



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109308395 B

(45) 授权公告日 2022. 12. 02

(21) 申请号 201811161427.4

G06F 17/18 (2006.01)

(22) 申请日 2018.09.30

G06F 30/27 (2020.01)

G06N 3/08 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109308395 A

审查员 周立静

(43) 申请公布日 2019.02.05

(73) 专利权人 西安电子科技大学

地址 710071 陕西省西安市雁塔区太白南路2号

(72) 发明人 游海龙 张金力 田文星 贾新章 顾铠

(74) 专利代理机构 陕西电子工业专利中心

61205

专利代理师 王品华 韦全生

(51) Int. Cl.

G06K 9/62 (2022.01)

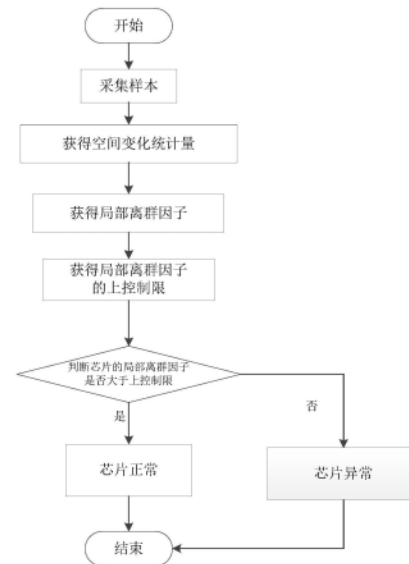
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

基于LOF-KNN算法的晶圆级空间测量参数异常识别方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于LOF-KNN算法的晶圆级空间测量参数异常识别方法,主要解决现有异常识别方法无法准确识别晶圆级空间测量参数中单个数据的可靠性隐患异常问题。其实施方案是:1、采集样本;2、根据K最近邻KNN算法,获得样本的空间变化统计量;3、根据局部异常因子LOF算法,获得样本的局部离群因子;4、获得局部离群因子的上控制限;5、对待检测数据的异常状态进行判断,将待检测数据的局部离群因子与上控制线比较,根据待测数据的局部离群因子是否超过控制线来判断待测数据是否为异常数据。本发明可准确识别晶圆级空间测量参数中单个数据的异常状况,且稳定性好、应用范围广,可用于芯片的制作。



1. 一种基于LOF-KNN算法的晶圆级空间测量参数异常识别方法,其特征在于,包括如下:

(1) 采集样本:

1a) 观察晶圆,得到晶圆上芯片划分的行数 $m$ 和列数 $n$ ;

1b) 对晶圆上每个芯片的电压、电流这些特征参数进行测量,记第 $i$ 行第 $j$ 列的芯片的测量数据为 $x_{ij}$ ,其中 $i=1,2,3,4\cdots m$ , $j=1,2,3\cdots n$ ;

(2) 根据 $K$ 最近邻KNN算法,获得第 $i$ 行第 $j$ 列芯片测量数据为 $x_{ij}$ 的空间变化统计量 $K_{ij}^2$ :

$$K_{ij}^2 = \frac{\sum_{l=i-1}^{l=i+1} \sum_{q=j-1}^{q=j+1} (x_{lq} - x_{ij})^2}{8}$$

其中, $l$ 是行数, $q$ 是列数, $x_{lq}$ 是第 $l$ 行第 $q$ 列芯片测量数据, $l=i-1, i, i+1, q=j-1, j, j+1$ ;

(3) 根据局部异常因子LOF算法,获得空间变化统计量为 $K_{ij}^2$ 的局部离群因子 $LOF_{ij}$ :

$$LOF_{ij} = \frac{8K_{ij}^2}{\sum_{l=i-1}^{l=i+1} \sum_{q=j-1}^{q=j+1} K_{lq}^2}$$

其中, $K_{lq}^2$ 是第 $l$ 行第 $q$ 列芯片的空间变化统计量;

(4) 获得局部离群因子 $LOF_{ij}$ 的上控制限 $U$ :

令数据集合 $L$ 是第 $i$ 行第 $j$ 列芯片的局部异常因子 $LOF_{ij}$ 值的数据集合,选取分位点 $\alpha$ ,得到上控制限 $U$ :

$$U = L_{1-\alpha}$$

其中, $0 < \alpha < 1$ , $L_{1-\alpha}$ 是数据集合 $L$ 的 $1-\alpha$ 分位点的值;

(5) 判断第 $i$ 行第 $j$ 列的芯片是否异常:

将第 $i$ 行第 $j$ 列芯片的局部异常因子 $LOF_{ij}$ 与上控制限 $U$ 进行比较:

如果 $LOF_{ij} \leq U$ ,则表示第 $i$ 行第 $j$ 列的芯片正常;

如果 $LOF_{ij} > U$ ,则表示第 $i$ 行第 $j$ 列的芯片异常。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中1a)中的晶圆,是指半导体集成电路制作所用的晶片,其表面分布有若干个芯片。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中1b)中对晶圆上每个芯片的电压、电流进行测量,是指使用探针仪器对晶圆上的芯片的阈值电压、驱动电流这些特征参数进行测量。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中(4)中的 $1-\alpha$ 分位点的值,是指将一组数据从小到大排序,并计算这组数据的累计百分位为 $1-\alpha$ 所对应数据的值。

## 基于LOF-KNN算法的晶圆级空间测量参数异常识别方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于半导体技术领域,特别涉及一种晶圆级空间测量参数异常识别方法,可用于芯片的制作。

### 背景技术

[0002] 在芯片的制造过程中,晶圆上不可避免的会产生缺陷。缺陷会导致芯片的测量参数表现为异常值。通常晶圆上芯片的测量参数存在两种异常,即全局异常和局部异常。全局异常是指与其余所有的测量参数数据值显着偏离的异常值,而局部异常是指同一晶片内的与近邻具有显着偏离的异常值。传统的异常识别方法基于所有数据服从的数学模型,然后建立相应的控制限,超出控制限的数据即为异常数据。此种方案只能识别全局异常,无法识别局部异常。

[0003] 局部异常通常表现为可靠性隐患。可靠性隐患是指芯片往往表现为安全范围小,早期失效等现象。半导体制造中芯片性能参数随着空间变化是由于制造工艺的特点以及晶圆空间分布相关效应引起的。芯片电性能参数测试数据在同一晶片内服从空间分布。在某种意义上,同一晶片上彼此靠近的芯片将比远处芯片具有更相似的性能。缺陷的存在将导致当前重要参数的“突变”,而不是像良好芯片那样的逐渐变化。晶圆级空间测量参数数据具有相关性,由于工艺的稳定性,空间变化是平稳的。任何异常的空间变化,都有可能是由缺陷导致的。如果器件的参数值明显高于其近邻,即高频尖峰,则可能是缺陷导致的。相反,如果器件的参数值明显低于其近邻,即负尖峰,则也可能是缺陷导致。由于空间的连续性,异常峰具有更大几率由未知缺陷原因导致,更大几率为可靠性隐患。通过评估晶圆级空间测量参数的可靠性隐患并提前筛选,可以降低该批次的可靠性隐患和成本。

[0004] Sagar Sabade和D.M.H.Walker提出了一种改进的IDDQ界限设置的晶圆级空间分析方法,使用了近邻芯片信息,但是该方案基于测量参数数据服从对数正态分布的假设。Sebastian Siatkowski\_等人[2016]提出了一种基于一致性检测的异常值识别方法,但该识别方法取决于晶圆到晶圆的统计变化,更倾向于识别异常中的系统性异常。David Shaw等人[2016]提出了一种位置平均方法用于从德州仪器(TI)使用的探针测试数据中筛选异常值,但是该方法需要对测量数据进行重复测试,并且对单个的局部异常识别不敏感。

[0005] 上述方法对于晶圆级空间测量参数异常识别中的单个异常点的识别,识别效果均不理想。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于针对晶圆级空间测量参数异常识别的不足,提出一种基于LOF-KNN算法的晶圆级空间测量参数异常识别方法,以对晶圆级空间测量参数中的单个异常点进行准确的异常识别,从而提高半导体芯片的可靠性并降低成本。

[0007] 为实现上述目的,本发明包括如下步骤:

[0008] (1) 采集样本:

[0009] 1a) 观察晶圆,得到晶圆上芯片划分的行数 $m$ 和列数 $n$ ;

[0010] 1b) 对晶圆上每个芯片的电压、电流这些特征参数进行测量,记第 $i$ 行第 $j$ 列的芯片的测量数据为 $x_{ij}$ ,其中 $i=1,2,3,4\cdots m$ , $j=1,2,3\cdots n$ ;

[0011] (2) 根据 $K$ 最近邻KNN算法,获得第 $i$ 行第 $j$ 列芯片测量数据为 $x_{ij}$ 的空间变化统计量 $K_{ij}^2$ :

$$[0012] \quad K_{ij}^2 = \frac{\sum_{l=i-1}^{l=i+1} \sum_{q=j-1}^{q=j+1} (x_{lq} - x_{ij})^2}{8}$$

[0013] 其中, $l$ 是行数, $q$ 是列数, $x_{lq}$ 是第 $l$ 行第 $q$ 列芯片测量数据, $l=i-1,i,i+1,q=j-1,j,j+1$ ;

[0014] (3) 根据局部异常因子LOF算法,获得空间变化统计量为 $K_{ij}^2$ 的局部离群因子 $LOF_{ij}$ :

$$[0015] \quad LOF_{ij} = \frac{8K_{ij}^2}{\sum_{l=i-1}^{l=i+1} \sum_{q=j-1}^{q=j+1} K_{lq}^2}$$

[0016] 其中, $K_{lq}^2$ 是第 $l$ 行第 $q$ 列芯片的空间变化统计量;

[0017] (4) 获得局部离群因子 $LOF_{ij}$ 的上控制限 $U$ ;

[0018] 令数据集合 $L$ 是第 $i$ 行第 $j$ 列芯片的局部异常因子 $LOF_{ij}$ 值的数据集合,选取分位点 $\alpha$ ,得到上控制限 $U$ ;

[0019]  $U=L_{1-\alpha}$

[0020] 其中, $0<\alpha<1$ , $L_{1-\alpha}$ 是数据集合 $L$ 的 $1-\alpha$ 分位点的值;

[0021] (5) 判断第 $i$ 行第 $j$ 列的芯片是否异常:

[0022] 将第 $i$ 行第 $j$ 列芯片的局部异常因子 $LOF_{ij}$ 与上控制限 $U$ 进行比较:

[0023] 如果 $LOF_{ij} \leq U$ ,则表示第 $i$ 行第 $j$ 列的芯片正常;

[0024] 如果 $LOF_{ij} > U$ ,则表示第 $i$ 行第 $j$ 列的芯片异常。

[0025] 本发明具有如下优点:

[0026] 1. 识别准确

[0027] 本发明由于使用 $K$ 最近邻KNN算法,准确量化了单个数据的空间变化量,因此对单个数据点的空间变化更加敏感,与现有的异常识别方法相比,能更好的识别晶圆级空间测量参数中的单个异常值。

[0028] 2. 稳定性好

[0029] 本发明由于使用局部异常因子LOF算法,准确量化了单个数据的局部离群因子量,考虑了晶圆局部空间正常变化的影响,与现有的异常识别方法相比,异常识别结果更加稳定。

[0030] 3. 应用范围广泛

[0031] 本发明由于使用 $K$ 最近邻KNN算法和局部异常因子LOF算法这些无监督学习方法,不使用任何数学模型,与现有的异常识别方法相比,应用范围更加广泛。

## 附图说明

[0032] 图1本发明的实现流程图；

## 具体实施方式

[0033] 下面结合附图以某集成电路制造公司晶圆的部分MOSFET器件的VTH电压测量参数数据,对本发明做进一步的描述。

[0034] 参照图1,本实例的实现步骤如下:

[0035] 步骤1:采集样本。

[0036] 1.1) 观察晶圆,得到晶圆上芯片划分的行数和列数:

[0037] 所述晶圆,是指半导体集成电路制作所用的晶片,其表面分布有若干个芯片。

[0038] 本实例中观察某集成电路制造公司的硅晶圆,但不限于硅晶圆,得到晶圆上芯片划分的行数16和列数12。

[0039] 1.2) 对晶圆上每个芯片的电压、电流这些特征参数进行测量,即使用探针仪器对晶圆上的芯片的阈值电压、驱动电流这些特征参数进行测量,本实例中使用探针仪器对晶圆上每个MOSFET器件的VTH阈值电压参数进行测量,但不限于MOSFET器件以及VTH阈值电压参数,记第*i*行第*j*列的芯片的测量数据为 $x_{ij}$ ,其中*i*=1,2,3,4...16,*j*=1,2,3...12,样本数据见表1。

[0040] 表1样本数据

[0041]

行\列	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3.388	3.390	3.390	3.391	3.392	3.390	3.387	3.385	3.388	3.384	3.386	3.380
2	3.39	3.387	3.391	3.391	3.390	3.391	3.388	3.385	3.389	3.386	3.386	3.385
3	3.392	3.391	3.387	3.391	3.388	3.393	3.391	3.389	3.390	3.391	1.104	3.388
4	3.395	3.394	3.392	3.397	3.396	3.392	3.394	3.391	3.397	3.394	3.390	3.387
5	3.400	3.398	3.400	3.397	3.398	3.396	3.394	3.396	3.398	3.395	3.392	3.388
6	3.403	3.403	3.403	3.399	3.395	3.400	3.398	3.396	3.401	3.398	3.395	3.396
7	3.406	3.409	3.406	3.404	3.404	3.403	3.400	3.400	3.403	3.400	3.398	3.397
8	3.414	3.414	3.408	3.409	3.409	3.406	3.404	3.402	3.401	3.400	3.400	3.397
9	3.418	3.412	3.412	3.411	3.406	3.406	3.405	3.403	3.402	3.398	3.400	3.400
10	3.417	3.412	3.409	3.411	3.409	3.406	3.406	3.406	3.405	3.403	3.402	3.402
11	3.419	3.416	3.411	3.413	3.411	3.411	3.410	3.411	3.408	3.404	3.402	3.405
12	3.420	3.419	3.413	3.415	3.414	3.407	3.414	3.409	3.406	3.405	3.405	3.407
13	3.424	3.417	3.417	3.416	3.416	3.413	3.412	3.404	3.406	3.406	3.409	3.409
14	3.424	3.422	3.417	3.417	3.417	3.414	3.410	3.406	0.052	3.408	3.412	3.411
15	3.427	3.424	3.417	0.581	3.418	3.411	3.409	3.408	3.411	3.412	3.414	3.411
16	3.429	3.425	3.421	3.421	3.415	3.415	3.412	3.410	3.413	3.413	3.412	3.410

[0042] 步骤2:获得芯片测量数据的空间变化统计量 $K_{ij}^2$ 。

[0043] 根据K最近邻KNN算法,获得芯片测量数据的空间变化统计量:

$$[0044] \quad K_{ij}^2 = \frac{\sum_{l=i-1}^{l=i+1} \sum_{q=j-1}^{q=j+1} (x_{lq} - x_{ij})^2}{8}$$

[0045] 本实例中使用MATLAB软件,但不限于使用MATLAB软件,根据K最近邻KNN算法,使用上述表1样本数据,通过步骤2计算公式,获得第i行第j列器件的VTH阈值电压测量数据为 $x_{ij}$ 的空间变化统计量 $K_{ij}^2$ ,计算结果见表2。

[0046] 表2  $K_{ij}^2$ 结果数据表

[0047]

行\列	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	10.000	14.000	12.874	11.375	11.375	9.500	17.000	15.250	18.750	11.751	2.625	3.000
2	20.000	12.500	7.750	16.875	16.000	14.250	11.125	15.000	9.000	8.500	4.125	3.125
3	12.125	15.376	3.750	13.500	26.000	5.000	3.000	5.000	7.000	5.125	9.625	6.000
4	12.125	6.750	9.375	58.126	18.000	1.625	1.375	1.875	3.500	2.875	3.125	5.125
5	11.000	4.250	11.500	13.625	13.875	2.500	0.500	0.375	1.625	5.000	3.500	5.500
6	7.375	22.125	4.375	5.125	6.500	2.125	1.125	1.750	1.875	9.250	6.126	6.750
7	5.500	3.500	4.000	3.125	9.250	2.500	1.250	0.875	3.875	5.875	8.500	8.000
8	5.125	4.625	4.125	7.125	3.750	6.501	1.750	2.375	2.375	6.125	24.626	4.000
9	33.999	8.625	9.125	3.500	6.000	4.500	5.250	3.875	7.500	7.875	5.750	5.625
10	7.750	10.875	2.375	5.625	4.125	2.000	4.625	4.875	5.750	12.000	10.625	13.125
11	2.500	4.375	4.250	5.125	5.000	8.125	4.000	5.499	5.000	2.500	6.625	10.750
12	6.375	6.250	6.500	4.375	6.500	5.250	2.625	4.000	8.500	6.000	8.000	8.500
13	3.000	4.375	20.125	6.625	4.500	2.500	6.625	5.500	5.625	22.501	3.250	5.000
14	2.375	2.750	5.750	3.875	2.625	2.125	2.500	5.250	7.125	6.000	4.375	7.876
15	2.250	1.375	6.375	6.001	3.625	3.000	1.125	3.125	6.125	14.000	8.626	4.500
16	8.000	6.000	7.750	9.250	3.125	6.625	3.500	11.626	7.750	5.250	3.375	3.125

[0048] 步骤3:获得空间变化统计量的局部离群因子 $LOF_{ij}$ 。

[0049] 根据局部异常因子LOF算法,通过下式获得空间变化统计量的局部离群因子:

[0050]

$$LOF_{ij} = \frac{8K_{ij}^2}{\sum_{l=i-1}^{l=i+1} \sum_{q=j-1}^{q=j+1} K_{lq}^2}$$

[0051] 本实例中使用MATLAB软件,但不限于使用MATLAB软件,根据局部异常因子LOF算法,使用上述表2  $K_{ij}^2$ 结果数据,通过步骤3计算公式,获得空间变化统计量为 $K_{ij}^2$ 的局部离群因子 $LOF_{ij}$ ,计算结果见表3。

[0052] 表3  $LOF_{ij}$ 结果数据表

[0053]

行\列	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.880	1.158	1.143	1.167	0.918	0.484	1.331	1.039	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.798	0.880	0.309	0.969	1.615	0.453	0.721	1.141	1.215	0.812	1.012	1.700
3	0.852	0.929	0.637	1.908	0.668	0.684	1.161	0.941	0.595	0.638	0.458	0.999
4	0.730	0.793	0.653	1.098	1.776	0.561	1.087	2.217	0.644	0.633	1.849	1.264
5	0.943	0.661	1.913	0.973	0.634	0.885	1.174	1.042	0.857	0.205	1.239	1.135
6	0.677	0.715	0.685	0.614	1.175	1.317	1.007	1.020	1.348	0.431	0.479	1.004
7	0.559	1.213	1.307	0.615	0.574	1.111	1.019	0.933	1.179	1.063	0.252	0.838
8	0.454	1.149	0.965	1.284	0.679	0.645	0.936	0.968	1.708	0.644	0.669	0.557
9	1.009	0.788	0.778	3.022	0.437	0.965	1.255	1.161	0.857	0.500	1.145	4.309
10	1.379	1.051	0.595	0.584	0.350	1.244	1.240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

11	1.165	2.888	1.050	0.378	0.491	1.404	1.388	0.000	0.801	0.666	0.800	0.000
12	0.983	0.742	0.473	1.362	0.698	0.988	1.359	0.000	0.668	8.000	0.667	0.000
13	4.683	0.367	0.113	0.699	0.955	0.829	1.206	0.000	0.801	0.667	0.796	0.000
14	0.517	0.309	0.227	1.548	0.802	0.891	1.361	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0.639	0.431	1.563	1.087	1.434	0.845	1.658	0.907	0.995	0.790	0.309	0.655
16	0.000	0.000	0.000	1.271	0.808	1.047	1.126	0.931	0.705	0.379	0.392	2.024

[0054] 步骤4:获得局部离群因子的上控制限U。

[0055] 令数据集合L是局部异常因子值的数据集合,选取分位点 $\alpha$ ,得到上控制限U:

[0056]  $U=L_{1-\alpha}$

[0057] 其中, $0<\alpha<1$ , $L_{1-\alpha}$ 是数据集合L的 $1-\alpha$ 分位点的值,即将数据集合L从小到大排序,并计算这组数据的累计百分位为 $1-\alpha$ 所对应数据的值。

[0058] 本实例中使用MATLAB软件,但不限于使用MATLAB软件。令数据集和L是上述表3LOF<sub>ij</sub>结果数据的数据集合,选取分位点 $\alpha=0.05$ ,但不限于选取分位点 $\alpha=0.05$ ,得 $1-\alpha=0.95$ ,将数据集合L从小到大排序,计算这组数据的累计百分位为0.95所对应数据的值,求得上控制限U:

[0059]  $U=L_{0.95}=1.872$ 。

[0060] 步骤5:对芯片的异常状态进行判断。

[0061] 将第i行第j列芯片的局部异常因子LOF<sub>ij</sub>与上控制限 $U=1.872$ 进行比较:

[0062] 如果LOF<sub>ij</sub> $\leq 1.872$ ,则表示第i行第j列的芯片正常;

[0063] 如果LOF<sub>ij</sub> $> 1.872$ ,则表示第i行第j列的芯片异常。

[0064] 本实例中对MOSFET器件的异常状态进行判断,使用上述表3LOF<sub>ij</sub>结果数据和上述步骤4的上控制限 $U=1.872$ ,异常状态判断结果如表4所示,总计识别出9个异常状态的MOSFET器件:.

[0065] 表4 MOSFET器件的异常状态判断结果

[0066]

行数	13	11	5	3	9	4	12	9	16
列数	1	2	3	4	4	8	10	12	12
LOF <sub>ij</sub>	4.683	2.888	1.913	1.908	3.022	2.217	8.000	4.309	2.024

[0067] 以上描述仅是本发明的一个具体实例,并未构成对本发明的任何限制,显然对于本领域的专业人员来说,在了解了本发明内容和原理后,都可能在不背离本发明原理、结构的情况下,进行形式和细节上的各种修改和改变,但是这些基于本发明思想的修正和改变仍在本发明的权利要求保护范围之内。

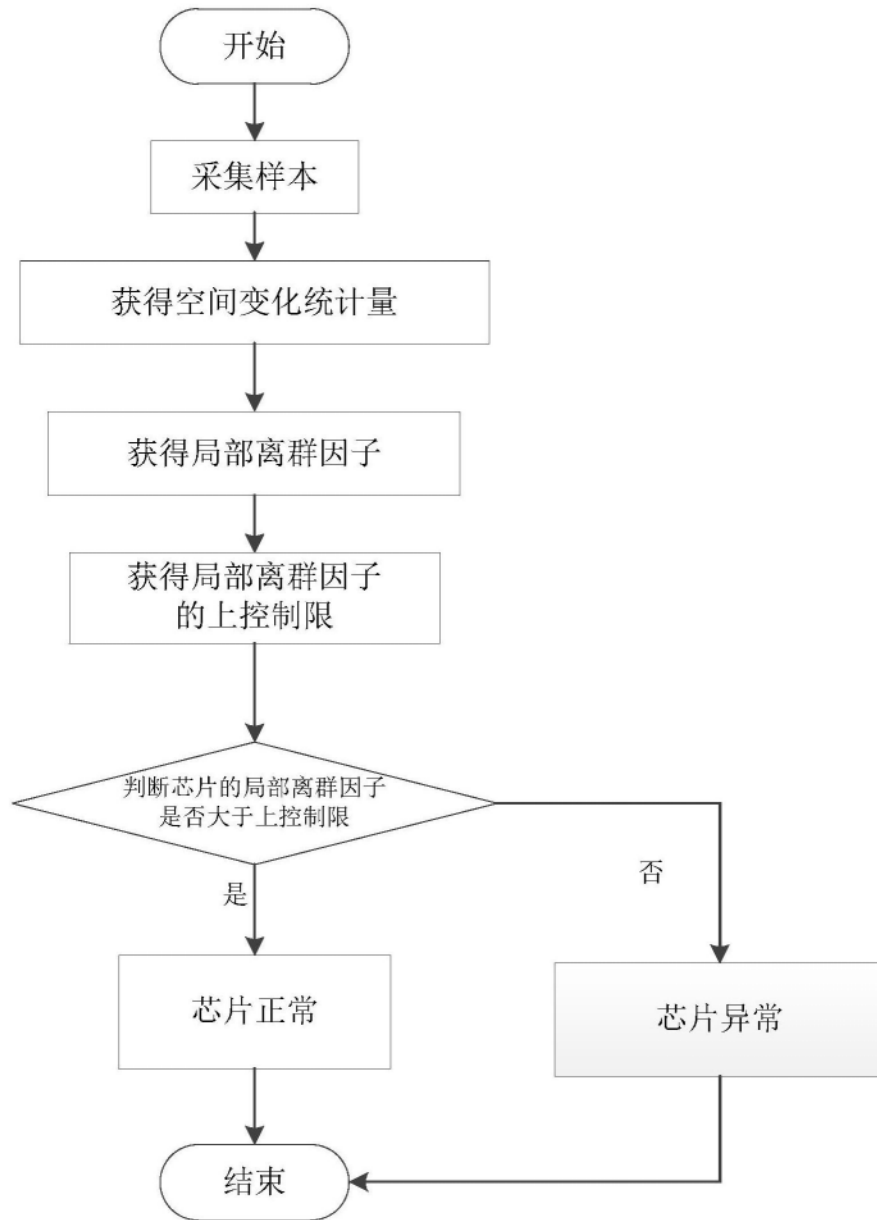


图1