

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G05B 23/02 (2006.01)

G06F 11/00 (2006.01)

H01L 21/66 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03820839.3

[45] 授权公告日 2007 年 11 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 100351725C

[22] 申请日 2003.8.1 [21] 申请号 03820839.3

[30] 优先权

[32] 2002.8.1 [33] US [31] 60/399,695

[86] 国际申请 PCT/US2003/023964 2003.8.1

[87] 国际公布 WO2004/013715 英 2004.2.12

[85] 进入国家阶段日期 2005.3.2

[73] 专利权人 应用材料有限公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 A·T·施瓦姆

A·P·桑穆加孙达拉姆 J·塞若

Y·科克托夫 E·安廷

[56] 参考文献

CN1280324A 2001.1.17

US6248602B1 2001.6.19

JP7-225608A 1995.8.22

CN1225459A 1999.8.11

US6346426B1 2002.2.12

US5761065A 1998.6.2

CN1140847A 1997.1.22

US5016186A 1991.5.14

审查员 刘 珺

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 赵蓉民

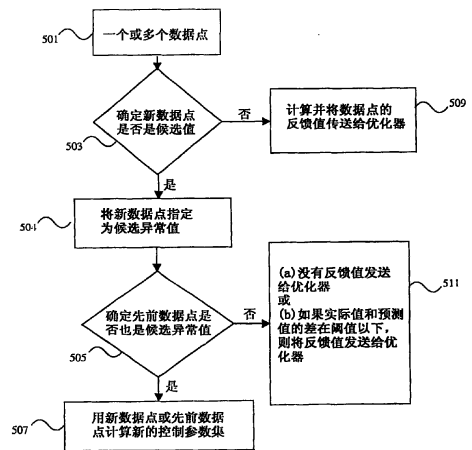
权利要求书 9 页 说明书 13 页 附图 11 页

[54] 发明名称

用于在先进工艺控制系统中处理歪曲的度量数据的方法、系统和介质

[57] 摘要

本发明公开一种用反馈控制机理控制半导体制造工具的系统、方法和介质。该反馈控制机理包括用于接收关于工具输出的数据点的特征。数据点包括当前数据点和至少一个先前数据点。该反馈控制机理也包括基于是否至少一个先前数据点是异常值，用于通过比较当前数据点和至少一个先前数据点的统计表示，而确定是否当前数据点是错误异常值的特征。反馈控制机理进一步包括如果当前数据点被确定为错误异常值，在计算反馈控制机理的反馈值中不处理当前数据点的特征。



1. 一种用反馈控制机理控制半导体制造工具的方法，其包括：
  - (a) 接收关于所述工具的输出的多个数据点，所述多个数据点包括当前数据点和至少一个先前数据点；
  - (b) 基于下列项确定所述当前数据点是否是异常值：
    - (b-1) 比较所述当前数据点和所述至少一个先前数据点的统计表示；以及
    - (b-2) 是否所述至少一个先前数据点是异常值；以及
  - (c) 如果所述当前数据点被确定为异常值，在计算所述反馈控制机理的反馈值中不处理所述当前数据点。
  
2. 如权利要求1所述的方法，其中(b)进一步包括：

仅当所述至少一个先前数据点不是异常值时，确定所述当前数据点为异常值。
  
3. 如权利要求1或2所述的方法，进一步包括：
  - (d) 如果所述当前数据点被确定为不是异常值，用所述当前数据点和所述至少一个先前数据点计算所述反馈控制机理的所述反馈值。
  
4. 如权利要求1或2所述的方法，进一步包括：
  - (d) 如果所述至少一个先前数据点是异常值，且所述当前数据点是异常值，为所述至少一个先前数据点计算先前反馈值，并然后基于所述先前反馈值和当前数据点计算所述反馈值。
  
5. 如权利要求1或2所述的方法，其中(b-1)的所述统计表示是所述至少一个先前数据点的加权移动平均值。
  
6. 如权利要求1或2所述的方法，其中(b-1)的所述统计表示是所述至少一个先前数据点的指数加权移动平均值。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的方法, 其中 (b-1) 的所述统计表示被表达为:

$$S_k = \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$$

其中,

$\beta$  是系数

$F_k$  是所述当前数据点和为晶片  $k$  预测的值之间的差; 以及

$\Delta_k$  是次数  $k$  的反馈值。

8. 如权利要求 7 所述的方法, 其中所述  $\Delta_k$  的值是如下计算的:

如果  $|F_k - \Delta_k| \leq K_n s_k$

$$\Delta_{k+1} = \lambda_k F_k + (1 - \lambda_k) \Delta_k$$

否则

$$\Delta_{k+1} = \Delta_k$$

其中,  $\lambda_k$  是系数;

$K_n$  是异常值系数; 以及

$$s_k = \sqrt{S_k}。$$

9. 如权利要求 7 所述的方法, 进一步包括:

当所述当前数据点被确定为不是异常值时, 更新  $S_k$  为

$$S_k = \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1 - \beta)S_{k-1}。$$

10. 如权利要求 7 所述的方法, 进一步包括:

当所述当前数据点被确定为异常值时, 更新  $S_k$  为  $S_k = S_{k-1}$ 。

11. 如权利要求 7 所述的方法, 进一步包括:

更新  $S_k$  为  $S_{k-1} = \beta(F_{k-1} - \Delta_{k-1})^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$ ; 且然后

当所述当前数据点被确定为不是异常值且先前数据点没有被确定为异常值时, 更新  $S_k$  为  $S_k = \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$ 。

12. 如权利要求 1 或 2 所述的方法, 进一步包括:

用至少一个计量站对所述工具的输出做多个测量；和  
基于所述多个测量计算所述当前数据点。

13. 如权利要求 12 所述的方法，进一步包括：  
基于关于所述多个测量的统计信息计算区间；  
识别落入所述区间的所述多个测量的子集；以及  
从所述多个测量的所述子集计算所述当前数据点。

14. 如权利要求 13 所述的方法，其中所述统计信息关于所述多个测量的中值和标准偏差中的至少一个。

15. 如权利要求 14 所述的方法，进一步包括：  
基于所述多个测量的方差和标度的方差中的一个计算所述标准偏差。

16. 一种用反馈控制机理控制半导体制造工具的系统，其包括：  
评估器，其经配置以接收关于所述工具的输出多个数据点，该数据点包括当前数据点和至少一个先前数据点，  
其中所述评估器进一步经配置以基于比较所述当前数据点和所述至少一个先前数据点的统计表示，确定是否所述当前数据点是异常值，和是否所述至少一个先前数据点是异常值，以及  
其中如果所述当前数据点被确定为异常值，所述评估器进一步经配置以在计算所述反馈控制机理的反馈值中，不处理所述当前数据点。

17. 如权利要求 16 所述的系统，其中仅当所述至少一个先前数据点不是异常值时，所述评估器进一步经配置以确定所述当前数据点为异常值。

18. 如权利要求 16 所述的系统，其中如果所述当前数据点被确定为不是异常值，所述评估器进一步经配置以用所述当前数据点和所述至少一个先前数据点计算所述反馈控制机理的反馈值。

19. 如权利要求 16 所述的系统，其中如果所述至少一个先前数据点是异常值且所述当前数据点是异常值，所述评估器进一步经配置以为所述至少一个先前数据点计算先前反馈值，并然后基于所述先前反馈值和所述当前数据点计算所述反馈值。

20. 如权利要求 16 所述的系统，其中所述统计表示是所述至少一个先前数据点的加权移动平均值。

21. 如权利要求 16 所述的系统，其中所述统计表示是所述至少一个先前数据点的指数加权移动平均值。

22. 如权利要求 16 所述的系统，其中所述统计表示被表达为：

$$S_k = \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$$

其中，

$\beta$  是系数

$F_k$  是所述当前数据点和为晶片  $k$  预测的值之间的差；以及

$\Delta_k$  是次数  $k$  的反馈值。

23. 如权利要求 22 所述的系统，其中  $\Delta_k$  的值是如下计算的：

如果  $|F_k - \Delta_k| \leq K_n s_k$

$$\Delta_{k+1} = \lambda_k F_k + (1 - \lambda_k) \Delta_k$$

否则

$$\Delta_{k+1} = \Delta_k$$

其中， $\lambda_k$  是系数；

$K_n$  是异常值系数；以及

$$s_k = \sqrt{S_k}。$$

24. 如权利要求 22 所述的系统，其中所述评估器经进一步配置以便当所述当前数据点被确定为不是异常值时，更新  $S_k$  为

$$S_k = \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1 - \beta)S_{k-1}。$$

25. 如权利要求 22 所述的系统，其中所述评估器进一步经配置以当所述当前数据点被确定为异常值时，更新  $S_k$  为  $S_k = S_{k-1}$ 。

26. 如权利要求 22 所述的系统，其中所述评估器进一步经配置以更新  $S_k$  为  $S_{k-1} = \beta(F_{k-1} - \Delta_{k-1})^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$ ；和当所述当前数据点被确定为不是异常值，且所述先前数据点没有被确定为异常值时，更新  $S_k$  为  $S_k = \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$ 。

27. 如权利要求 16 所述的系统，进一步包括：

至少一个计量站经配置以对所述工具的所述输出做多个测量，其中所述评估器进一步经配置以基于所述多个测量计算所述当前数据点。

28. 如权利要求 27 所述的系统，所述评估器进一步经配置以基于关于所述多个测量的统计信息计算区间，且经配置以从所述多个测量中识别落在所述区间内的子集，以及经配置以从所述多个测量的所述子集计算所述当前数据点。

29. 如权利要求 28 所述的系统，其中所述统计信息关于所述多个测量的中值和标准偏差中的至少一个。

30. 如权利要求 29 所述的系统，所述评估器进一步经配置以基于所述多个测量的方差和标度的方差中的一个计算所述标准偏差。

31. 一种用反馈值控制机理控制半导体加工工具的系统，其包括：

(a) 用于接收关于所述工具的输出的多个数据点的设备，该数据点包括当前数据点和至少一个先前数据点，其中所述至少一个先前数据点是在所述当前数据点之前接收的；

(b) 基于下列项确定所述当前数据点是否是异常值的设备：

(b-1) 比较所述当前数据点和所述至少一个先前数据点的统计表示；以及

(b-2) 是否所述至少一个先前数据点是异常值；以及

(c) 如果所述当前数据点被确定为异常值，在计算所述反馈控制机理的反馈值中不处理所述当前数据点的设备。

32. 如权利要求 31 所述的系统，进一步包括：

仅当所述至少一个先前数据点不是异常值时，确定所述当前数据点为异常值的设备。

33. 如权利要求 31 所述的系统，进一步包括：

(d) 如果所述当前数据点被确定为不是异常值，用所述当前数据点和所述至少一个先前数据点计算所述反馈控制机理的所述反馈值的设备。

34. 如权利要求 31 所述的系统，进一步包括：

(e) 如果所述至少一个先前数据点是异常值，且所述当前数据点是异常值，为所述至少一个先前数据点计算先前反馈值，并然后基于所述先前反馈值和所述当前数据点计算所述反馈值的设备。

35. 如权利要求 31 所述的系统，其中所述统计表示是至少一个先前数据点的加权移动平均值。

36. 如权利要求 31 所述的系统，其中所述统计表示是至少一个先前数据点的指数加权移动平均值。

37. 如权利要求 31 所述的系统，其中所述的统计表示被表达为：

$$S_k = \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$$

其中，

$\beta$  是系数

$F_k$  是当前数据点和为晶片 k 预测的值之间的差；以及

$\Delta_k$  是次数  $k$  的反馈值。

38. 如权利要求 37 所述的系统，其中所述  $\Delta_k$  的值是如下计算的：

如果  $|F_k - \Delta_k| \leq K_n s_k$

$$\Delta_{k+1} = \lambda_k F_k + (1 - \lambda_k) \Delta_k$$

否则

$$\Delta_{k+1} = \Delta_k$$

其中， $\lambda_k$  是系数；

$K_n$  是异常值系数；以及

$$s_k = \sqrt{S_k}。$$

39. 如权利要求 37 所述的系统，进一步包括：

当所述当前数据点被确定为不是异常值时，更新  $S_k$  为  $S_k = \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$  的设备。

40. 如权利要求 37 所述的系统，进一步包括：

当所述当前数据点被确定为异常值时，更新  $S_k$  为  $S_k = S_{k-1}$  的设备。

41. 如权利要求 37 所述的系统，进一步包括：

更新  $S_k$  为  $S_{k-1} = \beta(F_{k-1} - \Delta_{k-1})^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$  的设备；且然后

当所述当前数据点被确定为不是异常值且所述先前数据点没有被确认为异常值时，更新  $S_k$  为  $S_k = \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$  的设备。

42. 如权利要求 31 所述的系统，进一步包括：

用至少一个计量站对所述工具的所述输出做多个测量的设备；和  
基于所述多个测量计算所述当前数据点的设备。

43. 如权利要求 42 所述的系统，进一步包括：

基于关于所述多个测量的统计信息计算区间的设备；  
从落入所述区间内的所述多个测量中识别子集的设备；和



从所述多个测量的所述子集计算所述当前数据点的设备。

44. 如权利要求 43 所述的系统，其中所述统计信息关于所述多个测量的中值和标准偏差中的至少一个。

45. 如权利要求 44 所述的系统，进一步包括：

基于所述多个测量的方差和标度的方差中的一个计算所述标准偏差的设备。

46. 一种用反馈控制机理制造半导体装置的系统，其包括：

至少一个加工工具，其经配置以在至少一个晶片上执行至少一个半导体制造步骤；

至少一个计量站，其连接到所述至少一个加工工具，并经配置以对至少一个晶片做测量；

评估器，其经配置以接收关于所述至少一个工具的输出的多个数据点，所述数据点包括基于所述至少一个计量站的所述测量计算的当前数据点和至少一个先前数据点，

其中所述评估器进一步经配置以基于比较所述当前数据点和所述至少一个先前数据点的统计表示，确定所述当前数据点是否是异常值，和所述至少一个先前数据点是否是异常值，以及

其中如果所述当前数据点被确定为异常值，所述评估器进一步经配置以在计算所述反馈控制机理的反馈值中，不处理所述当前数据点。

47. 如权利要求 46 所述的系统，其中仅当所述至少一个先前数据点是异常值时，所述评估器进一步经配置以确定所述当前数据点为异常值。

48. 如权利要求 46 所述的系统，进一步包括：

优化器，其连接至所述评估器以接收所述反馈值，并经配置以基于所述反馈值生成至少一个控制参数，该控制参数用于操作所述至少一个工具。

49. 如权利要求 46 所述的系统, 其中所述至少一个工具是蚀刻装置。

50. 一种用反馈值控制机理控制半导体制造工具的方法, 其包括:

(a) 接收关于所述工具的输出的多个数据点, 所述多个数据点包括当前数据点, 随后的数据点, 和至少一个先前数据点;

(b) 确定所述当前数据点为错误异常值:

(b-1) 如果所述当前数据点和预测值之间的差在阈值之外, 该差是从所述至少一个先前数据点的统计表示计算的;

(b-2) 如果所述至少一个先前数据点不是异常值; 以及

(b-3) 如果所述随后的数据点不是异常值; 以及

(c) 如果所述当前数据点被确定为错误异常值, 在计算所述反馈控制机理的反馈值中不处理所述当前数据点。

51. 如权利要求 50 所述的方法, 其中 (b-1) 的所述统计表示是所述至少一个先前数据点的指数加权移动平均值。

52. 如权利要求 51 所述的方法, 其中 (b-1) 的所述统计表示被表达为:

$$S_k = \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$$

其中,

$\beta$  是系数;

$F_k$  是所述当前数据点和为晶片  $k$  预测的值之间的差; 以及

$\Delta_k$  是次数  $k$  的反馈值。

53. 如权利要求 52 所述的方法, 其中所述阈值是如下计算的:

$$|F_k - \Delta_k| \leq K_n s_k$$

$K_n$  是异常值系数; 以及

$$s_k = \sqrt{S_k}。$$

## 用于在先进工艺控制系统中处理歪曲的度量数据的方法、系统和介质

### 相关申请

本申请要求 2002 年 8 月 1 日申请的美国临时申请 60/399695 的优先权，该临时申请以参考的方式完全包含到本申请中。

### 技术领域

本发明涉及改进的反馈控制器，该改进的反馈控制器是为制造半导体装置设计的。具体地，本发明的反馈控制器包括检测错误数据点和防止影响反馈控制器操作的特征。

### 背景技术

在半导体产业存在着不断提高集成电路装置，如微处理器，存储器装置等的质量，可靠性和产量，同时降低制造这类装置制造成本的驱动力。这样的驱动力，部分是由于用户要求更低成本的更快，更高质量计算机和电子装置的推动。这些要求导致半导体装置制造方面的不断改进。

在制造半导体装置中，用反馈控制器确保高质量和低成本是公知的做法。示于图 1 中的反馈控制器系统 100 的一个例子包括，彼此耦合的工具 103 和反馈控制器 107。工具 103 可以是一个半导体制造工具或任何半导体制造工具的组合，如化学机械平面化（CMP）工具，沉积装置、蚀刻装置等。具体地，工具 103 接收晶片作为输入 101 并按照一个控制参数集合 109，如从控制器 107 接收的菜单处理它们。处理的晶片被称作输出 105。工艺的例子是沉积新的膜层，蚀刻层，等。

一旦工具 103 加工晶片，一个或更多计量站对被加工的晶片进行测量，计量站没有在图 1 中示出。测量和控制器 107 通信。然后控制器 107 比较测量和先前计算的预测值。基于该比较，控制器 107 对控制参数 109 作出调整。例如，如果当测量和预测值比较时，新沉积的层的厚度在所需范围之外，控制器 107 调整一个或多个控制参数 109，

如气流量，加工时间长度，等，以在一个晶片上沉积更薄的膜。然后工具 103 接收另一个晶片并用调整的控制参数加工该晶片。

反馈控制器的性能部分依赖于接收来自计量站的精确测量。当接收到不精确或错误的测量时，反馈控制器需要识别这样的测量并有防止这样的测量影响操作的机理。在传统反馈控制中，没有提供鲁棒性机理以解决错误测量。当错误测量被重复输入到控制器 107 时，它们使在加工的晶片上的形成的装置中缺陷增加，产量降低，或两种情况都出现。

## 发明内容

本发明的实施例有优点地识别错误测量并防止错误测量被输入到反馈控制器。具体地，本发明的实施例提供一种系统、方法和介质，用于初始识别错误数据点并防止它们影响反馈控制器的操作。本发明的实施例包括用于接收和工具的输出相关的数据点的特征。数据点包括当前数据点和至少一个以前的数据点。至少一个以前的数据点是在当前数据点之前接收的。本发明的实施例也包括这样的特征，其通过比较当前数据点和至少一个先前数据点的统计表示，并基于是否至少一个先前数据点也是异常值而确定当前数据点是否是错误异常值。本发明的实施例进一步包括这样的特征，其用于如果当前数据点被确定为错误异常值，在计算反馈控制机构的反馈值中不处理当前数据点。

## 附图说明

在阅读本说明书时参考附图可对示出多个不同特征的本申请的详细说明更好地理解，其中：

图 1 是方框图，其示出传统反馈控制系统；

图 2 是曲线图，其示出异常值数据点的例子；

图 3 是曲线图，其示出阶跃变化的例子；

图 4 是方框图，其示出根据本发明的实施例的反馈控制器，该反馈控制器包括优化器和评估器；

图 5 是流程图，其示出按照本发明实施例的评估器的高级特征；

图 6 是流程图，其示出按照本发明实施例的评估器关于确定异常值的特征；

图 7 是流程图，其示出按照本发明实施例的评估器关于调整测量的特征；

图 8A 和图 8B 是流程图，其示出按照本发明实施例的总步骤序列的特征；

图 9 是曲线图，其示出按照本发明实施例的被处理的测量值的例子；和

图 10 是计算机的方框图表示，其中反馈控制器的示例性实施例可按照本发明实施例操作。

### 具体实施方式

用于半导体制造工具的反馈系统通常包括计量站（其可在工具的内部或外部）以测量工具的一个或多个输出特征（如，被加工的晶片）；和反馈控制器以基于数据点（其中数据点是从一个晶片或几个晶片的一个或几个测量计算的或等于测量）改变工具的操作。本发明的多个实施例涉及反馈控制器，其包括用于识别异常值数据点的特征（即，基本和一个或多个先前数据点不同的数据点），为了区分异常值数据点为错误异常值数据点和非错误异常值数据点（如表示工具状态改变的异常值），为了消除错误数据点影响反馈控制器及其工具的影响。这些实施例是结合图 5-6 说明的。如上所述，数据点可以从单个晶片的一个或多个测量计算。这些测量也可包含异常值，它们基本和其它晶片测量不同。至少在本发明的某些实施例中，这些异常值测量在计算该晶片任何数据点之前被识别并被除去。这些实施例结合图 7 进行说明。至少在本发明的某些实施例中，上述实施例的部分或全部特征可组合到一个系统中，上述实施例涉及从测量和数据点中识别并除去异常值。这些实施例是结合图 8A-8B 进行说明的。

在描述本发明的各个实施例之前，首先更详细地说明异常值的一般概念。如上所述，异常值是显著不同于先前数据点的数据点。差异的显著性可按照统计学，如平均值，中值，标准偏差，等测量。异常值数据点可指示发生在工具中的变化，和要求的反馈控制器的响应

(如, 调整控制参数)。在其它情形中, 异常值数据点可指示出计量站的测量是错误的(即, 错误异常值数据点)。在这样的情形中, 消除错误数据点对反馈控制器的操作的影响。为了进一步解释这些概念, 错误异常值的例子说明于图 2 中, 且表示非错误异常值的异常值数据点说明于图 3 中。

更具体地, 图 2 中, 黑线 201 描绘按照被加工晶片的顺序的数据点和它们各个预测的值之间差值线。在本发明中, 预测值是部分基于先前的数据点计算的。在 y 轴上示出被加工晶片的差值,  $F(k)$ 。被加工晶片 20 在 1 处有差值, 而晶片 1-19 和 21-40 在零处有差值。描绘于图 2 中的晶片 20 的数据点歪曲或不正确地表征发生在工具中的工艺, 因为差值跳跃到晶片 20 的 1 并降到 0。其也可以代表计算数据点中的错误, 该数据点是计算差值的基础。这样的数据点优选作为错误输入。因此, 有必要防止这样的数据点被输入到反馈控制器。

图 3 中, 相似的变化发生在被加工的晶片 20, 但对晶片 21-40 差值驻留在 1。在这样的情形中, 晶片 20 的差值很可能代表变化的前沿 (leading edge) 而非错误异常值。示于图 3 中的变化包含关于发生在工具中的的相关信息。因此, 有必要输入变化前沿的数据点至反馈控制器, 以便作出适当的调整。

为了将非错误异常值和错误异常值区分开来, 其中本发明的实施例包括工具 401, 一个或多个计量站 403, 和反馈控制器 406, 该反馈控制器 406 包括评估器 405 和优化器 407, 如图 4 所示。工具 401 类似于上面参照图 1 进行的描述。计量站 403 (可以是工具 401 的一部分, 或在工具 401 之外) 经配置对被加工晶片做一个或多个测量。具体地, 测量可以是不同类型的, 如沉积膜的厚度、多种过渡特征等。计量站 403 也可以为每类测量作出一个或多个测量。例如, 计量站 403 可在被加工晶片的多个点测量晶片厚度。

计量站 403 所做出的测量的值被传达至控制器 406。一旦接受到测量值, 评估器 405 计算来自测量的一个或多个数据点。评估器 405 经配置以基于新信息, 如数据点等, 提高控制器 406 的预测能力。

一旦数据点被计算, 其被如图 5 所示的那样处理。具体地, 评估器 405 确定新数据点是否显著不同于预测值, 并因此被认为是“候选

(candidate)”异常值(步骤503)。如果这样,数据点被设定为候选异常值(步骤504)。其被称为候选值,因为异常值是否是错误数据点或代表变化的数据点将于随后确定。如果数据点不是候选异常值,那么评估器405计算并传达数据点的反馈值至优化器407(步骤509)。这里,反馈值是和差值(如果有)成比例的值,该差值是在数据点值和控制器406计算的预测值之间的差值。然后优化器407在计算新控制参数集中使用反馈值。在本发明实施例中,优化器407经配置以最优方式(如,对控制参数的变化最小同时在驱动工具中满足所有目标以产生所需的输出)产生控制参数。

如果数据点是候选的异常值,且先前数据点没有被标记为候选异常值(如在处理先前数据点中步骤505所确定的那样),该数据点最可能是类似于图2中所描绘的错误数据点(即,错误异常值)。同样地,没有反馈值被传送至优化器407(步骤511(a))。换言之,防止去除这样的数据点被去除以防止其对优化器407的操作的影响。如果先前数据点不是候选异常值,那么该数据点是候选的,并且随后的数据点不是候选的,那么该数据点是错误数据点。

在本发明的至少某些实施例中,评估器405确定如果两个或更多先前数据点被标记为异常值,而非仅一个先前数据点。在这样的实施例中,如果两个或更多先前数据点没被标记为异常值,该数据点被指定为错误异常值。再一次,没有反馈值被传送给优化器407。当没有反馈值传送时,优化器407可在控制工具401中使用先前控制参数集。

在至少某些实施例中,首先执行阈值测试,而非防止每个候选异常值的反馈值被输入到优化器407。在本发明的这些实施例中,即使新数据点被确定为候选异常值,如果数据点和预测值之间的差落在阈值之下/之上,然后反馈值被传送至在计算控制参数中要使用的优化器407。应该指出阈值也可以是一个范围。

如果评估器405确定先前数据点也是异常值(或候选异常值),该条件类似于在图3中描绘的条件,因为发生在先前数据点上的变化继续发生在当前数据点。当先前数据点的反馈值本应该传送至优化器407时,因为其表示变化,在这样的情形中,没有为先前数据点将先前数据点的反馈值传送至优化器407。因此评估器405首先计算先前数据点

的反馈值，并且然后计算新数据点反馈值。后面的值被传送至在计算控制参数中要用的优化器 407（步骤 507）。

虽然提供的上面说明是为处理一个数据点以计算一个反馈值，但任何数目的数据点可用于计算任何数目的反馈值。因此，优化器 407 经配置以接收任何数目来自评估器 405 的反馈值。更特别地，当其接收来自评估器 405 的反馈值时，优化器 407 计算新的控制参数集。在计算新控制集中，优化器 407 可基于接收的反馈值简单地调整先前的控制参数集。

现在通过参考图 6 更详细地说明控制器 406 的上述特征。更特别地，至少在本发明的某些实施例中，为了确定数据点是否是候选异常值，使用统计滤波器。至少在本发明某些实施例中，使用指数加权移动平均值（EWMA）滤波器。在本发明的实施例中，可使用其它类型的滤波器，如有限脉冲响应，无限脉冲响应，或基于小波的滤波器。在下面的例子中，预测值方差指数加权移动平均值可表达为：

$$S_k = \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1 - \beta)S_{k-1}$$

标准偏差的相应值表达为：

$$s_k = \sqrt{S_k}$$

其中，

1.  $\beta$  是用于 EWMA 滤波器的系数；

2.  $F_k$  是数据点和晶片  $k$  预测值之间的差，且其可表达为  $y_{k-1}^{actual} - y_{k-1}^{predicted}$ ，其中

$y_{k-1}^{actual}$  是在第  $k-1$  次或晶片  $k-1$  时测量的实际值；和

$y_{k-1}^{predicted}$  是在第  $k-1$  次或晶片  $k-1$  时预测的值；以及

3.  $\Delta_k$  是为次数  $k$  的反馈值，用于计算反馈值的方程组的例子如下：如果

$$|F_k - \Delta_k| \leq K_n s_k$$

$$\Delta_{k+1} = \lambda_k F_k + (1 - \lambda_k) \Delta_k \quad \text{否则}$$

$$\Delta_{k+1} = \Delta_k$$

其中， $\lambda_k$  是用于基于 EWMA 滤波器的系数，其是任选的次數和/或其它处理事件的函数（ $\lambda_k$  的值也可以被设定为晶片数目，距目标或



另一个类型工艺相关的事件，如新一批的开始或工艺条件的变化的距离的函数)；以及

$K_n$  是异常值系数的值，其可被设定为一定的值，如 0.1。

如上面反馈值的方程所指示的那样，当  $F_k$  和反馈值之间的差大于规定的阈值  $K_n s_k$  时，反馈值被更新。这对优化器 407 可能做出的调整给出一个限制。

使用上述方程，说明确定数据点是否是候选异常值的步骤。首先，当数据点被接收时，移动平均值和其平方根值被更新（步骤 601）。用这些值，执行阈值测试以确定何时数据点是候选异常值。例如：

如果  $(F_k - \Delta_k) \geq K s_{k-1}$ ，数据点可以标记为“候选=1”；

如果  $(F_k - \Delta_k) \leq -K s_{k-1}$ ，数据点可以标记为“候选=-1”；和

在所有其它情形中，数据点被标记为“候选=0”。

换句话说，如果  $|F_k - \Delta_k|$  大于  $K s_{k-1}$ ，数据点被标记为候选异常值，否则其不被标记为异常值。此处， $K$  被设定为一定的值，如 3。实际标记被指定如下：

“0”，如果数据点不是候选；

“1”，如果数据点的实际值显著高于预测值和反馈（候选）；以及

“-1” 如果数据点的实际值显著低于预测值和反馈（候选）。

在确定数据点是否是候选后，评估器 405 确定数据点的状态。此处，状态指示先前数据点是否被标记异常值（步骤 603）：

如果数据点不是候选异常值，状态被设定为“规则的”；

如果数据点是候选异常值，且先前数据点没有被标记为异常值，那么数据点此时被当作异常值，且状态被设定为“不处理”；和

如果数据点是候选异常值，且先前数据点没有被标记为异常值，则两个数据点都用于滤波计算，且该状态被设定为“二”。

下面是一组伪代码，其捕获设定数据点状态的上述特征：

```
If candidate == 0
```

```
State = "regular"
```

```
If candidate != 0 and candidate*prev_candidate != 1
```

```
State = 'ignore'
```

```
If candidate != 0 and candidate*prev_candidate == 1
```

*State = 'two'*

*Capture pos and neg.*

一旦状态如上设定，在计算反馈值中，评估器 405 执行结合图 5 描述的步骤。此外，当下一个数据点到达时，评估器 405 也计算指数加权移动平均值滤波器的多个值和其要用的方差：

*If state == 'two' and new data point was marked as "-1" or "+1":*

下面的方程计算先前和当前数据点的值（步骤 605 和 607）和反馈值。

$$\begin{aligned} S_{k-1} &= \beta(F_{k-1} - \Delta_{k-1})^2 + (1-\beta)S_{k-1} & \Delta_k &= \lambda_{k-1}F_{k-1} + (1-\lambda_{k-1})\Delta_{k-1} \\ S_k &= \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1-\beta)S_{k-1} & \Delta_{k+1} &= \lambda_k F_k + (1-\lambda_k)\Delta_k \\ s_k &= \sqrt{S_k} \end{aligned}$$

*If state == 'regular'* :下面的方程计算本数据点的值（步骤 607）和反馈值。

$$\begin{aligned} S_k &= \beta(F_k - \Delta_k)^2 + (1-\beta)S_{k-1} & \text{如果 } |F_k - \Delta_k| &\geq K_n s_k \\ S_k &= \sqrt{S_k} & \Delta_{k+1} &= \lambda_k F_k + (1-\lambda_k)\Delta_k \\ & & \text{否则} & \\ & & \Delta_{k+1} &= \Delta_k \end{aligned}$$

*If state == 'ignore'* (也是如果在丢失数据情形中没有晶片到达时执行): 先前设定的数据如下面所示。

$$\begin{aligned} S_k &= S_{k-1} & \Delta_{k+1} &= \Delta_k \\ s_k &= \sqrt{S_k} \end{aligned}$$

现在说明这样的实施例，该实施例关于在计算数据点中识别并除去异常值测量，异常值测量可能由于涉及计量站的问题发生，如测量坐标的错位，或由于物理现象，如颗粒的出现。这些问题对测量精度产生消极影响。因此，有必要在它们在计算数据点中被使用之前识别并除去异常值测量。至少在本发明的某些实施例中，确定异常值所需的测量和信息是资源规定的。这意味着信息基于哪个具体的工具或腔室加工晶片而被保留。而且，统计分析的值被有利地保持为相对值而非绝对值。

在这些实施例中，评估器 405 接收多个来自一个或多个计量站 403 的测量（步骤 701）。具体地，评估器 405 保持足够的信息以确定在哪个具体工具或腔室中晶片被加工。在接收来自计量站的测量后，评估

器 405 计算它们的平均数和方差值（步骤 703）。具体地，平均数和方差被表达为：

$$M_i = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} x_{ik}$$

$$V_i = \left( \frac{1}{n_i - 1} \right) \sum_{k=1}^{n_i} (x_{ik} - M_i)^2$$

其中，数据集被指定为集  $j$  和运转/晶片  $i$ ；

$M_i$  是平均数；和

$V_i$  是方差。

平均数和方差值可用部分或全部从运转/晶片  $I$  采集的测量计算。

集  $i$  相应于所有执行的测量的子集的数据，被定义为  $x_{ik}$ ，其中  $k=1, \dots, n_i$ ， $n_i$  是为运转/晶片  $I$  采集的所有数据。

因为在大多数半导体制造工艺中，计量标度随平均值的变化，标度操作（scaling operation，即用方差除以平均数（mean）的平方）可执行并存储为标度的方差， $D_i$ 。然而，在标度操作之前进行检验以确定平均数是否是太小而不能执行标度操作，例如，平均数平方的一半比方差小（步骤 705）。如果执行了标度，被称作标志“FLAG”的记录器被设定为 1（步骤 709）。如果没有执行标度，“FLAG”记录器和标度的方差被设定为 0（步骤 707）。下面是一组描述这些特征的方程：

如果  $(V_i < M_i^2/2)$

FLAG=1

$$D_i = \frac{V_i}{M_i^2}$$

否则

$D_i=0$

FLAG=0

然后评估器 405 计算  $D_i$  和  $V_i$  过滤的估值，它们被分别表示为  $D'_{i+1}$  和  $V'_{i+1}$ （步骤 711）。一个示例性滤波器是 EWMA。

如果  $i=1$

$$D'_{i+1} = D_i$$

$$V'_{i+1} = V_i$$

否则

$$D'_{i+1} = \lambda \cdot \min(D_{i+1}, D_i) + (1 - \lambda) \cdot D'_i$$

$$V'_{i+1} = \lambda \cdot \min(V_{i+1}, V_i) + (1 - \lambda) \cdot V'_i$$

然后评估器 405 计算标准偏差  $\sigma_i$ 。该值基于“FLAG”所设定的值而有两种不同的方式计算（步骤 713）。

如果  $i=1$

如果 FLAG=1

$$\sigma_i = \sqrt{D_i}$$

否则

$$\sigma_i = \sqrt{V_i}$$

如果 FLAG=1

$$\sigma_i = \sqrt{\tilde{D}_i}$$

否则

$$\sigma_i = \sqrt{\tilde{V}_i}$$

评估器 405 计算西格玛系数  $K_f$ ，该评估器 405 从用户接收可靠度等级（步骤 715）。评估器 405 也计算测量值的中值， $R_{ji}$ （步骤 717）。评估器 405 用运转/晶片  $i$  数据集  $j$  的中值  $R_{ji}$ ，西格玛系数  $K_f$  和标准偏差  $\sigma_i$  的过滤的估值计算区间（步骤 719）。一个示例的区间可表达为：

如果 FLAG=1

$$R_{ji} - K_f \sigma_i R_{ji} \leq x_{ki} \leq R_{ji} + K_f \sigma_i R_{ji}$$

否则

$$R_{ji} - K_f \sigma_i \leq x_{ki} \leq R_{ji} + K_f \sigma_i$$

评估器 405 计算该集合测量值的平均值，该平均值落在区间内（步骤 721）。评估器 405 用平均值取代集合  $j$  中的所有落在区间外的测量，并设定这些点为异常值（步骤 723）。然后评估器 405 再计算并存储过滤的估值（步骤 725）。 $\lambda$  的值可在用图形化用户界面中配置。

虽然上面结合图 7 所述的实施例与上面结合图 5—6 所述的实施例分别进行了说明，应该指出这些实施例可以组合。例如，当一个或多个计量站对被加工的晶片做多个测量，这些测量可首先经如图 7 所示的计算。随后，计算的平均值被指定为数据点，且然后经历如图 5—6

中所示的处理。组合上面提到的特征的本发明示例性实施例将在下面结合图 8A 和 8B 进行说明。

如图 8A 所示,包括拟合优度(GOF)值的测量是从计量站 403 接收的(步骤 801)。评估器 405 执行测量的异常值的筛选(步骤 803)。该步骤类似于上面结合计算测量区间说明的步骤;然而,在这些实施例中,用于具体地控制输出的 GOF 和统计异常值限是从存储器提供的(步骤 805)。如果所有测量在区间外,那么测量不用于反馈值计算(步骤 809)。如果所有测量不在区间外,那么评估器 405 计算落在区间内的测量的平均值(步骤 811)。然后评估器 405 更新统计信息(步骤 813),然后其可以存储为用于先前运转中具体控制的输出的统计信息阵列(步骤 815)。

在步骤 811 中计算的平均值用作数据点。评估器 405 执行数据点异常值筛选步骤,其确定数据点是否是候选异常值,其类似于上面结合图 5-6 描述的步骤。基于步骤 817,评估器 405 确定数据点是否是异常值。如果是异常值,那么数据点不用在反馈值计算中(步骤 825)。数据点的状态是类似于结合步骤 603, 605 和 607 所描述的步骤确定的(步骤 821)。评估器 405 存储当前数据点状态(步骤 823)。如果数据点不是异常值,评估器 405 执行反馈值筛选(步骤 827),其类似于上面结合图 5-6 所描述的阈值测试。基于反馈值筛选,评估器 405 确定反馈值是否在噪声限内(步骤 829)。如果反馈值在噪声限内,那么反馈值不传送至优化器 407(步骤 831)。否则反馈值被传送至优化器(步骤 833)。无论反馈值是否落在噪声限内,评估器更新关于数据点的统计信息(步骤 835)。最终的值被存储为用于先前运转的具体控制的输出的统计信息,以用来执行反馈异常值筛选(步骤 837)和噪声筛选步骤(步骤 839)。

执行上面描述的本发明实施例的结果图示于图 9 中。具体地,每个数据点代表由化学气相沉积(CVD)加工的晶片。计量站收集被加工的晶片的厚度测量。对于正常操作内的测量,测量的平均值被用作数据点。当测量在范围 907 之外时(如,在阈值之上,该阈值被设定来检测灾变),工具被停机,且向操作员发出信息(如,电子邮件信息和/或页面)。而且,这样的测量集合不用于计算反馈值。当一个测量在

区间之外（如 905），那么用落在区间内的测量的平均值取代测量，且过滤值被存储。

本发明的实施例可以以一套计算机可执行代码（如，计算机程序）集实施，用计算机硬件实施，或它们任何组合实施。具体地，本发明的实施例是按照图 5-8A、B 所示的几个流程图描述的。流程图中描绘的几个动作可以以计算机程序中的代码或用计算机硬件来实施。

现在描述本发明实施例实施的软件，图 10 示出这样的实施例的方框图。总线 1056 用作互连各个元件的主要信息高速公路。CPU1058 是中央处理单元，执行计算和逻辑操作，这些计算和逻辑操作是执行本发明工艺和其它程序所需的。只读存储器（ROM）1060 和随机存取存储器（RAM）1062 构成主存储器。磁盘控制器 1064 连接一个或多个磁盘驱动器至系统总线 1056。这些磁盘驱动器是，例如，软盘驱动器 1070，或 CD ROM 或 DVD（数字视频盘）驱动器 1066，或内部或外部硬盘驱动器 1068。这些各种类型的磁盘驱动器和磁盘控制器是任选设备。

显示器接口 1072 连接显示器 1048 并允许来自总线 1056 的信息显示于显示器 1048。与外部设备如上面所述系统的其它元件的通信开始利用例如通信端口 1074。光纤和/或电缆和/或连接器和/或光学通信（如红外，等）和/或无线通信（如，射频（RF），等）可用作外设与通信端口 1074 之间的传输介质。外围接口 1054 连接键盘 1050 和鼠标 1052，允许输入数据被传输到总线 1056。除了这些元件，分析器可选包括红外发射器和/或红外接收器。当计算机系统用来连接一个或多个处理元件/站时，可选地利用红外发射器，该一个或多个处理元件/站通过红外信号传输发射/接收数据。代替利用红外发射器或接收器，计算机系统也可选地使用低功率无线电发射器 1080 和/或低功率无线电接收器 1082。低功率无线电发射器发射信号以为制造工艺的元件接收，且通过低功率无线电接收器接收来自这些元件的信号。低功率无线电发射器和/或接收器是工业上的标准设备。

虽然图 10 中说明的实施例只具有单个处理器，单个硬盘驱动器和单个本地存储器，可选地，分析器合适地配备有任和数量的处理器或存储器及它们的组合。例如，多个实施例可被任何合适的加工系统按

照本发明实施例的原理取代，或与之组合，包括复杂的计算器、和手持式计算机、膝上型/笔记本式计算机、迷你型计算机、大型机和超级计算机，以及它们的处理系统网络组合。

计算机可读存储介质存储计算机可读代码或指令。作为一个例子，介质可与图 10 所示的磁盘驱动器一起使用。通常，存储介质，如 CD ROM、数字视频盘、或软盘将包含，例如，用于单字节语言的多字节地域 (locale)，和用于控制模拟器 (modeler) 以使计算机能执行此处所述的功能的程序信息。可替换地，示于图 10 中的 ROM 1060 和/或 RAM 1062 也可以用来存储程序信息，该程序信息用于指示中央处理单元 1058 执行和本发明多个自动化工艺关联的操作。用于存储信息的合适的计算机可读介质的其它例子包括磁存储、电存储、或光 (包括全息) 存储，及它们的某些组合等。

一般地，应该强调本发明实施例的多个元件可用硬件、软件或它们的组合实施。在这样的实施例中，多个元件和步骤将以硬件和/或软件实施以执行本发明实施例的功能。任何目前可得到的或将来开发的计算机软件语言和/或硬件元件可用在本发明的这样的实施例中。例如，至少某些上面提到的功能可用 Visual Basic, C, C++, 或任何对所用的处理器合适的计算机语言实施。其也可以在解释性环境，如 Java 中编写，并传输至多个地点而到达各个不同用户。

从详细说明中，可清楚地明白本发明的许多特征和优点，且因此，本发明的权利要求意在涵盖落入本发明精神和范畴内的本发明的所有特征和优点。而且，因为多种修改和变化对本领域的技术人员是显而易见的，这些特征和优点无意限制本发明至所示和所述的严格构造和操作，且因此，所有合适的修改和等效形式落在本发明保护范畴内。

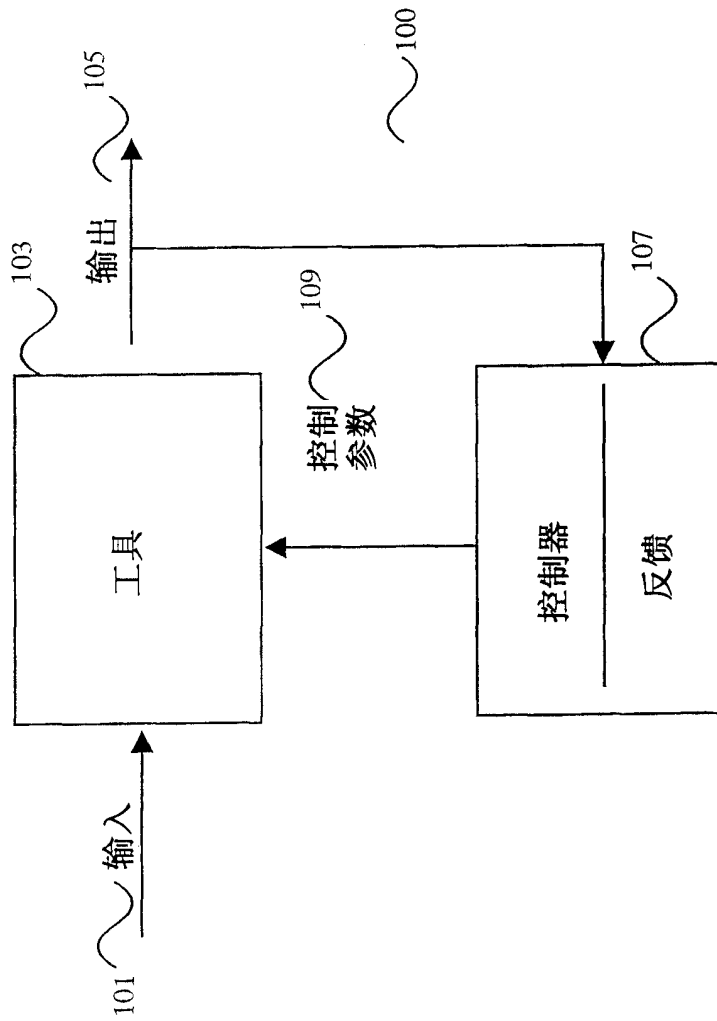


图1



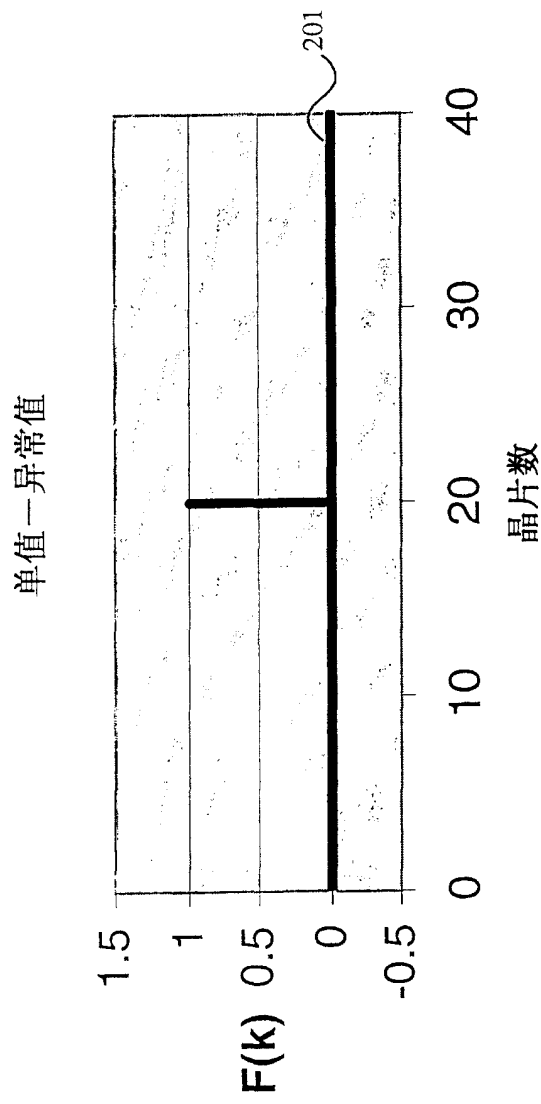


图2

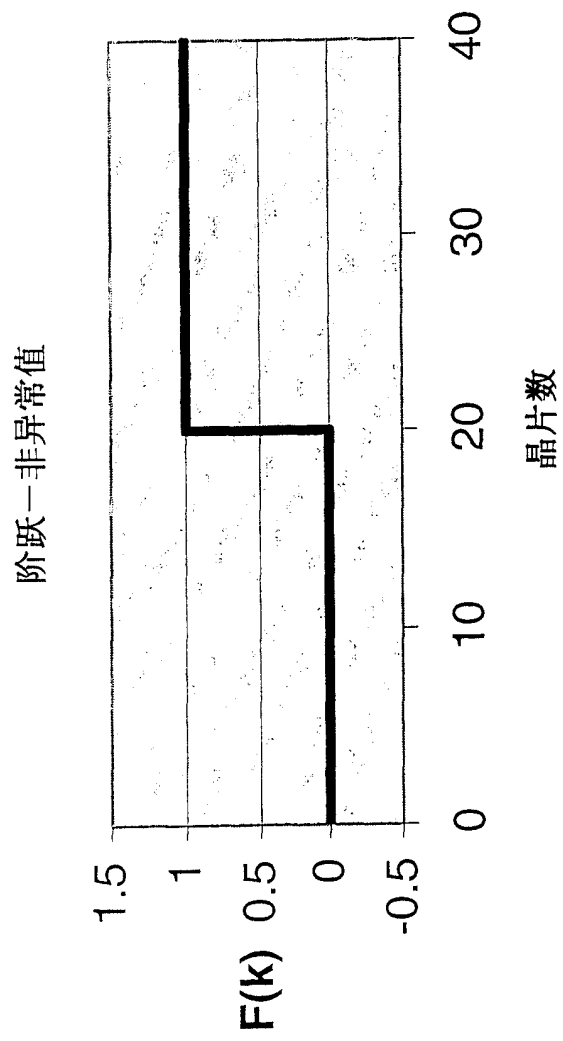


图3

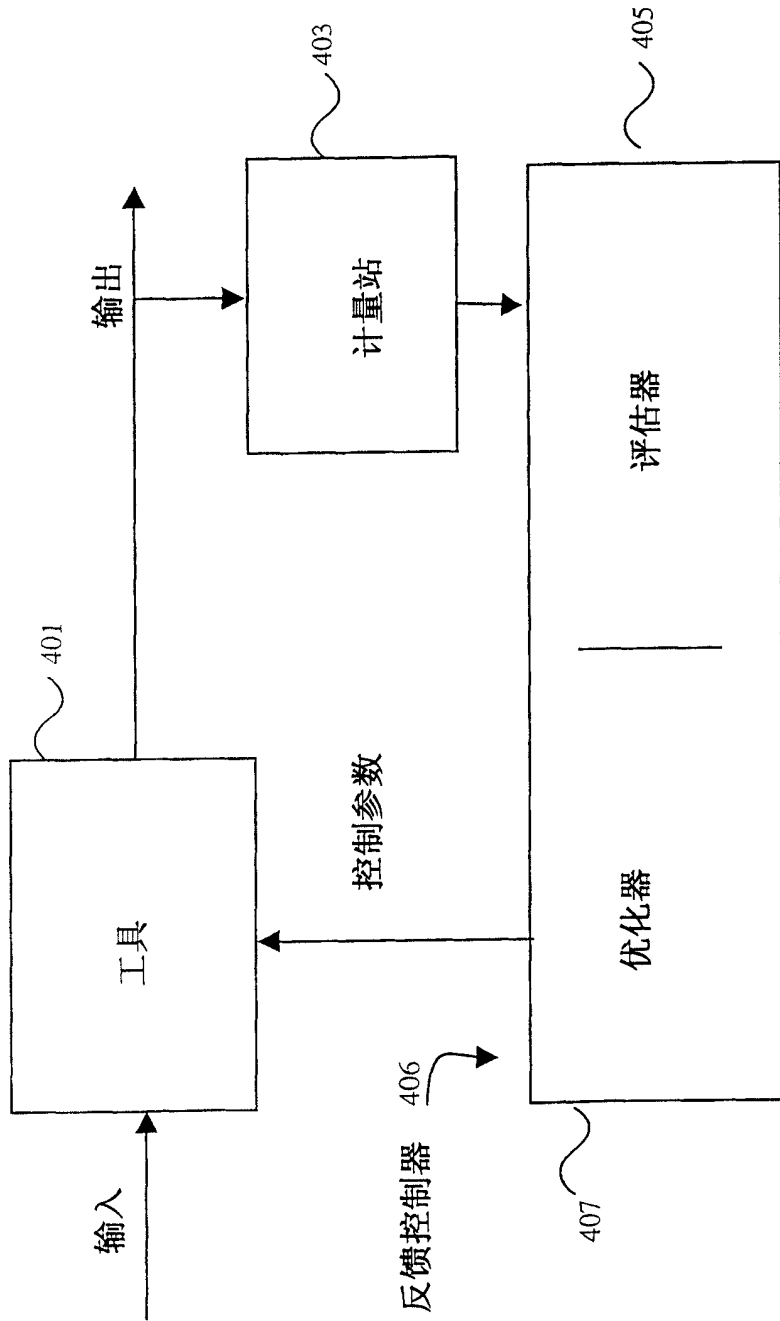


图4

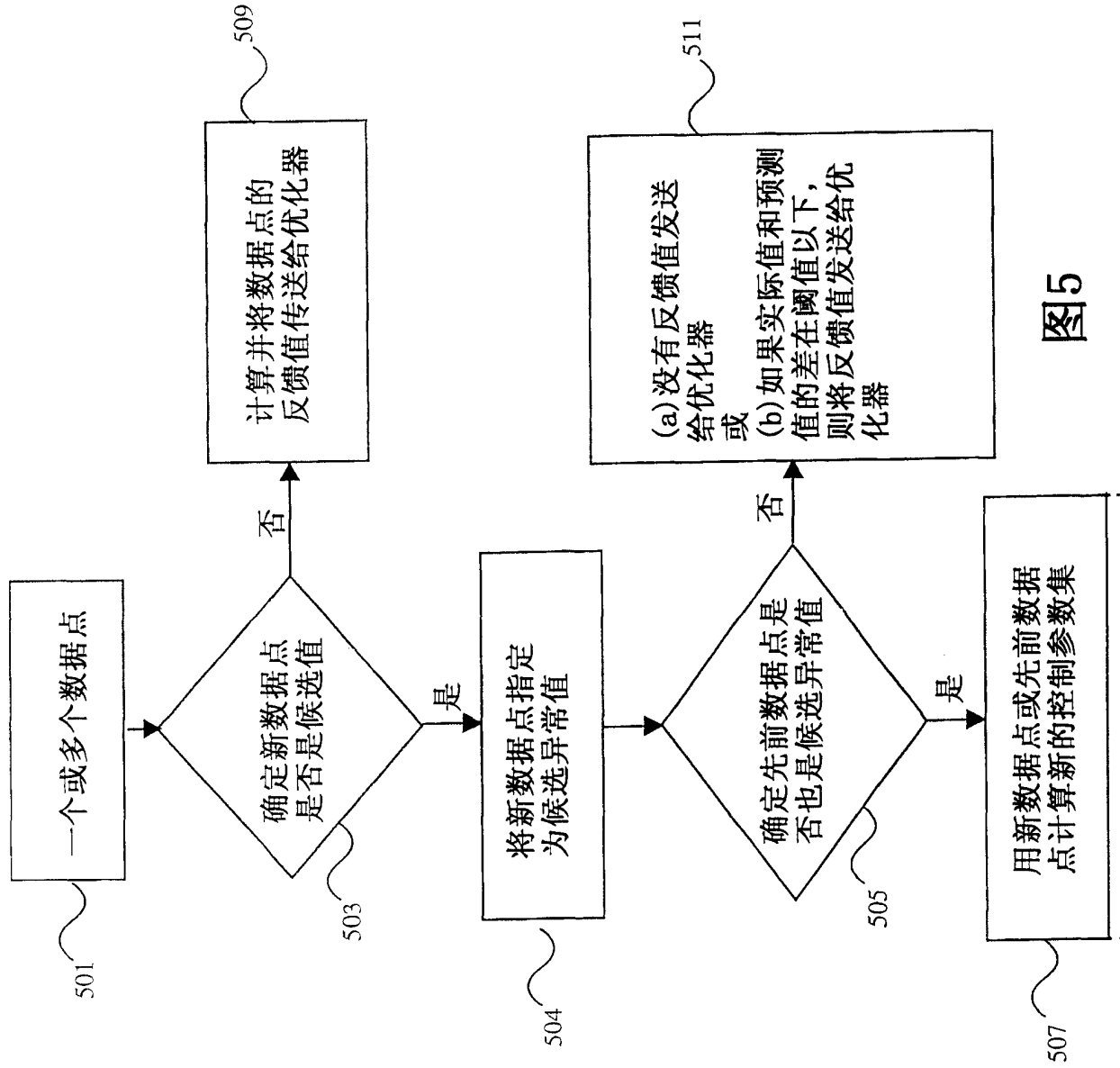


图5

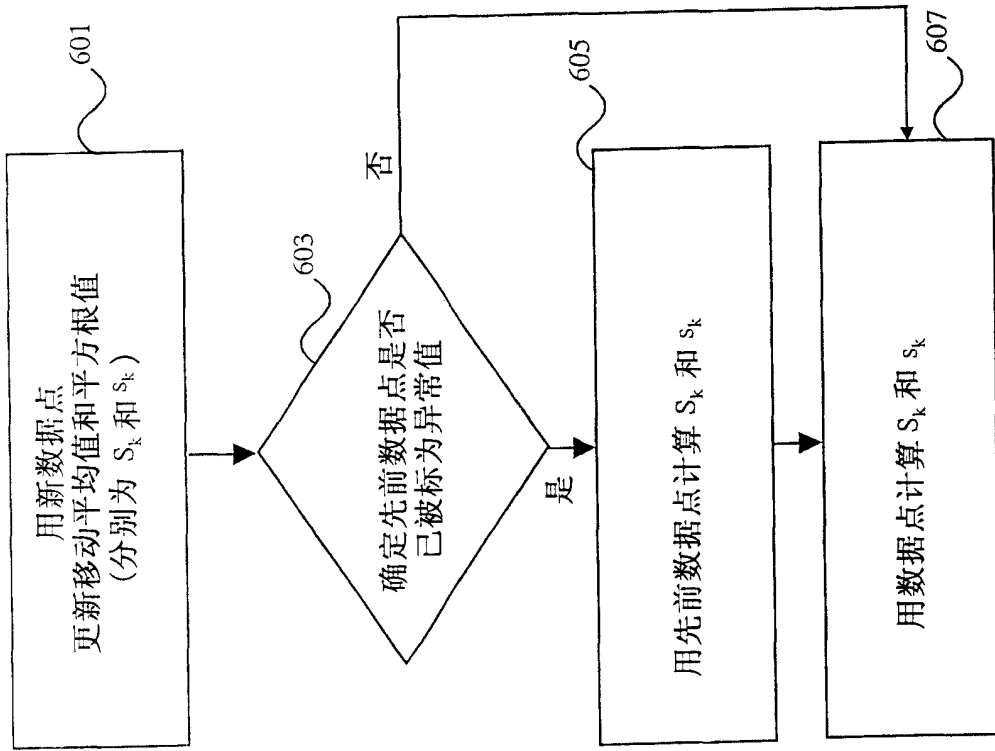


图6

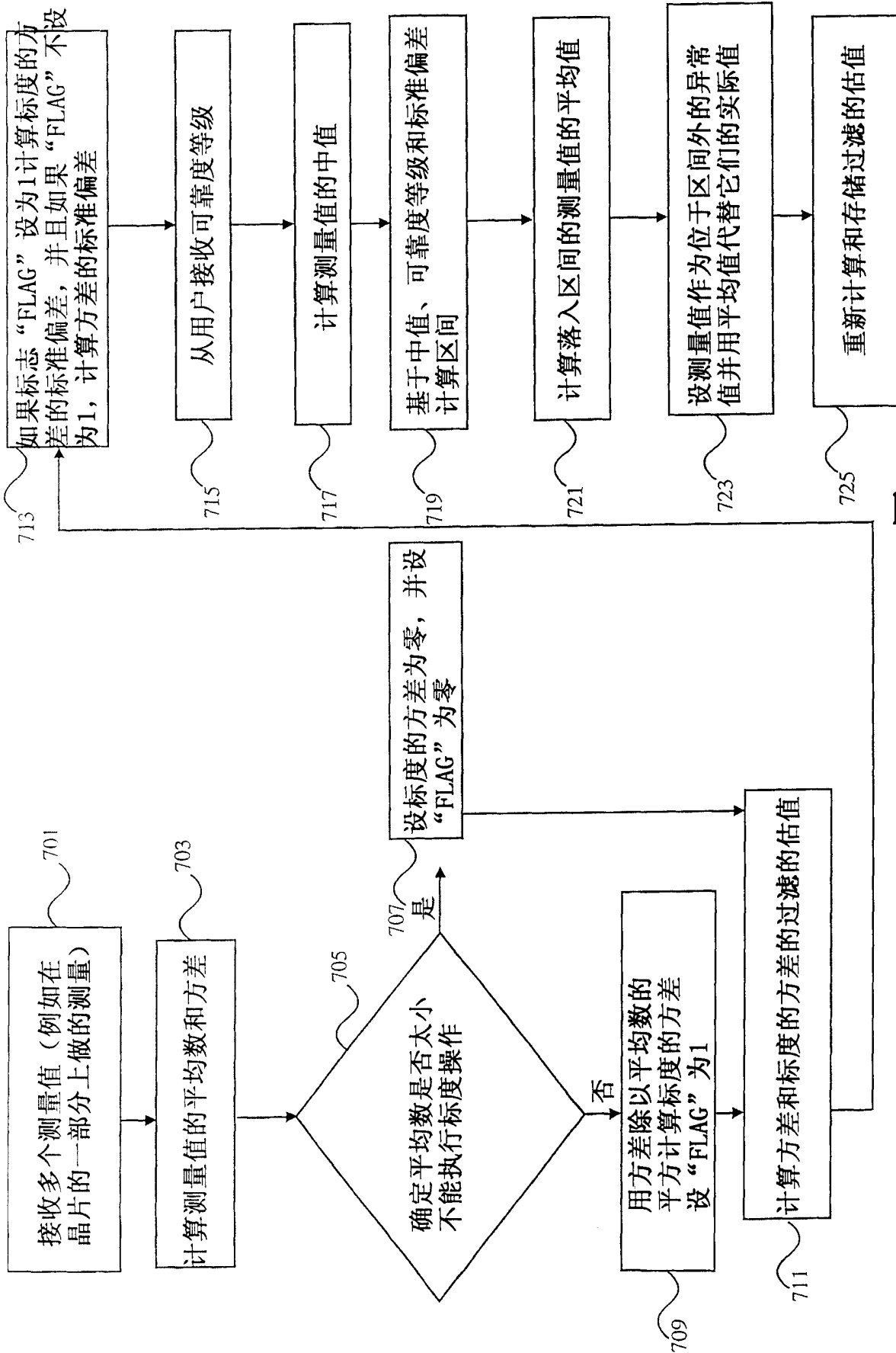


图7

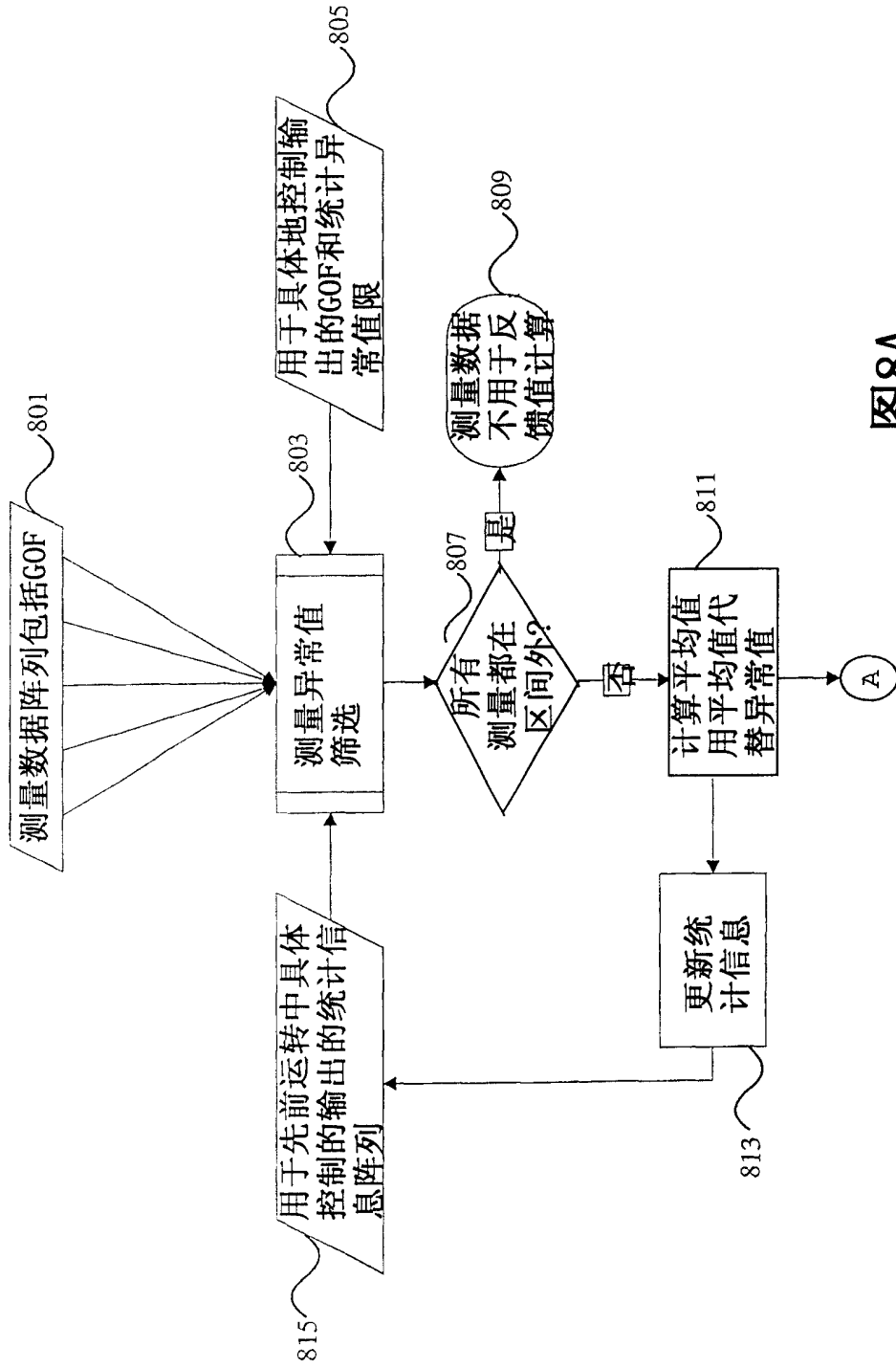
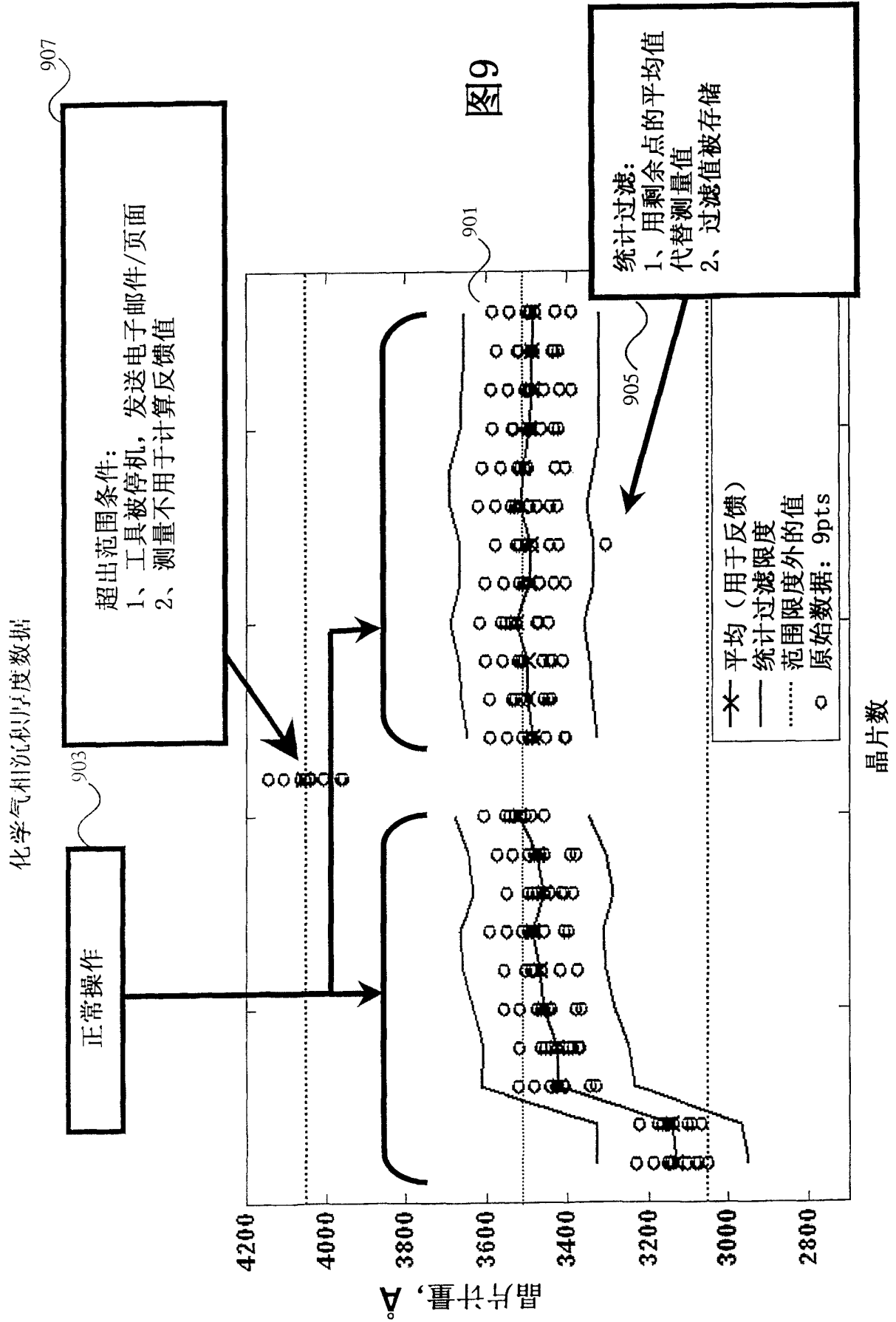


图8A







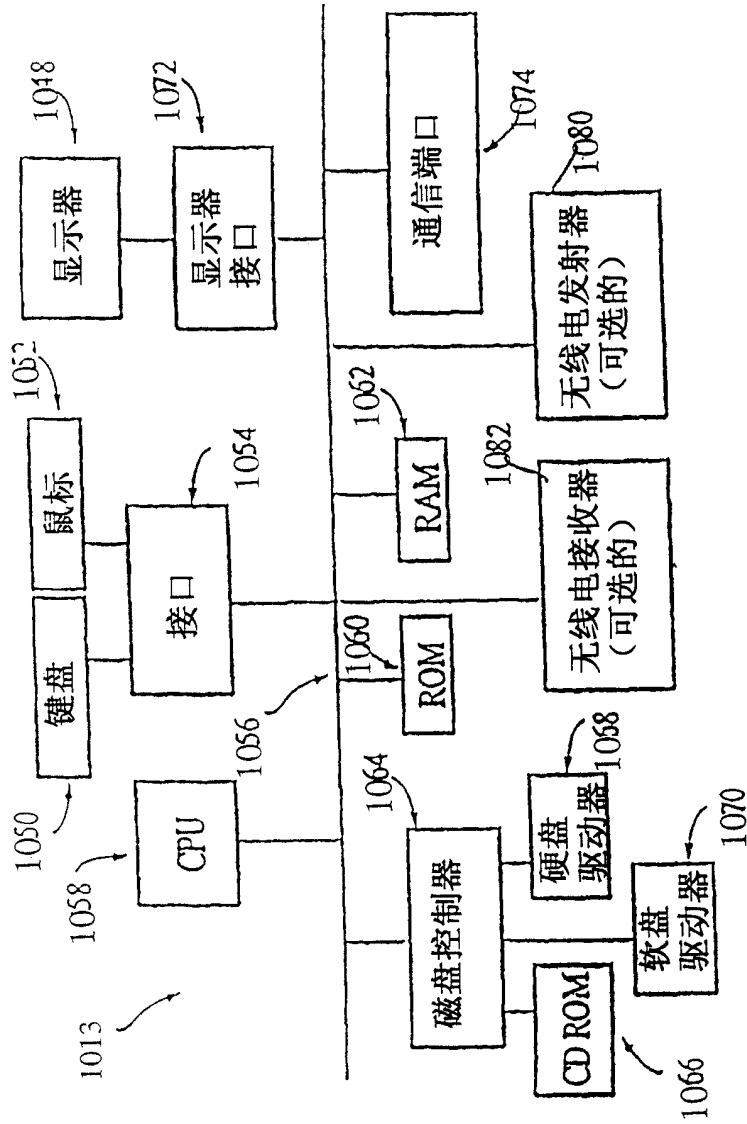


图10