



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101213536 B

(45) 授权公告日 2011.02.16

(21) 申请号 200680023952.9

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2006.04.19

G06F 15/00(2006.01)

(30) 优先权数据

(56) 对比文件

11/118,683 2005.04.29 US

US 5995916 A, 1999.11.30, 说明书第 5 栏第 61 行至第 36 栏第 2 行、附图 1-25.

(85) PCT 申请进入国家阶段日

US 4492740, 1985.01.08, 全文.

2007.12.29

US 6326617 B1, 2001.12.04, 全文.

(86) PCT 申请的申请数据

US 6850079 B2, 2005.02.01, 说明书第 11 栏第 56 行至第 21 栏第 24 行、附图 4-14.

PCT/US2006/014942 2006.04.19

(87) PCT 申请的公布数据

GODBOLE Silicon to Tungsten Ratio

W02006/118811 EN 2006.11.09

Determination in Tungsten Silicide Using XRF. IEEE 0-7803-6691-301. 2001, 01 第 46 页 - 第 49 页.

(73) 专利权人 瑞沃瑞公司

审查员 于平

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 J·奥洛克 T·C·拉森 B·许勒尔

L·博特 J·奎格利 E·居雷尔

(74) 专利代理机构 北京润平知识产权代理有限公司 11283

代理人 周建秋 王凤桐

权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 11 页

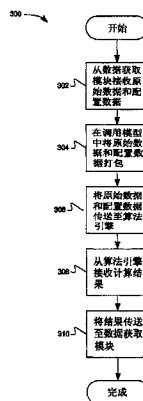
(54) 发明名称

用于对由仪器产生的数据进行分析的方法

(57) 摘要

根据本发明的一个实施例,公开了一种对来自仪器的数据进行分析的方法。由所述仪器产生的原始数据以及由用户产生的配置数据一并被打包到调用模型中。所述原始数据可以包括,例如,在分析光电子能谱数据时具有某一动能的计数。所述配置数据可以包括由用户基于被测结构的组成和配置而选择的若干参数。所述调用模型可以用作所述仪器和引擎之间的接口,所述引擎用于产生算法,该算法用于向用户返回期望结果。所述引擎接着产生所述算法以及由用户指定的结果,并且所述调用模型将所述结果返回给用户。这样可以使用已知的算法和函数产生用于特定被测样品或结构的特定算法和结果。

CN 101213536 B



1. 一种用于对来自仪器的数据进行分析的方法,该方法包括:  
接收来自仪器的原始数据以及来自用户的包括参数的配置数据以产生算法;  
将所述原始数据和所述配置数据传送至引擎以产生基于所述参数的算法,其中传送所述原始数据和所述配置数据包括:  
在模型中将所述原始数据和所述配置数据进行打包,其中在模型中将所述原始数据和所述配置数据进行打包包括:  
产生用于所述模型的层列表,所述模型包括用于确定层的特性的算法;  
在所述层列表中产生用于所述模型的核素列表;  
在所述核素列表中产生包括结果的结果列表;以及  
产生所述原始数据的区域列表;和  
将所述模型传输至所述引擎;  
从所述引擎接收结果,所述结果基于所述原始数据、所述配置数据以及由所述引擎产生的算法;以及  
将所述结果返回给用户。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,该方法进一步包括:  
基于通过仪器测量的结构中的元素核素以及所述结构的配置来选择参数。
3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中所述基于结构中的元素核素以及所述结构的配置来选择参数包括:  
基于基片上的若干层以及所述基片上的层的光电子核素来选择参数。
4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述接收原始数据包括:  
接收具有动能的光电子的计数。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述产生用于所述模型的层列表包括:  
产生层列表,所述层列表包括用于确定层的厚度的厚度算法以及用于确定层的原子浓度的浓度算法。
6. 根据权利要求 4 所述的方法,其中所述接收具有动能的光电子的计数包括:  
使用 X 射线光电子能谱来产生光电子。
7. 根据权利要求 1 所述的方法,该方法进一步包括:  
产生自定义函数列表,该自定义函数列表包括用以执行自定义函数的自定义函数参数列表。
8. 一种用于确定基片上的层的特性的方法,该方法包括:  
接收来自对所述层进行测量的仪器的原始数据以及包括参数的配置数据,以用于确定所述层的特性;  
将所述原始数据和所述配置数据传送至引擎以产生用以确定所述层的特性的算法,其中将所述原始数据和所述配置数据传送至引擎包括:  
在模型中将所述原始数据和所述配置数据进行打包,其中在模型中将所述原始数据和所述配置数据进行打包包括:  
产生用于所述模型的层列表,所述模型包括用于确定层的特性的算法;  
在所述层列表中产生用于所述模型的核素列表;  
在所述核素列表中产生包括结果的结果列表;以及

- 产生所述原始数据的区域列表 ;和  
将所述模型传输至所述引擎 ;  
从所述引擎接收结果,所述结果包括所述层的特性 ;以及  
将所述结果返回给用户。
9. 根据权利要求 8 所述的方法,其中所述特性从由下列各项组成的组中进行选择 :  
所述层的厚度、所述层的原子浓度、以及所述层的分布。
10. 根据权利要求 8 所述的方法,该方法进一步包括 :  
基于所述层的元素核素以及在所述基片上的若干其它层来确定所述参数。
11. 根据权利要求 10 所述的方法,该方法进一步包括 :  
采用基于所述参数而选择的其它算法来确定所述算法。
12. 根据权利要求 11 所述的方法,其中所述其它算法基于光电子核素和层的已知特性而被预先确定。
13. 根据权利要求 8 所述的方法,其中所述产生用于所述模型的层列表包括 :  
产生层列表,所述层列表包括用于确定层的厚度的厚度算法以及用于确定层的原子浓度的浓度算法。
14. 根据权利要求 8 所述的方法,该方法进一步包括 :  
产生自定义函数列表,该自定义函数列表包括用以执行自定义函数的自定义函数参数列表。
15. 一种使用光电子能谱来确定基片上的层的特性的方法,该方法包括 :  
接收来自仪器的原始数据,所述原始数据包括光电子的计数 ;  
接收来自用户的配置数据,所述配置数据包括用以确定算法的参数,所述算法用以确定所述基片上的层的特性 ;  
在模型中将所述原始数据和所述配置数据进行打包并且将所述模型传送至引擎,其中在模型中将所述原始数据和所述配置数据进行打包包括 :  
产生用于所述模型的层列表,所述模型包括用于确定层的特性的算法 ;  
在所述层列表中产生用于所述模型的核素列表 ;  
在所述核素列表中产生包括结果的结果列表 ;和  
产生所述原始数据的区域列表 ;  
从所述引擎接收结果,所述结果包括所述层的特性,其中所述特性使用所述算法得以确定 ;以及  
将所述结果返回给用户。
16. 根据权利要求 15 所述的方法,其中所述产生用于所述模型的层列表包括 :  
产生层列表,所述层列表包括用于确定层的厚度的厚度算法以及用于确定层的原子浓度的浓度算法。
17. 根据权利要求 15 所述的方法,其中所述接收原始数据包括 :  
接收具有动能的光电子的每分钟的计数。
18. 根据权利要求 15 所述的方法,其中所述光电子能谱为 X 射线光电子能谱。
19. 根据权利要求 15 所述的方法,所述方法进一步包括 :  
产生自定义函数列表,该自定义函数列表包括用以执行自定义函数的自定义函数参数

列表。

## 用于对由仪器产生的数据进行分析的方法

[0001] 版权声明

[0002] 本专利文件的部分公开内容包含了受版权保护的内容。该版权的所有者不反对任何人对在美国专利商标局专利文件或记录中出现的该专利文件或该专利公开内容进行复制转载,但其保留所有版权权利。

### 技术领域

[0003] 本发明涉及科学仪器,尤其涉及一种用于分析由科学仪器产生的数据的方法。

### 背景技术

[0004] 科学仪器,例如光谱仪,对原始数据进行采集(如以每秒大量计数的形式),该原始数据可被用于确定被测样品的特性。需要对所述原始数据进行处理以提供有用的计算结果。因此需要开发出算法以分析通过仪器所产生的原始数据。所述算法通常由研制该仪器的工程师进行开发,通常耗时数月。

[0005] 光电子能谱学是一种用于确定样品中元素核素的组成、厚度、分布等情况的方法。光电子能谱学对样品在受到单频辐射源轰击时所发射的光电子进行测量。例如,可以通过特定预设波长的 x 射线或紫外线辐射来对所述样品进行轰击。当所述样品的单个原子吸收了该辐射的光子时,该原子发射出具有原子动能(KE)特性的电子。该电子即光电子。所述被原子吸收的光子具有能量  $e = h\nu$ , 其中  $h$  为普朗克常数,  $\nu$  为该光子的频率。所述光电子曾被束缚于所述发射原子中。所述光电子的结合能(BE)是为了将所述光电子从所述原子中剥离出来所需的能量值。通过所述设备测量的 KE 为所述光电子被发射出后具有的能量值。根据能量守恒定律,可以确定  $KE = h\nu - BE$ 。由于原子中电子的 BE 为已知值,如果轰击样品的光子的波长已知,则发射的光电子的 KE 可以识别所述原子的核素。

[0006] 可以使用电子能量分析仪对所述发射的光电子进行计数。描绘以特定动能计数所得的光电子数量的能谱曲线可以从所述原始数据获得。然后所述能谱可以被用于确定所述样品的各种特性,例如化学组成或者厚度。

[0007] 使用所述能谱可以确定或计算所述样品的特性。然而,为了确定关于所述样品的有用信息,针对待确定的每个新的样品和每组新的特性,对于所述特定样品和期望特性的特定算法都必须以公式来表示。开发所述算法通常很耗时,并且可能会延迟样品的分析过程。

### 发明内容

[0008] 根据本发明的一个实施例,描述了一种调用模型。所述调用模型包括模型结构以及数据获取模块和算法引擎之间的接口。所述模型结构对由仪器产生的原始数据和由用户引入的配置数据进行存储。例如,所述原始数据可以是使用光电子能谱产生的计数。所述配置数据确定了用于处理所述数据的函数和方法。所述算法引擎使用所述配置数据以产生用于处理所述原始数据的算法。在产生所述算法后,所述算法引擎动态地计算用户期望的

结果,并将该结果返回给所述数据获取模块。这样,用于确定样品某些特性的算法能够很容易地被用户确定并由算法引擎产生。

### 附图说明

[0009] 本发明的一个或多个实施例通过示例的方式得以说明,并且不受附图的限制,附图中相似的符号表示相似的元件,并且其中:

[0010] 图 1A 显示根据本发明的一个实施例在基片上形成的分层结构;

[0011] 图 1B 显示通过 XPS 能谱产生的被测结果的能谱;

[0012] 图 2 是调用模型和系统的其他元件之间相互作用的图表,所述系统用于产生从仪器采集的数据而得的结果;

[0013] 图 3A 是描述使用调用模型以集成算法、处理原始数据并将结果返回给用户的过程的流程图;

[0014] 图 3B 是描述根据本发明的一个实施例产生算法的过程的流程图;

[0015] 图 4 是根据本发明的一个实施例调用模型的模型结构的示意图;

[0016] 图 5A-5G 显示根据本发明的某些实施例用于输入所述配置数据的接口;

[0017] 图 5H 是描述确定所述结构的顶层厚度的过程的流程图;以及

[0018] 图 6 显示用于实施本发明的某些实施例的处理系统。

### 具体实施方式

[0019] 根据本发明的一个实施例,公开了一种用于对来自仪器的数据进行分析的方法。由所述仪器产生的原始数据与由用户产生的配置数据一并被打包到调用模型中。所述原始数据可以包括,例如,在分析光电子能谱数据时具有某一动能的光电子计数。所述配置数据可以包括用户基于所述待测结构的组成和配置而选择的若干参数。参数的示例包括当计算数值时采用哪一函数、校正因数等等。所述调用模型可以用作所述仪器和用于产生算法的引擎之间的接口,用以将期望的结果返回给用户。所述引擎接着产生所述算法和由用户指定的结果,并且所述调用模型将所述结果返回给用户。这样可以使用的算法和函数产生用于特定被测样品或结构的特定算法和结果。

[0020] 元素核素指的是一特定层或基片的化学组成。例如,铅氧化物层包括铅和氧的元素核素。电子核素指的是具有特征能量的电子。具有单一材料核素的层可以发射出若干个不同的电子核素。例如,硅基片可以发射出两个不同的特征电子,其具有不同的动能。一个电子可以从硅原子的 2p 轨道发射出,而另一个电子可以从硅原子的 2s 轨道发射出。在下文中,电子信号指的是属于特定电子核素的电子流。例如,所述“Hf4f 信号”包含由铪的 4f 轨道发射出的电子。以下讨论的许多示例指的是光电子,或者当层被光子轰击时发射出的电子。每个元素核素可以发射出一个或者多个光电子核素,其可以包含光电子信号。

[0021] 图 1A 显示根据本发明的一个实施例在基片上形成的分层结构。图 1A 显示的结构 100 包括在可代表大型微电子设备的一部分的硅或其它基底 104 上形成的层 102。层 102 的若干特征可以通过使用 x 射线光电子能谱 (XPS) 或者类似方法,例如紫外线光电子能谱 (UPS)、俄歇能谱 (Augerspectroscopy) 等方法得以测量。例如,所述层 102 的厚度或所述层 102 的原子浓度 (AC),以及所述层 102 中的不同核素的位置(即分布)可以通过这些方

法得以确定。然而,针对每一单个结构的每次计算,通常必须获得唯一的算法。开发算法通常十分耗时。

[0022] 所述结构 100 包括基片,其形成所述结构 100 的基础并且可由单晶硅形成。所述层 102 在基片 104 之上形成。在本示例中,所述层 102 可以为铪氧化物 ( $\text{HfO}_2$ ) 层。尽管此处使用了特定的元素核素的示例,但是应该理解为本发明的实施例可以使用任何的层材料。

[0023] 使用 XPS 或者类似方法,人们可以确定所述层 102 的厚度。为了确定层 102 的厚度,使用来自于 x 射线源 108 的 x 射线波长光子 106 对结构 100 进行轰击,以利用光电效应而激发特征光电子的发射。例如,所述 x 射线源 108 可以包括,将电子定向阳极的电子枪以产生 x 射线光子,以及将所述 x 射线光子聚焦在所述结构 200 上的透镜。当具有特定波长的光子被分子中或固体中的原子吸收时,具有对于该核素特定的特征能量的核(内层)电子被发射出。所述被发射的光电子的动能可以被用来确定产生所述被发射的光电子的层的厚度、分布、量(dose)、以及其它特征。

[0024] 例如,所述层 102 的厚度可以通过计算由层 102 和基片 104 两者分别发射出的光电子测量信号强度的比值来确定。铪原子在被 x 射线波长光子轰击时,发射出包含来自其 4f 轨道的光电子的特征光电子信号 110。包含信号 110 的光电子具有特征能量,该特征能量由电子能量分析仪 112 进行测量和计数。基片 102 还发射出特征信号 114,其包含由硅的 2p 轨道发射并受到 Si-Si 键影响的光电子(所述“SiO”光电子)。所述信号 114 也可以通过分析仪 112 进行测量。

[0025] 所述分析仪 112 将测量结果返回给处理系统 116。所述处理系统 116 可以是个人计算机(PC),例如具有英特尔(Intel)® 处理器的个人计算机,所述系统并且可以与所述分析仪 112 通过通用串行总线(USB)接口进行连接。所述测量结果通过处理系统 116 进行处理并且返回给用户。

[0026] 图 1B 显示通过 XPS 能谱产生的测量结果的能谱。所述能谱 120 沿 y 轴 122 方向表示每秒测量的大量计数,沿 x 轴 124 方向表示被测光电子的动能(KE)。所述能谱 120 显示了两个波峰,126 和 128,其分别对应于被测信号 112 和 110。在波峰 126 和 128 中所示的计数的数目被用于确定信号 110 和 112 的强度。如下文所说明,用户输入配置数据,是以指定用于计算层的厚度和其他结果的参数。所述参数可以指定一个较高的 KE 和一个较低的 KE 以对特定的光电子核素进行计数。例如,波峰 126 可以具有下限 130 和上限 132。分布在该上下限间的计数的数目确定了所述 SiO 光电子核素的强度(即计数越多强度越高),然后该强度被用于确定层 102 的厚度。可以根据用户确定的配置数据,使用标准方法对波峰 126 和 128 进行处理(如定形或拟和)或者去除背景噪声。所述配置数据被用于产生用以测量所述结构 100 的特征的唯一算法。

[0027] 算法可以根据用户指定的参数得以开发。例如,用户可以指定用于产生所述算法的特定函数。用于确定层厚的算法可以包括,例如,包括了所述层的结构中的两个被发射出的光电子核素的预测强度函数的比值。所述参数针对每个光电子核素指定采用何种函数。例如,第一光电子核素可以由顶层发射出,这就需要不同于由该顶层以下的层所发射出的第二光电子核素的强度函数。用户可以指定采用该特定函数。此外,波峰 126 和 128 可以被再次定形或在其上进行背景去除以精确地表示所述单个光电子信号的强度。用户也可指定上述上下限 130 和 132。

[0028] 层（如层 102）的特征光电子的强度可以通过使用关于层的厚度和信号在薄膜中的衰减的公式来得以预测。等式 (1) 可以被用于确定未受到衰减的信号（即由结构的顶层发射出的信号）的强度：

[0029]

$$I(X_i) = I_{\text{inf } X_i} \cdot \left[ 1 - e^{\left( \frac{-t_x}{\lambda_{X_i(X)}} \right)} \right] \quad (1)$$

[0030] 其中  $X_i$  为待测量的光电子核素， $I(X_i)$  是该光电子信号的强度， $I_{\text{inf } X_i}$  是由厚（如厚度大于 10 纳米 (nm)）层所发射的光电子信号的强度， $t_x$  是发射出所述信号的层的厚度，并且  $\lambda_{X_i(X)}$  是基片 X 中的所述光电子核素的电子衰减长度 (EAL)。EAL 等于当光电子的原始强度降到  $1/e$  时测量的距离值。可以使用例如美国国家标准与技术研究所 (NIST) 的 EAL 程序来确定 EAL。例如，由层 102 发射的信号 110 的强度可以使用等式 (1) 得以预测。

[0031] 基片 104 发射的信号 114 的强度受到层 102 的衰减，并且因此可以使用等式 (2) 得以预测：

[0032]

$$I(X) = I_{\text{inf } X} \cdot \left[ 1 - e^{\left( \frac{-t_x}{\lambda_{X(X)}} \right)} \right] \cdot e^{\frac{-t_y}{\lambda_{X(Y)}}} \quad (2)$$

[0033] 其中  $I(X)$  是光电子信号的强度，该信号包含光电子核素 X，并被厚度为  $t_y$  的覆盖层 Y 所衰减， $\lambda_{X(Y)}$  是层 Y 中的元素核素 X 所发射出的光电子的 EAL，且  $\lambda_{X(X)}$  是层 X 中的元素核素 X 所发射出的光电子的 EAL。

[0034] 为确定层 102 的厚度，信号 110 和 114 的强度的比值被确定。因为分析仪 112 所测量的特定强度随着每次测量而变化并且取决于使用的 x 射线的波长和其他因素，因此使用比值。信号 110 和 114 的强度的比值可以通过例如等式 (3) 得以确定：

[0035]

$$\frac{I(\text{Si}0)}{I(\text{Hf}4f)} = \frac{I_{\text{infSi}} \cdot e^{\frac{-t_{\text{Hf}}}{\lambda_{\text{Si}(\text{HfO}_2)}}}}{I_{\text{infHf}} \cdot (1 - e^{\frac{-t_{\text{Hf}}}{\lambda_{\text{Hf}(\text{HfO}_2)}}})} \quad (3)$$

[0036] 等式 (3) 可以使用程序，例如 Matlab<sup>®</sup>，而进行迭代求解以确定厚度  $t_{\text{Hf}}$ 。I(Hf4f) 是由钪的 4f 层发射的光电子的测量强度（即信号 110 和波峰 128），而 I(Si0) 是由基片 102 发射的光电子的测量强度。I<sub>(infHf)</sub> 和 I<sub>(infSi)</sub> 是分别由厚（即厚度大于 10 埃）的钪氧化物层和硅层所发射的光电子的测量强度。 $\lambda_{\text{Si}(\text{HfO}_2)}$  和  $\lambda_{\text{Hf}(\text{HfO}_2)}$  是由基片 104 和层 102 发射的硅和钪光电子的电子衰减长度测量值 (EALs)。硅信号 114 的强度受到层 104 的衰减。等式 (1) 和 (2) 是厚度函数的示例，所述函数可以在由用户创设的配置数据中得以指定。等式 (3) 是通过如下所述的过程产生的算法。

[0037] 当确定用于确定结构 100 的各层厚度的最终算法时，可以考虑其它的因素。例如，可以对上述的强度函数进行调整以适应各种不同情况。此外，在确定特殊光电子的计数数



目时,可以使用所采集能量的不同范围。其他结果也可以被确定(如原子浓度(AC)、分布(即元素核素在层中的位置))。

[0038] 用户可以将上述的各个参数,连同由仪器产生的原始数据一起,输入到调用模型中以获得期望结果,该结果并返回给用户。所述调用模型可以将所述原始数据和配置数据传输给引擎以产生结果,并且所述调用模型还可以将该结果返回给用户。根据一个实施例,用于确定结果的引擎是一组在Matlab®中得以执行的可配置函数。然而,可以理解所述引擎可以是任何可处理算法的引擎,例如C++、FORTRAN 77等解释程序(interpreter)。

[0039] 图2是调用模型和系统的其他元件之间相互作用的图表,所述系统用于产生从仪器采集的数据而得的结果。系统200采集来自仪器204(如分析仪112)原始数据202以及来自用户终端208的配置数据206。用户终端208可以包括输入和输出设备,以使用户可以输入配置数据206并接收计算结果210。所述原始数据202可以是大量具有特定能量的光电子的计数(如图1B所示),或者是由仪器204产生的其他类型的数据。上述配置数据206将根据图5A-5G得到更详细的描述,其包括用户输入的参数,用以产生一种或多种特定算法以测量用户期望的特征。可以理解尽管这里给出了开发算法和计算结果的特定示例,但是本发明的实施例可以使用任意的要求使用特定算法来进行处理的测量数据,所述特定算法可以通过使用分量算法或函数进行开发。

[0040] 数据获取模块212可以包括图像用户接口(GUI),用以采集包含所述配置数据206的参数(如下所示),数据获取模块212还可以包括需要从仪器304采集数据的通讯接口。所述原始数据202和配置数据206被打包到调用模型214中(下图4中显示了所述调用模型214的细节)。所述调用模型214包括存储原始数据202和配置数据206的模型结构。

[0041] 随后,所述调用模型214将原始数据202和配置数据206传送给算法引擎216。所述算法引擎216使用该配置数据以集成特定算法,用以测量待测结构或样品的期望特征。然后,所述算法引擎216产生结果210,该结果被返回到调用模型214,并被传送回用户终端208以供用户查看。

[0042] 所述算法引擎216使用所述配置数据206用于以公式表示算法,所述算法用以确定用户期望计算的特定特征。例如,所述配置数据可以包括用以改变波峰126和128的拟和或定形以及用以确定波峰126和128的边界的设置,和用于调用以产生所述算法的函数的,以及其它设置。通过使用上述等式(3)的示例,例如,所述配置数据206可以指定待测光电子核素是由钪氧化物的4f轨道发射出的光电子和由硅的2p轨道发射出的光电子。所述强度函数也可以被指定,应注意的是由硅基片104产生的信号114受到层102的衰减。所述算法引擎将确定等式(1)用作信号110的预测强度函数,等式(2)则用作信号114的预测强度函数(由于信号114由基片104发射且受到层102的衰减)。所测量的强度数据可以根据波峰126和128的拟和或背景去除而进行修正。可以使用调用模型214形成算法,即等式(3)。图3B描述了构建算法的示例。

[0043] 图3A是描述使用调用模型以集成算法并将其返回给用户的过程的流程图。从调用模型214的角度来对过程300进行描述。在块302中,通过所述数据获取模块212所述接收原始数据202和配置数据206。在块304中,所述原始数据和配置数据206被打包到所述调用模型214中。所述调用模型214包括一个模型结构,所述模型结构将在下文中根据图4得以描述。

[0044] 在块 306 中,所述调用模型 214 将所述原始数据 202 和配置数据 206 传送给算法引擎 216。随后,所述算法引擎 216 基于调用模型 212 的内容来计算期望结果。在块 308 中,所述调用模型 212 接收来自所述算法引擎 216 的计算结果 210。然后在块 310 中,所述结果 210 被传送至所述数据获取模块 212。然后用户可以使用所述用户终端 208 查看所述结果 210。

[0045] 图 3B 是描述根据本发明的一个实施例产生算法的过程的流程图。过程 350 是用于确定算法的过程的示例,该算法用于确定层的厚度,并且过程 350 可用于上述块 308 中。所述过程 350 可以发生在算法引擎 216 中。可以理解的是,可用类似的方式来构建其它的算法。

[0046] 在块 352 中,待测的光电子核素被确定。例如,根据所述参数,用户可选择测量层的 Hf4f 核素和 O 核素。在块 354 中,用于对每个光电子核素的强度曲线进行定形的方法得以确定。该方法通过配置数据的参数得以指定。例如,所述强度方法可以是“波峰面积”法,其可以使用简单积分来计算在一个区域中的波峰的面积。对于波峰 126 或 128,可以选择不同的强度方法。例如,针对波峰 126 可以选择“波峰面积”法,而针对波峰 128 可以选择“波峰拟和”法。

[0047] 在块 356 中,用于每个核素的厚度函数得以确定。所选的厚度函数可类似于上述等式 (1) 或 (2) 中的一个。用户根据待测结构的配置而选择函数。在块 358 中,修正因数得以确定。用户可以选择一个或多个修正因数以针对设备变化等对测量数据进行必要的调节。在块 360 中,对每个光电子核素设置边界。例如,可以对每个光电子核素设置能量上限和能量下限,从而针对特定核素确定哪些计数应包括在测量强度中。

[0048] 在块 362 中,基于所述上文中选定的修正因数、强度函数以及边界对原始数据进行调整。一旦经修正的原始数据被确定,则每个光电子核素的被测强度成为已知。在块 364 中,产生与等式 (3) 的比值类似的比值。在块 356 中基于所述厚度函数的比值得以确定。在块 366 中,将比值进行迭代以确定层的厚度。所述层的厚度即存在于结果中并在计算时被传回给用户。

[0049] 图 4 是根据本发明的一个实施例的调用模型 212 的模型结构 400 的示意图。所述调用模型 212 包括模型结构 400,以及在仪器接口层 212 和算法引擎 216 之间的接口。所述原始数据 202 和配置 206 被包含于模型结构 400 中。

[0050] 模型结构 400 为一种分级环境 (hierarchical environment),该分级环境包括针对可由用户设置的不同参数 (即所述配置函数 206)、由仪器 204 产生的原始 (测量) 数据 202、以及由算法引擎 216 产生的结果 210 的若干区域。所述模型结构 400 为实施本发明不同实施例的一种方式,然而,应该理解为其它方法和 / 或构造也可用于该处。可以进一步理解为下述的模型结构 400 为一示例,且可以基于其应用对其进行修改。

[0051] 所述模型结构 400 包括顶部列表 402,该顶部列表 402 存储有所述模型结构 400 的其他不同列表。所述顶部列表 402 包括层列表 404、区域列表 406、以及自定义计算列表 408。所述顶部列表 402 还可以包括用于传送版本数据 (AlgoVersion) 的区域,以及算法引擎 216 用于返回警告消息 (WarningMsg) 和误差消息 (ErrorMsg) 的区域。所述层列表 404 包括另一列表,核素列表 410,所述核素列表依次包括结果列表 412。所述自定义计算列表 408 包括一个参数列表 414。

[0052] 所述层列表 404 包括用于每一单个层的大量参数。例如,所述层列表 404 可以包括如图 1A 所示的层 102。此外,在多层结构中,其它的层可以被纳入到层列表 404 中。对于所述层列表 404 中的每个层,参数(即配置数据)和原始数据得以提供。例如,针对每一层,给出该层中的不同核素列表(如核素列表 410)。在所述层列表 404 中还包含(针对每一层)所使用的厚度函数(ThicknessFnName)、该厚度函数所需的参数(ThicknessParams)、厚度结果(Thickness)以及厚度误差(ThicknessError,由所述算法引擎 216 提供)。所述层列表 404 还可以进一步包括针对原子浓度(AC)函数和参数(ConcentrationFn 和 ConcentrationParams)的区域。所述厚度函数和浓度函数为预定的算法,其可以被用于集成用于整个结构的厚度或者浓度函数。例如,用于测量单层厚度、位于两层结构中的一层厚度、以及 SiON(与氧和氮键连的硅)层的厚度的多个预定厚度函数对于算法引擎 216 而言可以是已知的。这些已知的算法与其它参数相结合以得到用于被测结构的一个总算法。所述算法引擎 216 使用所述总算法来计算期望的厚度。

[0053] 所述核素列表 410 包括由特定层发射的每个被测量的光电子核素的数据。例如,对于氧化铝层,可以观测到两个光电子核素(2s 和 2p 核素)。对于每个光电子核素,提供了:核素名称(Name)、能谱数据区域(Region)(参见图 1B),其用以观测光电子核素、用以描述光电子核素强度的强度函数(IntensityFuncName)、用于所述强度函数的参数(Parameters)、EALs、原子灵敏度因数(ASF)、以及用于所述核素的体积材料强度(k)。这些参数与上述的厚度和浓度函数一并使用,以获得所期望的结果。例如,如上文关于等式(3)所说明,可以基于包含所述核素的层在结构中的相对位置来选择不同的强度函数。

[0054] 所述结果列表 412 包括针对核素列表 410 中所包含的每一核素的计算结果。对于每一核素,计算所得的强度(Intensity)和强度误差(IntensityError),以及计算所得的 AC(Concentration)和 AC 误差(ConcentrationError)被返回。所述结果列表 412 也包括光电子的峰值能量(PeakEnergy,即对于特定核素,绝大部分光电子在此能量上进行计数)、强度计算的拟和优度(GOF)、所述强度函数所使用的对于所述核素的上限和下限(UpperAnal 和 LowerAnal,如边界 130 和 132)、以及由所述算法引擎 216 使用的拟和(Fit)和背景去除计算(BG)。

[0055] 所述区域列表 406 包括图 1B 中所示的能谱中的区域的列表。当对某层或某核素计算结果时,在所使用的列表 406 中对所述区域进行定义。所述区域列表 406 包括每一区域的名称(Name)、用于能谱的能量测量值(Energy)、用于能谱的计数值(Spectrum,即所述原始数据 202)、数据点的数量(NoDataPoints,即计数的总数)、获取能的上限和下限(UpperAcq 和 LowerAcq,即所测得的最高和最低能量)、上下限所包围空间之间的增量(AcqInc,即对于每一计数,其所覆盖的能量值范围)、能谱的获取时间(AcqTimeSec)、以及能谱区域的通过能量(PassEnergy)。

[0056] 所述自定义计算列表 408 用于定义一种计算,所述计算并非在模型结构 400 中得以定义。例如,用户可以使用自定义计算来计算分布(即核素在层中的位置)。所述自定义计算列表 408 包括一个受调用以评估所述自定义计算的函数名(FuncName,其为算法引擎使用的内部函数)、一个用于所述自定义计算的名称(Name)、运行所述自定义计算的结果和结果误差(Result 和 ResultError)。用于所述自定义计算的参数包括参数列表 414。对于每一参数,所述参数列表包括参数名(Name)和参数值(Value)。

[0057] 图 5A-5G 显示用于输入所述配置数据 206 的接口。所述仪器接口层可以使用 GUI 来使得用户指定被输入到所述模型结构 400 中的参数。尽管此处描述了 GUI,但是可以理解的是,也可以被使用其它的输入方法,例如命令行接口 (CLI)。在此使用的特定示例显示了选定的参数,该参数用来计算硅基片上的二氧化硅层上的钪氧化物层的厚度和 AC。图 5A 显示了使用 XPS 或者类似方法进行测量的结构 500。所述结构 500 包括基片 502、二氧化硅层 504、以及钪氧化物层 506。图 5B-5G 显示了用于输入参数的接口,所述参数用于产生算法以确定所述结构 500 的性质。

[0058] 图 5B 显示了被用于指定所述强度方法及所用其他函数的窗口 508。所述窗口 510 和 512 显示了钪氧化物层 506 的特定核素,其可以通过使用仪器 204 进行测量。正如所示,所述钪氧化物层 506 可以发射出一个 Hf4f 光电子以及一个来自于氧原子的 1s 电子。使用列表 514 和 516 来对用于对每一光电子核素波峰进行定形的强度方法进行指定。根据另一实施例,也可通过使用窗口 508 来选择特定的光电子核素。例如,如此处所示,采用 PeakArea 函数对 Hf4f 和 O 核素的波峰进行定形。也可采用其它函数。所述二氧化硅层的光电子核素 (Si-0 核素) 可在窗口 518 中得以指定。窗口 520 用于为 Si-0 核素来选择一种强度方法。未选择强度方法时,则可使用缺省强度方法 (如所述 PeakArea 函数)。

[0059] 图 5C 显示了用于为来自所述钪氧化物层 506 的 Hf4f 核素指定强度参数的窗口 522。菜单 524 为所述强度函数指定极限模式。窗口 526 用于选择背景消除,所述背景消除用于由 Hf4f 核素产生的波峰。所述背景消除用于消除能谱的背景噪声。窗口 528 和 530 用于为所述光电子核素指定 UpperAnal 和 LowerAnal 极限。所述 UpperAnal 和 LowerAnal 极限对图 1B 中的上限 128 和下限 130 进行指定。窗口 532 和 534 用于指定 WindowHigh 和 WindowLow 参数。所述 WindowHigh 和 WindowLow 参数对诸如边界 130 和边界 132 的边界进行设置,但是从波峰中间 (如所述波峰 126 或波峰 128) 对其进行测量。其他与窗口 522 类似的窗口可用于为来自层 504 和 506 其他核素指定类似参数。

[0060] 图 5D 显示用于输入用于钪氧化物层 506 的 AC 参数的窗口 536。用户可以检查检验栏 538 以使用所述厚度校正。根据一个实施例,算法引擎 216 在计算 AC 时,假定一层具有无限大的厚度。同样地,用户可以检查检验栏 540 以使用所述 Brunosity 校正。由于当二氧化硅层处于层间时,通常会计数得到过多的氧光电子,所述 Brunosity 校正针对这一现象进行校正。所述 Brunosity 核素 (施以 Brunosity 校正的光电子核素) 在所述窗口 542 中得以指定。

[0061] 图 5E 显示用于输入 EALs 和其它参数的窗口 511。窗口 544 包括两个窗口 546 和 548,其用于输入钪的 EAL 层的名称和 EAL 值。窗口 544 还包括窗口 550,其用于输入钪的 ASF 值,以及窗口 552,其用于输入钪的体积材料强度 (“k”)。

[0062] 图 5F 显示了窗口 554,其用于输入强度函数 SiONType1\_Si2pIntensity 的参数。所述函数 SiONType1\_Si2pIntensity 是预设算法中的一种,用于确定由基片 502 发射出的信号的强度函数。菜单 556 用于选择所述层的核素类型。根据一个实施例,元素核素可以是一种氧化物或者一种金属。所述窗口 558 用于指示在基片 502 中可能发现的其它核素。所述窗口 560 和 562 用于指定基片 502 的 UpperAnal 和 LowerAnal 参数。如上文所述,所述 UpperAnal 和 LowerAnal 参数对应于图 1B 所示的边界 128 和 130。

[0063] 图 5G 显示了窗口 564,其用于指定 X\_Sio\_Si\_Thickness 函数的参数。所述 X\_Sio\_

Si\_Thickness 函数为先前存在的函数中的一种,可用于确定所述结构 500 中的某些层的厚度。在窗口 566 中,用户可以输入结构 500 的顶层中发现的光电子核素,用以测量结构 500 的顶层的厚度。此处所述顶层为氧化铪物层 506。由氧化铪物层 506 发射的光电子核素为 Hf4f。所述顶层的厚度可能需用于计算所述顶层以下的层的厚度。在窗口 568 中,用户输入对应于基片中硅金属的光电子核素的名称。在窗口 570 中,用户输入对应于顶层中氧化硅的光电子核素的名称。在窗口 572 中,用户输入电浆子 (plasmon) 修正,在窗口 574 中,用户输入在结构 500 的顶层中可被测得的最大厚度。由于在硅中所述硅金属光电子信号能量损失给了电浆子,因此所述电浆子修正针对此情况进行修正。

[0064] 其它参数可以被添加至所述 GUI,且一些被显示的参数可被排除在外。此外,这些被显示的参数针对未显示的光电子或元素核素也可以进行调整。例如,图 5E 显示用于调整铪的 EAL 值的窗口 544。其它的窗口可用于调整氧或者硅的 EAL 值。

[0065] 图 5H 是描述过程 580 的流程图,该过程用于确定结构 500 的顶层厚度。在所述过程 450 中,首先确定二氧化硅层 504 的厚度,然后确定由顶层 502 发射的光电子和由基片 506 发射并被二氧化硅层 504 和顶层 502 衰减的光电子之间的比值。

[0066] 可通过测量下述光电子核素以确定层 502 和 504 的厚度。可以理解的是,也可采用其它的光电子核素。例如,顶层 502 可以包括铪氧化物。此处被测的光电子信号 575 为 (例如) Hf4f 核素的光电子信号。从二氧化硅层 404 测量的光电子信号 576 (“Si4+”核素) 来自硅原子的 2p 轨道并且受到二氧化硅层 504 中硅-氧键的影响。由基片 506 发射的光电子信号 577 (“Si0”核素) 是从硅原子的 2p 轨道发射出的,且该光电子信号 577 受到基片 506 中硅-硅键的影响。

[0067] 在块 582 中,使用与上述图 1A 中所描述的过程和设备类似的过程和设备来确定 Hf4f 信号 575、Si4+ 信号 576 以及 Si0 信号 578 的测量强度。

[0068] 在下列等式中,  $t_{\text{HfO}_2}$  为层 502 的厚度,  $t_{\text{SiO}_2}$  为二氧化硅层 504 的厚度,  $\lambda_{\text{Hf4f(HfO}_2)}$  为 Hf4f 光电子核素的 EAL,  $\lambda_{\text{Si2p(HfO}_2)}$  为 Si4+ 光电子核素在  $\text{HfO}_2$  中的 EAL,  $\lambda_{\text{Si2p(SiO}_2)}$  为 Si4+ 光电子核素在  $\text{SiO}_2$  中的 EAL。从厚层 (如厚度大于 10nm) 发射出的光电子强度为  $I_{\text{infHf4f}}$  和  $I_{\text{infSi4+}}$  (分别对应于 Hf4f 和 Si2p 光电子核素)。Hf4f 光电子核素的信号 575 的测量强度为  $I(\text{Hf4f})$  并且 Si2p 核素的信号 576 的测量强度为  $I(\text{Si2p})$ 。

[0069] 在块 584 中,二氧化硅层 504 的厚度得以确定。该二氧化硅层的厚度通过以下等式 (4) 得以确定:

$$[0070] \quad t_{\text{SiO}_2} = \sin(\alpha) \ln[I(\text{Si0})/I(\text{Si4+}) * k + 1] \quad (4)$$

[0071] 其中  $\alpha$  = 分析仪 212 相对于结构 500 的表面的角度,并且  $k$  为体积材料强度 (取决于所用材料的一个常数)。等式 (4) 为确定结构中的二氧化硅层的厚度的已知等式。

[0072] 在块 585 中,由基片 506 发射的 Si0 信号 577 的预测强度函数得以确定。由于由基片 506 发射的信号 577 受到层 504 和 502 的衰减,所述预测强度函数 (如等式 (5) 中所示) 为等式 (2) 的形式:

[0073]

$$I(\text{Si0}) = I_{\text{infSi}} \cdot e^{\frac{-t_{\text{HfO}_2}}{\lambda_{\text{Si(HfO}_2)}}} \cdot e^{\frac{-t_{\text{SiO}_2}}{\lambda_{\text{Si(SiO}_2)}}} \quad (5)$$

[0074] 由于所述信号受到两个层的衰减,因此使用两个衰减因数 (一个用于铪氧化物层

502, 另一个用于二氧化硅层 504)。

[0075] 在块 588 中, 由层 502 发射的 Hf4f 光电子核素的信号 575 的预测强度函数得以确定。层 502 为结构 500 的顶层, 因而等式 (6) 采用等式 (1) 的形式:

[0076]

$$I(\text{Hf}4f) = I_{\text{inf Hf}} \cdot \left[ 1 - e^{\left( \frac{-t_{\text{HfO}_2}}{\lambda_{\text{Hf}4f(1)}} \right)} \right] \quad (6)$$

[0077] 在块 590 中, 产生等式 (5) 和 (6) 的比值, 如等式 (7) 中所示:

[0078]

$$\frac{I(\text{Si}0)}{I(\text{Hf}4f)} = \frac{I_{\text{infSi}} \cdot e^{\frac{-t_{\text{HfO}_2}}{\lambda_{\text{Si}(\text{HfO}_2)}}} \cdot e^{\frac{-t_{\text{SiO}_2}}{\lambda_{\text{Si}(\text{SiO}_2)}}}}{I_{\text{infHf}} \cdot (1 - e^{\frac{-t_{\text{HfO}_2}}{\lambda_{\text{Hf}(\text{HfO}_2)}}})} \quad (7)$$

[0079] 在块 592 中, 等式 (7) 被迭代以确定层 502 的厚度。

[0080] 图 6 显示用于实施本发明的某些实施例的处理系统 600。所述处理系统 600 可用于执行所述处理 300, 且可以代表上述的处理系统 116。所述处理系统 116 可以为个人计算机 (PC) 或者其它的类似计算系统。

[0081] 所述处理系统 600 包括总线 602, 所述总线 602 可以包含一个或者若干个不同的总线。例如, 所述总线 602 可以包括周边元件扩展接口 (PCI) 总线。中央处理单元 (CPU) 604、存储器 606、输入 / 输出 (I/O) 适配器 608、以及存储适配器 610 附于所述总线上。

[0082] 所述 CPU604 可以为任何可用的处理器, 例如 Intel® 或者 Motorola® 制造的处理器。所述存储器 606 可以包含一个或者多个存储器, 包括随机存取存储器 (RAM) 和只读存储器 (ROM)。所述输入 / 输出适配器 608 可以包括一系列适配器, 例如通用串行总线 (USB) 适配器, 该 USB 适配器包括 USB 端口 612。所述 USB 端口 612 可用于连接仪器 204。所述 I/O 适配器还可以包括视频适配器和键盘接口, 以使用户输入参数并且查看结果。所述存储适配器 610 控制驱动器 614。所述驱动器 614 可以为任意适当的存储类型, 例如磁介质硬盘驱动器或者光驱。用于执行本发明的某些实施例的指令可以被存储在所述系统 600 仅是处理系统的众多可能的配置中的一个示例。

[0083] 本发明根据特定实施例进行描述。但是对得益于本发明的人而言, 显而易见的是在不偏离本发明更广泛的精神和范围的情况下, 可以对所述实施例进行各种修改和变化。说明书和附图均视为说明目的而非限制。

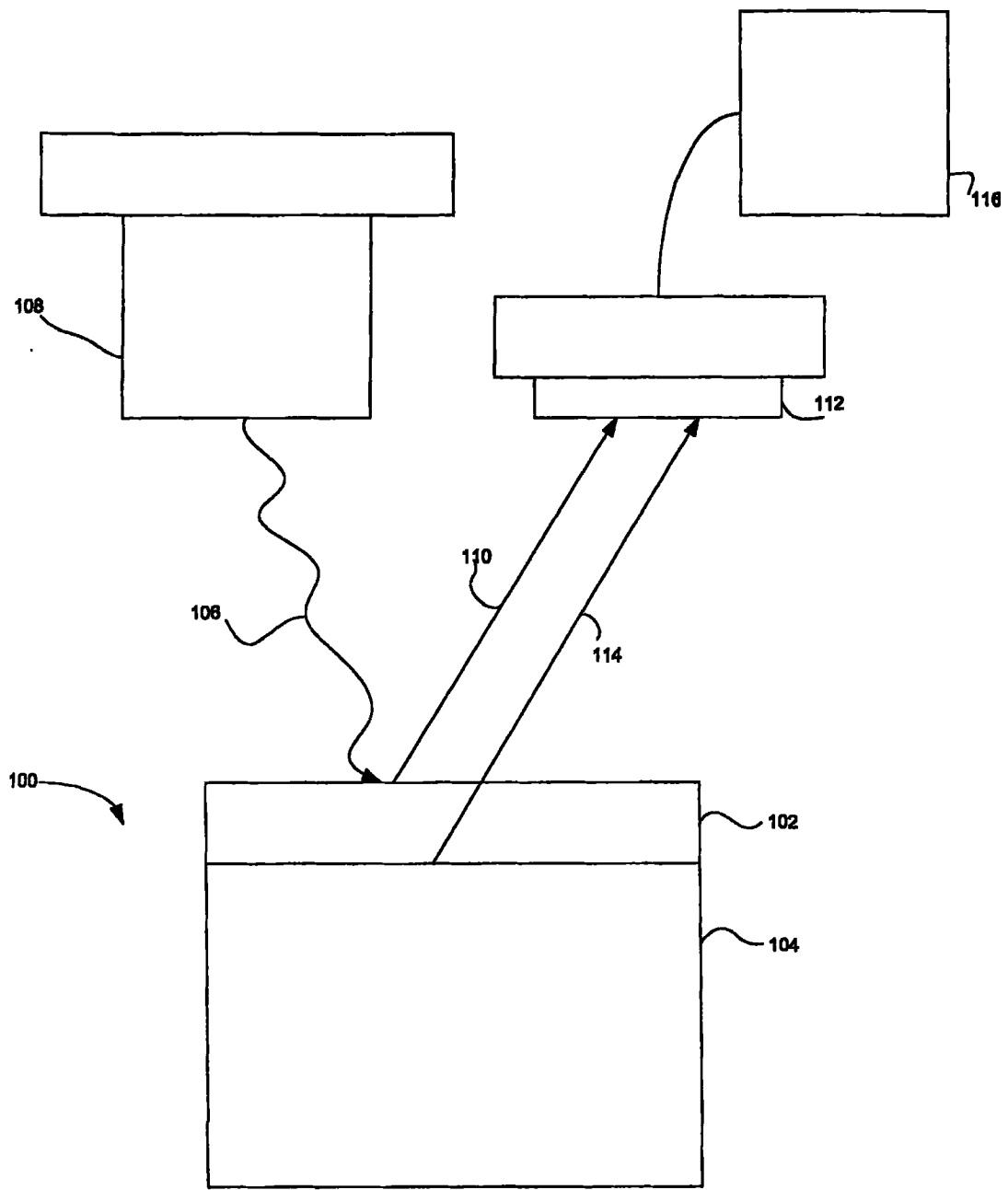


图 1A

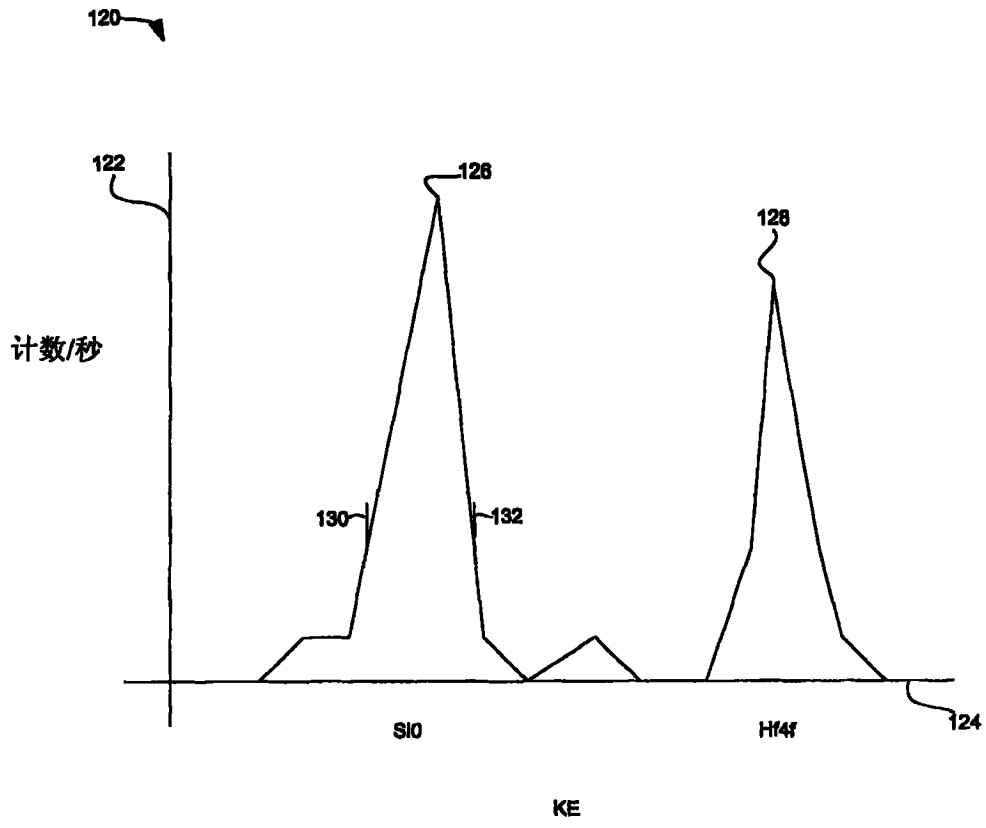


图 1B



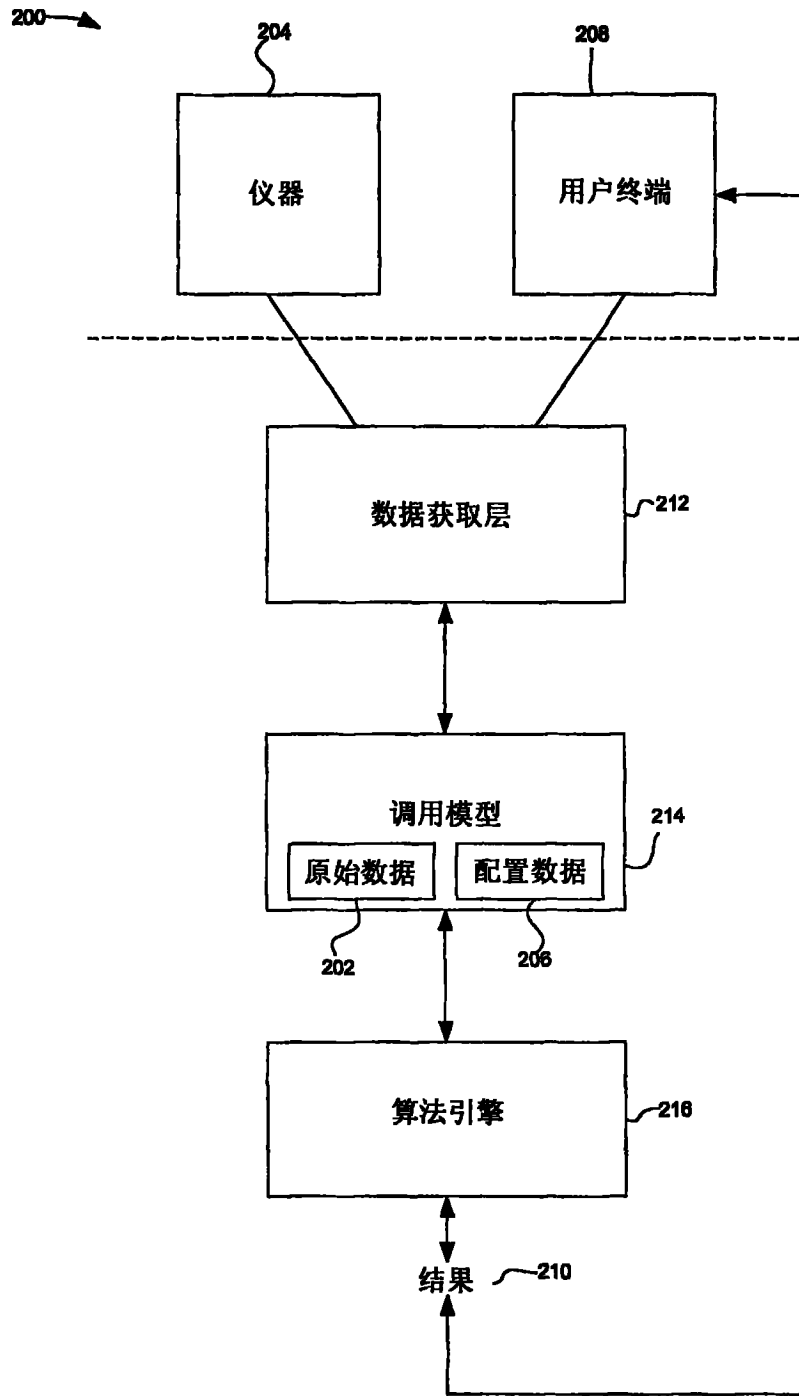


图 2

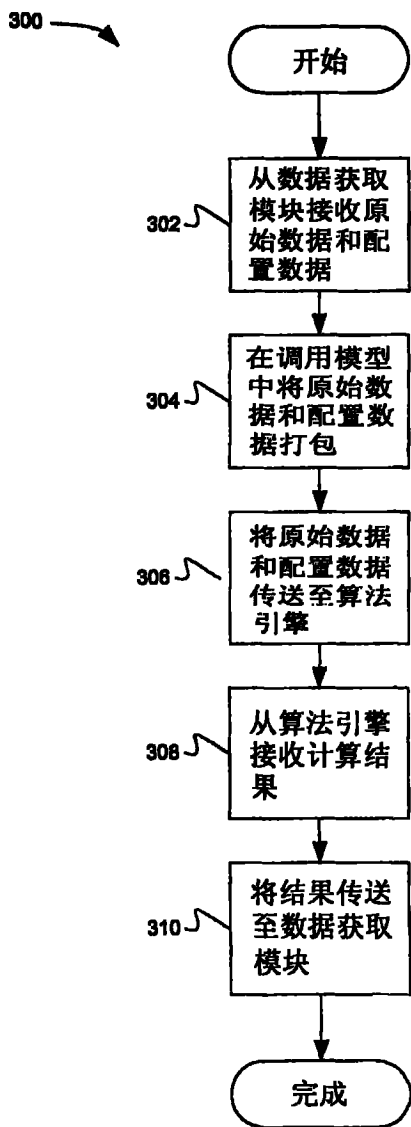


图 3A

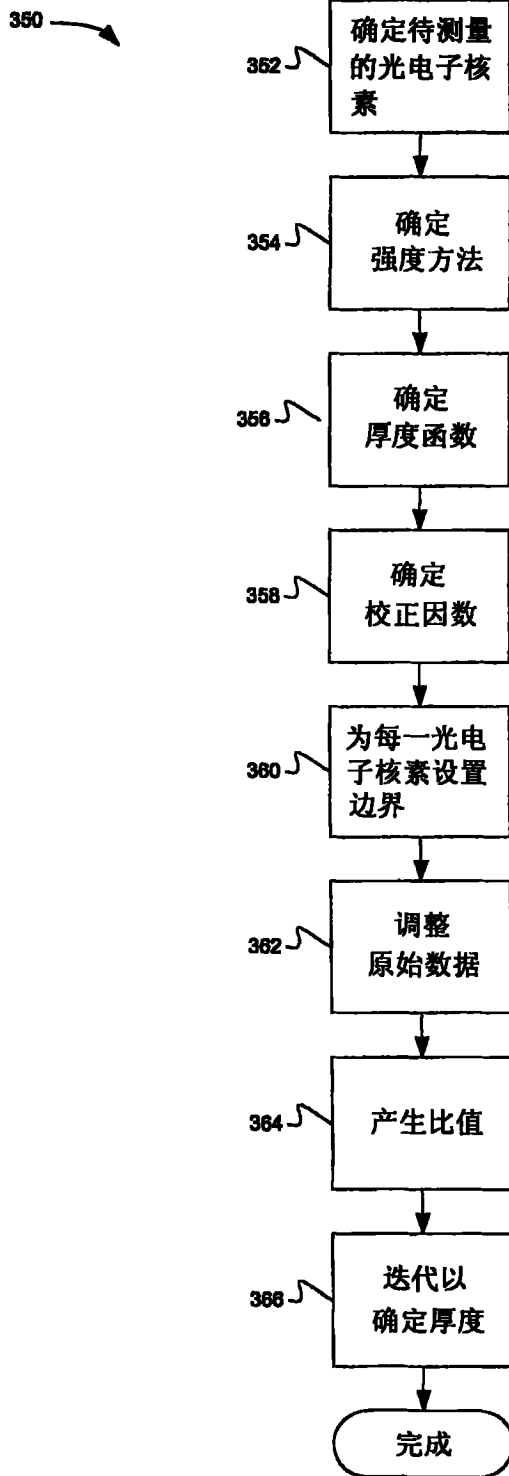


图 3B

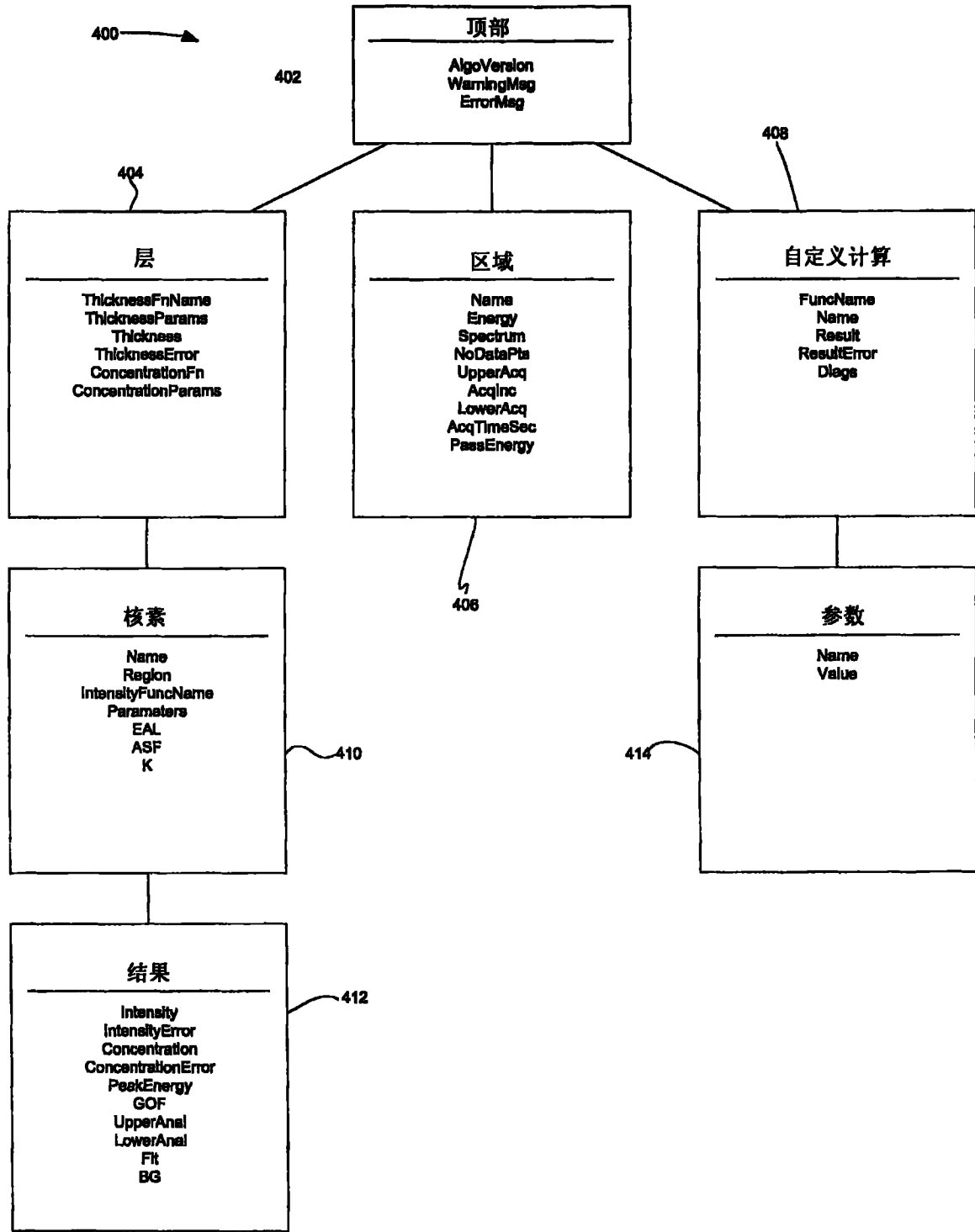


图 4

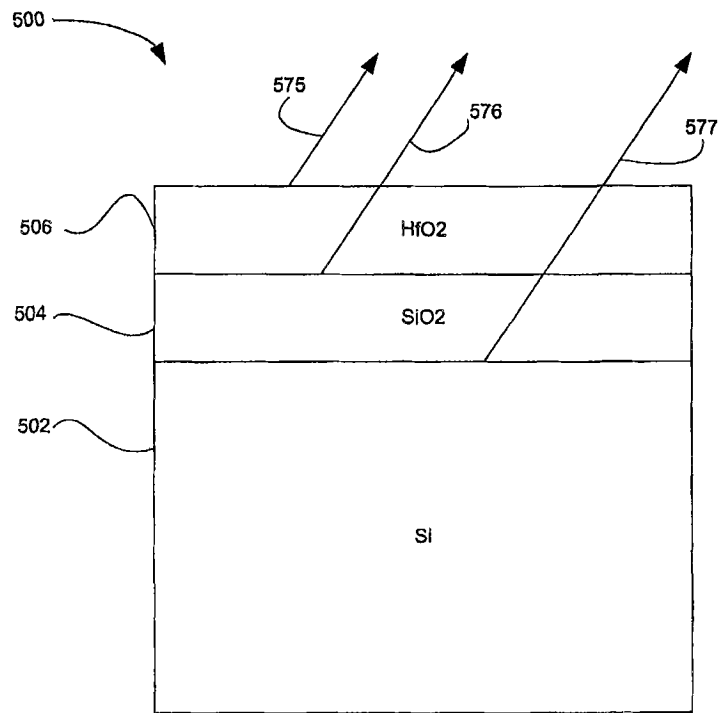


图 5A

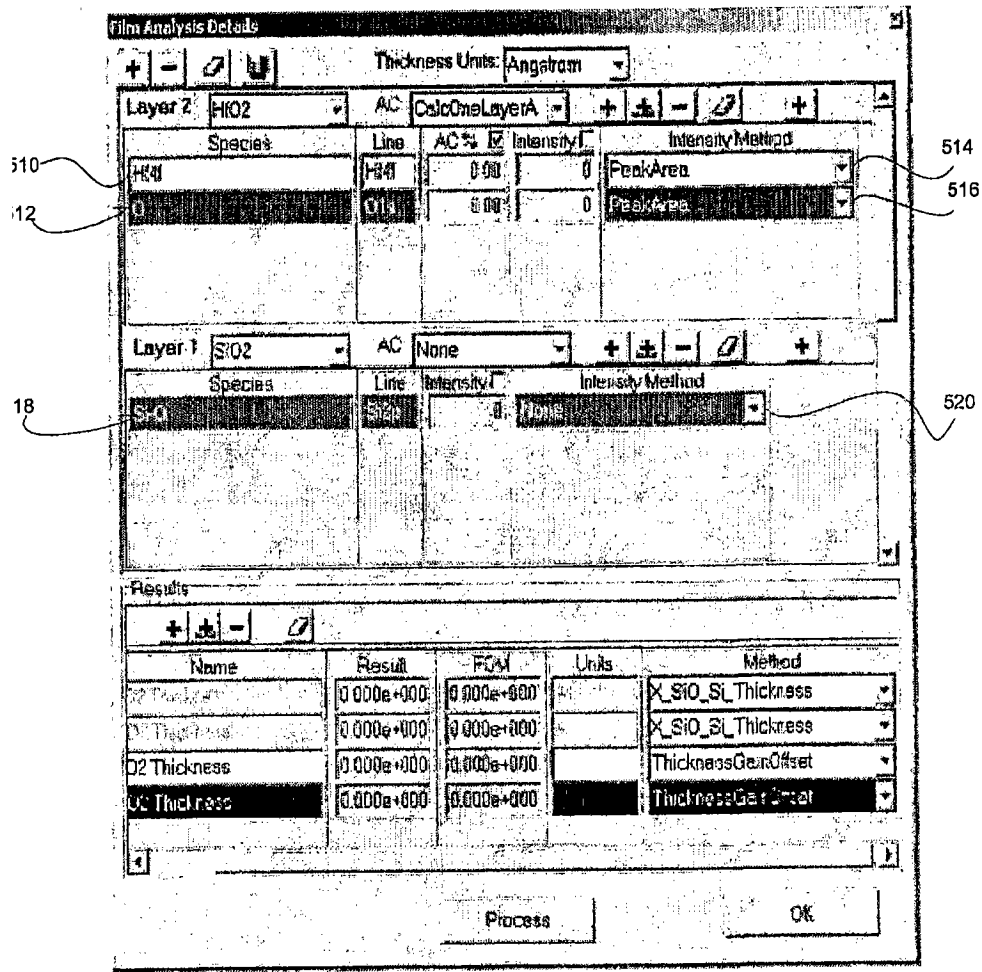


图 5B

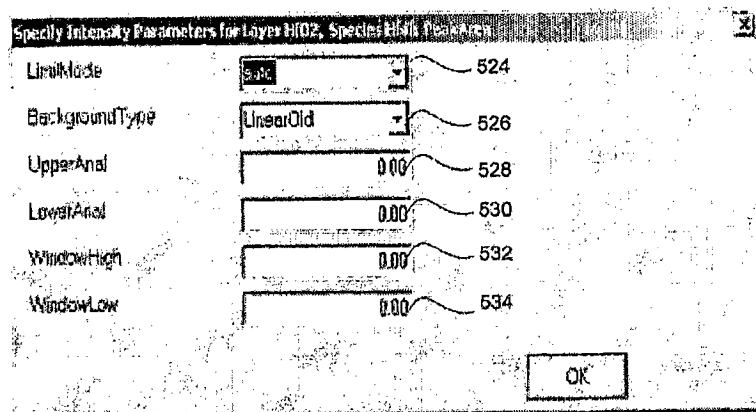
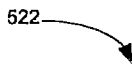


图 5C

536

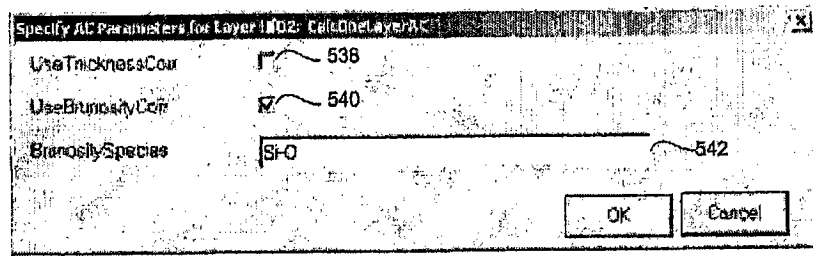


图 5D

544

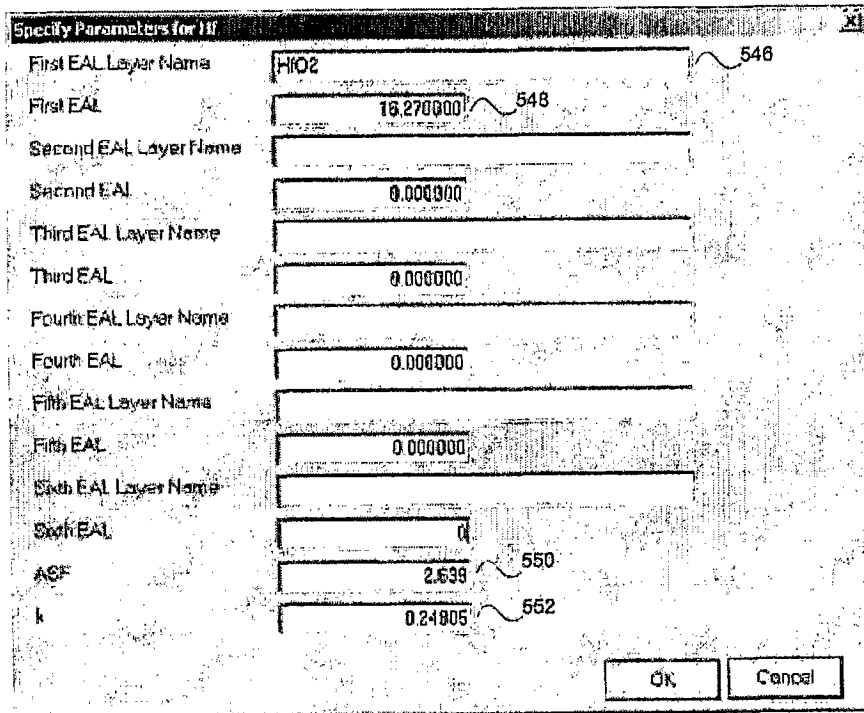


图 5E

554

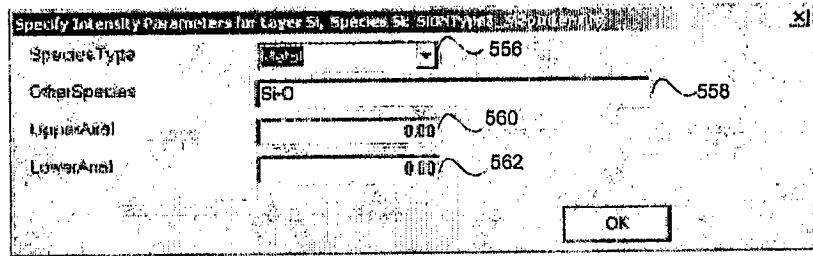


图 5F

564

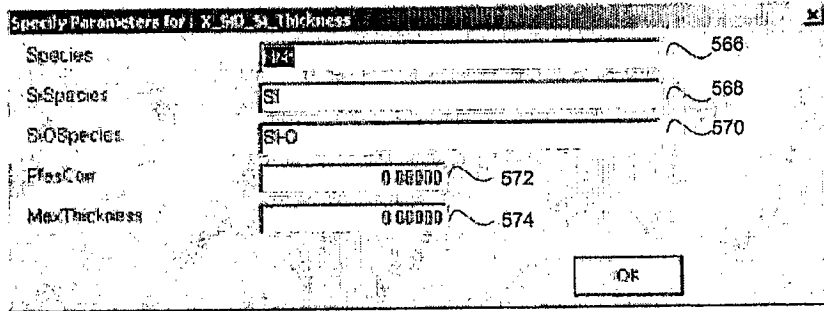


图 5G

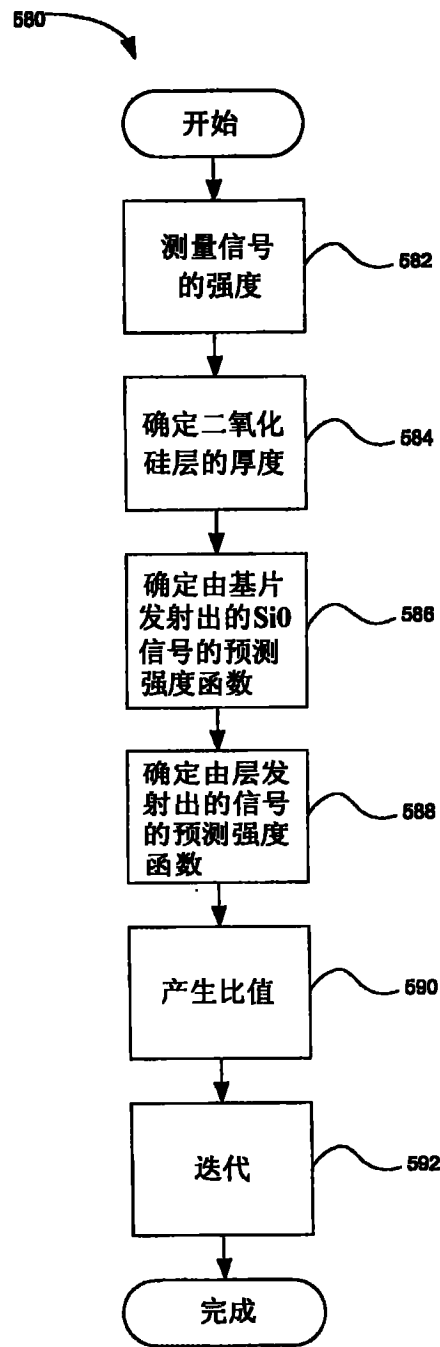


图 5H



600

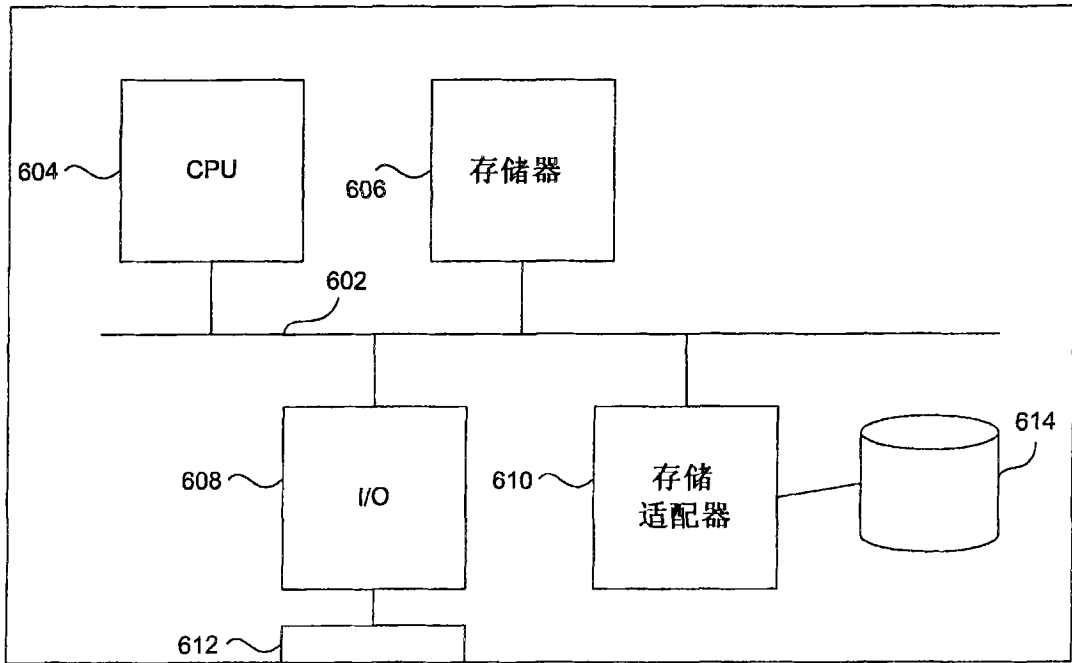


图 6