



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101231160 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 18

(21) 申请号 200810006045. 4

(22) 申请日 2003. 12. 23

(30) 优先权数据

10/330, 317 2002. 12. 27 US

10/330, 383 2002. 12. 27 US

(62) 分案原申请数据

200380110010. 0 2003. 12. 23

(73) 专利权人 瑞沃瑞公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 P·E·拉森 D·G·沃森

J·F·莫尔德

(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

(51) Int. Cl.

G01B 11/06(2006. 01)

G01B 15/02(2006. 01)

G01N 23/227(2006. 01)

(56) 对比文件

US 5280176 A, 1994. 01. 18, 全文.

US 6399944 B1, 2002. 06. 04, 全文.

US 6173037 B1, 2001. 01. 09, 全文.

审查员 雒晓明

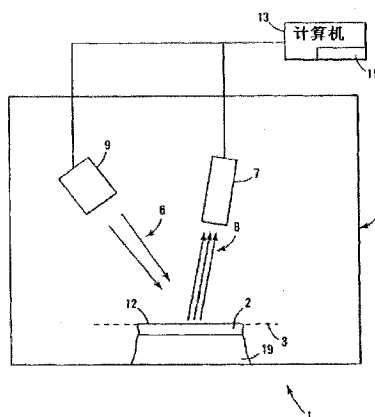
权利要求书 6 页 说明书 23 页 附图 17 页

(54) 发明名称

用于表征膜层的非破坏性的方法

(57) 摘要

本发明提供了一种用于表征膜层的非破坏性的方法,提供使用比较过程(例如,匹配过程)比较元素和/或化学物质的被测峰值形态(例如,先前所测量的在某一被监测的特定程序下硅的峰值形态)和采集的光谱数据(例如,使用非线性最小二乘拟合算法)用于膜层的表征。进一步地,本发明使用采集的光谱数据提供膜层(例如,氮氧化硅膜厚度的测定)的表征。例如,已获得的光谱可以是累积合成的并且该合成光谱的几何特征可用于确定成分的浓度信息。薄膜的厚度测量可以基于上述的成分浓度信息被提供。



1. 一种用于表征膜层的方法,该方法包括:

提供代表膜层的至少一种成分浓度的至少一个被测光谱峰形,其中该膜层通过一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上,并且其中所述提供至少一个被测光谱峰形包括:

提供代表膜层中至少一种成分浓度的被测光谱峰形;以及

提供代表基底的至少一部分中的至少一种成分浓度的至少另一个被测光谱峰形;

提供用于待表征的附加膜层的已获得的光谱,其中该附加膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上;

将所述至少一个被测光谱峰形与已获得的光谱进行比较;以及

基于所述比较为待表征膜层确定至少一个厚度测量。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述已获得的光谱包括代表附加膜层中至少一种成分浓度以及基底的至少一部分中的至少一种成分浓度的重叠峰面积,并且进一步,其中所述至少一个被测光谱峰形和光谱背景与已获得的光谱的比较包括使用从已获得的光谱中计算出来的光谱背景来从重叠峰面积中提取出单独的已获得的光谱峰面积,匹配已获得的光谱与代表膜层中至少一种成分浓度的被测光谱峰形和代表基底中至少一部分中至少一种成分浓度的至少另一个被测光谱峰形,其中一个单独的已获得的光谱峰面积代表附加膜层中至少一种成分的浓度并且另一个单独的已获得的光谱峰面积代表基底的至少一部分中至少一种成分的浓度。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,提供至少一个被测光谱峰形包括:

为膜层提供高分辨率光谱,其中所述高分辨率的光谱是其分辨率高于所获得的光谱的分辨率时获得的光谱;

从所述高分辨率的光谱中减去光谱背景;

分离至少一个窄的代表膜层中至少一种成分浓度的被测光谱峰形以及代表基底中至少一部分中至少一种成分浓度的至少另一个窄的被测光谱峰形,其中所述窄的被测光谱峰足够窄以在减去所述背景光谱时在所述被测光谱峰之间具有低的重叠;以及

将扩展函数应用到至少一个窄的被测光谱峰形和至少另一个窄的被测光谱峰形上,用于匹配已获得的光谱的分辨率。

4. 一种用于表征膜层的方法,该方法包括:

提供代表膜层的至少一种成分浓度的至少一个被测光谱峰形,其中该膜层通过一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上;

提供用于待表征的附加膜层的已获得的光谱,其中该附加膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上;

将所述至少一个被测光谱峰形与已获得的光谱进行比较;以及

基于所述比较为待表征膜层确定至少一个厚度测量,其中提供至少一个被测光谱峰形包括提供代表膜层中硅浓度的一个被测光谱峰形以及提供代表基底中至少一部分中的硅浓度的至少另一个被测光谱峰形,其中已获得的光谱包括代表附加膜层中和基底中至少一部分中的硅浓度的重叠峰面积,并且其中进一步对至少一个被测光谱峰形与已获得的光谱的比较包括使用从已获得的光谱中计算出来的光谱背景从重叠峰面积中提取单独的已获得的光谱峰面积,将已获得的光谱与代表膜层中硅浓度的被测光谱峰形和代表基底中至少一部分中硅浓度的至少另一个被测光谱峰形相匹配,其中一个单独的已获得的光谱峰面积

代表附加膜层中硅的浓度并且另一个单独的已获得的光谱峰面积代表基底中至少一部分中的硅浓度。

5. 根据权利要求 4 所述的方法,其中,为附加膜层确定的厚度测量包括基于所述比较确定由硅、氧和氮组成的膜层的厚度测量。

6. 根据权利要求 5 所述的方法,其中,所述方法进一步包括至少基于所述厚度测量以及代表附加膜层中氮的另外已获得的光谱确定附加膜层中氮的浓度。

7. 根据权利要求 6 所述的方法,其中,所述方法进一步包括基于所述氮的浓度,探测与特定过程相关的过程漂移。

8. 根据权利要求 6 所述的方法,其中,所述方法进一步包括确定在由硅、氧和氮组成的附加膜层上附加膜层的厚度一致性程度或确定在附加膜层上氮的浓度一致性的程度。

9. 一种用于表征膜层的方法,该方法包括:

提供代表膜层中硅浓度的被测光谱峰形,其中所述膜层至少包括形成在包含硅的基底上的硅和氧,其中所述膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上;

提供代表基底中至少一部分的硅浓度的至少另一个被测光谱峰形;

提供用于待表征的附加膜层的已获得的光谱,其中所述附加膜层至少包括形成在包含硅的基底上的硅和氧,其中所述附加膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上,并且进一步地,其中所述已获得的光谱包括代表附加膜层中和基底中至少一部分的硅浓度的重叠峰面积;

使用从已获得的光谱中计算出来的光谱背景从重叠的峰面积中提取单独的已获得的光谱峰面积,将已获得的光谱与代表膜层中硅浓度的被测光谱峰形以及代表基底中至少一部分中硅浓度的至少另一个被测光谱峰形相匹配,其中一个单独的已获得的光谱峰面积代表附加膜层中的硅浓度并且另一个单独的已获得的光谱峰面积代表基底中至少一部分的硅浓度;以及

基于所述单独的已获得的光谱峰面积为附加膜层确定至少一个厚度测量。

10. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,所述方法包括在已获得的光谱与被测光谱峰形和至少另一个被测光谱峰形相匹配的每一个循环中计算光谱背景。

11. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,提供被测的光谱峰形并提供至少另一个被测的光谱峰形包括:

为膜层提供高分辨率的光谱,其中所述高分辨率的光谱是其分辨率高于所获得的光谱的分辨率时获得的光谱;

从所述高分辨率的光谱中减去光谱背景;

分离至少一个窄的代表膜层中硅浓度的被测光谱峰形以及代表基底中至少一部分的至少一种成分浓度的至少另一个窄的被测光谱峰形,其中所述窄的被测光谱峰足够窄以在减去所述背景光谱时在被测光谱峰之间具有低的重叠;以及

将扩展函数应用到至少一个窄的被测光谱峰形和至少另一个窄的被测光谱峰形上,用于匹配已获得的光谱的分辨率。

12. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,所述方法进一步包括在附加膜层的多个位置重复厚度测量的确定,用于在附加膜层上厚度一致性程度的确定。

13. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,所述膜层和附加膜层至少包含硅、氧和氮,并且

进一步地,其中该方法包括至少基于厚度测量和代表附加膜层中氮的附加已获得的光谱,确定附加膜层中氮的浓度。

14. 根据权利要求 13 所述的方法,其中,所述方法进一步包括确定在附加膜层上的附加膜层厚度的一致性程度或者确定在附加膜层上氮浓度的一致性程度。

15. 根据权利要求 13 所述的方法,其中,所述方法进一步包括基于所述氮的浓度,探测与特定过程相关的过程漂移。

16. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,所述方法进一步包括基于所述厚度测量,探测与特定过程相关的过程漂移。

17. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,每个所述膜层和附加膜层均包括具有小于 10 纳米的厚度的薄膜。

18. 根据权利要求 17 所述的方法,其中,每个所述膜层和附加膜层均包括具有小于 4 纳米的厚度的薄膜。

19. 一种用于表征膜层的方法,该方法包括:

提供用于表征膜层的已获得的光谱,其中所述膜层形成在基底上,并且进一步地,提供所述已获得的光谱包括提供代表膜层中至少一种成分浓度的一个被测光谱峰形和代表在其上形成膜层的基底中至少一部分的至少一种成分浓度的至少另一个被测光谱峰形;

单独从已获得的光谱中提取所述成分浓度信息,其中该成分浓度信息包括代表膜层中至少一种成分浓度和代表在其上形成膜层的基底中至少一部分的至少一种成分浓度的信息;以及

基于所述成分浓度信息为膜层确定至少一个厚度测量。

20. 根据权利要求 19 所述的方法,其中,所述方法进一步包括:

计算已获得的光谱的光谱背景;以及

从已获得的光谱中减去光谱背景。

21. 根据权利要求 19 所述的方法,其中,所述提供代表膜层中至少一种成分浓度的被测光谱峰形和代表在其上形成膜层的基底中至少一部分的至少一种成分浓度的另一个被测光谱峰形,包括提供代表它们的重叠峰面积。

22. 根据权利要求 19 所述的方法,其中,所述从已获得的光谱中提取成分浓度信息包括提取代表膜层中至少一种成分浓度相对于在其上形成膜层的基底中至少一部分的至少一种成分浓度的比值。

23. 根据权利要求 19 所述的方法,其中,所述从已获得的光谱中提取成分浓度信息包括:

累积合成已获得的光谱;以及

使用该合成的光谱的至少一个几何特征用于提取所述成分浓度信息。

24. 根据权利要求 23 所述的方法,其中,所述使用合成的光谱的至少一个几何特征用于提取所述成分浓度信息包括:

在合成的光谱的多个位置提供多个切线;以及

确定成分浓度信息,该信息是多个切线之间一个或多个交点的函数。

25. 根据权利要求 19 所述的方法,其中,所述方法进一步包括至少基于所述厚度测量,确定膜层的成分浓度。

26. 根据权利要求 25 所述的方法,其中,所述该方法进一步包括在膜层的多个位置上重复膜层的成分浓度的确定,用于确定膜层上成分浓度一致性的程度。

27. 根据权利要求 19 所述的方法,其中,所述方法进一步包括在膜层的多个位置上重复厚度测量的确定,用于确定在膜层上厚度一致性的程度。

28. 根据权利要求 19 所述的方法,其中,所述膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上,并且该方法进一步包括基于至少一个厚度测量,探测与所述特定过程相关的过程漂移。

29. 根据权利要求 19 所述的方法,其中,所述提供待表征膜层的已获得的光谱包括使用一组特定的参数,对膜层执行一个或更多表面光谱测量,其中,提供该表面光谱测量包括:

用 X 射线源照射该膜层致使光电子的逃逸;

探测逃逸的光电子;以及

产生代表被探测到的光电子的信号,其中该表面光谱测量基于所产生的信号。

30. 根据权利要求 29 所述的方法,其中,所述探测逃逸的光电子包括;

提供分析仪,所述分析仪包括接收光电子的输入透镜,该输入透镜具有贯穿其伸展的中心轴;以及

定位该输入透镜以使得该输入透镜的中心轴相对膜层的表面呈分析仪角度,其中该分析仪角度约在 45 度到 90 度的范围之内。

31. 根据权利要求 30 所述的方法,其中,所述该分析仪角度约在 60 度到 90 度的范围之内。

32. 根据权利要求 29 所述的方法,其中,所述使用 X 射线照射膜层包括使用来自小于 2000eV 的低能量 X 射线源的 X 射线照射该膜层。

33. 根据权利要求 19 所述的方法,其中,所述膜层包括电介质膜层。

34. 根据权利要求 33 所述的方法,其中,所述膜层包括具有小于 10 纳米的厚度的薄膜。

35. 根据权利要求 34 所述的方法,其中,所述膜层包括具有小于 4 纳米的厚度的薄膜。

36. 根据权利要求 33 所述的方法,其中,所述膜层包括由形成在含硅的基底上的硅和氧组成的膜层。

37. 根据权利要求 33 所述的方法,其中,所述已获得的光谱包括代表膜层中和基底中至少一部分的硅浓度的重叠峰面积,其中从已获得的光谱中提取成分浓度信息包括提取代表膜层中硅浓度相对在其上形成膜层的基底中至少一部分的硅浓度的比值,并且进一步地,其中从已获得的光谱中提取成分浓度信息包括:

累积合成该已获得的光谱;以及

使用该合成的光谱的至少一个几何特征用于提取代表膜层中至少一种成分的浓度相对在其上形成膜层的基底中至少一部分的至少一种成分的浓度的比值。

38. 根据权利要求 37 所述的方法,其中,所述使用该合成的光谱的至少一个几何特征提取该比值包括:

在合成的光谱的多个位置提供多个切线;以及

确定该比值,该比值是多个切线之间至少一个或多个交点的函数。

39. 根据权利要求 19 所述的方法,其中,所述确定至少一个厚度测量包括对包含硅,氧

和氮的膜层确定一个厚度测量。

40. 根据权利要求 39 所述的方法,其中,所述方法进一步包括至少基于所述厚度测量和代表膜层中氮的附加的已获得的光谱,确定膜层中氮的浓度。

41. 根据权利要求 40 所述的方法,其中,所述方法进一步包括确定在由硅、氧和氮组成的膜层上膜层的厚度一致性程度或确定在膜层上氮浓度的一致性程度。

42. 根据权利要求 40 所述的方法,其中,所述膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上,并且进一步地,其中该方法包括基于所述氮的浓度,探测与该特定过程相关的过程漂移。

43. 用于表征膜层的一种方法,该方法包括:

为待表征的膜层提供已获得的光谱,其中该膜层形成在基底上,并且进一步地,提供已获得的光谱包括提供代表膜层中和基底中至少一部分的硅浓度的重叠峰面积;

单独地使用已获得的光谱提取成分浓度信息,其中该成分浓度信息包括代表膜层中硅浓度和在其上形成膜层的基底中至少一部分的硅浓度的信息;以及

基于该成分浓度信息为该膜层确定至少一个厚度测量。

44. 根据权利要求 43 所述的方法,其中,所述方法进一步包括:

为已获得的光谱计算光谱背景;以及

从该已获得的光谱中减去光谱背景。

45. 根据权利要求 43 所述的方法,其中,所述膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上,其中所述方法进一步包括基于所述厚度测量,探测与该特定过程相关的过程漂移。

46. 根据权利要求 43 所述的方法,其中,所述膜层包括具有小于大约 10 纳米的厚度的薄膜。

47. 根据权利要求 46 所述的方法,其中,所述膜层包括具有小于大约 4 纳米的厚度的薄膜。

48. 根据权利要求 43 所述的方法,其中,单独地使用已获得的光谱提取成分浓度信息包括:

累积合成已获得的光谱;以及

使用该合成光谱的至少一个几何特征来提取所述成分浓度信息。

49. 根据权利要求 48 所述的方法,其中,所述使用该合成光谱的至少一个几何特征来提取所述成分浓度信息包括:

在该合成光谱的多个位置提供多个切线;以及

确定至少作为切线的函数的成分浓度信息。

50. 根据权利要求 49 所述的方法,其中,所述在该合成光谱的多个位置的提供多个切线包括:

提供与膜层中的峰值的硅强度的已获得的光谱上一个位置相对应的合成光谱上一个位置上的第一切线;

提供与膜层下面的基底部分中的峰值的硅强度的已获得的光谱的一个位置相对应的合成光谱的一个位置上的第二切线;以及

提供与已获得的光谱上在膜层中峰值的硅强度和膜层下面的基底部分中的峰值的硅

强度之间的最小强度波谷值相对应的合成光谱的一个位置上的第三切线。

51. 根据权利要求 50 所述的方法,其中,所述方法进一步包括定位合成光谱的最小值和最大值。

52. 根据权利要求 51 所述的方法,其中确定至少作为切线的函数的成分浓度信息包括:

基于合成光谱上第一和第三切线的交点以及第二和第三切线的交点之间的一个位置确定代表膜层中硅强度的值;以及

使用代表膜层中硅强度的值和基于所述合成光谱的最小值和最大值所确定的总的硅强度的函数的值,确定代表膜层下面的基底部分中的硅强度的值。

53. 根据权利要求 43 所述的方法,其中,所述膜层包括硅、氧和氮,并且进一步地,该方法包括至少基于厚度测量和代表该膜层中氮的附加已获得的光谱确定该膜层中氮的浓度。

54. 根据权利要求 53 所述的方法,其中,所述方法进一步包括确定在所述膜层上膜层厚度一致性的程度或确定在所述膜层上氮浓度一致性的程度。

55. 根据权利要求 53 所述的方法,其中,所述膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上,其中进一步地,该方法包括基于所述氮的浓度,探测与该特定过程相关的过程漂移。

用于表征膜层的非破坏性的方法

[0001] 相关申请

[0002] 本申请是申请号为 200380110010.0、申请日为 2003 年 12 月 23 日的中国专利申请的分案申请。

技术领域

[0003] 本发明涉及固体样品的表征 (characterization), 例如, 薄膜。更特别的, 本发明适用于使用非破坏性的技术来表征这样的样品。

背景技术

[0004] 样品的描述或分析 (例如, 薄膜的厚度, 在基底上形成的薄膜中元素和 / 或化学物质的浓度) 在许多不同类型设备 (例如, 电子和光电子设备) 的生产中是必须的。例如, 确定在已知的半导体集成电路设备诸如处理设备和存储设备上形成的薄电介质膜 (例如, 栅极氧化膜 (gate oxide films), 氮化钽膜等) 的成分可能是必须的。增加集成电路芯片上这类设备的密度以及减小设备尺寸要求生产过程以及与用于制造此类设备的材料相关的表征技术的进步。

[0005] 例如, 半导体器件制作的最近的发展可以使用浅植入 (shallow implant) 和 / 或其他超薄结构。在一个特定的实例中, 栅极氧化膜已经变成非常薄的薄膜, 典型地厚度范围大概为 1 到 10 纳米。这样的薄膜是难以表征的。这样的结构将要求表征技术具有超过传统表征技术的更高的灵敏度。

[0006] 进一步地, 这样的技术可以也要求该表征以足够的速度来完成。例如, 当这样的表征技术被用于监视制造工具或过程时, 例如, 度量基底上各种膜层的晶圆级 (wafer level) 的制作, 表征必须以适当的处理速度完成。进一步地, 在生产过程的监视中, 优选地, 期望该表征以非破坏性的方式被实现, 例如, 使用非侵入的过程。

[0007] 除了非侵入地并以足够的速度来实现这样的过程监视薄膜表征, 必须能够在一致性基础上有精度的实现此表征技术。换句话说, 使用该表征过程所做的测量或确定的参数必须可重复地具有适当的测量精度 (例如, 相对标准偏差, RSD)。用这样的方法, 过程漂移, 例如, 典型地导致生产的产品不能被接受的没有按意图实现的过程, 能够被检测到。

[0008] 已经有多种技术用于材料的表征, 例如, 提供厚度测量和 / 或确定在这种材料中微量 (trace) 和 / 或主要成分的浓度。例如, 这样方法中有几种包括了椭圆对称法, 透射电子显微法 (TEM), 扫描透射电子显微法 (STEM), 次级离子质谱法 (SIMS), X 射线光电光谱法 (XPS) (也被称为用于化学分析的电子光谱法 (ESCA)), 俄歇电子光谱法 (AES), 以及其他电子束方法。

[0009] 这些技术中有许多是对材料的近表面区域敏感的。进一步地, 这些技术中有许多也允许材料特征的测量是通过表面之下的深度断面成形 (depth profiling) 的深度函数。在典型的深度断面成形中, 例如, 连续或周期性的离子束溅射从样品的表面去除材料以逐

渐暴露样品的一个或多个不同深度的较深的材料用于进一步的测量和 / 或分析。众所周知,溅射率 (sputter rate) 可用于确定表面测量完成在哪一个深度上。这样,作为表面下深度函数的样品的表征被获得。然而,在过程监测中,这样的深度断面成形技术在很多情况下是不合适的。例如,深度断面成形是侵入的和破坏性的过程,并且进一步地,这样的过程一般要花费相对长周期时间来完成,例如,与只进行表面测量相比。

[0010] 进一步地,即使这些技术不是以破坏性深度断面成形的方式使用,考虑到多类样品的表征它们在许多其他方面是明显不适当的。这是一个特别地关于薄膜表征的情况,例如,栅极氧化薄膜。

[0011] 在光学上基于椭圆对称法已经成为监测二氧化硅栅极膜的标准方法。然而,栅极材料的改变,例如从 SiO_2 到 SiO_xN_y , 已经对光学测量工具的有效性造成主要的影响。当氮被加入膜层中折射率改变。因为氮的含量随深度改变,膜层的折射率是变化的,使得使用标准的光学方法监测 SiON 膜层很困难。另外,更薄的膜层趋势 (例如,18 埃,12 埃,8 埃……) 正在挑战光学方法的基本界限。这两种影响的组合已经降低了使用这些技术对于厚度的测量精度,致使它们对于监测厚度和成分无效。当前,例如,光学技术对于薄的 (例如,小于 20 埃) 无氮氧化膜 (例如, SiO_2) 达到的精度是 0.4% RSD,对于含氮氧化膜 (例如, SiON) 精度是 1.5-10% RSD。

[0012] 结合了电子能量损失谱分析法 (EELS) 测量的 TEM 或 STEM 也能够提供厚度和一些成分信息。然而,存在许多问题使得在生产监测中使用 TEM 是不实用的。例如,厚度测量的精度典型地大于 2 埃并且所需设备的成本通常地是非常高的。进一步地,完成这些测量所需要的时间很长 (例如,每次测量四个小时) 并且通常需要非常熟练的专家来准备样品和完成测量。

[0013] 进一步地,例如, SIMS, 具有很小的取样深度,由于该技术的极端的表面灵敏度 (例如,单原子层灵敏度和百万分之一到十亿分之一的探测极限) 被常规地用于在薄膜中 (例如,小于 10 纳米的薄膜) 量化低水平的掺杂物和杂质。然而,用于 SIMS 量化的灵敏度因子由基体 (matrix) 决定且精确的量化需要使用经校准的参考样品。例如,当掺杂物的浓度超过 1%,它变成基体的一个重要组成部分,进一步复杂化了量化任务。为了通过 SIMS 监测氮氧化硅栅极膜,要求定期 (例如,至少每天) 使用通过外部直接测量技术诸如 XPS 确定的厚度和氮剂量来分析参考氮氧化硅膜。

[0014] 进一步地,AES 也被用于薄膜表征。然而,用于进行俄歇测量的高强度电子束能够通过产生化学损害 (例如,能够损害 SiO_2 膜) 或者导致元素在薄膜内的迁移从而改变薄膜的主要成分。例如,关于电子束影响下膜层中氮的可能的流动性 (例如,已知氮会迁移到在硅上提供的氧氮化堆 (ONO) 的界面上)。

[0015] XPS,或是 ESCA,以前已经被用于表征薄膜 (例如,小于 5 纳米的超薄膜) 诸如具有 5% RSD 测量精度的在计算机硬盘上的润滑涂附层。进一步地,经由 XPS 使用标准操作对其他类型膜层诸如 SiON 的表征,已经达到 0.5% 到 1.0% 的测量精度。例如,这些标准操作包括在相对低的分析仪角度 (analyzer angle) 下的数据采集,这样使得深度分辨率提高。所述低的分析仪角度通常小于 20 度。使用所述低的分析仪角度一般导致较慢的表征过程,并且也可以导致与被分析的样品相关的表征系统的分析仪的放置相关联的问题。然而进一步地,对 XPS 所采集到的数据进行运算的现有数据简化 (data reduction) 方法使用用于背景

消除和峰值匹配的软件工具,所述软件工具要求频繁地算子输入使得结果算子具有相关性且精度较低。

[0016] 一般地,上述用于表征薄膜的许多技术都是侵入性的技术,例如,它们包括样品的至少一部分或更多部分的破坏。所述技术,例如,那些在深度断面成形中使用材料去除的技术,在很多情况下是能够胜任的,例如,研发、产品测试,等等,但是不能提供诸如在生产过程中所需的快速分析薄膜的能力。例如,在所述生产过程中,形成的薄膜通常需要被分析以使得这些信息能够被用于生产控制、产品测试等等,而没有由于这些薄膜的侵入性的表征带来的产品损失。

[0017] 掺杂氮或是氮氧化硅是一种用于晶体管结构的栅极氧化物的材料。这样的栅极结构仅仅是与正在发展的需要空前的复杂水平上表征的材料结构相关的不断增多的半导体之一。这样的挑战并不是只局限于对近原子和单分子层空间分辨率的期望,而是被半导体制造工业所需的精确性、精度和速度的水平所扩大。

[0018] 存在明显的需求来发展适当的表征方法和系统。在所述水平上表征材料的能力是使产品发展所必需的并且也必须领先过程控制的进步。例如,存在以提供诸如晶体管栅极氧化物的薄氮氧化硅膜的参数的厚度,氮剂量,以及氮的分布信息的合适的系统和方法的需求。

发明内容

[0019] 根据本发明的用于表征样品的系统和方法在此描述。尤其是,这样的系统和方法对于薄膜的非破坏性分析尤其有效。在这里所使用的,薄膜一般被定义为厚度小于 10 纳米。本发明对于使用厚度小于 4 纳米的薄膜也尤其有效。

[0020] 本发明能够提供,例如,在薄膜中成分的浓度(例如,元素和/或化学物质)、所述薄膜的厚度、薄膜中元素浓度的分布或一致性和/或对所述薄膜中厚度的一致性的精确测量。进一步地,本发明能够基于薄膜厚度的确定探测过程漂移(process excursion)和/或通过氮信号测量以及该测量与薄膜厚度的相关性所测定的氮浓度的变化的探测来探测过程漂移。所述氮浓度的变化可能取决于在膜层中氮的总量的改变或是氮在深度分布上的改变。

[0021] 本发明可以使用新式的数据简化(data reduction),所述数据简化包括,例如,用于比较元素和/或化学物质所测的峰形(peak shape)(例如,用于待监测的特定过程而先前所测量的硅的峰形)与采集到的 XPS 数据的匹配过程,例如,使用非线性最小二乘拟合算法。这种拟合的执行不需要必需的传统的算子输入。用这样的方式,例如,除去了通常会导致结果算子具有相关性且精度低的频繁的算子输入,产生提高精度的数据质量的增强被实现。

[0022] 根据本发明可用于表征膜层的一种方法包括提供至少一个代表膜层(例如,诸如氮氧化硅膜和/或厚度小于 10 纳米的膜甚至小于 4 纳米的电介质膜)中至少一种成分浓度的被测的光谱峰形(例如,所测的主要成分光谱),其中,所述膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上。已获得的光谱被提供给待表征的附加膜层,其中所述附加膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上。所述的至少一个被测的光谱峰形与已获得的光谱相比较,并且基于所述比较,待表征膜层的至少一个厚度测量被确定。

[0023] 在所述方法的一个实施例中,光谱背景被计算用于获取的光谱并且所述的至少一个被测的光谱峰形和所述的光谱背景与已获得的光谱相比较。

[0024] 然而在所述方法的另一个具体实施例中,所述的至少一个被测的光谱峰形包括代表膜层中至少一种成分浓度的被测光谱峰形和代表基底至少一个部分中至少一种成分浓度的至少另一个被测光谱峰形。进一步地,例如,所述的已获得的光谱可以包括代表附加膜层中至少一种成分(例如,硅)和基底的至少一部分中至少一种成分(例如,硅)的浓度的重叠峰面积(peakarea)。在这种情况下,至少一个被测光谱峰形和光谱背景与已获得的光谱的比较,可以包括使用从已获得的光谱中计算出来的光谱背景从重叠峰面积中提取单独的已获取的光谱峰面积,将已获得的光谱与代表膜层中至少一种成分浓度的被测光谱峰形和代表基底至少一部分中至少一种成分浓度的至少另一个被测光谱峰形相匹配。其中一个所述的单独的已获得的光谱峰面积是代表附加膜层中至少一种成分(例如,硅)的浓度,并且另一个单独的已获得的光谱峰面积是代表基底中至少一部分中至少一种成分(例如,硅)得浓度。

[0025] 在所述方法的另一个实施例中,所述实施例提供至少一个被测光谱峰形,可以包括提供高分辨率的光谱。在从高分辨率光谱中减去光谱背景后,至少有一个代表膜层中至少一种成分浓度的窄的被测光谱峰形和至少另一个代表基底至少一部分中至少一种成分浓度的窄的被测光谱峰形能够被分离出来。扩展函数(broadening function)接下来被应用于所述的至少一个窄的被测光谱峰形和至少另一个窄的被测光谱峰形来匹配已获得的光谱的分辨率。

[0026] 在所述方法的另一个实施例中,用于过程的表面光谱测量通过用 X 射线照射附加薄膜致使光电子的逃逸,探测逃逸的光电子,以及产生代表被探测到的光电子的信号提供。所述表面光谱测量是基于所产生的信号。可提供的分析仪包括接收光电子的输入透镜,该输入透镜具有贯穿其伸展的中心轴。所述输入透镜被如此定位使得输入透镜的中心轴相对膜层的表面呈分析仪角度,其中所述分析仪角度约在 45 度到 90 度的范围之内,优选地,在 60 度到 90 度的范围之内。进一步地,例如,用 X 射线照射附加膜层可以包括使用来自小于 2000eV 的低能量的 X 射线光源发出的 X 射线照射附加膜层。

[0027] 根据本发明还描述了用于表征薄膜的系统。所述系统包括可操作的 X 射线源,用于使用 X 射线照射一个或多个膜层致使光电子的逃逸;以及可操作的分析仪,用于探测逃逸的光电子。所述分析仪是可操作的用于产生所探测到的光电子的信号,用于为一个或多个薄膜提供已获得的光谱。进一步地,所述系统包括可操作的计算装置,用于识别代表膜层中至少一种成分浓度的至少一个被测光谱峰形,其中所述膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上。所述计算装置进一步地可操作以识别用于待表征的附加膜层的已获得的光谱,其中所述附加膜层通过由一系列过程条件定义的特定过程形成在基底上。所述的至少一个被测光谱峰形与已获得的光谱相比较,基于所述比较确定至少一个厚度。

[0028] 更进一步地,例如,所述新式的数据简化可以有选择性地包括已获得的光谱本身的使用和与它相关的分析来提供膜层特征的一个或多个测量,例如,没有主要成分光谱(basis spectra),是否必须建模或实验生成。例如,这里所描述的累计积分和切线分析可以被用于提供用于确定膜层厚度的浓度信息。

[0029] 根据本发明所述,一种用于表征膜层的方法包括为待表征膜层(例如,诸如氮氧

化硅膜层和 / 或厚度小于 10 纳米的膜层甚至小于 4 纳米的电介质膜) 提供已获得的光谱, 其中所述膜层在基底上形成。进一步地, 提供已获得的光谱包括提供一个代表膜层中至少一种成分浓度的光谱峰形以及至少另一个代表在其上形成膜层的基底至少一部分中至少一种成分浓度的光谱峰形。成分浓度信息从已获得的光谱中被单独地提取 (例如, 不使用建模或被测的主要成分光谱), 其中所述的成分浓度信息包括代表膜层中至少一种成分浓度以及代表在其上形成膜层的基底的至少一部分中至少一种成分浓度的信息。基于所述的成分浓度信息 (例如, 代表膜层中至少一种成分浓度与在其上形成膜层的基底的至少一部分中至少一种成分的浓度的比例), 膜层的至少一个厚度被确定。

[0030] 在所述方法的一个实施例中, 所述方法进一步包括为已获得的光谱计算光谱背景以及从已获得的光谱中减去光谱背景。

[0031] 在所述方法的另一个实施例中, 提供代表膜层中至少一种成分 (例如, 硅) 的浓度的光谱峰形以及另外的代表其上形成膜层的基底的至少一部分中至少一种成分 (例如, 硅) 浓度的光谱峰形, 包括提供代表它们的重叠峰面积。

[0032] 在所述方法的另一个实施例中, 从已获得的光谱提取成分浓度信息, 包括累积合成已获得的光谱以及使用至少一个该合成光谱的几何特征来提取成分浓度信息 (例如, 在合成光谱的多个位置提供多个切线并确定作为一个或多个切线之间的至少一个或多个交点的函数的成分浓度信息)。

[0033] 在所述方法的另一个实施例中, 在合成光谱的多个位置提供多个切线为通过提供与膜层中峰值成分强度的已获得的光谱上一个位置相对应的合成光谱上一个位置的第一切线, 提供与膜层下面基底部分中的峰值成分强度的已获得的光谱上一个位置相对应的合成光谱上一个位置的第二切线, 以及提供与已获得的光谱上在膜层中峰值成分强度和膜层下基底部分中的峰值成分强度之间的最小强度波谷值相对应的合成光谱的一个位置上的第三切线。

[0034] 更进一步地, 所述方法可以提供所述合成光谱的最小值和最大值用于测定成分浓度信息。成分浓度信息可以通过使用所述的切线确定: 通过基于合成光谱上第一和第三切线的交点以及第二和第三切线的交点之间的一个位置确定代表膜层中成分强度的值, 以及使用代表膜层中成分的强度并且基于所述合成光谱的最小值和最大值所确定的总成分强度的函数的值, 确定代表膜层下面基底部分中成分强度的值。

[0035] 根据本发明用于表征膜层的系统也被描述。所述系统包括可操作的 X 射线源, 用于使用 X 射线照射一个或多个膜层致使光电子的逃逸, 以及可操作的分析仪, 用于探测逃逸的光电子。其中所述分析仪是可操作的以产生代表被探测光电子的信号, 用于为膜层提供已获得的光谱。所述系统还包括可操作的计算装置, 用于识别代表膜层中至少一种成分浓度的被测光谱的光谱峰形, 其中膜层形成在基底上。所述计算装置进一步地可操作以识别代表在其上形成膜层的基底中至少一部分的至少一种成分浓度的已获得的光谱的至少一个附加的光谱峰形以及单独从已获得的光谱中提取成分浓度信息。所述的成分浓度信息包括代表膜层中至少一种成分浓度和代表在其上形成膜层的基底的至少一个部分中至少一种成分的浓度的信息。基于所述的成分浓度信息确定至少一个膜层的厚度。

[0036] 在所系统的另一个实施例中, 所述系统是可操作的用于实现一个或多个前面及这里其他地方所描述的功能过程。进一步地, 程序存储介质也被描述, 该程序存储介质可用计

计算机控制的介质读取装置读取,明确地包括可执行的用于执行膜层表征过程。该程序也是可操作的用于执行上面或这里其他地方所描述的一个或多个功能过程。

[0037] 根据本发明的上述内容目的不在于描述本发明的每个实施例或每个实现方式。结合本发明的更完整的理解,其优点结合附图和接下来提供的详细描述以及采用的权利要求将会很明显。

附图说明

- [0038] 图 1 是根据本发明的分析系统的示意图；
- [0039] 图 2 是通过图 1 所示的示意性的分析系统来实施膜层表征方法的示例图；
- [0040] 图 3 是通过图 1 所示的示意性的分析系统来实施的可替换的膜层表征方法的示例图；
- [0041] 图 4 是阐明图 2 和图 3 所示的两种方法的膜层表征方法的实施例的示例图；
- [0042] 图 5 是用于阐明本发明的被 X 射线照射后膜层的表面灵敏度的图；
- [0043] 图 6 是阐明图 1 所示系统的一部分的示意性的实施例的原理图；
- [0044] 图 7A 和 7B 是用于描述根据本发明的分析仪角度实施例的示意图；
- [0045] 图 8A 是根据本发明用于确定膜层厚度的电介质膜层表征方法的实施例的示意性流程图；
- [0046] 图 8B-8D 是用于阐明通常如图 8A 所示的根据本发明提供主要成分光谱的示例性实施例的示意光谱图；
- [0047] 图 9 是通常如图 8A 所示的光谱比较过程的示例性实施例；
- [0048] 图 10 用于阐明图 8A 和图 9 所描述方法的图；
- [0049] 图 11 是根据本发明用于确定膜层厚度的薄电介质膜层表征方法的可替换实施例的示意性流程图；
- [0050] 图 12 是通常如图 11 所示的一部分方法的示例性实施例；
- [0051] 图 13 用于阐明图 11 和图 12 所描述方法的图；
- [0052] 图 14 是使用诸如图 8A 和图 11 示意性所示的确定膜层厚度的浓度确定过程的实施例的示意性流程图；
- [0053] 图 15 是用于描述通常如图 14 所示过程的示意图。

具体实施方式

[0054] 根据本发明的分析系统和方法应该参考图 1-15 描述。这样的系统和方法可以用于分析正在发展过程中的合成材料,有助于确定处理问题的解决方案、确定污染源、提高器件制造的生产,有助于监控过程和生产器件,以及用于故障分析技术。进一步地,所述系统和方法可以用于与各种工业应用相关的薄膜表征,诸如半导体器件、磁存储介质、显示技术、自动化材料、航空材料、聚合物产品和 / 或生物材料。

[0055] 通常地,这里所描述的分析系统和方法优选地提供非破坏性,例如,非侵入的,通常包括薄膜表面光谱测量的采集(例如,XPS 光谱)的分析系统和方法。其后,由一系列过程条件定义的特定过程所形成的薄膜的特征,例如,氮氧化硅薄膜的厚度,氮氧化硅薄膜中氮的浓度等等,可以基于使用在这里进一步要描述的有效的数据处理方法的表面光谱测量

被确定。

[0056] 通常地,例如,关于氮氧化膜,例如氮氧化硅膜,本发明包括这种膜层的厚度和氮成分的非破坏性测量的系统和方法,例如,厚度小于4纳米的氮氧化硅晶体管栅极电介质膜。通过使用这样的非破坏性测量,期望的生产过程条件(例如,工具条件)的漂移可以被探测。换句话说,没有按照预定执行的过程或过程工具可以被探测。例如,如果本发明为该过程所形成的膜层提供了超出预定可接受的统计偏差的厚度和/或氮含量测量结果,生产过程漂移可以被探测到。这样的漂移对使用者的通知可以通过任意一种报警机构来提供,例如,警报器,屏幕上数据的闪烁,或任何其他指示技术。

[0057] 本发明提供了确定至少某几种膜层厚度的能力,诸如氮氧化物膜,精度可达 $\pm 0.2\%$ RSD,也能以 $\pm 0.5\%$ RSD的精度确定氮氧化硅膜中氮的含量。进一步地,本发明提供了改进的工具到工具(tool-to-tool)的匹配能力。换句话说,关于工具到工具的匹配,无论测量是在单一的特定设备上实现还是在同种类型的不同设备上实现,这样的精度都可以得到保证。

[0058] 进一步地,参考氮氧化硅膜(在这里它代表任意一种由硅、氧及氮所形成的膜层),至少在一个实施例中,本发明执行表面光谱测量以提供使用低能量的X射线源和高的分析仪角度在硅基底上氮氧化硅栅极电介质膜生长之后XPS光谱的Si2p区域(例如, $\text{Si}^0/\text{Si}^{4+}$),就像下面将要描述的一样。使用根据本发明的方法,使用Si2p光谱以及根据本发明所开发的实现高精度膜层厚度测量的自动化测量软件,氮氧化硅栅极膜的厚度可以被计算。进一步地,使用Si2p和氮N1s光谱和自动化测量软件,氮氧化硅膜中氮的含量可以被计算,就像在这里进一步所描述的一样,它可以实现高精度的表面XPS剂量计算。另外,例如,通过在其上沉淀氮氧化硅膜的晶片上多个位置重复厚度和/或剂量测量,膜层的一致性可以被测定。

[0059] 本发明偏离了已经建立的设备条件和数据简化方法的标准惯例。例如,所使用的XPS光谱优选地根据本发明为元素的灵敏度所优化的设备条件以能量分辨率和表面灵敏度为代价来采集,例如高的分析仪角度的。

[0060] 进一步地,就像背景技术部分所描述的一样,已有的数据简化方法使用软件工具用于光谱背景提取和峰值匹配,这需要频繁算子输入,使得结果算子具有相关性且精度低。本发明使用的方法不需要这样的算子输入。例如,在本发明的一个实施例中,正确的光谱背景被精确地确定并且光谱背景是与测量匹配的,例如,而不是理论上的代表薄膜成分的XPS峰形使用例如非线性最小二乘拟合算法表征。用这样的方法,算子输入被消除且匹配算法增强了数据的质量,产生的对厚度精度小于 0.2% RSD,对浓度剂量(例如,在氮氧化硅膜中氮的剂量)精度小于 0.5% RSD。

[0061] 在本发明的另一个实施例中,待表征膜层的已获得的光谱被它自己使用,不需要拟合算法,以提供想要的表征膜层的信息(例如,厚度)。

[0062] 本发明开发的事实是使用XPS表面测量以及有效的数据处理方法,膜层的厚度可以以高精度被测量。进一步地,对于该事实的观测和开发是对于给定的膜层生长过程,例如,当表征氮氧化硅膜时,表面氮浓度与膜层生长过程中合并的总的氮剂量有关。根据本发明,这样的氮浓度的XPS表面测量可以在几秒中内完成并且转换成剂量。这是可能的因为氮氧化硅栅极膜很薄而且XPS表面测量体穿过膜层延伸到膜层下的硅晶片中。根据本发

明,使用 XPS 表面测量氮的剂量可以被高精度地测量。

[0063] 这样,至少关于氮氧化硅膜,一种单独的,非破坏性的 XPS 测量能够提供膜层的厚度和氮的剂量。高测量精度(即,对膜层厚度小于 0.2% RSD,对氮的剂量小于 0.5% RSD)可以得到。更进一步地,本发明对过程条件的小的变化的灵敏度可以有效地获得。

[0064] 图 1 通常地显示了一个可操作的用于表征膜层 2 的示意性的分析系统 1 的一个实施例,该膜层具有位于分析设备 4 的分析平面 3 上的样品表面 12;所述膜层 2 形成在基底 19 上。与所述分析设备 4 相连的是在一个或多个用于执行一个或多个不同的表征过程程序 15 的控制下的可操作的计算机装置 13,例如,如图 2 所示的膜层表征方法 100,如图 8A 所示用于计算厚度的薄电介质膜层表征方法 200,以及,例如,诸如图 3-4,9,11-12 以及 14 所示的其他方法。

[0065] 具有膜层表面 12 的膜层 2 可以由一个或更多的成分组成。在这里术语成分被定义成一个或多个元素和/或化学物质。例如,这些成分可以包括组成用于半导体制造、磁存储介质或上面所描述的其他各种应用的材料的元素和/或化学物质。换句话说,例如,在半导体制造背景下膜层可以包括由氧、硅、碳、氟、氧化硅、氮等形成的层。

[0066] 优选地,本发明在表征薄膜方面是有效的,特别是薄电介质或绝缘薄膜。就像在这里所使用的,薄膜指的是厚度小于大概 10 纳米的膜或层。然而,本发明在表征厚度为 100 纳米的膜层方面是有效的,特别有益于分析厚度小于 4 纳米的膜层。

[0067] 进一步地,本发明在表征某些氧化膜方面特别有利。例如,这样的氧化膜层可以包括氧化硅层,氮氧化硅膜,氧化氮层等等。例如,这些氧化层可以形成厚度小于大概 10 纳米的薄膜,甚至小于 4 纳米,以及用于制造半导体设备诸如场效应晶体管(FET)的栅极氧化膜。这些晶体管被用于包括处理装置,记忆装置等的各种集成电路设备中。

[0068] 尽管关于在本发明在这里优选的实施例中,例如,氧化硅和氮氧化硅膜的表征被描述,本发明在诸如那些具有除氮之外的掺杂物的其他电介质薄膜的表征中也可以是有用的。例如,本发明可以用于诸如过渡金属氧化物以及氮钽化物的电介质薄膜的表征也是有用的。换句话说,本领域技术人员应该意识到本发明并不局限于任何特定的薄膜,诸如氮氧化硅膜,而是对于表征其他薄膜也一样有效。

[0069] 进一步地,在这里不同的实施例中,采用本发明氮氧化硅被表征。然而,在许多情况下,氧化硅的初始膜(starting film)(即基膜(precursor film))被使用,然后被氮化以形成氮氧化硅膜。本发明对于测量氧化硅基膜的厚度与其后生长的氮氧化硅膜一样有效。它可以在过程控制中特别有益因为最后的氮氧化硅膜的厚度部分依赖于初始氧化硅膜的厚度。

[0070] 本领域技术人员将会从上面的描述意识到,所述膜层可以采取许多不同形式中的一种。例如,所述膜层可以是在基底上形成的一个层或在基底内部形成的一个区域,也可以是其他形成受益于根据本发明表征的材料的膜层或堆。换句话说,在这里使用的术语膜层即指单层膜也指由多层形成的膜(例如,层堆)。

[0071] 进一步地,在这里使用的术语基底代表几乎任何物体,材料可在其上成形或在其中成形,而且本发明不局限于任何这里所列出的材料或结构。然而,本发明在表征某些薄膜,例如,形成在硅基底上的栅极电介质层诸如栅极氧化层方面确实具有优势。

[0072] 就像这里所使用的,表征指的是确定被分析膜层的一个或多个特征。例如,所述表

征可以指确定膜层中成分浓度、这种成分的分布、或是膜层中一个或多个其他物理或化学特征,例如,厚度,粘结状态,区域中元素及化学组成等等。本发明特别有益于确定薄膜的厚度和成分的浓度(例如,元素和/或化学物质)。

[0073] 优选地,计算机装置 13 包括可操作用于执行软件 15 来提供根据本发明的膜层表征的计算系统。尽管使用软件 15 所述计算机装置 13 可以被实现,使用处理器装置是可执行的,其他专门的硬件也可以被使用,为使用者提供膜层表征所需的功能。这样,在这里所描述的术语计算机装置 13 包括除了能够执行各种软件程序的处理器装置之外还包括任何专门的硬件。

[0074] 根据本发明所述的计算机装置 13 可以是,例如,固定的或移动计算机系统,例如,个人电脑,和/或被提供用于功能性的部分或分析设备补充的任何其他的专门计算单元。根据本发明,所述计算机系统的精确结构并不是有限制的而且许多能够提供适当的计算性能和/或控制性能的任意设备都可以被使用。进一步地,各种外围设备,诸如,计算机显示器,鼠标,键盘,打印机,等等,可以被考虑与处理器结合用在计算机装置 13 中。例如,计算机显示器或打印机可以被用于打印或显示各种类型的信息,例如,显示膜层成分(例如,元素和/或化学物质)浓度的峰形和区域,在其上形成膜层的晶片中膜层成分的分布,成分的光谱,等等。

[0075] 分析系统 1 的分析设备 4 可以是提供能够使用所述的数据处理技术分析的光谱数据的任何设备。优选地,根据本发明,所述的分析系统 1 的分析设备 4 包括可操作的 X 射线源 9,用于使用 X 射线 6 照射膜层 2 致使包括膜层 2 的一部分以及其下面基底部分在内的分析体中光电子的逃逸。如图 5 所述,所述 X 射线 6 深入地穿过膜层表面 12,激发光电子 8 从膜层 2 中逃逸,并且更可能的是,根据膜层 2 的厚度从在其上形成膜层 2 的基底 19 的至少一个区域中逃逸。然而,光电子在其能量基于邻近原子之间的相互作用被改变之前只能传播很短的一段距离。只有在初始的能量下逃逸的光电子才促成用于膜层分析的光谱的峰值。依赖于样品体的组分的逃逸深度,对于被 X 射线 6 照射的在大概 10 埃到大概 50 埃的范围内的表面,分析的平均深度依赖于样品的材料。所述光电子的能量通常地包括一个高达 10eV,一般为大概 2eV 到 5eV 范围内的低能量的峰值,加上被照射的分析体中元素和/或化学物质的更高的动能峰值或线性特征。

[0076] 所述的分析系统 1 的分析仪 7 是可操作的用于探测从例如膜层 2 以及下面的基底中逃逸的光电子 8。所述分析仪 7 相对于分析平面 3,换句话说,或相对于更优选地在分析平面内的膜层表面 12 以分析仪角度安装(如下面进一步描述)。所述分析仪 7 用于探测光电子,所述分析仪用于生成代表它的用于膜层 2 表征的信号。对应于被探测的光电子的强度的来自分析仪的信号被提供给计算机装置,该计算机装置对这些信号进行操作以提供光电子能量信息以及存在于分析体中(例如,被照射的膜层和在下面的基底中一部分)的成分的表面光谱测量。

[0077] 图 1 中概略地显示的分析系统 1 是可操作的用于执行在这里所描述的表征过程所使用的表面光谱测量。在采集表面光谱测量的基础上,根据参考图 2 所描述的示例性的方法 100 或参考图 3 所描述的示例性的方法 300,膜层表征可以被执行。例如,膜层表征方法 100、300 可用于提供膜层厚度测量,剂量浓度计算,等等。

[0078] 在膜层表征中,特别是薄膜或是薄层,传统的 XPS 技术已经被使用以获取表面光

谱测量。通常地,通过使用较低的分析仪离开角度 (take-off angle) 来探测逃逸膜层表面的光电子低离开角度,例如,相对膜层表面远远小于 40 度,优选地的是大概 10 度到 20 度,深度分辨率可以被提高。然而,就像下面进一步地所描述的,这样的较低分析仪角度限制可表征的样品的尺寸,导致更低的灵敏度,也导致表面测量数据更慢的获得,例如,较低的分析仪角度需要更多的时间,相对较高的分析仪角度获得的足够的信号用于产生膜层表征中所使用的表面光谱测量。根据本发明,这样慢的表面测量数据的获得是不希望的,在这里速度是非常重要的,特别地是在生产线上探测过程漂移的时候。

[0079] 为了改善这些薄膜的表征,分析系统 1 (例如,XPS 或 ESCA 系统) 用一个或更多的特定特征来配置和 / 或在一个或更多参数下操作以消除与传统方法有关的问题。参考示意性图中所显示的一个或更多的实施例,这些结构和 / 或参数在下面进一步地被描述。本领域技术人员将意识到下面进一步所描述的分析系统 1 的一个或更多这样的参数和 / 或特征可以被用于与其他特征的组合或者可能被单独使用以增强根据本发明的膜层 2 的表征。

[0080] 本发明可以通过使用任意 X 射线光电子频谱分析系统被执行 (例如,能够从物理电子有限公司 (Eden Prairie, 明尼苏达州) 得到的,商业名称为 PHI5800, PHI Quantum 2000 Scanning ESA Microprobe™ 以及 PHI Quantera Scanning XPS Microprobe™)。所述系统可以以在这里所描述的一个或更多的参数修改和 / 或操作以提供薄膜分析。

[0081] 图 6 更详细地显示了一个可操作的用于根据本发明实现表征的分析系统 1 的部分示意性实施例。图 6 中所显示的用于分析膜层 2 的分析设备 71 提供一个更加详细的通常在图 1 中显示的 X 射线源 9、分析仪 7、以及计算机装置 13 的示意性实施例。图 6 曾经在美国专利号为 5,315,113 的 1994 年 5 月 24 日公开的题目为“扫描和高分辨率 X 射线光电子频谱仪和成像计”的 Larson 等人的专利中描述。图 6 中的详细图确实是根据本发明可能被使用的 X 射线源和分析仪的示意性实施例,但是不能被解释为将本发明限制于这里所显示的任何特定元件。

[0082] 图 6 的设备 71 包括电子枪 16, 该电子枪 16 具有一个适当的电子透镜系统 18 用于将电子束 20 聚焦到目标阳极 24 的表面 22 上。所述电子枪 16 可以是传统类型的, 经过改进为较高的能量和较大的光束尺寸优化的。所述枪的线束 20 被聚焦到阳极表面 22 上一个被选中的点。该点优选地尽可能小, 例如, 小到 4 微米。线束 20 到阳极表面上某点的聚焦导致了从阳极 24 上产生 X 射线 27, 特别是, 从被选中的阳极点上。所述电子枪可以是任何适用的枪诸如一个可操作的在 20 千伏时 1 瓦到 60 瓦的具有在 4 微米到 200 微米可选择电子束直径的电子枪, 就像在美国专利 5,315,113 中所描述的一样。

[0083] 所述目标阳极 24 可以由诸如铝的金属形成, 用于提供所希望的 X 射线发射能带, 例如, 所述能带一般在实质上是小能量宽度的一条线。优选地, 所述目标阳极处于接地电压或其附近, 并且所述电子枪的阴极在负电压下工作, 例如, -20 千伏, 关于影响产生包括预定能量 X 射线的所希望能带的 X 射线的阳极。在一个优选的实施例中, 所选的能带是在 1.4866 千电子伏的铝 K- α 线。

[0084] 尽管在分析设备 71 的上述示例性实施例中使用的是单频 Al K α X 射线源, 使用其他 X 射线源在成本和测量速度前景方面可能更有优势。例如, 非单频的 X 射线源诸如 Mg 或 Al K α X 射线源可能在采集表面光谱测量方面提供额外的速度。

[0085] 偏转平板 28 有选择性地将从电子枪 16 发出的电子束 20 指示或瞄准到阳极 24 上

面的点上,该点被从阳极表面 22 上的这样的点阵中选出。来自偏振板控制器 30 的电压,通过线 80 被处理器 76 控制,被施加到偏转器平板,所述偏转器平板沿 X 轴和 Y 轴排列,用于建立电子束的偏转量,以及因此实现的所述点被选中的位置。该点可能被保持固定。可选择地,控制器 30 可能通过阳极上的平面,例如,跨越阳极表面上阳极点的阵列上,提供被聚焦电子束的光栅像,并且 X 射线 27 从连续的阳极点上顺序发出。例如,光栅速度在色散方向 (dispersive direction) 上可能是 100 赫兹在非色散方向上是 10k 赫兹。

[0086] 布拉格晶体单频仪 34,更有优势地单晶石英,被用于接收一部分来自阳极 24 的 X 射线 27。所述单频仪有一个晶体方向和一个凹面结构用于选择并聚焦所期望能带上的 X 射线束 36,例如,K-alpha 线,作为待分析膜层表面 12 上的 X 射线点。所述的 X 射线点是膜层表面 12 上面阳极点的像。可选择地,X 射线点的光栅像可被用于覆盖样品表面上一个想要的区域。关于设备中的支撑 44,膜层 2 安置在台阶 40 上,所述台阶优势地具有用于手动或自动定位的正交测微位置计 41。膜层 2 可以被移动以提供对更大的表面区域的覆盖。

[0087] 尽管布拉格晶体单频仪是优选的,其他的聚焦设备也可能是适宜的。这样的聚焦设备可能包括掠入射镜 (grazing incidence mirrors),菲涅尔波带板,以及用交错式高低密度材料 (例如,钨和碳) 合成的多层器件。在每种情况下,反射镜是曲面的,以用于将衍射的 X 射线聚焦到样品上。

[0088] 用于分析设备 71 的构成的适当排列是基于传统的罗兰环 46。在这种排列中,阳极表面 22,晶体 34,以及膜层表面 12 实质上是在所述的罗兰环上,例如,就如 Hammond 等人 1973 年 11 月 13 日公开的名为“晶体单频仪和在其中使用衍射晶体制造方法”的美国专利 3,772,522 所述的一样。

[0089] X 射线 36 致使光电子 52 从分析体的被选中的活性像素区域中逃逸,例如,膜层 2 和下面的基底部分。电子能量通常地包括高达 10 电子伏,通常在 2 到 5 电子伏范围内的低能量峰值,正的更高的动能峰值或被选的像素区域中化学物质 (例如,化学元素和 / 或它们的电子带) 的线性特征。在光栅的情况中,特征光电子随着像素区域整个阵列的任意化学性质的变化而改变,并且低能电子 (众所周知的“第二电子”) 也随着拓扑图变化。光电子的探测和 / 或分析被用于提供在所选的象素区域或膜层区域的整个光栅阵列内关于膜层的信息 (例如,光谱数据)。也可能存在俄歇电子,对于当前目标,被包括在由 X 射线所导致的术语“光电子”中。。

[0090] 在本发明的一个实施例中,电子能量分析仪 54 接收一部分光电子 52。所述分析仪可以是已知的或所期望的类型,通常地为磁性的或静电的,它根据电子能量在预定的路径 68 中使光电子偏转,然后到达探测器 70。被选择的控制,通常地是电信号 (电流或电压),被施加到用于建立偏转量的偏转器并代表在预定路径中被偏转的光电子被选中的能量。在磁性分析仪诸如磁性棱镜中,通过磁铁线圈的电流信号被适当地选中,以及在静电分析仪中偏转电压信号被选中。

[0091] 静电能量分析仪的一种有用的类型是 Gerlach 等人于 1977 年 9 月 13 日公开的题目为“具有可变轴向孔径的扫描用俄歇微探针”的美国专利 4,048,498 中所描述的圆柱型。在一个优选的选择中,如图 6 所示,分析仪 54 是 Watson 于 1973 年 10 月 16 日公开的题目为“用于样品化学分析的电荷粒子分光镜的装置及方法”的美国专利 3,766,381 所述的半球型。所述分析仪也包括用于分析仪输入的透镜系统 56,诸如静电透镜。所述透镜系统 56

有沿着系统 56 所在位置的轴 57。所述透镜系统 56 可以组合物镜和延迟功能用于采集从有效像素区域发出的光电子并引导它们在期望的动能范围内进入分析仪中。

[0092] 所述静电透镜系统 56 可以是任何传统的透镜,例如,一个能够从物理电子有限公司得到的 PHI Omnicore IV™ 透镜。所述透镜应该包括带有来自源 62 的应用电压的正交偏转平板对。电压在与初始电子束 20 的定位或光栅成像的协作同步中经由处理器 76 被选中、改变、或振荡,在控制器的控制下,集中离轴光电子以使得电子的相当多的部分到达狭缝 84 并进入分析仪 54。

[0093] 物镜功能的可选的方案是磁性透镜,更有优势的一种类型以不同的名称已知为浸没透镜、单独的电极片透镜或潜望镜 (snorkel lens),如 Gerlach 于 1989 年 3 月 7 日公开的题为“直接成像电子单频显微镜”的美国专利 4,810,880 所描述的一样。

[0094] 更进一步地,优选地,透镜系统具有两个球面栅格,类似于可以从物理电子有限公司得到的 Omega™ 透镜的静电透镜。所述透镜系统被用在可以从物理电子有限公司得到的 PHIQuantum 2000 Scanning ESCAMicroprobe™ 中。

[0095] 回到图 6,来自电压源 62 的被选中的电压沿着分析仪的半球 64、66 经由线 69 被施加,被选中能量的电子在轨迹 68 的窄范围内传播以脱离分析仪进入探测器 70。所述探测器 70 可能是传统的多通道探测器,例如,用于探测在略微不同的轨迹中通过分析仪的小范围电子能量的具有 16 个通道。如果某些类型的探测器期望或要求的话,进一步的透镜(未显示)可以被放置在分析仪和探测器之间。

[0096] 对应于光电子输入的强度的来自探测器 70 的信号在一条线或线组 72(通过适当的放大器,未显示)上被运载到组合有控制电子装置和计算机处理的处理单元 76 的分析部分 74。该处理提供电子能量信息和在特定膜层表面区域上呈现并从特定膜层表面区域发射光电子的成分的信息。

[0097] 所述信息被存储、在监视器 78 上被显示和/或以图片、数字和/或图表的形式被打印出来。通过显示(在这里包括处理)与电子束指示装置 28、30 之间的协作,经由从处理器到控制器 30 的线 80,在所选择的或扫描的表面区域内成分的映射被实现并显示。该映射对应于所选择的像素区域的位置,或膜层表面上像素区域的光栅成像阵列提供表面信息。

[0098] 设备 71 的其他部分,诸如第二电子探测器 88 和提供离子 100 的电子枪 98,如美国专利 5,315,113 中所述的那样使用。

[0099] 根据本发明,所述透镜系统 56 以分析仪角度定位以改进和加速数据采集,有优势地被用在薄膜表征方面。所述透镜系统 56 通常地沿中心轴 57 从光电子接收端 59 到与分析仪 54 的半球部分相连的一端伸展。

[0100] 优选地,根据本发明如图 7A 所示,所述透镜系统 56 以分析仪角度 θ 定位,相对设备的分析平面所述角度在 45 度到 90 度的范围之内,对应被分析的样品表面。所述分析仪角度 θ 通过样品表面 12 的平面与沿着透镜系统 56 的中心轴 57 之间的角度表示。更优选地,所述透镜系统以在 60 度到 90 度范围之内的分析仪角度定位;并且甚至更优选地,所述分析仪角度大概为 75 度。

[0101] 通过使用这样的方法定位分析仪 54 的透镜系统 56,实现了探测更多的来自被 X 射线 36 照射的膜层 2 的逃逸光电子,并且足够用于表征膜层的信号被获得,获得的时间相对

于当所述透镜系统以低分析角度,例如,小于 20 度,被定位时,就像一般在图 7B 中所述,获得这样的一个信号的时间大量减少。通过使用这样的高的分析角度,膜层表征中的成分灵敏度被提高。进一步地,相对于使用低的分析角度的过程,通过使用大分析角度微量元素的探测极限也显示出更好。

[0102] 进一步地,如图 7B 所示,所述透镜系统 56 以低的分析角度的定位限制了透镜系统相对样品的放置。例如,一个透镜系统通常地具有一定的尺寸以使得它位于低的分析角度,所述透镜系统 56 必须被放置在只是接近膜层 2 边缘的地方。这样,使用低的分析角度可能限制了能够被表征的膜层 2 的尺寸。例如,利用定位在膜层 2 对面边缘附近的透镜系统 56,图 7B 所示的远离膜层 2 一端 61 的透镜系统 56 的膜层表面的位置不能简单地被表征或有效地被表征。使用高的分析角度,大样品(诸如半导体晶片和硬盘介质)上的任何位置都能够被分析,因为样品本身并不限制所述透镜系统 56 能被放置在哪里。

[0103] 所述透镜系统 56 以高的分析角度(例如,大概 45 度到 90 度)定位,相对膜层表面具有相应光电子离开角度的光电子可以被透镜系统 56 接收到。例如,所述透镜系统以 75 度角定位,使用分析落入以 75 度为中心的 ± 20 度锥体内的光电子离开角度内逃逸的光电子可以被探测到。同样,如果分析以 60 度定位,以落入以 60 度为中心的 ± 20 度锥体内的光电子离开角度从膜层 2 中逃逸的光电子将被分析仪 54 获得。

[0104] 意识到使用高的分析角度 θ ,例如,在大概 45 度到 90 度范围之内,相对于分析平面,会导致如图 7A 所示的分析深度(d)要远远深于如图 7B 所示的使用低分析角度时的分析深度(d)。这样使得,基于被探测到的光电子所产生的信号产生了包括膜层 2 和在其上形成膜层 2 的基底 19 的成分的数据。这样的深度有益于用于膜层表征的数据简化过程,就如这里所描述的一样明显。

[0105] 使用所述的被采集的表面测量,例如,利用如图 1 所示的分析系统 1,如图 2 所示的示例性的膜层表征方法 100 可以被执行以测定膜层 2 的一个或多个特征。所述的膜层表征方法 100 通常地包括提供被测光谱的峰形(框 102)用于后面与获得的光谱比较,例如,在生产过程中实时获得的光谱。

[0106] 所述被测光谱峰形,在这里也指主要成分光谱,(即非模式或非理论的峰形),优选地用在实验性地确定峰形(例如,参考图 8B-8D 中所述的过程)并且代表一种特定类型膜层中至少一种成分,在这里所述膜层通过由一系列预定的过程条件定义的特定过程形成。例如,所述特定过程可能是在集成电路生产中用于在硅基底上形成薄栅极氧化膜的生产线上的过程。这样的被测光谱峰形,即被测的主要成分光谱,可能是,例如与栅极氧化膜中的硅以及当所述膜层是在硅基底上形成的氮氧化硅膜时在其上形成膜层的基底中的硅相关联的峰形。通常地,在每一个峰形下的相关区域都给出在分析体中(例如,在膜层中以及下面基底一个特定深度至少一个部分中)成分的相对的丰度(abundance)。

[0107] 所述的膜层表征方法 100 还包括表面光谱测量的获取(框 106),用于在其下面的基底上形成的附加膜层;所述形成的附加膜层被测定(框 102),被测光谱峰形的膜层的形成使用由同一系列预定的过程条件定义的特定过程。换句话说,所述提供的被测光谱形状是基于在与待表征的膜层相同、或至少基本相似的过程条件下制造的膜层,如框 106 所示。已获得的光谱包括至少一个代表至少一种成分的峰面积,对该成分被测光谱峰形经由框 102 提供。

[0108] 至少经由框 102 所提供的被测光谱峰形与已获得的光谱（框 106）相比较，或至少它的（框 108）一部分。例如，在一个实施例中，所述被测光谱峰形（经由框 102 提供）以及光谱背景与所已获得的光谱（框 106）进行比较，或至少它的一部分，如框 108 所示。例如，所述被测光谱峰形以及光谱背景可以被同时与待表征膜层所需要的表面测量数据相匹配。这样的比较可能通过使用非线性最小二乘拟合算法或其他能够提供所需的比较结果的比较过程实现，例如，神经网络、线性最小二乘算法、象限分析（sector analysis）等等。

[0109] 换句话说，任何适当的拟合算法都可以用于判别哪一个主要成分光谱（即，被测光谱峰形所代表的经由框 102 提供的被测光谱）的组合提供最好的匹配。最小平方是被通常地接受的用于确定匹配“优度”（goodness）的标准，然而，提供这样的测定的任何标准都可能被使用，例如，某一被建模的，被测的和 / 或已获得的光谱之间的差值的绝对值的总和。

[0110] 在本实施例中，所述被测峰形和光谱背景均与已获得的光谱数据相匹配。通常地，所述光谱背景是根据本发明所获得的光谱中位于所感兴趣的光谱峰值下面的部分，并且它与所感兴趣的样品成分的浓度无关。例如，所述光谱背景通常地代表，至少部分地，非弹性离散电子（例如，有能量损失的电子）。在一个实施例中，用在膜层表征方法 100 中的光谱背景形状是从为待表征的膜层提供的已获得的光谱中被计算出来（例如，如下面所描述的被已获得的光谱的合成）（框 106）。

[0111] 在另一个实施例中，所述光谱背景可能从在与为其提供被测光谱峰形的膜层相同的条件下处理的膜层所提供的光谱中被提供或计算出来。

[0112] 在另一个可选的实施例中，所述光谱背景可能从所得到的数据（例如，经由框 106 获得的）中减去。其后，所述被测光谱形状可能被与从中减去背景的所已获得的光谱相匹配。换句话说，所述光谱背景可能在拟合算法使用之前从已获得的光谱中减去。

[0113] 然后待表征膜层的一个或多个特征基于所述比较（框 110）被测定。例如，所述比较可以通过一个或多个用于膜层厚度的确定算法或程序被使用和 / 或操作。

[0114] 可选地，基于所述比较被测定的特征（框 110）可以被用于一个或多个其他目的，诸如测定膜层的其他特征（框 112）。例如，在这里所描述的各种实施例中，膜层厚度与一个或多个其他光谱一起被用于提供膜层中成分的剂量浓度、用于确定厚度的一致性、应用执行和确定在其上有待表征膜层的晶片的剂量浓度一致性，等等。

[0115] 进一步地，基于比较确定的特征（框 110）可能与一个或更多其他过程或算法被联合或单独使用，用于探测过程漂移。例如，厚度测量可能指示用于形成被表征的膜层的生产工具或过程已经偏离了允许的预定厚度从而指示该过程没有有效地运行。这样，所述生产过程可以被适当地控制，参数的调整可以被进行，生产线应该被中断的指示，或任何其他生产过程有效进行所必需的结果测量可以被执行。

[0116] 所述膜层表征方法 100 在关于如图 8A 通常地显示的薄电介质膜表征方法 200 的进一步描述的基础上将变得更加清楚，所述表征方法 200 将参考图 8-10 被进一步详细描述。图 8A 的薄电介质膜表征方法 200 被执行用于确定通过由一系列过程条件定义的特定过程在硅基底上形成的氮氧化硅膜的厚度。例如，一条生产线可以在晶片上形成氮氧化硅层，它需要在线过程监测来探测从理想过程中是否有任何的漂移发生。本发明，包括薄电介质膜表征方法 200，可以被用于确定用于探测这种过程漂移的氮氧化硅膜的特征。

[0117] 本领域技术人员将会意识到,尽管所述方法 200 是用对氮氧化硅膜的特别参考被描述,在这里被描述的表征过程也同样能够被扩展到其他膜层。在任何方面本发明都不局限于分析氮氧化硅膜。例如,就像前面所提过的,各种其他的薄电介质膜(例如,氧化硅,氮化钽,氧化钽等等)也可以使用这里所描述的概念来表征。

[0118] 通常地如图 8A 的流程图所示,光谱数据被提供用于薄电介质膜表征方法 200。这些光谱数据在图 10 的光谱图 280 中被示意性地显示。

[0119] 根据图 8A 所示的方法 200,对于待表征的氮氧化硅膜使用 XPS 表面测量光谱的 Si2p 区域,所述氮氧化硅膜的厚度计算可以以高精度被实现。氮氧化硅膜的膜层厚度可以根据下面的公式被计算:

[0120] 膜层厚度 = $\lambda \sin(\theta) \ln[(K*(SiON)/(Si))+1-LCorr]$

[0121] 上述膜层厚度公式是使用 XPS 表面测量确定薄层厚度的标准公式,具有附加项 LCorr,它补偿来自非单频 X 射线源例如镁 X 射线源的多重 X 射线的光谱贡献。 λ 和 K 的值影响准确度但不影响厚度测量的精度。使用 NIST 数据库 #71, λ 的值能够从 IMFP(非弹性平均自由路径)建模计算中得到。这样的 λ 的一个值可以是例如 34 埃。

[0122] 通过分析由例如,TEM 测量所确定的已知厚度的氮氧化硅膜,常数 K 能够被确定。对于每一个特别的特定过程这样的 TEM 测量将被执行一次。尽管所述 TEM 测量可能限制了本方法的准确度,它并不限制测量的精度,它是更值得要的。换句话说,尽管准确度很重要,反复地获得特定膜层的同样测量的精度通常比实际测量是正确还是不正确更值得要,只要准确度在可接受的范围内。

[0123] 通过比较从在相同样品上的单频和非单频 X 射线源所得到的膜层厚度以及调整所述常数以获得相同的厚度结果,常数 Lcorr 能够被确定。就像已经很清楚, SiON/Si 的峰面积比是膜层厚度公式中唯一的其他非常数。所以,这两个峰面积(即, SiON 膜的硅峰面积与 SiON 膜下面硅基底中硅峰面积的比)的测量或比值限定了厚度测量的精度。

[0124] 获得超过利用标准 XPS 操作所预期的测量精度以及产生精确的结果的关键在于,例如,用于采集数据的设备参数的选择,也在于形成 SiON/Si 比值的测量峰面积的方法。优选地,尽管不是必需的,利用以能量分辨率和表面灵敏度为代价的具有被优化用于元素灵敏度的设备条件的 XPS 光谱被采集。就像前面所描述的,这与标准操作偏离。

[0125] 例如,优选地,就像这里前面所描述的,在 45 度到 90 度范围内的相对于样品表面平面的高的分析仪角度 θ 被用于采集表面光谱测量。更优选地,在 60 度到 90 度范围内的所述分析仪角度,甚至更优选地,所述分析仪角度为 75 度。这样的分析仪角度被选择用于使信号最大,使分析深度最大,允许大样品,使光电子衍射导致的干涉最小,以及使角度变动的灵敏度最小。

[0126] 随着 XPS 系统的分析仪用这样的方法定位,从被 X 射线照射的膜层和下面的基底中逃逸的更多数量光电子的探测被完成。相对于系统的透镜以低的分析仪角度,例如,小于 45 度定位时获得的所述的信号,适于使用的信号在大大减少的时间内就能被获得。

[0127] 更进一步地,X 射线源的选择在采集光谱数据方面也是重要的。优选地,根据本发明在这里被定义成在小于 2000 电子伏的低能量状态下操作的能量源的低能量 X 射线源被使用。这样的低能量 X 射线源用于 XPS 系统因为它们提供样品损坏较低的可能性、较高的灵敏度以及较好的能量分辨率和准确度。基于这些原因,铝和镁的 K-alpha 发射线经常使

用。进一步地,非单频(与单频相对)源可能从成本和测量速度的前景上更有利地被使用。

[0128] 从已获得的表面测量光谱中有效地测量 SiON/Si 的峰面积比值的问题与为精确测量有效地提供所述比例如图 10 中解释的。测量 SiON/Si 的峰面积比值的问题在于,至少某种程度上,已获得的表面测量光谱 292 事实上包括两个硅峰面积 298 和 299。硅峰面积 298 代表氮氧化硅膜中的硅成分。硅峰面积 299 代表在下面的硅晶片至少一个部分中的硅成分。意识到基于峰面积 298 和 299 之间的重叠 293,所述比例不能够被有效地获得。

[0129] 现有的数据简化方法使用软件工具用于分离硅峰面积以得到 SiON/Si 比值所使用的光谱背景减去和峰值匹配。这些已有的数据简化方法要求频繁的算子输入使得结果算子具有相关性且精度低。例如,这些已有的数据简化方法使用所谓代表氮氧化硅膜中的硅成分和代表下面硅晶片中的硅成分的理论上的光谱峰形。然而,就像上面所描述的,这些理论上的峰形必须被选择且算子输入被使用,用于将这些理论上的峰形与已获得的表面测量光谱 292 在从其中减去光谱背景成分之后相匹配。已有数据简化方法也有大量程度上降低精度的自由度。

[0130] 本发明不使用理论上的峰形也不使用算子输入来提供这些理论上的峰形的背景减去或峰值匹配。而是,本发明,至少在这里的一个实施例中,排除算子输入并使用一种增强数据质量的比较算法,产生具有所期望精度的膜层厚度测量。用于确定膜层厚的本发明的这个实施例被显示且参考薄电介质膜表征方法 200 将被进一步描述。

[0131] 在薄电介质膜表征方法 200 中,代表氮氧化硅膜 284 中硅成分以及代表氮氧化硅膜下面的硅基底 286 中硅成分的被测光谱峰形(即,被测主要成分光谱)被提供(框 202)。用实验性确定的峰形(即被测主要成分光谱)对于本发明是重要的,因为他们既包括了分析仪的作用也包括了样品的作用。所以,所述峰形与任何使用这些被测峰形用于分析的后续分析在相同种类的设备上以及在相同的条件下被测量是很重要的。

[0132] 就像这里所使用的,当过程在与形成其他膜层相同的特定过程条件下被执行用于形成一个膜层时(例如,就像被用于提供被测主要成分光谱所使用的膜层一样在过程条件下形成待表征的膜层),需要理解的是用于执行他们的过程条件和工具可以是相同的工具或实质上同种类型的工具。本领域技术人员将会意识到,不把在这里所描述的过程解释为无效时所述过程条件可以是基本上相同的。

[0133] 在一个例子中,代表硅基底中硅成分的被测光谱峰形 286 可以基于用于形成待表征膜层的特定过程中所使用的硅晶片的表面光谱测量被提供。在这样的方法中,相对于理论表示,硅成分的实际表示被获得。

[0134] 同样地,代表根据预定的一系列过程条件下的特定过程形成的氮氧化硅膜中硅成分的被测硅光谱 284 可以被获得。例如,代表氮氧化硅膜中硅成分的这样的硅光谱 284 可以通过在一系列预定的过程条件下在硅基底上形成氮氧化硅膜被测量。所以,表面测量从那里进行以获得代表除硅基底外氮氧化硅膜中硅成分的硅光谱。然后代表氮氧化硅膜中硅成分的硅光谱能够通过从代表氮氧化硅膜和在下面的硅基底中硅成分的硅光谱中减去硅基底的硅光谱被获得。

[0135] 此外,有其他的方法能得到主要成分光谱,即,所述被测光谱硅峰形。例如,从化学腐蚀的硅晶片基底硅光谱能够获得,所述腐蚀已经去掉所有氧化物。

[0136] 进一步地,氧化硅光谱,即,代表氮氧化硅膜中的硅的光谱,能够从厚氧化物中获

得。

[0137] 更进一步地,优选地,就像将要参考图 8B-8C 所述的一样主要成分光谱能够获得。例如,如图 8B 所示的高分辨率的 Si2p 光谱可以被提供。就像这个过程的背景下所使用的,高分辨率的光谱是其分辨率高于用于待表征膜层所需的已获得的光谱的分辨率时获得的光谱。优选地,所述分辨率是这样就使得代表氮氧化硅膜中的硅的窄光谱峰值 209 以及代表下面的基底中的硅的窄光谱峰值 211 容易被分离(即光谱背景 215 被减去后这些峰值的很少的重叠)。

[0138] 图 8C 显示了被分离的光谱峰值 209 和 211。注意到随着光谱背景 215 的减去,光谱峰值 209 和 211 之间存在非常少的重叠区域 213。这样,它们很容易被分离。

[0139] 接着窄光谱峰值 209 和 211 的分离,设备的扩展函数被用于所述窄光谱峰值 209 和 211 用以匹配待表征膜层的已获得的光谱的分辨率。所述的扩展函数对本领域技术人员是已知的,在这里不再详细描述。例如,所述的函数已经在 Hufner 和 Wertheim 的 Phys. Rev. B11,678(1975) 中描述。作为结果的被测主要成分光谱 219 和 221 接下来在表征方法 200 被使用。

[0140] 通常地,实验性地确定(即测量)的主要成分光谱被使用而不是传统上使用的通用的峰形。通用的峰形决不能解释以微妙方式影响峰形的能量分析仪的特征。相同的被测主要成分光谱可以用于相同种类的机器,或可选择地这样的主要成分光谱可以为每一个单独的机器实验性地确定,即使这些机器是相同的类型。

[0141] 随着被测光谱峰形 284 和 286 被提供(例如,如上面所述被提供或使用其他已知方法或与用于形成氮氧化硅膜的特定过程相关的实验的方法被提供),待表征膜层的表面测量被获得并且与其相关的已获得的光谱被提供(框 206)。换句话说,XPS 光谱的 Si2p 区域的实际表面测量数据被获得。所述已获得的光谱 292 包括重叠的硅峰面积 298 和 299(框 206)。

[0142] 待表征(例如,待确定的厚度)的氮氧化硅膜的已获得的光谱 292 与被测硅峰形并且优选地与光谱背景(例如,优选地,同时地)做比较,以便为每一个氮氧化硅膜和下面的基底提取和/或分离所需要的硅峰面积(框 208)。然后所述硅峰面积能够用于为这里所描述的厚度确定提供 SiON/Si 比值。所述比较过程的实施例将参考图 9 所示的光谱比较过程 208 在下面进一步详细描述。

[0143] 使用被提取的已获得硅峰面积(例如,氮氧化硅膜的硅峰面积和下面硅基底的另一个硅峰面积),用于膜层厚度公式的精确比值被提供。从而,基于框 208 所示被执行的比较的膜层厚度能够经由框 210 被确定。

[0144] 所以,膜层厚度可以被选择性地使用用于一个或多个其他目标(框 212)。例如,如前所述,膜层厚度可以被用于探测过程漂移。

[0145] 进一步地,通过对膜层的不同位置重复厚度测量过程,晶片的厚度一致性可以被确定。例如,样品(例如膜层)的运动能够用于覆盖更大的区域,例如,获得更大区域的测量。换句话说,对于膜层的较大区域膜层厚度能够被确定。随着厚度已知,沿着膜层厚度的一致程度能够被确定。

[0146] 更进一步地,厚度测量可以用于确定膜层的其他特征诸如将要参考图 14 和 15 被描述的膜层中氮的浓度。

[0147] 优选地,光谱背景(例如,如前所述)用于比较过程并且从已获得的光谱中被计算出来。例如,根据 D. A. Shirley, Phys. Rev. B5 4709 (1972) 中 D. A. Shirley 的教导,已获得的光谱的合成以及在其上的操作提供能够用于比较过程的光谱背景形状。

[0148] 图 9 显示了示意性的光谱比较过程 208,其中被测光谱峰形 284、286 和从所得到的光谱中计算出来的光谱背景与待表征膜层的所得到的光谱 292 相比较。所述过程 208 从代表氮氧化硅膜中硅成分的被测光谱峰形 286 和代表氮氧化硅膜下面硅基底中的硅成分的被测光谱峰形 284 的识别开始(框 252)。进一步地,所述过程 208 识别所述光谱背景 282(框 254)。

[0149] 随着这些被测光谱峰形 284、286 和光谱背景 282 被识别,所述光谱背景 282 和被测光谱峰形 284、286 被组合合成如图 10 所示的复合的被测膜层光谱 290(框 256)。所述复合的被测膜层光谱 290 能够与所得到的光谱 292 相比较(例如,匹配)(框 258)。例如,使用非线性最小二乘拟合程序所述复合被测膜层光谱 290 可以被匹配。所述最小二乘拟合程序在本技术中是公知的,因此在这里将不再详细描述。应当注意到的是光谱背景 282 与被测光谱峰面积 284、286 同时与待表征膜层的所得到的光谱 292 匹配。优选地,所述光谱背景在匹配过程中被重新计算。优选地,所述光谱背景的重新计算在匹配过程的每一次反复中都被执行。

[0150] 随着所述被测光谱峰面积 284、286 已知,以及随着这样的复合被测膜层光谱 290 与待表征膜层的所得到的光谱 292 匹配,代表氮氧化硅膜中硅成分的所得到的硅峰面积以及代表下面的硅晶片中硅成分的峰面积能够被分别地提供。然后所述峰面积能够被用于其中所描述的计算膜层厚度的比值(例如,由上面所提出的公式)。

[0151] 进一步地,随着所述的表面测量被采集,例如,使用如图 1 所示的分析系统 1,如图 3 所示的另一个示例性膜层表征方法 300 可以被执行用于确定膜层 2 的一个或多个特征。所述膜层表征方法能够从与方法 100 所使用的相同的已获得的光谱中确定厚度,例如,所述光谱包括重叠的已获得的峰值诸如那些代表氮氧化硅膜中的硅以及代表在其上形成膜层的基底中的硅的峰值。然而,所述表征方法 300 不要求在这里前面所描述的用于匹配 XPS 光谱中所得到的 Si2p 区域的纯成分的主要成分光谱(例如,所述被测光谱峰形)的测量和提取。

[0152] 换句话说,代表氮氧化硅膜中的硅以及代表在其上形成膜层的基底的硅的峰值的提取只基于已获得的光谱(例如,已获得的光谱的累积合成)。就像所述过程的背景中所使用的,单独地从所得到的光谱中提取指的是不使用主要成分光谱诸如常规被使用的建模或合成主要成分光谱(例如,不是基于任何特殊工具和/或过程条件被确定的光谱),以及不使用被测主要成分光谱诸如其中所描述的被确定或被生成的主要成分光谱(例如,用实验性确定诸如使用高分辨率光谱以及参考图 8B-8D 所描述的扩展函数)的成分浓度信息的提取(例如氮氧化硅膜中的硅与在其上形成膜层的基底的硅的比值)。

[0153] 进一步地,因为光谱成分的匹配不是必须的(甚至不是理论上的或“合成”建模的光谱),所述表征方法 300 的计算时间可以在很大程度上减少。例如,所述计算时间可以比方法 100 所使用的匹配过程减少 100 倍。更进一步地,当这样的膜层类型被表征时,厚度的确定对于氮氧化硅膜中的氮含量更加不灵敏。

[0154] 所述方法 300,就像所述方法 100,可用于许多不同种类膜层的表征而且在这里所

列出的任何一种方法的采用都不能局限于本发明。例如,方法 300 可以推广到任何薄膜(例如,包括膜层堆),其表面和下面的基底(例如,一个或更多膜层,结构或其他区域)能够使用 XPS 或其他诸如 AES 的光谱技术测量。换句话说,关于硅上的氧化硅膜和氮氧化硅膜的厚度确定,以与在这里所描述的基本相同的方式,其中所描述的厚度确定方法都适用于其他膜层。进一步地,所述的数据分析技术可以用于从任何数量的不只是在这里所描述的 XPS 技术的不同光谱方法中获得的光谱数据。

[0155] 所述膜层表征方法 300 通常地包括用于为待表征膜层提供已获得的光谱的光谱表面测量的获取(框 302)。所述待表征膜层使用由一系列预定过程条件定义的特定过程形成在基底上。通常地,已获得的光谱包括至少一个代表待表征膜层中至少一种成分浓度的光谱峰值以及至少另一个代表在其上形成膜层的基底的至少一个部分中至少一种成分的光谱峰值。

[0156] 例如,所述特定过程可以是用在集成电路生产中在硅基底上形成薄电介质栅极氧化膜的生产线上的过程。已获得的光谱可以包括一个包括与栅极氧化膜中的硅以及在其上形成膜层的基底中的硅相关的光谱峰形的 Si2p 光谱区域。通常地,在所述光谱峰形下的相关区域给出分析体中硅成分的相对丰度,例如,在膜层中以及在下面的基底中至少一个到达特定深度的部分。

[0157] 所述表征方法 300 进一步包括从已获得的光谱中减去光谱背景(框 304)。通常地,根据本发明就像在这里前面所描述的所述光谱背景是已获得的光谱中位于所感兴趣的光谱峰值下面的部分,而且它与所感兴趣的样品成分的浓度无关,例如,硅。优选地,所述光谱背景是 Shirley 计算的光谱背景。

[0158] 在减去光谱背景后,所述膜层表征方法 300 使用已获得的光谱的累积合成的至少几何特征以从已获得的光谱中提取成分浓度信息(框 306)。例如,所述成分浓度信息可以是待表征膜层中至少一种成分的浓度与在其上形成膜层的基底至少一个部分中至少一种成分的浓度的比值。因此,这样的成分浓度信息可以被用于确定一个或多个待表征的特征(框 307)。例如,所述成分浓度信息可以用于和/或工作于在一种或多种算法或程序以确定膜层的厚度。

[0159] 可选择地,基于所述成分浓度信息被确定的特征(框 307)可以被用于一个或多个其他目标(框 308),诸如确定膜层的其他特征。例如,在其中所描述的不同实施例中,膜层厚度与一个或多个其他光谱一起被用于提供膜层中一种成分的剂量浓度,被用于确定厚度一致性,被用于执行和确定在其上有待表征膜层的晶片中剂量浓度的一致性,等等。

[0160] 进一步地,基于所述成分浓度信息被确定的特征(框 307)可以与一个或多个其他过程或算法联合或单独用于探测过程漂移。例如,厚度测量可以表示用于形成待表征膜层的生产工具或过程已经偏离了允许的预定厚度从而指示所述过程没有被有效地执行。同样的,生产过程可以被适当地控制,参数调整可以被执行,生产线的指示应该被停止,或任何其他使生产过程有效地进行所必需的有效果的测量可以被执行。

[0161] 所述表征方法 300 在关于如图 11 所通常性描述的薄电介质膜表征方法 400 的进一步描述中将变得更加清晰,方法 400 参考图 11-13 被更加详尽的描述。图 11 的所述薄电介质膜层表征方法 400 被执行用于确定经由一系列过程条件定义的特定过程形成在硅基底上的氮氧化硅膜的厚度。例如,生产线可以在硅晶片上形成需要在线过程监控以探测

是否有从预定过程的漂移正在发生的氮氧化硅膜。本发明,包括所述薄电介质膜表征方法 400,可以用于确定用于探测这样过程漂移的氮氧化硅膜。

[0162] 本领域技术人员将会意识到尽管所述方法 400 通过对氮氧化硅膜的参考特别地被描述,但是其中所描述的特征过程同样也能够扩展到其他的膜层。本发明不会以任何方式局限于氮氧化硅膜的分析。例如,就像前面所提到的,不同的其他薄电介质膜(例如,氧化硅、氮化钽、氧化钽,等等)可以使用其中所述的概念表征。

[0163] 就像图 11 的流程图所通常描述的一样,光谱数据被提供(框 402)用于所述薄电介质膜表征方法 400。这样的光谱数据在图 13 的嵌入的光谱图 470 中被示意性地显示。

[0164] 根据图 11 中所示的方法 400,随着待表征氮氧化硅膜的 XPS 表面测量光谱的 Si2p 光谱区域的使用(框 402),氮氧化硅膜的厚度计算(框 408)能够以高精度实现。氮氧化硅膜的膜层厚度能够根据下面的公式被计算:

[0165] 膜层厚度 = $\lambda \sin(\theta) \ln[(K * (\text{SiON}) / (\text{Si})) + 1 - \text{LCorr}]$

[0166] 上述膜层厚度公式是用于利用 XPS 表面测量确定薄层厚度的标准公式,具有附加项 LCorr,补偿来自非单频 X 射线源例如镁 X 射线源的多重 X 射线的光谱贡献。就像其中所描述的,峰面积比值 SiON/Si(即 SiON 膜的硅峰面积与 SiON 膜下面的硅基底的硅峰面积的比值)定义厚度测量的精度。

[0167] 优选地,尽管不是必须地,参考方法 100 和 200 如这里所述方式,使用用于优化以能量分辨率和表面灵敏度为代价的元素灵敏度的设备条件 XPS 光谱被采集。例如,优选地,如这里所述的,相对样品表面平面在大概 45 度到 90 度的范围之内的高的分析仪角度 θ 被用于表面光谱测量的采集。

[0168] 如前所述,从已获得的光谱 471 中有效地测量峰面积比值 SiON/Si 的问题,至少在某种程度上地,在于已获得的表面测量光谱 471 包括两个之间具有重叠的硅峰面积 472 和 474(即代表氮氧化硅膜中的硅成分以及代表在下面的硅晶片中至少一个部分中的硅成分)。

[0169] 本发明,至少在这个实施例中,使用只在已获得的光谱 471(未与其他光谱成分匹配)上操作的算法用于增强数据的质量,以所期望的精度产生膜层的厚度测量。用于确定膜层厚度的本发明的这个实施例参考所述薄电介质膜表征方法 400 被进一步描述。

[0170] 在所述薄电介质膜表征方法 400 中,被计算的光谱背景从所得到的光谱 471 中减去(框 404)。通常地,如前所述被减去的光谱背景是被合成的所得到的光谱的函数并且代表根据本发明所得到的位于所感兴趣的光谱峰值在下面的那部分光谱,并且它与所感兴趣的样品成分,例如,硅的浓度无关。

[0171] 减去光谱背景之后,所述膜层表征方法 400 应用使用累积合成的在所得到的光谱的峰值和谷值处提供累积光谱强度的所得到的光谱的至少一种几何特征的算法(例如,参考图 12 和 13 所显示和描述的正切插值算法)。所述算法提取待表征膜层中的硅浓度与在其上形成膜层的基底的至少一部分中硅浓度的比值。换句话说,光谱峰面积 472、474 的光谱强度的比值被提取用于上面所述厚度算法。这样,基于所述比值的膜层厚度如框 408 所示被确定。

[0172] 其后,就像在这里所描述的膜层厚度可以被选择性的用于一个或更多其他目标(框 410)。例如,如这里所述的,膜层厚度可以被用于探测过程漂移。然而进一步地,厚度

测量可以用于确定膜层的其他特征诸如将要参考图 14 和 15 被描述的膜层中氮的浓度。

[0173] 图 12 显示了用于提取通常地参考图 11 中框 406 所描述的光谱强度比值的示意性正切插值方法 450 的流程图。所述正切插值方法 450 提供包括分别代表氮氧化硅膜中硅成分以及氮氧化硅膜下面硅基底中硅成分的光谱峰形 472、474 的所得到的光谱 471 的识别 (框 452)。被识别的已获得的光谱已经具有了从其中减去的光谱背景。

[0174] 随着已获得的光谱被如此识别 (框 452), 所述光谱 471 被累积合成 (框 456) 产生了图 13 所示的合成光谱 480。换句话说, Si2p 光谱区域用累积的方法被合成。所述合成光谱 480 上的每一个点等于已获得的光谱 471 上相应的点和已获得的光谱 471 上所有点的和以便达到更高的结合能。

[0175] 其后, 所述累积合成光谱 480 的几何特征用于提取光谱强度的比值。首先, 多个切线的位置被确定用于合成光谱 480 的多个位置。换句话说, 例如, 在所合成的光谱 480 上在多个位置提供切线 (框 458)。第一切线 488 在所合成的光谱 480 上在已获得的光谱 471 峰形 472 的峰值 511 的位置上被提供。第二切线 492 在所合成光谱 480 上在已获得的光谱 471 峰面积 474 的峰值 512 的位置被提供。第三切线 490 在所合成光谱 480 上在已获得的光谱 471 峰值 511 和峰值 512 之间的最小强度位置被提供。进一步地, 水平线 494 被提供为整体 480 最大值的切线并且同样地水平线 496 被提供为整体最小值的切线。优选地, 切线和其斜率可以都通过算法且无需算子输入被确定。

[0176] 峰面积 472 和峰面积 474 的光谱强度 (以及这些光谱强度的比值) 然后基于切线被确定 (框 460)。代表氮氧化硅膜中硅成分的峰面积 472 的光谱强度由在波峰和波谷位置的切线 488、492 和 490 的交点 520、521 确定。

[0177] 分界点 498, 根据峰面积 472 和 474 将整体分成两个部分, 位于两个交点 520、521 之间并且代表峰面积 472 的合成光谱强度。所述分界点 498 可以是两个交点之间的能量轴的中点或两个交点之间距离的其他拐点。换句话说, 从基线“0”到分界点 498 的测量值 502 代表峰面积 472 的光谱强度 (例如, 如图 13 所示的 48.6)。

[0178] 代表在其上形成氮氧化硅膜的硅基底中硅成分的峰面积 474 的光谱强度通过峰面积 472、474 总的光谱强度的和与如上所述被确定的峰面积 472 的光谱强度的差值来提供。换句话说, 峰面积 472、474 的总的光谱强度用从基线“0”到合成光谱 480 最大值的水平线 494 位置的测量值或高度来描述 (例如, 图 13 所示的 124.1)。从而, 代表在图 13 的示例性图表中在其上形成氮氧化硅膜的硅基底中硅成分的峰面积 474 的光谱强度通过 124.1 和 48.6 之间的差值被给出。随着这些光谱强度被得知, 想要获得的光谱强度的比值, 诸如用于计算膜层厚度, 能够被提供 (框 462)。

[0179] 进一步地, 在应用算法之前使获得的光谱 471 变得平滑可能是有益的。可选择地, 所述合成光谱 480 可以在应用算法之前被平滑处理。平滑过程是本领域技术人员所已知并且在这里不再详细描述。

[0180] 进一步地, 在所述的厚度确定中, 厚度公式中的常数 (例如, λ 和 K) 可以调整以说明用于光谱强度的值可以不是精确地等于用其他方法 (例如, 匹配算法) 所确定的那些值。

[0181] 应该意识到的是参考图 2 (包括参考图 8-10 所描述的示例性的实施例) 和图 3 (包括参考图 11-13 所描述的示例性的实施例) 所描述的本发明的实施例代表如图 4 所示的更

加普通的表征方法 700。如图 4 所示,所述方法 700 包括获得光谱表面测量用于为待表征的膜层提供已获得的光谱(框 702)。所述待表征的膜层通过特定过程形成在下面的基底上。所述已获得的光谱包括至少一个或更多峰面积用于所感兴趣的膜层的至少一种成分。

[0182] 膜层中至少一种成分的浓度与下面的基底中至少一种成分的浓度的比值使用一种或更多不同的方法被提取(框 704)。例如,所述比值可以使用参考图 2 和 8-10 所描述的匹配过程和被测主要成分光谱提取。可选择地,例如,所述比值可以通过考虑累积合成的已获得的光谱被提取,诸如参考图 3 所通常地描述的以及参考图 11-13 更加明确的描述的。

[0183] 其后,所述比值可以被用于确定膜层的至少一个特征(框 706)。例如,就像在这里所描述的厚度可以被确定。同样地,就像在这里其他部分所描述的,所述特征可以被随意的用于一个或更多其他目的(框 708),诸如,例如,过程漂移的探测。

[0184] 图 14 显示了用于确定待表征的膜层中氮浓度的浓度确定过程 600 的框图,使用下面的公式:

[0185] 氮剂量 = $(\text{Si}^{+4} \text{ 原子} / (\text{cm}^2 \text{ \AA})) (\text{N}\% / \text{Si}^{+4}\%) (\text{膜厚度 } \text{\AA})$

[0186] 上述公式使用三个部分确定氮的剂量: SiO_2 中 Si^{+4} 原子密度,已知的物理特征;在测量过程中所探测的 N 和 Si^{+4} 原子浓度的比值;以及膜层的厚度。如上述氮剂量公式所示,膜层厚度,使用诸如在这里所描述的一个或更多过程被确定,在确定氮剂量方面起作用。

[0187] 确定氮氧化硅膜中氮浓度的过程 600 包括提供氮氧化硅膜的厚度(框 602)。就像上面所指出的,这个氮氧化硅膜的厚度可以使用参考图 8-13 所描述的方法或用其他的方法提供。进一步地,过程 600 识别就像在这里先前所描述的已获得氮氧化硅膜的硅峰面积(框 604)。

[0188] 进一步地,来自已获得的光谱的氮氧化硅膜的已获得的氮峰面积也被提供(框 606)。图 15 的光谱图 630 中显示了示例性的已获得的氮峰面积 632。因为基底是在其上形成待表征氮氧化硅膜的硅基底,所述氮的峰面积 632 代表氮氧化硅膜中氮的分布量。

[0189] 随着氮峰面积和硅峰面积被提供,连同膜层厚度测量,所述浓度确定过程 600 可以根据在这里所提供的所述氮剂量公式确定氮氧化硅膜的一个点的氮浓度(框 608)。

[0190] 可选择地,所述氮的浓度可以用于一个或更多不同的目标(框 610)。例如,就像在这里前面所提到的,如果这样的氮浓度从预定的界限偏离或通过预定的量改变,过程漂移可以被探测。

[0191] 所计算的氮浓度的变化既显示了膜层中氮浓度的真正变化也显示了膜层中氮浓度相对深度分布的变化。换句话说,本发明对于氮浓度的变化和氮深度分布的变化都是灵敏的。

[0192] 进一步地,所述氮浓度确定过程可以在晶片的不同位置重复,用于提供整个晶片的氮浓度一致性的确定。例如,除确定薄氮氧化硅膜的一个点的氮之外,光栅或 X 射线束扫描能够用于提供来自相对较大的点区域,例如, $(1.5\text{mm})^2$ 的测量,当样品可以移动用于提供较大区域上的测量,例如,晶片,硬盘介质,等等。如此,对于整个膜层的较大区域氮成分能够被确定。随着氮成分已知,膜层中氮的一致性的程度能够被确定,例如,整个在其上形成待表征膜层的晶片氮分布的一致性。

[0193] 就像在这里通常地描述,随着膜层的不同特征被非侵入性的产生,基于其上的一个或更多过程能够被控制。例如,就像在这里前面所描述的,所述分析系统能够连接到用于

制造薄膜的生产工具。

[0194] 这里公开的所有专利和参考文件好像个别结合一样通过它们全部参考文献结合。在前的特定实施例是本发明的阐释性实施。因此,本发明的其他对于本领域内技术人员公知的优点可以被理解,或在此公开的可以在不脱离本发明或附加的权利要求的范围内应用。

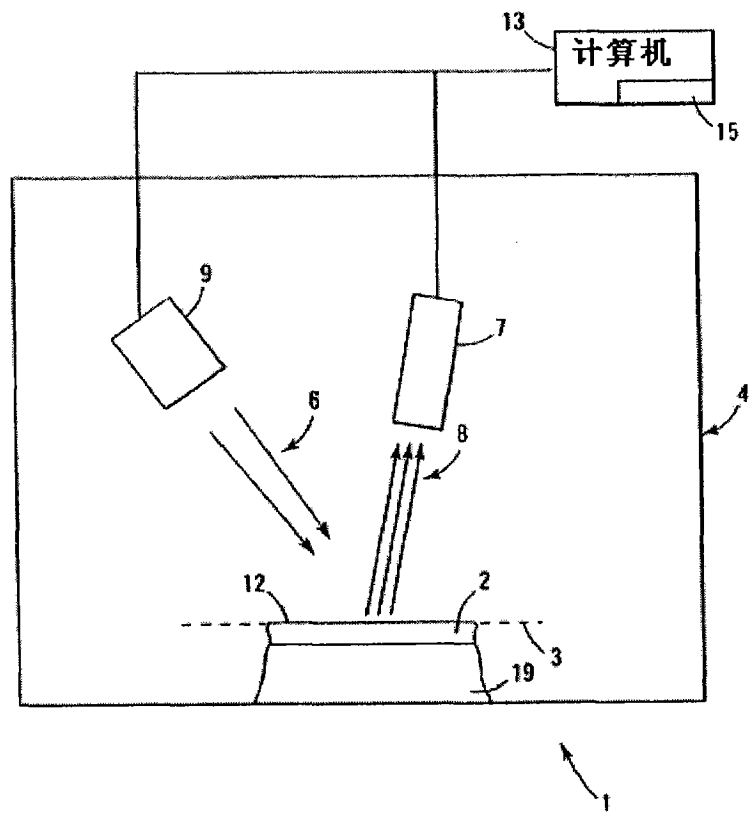


图 1

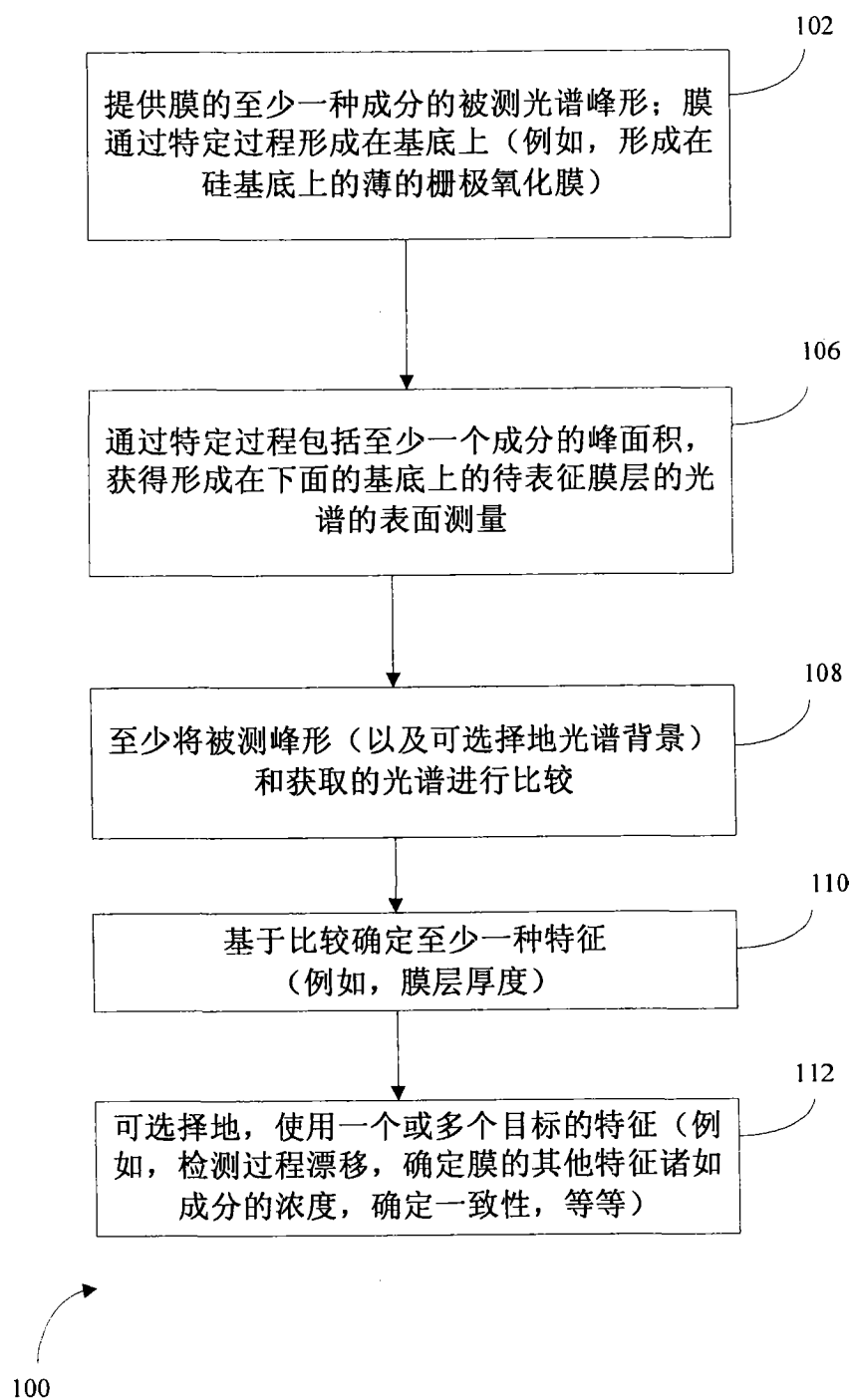


图 2

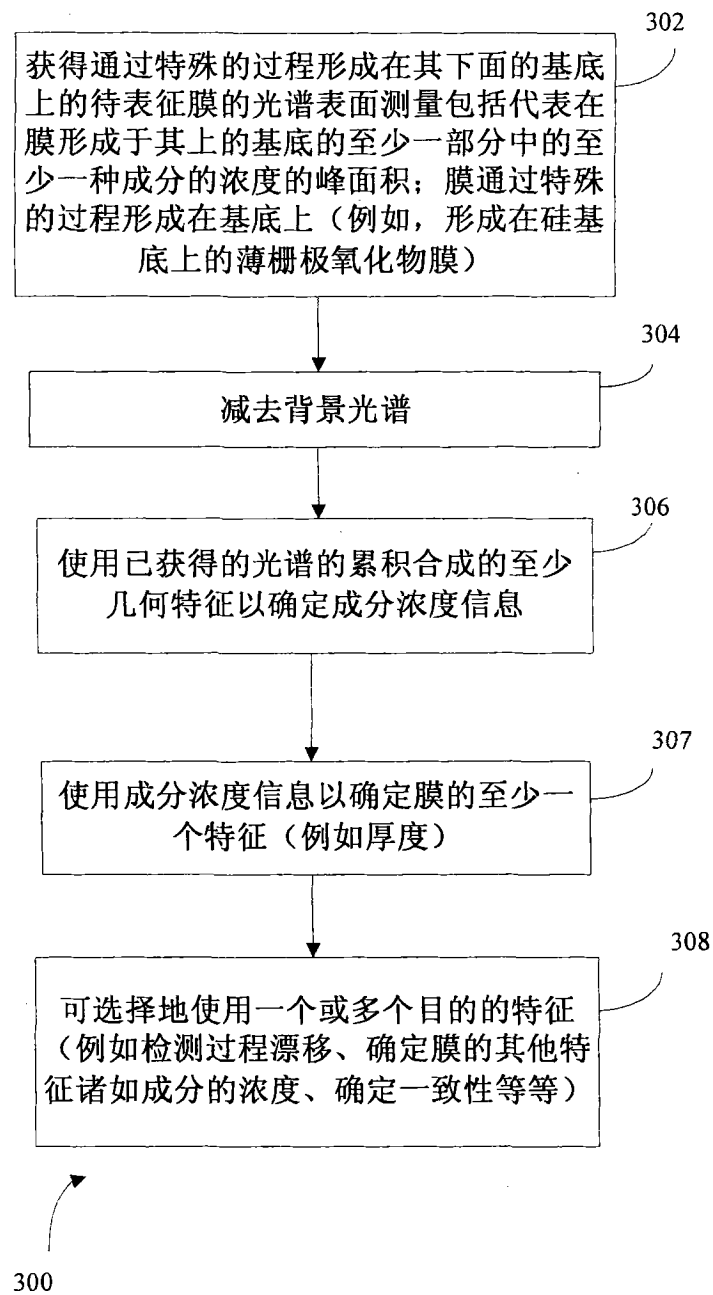


图 3

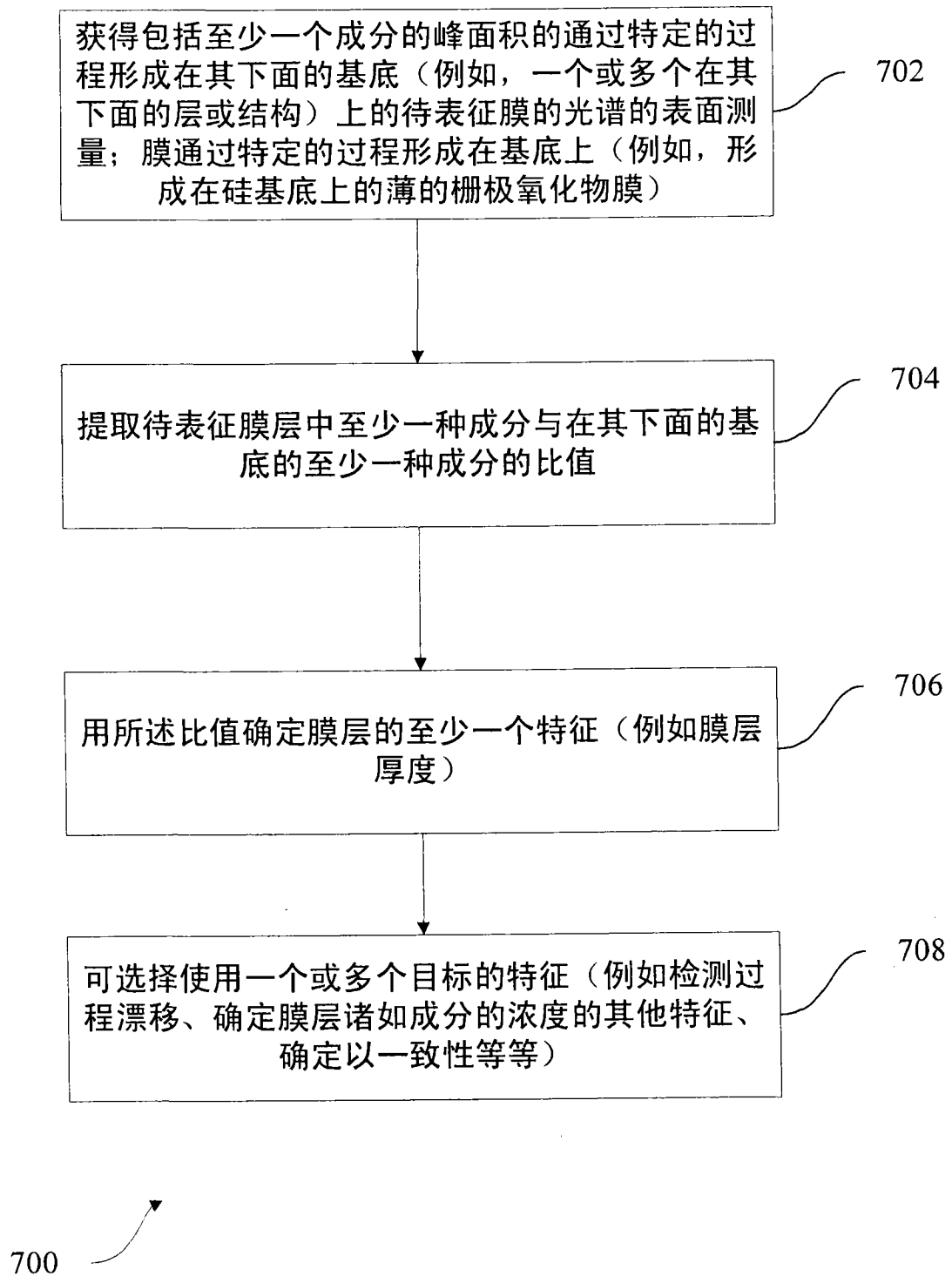


图 4

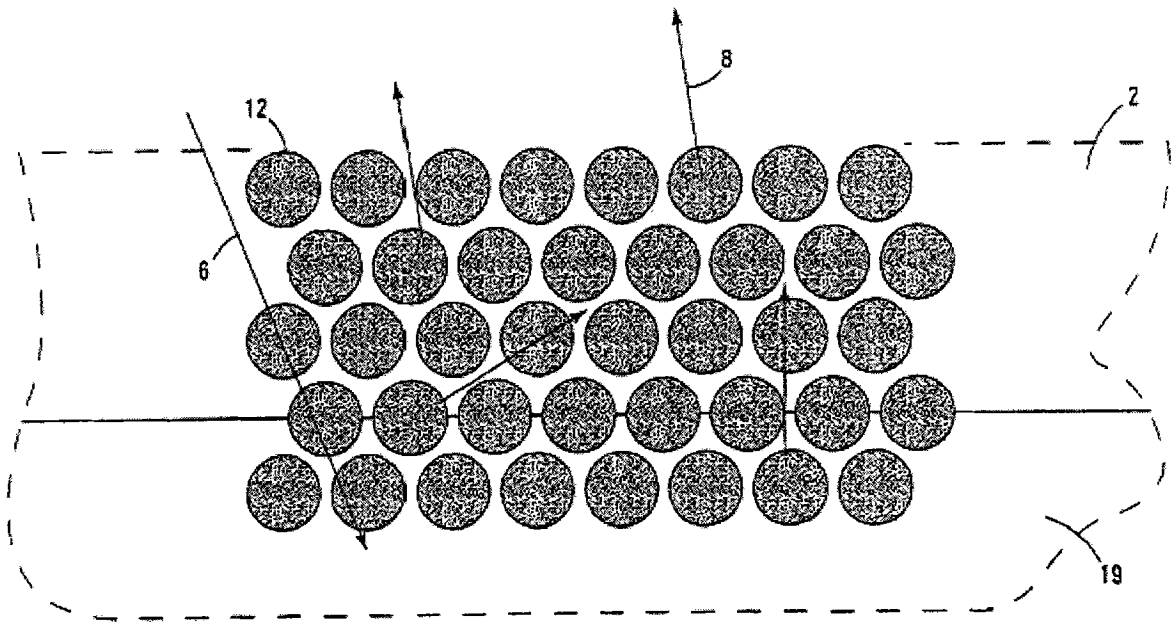


图 5

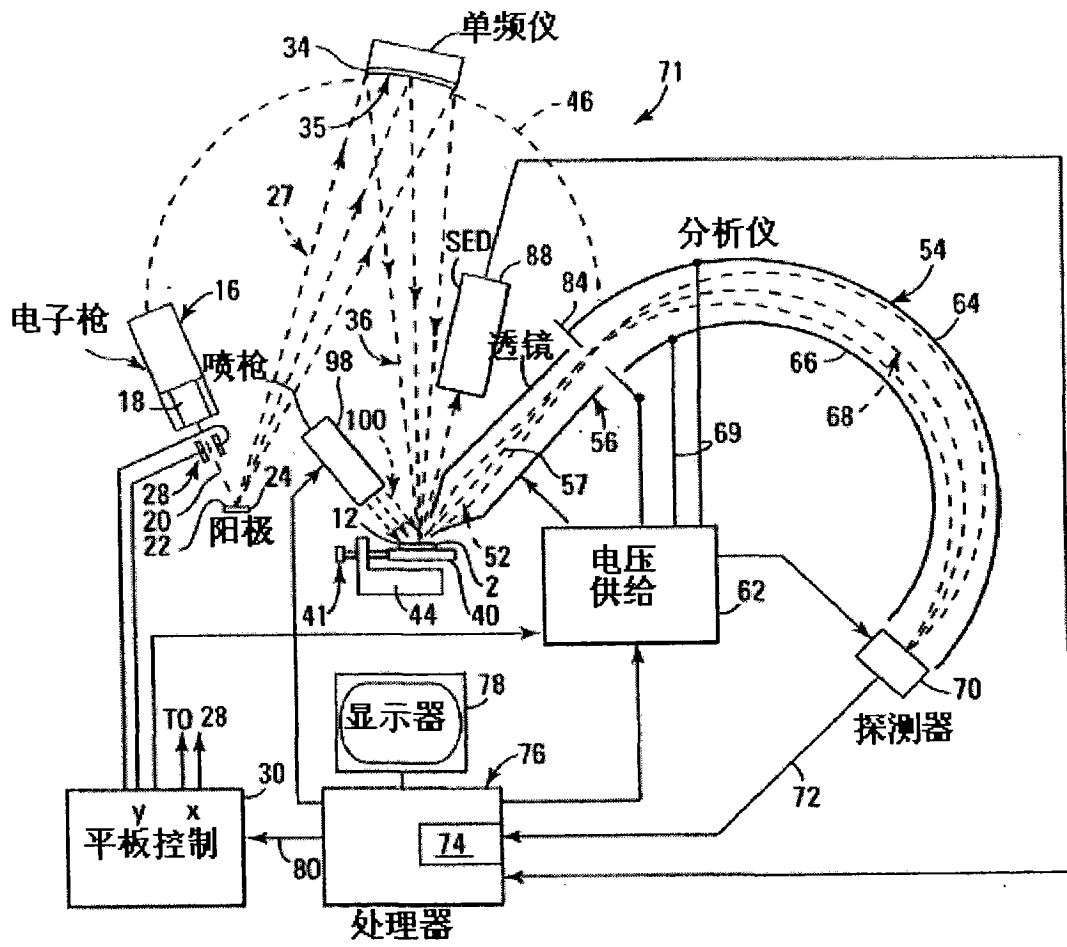


图 6

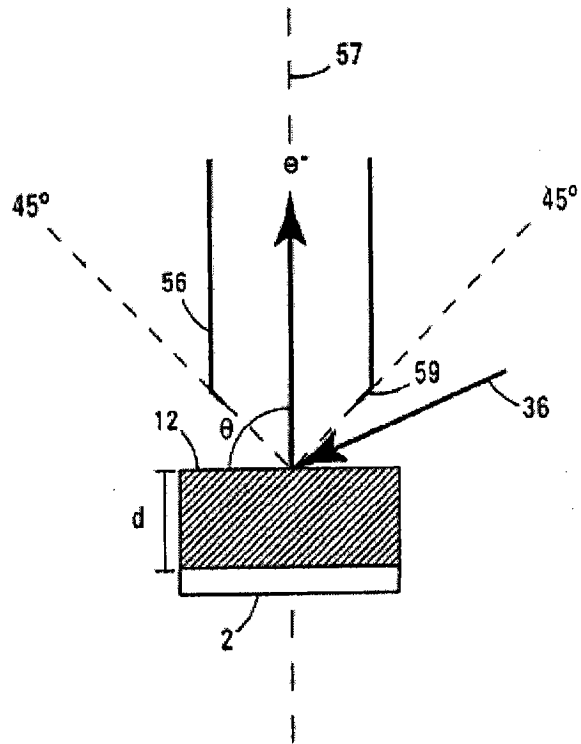


图 7A

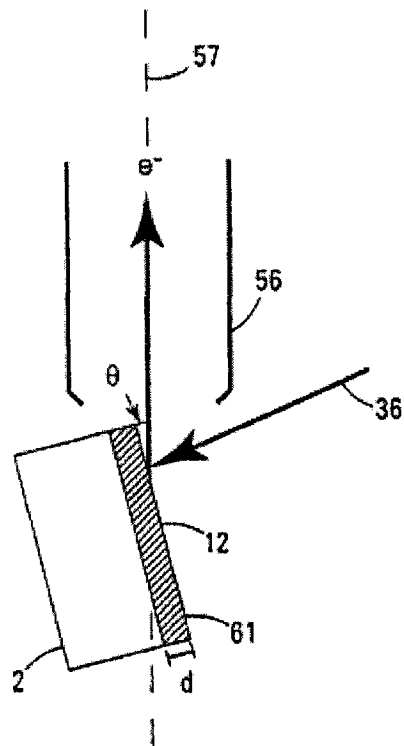


图 7B

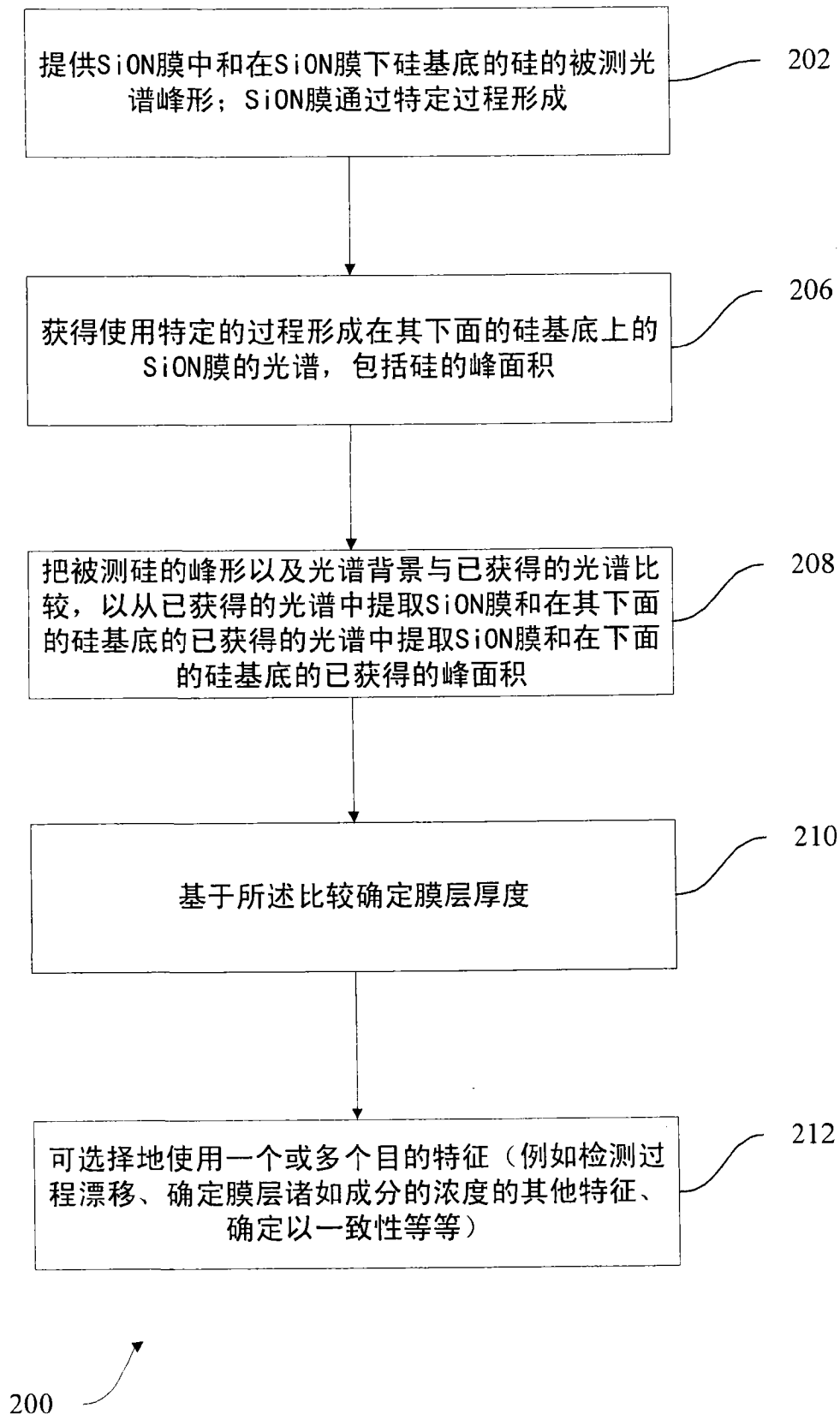


图 8 A

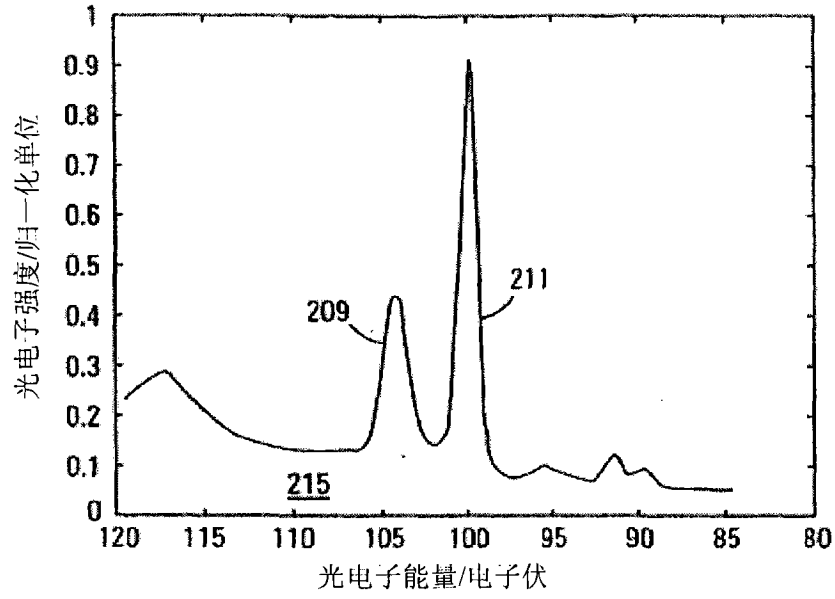


图 8B

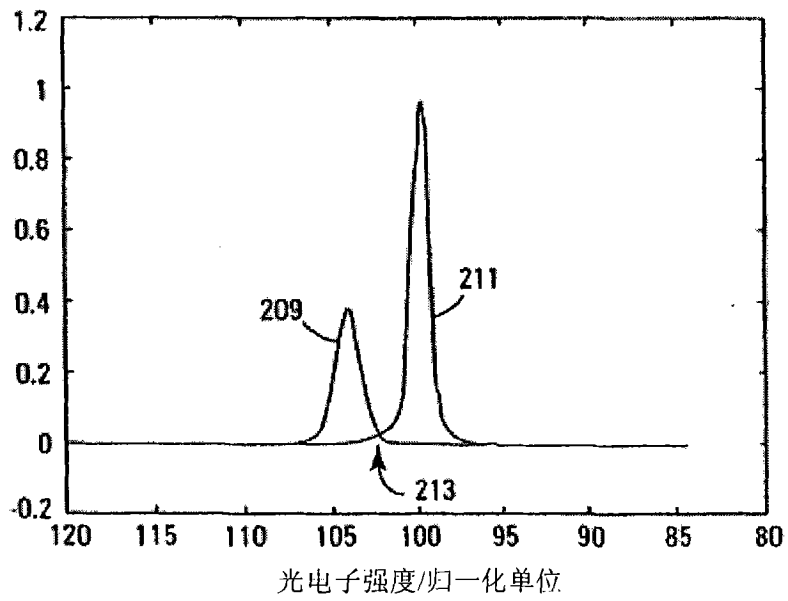


图 8C

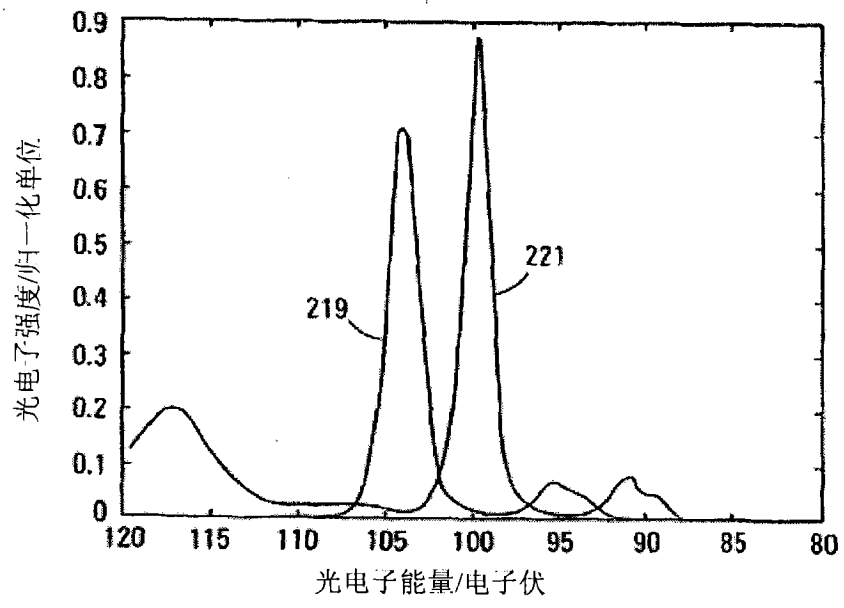


图 8D

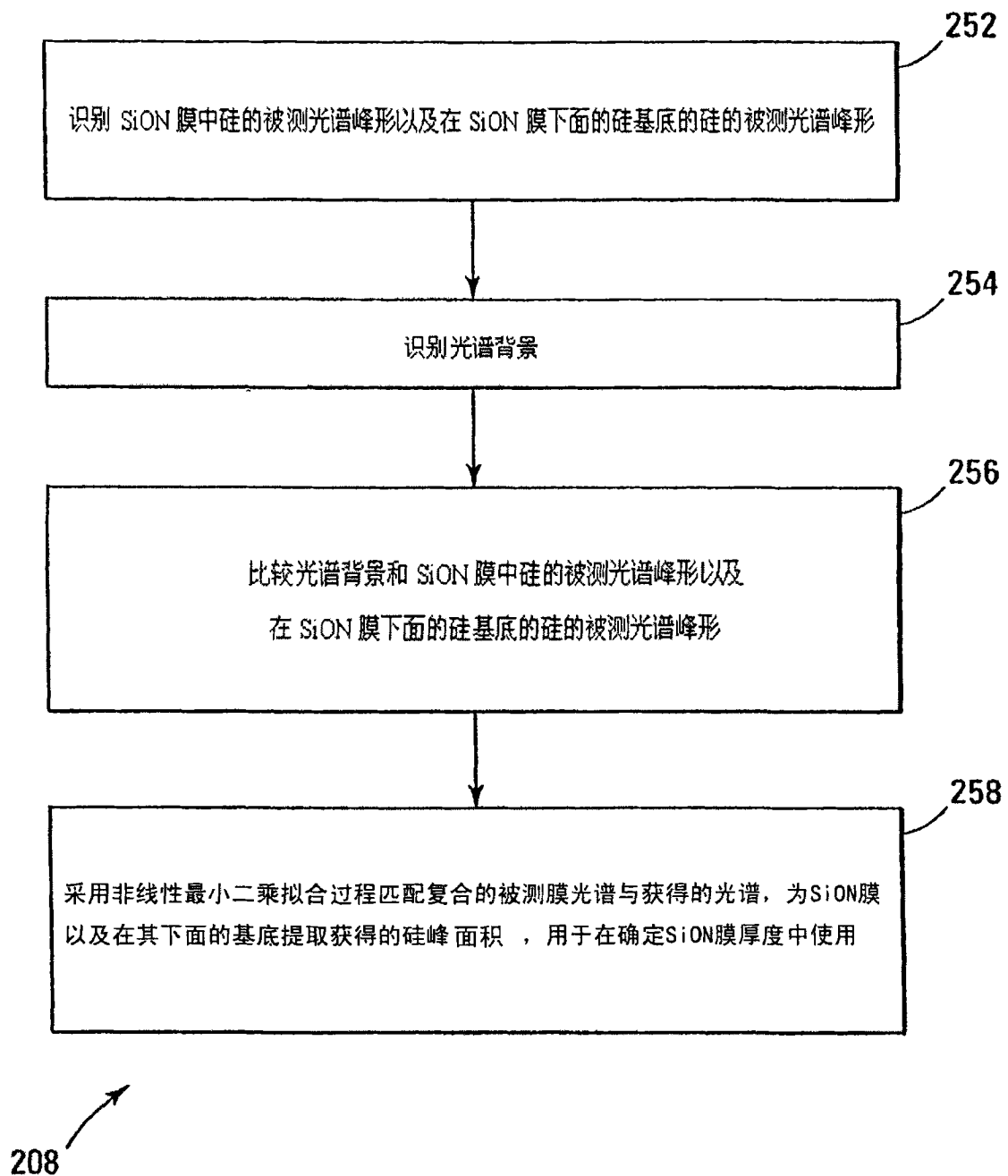


图 9

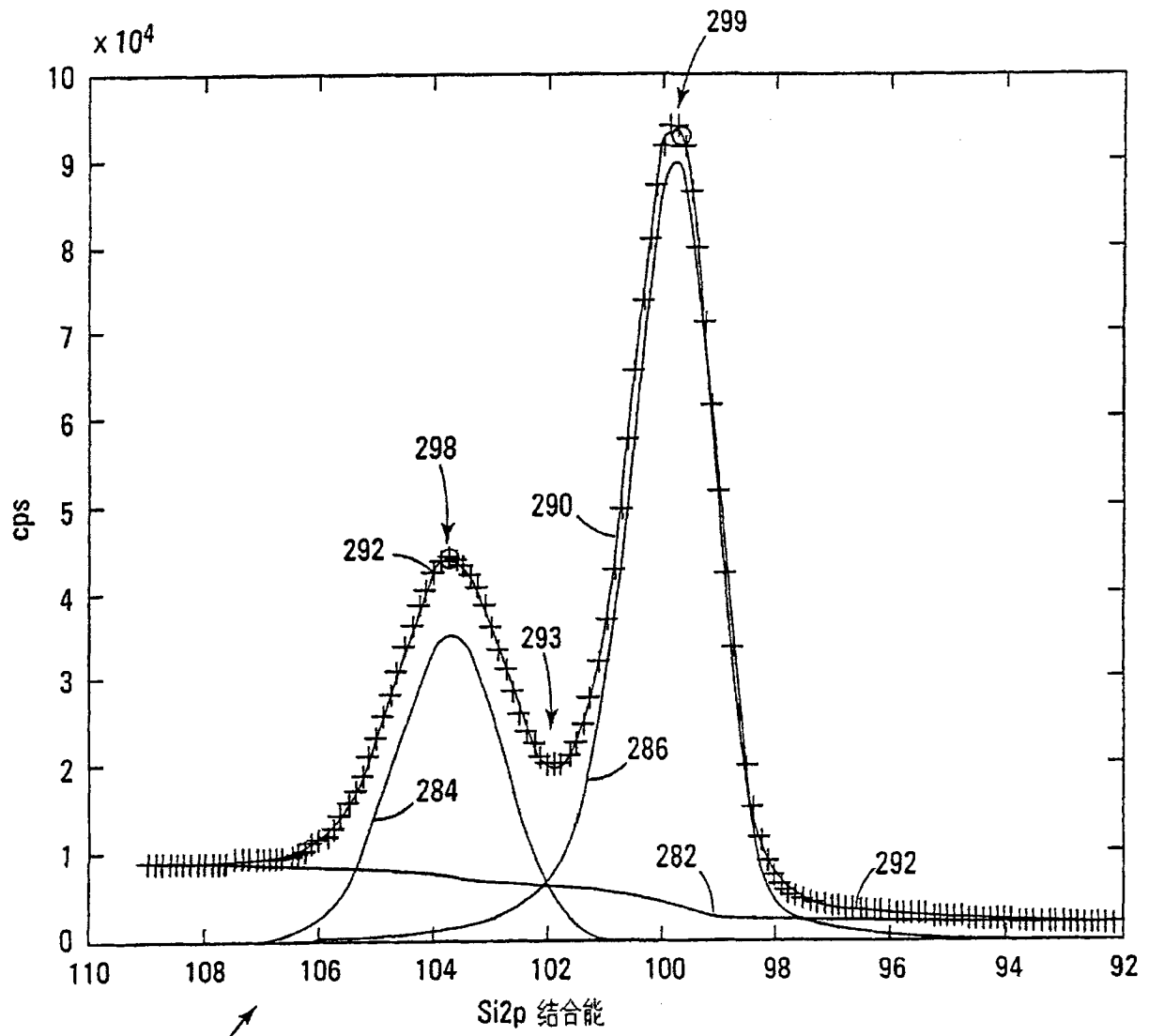


图 10

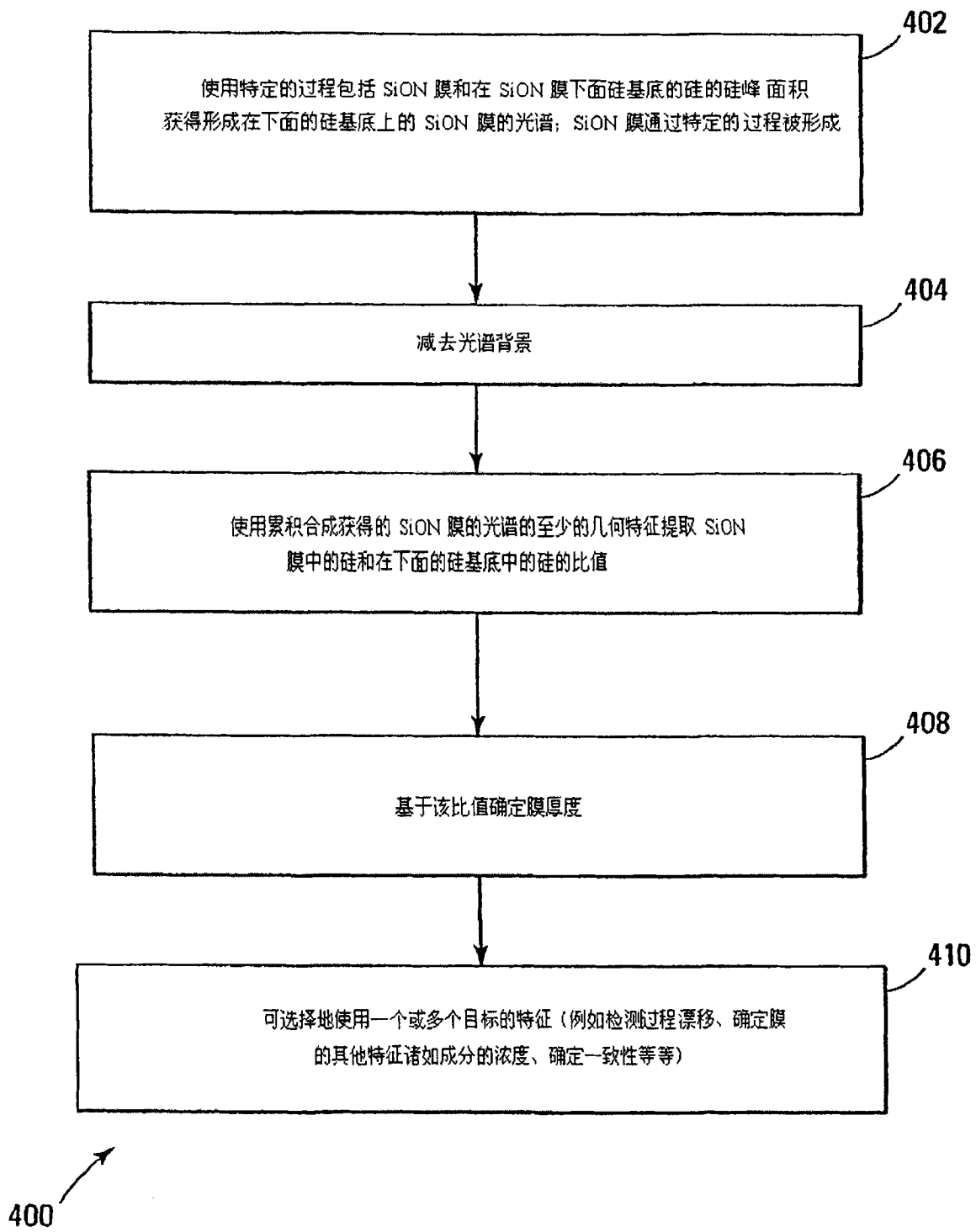


图 11

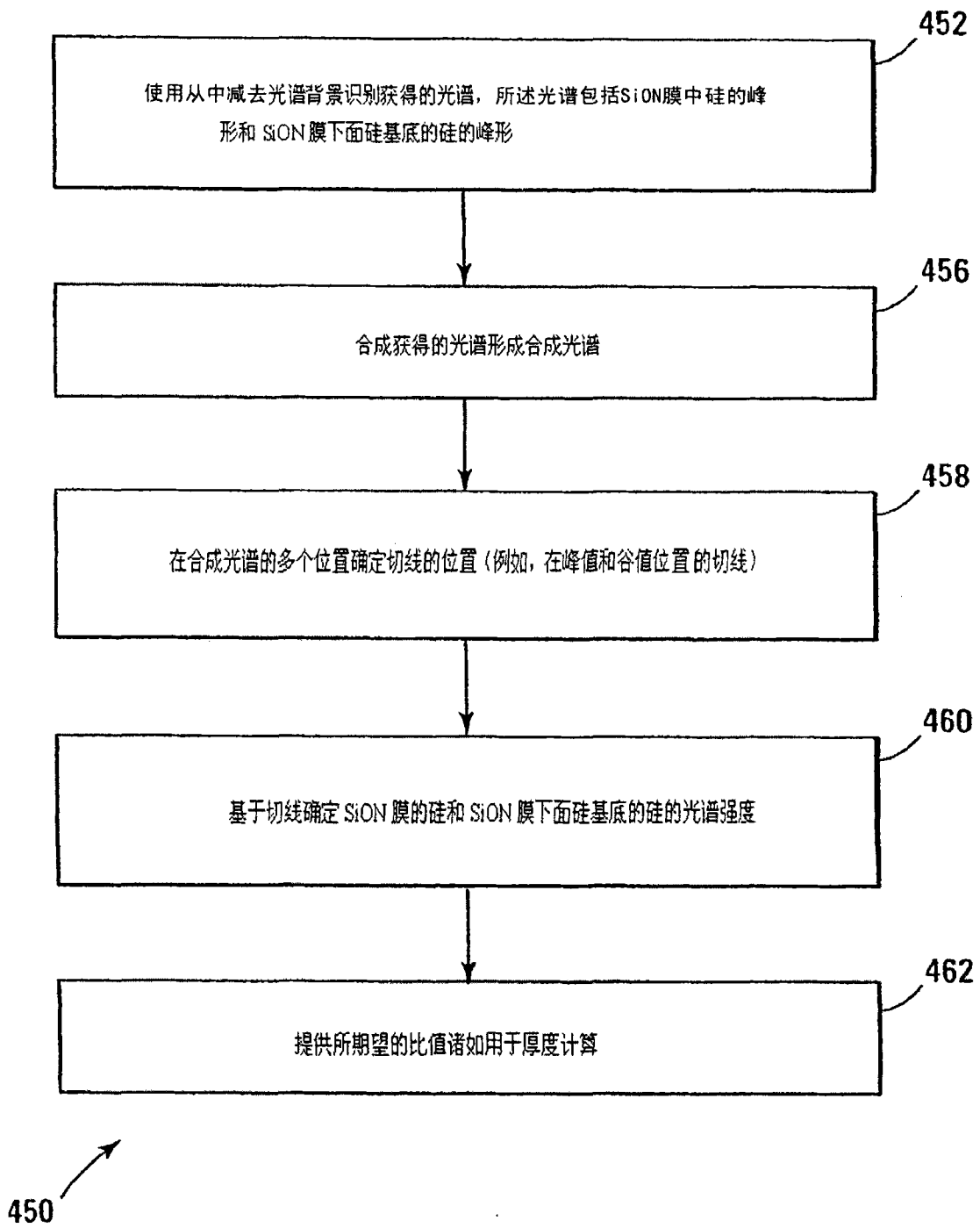


图 12

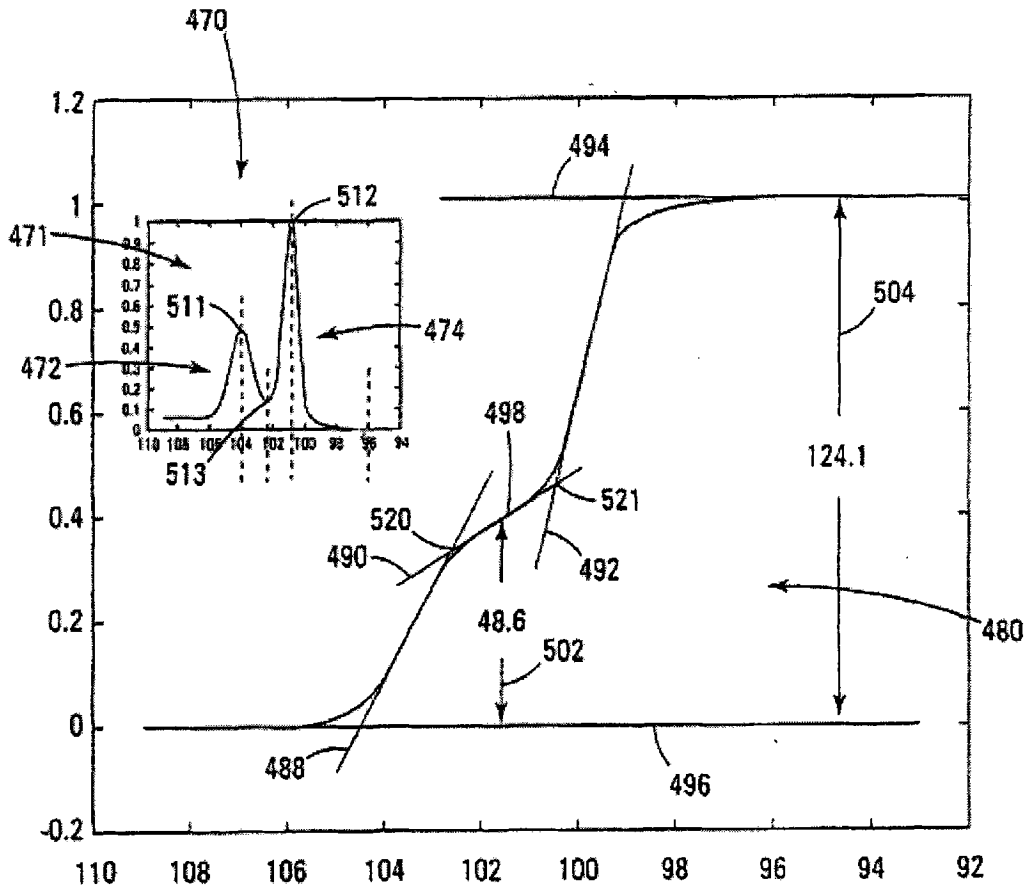


图 13

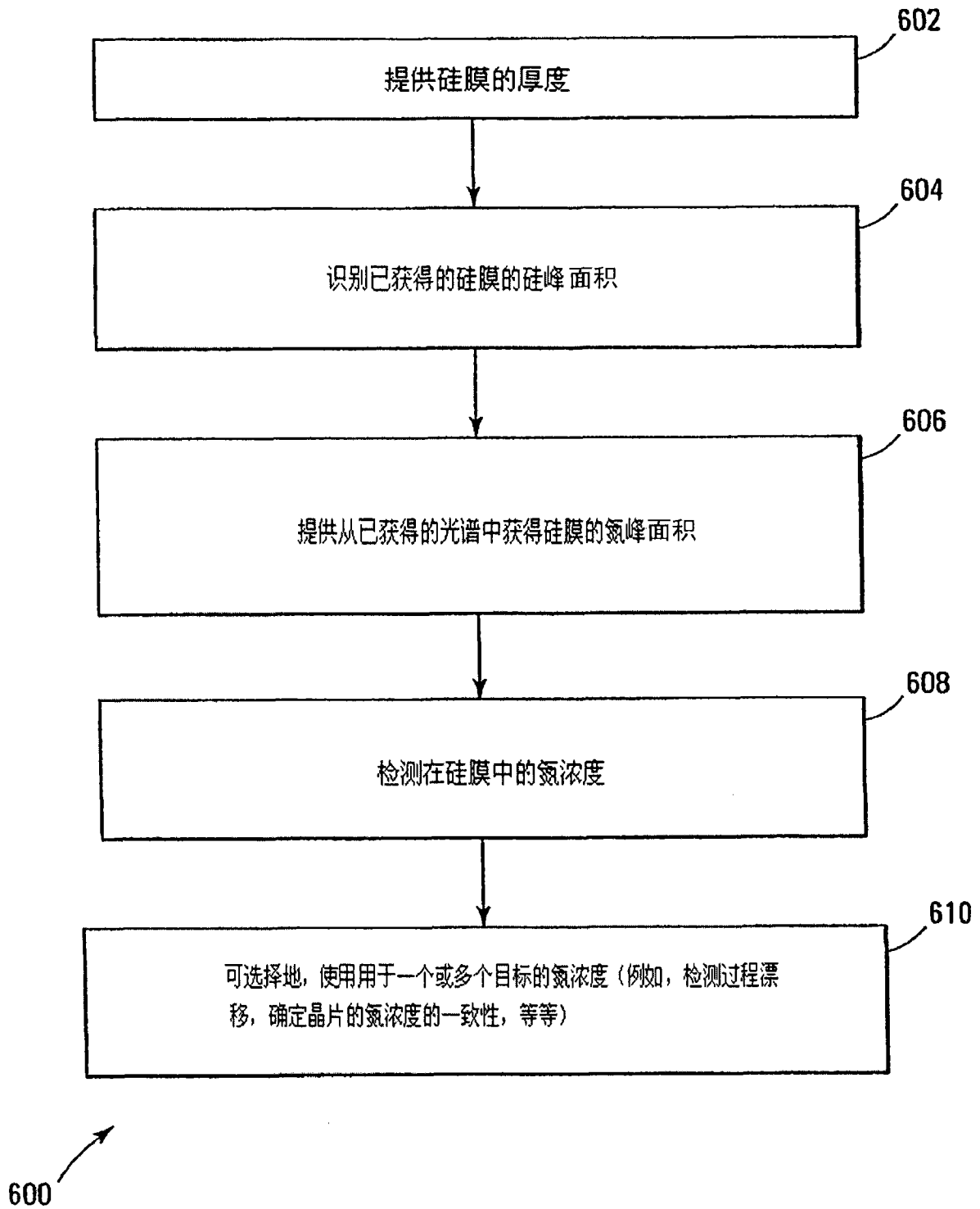


图 14

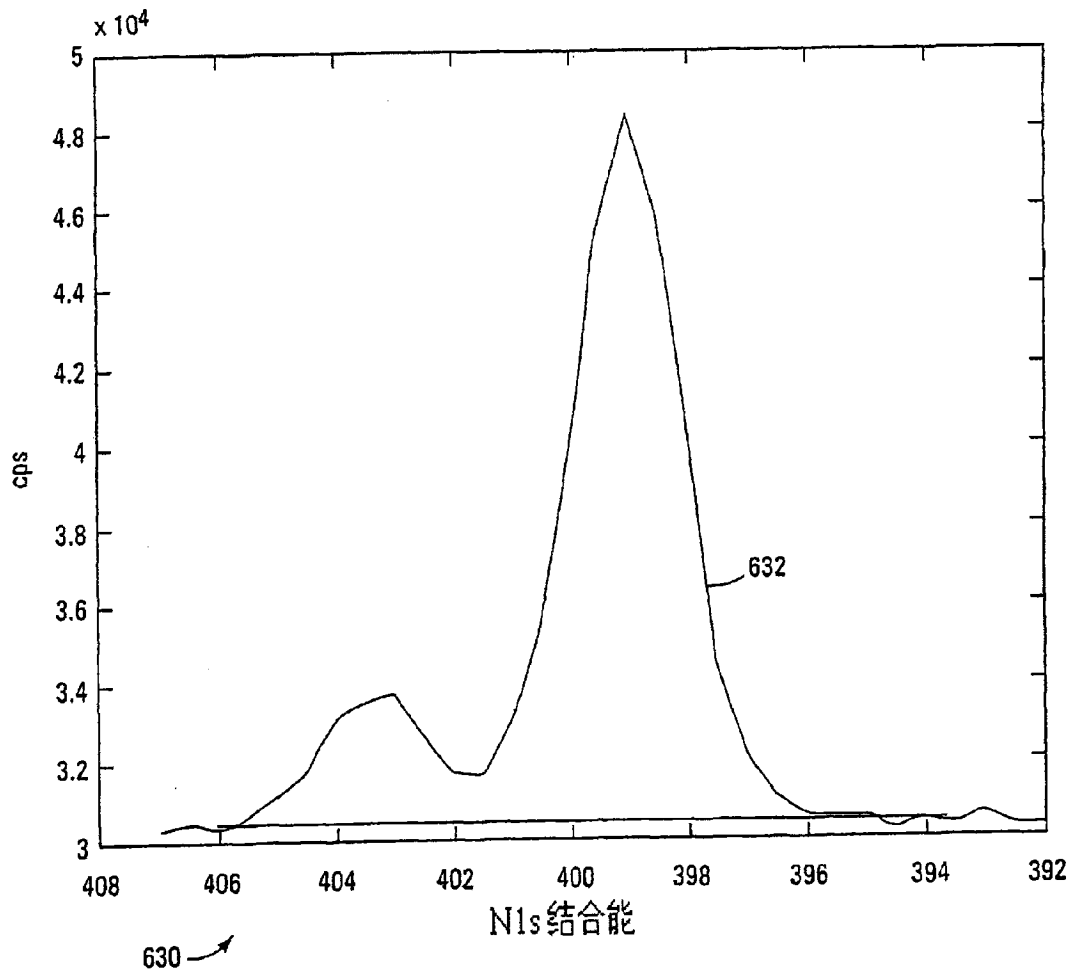


图 15