(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105403482 A
(43)申请公布日 2016.03.16

(21)申请号 201510703493.X

(22)申请日 2015.10.26

(71)申请人 东华大学
地址 201620 上海市松江区人民北路2999号
申请人 山东南山纺织服饰有限公司

(72)发明人 王府梅 吴美琴 曹贻儒

(74)专利代理机构 上海申汇专利代理有限公司 31001
代理人 翁若莹 郭海

(51)Int.Cl.
G01N 9/24(2006.01)

权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种相对面密度的光学算法

(57)摘要

本发明涉及一种由纤维或细薄物体组成的层状集合体相对面密度的光学测量计算方法，其特征在于，包括以下步骤：第一步、用均匀光源照射层状纤维集合体材料，利用数码成像技术获取试样的透射光数字灰度图像；第二步、计算层状集合体上任一点的相对面密度；或者计算层状集合体上任一个区域的平均面密度的相对值。运用本发明算法获得的纤维层相对面密度更加精确，从而为精确测量分析纤维长度分布、纤维或细薄物体堆砌成的层状材料结构和性能打下了基础。

CN 105403482 A

1. 一种相对面密度的光学算法，其特征在于，包括以下步骤：

第一步、获取由纤维或其他高分子物体堆砌而成的层状材料试样，用均匀光源照射层状材料试样，利用数码成像技术获取层状材料试样的透射光数字灰度图像；

第二步、或者用公式（1）计算层状材料试样任一点的相对面密度 W_r，即 m 行 n 列的透射光数字灰度图像矩阵中第 i 行第 j 列的像素点上材料层的面密度 W_{ij} 与该层状材料试样最厚点的面密度 W_{max} 的比值：

$$W_r=\frac{W_{ij}}{W_{max}}=\frac{\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{ij}^2R_\infty^2}}{2T_{ij}}\right)}{\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{max}^2R_\infty^2}}{2T_{max}}\right)} \qquad (1)$$

式中，R_∞ 为所测纤维或其他高分子物体堆砌到无穷厚时的反射率，是纤维或其他高分子物体自身的光学参数；$T_{ij}=I_{ij}/A$ 为第 i 行第 j 列像素点处纤维层的透射率，A 为该数字灰度图像中无纤维处像素点的灰度值（等于入射光强度），I_{ij} 为第 i 行第 j 列的像素点的灰度值即透射光强度；T_{max} 为该试样最厚处的透射率；

或者计算层状材料试样任一个区域平均面密度的相对值 W_r，即计算第 x 个区域平均面密度 W_{ij} 与该试样最厚区域平均面密度 W_{max} 的比值，包括以下步骤：

（1）试样的数字灰度图像划分为 N 个不同区域，$N\geq 2$，每个区域的数字灰度图像均为 m 行 n 列的灰度值矩阵；

（2）计算任意一个区域即第 x 个区域的相对面密度 W_r，x = 1，…，N；设第 x 个区域的数字灰度图像上第 i 行第 j 列的像素点的透射率为 T_{ij}，厚度最大区域的数字灰度图像上第 i 行第 j 列的像素点的透射率为 T_{maxij}，则用公式（2）计算第 x 个区域的相对平均面密度 W_r：

$$W_r=\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{ij}^2R_\infty^2}}{2T_{ij}}\right)/m\times n}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{maxij}^2R_\infty^2}}{2T_{maxij}}\right)/m\times n} \qquad (2)。$$

2. 如权利要求 1 所述的一种相对面密度的光学算法，其特征在于，所述无穷厚材料的反射率 R_∞ 为常用的紫外可见分光光度仪在 380nm ～ 720nm 波长范围内测量的层状材料厚度为 0.5 ～ 5cm 范围的反射率。

3. 如权利要求 1 所述的一种相对面密度的光学算法，其特征在于，所述第一步包括：用均匀光源照射由纤维或其他高分子物体堆砌而成的层状试样，同时，利用数码成像技术获取该试样的透射光数字灰度图像。

4. 如权利要求 1 所述的一种面密度的光学算法，其特征在于，所述层状材料试样为层状纤维集合体试样或由高分子膜或碎屑堆砌而成的层状试样。

一种相对面密度的光学算法

技术领域

[0001] 本发明涉及纤维集合体结构分布特性的光学测量技术，具体来说，涉及由纤维或其他高分子物体堆砌而成的层状材料透光信号计算其面密度分布的高精度方法。

背景技术

[0002] 层状纺织纤维集合体的面密度分布，是表征多种层状纤维集合体结构和质量分布等特性的中间变量，是研究纤维、纤维网、织物等纤维集合体结构和性能的重要依据，被广泛应用于纺织材料的光电法检测等领域，照影仪法测量棉纤维长度就是一例，但是，早期利用透光强度表征纤维层厚度的照影仪法存在很大误差。

[0003] 2008 年，严漂利用摄像头拍摄透射光照射的纤维束，获得数字图像，根据图像中像素点的亮度值与透光强度成正比的物理概念做出自称的照影仪曲线（东华大学，硕士论文：棉纤维色度和长度测量方法的研究与设计）。因透光量与纤维层厚度（相对面密度）不是线性关系，将透光量作为纤维层厚度计算的纤维层面密度存在较大的偏差。

[0004] 2012 年，王府梅、吴红艳（专利号：ZL201210328089.5）利用透射式扫描仪获取双端须丛的灰度值图像后，将灰度值作为透射光强代入考虑材料吸收与厚度关系的 Lambert-Beer 定律计算须丛的厚度分布信息，以下称此法为 Lambert-Beer 定律的衍生算法。虽然较前述方法可以在很大程度提高了须丛厚度的计算精度，但是与真实厚度相比，仍然存在一定偏差。后来吴红艳（东华大学，博士论文：一种纤维长度快速低成本测量方法——双须测量法）基于一组实验总结出了棉纤维须丛曲线的修正方法，但是，此经验公式也仅适用于棉纤维。

[0005] 在理论上，由于纤维是半透明物质，当光照射纤维集合体时，一部分光线透过纤维集合体成为透射光，另一部分光线因纤维集合体对光线的作用而损失。损失的光线，除了包括被纤维吸收的光能量以外，还包括纤维集合体内部众多纤维表面产生的四面八方的反射光和纤维内部结构不均或消光剂等嵌入物产生的各个方向的散射光。因为基于单向吸收的 Lambert-Beer 定律没有考虑光被介质的多向散射作用和散射光进一步被吸收，所以计算出的纤维层面密度仍然存在明显偏差。为了高精度测量和分析各种纺织纤维集合体的结构和性质，需要建立考虑光的多向散射和吸收的光学理论模型。

[0006] 许多研究者对纺织纤维的光学性质进行过实验研究与理论研究，但是综合考虑吸收、散射和反射的纤维层光学面密度研究却未见报道。

[0007] 当光入射到均质片状材料时，Kubelka 和 Munk 将材料对光的散射和吸收作用在各个方向上造成的光衰减近似折算到向上和向下两个通道光的变化，通过光衰减量推导出与材料的厚度、散射系数、透射系数、透射信号和反射信号相关的物理方程，此方程被称为 Kubelka-Munk 双通道模型。Kubelka-Munk 理论模型已被广泛应用于油墨纸张、颜色混色、医药等均质材料以及膜层原位定量光密度分析领域，而在固体与气体混合构成的纤维集合体面密度定量计算方面未见研究或应用报道。

[0008] 因此，为了准确测量和分析各种纺织纤维集合体的结构和性质，迫切需要能够综

合考虑由纤维和空气混合构成的层状纤维集合体对光线的吸收和散射作用，采用纤维集合体的透射光信号计算其相对面密度分布信息的精准算法。

发明内容

[0009] 本发明的目的是提供一种由纤维层透光信号计算其相对面密度分布的高精度计算方法。

[0010] 为了达到上述目的，本发明的技术方案是提供了一种相对面密度的光学算法，其特征在于，包括以下步骤：

[0011] 第一步、获取由纤维或其他高分子物体堆砌而成的层状材料试样，用均匀光源照射层状材料试样，利用数码成像技术获取层状材料试样透射数字灰度图像；

[0012] 第二步、或者用公式(1)计算层状材料试样任一点的相对面密度 W_r，即 m 行 n 列的透射光数字灰度图像矩阵中第 i 行第 j 列的像素点上材料层的面密度 W_{ij} 与该层状材料试样最厚点的面密度 W_{max} 的比值：

[0013] $$W_r = \frac{W_{ij}}{W_{max}} = \frac{\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{ij}^2R_\infty^2}}{2T_{ij}}\right)}{\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{max}^2R_\infty^2}}{2T_{max}}\right)} \quad (1)$$

[0014] 式中，R_∞ 为所测纤维或其他高分子物体堆砌到无穷厚时的反射率，是纤维或其他高分子物体自身的光学参数；$T_{ij} = I_{ij}/A$ 为第 i 行第 j 列像素点处纤维层的透射率，A 为该数字灰度图像中无纤维处像素点的灰度值（等于入射光强度），I_{ij} 为第 i 行第 j 列的像素点的灰度值即透射光强度；T_{max} 为该试样最厚处的透射率；

[0015] 或者计算层状材料试样任一个区域平均面密度的相对值 W_r，即计算第 x 个区域平均面密度 W_{ij} 与该试样最厚区域平均面密度 W_{max} 的比值，包括以下步骤：

[0016] (1)试样的数字灰度图像划分为 N 个不同区域，$N \geq 2$，每个区域的数字灰度图像均为 m 行 n 列的灰度值矩阵；

[0017] (2)计算任意一个区域即第 x 个区域的相对面密度 W_r，$x = 1, \cdots, N$；设第 x 个区域的数字灰度图像上第 i 行第 j 列的像素点的透射率为 T_{ij}，厚度最大区域的数字灰度图像上第 i 行第 j 列的像素点的透射率为 T_{maxij}，则用公式(2)计算第 x 个区域的相对平均面密度 W_r：

[0018] $$W_r = \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{ij}^2R_\infty^2}}{2T_{ij}}\right)/m\times n}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{maxij}^2R_\infty^2}}{2T_{maxij}}\right)/m\times n} \quad (2)。$$

[0019] 优选地，所述无穷厚材料的反射率 R_∞ 为常用的紫外可见分光光度仪在 380nm～720nm 波长范围内测量的层状材料厚度为 0.5～5cm 范围的反射率。

[0020] 优选地，所述层状材料试样为层状纤维集合体试样或由高分子膜或碎屑堆砌而成的层状试样。

[0021] 优选地，所述第一步包括：用均匀光源照射由纤维或其他高分子物体堆砌而成的层状试样，同时，利用数码成像技术获取该试样的透射数字灰度图像。

[0022] 运用本发明算法获得的纤维层及高分子物体堆砌成的层状试样的相对面密度更加精确，从而为精确测量分析纤维长度分布、纤维集合体及高分子物体堆砌的层状材料的结构和性能打下了基础。

附图说明

[0023] 图 1 为羊毛须丛透射光灰度图

[0024] 图 2 为须从的相对质量随横截面位置的变化曲线

[0025] 图 3 为纤维层排列及正方形测试孔；

[0026] 图 4A 至图 4J 为实施例 2 中的第 1 个层状棉纤维集合体试样至第 10 个层状棉纤维集合体试样的透光图像；

[0027] 图 5 为本发明计算的棉纤维层相对面密度与 Lambert 衍生算法比较；

[0028] 图 6A 至图 6J 为实施例 2 中的第 1 个层状羊毛纤维集合体试样至第 10 个层状羊毛纤维集合体试样的透光图像；

[0029] 图 7 为本发明计算的毛纤维层相对面密度与 Lambert 衍生算法比较；

[0030] 图 8A 至图 8Q 为 0 层至 16 层叠加的聚酯膜透光图像；

[0031] 图 9 为本发明计算的薄膜相对面密度与 Lambert 衍生算法、光强直接算法比较。

具体实施方式

[0032] 为使本发明更明显易懂，兹以优选实施例，并配合附图作详细说明如下。

[0033] 实施例 1：羊毛须丛曲线的测量计算与效果考查

[0034] 须丛制作：随机抽取出一段长度大于最长纤维两倍的毛条试样，用专用夹持器垂直于毛条长度方向夹持住毛条，然后用梳子对毛条一端进行梳理，去除浮游纤维，制得待测羊毛须丛，参见图 1。

[0035] 须丛曲线的物理意义：图 1 所示的须丛实际是一个层状纤维集合体，纺纱牵伸机构设计和纺纱工艺设计等许多领域都需要知道该须丛任一横截面上的纤维量与横截面位置的关系曲线，俗称须丛曲线。

[0036] 须丛透光图像测量：将制作好的羊毛须丛放入光学检测装置，获取须丛的透光数字灰度图像，如图 1 所示。灰度值范围为 0 ～ 255，分辨率为 1000，精度为 0.0254mm。平行和垂直于纤维轴建立图像的坐标系。

[0037] 用本发明专利计算须丛曲线：根据公式 (2) 可以计算须丛任一横截面上即第 j 列像素点上纤维的相对面密度 W_{jr}，W_{jr}= m 行 n 列的数字灰度图像矩阵中第 j 列像素点上总计面密度 $\sum_{i=1}^{m} W_{ij}$ 与该试样最厚列（须丛起始横截面）的总面密度 $\sum_{i=1}^{m} W_{imax}$ 的比值，即：

[0038] $$W_{jr}=\frac{\sum_{i=0}^{m}W_j}{\sum_{i=0}^{m}W_{max}}=\frac{\sum_{i=0}^{m}\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{ij}^2R_\infty^2}}{2T_{ij}}\right)}{\sum_{i=0}^{m}\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{imax}^2R_\infty^2}}{2T_{imax}}\right)}$$

[0039] 式中，该纤维无穷厚时的反射率R_∞取为0.6；$T_{ij}=I_{ij}/A$为须丛数字灰度图像上第i行第j列像素点处的透射率，A为数字灰度图像中无纤维处像素点的灰度值，I_{ij}为须丛数字灰度图像上第i行第j列像素点的灰度值；$T_{imax}=I_{imax}/A$为须丛数字灰度图中第i行最厚列（起始列）的透射率，I_{imam}为须丛数字灰度图像上第i行最厚列（起始列）像素点的灰度值。

[0040] 以上面求得的第j列像素点上纤维的相对面密度W_{jr}为纵坐标，以横截面所在位置为横坐标，绘制须丛曲线，如图2中的黑点所示。

[0041] 效果考查：另一方面，利用Almeter100仪器的电容式传感器测得该须丛任一横截面的相对质量随横截面位置的变化曲线，如图2中的“△”所示。图2中的2曲线高度一致，说明本发明专利计算的须丛曲线精确度很高。由于本发明适合采用目前高度发达的数码成像技术，比传统的电容式检测等方法更具应用价值。

[0042] 实施例2：棉纤维层相对面密度的测量计算及其效果

[0043] 为验证本发明的正确性，利用棉纤维制作了10个厚度依次增加的层状纤维集合体试样，每个试样的厚度均匀，参见图3中部$2cm^2$的窗口。按厚度依次增加的顺序，分别被称作第1、第2、…第x个…、第10个层状纤维集合体试样。

[0044] 利用数码成像设备在相同光照等测试条件下分别获取第1个、第2个、…第x个…、第10个层状纤维集合体试样中部$1cm^2$的透射光灰度图像，如图4A至图4J所示。灰度值越高表明透射光越强，纤维层越薄。第x个试样的透光图像中第i行第j列像素点的透射率以T_{ij}表示，则第10个即最厚试样第i行第j列象素点的透射率以T_{maxij}表示。

[0045] 采用公式(2)，分别计算第1个、第2个、…第x个…、第10个层状纤维集合体试样的相对面密度，第x个试样的相对面密度W_r=第x个试样的平均面密度$\overline{W_x}$/第10个试样的平均面密度$\overline{W_{max}}$，即

[0046] $$W_r=\frac{\overline{W_x}}{\overline{W_{max}}}=\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{ij}^2R_\infty^2}}{2T_{ij}}\right)/m\times n}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\ln\left(\frac{1-R_\infty^2+\sqrt{(1-R_\infty^2)^2+4T_{maxij}^2R_\infty^2}}{2T_{maxij}}\right)/m\times n}$$

[0047] 式中，R_∞为棉纤维层无穷厚时的反射率，在本实施例中取为0.9；$T_{ij}=I_{ij}/A$为第x个试样的数字灰度图像上第i行第j列像素点处的透射率，A为数字灰度图像中无纤维处像素点的灰度值，I_{ij}为第x个试样的数字灰度图像上第i行第j列像素点的灰度值；$T_{maxij}=I_{maxij}/A$为第10个试样的数字灰度图像上第i行第j列像素点处的透射率，I_{maxij}为第10个试样数字灰度图像上第i行第j列像素点的灰度值。

[0048] 根据 Lambert 定律的衍生算法，将第 x 个试样的平均面密度$\overline{W_x}$与最厚试样的平均面密度$\overline{W_{max}}$相比，得到该试样的相对面密度 W_r，则有：

[0049] $$W_r=\frac{\overline{W_x}}{\overline{W_{max}}}=\frac{\sum\ln(A/I_{ij})}{\sum\ln(A/I_{maxij})}$$，式中 A 为数字灰度图像中无纤维处像素点的灰度值即入射光强度，I_{ij}即为第 x 个试样透光图像中第 i 行第 j 列像素点的灰度值；I_{maxij}为第 10 个试样透光图像的第 i 行第 j 列像素点的灰度值。

[0050] 每个试样的基准相对面密度的测量方法如下：完成光学测量后的每个棉纤维层状试样，利用手术剪剪下其中部 2×2cm^{2}正方形测试孔内的纤维，利用精密天平对剪下的纤维进行称重，计算该试样的面密度，结果如表 1 所示。并将该面密度与最重纤维层即第 10 个试样的面密度相比，获得该试样的基准相对面密度。

[0051] 本发明方法的效果，可以从图 5 看得很清楚，利用本发明方法计算的光学相对面密度与基准相对面密度非常一致，几乎是线性关系，而纤维领域目前使用的 Lambert 定律衍生算法的效果明显比较差，误差较大，说明本发明算法可以更精确地计算纤维层的相对面密度。

[0052] 表 1 棉纤维层的面密度

[0053]

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
面密度(g/cm^2)	0.25	0.49	0.55	0.98	1.36	1.66	1.83	2.08	2.34	2.6

[0054] 实施例 3：羊毛纤维层相对面密度的测量计算及其效果

[0055] 利用直径为 19.7μm 澳洲细毛纤维制作 10 个厚度依次增加的层状纤维集合体试样，每个试样的厚度均匀，试样具体情况参见实施例 2。

[0056] 获取每个试样透光图像的方法同实施例 2，结果如图 6A 至图 6J 所示。

[0057] 根据本发明算法及 Lambert 定律衍生算法计算每个毛纤维试样的相对面密度方法同实施例 2。R_∞取为 0.6。

[0058] 每个试样的基准相对面密度的测量方法同实施例 2，结果如表 2 所示。

[0059] 本发明方法的效果，可以从图 7 所示的与基准相对面密度关系看得非常清楚，同时也可看到至今使用的 Lambert 定律衍生算法的效果。显然，本发明算法得到的羊毛纤维层相对光学面密度与其基准面密度的一致性比 Lambert 定律衍生算法高得多。似乎在羊毛纤维领域更能凸显本发明算法的优越性，分析原因有二：(1) 羊毛纤维的表面散射光更强，不可忽略；(2) 实施例 3 的 10 个试样厚度差异大，如表 1 和表 2 所示。试样越厚纤维集合体内部的散射光越强，试样厚度差异越大越能显示考虑散射的本发明方法的优越性。

[0060] 表 2 羊毛纤维层的面密度

[0061]

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
面密度(g/cm^2)	2	2.52	3.21	4.22	6.64	6.61	10.01	11.37	12.09	11.49

[0062] 实施例 4：多层叠加的聚酯薄膜累计厚度测量计算及其效果

[0063] 即便不是纤维而是薄膜，遇到多层叠加情况时，若用光电方法测量累积厚度也存

在各层表面对光线反射和内部非均匀结构等因素的散射问题，层间还可能存在空隙问题，都可视作集合体内部散射，用本发明方法计算其叠加厚度。

[0064] 选用均匀的聚酯薄膜，将若干层薄膜平铺叠加，分别获取16层叠加、15层叠加…1层薄膜、0层薄膜的透光图像，如图8A至图8Q所示。

[0065] 首先分析薄膜透光图的像素信息与相对面密度的定性关系。图8A为0层叠加，以此类推最末图像为16层叠加，层数越多透过的光强越低即灰度值越小，因此16层叠加的灰度值最小，0层叠加的灰度值最大。

[0066] 根据本发明算法及Lambert定律衍生算法计算每个叠加薄膜试样相对面密度的方法同实施例2。

[0067] 每个试样的基准相对面密度获取方法：由于每层薄膜是均质材料，将最厚16层叠加的聚酯薄膜的基准相对厚度看作1，则x层叠加聚酯薄膜试样的基准相对厚度为x/16。

[0068] 早期曾经用透射光强度表征纤维集合体材料的厚度，按照该算法x层叠加的薄膜相对面密度$D_x=\frac{\overline{D_x}}{D_{max}}=\frac{\sum(255-I_{ij})}{\sum(255-I_{maxij})}$，式中$\overline{D_x}$为x层叠加薄膜的平均厚度；$\overline{D_{max}}$为16层叠加的薄膜厚度；透光强度$I_{ij}$为x层叠加薄膜图像的第i行第j列像素点的灰度值；$I_{maxij}$为16层叠加薄膜透光图像的第i行第j列像素点的灰度值。

[0069] 图9显示本发明计算的光学相对面密度与Lambert衍生算法、透光强度算法的效果比较，显然，本发明算法得到的薄膜相对光学面密度与其基准相对面密度几乎相等，是很直的线性关系，而早期使用的透光强度算法和Lambert衍生算法的误差明显较大，说明本发明算法可以更精确地反映多层叠加高分子材料的相对面密度。

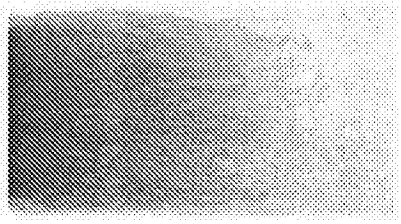


图 1

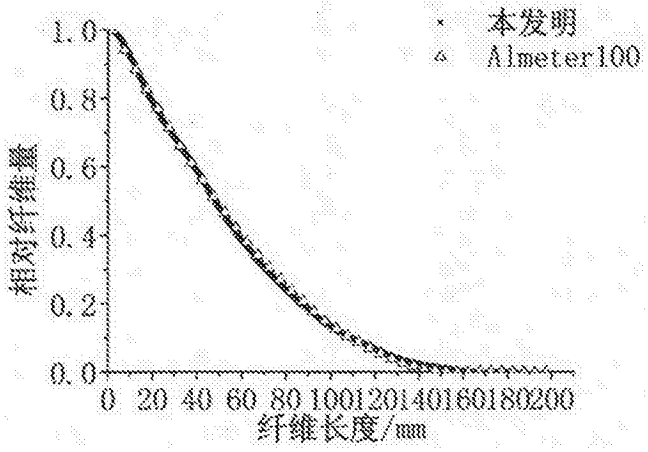

本发明
Almeter100
相对纤维量
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200
纤维长度/mm

图 2

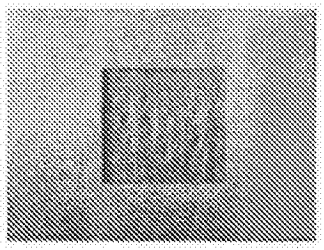


图 3

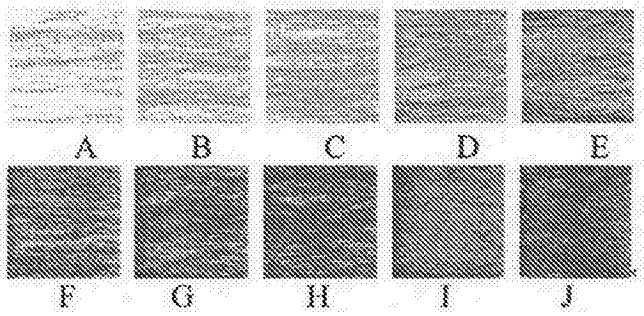

A
B
C
D
E
F
G
H
I
J

图 4

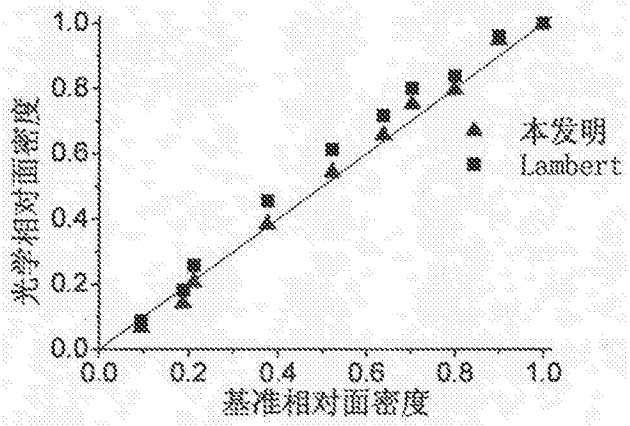

光学相对面密度
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
基准相对面密度
本发明
Lambert

图 5

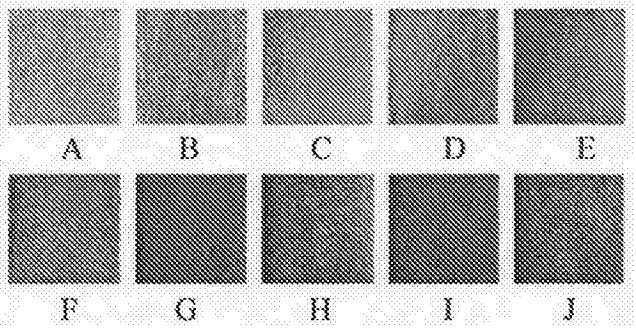

A
B
C
D
E
F
G
H
I
J

图 6

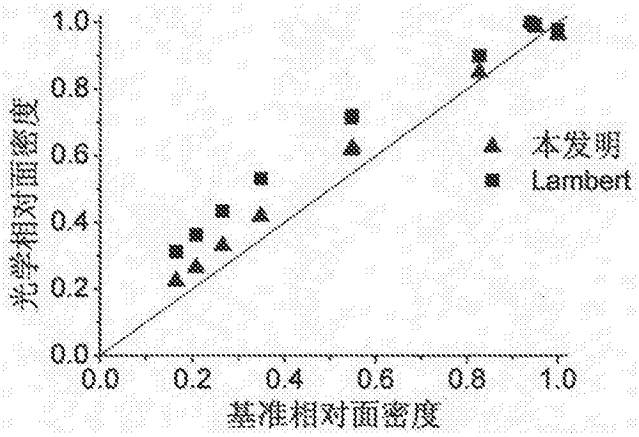
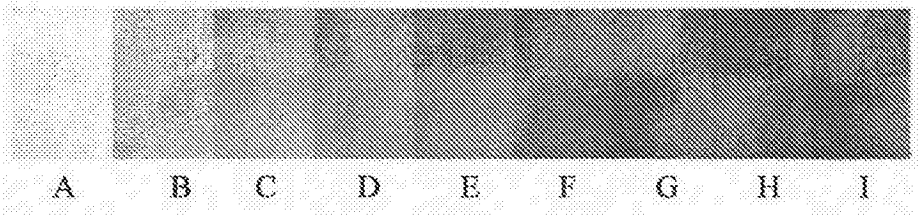

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
光学相对面密度
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
基准相对面密度
本发明
Lambert

图 7


A
B
C
D
E
F
G
H
I

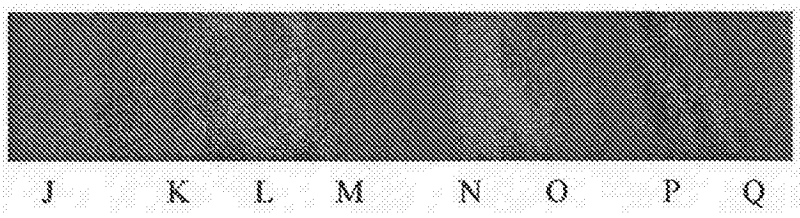

J
K
L
M
N
O
P
Q

图 8

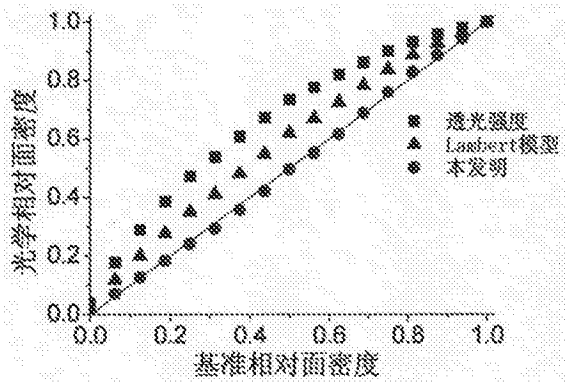


图 9