



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111221225 A

(43)申请公布日 2020.06.02

(21)申请号 202010329640.2

(22)申请日 2020.04.24

(71)申请人 南京诚芯集成电路技术研究院有限公司

地址 211899 江苏省南京市浦口区江浦街道浦滨路320号科创一号大厦B座21楼

(72)发明人 张利斌 韦亚一 董立松 粟雅娟 陈睿 张世鑫

(74)专利代理机构 南京苏博知识产权代理事务所(普通合伙) 32411

代理人 陈婧

(51)Int.Cl.

G03F 7/20(2006.01)

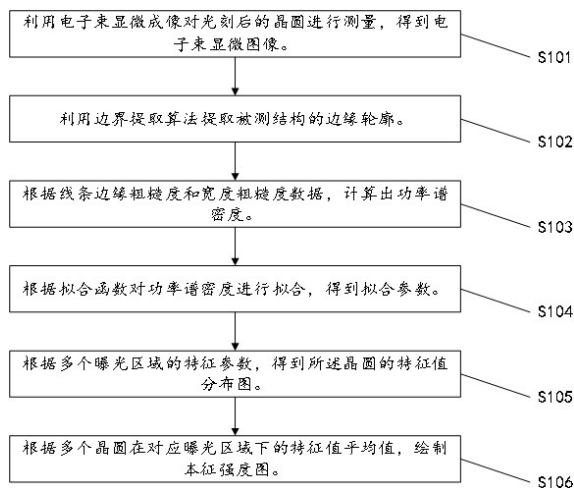
权利要求书2页 说明书6页 附图7页

(54)发明名称

光刻工艺质量评估方法及反馈控制系统

(57)摘要

本发明公开了一种光刻工艺质量评估方法及反馈控制系统,包括电子束显微图像模块、边界提取模块、功率谱密度模块、拟合模块、特征值分布模块和强度模块,利用电子束显微成像对光刻后的晶圆进行测量,得到电子束显微图像;然后利用边界提取算法提取被测结构的边缘轮廓;根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,计算出功率谱密度;并利用拟合函数进行拟合,得到拟合参数和拟合曲线,根据多个曝光区域的特征参数,得到所述晶圆的特征值分布图,并根据多个晶圆在对应曝光区域下的特征值平均值,绘制本征强度图和随机强度图,能够直观看到结构图像的变化。



1. 一种光刻工艺质量评估方法,其特征在于,包括:  
利用电子束显微成像对光刻后的晶圆进行测量,得到电子束显微图像;  
利用边界提取算法提取被测结构的边缘轮廓;  
根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,计算出功率谱密度;  
根据拟合函数对功率谱密度进行拟合,得到拟合参数;  
根据多个曝光区域的特征参数,得到所述晶圆的特征值分布图,所述特征参数包括宽度、线条宽度粗糙度、线条边缘粗糙度、拟合粗糙度和拟合相关系数中的任意一个或多个;  
根据多个晶圆在对应曝光区域下的特征值平均值,绘制本征强度图。
2. 如权利要求1所述的光刻工艺质量评估方法,其特征在于,所述利用电子束显微成像对光刻后的晶圆进行测量,得到电子束显微图像,包括:  
利用电子束显微镜对光刻后的晶圆多个曝光区域下相同尺寸范围内的被测结构进行电子束测量,得到光刻胶轮廓信息,生成电子束显微图像,其中,所述被测结构为规则的线条结构和孔型结构,尺寸范围为1纳米至10微米。
3. 如权利要求2所述的光刻工艺质量评估方法,其特征在于,所述利用边界提取算法提取被测结构的边缘轮廓,包括:  
获取线条垂直方向上的平均像素曲线和像素范围,同时获取基于所述像素范围的10%至90%中的阈值,并根据所述阈值计算出被测结构的边缘轮廓。
4. 如权利要求3所述的光刻工艺质量评估方法,其特征在于,所述根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,计算出功率谱密度,包括:  
将获取的线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据进行傅里叶变换后的平方值与对应的所述线条的长度做除法,得到功率谱密度。
5. 如权利要求4所述的光刻工艺质量评估方法,其特征在于,所述根据拟合函数对功率谱密度进行拟合,得到拟合参数,包括:  
根据对应的频率和长度,结合所述功率谱密度进行拟合,得到设定的粗糙度、粗糙度系数和对应的拟合曲线。
6. 如权利要求5所述的光刻工艺质量评估方法,其特征在于,所述根据多个曝光区域的特征参数,得到所述晶圆的特征值分布图,包括:  
根据不同曝光区域的相同结构,基于所述结构的宽度、线条宽度粗糙度、线条边缘粗糙度、拟合粗糙度和拟合相关系数中的任意一个或多个,绘制出所述晶圆的特征值分布图。
7. 如权利要求6所述的光刻工艺质量评估方法,其特征在于,所述根据多个晶圆在对应曝光区域下的特征值平均值,绘制本征强度图,包括:  
根据获取的大于或等于10个所述特征参数值,计算出对应的平均值和标准差,同时删除大于所述标准值加3倍标准差或小于所述标准值减3倍标准差的所述特征参数值,并根据删除后的所述特征参数值绘制本征强度图和随机强度图。
8. 一种光刻工艺质量评估反馈控制系统,其特征在于,所述光刻工艺质量评估反馈控制系统包括电子束显微图像模块、边界提取模块、功率谱密度模块、拟合模块、特征值分布模块和强度模块,所述电子束显微图像模块、所述边界提取模块、所述功率谱密度模块、所述拟合模块、所述特征值分布模块和所述强度模块依次连接,  
所述电子束显微图像模块,用于利用电子束显微镜对光刻后的晶圆多个曝光区域下相

同尺寸范围内的被测结构进行电子束测量,生成电子束显微图像;

所述边界提取模块,用于利用边界提取算法提取被测结构的边缘轮廓;

所述功率谱密度模块,用于根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,计算出功率谱密度;

所述拟合模块,用于根据拟合函数对功率谱密度进行拟合,得到拟合参数;

所述特征值分布模块,用于根据多个曝光区域的特征参数,得到所述晶圆的特征值分布图,所述特征参数包括宽度、线条宽度粗糙度、线条边缘粗糙度、拟合粗糙度和拟合相关系数中的任意一个或多个;

所述强度模块,用于根据多个晶圆在对应曝光区域下的特征值平均值,绘制本征强度图。

## 光刻工艺质量评估方法及反馈控制系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光刻工艺技术领域,尤其涉及一种光刻工艺质量评估方法及反馈控制系统。

### 背景技术

[0002] 光刻工艺质量评估是对光刻设备和工艺的稳定性的非常重要的评估方法,传统的光刻工艺质量评估方法主要包括对线条宽度及宽度均匀性的评估。但是,当光刻设备维修或变更,以及光刻工艺发生较大调整时,其所得到的结构图像几乎很难直观看到明显变化。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种光刻工艺质量评估方法及反馈控制系统,能够直观看到结构图像的变化。

[0004] 为实现上述目的,第一方面,本发明提供了一种光刻工艺质量评估方法,包括:

利用电子束显微成像对光刻后的晶圆进行测量,得到电子束显微图像;

利用边界提取算法提取被测结构的边缘轮廓;

根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,计算出功率谱密度;

根据拟合函数对功率谱密度进行拟合,得到拟合参数;

根据多个曝光区域的特征参数,得到所述晶圆的特征值分布图,所述特征参数包括宽度、线条宽度粗糙度、线条边缘粗糙度、拟合粗糙度和拟合相关系数中的任意一个或多个;

根据多个晶圆在对应曝光区域下的特征值平均值,绘制本征强度图。

[0005] 其中,所述利用电子束显微成像对光刻后的晶圆进行测量,得到电子束显微图像,包括:

利用电子束显微镜对光刻后的晶圆多个曝光区域下相同尺寸范围内的被测结构进行电子束测量,得到光刻胶轮廓信息,生成电子束显微图像,其中,所述被测结构为规则的线条结构和孔型结构,尺寸范围为1纳米至10微米。

[0006] 其中,所述利用边界提取算法提取被测结构的边缘轮廓,包括:

获取线条垂直方向上的平均像素曲线和像素范围,同时获取基于所述像素范围的10%至90%中的阈值,并根据所述阈值计算出被测结构的边缘轮廓。

[0007] 其中,所述根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,计算出功率谱密度,包括:

将获取的线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据进行傅里叶变换后的平方值与对应的所述线条的长度做除法,得到功率谱密度。

[0008] 其中,所述根据拟合函数对功率谱密度进行拟合,得到拟合参数,包括:

根据对应的频率和长度,结合所述功率谱密度进行拟合,得到设定的粗糙度、粗糙度系数和对应的拟合曲线。

[0009] 所述根据多个曝光区域的特征参数,得到所述晶圆的特征值分布图,包括:

根据不同曝光区域的相同结构,基于所述结构的宽度、线条宽度粗糙度、线条边缘粗糙

度、拟合粗糙度和拟合相关系数中的任意一个或多个,绘制出所述晶圆的特征值分布图。

[0010] 所述根据多个晶圆在对应曝光区域下的特征值平均值,绘制本征强度图,包括:

根据获取的大于或等于10个所述特征参数值,计算出对应的平均值和标准差,同时删除大于所述标准值加3倍标准差或小于所述标准值减3倍标准差的所述特征参数值,并根据删除后的所述特征参数值绘制本征强度图和随机强度图。

[0011] 第二方面,本发明提供一种光刻工艺质量评估反馈控制系统,所述光刻工艺质量评估反馈控制系统包括电子束显微图像模块、边界提取模块、功率谱密度模块、拟合模块、特征值分布模块和强度模块,所述电子束显微图像模块、所述边界提取模块、所述功率谱密度模块、所述拟合模块、所述特征值分布模块和所述强度模块依次连接,

所述电子束显微图像模块,用于利用电子束显微镜对光刻后的晶圆多个曝光区域下相同尺寸范围内的被测结构进行电子束测量,生成电子束显微图像;

所述边界提取模块,用于利用边界提取算法提取被测结构的边缘轮廓;

所述功率谱密度模块,用于根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,计算出功率谱密度;

所述拟合模块,用于根据拟合函数对功率谱密度进行拟合,得到拟合参数;

所述特征值分布模块,用于根据多个曝光区域的特征参数,得到所述晶圆的特征值分布图,所述特征参数包括宽度、线条宽度粗糙度、线条边缘粗糙度、拟合粗糙度和拟合相关系数中的任意一个或多个;

所述强度模块,用于根据多个晶圆在对应曝光区域下的特征值平均值,绘制本征强度图。

[0012] 本发明的一种光刻工艺质量评估方法及反馈控制系统,包括电子束显微图像模块、边界提取模块、功率谱密度模块、拟合模块、特征值分布模块和强度模块,利用电子束显微成像对光刻后的晶圆进行测量,得到电子束显微图像;然后利用边界提取算法提取被测结构的边缘轮廓;根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,计算出功率谱密度;并利用拟合函数进行拟合,得到拟合参数和拟合曲线,根据多个曝光区域的特征参数,得到所述晶圆的特征值分布图,并根据多个晶圆在对应曝光区域下的特征值平均值,绘制本征强度图和随机强度图,能够直观看到结构图像的变化。

[0013]

## 附图说明

[0014] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0015] 图1是本发明提供了一种光刻工艺质量评估方法的步骤示意图。

[0016] 图2是本发明提供了一种光刻工艺质量评估反馈控制系统的结构示意图。

[0017] 图3是本发明提供的晶圆及曝光区域示意图。

[0018] 图4是本发明提供的线条结构的电子束显微图。

[0019] 图5是本发明提供的不同曝光区域待测结构的边缘轮廓图。

- [0020] 图6是本发明提供的线条宽度粗糙度功率谱曲线及其最佳拟合曲线。
- [0021] 图7是本发明提供的测试曲线与最佳拟合曲线偏离较大的情形示意图。
- [0022] 图8是本发明提供的晶圆不同曝光区域的特征值分布图。
- [0023] 图9是本发明提供的不同区域以尺寸作为特征值的本征强度图及3倍标准差分布图。
- [0024] 图10是本发明提供的不同区域的尺寸特征值分布图。
- [0025] 图11是本发明提供的不同区域的尺寸3倍标准差分布图。
- [0026] 1-电子束显微图像模块、2-边界提取模块、3-功率谱密度模块、4-拟合模块、5-特征值分布模块、6-强度模块。
- [0027] —

### 具体实施方式

[0028] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,旨在用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0029] 在本发明的描述中,“多个”的含义是两个或两个以上,除非另有明确具体的限定。

[0030] 请参阅图1,本发明提供一种光刻工艺质量评估方法,包括:

S101、利用电子束显微成像对光刻后的晶圆进行测量,得到电子束显微图像。

[0031] 具体的,利用电子束显微镜对光刻后的晶圆多个曝光区域下相同尺寸范围内的被测结构进行电子束测量,得到光刻胶轮廓信息,生成电子束显微图像,其中,所述被测结构为规则的线条结构和孔型结构,尺寸范围为1纳米至10微米。其中,所述光刻后的晶圆是指经过光学光刻、极紫外光刻、光学纳米压印光刻、电子束光刻后的晶圆,所述电子束显微成像,指使用电子束显微镜对待测区域进行电子束测量,获取光刻胶轮廓信息;所述线条结构包括但不限于等间隔线条空隙结构、变周期线条结构、变尺寸线条结构;孔型结构包括但不限于规则孔型结构、交错孔型结构、变尺寸孔型结构、变周期孔型结构、长宽比变化孔型结构。在光刻晶圆的不同曝光区域内,分别选择相同设计尺寸的待测结构进行电子束成像,获取电子束显微图像。图3给出了晶圆及曝光区域示意图所示,其包含多个不同的曝光区域。图4为线条结构的电子束显微图。

[0032] S102、利用边界提取算法提取被测结构的边缘轮廓。

[0033] 具体的,获取线条垂直方向上的平均像素曲线和像素范围即像素的最大值和最小值,同时获取基于所述像素范围的10%至90%中的阈值,并根据所述阈值计算出被测结构的边缘轮廓,如图5所提供的不同曝光区域待测结构的边缘轮廓图所示。所述边缘信息指电子束测量时指定的边界提取算法,包括但不限于:绝对阈值算法、相对阈值算法、频域算法、卷积算法,这里只采用了相对阈值算法,所述阈值为所述像素范围的50%。

[0034] S103、根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,计算出功率谱密度。

[0035] 具体的,将获取的线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据进行傅里叶变换后的平方值与对应的所述线条的长度做除法,得到功率谱密度,计算公式为:

$$PSD = \frac{|W(f)|^2}{L}$$

其中,  $PSD$  表示功率谱密度函数,  $W(f)$  表示  $W(y)$  的傅里叶变换,  $L$  表示线条方向的线条宽长度,  $W(y)$  表示沿线条方向的宽度值。

[0036] S104、根据拟合函数对功率谱密度进行拟合, 得到拟合参数。

[0037] 具体的, 根据对应的频率和长度, 结合所述功率谱密度进行拟合, 得到设定即最佳的粗糙度、长度、粗糙度系数和对应的拟合曲线, 得到的所述拟合曲线为最佳拟合曲线, 拟合函数为:

$$PSD(f) = \frac{PSD(0)}{[1 + (2\pi f\xi)^2]^{H+1/2}}$$

$$PSD(0) = 2\sigma^2\xi \frac{\sqrt{\pi}\Gamma(H+1/2)}{\Gamma(H)}$$

其中,  $f$  表示频率,  $\sigma$  表示粗糙度,  $H$  表示粗糙度指数,  $\xi$  表示相关长度,  $\Gamma(\cdot)$  为数学Gamma函数, 其公式为:

$$\Gamma(H) = \int_0^{+\infty} t^{H-1} e^{-t} dt (H > 0)$$

如图6所提供的线条宽度粗糙度功率谱曲线及其最佳拟合曲线所示, 其中线条宽度粗糙度功率谱曲线为波动线条, 最佳拟合曲线为光滑曲线, 可以看到, 由于光刻工艺存在光子扩散和光刻胶成分扩散等因素, 使得光刻胶功率谱曲线表现出如图所示的规律, 即低频下的数值高; 中频处发生衰减效应, 高频出现明显噪声。拟合曲线与测试数据曲线之间具有较高的一致性。

[0038] S105、根据多个曝光区域的特征参数, 得到所述晶圆的特征值分布图。

[0039] 具体的, 当最佳拟合曲线与测试数据曲线之间存在较大差距时, 往往意味着实际工艺存在极大的波动。对不同曝光区域的相同结构进行了对比分析, 存在某些区域的拟合曲线与测试数据曲线之间存在较大差别。如图7所提供的测试曲线与最佳拟合曲线偏离较大的情形示意图所示。根据不同曝光区域的相同结构, 基于所述结构的宽度、线条宽度粗糙度、线条边缘粗糙度、拟合粗糙度和拟合相关系数中的任意一个或多个, 绘制出所述晶圆的特征值分布图, 如图8所提供的晶圆不同曝光区域的特征值分布图所示。

[0040] S106、根据多个晶圆在对应曝光区域下的特征值平均值, 绘制本征强度图。

[0041] 具体的, 对不同晶圆相同区域的特征值进行分析, 根据获取的大于或等于10个所述特征参数值, 计算出对应的平均值和标准差, 同时删除大于所述标准值加3倍标准差或小于所述标准值减3倍标准差的所述特征参数值, 其中, 删除的所述特征参数值主要来自工艺或设备随机效应, 并根据删除后的所述特征参数值绘制本征强度图和随机强度图, 所述本征强度图是指计算不同曝光场的特征值平均值和标准差, 将平均值作为本征系数, 将标准差作为随机强度值, 并分别绘制晶圆不同曝光场下的两者强度分布图, 反映了工艺和机台的稳定性, 用于评价工艺质量和计算工艺良率。所述本征强度图和随机强度图的呈现方式如图8所示的方式, 或以图9所示的方式将不同位置的测量值及其偏差汇总到一张图中。为便于观察特征值在不同晶圆不同区域的分布情况, 本实施例同时绘制了本征强度图, 如图10所示以尺寸作为特征参数所绘制的尺寸平均值分布图; 同时绘制了随机强度图, 如图11所示所绘制的尺寸3倍标准差分布图。需要说明的是, 本发明所提到的本征强度图和随机强

度图可以汇总为一幅图显示,也可以分别显示;可以以本实施例使用的坐标轴方式显示,也可以以其他任何本领域工程师熟悉的图表方式显示。

[0042] 请参阅图2,本发明提供一种光刻工艺质量评估反馈控制系统,所述光刻工艺质量评估反馈控制系统包括电子束显微图像模块1、边界提取模块2、功率谱密度模块3、拟合模块4、特征值分布模块5和强度模块6,所述电子束显微图像模块1、所述边界提取模块2、所述功率谱密度模块3、所述拟合模块4、所述特征值分布模块5和所述强度模块6依次连接,

所述电子束显微图像模块1,用于利用电子束显微镜对光刻后的晶圆多个曝光区域下相同尺寸范围内的被测结构进行电子束测量,生成电子束显微图像;

所述边界提取模块2,用于利用边界提取算法提取被测结构的边缘轮廓;

所述功率谱密度模块3,用于根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,计算出功率谱密度;

所述拟合模块4,用于根据拟合函数对功率谱密度进行拟合,得到拟合参数;

所述特征值分布模块5,用于根据多个曝光区域的特征参数,得到所述晶圆的特征值分布图,所述特征参数包括宽度、线条宽度粗糙度、线条边缘粗糙度、拟合粗糙度和拟合相关系数中的任意一个或多个;

所述强度模块6,用于根据多个晶圆在对应曝光区域下的特征值平均值,绘制本征强度图。

[0043] 在本实施方式中,本发明提供一种光刻工艺质量评估反馈控制系统,所述光刻工艺质量评估反馈控制系统包括电子束显微图像模块1、边界提取模块2、功率谱密度模块3、拟合模块4、特征值分布模块5和强度模块6,所述电子束显微图像模块1、所述边界提取模块2、所述功率谱密度模块3、所述拟合模块4、所述特征值分布模块5和所述强度模块6依次连接,在所述电子束显微图像模块1中,利用电子束显微镜对光刻后的晶圆多个曝光区域下相同尺寸范围内的被测结构进行电子束测量,得到光刻胶轮廓信息,生成电子束显微图像,然后通过所述边界提取模块2提取被测结构的边缘轮廓,并根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,在所述功率谱密度模块3中计算出功率谱密度,并利用所述拟合模块4对所述隔离片密度进行拟合,得到最佳的拟合参数和拟合曲线,根据多个曝光区域的特征参数,所述特征参数包括宽度、线条宽度粗糙度、线条边缘粗糙度、拟合粗糙度和拟合相关系数中的任意一个或多个,得到所述晶圆的特征值分布图,并选取于或等于10个所述特征参数值,计算出平均值和标准差,删除大于所述标准值加3倍标准差或小于所述标准值减3倍标准差的所述特征参数值后,绘制出本征强度图,能够直观看到结构图像的变化。

[0044] 本发明的一种光刻工艺质量评估方法及反馈控制系统,包括电子束显微图像模块1、边界提取模块2、功率谱密度模块3、拟合模块4、特征值分布模块5和强度模块6,利用电子束显微成像对光刻后的晶圆进行测量,得到电子束显微图像;然后利用边界提取算法提取被测结构的边缘轮廓;根据线条边缘粗糙度和宽度粗糙度数据,计算出功率谱密度;并利用拟合函数进行拟合,得到拟合参数和拟合曲线,根据多个曝光区域的特征参数,得到所述晶圆的特征值分布图,并根据多个晶圆在对应曝光区域下的特征值平均值,绘制本征强度图和随机强度图,能够直观看到结构图像的变化。

[0045] 以上所揭露的仅为本发明一种较佳实施例而已,当然不能以此来限定本发明之权利范围,本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例的全部或部分流程,并依本发明权



利要求所作的等同变化,仍属于发明所涵盖的范围。

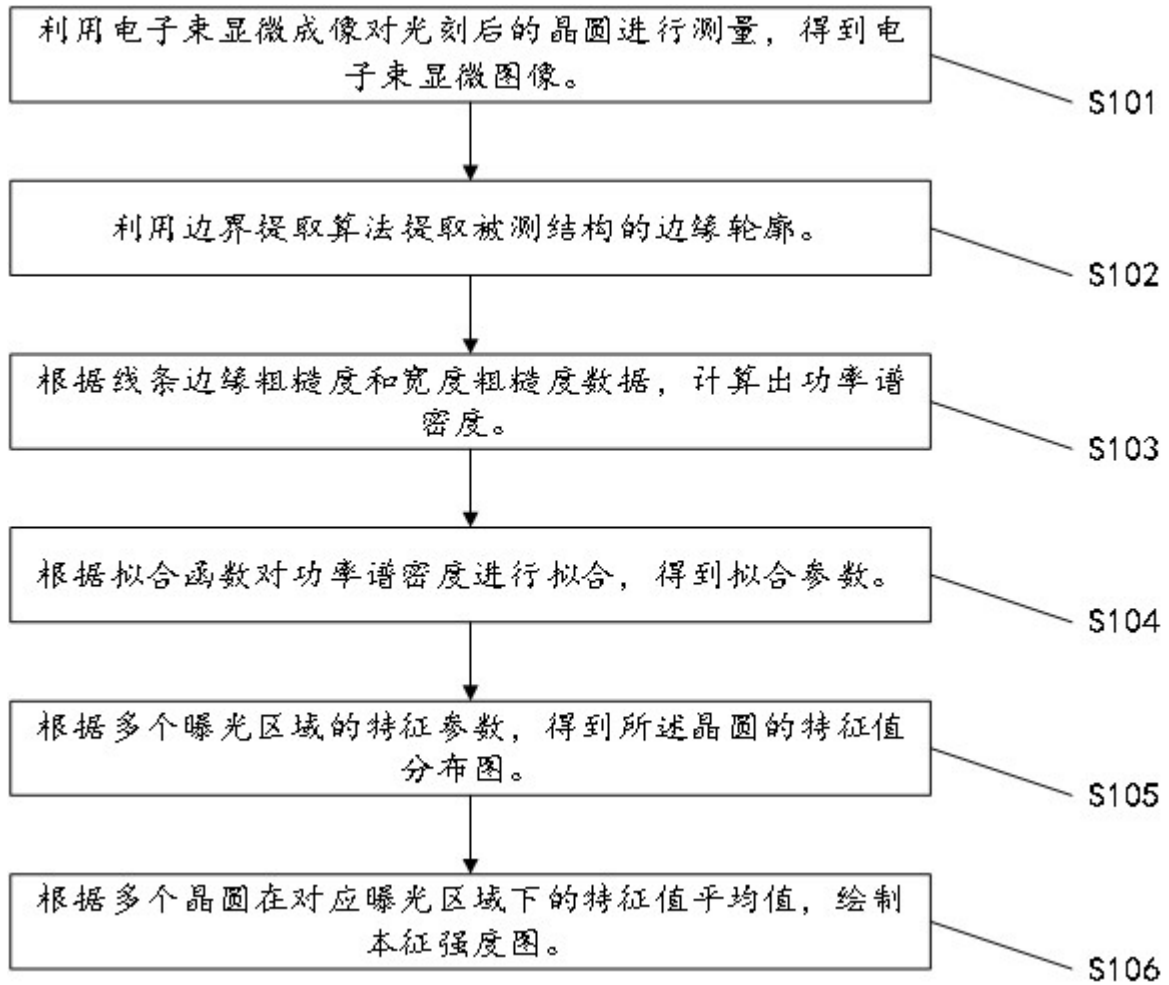


图1

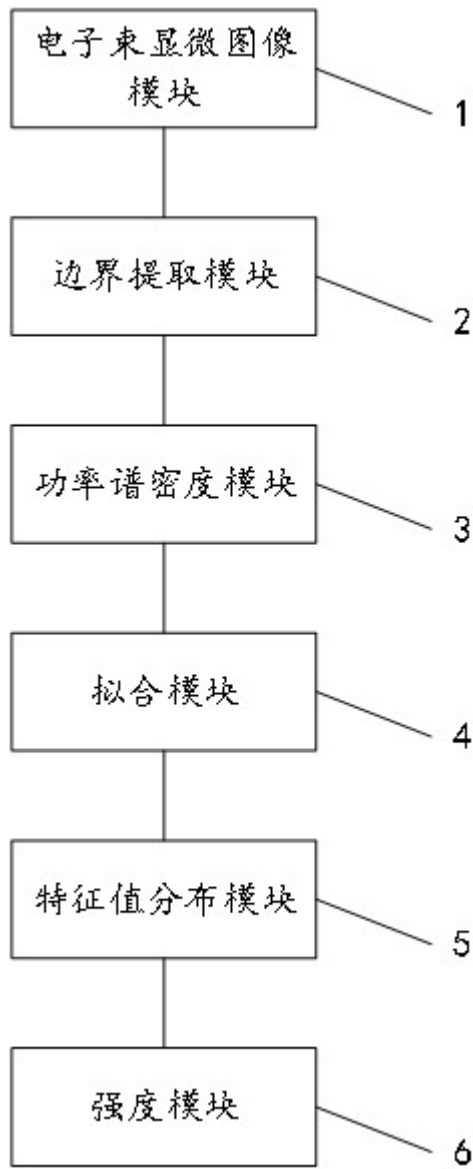


图2

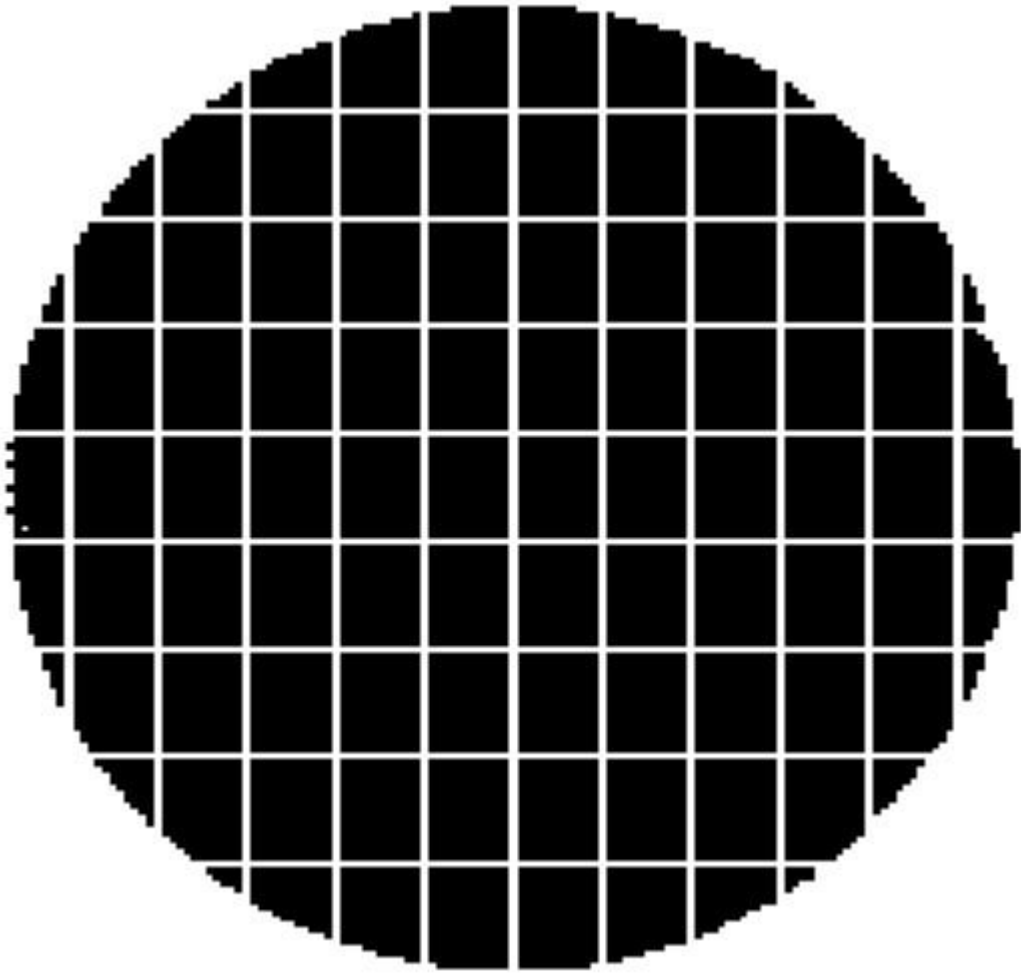


图3

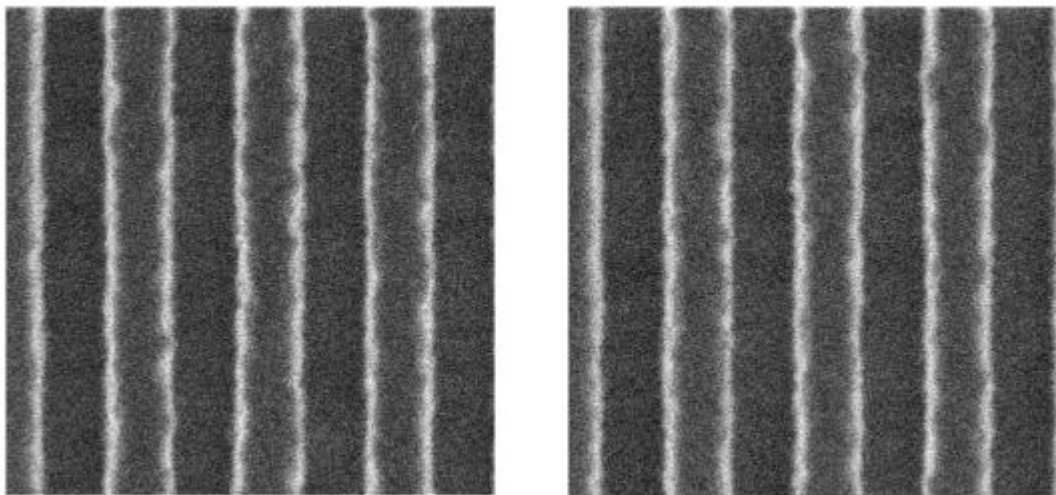


图4

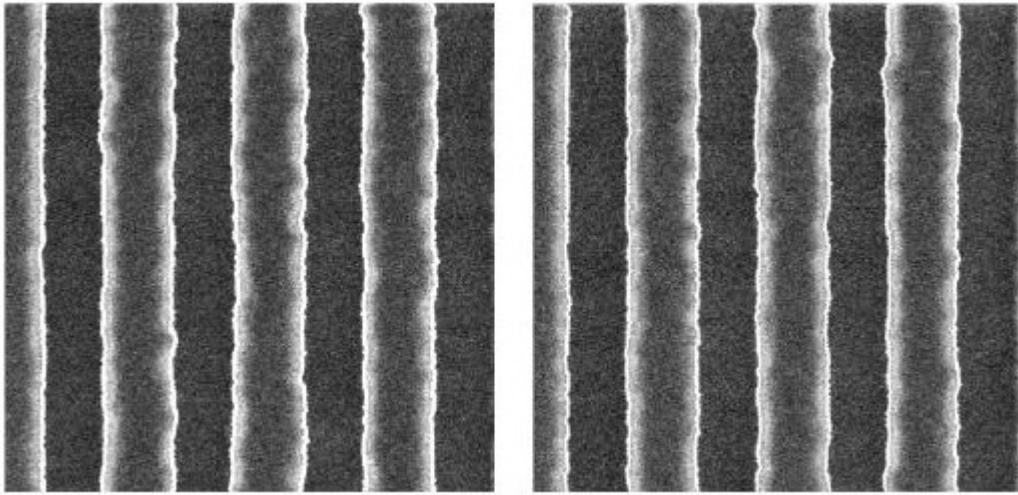


图5

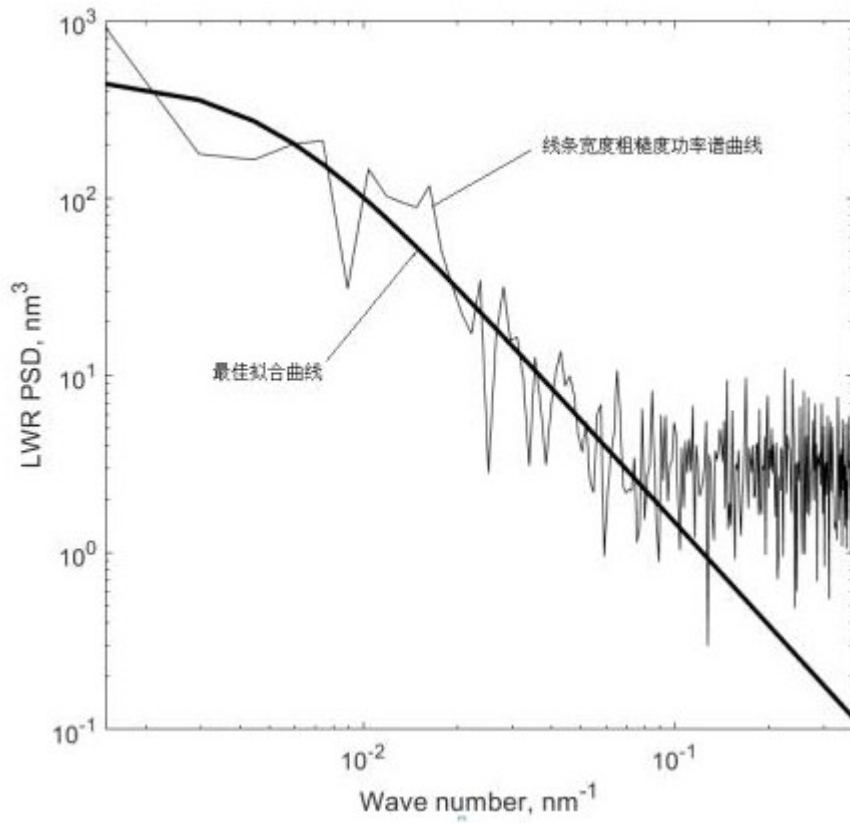


图6

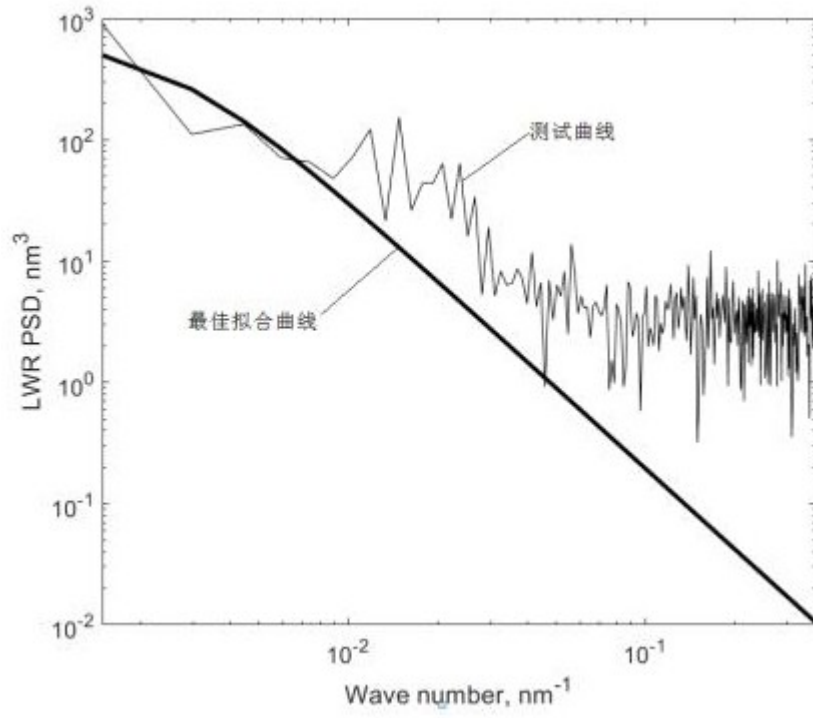


图7

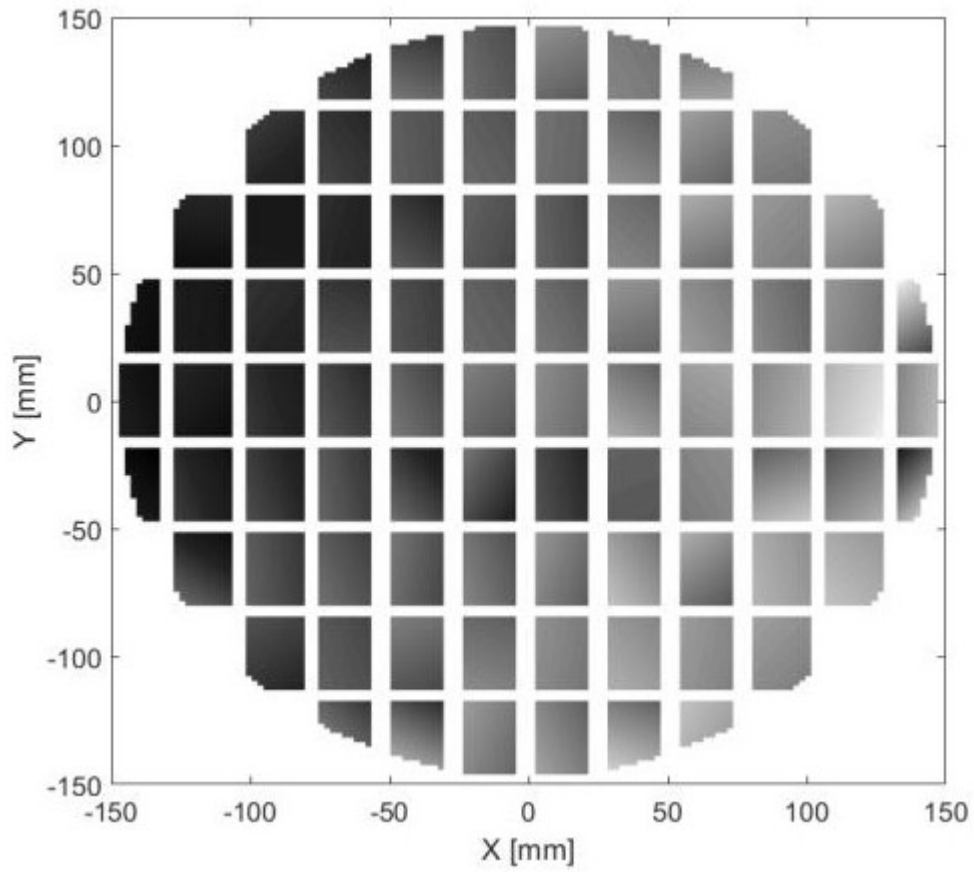


图8

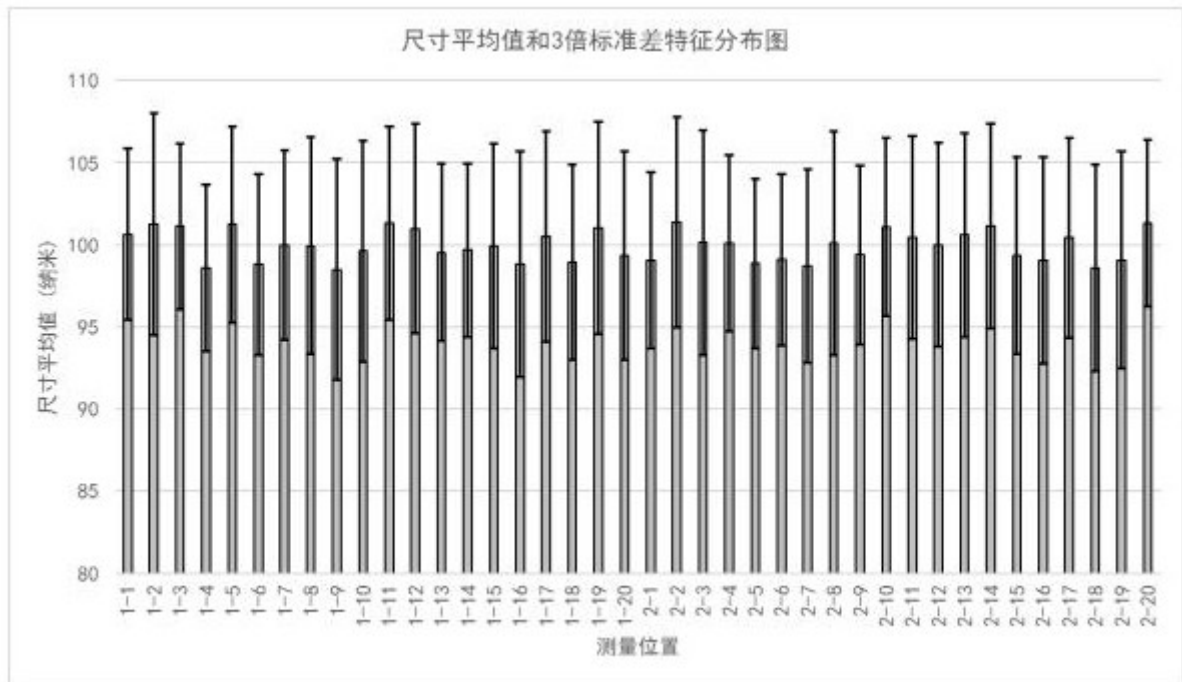


图9

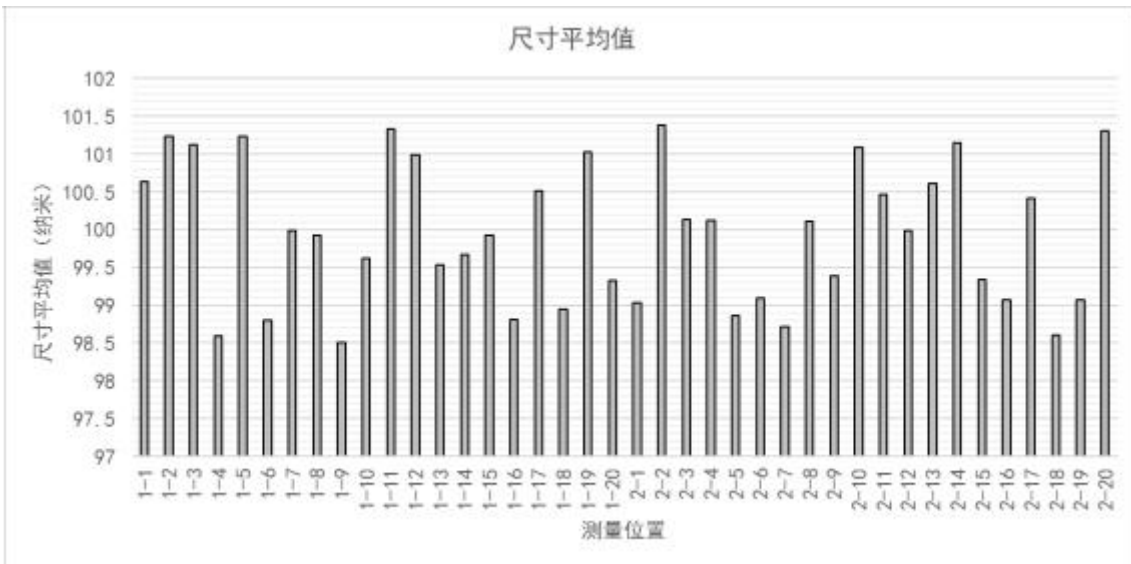


图10

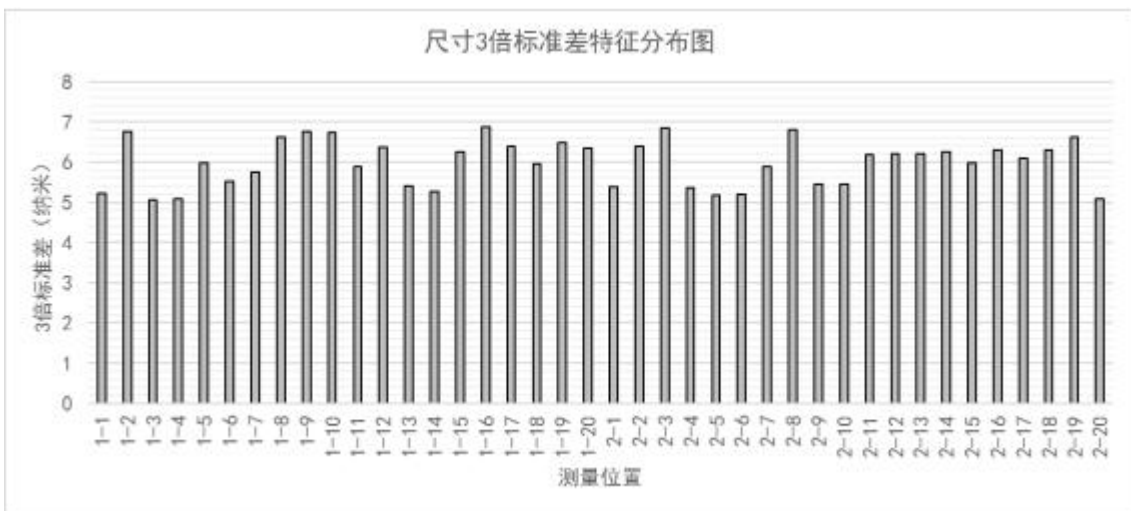


图11