角度,即为修正角度;以选定行的第一个荧光点为定点,进行偏转。

[0049] 如图1(a)所示,计算偏转修正后各荧光点圆心的坐标值 (x_{ij1}, y_{ij1}) , $1 \leq i \leq 9, 1 \leq j \leq 9$;

[0050] (3)以荧光点阵中第一个荧光点的目标格点作为参考格点,定义该目标格点的坐标值 (x_{110}, y_{110}) 为相应荧光点的圆心坐标;根据参考格点的坐标值和所打印荧光点阵中两荧光点之间的理论间距,计算荧光点阵中其他荧光点的目标格点的坐标值 (x_{ij0}, y_{ij0}) , $1 \leq i \leq 9, 1 \leq j \leq 9$;

[0051] 根据各荧光点圆心的坐标值和其目标格点的坐标值,计算各荧光点相对于其目标格点的偏移量 r_{ij} : $r_{ij} = \sqrt{(x_{ij0} - x_{ij1})^2 + (y_{ij0} - y_{ij1})^2}$ 。

[0052] 由式(1)计算获得平均偏移量 \bar{r} ;

$$[0053] \quad \bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |r_{ij}|}{m \times n} \quad (1);$$

[0054] (4)以荧光点阵中的其他荧光点的目标格点分别作为参考格点,并按步骤(3)分别计算平均偏移量 \bar{r} ;取所获得的平均偏移量 \bar{r} 中的最小值作为喷墨打印稳定性参数,如图1(b)所示。

[0055] 本实施例中墨水A打印点阵的平均偏移量为 $2.85\mu\text{m} < 5\mu\text{m}$,证明本实施例所选用的墨水A可以在PVP衬底上稳定打印。

[0056] 为进行对比,将绿色荧光量子点(20mol/L)、乙二醇、pH为3.5的醋酸按体积比7:3:2混合,构成墨水B。按上述相同的方式进行计算,获得其平均偏移量的最小值,也即喷墨打印稳定性参数为 $8.35\mu\text{m} > 5\mu\text{m}$,因此墨水B不可以在PVP衬底上稳定打印。

[0057] 由上可知,本发明提出的 \bar{r} 可以作为评判墨水稳定性的参数。

[0058] 本实施例根据上述墨水的选定结果,再来验证本发明评判目标衬底均匀性的方法的可行性:以经过原子力显微镜表征确定表面均匀的PVP衬底作为目标衬底;同时使用原子力显微镜表征选取表面不均匀的PVP衬底作为对照衬底。

[0059] 通过喷墨打印的方式,分别将墨水A打印在目标衬底和对照衬底上,形成 $m \times n$ 荧光点阵图案;将荧光点阵图案去噪后转换为二值图片,计算荧光点阵中各荧光点的直径 d_{ij} , $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$;然后计算获得各荧光点直径的样本标准偏差S,以样本标准偏差S作为评判目标衬底表面均匀性的依据,求得的样本标准偏差S越大,说明衬底表面均匀性越差。

[0060] 本实施例在均匀PVP衬底上的点阵直径的样本标准偏差S为0.686473394,在不均匀PVP衬底上的点阵直径的样本标准偏差S为1.86397641。所得结果与原子力显微镜的表征结构一致。

[0061] 由上可知,本发明提出的样本标准偏差S可以作为评判衬底表面均匀性的依据。

[0062] 实施例2、

[0063] 本实施例通过获取纳米材料自组装模式的特征参数来区分衬底类型,具体步骤如下:

[0064] (1)本实施例所用目标衬底为ITO(氧化铟锡导电玻璃)衬底和PVP(聚乙烯基苯酚)衬底:

[0065] 本实施例以荧光纳米材料为原料,配制能够在目标衬底上稳定打印的墨水,本实施例所用荧光纳米材料为绿色荧光量子点(浓度为20mol/L),将其与pH为4.5的醋酸按体积比1:4混合,构成墨水。经本发明的方法验证,该墨水在ITO和PVP上皆可以稳定打印。

[0066] (2)通过喷墨打印的方式,将墨水打印在ITO衬底上,形成一层 9×9 荧光点阵;在相同位置重复打印,直至形成3层荧光点阵图案(如图2所示,上方为光学显微镜图案,下方为其荧光图案);将荧光点阵图案去噪后转换为二值图片,经计算机中的MATLAB软件计算荧光点阵中各荧光点的平均直径 d_3 ;

[0067] 在3层荧光点阵的基础上继续打印,形成6层荧光点阵图案(如图2所示);将荧光点阵图案去噪后转换为二值图片,计算荧光点阵中各荧光点的平均直径 d_6 ;

[0068] 在6层荧光点阵的基础上继续打印,形成9层荧光点阵图案(如图2所示);将荧光点

阵图案去噪后转换为二值图片,计算荧光点阵中各荧光点的平均直径 d_9 ;

[0069] 按式(2)计算3层和6层之间的纳米材料自组装模式的特征参数 M 、6层和9层之间的纳米材料自组装模式的特征参数 M 。

[0070] (3)将衬底换为PVP,按步骤(2)相同的方式获取3层、6层、9层的荧光点阵图案、平均直径及纳米材料自组装模式的特征参数。

[0071] 由计算机对步骤(2)、步骤(3)制备在ITO、PVP表面的荧光点阵图(图2)的分析,得出图3所示ITO、PVP上打印不同层数荧光材料的直径分布图。

[0072] 使用计算机对直径数据进行处理运算通过分析得到,在ITO上纳米材料自组装模式的特征参数 $M \approx 3$,说明荧光点在衬底上的生长模式为各向同性的三维组装模式。符合图4(a)扫描所得单点形貌图的变化规律。

[0073] 在PVP上纳米材料自组装模式的特征参数 M 远大于3,可判断荧光点在衬底上的生长模式为各向异性的三维组装模式,且高度的变化幅度远远大于直径的变化幅度,可以认为在PVP上荧光纳米材料墨水进行层状叠加生长。符合图4(b)扫描所得单点形貌图的变化规律。

[0074] 由上可知,荧光纳米材料在不同衬底上的 M 不同,生长模式不同,可以将其作为判断衬底类型的依据。因此,对于某些肉眼无法观察到的成膜工艺,需要区分不同材料、或定义成膜边界时,也可使用该方法。

[0075] 此外,本实施例在PVP衬底上打印3、6、9层数荧光材料的某一次试验中,发现打印第7~9层荧光材料时,打印位置与前6层有偏差,如图5(a)所示。统计直径数据后,可观察到点阵直径发生了突变,如图5(b)所示。可见,若打印发生偏差,数据即会以突变的形式发生变化。因此,本发明的方法也可用于检测图层间的对位,实现多层工艺中的图层校准。

[0076] 综上所述,本发明基于纳米材料在微液滴中的组装行为及其在溶剂干燥后的堆积形貌与衬底表面的物理和化学特性之间的相关性,以喷墨打印荧光纳米材料点阵为方法,以计算机辅助表征和数据分析为手段,提出了喷墨打印落点偏移的特征参数 \bar{r} 与纳米材料自组装模式的特征参数 M 的获取与计算步骤,为加工制造与工业过程控制领域提供了可靠、高效、可实时协同的检测衬底表面特性的方法。

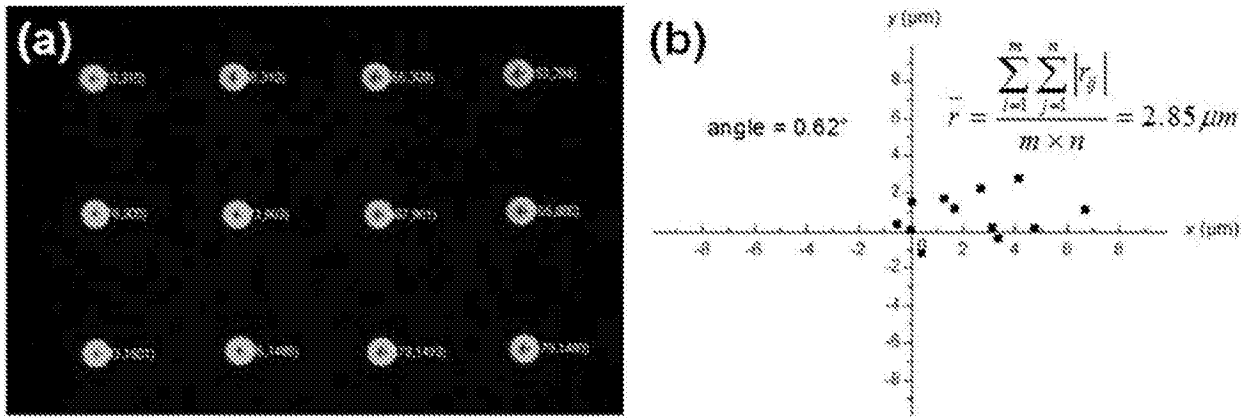


图1

衬底材料	3层荧光量子点	6层荧光量子点	9层荧光量子点
ITO			
PVP			

图2

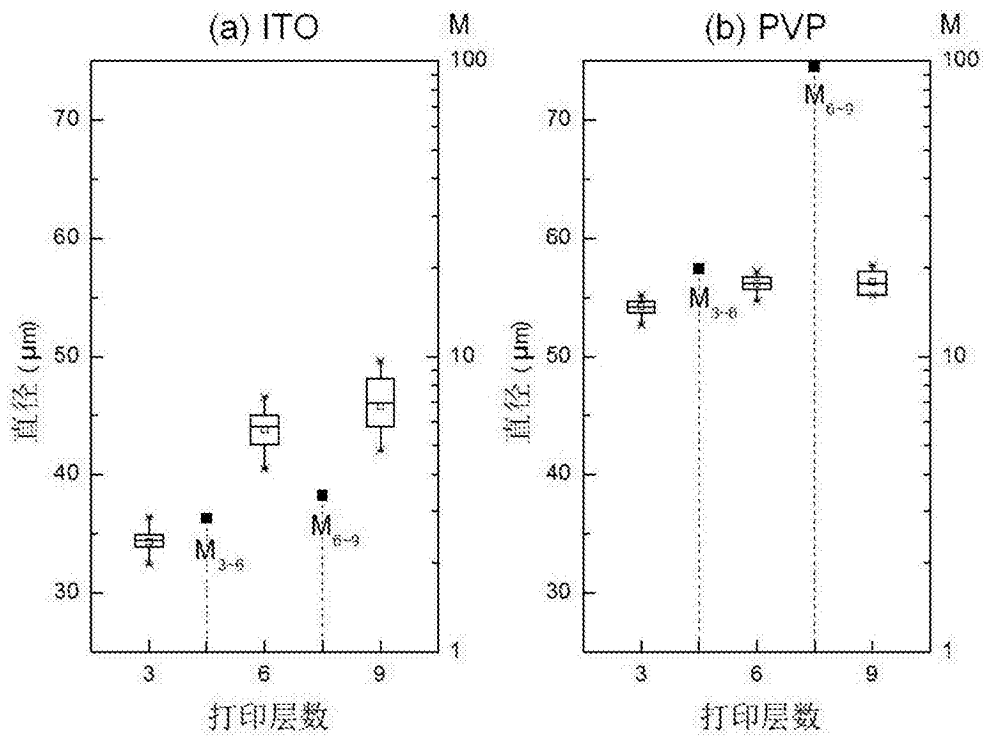


图3

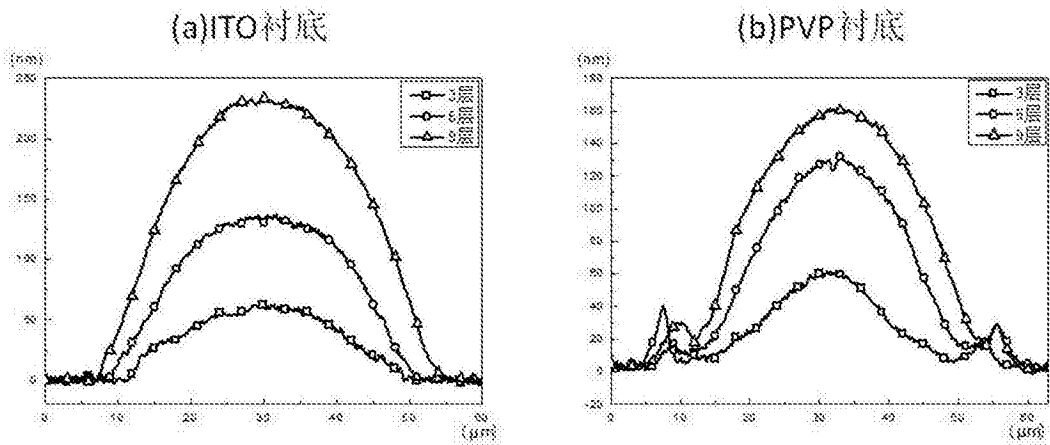


图4

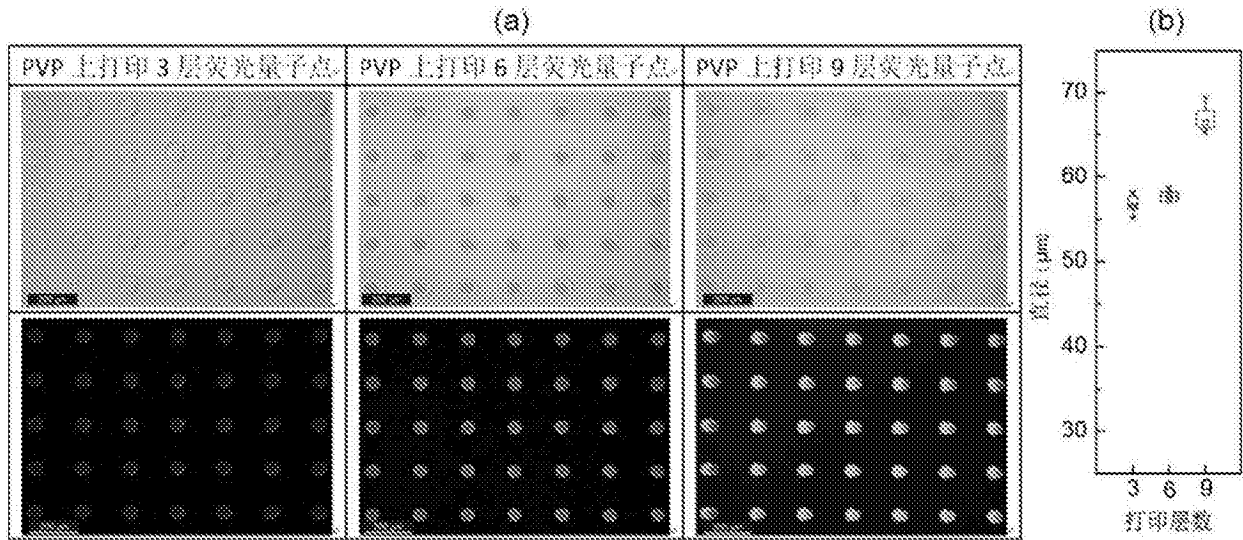


图5