



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110301038 B

(45) 授权公告日 2021.07.09

(21) 申请号 201880011822.6

(74) 专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限

(22) 申请日 2018.01.02

责任公司 11287

(65) 同一申请的已公布的文献号

代理人 刘丽楠

申请公布号 CN 110301038 A

(51) Int.CI.

(43) 申请公布日 2019.10.01

H01L 21/66 (2006.01)

H01L 21/67 (2006.01)

(30) 优先权数据

62/442,838 2017.01.05 US

(56) 对比文件

15/480,206 2017.04.05 US

CN 102334026 A, 2012.01.25

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

CN 1688877 A, 2005.10.26

2019.08.14

CN 102804063 A, 2012.11.28

(86) PCT国际申请的申请数据

CN 102089616 A, 2011.06.08

PCT/US2018/012103 2018.01.02

US 2006159330 A1, 2006.07.20

(87) PCT国际申请的公布数据

US 2003094586 A1, 2003.05.22

W02018/128995 EN 2018.07.12

US 7304310 B1, 2007.12.04

(73) 专利权人 科磊股份有限公司

US 2015062593 A1, 2015.03.05

地址 美国加利福尼亚州

US 2015146200 A1, 2015.05.28

审查员 董蕴萱

(72) 发明人 国衡·赵 J-K·龙 M·基尔克

权利要求书6页 说明书19页 附图11页

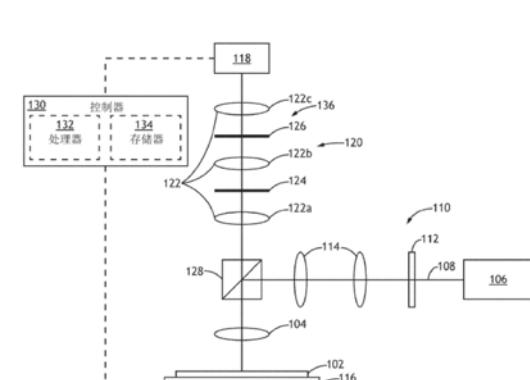
(54) 发明名称

用于缺陷材料分类的系统及方法

(57) 摘要

本发明揭示一种检验系统,其包含:照明源,其产生照明光束;聚焦元件,其将所述照明光束引导到样品;检测器;集光元件,其经配置以将从所述样品发出的辐射引导到所述检测器;检测模式控制装置,其在两个或两个以上检测模式中成像所述样品使得所述检测器基于所述两个或两个以上检测模式产生两个或两个以上集光信号;及控制器。从所述样品发出的辐射至少包含由所述样品镜面反射的辐射及由所述样品散射的辐射。所述控制器基于所述两个或两个以上集光信号确定与由所述样品上的缺陷散射的辐射相关联的缺陷散射特性。所述控制器还根据经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个缺陷散射特性对一或多个粒子分类。

B
CN 110301038 B



1. 一种用于缺陷分类的系统,其包括:

照明源,其经配置以产生照明光束;

一或多个聚焦透镜,其经配置以将所述照明光束引导到样品;

检测器;

一或多个集光透镜,其经配置以将从所述样品发出的辐射引导到所述检测器,其中从所述样品发出的所述辐射包含由所述样品镜面反射的辐射及由所述样品散射的辐射;

一或多个相位板,其配置以引入所述样品镜面反射的所述辐射及由所述样品散射的所述辐射之间的两个以上不同的所选择的相位偏移,使得所述检测器产生两个以上集光信号;及

控制器,其通信地耦合到所述检测器,所述控制器包含一或多个处理器,所述一或多个处理器经配置以执行经配置以引导所述一或多个处理器完成以下项的程序指令:

基于所述两个以上集光信号确定引入到由所述样品上的一或多个缺陷散射的所述照明光束的一或多个散射相位值;及

根据经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个散射相位值对所述一或多个缺陷分类。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中所述一或多个相位板包括:

两个以上相位板,其安装在平移载物台上,所述平移载物台通信地耦合到所述控制器,其中所述平移载物台经配置以将所述两个以上相位板循序地插入到从所述样品发出的所述辐射中以引入所述两个以上所选择的相位偏移,其中所述两个以上集光信号对应于由所述检测器响应于由所述两个以上相位板修改的从所述样品发出的所述辐射循序地产生的两个以上信号。

3. 根据权利要求1所述的系统,其进一步包括:

一或多个光束分离器,其将从所述样品发出的所述辐射分离成两个以上样品光束,其中所述一或多个相位板包括:

两个以上相位板,其中所述两个以上样品光束被引导到所述两个以上相位板以引入所述两个以上所选择的相位偏移,其中所述两个以上集光信号对应于由所述检测器的两个以上检测器组合件响应于由所述两个以上相位板修改的从所述样品发出的所述辐射产生的两个以上信号。

4. 根据权利要求1所述的系统,其中所述一或多个相位板包括:

平移载物台,用以固定所述样品,其中所述平移载物台通信地耦合到所述控制器,其中所述平移载物台经配置以沿着所述一或多个聚焦透镜的光轴将所述样品平移到两个以上焦点位置以引入所述两个以上不同所选择的相位偏移,其中所述两个以上集光信号对应于由所述检测器在所述两个以上焦点位置处产生的两个以上信号。

5. 根据权利要求1所述的系统,其进一步包括:

一或多个孔径,其经配置以基于从所述样品发出的所述辐射在所述检测器上循序地产生明场图像作为所述两个以上集光信号的第一集光信号,且基于从所述样品发出的所述辐射在所述检测器上循序地产生暗场图像作为所述两个以上集光信号的第二集光信号。

6. 根据权利要求1所述的系统,其中所述两个以上集光信号中的至少第一者包括:

干式图像,其中所述两个以上集光信号中的至少一者包括:

水浸润图像。

7. 根据权利要求1所述的系统,其进一步包括:
衰减板,其经配置以相对于由所述样品散射的辐射降低由所述样品镜面反射的辐射的强度。
8. 根据权利要求1所述的系统,其中所述经预先确定缺陷分类集包括:
金属、电介质或有机材料中的至少一者。
9. 根据权利要求1所述的系统,其中所述经预先确定缺陷分类集包括:
银、铝、金、铜、铁、钼、钨、锗、硅、硝酸硅或二氧化硅中的至少一者。
10. 根据权利要求1所述的系统,其中从所述样品发出的所述辐射进一步包含荧光辐射,其中所述一或多个处理器进一步经配置以:
基于所述两个以上集光信号确定与由所述样品上的一或多个缺陷产生的辐射相关联的一或多个荧光强度值;且
根据经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个荧光强度值对所述一或多个缺陷分类。
11. 根据权利要求1所述的系统,其中所述照明光束包括:
环形照明光束。
12. 根据权利要求11所述的系统,其中所述照明光束包括:
空间上非相干照明光束。
13. 根据权利要求11所述的系统,其中所述照明源包括:
窄带照明源。
14. 根据权利要求13所述的系统,其中所述照明源包括:
斑纹抑制激光源。
15. 根据权利要求11所述的系统,其中所述照明源包括:
宽带照明源。
16. 根据权利要求15所述的系统,其中所述宽带照明源包括:
非相干灯源。
17. 根据权利要求15所述的系统,其中所述宽带照明源包括:
可调谐宽带照明源。
18. 根据权利要求11所述的系统,其中所述照明光束包括:
空间上相干照明光束。
19. 根据权利要求18所述的系统,其中所述照明光束包括:
激光源。
20. 根据权利要求19所述的系统,其中所述激光源包括:
可调谐激光源。
21. 根据权利要求1所述的系统,其中所述系统进一步包含经配置以相对于由所述样品上的所述一或多个缺陷散射的辐射抑制由所述样品的表面散射的辐射的所述一或多个集光透镜的光瞳平面中的偏光器掩模。
22. 根据权利要求21所述的系统,其中所述照明光束包括:
单个准直照明光束。
23. 根据权利要求21所述的系统,其中所述检测器包括:
时延积分TDI检测器。

24. 根据权利要求1所述的系统,其中所述一或多个聚焦透镜及所述一或多个集光透镜共享至少一个共同透镜。

25. 根据权利要求1所述的系统,其中所述一或多个相位板包括:

可变相位板,其安装在平移载物台上,所述平移载物台通信地耦合到所述控制器,其中所述平移载物台经配置以相对于从所述样品发出的所述辐射循序地修改所述可变相位板的位置以引入所述两个以上所选择的相位偏移,其中所述两个以上集光信号对应于由所述检测器响应于由所述可变相位板修改的从所述样品发出的所述辐射循序地产生的两个以上信号。

26. 一种用于缺陷分类的系统,其包括:

照明源,其经配置以产生照明光束;

一或多个聚焦元件,其经配置以将所述照明光束引导到样品;

检测器;

一或多个集光元件,其经配置以将从所述样品发出的辐射引导到所述检测器,其中从所述样品发出的所述辐射包含由所述样品镜面反射的辐射及由所述样品散射的辐射;

平移载物台,用以固定所述样品,其中所述平移载物台经配置以将所述样品沿着所述一或多个聚焦透镜的光轴将所述样品平移到两个以上焦点位置以引入由所述样品镜面反射的所述辐射与由所述样品散射的所述辐射之间的两个以上不同所选择的相位偏移使得所述检测器在所述两个以上焦点位置处产生两个以上集光信号;及

控制器,其通信地耦合到所述检测器以及所述平移载物台,所述控制器包含一或多个处理器,所述一或多个处理器经配置以执行经配置以引导所述一或多个处理器完成以下项的程序指令:

基于所述两个以上集光信号确定引入到由所述样品上的一或多个缺陷散射的所述照明光束的一或多个散射相位值;及

根据经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个散射相位值对所述一或多个缺陷分类。

27. 一种用于缺陷分类的系统,其包括:

照明源,其经配置以产生照明光束;

一或多个聚焦透镜,其经配置以将所述照明光束引导到样品;

检测器;

一或多个集光透镜,其经配置以将从所述样品发出的辐射引导到所述检测器,其中从所述样品发出的所述辐射包含由所述样品镜面反射的辐射及由所述样品散射的辐射;

检测模式控制装置,其经配置以基于从所述样品发出的所述辐射在所述检测器上循序地产生明场图像作为明场集光信号且基于从所述样品发出的所述辐射在所述检测器上循序地产生暗场图像作为暗场集光信号;及

控制器,其通信地耦合到所述检测器,所述控制器包含一或多个处理器,所述一或多个处理器经配置以执行经配置以引导所述一或多个处理器完成以下项的程序指令:

比较所述明场集光信号与所述暗场集光信号以检测所述样品上的一或多个缺陷;

基于所述明场集光信号中的所述一或多个缺陷的信号强度来为所述一或多个缺陷确定缺陷吸收值;

基于所述暗场集光信号中的所述一或多个缺陷的信号强度来为所述一或多个缺陷确

定散射强度值；且

根据经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个缺陷的所述缺陷吸收值和所述散射强度值对所述一或多个缺陷分类。

28. 一种用于缺陷分类的系统，其包括：

照明源，其经配置以产生照明光束；

一或多个聚焦透镜，其经配置以将所述照明光束引导到样品；

检测器；

一或多个集光透镜，其经配置以将从所述样品发出的辐射引导到所述检测器，其中从所述样品发出的所述辐射包含由所述样品镜面反射的辐射及由所述样品散射的辐射；

腔室，其经配置以含有所述样品以及浸润介质；及

控制器，其通信地耦合到所述检测器，所述控制器包含所述一或多个处理器，所述一或多个处理器经配置以执行经配置以引导所述一或多个处理器完成以下项的程序指令：

从所述检测器接收借助于包含气体的所述浸润介质产生的干式集光信号；

从所述检测器接收借助于包含液体的所述浸润介质产生的浸润集光信号；

比较所述干式集光信号与所述浸润集光信号以检测所述样品上的一或多个缺陷；且

根据经预先确定缺陷分类集基于所述干式集光信号与所述浸润集光信号的所述比较对所述一或多个缺陷分类。

29. 一种用于缺陷分类的方法，其包括：

使用照明光束照明样品；

使用两个以上检测模式收集从所述样品发出的辐射，其中从所述样品发出的所述辐射包含从所述样品镜面反射的辐射及从所述样品散射的辐射；

引入由所述样品镜面反射的所述辐射及由所述样品散射的所述辐射之间的两个以上不同的所选择的相位偏移以产生两个以上集光信号；

基于所述两个以上集光信号确定引入到由所述样品上的一或多个缺陷散射的所述照明光束的一或多个缺陷散射相位值；及

根据所选择的经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个散射相位值对所述一或多个缺陷分类。

30. 一种用于缺陷分类的系统，其包括：

照明源，其经配置以产生照明光束；

一或多个聚焦透镜，其经配置以将所述照明光束引导到样品；

检测器；

一或多个集光透镜，其经配置以将从所述样品发出的辐射引导到所述检测器，其中从所述样品发出的所述辐射包含由所述样品散射的辐射；

相位控制装置，其经配置以将两个以上所选择的相位偏移引入由所述样品散射的辐射中，其中所述相位控制装置包含以下至少一者：相位板选择器、一或多个光束分离器、或平移载物台；及

控制器，其通信地耦合到所述检测器，所述控制器包含所述一或多个处理器，所述一或多个处理器经配置以执行经配置以引导所述一或多个处理器完成以下项的程序指令：

基于两个以上集光信号确定引入到由所述样品上的一或多个缺陷散射的所述照明光

束的一或多个散射相位值；及

根据经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个散射相位值对所述一或多个缺陷分类。

31. 根据权利要求30所述的系统，

其中，所述相位板选择器通信地耦合到所述控制器，其中所述相位板选择器经配置以将两个以上相位板循序地插入到从所述样品发出的所述辐射中以引入所述两个以上所选择的相位偏移，其中所述两个以上集光信号对应于由所述检测器响应于由所述两个以上相位板修改的从所述样品发出的所述辐射循序地产生的两个以上信号。

32. 根据权利要求30所述的系统，

其中，所述一或多个光束分离器经配置以将从所述样品发出的所述辐射分离成被引导到两个以上相位板以引入所述两个以上所选择的相位偏移的两个以上样品光束，其中所述两个以上集光信号对应于由所述检测器的两个以上检测器组件响应于由所述两个以上相位板修改的从所述样品发出的所述辐射产生的两个以上信号。

33. 根据权利要求30所述的系统，

其中，所述平移载物台经配置以固定所述样品，其中所述平移载物台通信地耦合到所述控制器，其中所述平移载物台经配置以沿着所述一或多个聚焦透镜的光轴将所述样品平移到两个以上焦点位置以引入所述两个以上不同所选择的相位偏移，其中所述两个以上集光信号对应于由所述检测器在所述两个以上焦点位置处产生的两个以上信号。

34. 根据权利要求30所述的系统，其中所述经预先确定缺陷分类集包括：

金属、电介质或有机材料中的至少一者。

35. 根据权利要求30所述的系统，其中所述经预先确定缺陷分类集包括：

银、铝、金、铜、铁、钼、钨、锗、硅、硝酸硅或二氧化硅中的至少一者。

36. 根据权利要求30所述的系统，其中所述照明光束包括：

环形照明光束。

37. 根据权利要求36所述的系统，其中所述照明光束包括：

空间上非相干照明光束。

38. 根据权利要求36所述的系统，其中所述照明源包括：

窄带照明源。

39. 根据权利要求38所述的系统，其中所述照明源包括：

斑纹抑制激光源。

40. 根据权利要求36所述的系统，其中所述照明源包括：

宽带照明源。

41. 根据权利要求40所述的系统，其中所述宽带照明源包括：

非相干灯源。

42. 根据权利要求40所述的系统，其中所述宽带照明源包括：

可调谐宽带照明源。

43. 根据权利要求36所述的系统，其中所述照明光束包括：

空间上相干照明光束。

44. 根据权利要求43所述的系统，其中所述照明光束包括：

激光源。

45. 根据权利要求44所述的系统,其中所述激光源包括:
可调谐激光源。

46. 根据权利要求30所述的系统,其中所述系统进一步包含经配置以相对于由所述样品上的所述一或多个缺陷散射的辐射抑制由所述样品的表面散射的辐射的所述一或多个集光元件的光瞳平面中的偏光器掩模。

47. 根据权利要求46所述的系统,其中所述照明光束包括:
单个准直照明光束。

48. 根据权利要求30所述的系统,其中所述检测器包括:
时延积分TDI检测器。

49. 根据权利要求30所述的系统,其中所述一或多个聚焦透镜及所述一或多个集光元件共享至少一个共同元件。

50. 一种用于缺陷分类的系统,其包括:

相位控制装置,其经配置以将两个以上所选择的相位偏移引入由样品散射的辐射中,其中所述相位控制装置包含以下至少一者:相位板选择器、一或多个光束分离器、或平移载物台;及

控制器,所述控制器包含一或多个处理器,所述一或多个处理器经配置以执行经配置以引导所述一或多个处理器完成以下项的程序指令:

基于两个以上集光信号确定引入到由所述样品上的一或多个缺陷散射的照明光束的一或多个散射相位值;及

根据经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个散射相位值对所述一或多个缺陷分类。

51. 一种用于缺陷分类的方法,其包括:

使用照明光束照明样品;

将两个以上所选择的相位偏移引入由所述样品散射的辐射中;

收集从对应于两个以上所选择的相位偏移的所述样品发出的辐射以产生两个以上集光信号;

基于所述两个以上集光信号确定引入到由所述样品上的一或多个缺陷散射的所述照明光束的一或多个散射相位值;及

根据经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个散射相位值对所述一或多个缺陷分类。

用于缺陷材料分类的系统及方法

[0001] 相关申请案的交叉参考

[0002] 本申请案根据35U.S.C. §119 (e) 规定主张2017年1月5日申请的以赵国恒 (Guoheng Zhao)、梁J.K. (J.K. Leong) 及麦克科克 (Mike Kirk) 为发明者的标题为“缺陷材料分类 (DEFECT MATERIAL CLASSIFICATION)”的序列号为62/442,838的美国临时申请案的权益，所述申请案以全文引用的方式并入本文中。

技术领域

[0003] 本发明大体上涉及缺陷材料分类，且更特定来说，涉及基于缺陷散射特性对缺陷材料分类。

背景技术

[0004] 通常高度控制半导体制造环境以抑制可干扰制造工艺或使经制造装置的性能降级的外界材料对晶片的污染。通常使用检验系统以在衬底上定位缺陷 (例如(但不限于)外界粒子) 用于筛选及避免测量。举例来说，可在生产之前筛选未经处理晶片以仅选择适合晶片或在用于生产的晶片上识别缺陷位点。可额外地期望对经识别缺陷的材料组成分类以确定贯穿制造工艺的适当清洁或避免步骤。然而，经制造特征件的大小的减小驱动检测衬底上的越来越小的缺陷且对所述越来越小的缺陷分类的需要，其可对检验系统的灵敏度及处理量提出挑战。因此，迫切需要开发用以在晶片检验系统中检测小粒子的系统及方法。

发明内容

[0005] 揭示一种根据本发明的一或多个说明性实施例的检验系统。在一个说明性实施例中，所述系统包含用以产生照明光束的照明源。在另一说明性实施例中，所述系统包含用以将所述照明光束引导到样品的一或多个聚焦元件。在另一说明性实施例中，所述系统包含检测器。在另一说明性实施例中，所述系统包含经配置以将从所述样品发出的辐射引导到所述检测器的一或多个集光元件。在另一说明性实施例中，从所述样品发出的所述辐射包含由所述样品镜面反射的辐射及由所述样品散射的辐射。在另一说明性实施例中，所述系统包含检测模式控制装置，所述检测模式控制装置在两个或两个以上检测模式中成像所述样品使得所述检测器基于所述两个或两个以上检测模式产生两个或两个以上集光信号。在另一说明性实施例中，所述系统包含控制器。在另一说明性实施例中，所述控制器基于所述两个或两个以上集光信号确定与由所述样品上的一或多个缺陷散射的辐射相关联的一或多个缺陷散射特性。在另一说明性实施例中，所述一或多个缺陷散射特性包含散射相位、散射强度或缺陷吸收中的至少一者。在另一说明性实施例中，所述控制器根据经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个缺陷散射特性对所述一或多个缺陷分类。

[0006] 揭示一种根据本发明的一或多个说明性实施例的检验系统。在一个说明性实施例中，所述系统包含用以产生照明光束的照明源。在另一说明性实施例中，所述系统包含经配置以将所述照明光束引导到样品的一或多个聚焦元件。在另一说明性实施例中，所述系统

包含检测器。在另一说明性实施例中,所述系统包含用以将从所述样品发出的辐射引导到所述检测器的一或多个集光元件。在另一说明性实施例中,从所述样品发出的所述辐射包含由所述样品镜面反射的辐射及由所述样品散射的辐射。在另一说明性实施例中,所述系统包含相位控制装置,所述相位控制装置引入由所述样品镜面反射的所述辐射与由所述样品散射的所述辐射之间的两个或两个以上不同所选择的相位偏移使得所述检测器产生两个或两个以上集光信号。在另一说明性实施例中,所述系统包含控制器。在另一说明性实施例中,所述控制器基于所述两个或两个以上集光信号确定引入到由所述样品上的一或多个缺陷散射的所述照明光束的一或多个散射相位值。在另一说明性实施例中,所述控制器根据经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个散射相位值对所述一或多个缺陷分类。

[0007] 揭示一种根据本发明的一或多个说明性实施例的检验系统。在一个说明性实施例中,所述系统包含用以产生照明光束的照明源。在另一说明性实施例中,所述系统包含用以将所述照明光束引导到样品的一或多个聚焦元件。在另一说明性实施例中,所述系统包含检测器。在另一说明性实施例中,所述系统包含用以将从所述样品发出的辐射引导到所述检测器的一或多个集光元件。在另一说明性实施例中,从所述样品发出的所述辐射包含由所述样品镜面反射的辐射及由所述样品散射的辐射。在另一说明性实施例中,所述系统包含检测模式控制装置,所述检测模式控制装置经配置以基于从所述样品发出的所述辐射在所述检测器上循序地产生干式图像作为干式集光信号且基于从浸润装置中含有的所述样品发出的所述辐射在所述检测器上循序地产生水浸润图像作为浸润集光信号。在另一说明性实施例中,所述系统包含控制器。在另一说明性实施例中,所述控制器比较所述干式集光信号与所述浸润集光信号以检测所述样品上的一或多个缺陷。在另一说明性实施例中,所述控制器根据经预先确定缺陷分类集基于所述干式集光信号与所述浸润集光信号的所述比较对所述一或多个缺陷分类。

[0008] 揭示一种根据本发明的一或多个说明性实施例的用于缺陷分类的方法。在一个说明性实施例中,所述方法包含使用照明光束照明样品。在另一说明性实施例中,所述方法包含使用两个或两个以上检测模式收集从所述样品发出的辐射以产生两个或两个以上集光信号。在另一说明性实施例中,从所述样品发出的所述辐射包含从所述样品镜面反射的辐射及从所述样品散射的辐射。在另一说明性实施例中,所述方法包含基于所述两个或两个以上集光信号确定与从所述样品上的一或多个缺陷发出的辐射相关联的一或多个缺陷散射特性。在另一说明性实施例中,所述一或多个缺陷散射特性包含散射相位、散射强度或缺陷吸收中的至少一者。在另一说明性实施例中,所述方法包含根据所选择的经预先确定缺陷分类集基于所述一或多个缺陷散射特性对所述一或多个缺陷分类。

[0009] 应理解,前述一般描述及以下详细描述两者仅是示范性及解释性的且未必如所主张般限制本发明。并入到本说明书中且构成本说明书的一部分的附图说明本发明的实施例且与一般描述一起用于解释本发明的原理。

附图说明

[0010] 所属领域的技术人员通过参考附图可更好理解本发明的数个优点,其中:

[0011] 图1A是根据本发明的一或多个实施例的经配置用于照明样品且使用共同物镜收集从样品发出的辐射的检验系统的概念视图。

[0012] 图1B是根据本发明的一或多个实施例的包含四个固定相位板的检验系统的概念视图。

[0013] 图1C是根据本发明的一或多个实施例的用于其中使用相位板控制通过样品的镜面反射辐射及散射辐射的相对相位的相移相位对比度成像的检验系统的概念视图。

[0014] 图1D是根据本发明的一或多个实施例的用于相移相位对比度成像的具有环形轮廓的照明光束的概念视图。

[0015] 图1E是根据本发明的一或多个实施例的用于使用相干照明的相移相位对比度成像的检验系统的概念视图。

[0016] 图1F是根据本发明的一或多个实施例的偏光器掩模的简化示意图。

[0017] 图2是根据本发明的一或多个实施例的依据半导体制造中使用的可与缺陷相关联的典型材料的波长而变化的复相对电容率的图表。

[0018] 图3是根据本发明的一或多个实施例的基于瑞利(Rayleigh)散射模型的依据针对不同粒子大小的在266nm的波长处的粒子的散射横截面而变化的吸收横截面的图表。

[0019] 图4是根据本发明的一或多个实施例的基于瑞利散射模型的依据各种材料的波长而变化的散射相位的图表。

[0020] 图5包含根据本发明的一或多个实施例的依据相位偏移而变化的在266nm的波长处的各种共同外界材料的20nm粒子的相移相位对比度信号的FDTD模拟的图表。

[0021] 图6是根据本发明的一或多个实施例的依据样品焦点位置而变化的各种共同外界材料的100nm粒子的经测量相移相位对比度信号的图表。

[0022] 图7是根据本发明的一或多个实施例的包含在与针对图6中说明的数据相同的条件下的金、二氧化硅及铜的100nm粒子的FDTD模拟的图表。

[0023] 图8是说明根据本发明的一或多个实施例的用于基于缺陷散射特性检测缺陷且对缺陷分类的方法中执行的步骤的流程图。

具体实施方式

[0024] 现将详细参考在附图中说明的所揭示的标的物。已关于某些实施例及其特定特征特定展示且描述本发明。将本文中陈述的实施例视为说明性而非限制性。所属领域的一般技术人员将容易了解,可做出形式及细节的多种改变及修改而不脱离本发明的精神及范围。

[0025] 大体上参考图1A到8。本发明的实施例涉及用于基于缺陷散射特性的缺陷检测及分类的系统及方法。一般来说,缺陷可展现不同于周围衬底的粒子散射特性。因此,可基于散射特性的差异(包含(但不限于)散射相位、散射功率或缺陷吸收)对缺陷分类。额外实施例涉及通过分析由样品反射的辐射及由样品散射的辐射的干涉而测量缺陷散射特性。额外实施例涉及通过在经设计以区分与不同材料类型相关联的粒子散射特性的一系列检测模式中成像样品而测量缺陷散射特性。举例来说,可使用相移相位对比度成像测量缺陷散射特性。通过另一实例,样品的明场图像可提供缺陷吸收数据,而样品的暗场图像可提供粒子散射数据。因此,样品的明场图像及暗场图像的比较可提供用于样品上的缺陷的检测及分类的粒子散射特性。通过额外实例,不同材料类型的散射横截面可基于样品周围的浸润介质变化使得使用不同浸润介质(例如,水浸润、油浸润或类似物)获取样品的图像的比较。因

此,此类测量可显露用于缺陷检测及分类的粒子散射特性。

[0026] 制造越来越小半导体装置的驱动导致对衬底的均匀性及清洁性的增加的需求。半导体晶片必须无缺陷的公差随着经制造装置的大小按比例调整。通常在半导体生产环境中利用检验系统以检测缺陷(例如外界材料及/或结构缺陷(例如(但不限于)点缺陷或线缺陷))及/或对缺陷分类。在一般意义上,检验系统可在生产过程中的任何点检测样品上的任何类型的缺陷。举例来说,检验系统可在生产之前特性化未经处理晶片以仅选择适合晶片或在用于生产的晶片上识别缺陷位点。此外,可期望对经识别缺陷的材料组成分类使得可贯穿制造工艺采取适当清洁或避免步骤。本发明的实施例涉及用于样品上的缺陷的材料组成的同时检测及分类的系统及方法。

[0027] 如贯穿本发明使用的术语“样品”通常是指由半导体或非半导体材料形成的衬底(例如,晶片或类似物)。举例来说,半导体或非半导体材料可包含(但不限于)单晶硅、砷化镓及磷化铟。此外,为了本发明的目的,术语样品及晶片应解译为可互换。

[0028] 本文中应认知,缺陷分类可提出关于对小粒子的灵敏度以及处理量的挑战。举例来说,能量分散X射线光谱测定法(EDX)可提供针对一些材料的灵敏缺陷材料分析能力,但可具有适当地低处理量且可不适用于无机化合物或有机粒子。通常在第6,407,386号美国专利中描述EDX在扫描电子显微镜中的使用,所述专利以全文引用的方式并入本文中。通过另一实例,可利用诺马斯基(Nomarski)干涉测量,其基于由样品镜面反射的聚焦激光光束的衰减及相位改变的测量而提供粒子的折射率,但在具有低镜面反射的小粒子上提供低信号。在M.A.陶博布兰特(M.A.Taubenblatt)及J.S.巴彻勒(J.S.Batchelder),《应用光学》(Applied Optics)30(33),4972(1991)中大体上描述用于折射率确定的诺马斯基干涉测量的使用,所述案以全文引用的方式并入本文中。

[0029] 可期望利用散射光来检测缺陷(尤其针对(但不限于)小粒子)及/或对缺陷分类。然而,此类方法还可提出关于灵敏度或照明要求的挑战。举例来说,拉曼(Raman)光谱学可基于显现为入射照明与非弹性散射照明的波长之间的材料相依位移(例如,拉曼位移)的振动模式的激发提供材料分类。然而,拉曼光谱学的信号强度与经激发振动模式影响材料的极化度的程度成比例,使得纯金属在无氧化步骤的情况下可不被检测。此外,拉曼散射相当弱(例如,相对于弹性瑞利(Rayleigh)散射)使得长信号集成时间限制小粒子的技术的有用性。通常在安德烈斯康唐(Andres Cantanaro),《能源材料科学》(Procedia Materials Science)9,第113-122页(2015)中描述拉曼光谱学,所述案以全文引用的方式并入本文中。通过另一实例,散射光谱学可提供依据波长而变化的来自散射功率的材料性质。通常需要大波长差范围以提取材料性质,然而,粒子散射随着波长(作为 λ^{-4})相反地按比例调整。因此,对较小粒子的灵敏度可由照明源的最长波长限制。

[0030] 本发明的实施例涉及基于缺陷散射特性(例如(但不限于)与由缺陷散射的辐射相联的散射相位、由缺陷散射的辐射的强度或缺陷对照明的吸收)检测缺陷且对缺陷分类。本发明的另外实施例涉及使用窄带照明源测量缺陷散射特性。本文中应认知,窄带照明源的使用可通过短波长照明的有效散射以及来自照明源的光谱能量的有效利用而促进缺陷检测及分类两者的高灵敏度。因此,本发明的实施例可促进以适用于制造环境中的高处理量对缺陷(包含(但不限于)小粒子)进行灵敏检测及分类。

[0031] 图1A到1F包含根据本发明的一或多个实施例的用于基于缺陷散射检测缺陷及/或

对缺陷分类的检验系统100的概念视图。

[0032] 图1A是根据本发明的一或多个实施例的经配置用于照明样品102且使用共同物镜104收集从样品102发出的辐射的检验系统100的概念视图。

[0033] 在一个实施例中,检验系统100包含经配置以产生至少一个照明光束108的照明源106。照明光束108可包含一或多个所选择的波长的光,包含(但不限于)真空紫外(VUV)辐射、深紫外(DUV)辐射、紫外(UV)辐射、可见辐射或红外(IR)辐射。照明源106可包含(但不限于)单色光源(例如,激光)、具有包含两个或两个以上离散波长的光谱的多色光源、宽带光源或波长扫掠光源。此外,照明源106可(但不需要)由以下各者形成:白光源(例如,具有包含可见波长的光谱的宽带光源)、激光源、自由形式照明源、单极照明源、多极照明源、弧光灯、无电极灯或激光维持等离子体(LSP)源。

[0034] 在另一实施例中,照明光束108的光谱是可调谐的。在此方面,照明光束108的辐射的波长可被调整为辐射的任何所选择的波长(例如,UV辐射、可见辐射、红外辐射或类似物)。

[0035] 在另一实施例中,照明源106沿着照明路径110将照明光束108引导到样品。照明路径110可包含用于修改及/或调节照明光束108的一或多个光束调节元件112。举例来说,光束调节元件112可包含(但不限于)偏光器、滤光器、光束分离器、漫射体、均质器、变迹器或光束塑形器。照明路径110还可包含用于控制照明光束108的一或多个特性的一或多个照明路径透镜114。举例来说,一或多个照明路径透镜114可提供光学中继器(例如,光瞳中继器或类似物)。通过另一实例,一或多个照明路径透镜114可修改照明光束108的直径。

[0036] 在另一实施例中,检验系统100包含用于固定及/或定位样品102的样品载物台116。样品载物台116可包含所属领域中已知的用于定位样品102的任何类型的载物台,其包含(但不限于)线性平移载物台、旋转平移载物台或具有可调整倾翻及/或倾斜的平移载物台。

[0037] 在另一实施例中,检验系统100包含经配置以捕获从样品102发出的通过集光路径120的辐射的检测器118。举例来说,检测器118可接收由集光路径120中的元件提供的样品102的图像。通过另一实例,检测器118可接收从样品102反射、散射(例如,经由镜面反射、漫反射及类似物)或衍射的辐射。通过另一实例,检测器118可接收由样品102产生的辐射(例如,通过照明光束108的吸收而产生的发光或类似物)。集光路径120可进一步包含用以引导及/或修改由物镜104收集的照明的任何数目个光学元件,包含(但不限于)一或多个集光路径透镜122、一或多个滤光器、一或多个偏光器或一或多个光束块。

[0038] 检测器118可包含所属领域中已知的适合于测量从样品102接收的辐射的任何类型的光学检测器。举例来说,检测器118可包含(但不限于)CCD检测器、时延积分(TDI)检测器、光电倍增管(PMT)、突崩光电二极管(APD)或类似物。在另一实施例中,检测器118可包含适合于识别从样品102发出的辐射的波长的光谱检测器。

[0039] 在另一实施例中,检验系统100包含定位于场平面内的一或多个场平面元件124。在此方面,一或多个场平面元件124可基于辐射从样品发出的位置选择性地修改从样品发出的辐射的一或多个特性。举例来说,一或多个场平面元件124可包含用以拒斥杂散光及/或减轻检测器118上的重影的场光阑(例如,光圈或类似物)。在另一实施例中,集光路径透镜122可包含用以在用于场平面元件124的放置的场平面处形成样品102的中间图像的第一

集光路径透镜122a。

[0040] 在另一实施例中,检验系统100包含定位于光瞳平面内的一或多个光瞳平面元件126。在此方面,一或多个光瞳平面元件126可基于辐射从样品102发出的角度选择性地修改从样品发出的辐射的一或多个特性。举例来说,一或多个光瞳平面元件126可包含用以基于辐射从样品发出的角度(例如,针对相位对比度成像或类似物)选择性地修改辐射的相位的相位板。通过另一实例,一或多个光瞳平面元件126可包含用以基于辐射从样品发出的角度选择性地修改辐射的振幅的透射滤光器。在另一实施例中,集光路径透镜122可包含用以形成用于光瞳平面元件126的放置的中继光瞳平面的第二集光路径透镜122b。在另一实施例中,集光路径透镜122可包含用以在检测器118上形成样品102的图像的第三集光路径透镜122c(例如,管透镜)。

[0041] 在一个实施例中,如图1A中说明,检验系统100可包含经定向使得物镜104可同时将照明光束108引导到样品102且收集从样品102发出的辐射的光束分离器128。在另一实施例中,虽然未展示,但集光路径120可包含单独元件。举例来说,照明路径110可利用第一聚焦元件以将照明光束108聚焦到样品102上且集光路径120可利用第二聚焦元件以收集来自样品102的辐射。在此方面,第一聚焦元件及第二聚焦元件的数值孔径可为不同的。此外,本文中应注意,检验系统100可促进样品102及/或一个以上照明源106(例如,耦合到一或多个额外检测器)的多角度照明。在此方面,检验系统100可执行多个计量测量。在另一实施例中,照明路径110及/或集光路径120的一或多个光学元件可安装到绕样品102枢转的可旋转臂(未展示)使得照明光束108在样品102上的入射角可由可旋转臂的位置控制。

[0042] 在另一实施例中,检验系统100包含控制器130。在另一实施例中,控制器130包含经配置以执行维持于存储器媒体134上的程序指令的一或多个处理器132。在此方面,控制器130的一或多个处理器132可执行贯穿本发明描述的各种过程步骤中的任何者。在另一实施例中,控制器130通信地耦合到检测器118。因此,控制器130可从检测器118接收指示从样品发出的辐射(例如,反射辐射、散射辐射或类似物)的集光信号。举例来说,控制器130的一或多个处理器132可基于缺陷散射特性(基于集光信号)而检测缺陷及/或对缺陷分类。

[0043] 控制器130的一或多个处理器132可包含所属领域中已知的任何处理元件。在此意义上,一或多个处理器132可包含经配置以执行算法及/或指令的任何微处理器类型装置。在一个实施例中,一或多个处理器132可由桌面计算机、主计算机系统、工作站、图像计算机、并行处理器或经配置以执行程序(其经配置以操作检验系统100)的任何其它计算机系统(例如,网络计算机)组成,如贯穿本发明所描述。应进一步认知,术语“处理器”可经广泛定义以涵盖具有执行来自非暂时性存储器媒体134的程序指令的一或多个处理元件的任何装置。此外,贯穿本发明描述的步骤可由单个控制器130或替代地多个控制器实行。另外,控制器130可包含容置于共同外壳中或多个外壳内的一或多个控制器。以此方式,任何控制器或控制器的组合可分开放置为适用于集成到检验系统100中的模块。此外,控制器130可分析从检测器118接收的数据且将数据馈送到检验系统100内或检验系统100外部的额外组件。

[0044] 存储器媒体134可包含所属领域中已知的适合于存储可由相关联的一或多个处理器132执行的程序指令的任何存储媒体。举例来说,存储器媒体134可包含非暂时性存储器媒体。通过另一实例,存储器媒体134可包含(但不限于)只读存储器、随机存取存储器、磁性

或光学存储器装置(例如,磁盘)、磁带、固态驱动器及类似物。应进一步注意,存储器媒体134可与一或多个处理器132一起容置于共同控制器外壳中。在一个实施例中,存储器媒体134可相对于一或多个处理器132及控制器130的物理位置远程定位。举例来说,控制器130的一或多个处理器132可存取可通过网络(例如,因特网、内部网络及类似物)存取的远程存储器(例如,服务器)。因此,不应将上文描述解译为对本发明的限制而仅为说明。

[0045] 本文中应认知,材料的光学性质由其复折射率n或复相对电容率 $\epsilon = \epsilon_r - i\epsilon_i = n^2$ 定义,其中 ϵ_r 及 ϵ_i 分别是相对电容率的实部分及虚部分。图2是根据本发明的一或多个实施例的可与缺陷相关联的依据半导体制造中使用的典型(但非限制性)材料的波长而变化的复相对电容率的图表200。如图2中说明,表示依据波长而变化的材料的光学性质的色散曲线是独有的且可提供用于对缺陷的材料组成分类的基础。然而,基于色散曲线对缺陷的材料组成分类在生产环境中可为不实际或不期望的。举例来说,随着散射信号迅速下降(与波长的4次幂成反比),测量的灵敏度可由小粒子的可用光谱带宽限制。通过另一实例,依据波长而变化的散射功率的变化可导致进一步灵敏度降低及/或与长测量时间相关联的降低的处理量。

[0046] 本发明的实施例涉及基于缺陷散射特性(例如(但不限于)散射相位、散射功率或缺陷吸收)的缺陷的同时检测及分类。缺陷散射特性提供用于缺陷的材料组成的分类的灵敏度量且可使用窄带照明源(例如,激光)测量以用于高度有效利用来自照明源的能量。在此方面,本发明的实施例可提供缺陷检测及分类两者的高灵敏度。

[0047] 根据针对小粒子(例如,具有远小于入射照明的波长的大小的粒子)的弹性散射的瑞利模型,散射横截面是:

$$[0048] \sigma_s = \frac{128\pi^5 a^6}{3\lambda^4} \left| \frac{\epsilon - \epsilon_m}{\epsilon + 2\epsilon_m} \right|^2 \quad (1)$$

[0049] 其中a是粒子的半径;λ是(例如,照明光束108或类似物的)入射照明的波长;且 ϵ 及 ϵ_m 分别是缺陷及周围介质的相对电容率。本文中应认知,散射入射照明的样品上的外界粒子缺陷及结构缺陷两者都可被视为可散射照明的小粒子。

[0050] 此小粒子的吸收横截面是:

$$[0051] \sigma_A = \frac{8\pi^2}{\lambda} a^3 \text{Im} \left(\frac{\epsilon - \epsilon_m}{\epsilon + 2\epsilon_m} \right) \quad (2)$$

[0052] 此外,与小粒子相关联的散射光的相位是:

$$[0053] \phi_s = \arg \left(\frac{\epsilon - \epsilon_m}{\epsilon + 2\epsilon_m} \right) \quad (3)$$

[0054] 方程式(1)到(3)描述自由空间中的粒子散射及吸收。针对衬底上的粒子(例如,在晶片检验的上下文中),散射及吸收横截面按考虑来自衬底的反射场的相干相互作用的因子(q因子)按比例调整。然而,q因子与粒子材料性质无关且仅取决于衬底材料性质。因此,q因子对不同材料的粒子之间的相对相移具有可忽略效应且在考虑外界粒子缺陷的相对散射相位时可忽略。在杰默(Germer),《应用光学》(Applied Optics) 36 (33), 8798 (1997)中大体上描述衬底对瑞利散射的效应,所述案以全文引用的方式并入本文中。

[0055] 可使用散射特性来根据各种度量且使用特异性的范围对缺陷的材料组成分类。在一个实施例中,可基于缺陷内的一或多个元素及/或化合物的识别对缺陷分类。举例来说,

可基于散射特性(例如,散射相位、散射功率、缺陷吸收或类似物)的任何组合的测量识别缺陷内的一或多个元素及/或化合物。在另一实施例中,可基于材料类型(例如(但不限于)金属、电介质或有机材料)对缺陷分类。情况可为,通过材料类型的缺陷的分类可足以充分地确定待采取的额外动作(例如,丢弃晶片、基于材料类型将晶片暴露到额外清洁步骤、具有不同材料类型的缺陷的位置的识别或类似物)。

[0056] 此外,生产环境中的样品可暴露到有限数目个已知缺陷材料,其可减小基于材料组成或材料类型对缺陷分类所需的散射特性的数目。举例来说,情况可为,测量单个散射特性(例如,散射相位或散射功率对缺陷吸收的比率)可足以对材料或材料类型的已知子集内的缺陷分类。

[0057] 图3及4以及表1提供根据本发明的发明概念的说明基于散射特性的缺陷的分类的示范性数据。应注意,本文中包含的数据仅是为了说明性目的提供且不应解译为以任何方式限制本发明。

[0058] 图3是根据本发明的一或多个实施例的基于瑞利散射模型的针对不同粒子大小的在266nm的波长处的粒子的依据散射横截面而变化的吸收横截面的图表300。根据图3,可基于吸收及散射横截面区分不同材料类型且对不同材料类型分类。

[0059] 在一个实施例中,基于吸收及散射横截面通过材料类型对缺陷分类。举例来说,金属可具有比电介质金属显著更强的吸收使得可基于吸收及散射横截面区分金属与电介质。此外,如图3中说明,某些材料可具有促进分类的尤其大的吸收横截面(例如,银(Ag)、铜(Cu)、金(Au)或铁(Fe))。

[0060] 在另一实施例中,通过识别具有类似吸收及/或散射横截面的材料群组内的缺陷而对缺陷分类。举例来说,利用图3的数据,可将缺陷分类成包括银(Ag)、铜(Cu)、金(Au)或铁(Fe)的第一材料群组、包括锗(Ge)、硅(Si)或钨(W)的第二材料群组及包括氮化硅(Si_3N_4)、二氧化硅(SiO_2)或水(H_2O)的第三材料群组。应进一步注意,本文中包含的材料的分组仅是为了说明性目的提供且不应解译为限制本发明。在一般意义上,可基于已知材料的任何数目个分组对缺陷分类。

[0061] 在另一实施例中,通过基于吸收及/或散射横截面使用高特异性识别缺陷内的至少一个元素及/或化合物的组合物而对缺陷分类。可对缺陷分类的特异性可与散射特性的测量的灵敏度及/或准确度以及已知或预期污染物的散射特性的差异相关。

[0062] 图4是根据本发明的一或多个实施例的基于瑞利散射模型的依据各种材料的波长而变化的散射相位的图表400。根据图4,可基于在照明的任何数目个适合波长处测量的散射相位区分材料且对材料分类。举例来说,针对具有实折射率的电介质材料(例如,图4中的 SiO_2),散射相位的值是零。此外,额外材料(例如(但不限于)金属)的散射相位的值可变化使得可通过测量由入射照明散射的辐射的相位而确定缺陷的材料组成。在一个实施例中,可基于单个波长处的散射相位的测量对缺陷分类。举例来说,可在可区分所关注潜在缺陷的散射相位的值的波长处测量散射相位。举例来说,银(Ag)、铜(Cu)、金(Au)及铁(Fe)可展现基本上高于额外所关注材料的在266nm的波长处的散射相位的值使得可容易地检测这些材料且对这些材料分类。在另一例子中,可容易在193nm的波长处区分针对在半导体工艺中发现的许多典型材料的散射相位的值。

[0063] 表1包含根据本发明的一或多个实施例的基于266nm照明及瑞利散射模型的用于

半导体制造工艺中的典型材料的20nm球体的相对电容率、散射横截面、吸收横截面及散射相位的值。可基于散射特性的任何组合对缺陷分类。举例来说,表1进一步说明电介质可引发入射照明的相对低散射相移,而金属可引发为了缺陷检测及分类的目的可容易测量的基本上更高散射相位。

[0064] 表1:基于266nm照明及瑞利散射模型的各种材料的20nm球体的散射特性

材料	ϵ_r	ϵ_i	散射横截面	吸收横截面	散射相位(度)
[0065]	Ag	0.11	3.72	1.63E-04	6.02E-03
	Al	-10.04	1.38	3.80E-04	6.15E-04
	Au	-0.78	5.63	2.14E-04	5.02E-03
	Cu	-0.51	5.13	2.04E-04	5.33E-03
	Fe	-2.19	5.44	2.74E-04	5.43E-03
	Mo	-10.76	14.99	2.46E-04	1.47E-03
	W	4.68	16.05	1.83E-04	1.57E-03
	Ge	-11.79	12.42	2.59E-04	1.47E-03
[0066]	Si	-16.21	16.18	2.45E-04	1.03E-03
	Si ₃ N ₄	4.94	0.00	6.57E-05	2.36E-06
	SiO ₂	2.25	0.00	1.76E-05	0.00E+00

[0067] 可在任何数目个波长处测量任何数目个散射特性以提供分类的特异性的所要程度。举例来说,可通过在单个波长处测量一或多个散射特性而达到特异性的所要程度。通过另一实例,可通过在一或多个波长处测量单个散射特性而达到特异性的所要程度。此外,额外测量技术(例如(但不限于)荧光成像)可与散射特性的测量组合以达到特异性的所要程度。

[0068] 本文中应认知,图3及4以及表1中提供的基于瑞利散射模型的散射特性的描述仅是为了说明性目的提供且不应解译为限制本发明。虽然瑞利散射模型可提供对散射过程的物理深刻理解,但由瑞利散射模型产生的散射数据可具有限制。举例来说,已知具有负实电容率 ϵ_r 的大值及虚电容率 ϵ_i 的小值的金属具有与局部表面等离激元的激发相关联的散射谐振,其产生比单独通过基于偶极瑞利散射模型预测更强的散射。在法恩(Fan)等人的《光:科学应用》(Light:Science&Applications) 3, e179 (2014) 中大体上描述表面等离激元谐振效应,所述案以全文引用的方式并入本文中。

[0069] 在一般意义上,可通过所属领域中已知的任何方法获得与基于散射特性对缺陷分类相关联的参考数据。在另一实施例中,可通过计算模拟(例如,有限差分时域(FDTD)模拟或类似物)模型化散射特性。在此方面,可基于经测量散射特性与通过计算模拟产生的模拟散射特性的比较特性化样品上的缺陷。在另一实施例中,可测量具有已知大小及组成的各种缺陷的散射特性以产生经校准参考数据。因此,可基于经测量散射特性与校准数据的比较特性化样品上的缺陷。

[0070] 根据本发明的发明概念,可通过多个测量技术(例如(但不限于)干涉技术、样品的成像或逐点扫描成像技术)测量缺陷的散射特性。

[0071] 在一个实施例中,基于以下项检测缺陷且对缺陷分类:使用照明光束照明样品;使用多个检测模式检测从样品发出的辐射(例如,散射及/或反射辐射);基于多个检测模式确定散射特性;及基于散射特性对缺陷分类。检测模式可包含(但不限于)干涉测量中的相位板的特定配置、明场图像的产生、暗场图像的产生或经控制浸润介质中的样品的测量。在此方面,使用多个检测模式检测从样品发出的辐射可促进样品上的缺陷的一或多个散射特性的测量。

[0072] 大体上参考图1A到1F,检验系统100可包含用于修改检验系统100的检测模式的检测模式装置136。

[0073] 在一个实施例中,使用相位对比度成像检测缺陷且对缺陷分类。相位对比度成像可提供与许多基于图像的光学检验工具兼容的稳定共同路径干涉计。因此,相位对比度成像可良好地适合于生产环境。在2007年11月13日授予的第7,295,303号美国专利中大体上描述相移相位对比度成像,所述专利以全文引用的方式并入本文中。

[0074] 在相位对比度成像中,通过镜面反射光与散射光之间的干涉给定粒子散射的峰值信号:

$$P = P_{ref} + P_s + 2\sqrt{P_{ref}P_s} \cos(\phi_{ref} - \phi_s + \phi_0) \quad (4)$$

[0076] 其中 P_{ref} 是与反射光(其可被视为干涉计的参考臂)相关联的信号, P_s 是散射光的强度, ϕ_{ref} 是全部粒子共同的反射光的相位, ϕ_s 是散射光的相位, ϕ_0 是反射光与散射光之间的可调整相移。

[0077] 此外,可通过相移相位对比度成像测量与样品上的缺陷相关联的散射特性。在此方面,获得对应于一系列测量(例如,与多个检测模式相关联)的多个集光信号,其中针对每一测量, ϕ_0 变化已知量。

[0078] N 个集光信号可(但不需要)在 N 个测量(例如, N 个检测模式)中获得,其中在 2π 的一个相位循环内的 N 个相等相位步阶中变化 ϕ_0 。在此例子中,在每一相位步阶处的粒子的集光信号可描述为:

$$P_n = P_{ref} + P_s + \sqrt{P_{ref}P_s} \cos \left[\delta\phi_s + (n-1) \frac{2\pi}{N} \right], \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

[0080] 其中 $\delta\phi_s = \phi_{ref} - \phi_s$ 是散射光与反射光之间的相位差。可根据以下项从 N 个集光信号提取散射相位:

$$\tan(\delta\phi_s) = \frac{A}{B} \quad (6)$$

[0082] 其中

$$A = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N P_n \sin \left(2\pi \frac{n-1}{N} \right) \quad (7)$$

且

$$B = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N P_n \cos \left(2\pi \frac{n-1}{N} \right) \quad (8)$$

[0085] 在其中 $N=4$ 的情况下,方程式(6)到(8)化简到:

$$\tan(\delta\phi_s) = \frac{P_2 - P_4}{P_1 - P_3} \quad (9)$$

[0087] 除了散射相位之外,还可根据以下项从 N 个集光信号提取散射功率及吸收:

[0088] $P_{ref} + P_s = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_n$ (10)

[0089] 及

[0090] $P_{ref} P_s = A^2 + B^2$ (11)。

[0091] 此外,通过以下项给定缺陷吸收:

[0092] $P_A = P_B - (P_{ref} + P_s)$ (12)。

[0093] 另外,散射功率及缺陷吸收可写为:

[0094] $P_s = I_0 \frac{128\pi^5 a^6}{3 \lambda^4} (\alpha^2 + \beta^2)$ (13)

[0095] 及

[0096] $P_A = I_0 \frac{8\pi^2}{\lambda} \alpha^3 \beta$ (14),

[0097] 其中 I_0 是入射于样品102上的照明光束108的强度,

[0098] $\tan \phi_s = \frac{\beta}{\alpha}$ (15),

[0099] $\alpha = \operatorname{Re} \left\{ \frac{\epsilon - \epsilon_m}{\epsilon + 2\epsilon_m} \right\}$ (16),

[0100] 及

[0101] $\beta = \operatorname{Im} \left\{ \frac{\epsilon - \epsilon_m}{\epsilon + 2\epsilon_m} \right\}$ (17)

[0102] 因此,还可通过以下项获得散射相位:

[0103] $\frac{P_A^2}{P_s^2} = \frac{3\lambda^2 I_0 \sin^2 \phi_s}{2\pi}$ (18)

[0104] 通过样品镜面反射的辐射与通过样品散射的辐射之间的相对相移 ϕ_0 可通过所属领域中已知的任何技术调整以提供与相移 ϕ_0 的N个已知值相关联的N个集光信号。

[0105] 在一个实施例中,检验系统100的检测模式装置136经配置以将N个不同相位板循序提供到检验系统100的光瞳平面以用于在检测器118上产生与相移 ϕ_0 的N个不同值相关联的N个集光信号。在此方面,N个不同相位板可对应于检验系统100的光瞳平面元件126。

[0106] N个不同相位板可物理定位于不同衬底或共同衬底上。此外,检测模式装置136可通过所属领域中已知的任何方法将N个不同相位板提供到光瞳平面。在一个实施例(未展示)中,检测模式装置136包含用以将N个相位板平移到光瞳平面的平移载物台(例如,线性平移载物台、旋转平移载物台或类似物)。在另一实施例(未展示)中,检测模式装置136可包含可提供依据可变相位板上的位置而变化的可调整相移的可变相位板。在一个例子中,可变相位板可包含液晶装置。在另一例子中,可变相位板可包含可引入由电压控制的可调整相移的电光晶体。

[0107] 在另一实施例中,检测模式装置136可包含用以将从样品102发出的辐射分离到N个不同光束路径的一系列光束分离器。在此方面,检测模式装置136可将具有不同相位偏移 ϕ_0 的不同固定相位板提供到N个不同光束路径的光瞳平面。此外,检测器118可包含定位于N个不同光束路径中的每一者中以提供与N个不同相位偏移 ϕ_0 相关联的N个集光信号的检测器组合件。图1B是根据本发明的一或多个实施例的包含四个固定相位板的检验系统100的概念视图。如图1B中说明,检测模式装置136可包含用以将从样品发出的辐射分离到四个

光束路径(包含四个光束路径的光瞳平面中的四个相位板)的光束分离器。在此方面,相位板可为系统的光瞳平面元件126。此外,四个相位板可提供四个不同已知相位偏移 Φ_0 (例如,0度、90度、180度及270度)。在另一实施例中,检测器118可包含定位于四个光束路径中以产生与N个相位偏移 Φ_0 相关联的N个集光信号供缺陷的检测及分类的四个检测器组合件118a到118d。

[0108] 图1C是根据本发明的一或多个实施例的用于相移相位对比度成像的检验系统100的概念视图,其中使用相位板控制通过样品的镜面反射辐射138及散射辐射140的相对相位。

[0109] 在一般意义上,如果镜面反射辐射及散射辐射在光瞳平面中至少部分可区分,那么光瞳平面中的相位板可选择性地修改镜面反射辐射与散射辐射之间的相对相位 Φ_0 。举例来说,检验系统100可经配置以通过限制照明光束108的分布以选择物镜104的光瞳平面内的位置(例如,物镜104的后焦平面)而按有限角度范围照明样品102。接着,镜面反射辐射将限于光瞳平面中的位置的互补范围,而散射辐射可在光瞳平面中按任何角度呈现。在此方面,光瞳平面中的相位板基于光瞳平面中的镜面反射辐射与散射辐射的位置而选择性地修改镜面反射辐射与散射辐射之间的相对相位。应注意,虽然一些散射辐射可由相位板影响,但对测量的影响可为可忽略的。

[0110] 检验系统100可提供适用于按有限角度范围照明样品102的照明光束108的任何分布。举例来说,检验系统100可提供具有环形轮廓、具有一或多个瓣或类似物的照明光束。图1D是根据本发明的一或多个实施例的用于相移相位对比度成像的具有环形轮廓的照明光束的概念视图。环形轮廓可提供样品的均匀径向照明以避免遮蔽假影。此外,物镜104的数值孔径(NA)的边缘附近的环形轮廓可提供可由物镜104实现的最高入射角,其可促进来自缺陷的更强散射且可尤其有利于小粒子的检测及分类。

[0111] 可通过所属领域中已知的任何方法产生照明光束108的所要分布。举例来说,图1C中说明的环形分布可(但不需要)通过照明源106、通过用以阻挡非所要光的环光圈、通过用以重新塑形来自照明源106的照明的衍射光学元件(DOE)、用以重新塑形来自照明源106的照明的全息漫射体或以环形轮廓布置的纤维集束直接产生。

[0112] 在另一实施例中,一或多个照明路径透镜114可将照明光束108的所要分布中继到物镜104的后焦平面以提供样品102的照明角度的所要范围。类似地,一或多个集光路径透镜122(例如,122b及/或122a)可中继物镜104的后焦平面以提供适用于通过相位板修改镜面反射辐射(例如,图1C的镜面反射辐射138)与散射辐射(例如,图1C的散射辐射140)之间的相对相位的中继光瞳平面。

[0113] 在方程式(4)及(5)中描述的通过相位对比度成像提供的干涉信号的对比度可与检测器118处的镜面反射辐射(例如, P_{ref})及散射辐射(例如, P_s)的相对强度成比例。尤其针对小粒子,散射辐射的强度可基本上低于镜面反射辐射的强度。在另一实施例中,检验系统100的光瞳平面元件126包含用以减小镜面反射辐射相对于散射辐射的强度以促进用于灵敏粒子检测及分类的高对比度干涉信号的透射滤光器。举例来说,透射滤光器可接近由检测模式装置136提供的N个相位板中的任何者定位。通过另一实例,一组N个透射滤光器可集成到N个相位板中。

[0114] 仍参考图1C,在另一实施例中,检验系统100使用非相干照明光束108照明样品102

以避免与使用相干光束成像相关联的假影(例如,斑纹假影或类似物)。在一个例子中,照明源106可直接提供非相干照明光束108。举例来说,照明源106可包含非相干灯照明源。此外,非相干照明源106可包含用以控制照明光束108的输出光谱的滤光器。在另一例子中,照明源106可提供相干照明光束108(例如,激光)且检验系统100可包含用以移除相干的一或多个元件。举例来说,一或多个光束调节元件112可包含动态漫射体(例如,斑纹抑制器)。

[0115] 在另一实施例中,检验系统100的光束调节元件112包含用于控制检验系统100上的入射照明的偏光的偏光器。举例来说,光束调节元件112可包含用以对入射于样品102上的全部方位角的照明提供一致p偏光的径向偏光器。本文中应认知,可基于待由检验系统100检测且分类的缺陷的预期类型调谐偏光状态。因此,光束调节元件112可包含任何类型的偏光器。

[0116] 图5包含根据本发明的一或多个实施例的依据相位偏移(例如, ϕ_0)而变化的在266nm的波长处的各种共同外界材料的20nm粒子的相移相位对比度信号的FDTD模拟的图表500。特定来说,图表500包含针对15个相位偏移 ϕ_0 (例如,N=15)的铁(Fe)、二氧化硅(SiO₂)、铜(Cu)、氮化硅(Si₃N₄)及铝(Al)的相移相位对比度信号的FDTD模拟。此外,使用0.9NA物镜使用具有0.85的中心NA的环形照明光束及镜面反射辐射相对于散射辐射的10%衰减模拟图表500。图表502到508包含分别在0、90、180及270度的相位偏移处的模拟样品上的粒子的图像。如图表500中说明,使用镜面反射辐射与散射辐射之间的一系列已知相位偏移产生的一系列相移相位对比度信号提供可从其提取散射相位的每一材料的振荡信号。应注意,相较于电介质二氧化硅及氮化硅,金属铜与铁之间的相对相移与表1中使用瑞利散射模型产生的计算良好一致。此外,归因于由FDTD模拟预测的局部表面等离激元的激发,铝粒子具有大于由瑞利散射模型预测的相移。

[0117] 再次参考图1A,在一个实施例中,可另外通过沿着物镜104的光轴变化样品载物台116的焦点位置而控制镜面反射辐射与散射辐射之间的相位偏移 ϕ_0 。在此方面,检测模式装置136可包含样品载物台116使得检测模式装置136可控制样品102的焦点位置。可将归因于失焦的相位偏移描述为依据成像光瞳位置而变化:

$$[0118] \phi_0 = \frac{2\pi}{\lambda} z(1 - \cos \theta) \quad (19)$$

[0119] 其中z是失焦(例如,样品的位置从标称焦点位置的变化)且sinθ是正规化光瞳半径。可进一步将散射光的相位偏移近似计算为:

$$[0120] \varphi_0 = \frac{2\pi}{\lambda} z(\cos \theta_s - \cos \theta_r) \quad (20)$$

[0121] 其中 θ_r 是镜面反射辐射的极角且 θ_s 表示由物镜104收集的散射辐射的极角的加权平均值。

[0122] 图6是根据本发明的一或多个实施例的依据样品焦点位置而变化的各种共同外界材料的100nm粒子的经测量相移相位对比度信号的图表600。特定来说,图表600包含针对使用在266nm的波长处的激光照明的样品位置的13个值(例如,N=13)的与两个100nm金(Au)球体及两个100nm二氧化硅(SiO₂)球体相关联的经测量相移相位对比度信号。此外,使用0.85NA物镜使用具有范围从0.75到0.85的NA的环形照明光束产生图表600。图表602到610包含分别在-0.4μm、-0.2μm、0μm、0.2μm及0.4μm的失焦值处的样品上的经测量球体的相移

相位对比度图像。如图表600中说明,使用镜面反射辐射与散射辐射之间的一系列已知相位偏移产生(例如,通过调整样品的焦点位置而产生)的一系列相移相位对比度信号提供可从其提取散射相位的每一材料的振荡信号。图6清晰地说明金粒子与二氧化硅球体的散射相位之间的实质差,其使得相移相位对比度成像可检测缺陷且对缺陷分类。

[0123] 图7是根据本发明的一或多个实施例的包含在与针对图6中说明的数据相同的条件下的金、二氧化硅及铜的100nm粒子的FDTD模拟的图表700。图表600及700的比较显示测量与模拟数据之间的良好相关性。在此方面,相移相位对比度成像可检测且区分由不同材料形成的缺陷。因此,相移相位对比度成像信号可用于根据材料类型或材料组成对缺陷分类。

[0124] 现参考图1E及1F,可在相干成像系统中采用相移相位对比度成像。图1E是根据本发明的一或多个实施例的用于使用相干照明的相移相位对比度成像的检验系统100的概念视图。在一个实施例中,检验系统100将至少一个准直照明光束108提供到物镜104的后焦平面的偏轴位置使得照明光束108按高NA入射于样品102上。因此,集光路径120的光瞳平面将包含与在光瞳平面的有限位置处的镜面反射辐射及在光瞳平面内的任何其它位置处的散射辐射相关联的至少一个准直光束。因此,检测模式装置136可提供引入镜面反射辐射与散射辐射之间的相位偏移 ϕ_0 的N个已知值的一系列N个相位掩模。举例来说,如先前描述,检测模式装置136可将N个相位掩模循序地平移到光瞳平面。通过另一实例,如先前描述,检测模式装置136可包含用以将从样品102发出的辐射分离到用于与 ϕ_0 的N个值相关联的N个集光信号的并行检测的N个光束路径的一系列光束分离器。本文中应注意,以此方式的多个相移相位对比度信号的同时测量可提供用于缺陷检测及分类的高度有效处理量。

[0125] 在另一实施例中,使用一或多个TDI成像传感器以检测一或多个相移相位对比度信号以提供样品及相关联缺陷的线扫描图像。图1E的照明源106可进一步产生非相干照明光束108,这是因为相干成像假影(例如,斑纹假影)在逐点成像配置中可为可疏忽的。

[0126] 在另一实施例中,检验系统100的光瞳平面元件126可包含用以抑制来自样品的表面的散射的偏光器掩模。在此方面,偏光器掩模可增加相移相位对比度成像对小粒子的检测灵敏度。本文中应认知,从样品发出的辐射(例如,镜面反射辐射、由缺陷散射的辐射及由样品散射的辐射或类似物)的各种分量的偏光可彼此不同且可跨物镜104的NA进一步变化。因此,集光路径120可包含偏光器(例如,具有跨NA的恒定偏光方向的线性偏光器、具有跨NA对称地分布的两个不同偏光方向的镜像对称偏光器或类似物)及经配置以选择性地透射从样品发出的辐射的一或多个所要分量的偏光器掩模。在于2014年11月18日授予的第8,891,079号美国专利及2016年4月7日发表的第2016/0097727号美国专利申请案中大体上描述用以抑制表面散射的偏光器掩模的使用,所述案的两者以全文引用的方式并入本文中。

[0127] 图1F是根据本发明的一或多个实施例的偏光器掩模142的简化示意图。在一个实施例中,偏光器掩模142包含透射区域144及阻挡区域146。此外,阻挡区域146可包含镜面反射辐射138的一部分可在其处穿过的一或多个衰减透射区域。因此,可透射与缺陷散射(未展示)相关联的镜面反射辐射138及散射辐射140,而可阻挡由样品的表面散射的辐射(例如,构成相移相位对比度测量中的噪声)。

[0128] 再次大体上参考图1A,检验系统100可在不测量散射相位的情况下测量包含散射功率及缺陷吸收的散射特性。此类测量可单独或与如本文中先前描述的散射相位的测量组

合用于缺陷的检测及分类。

[0129] 在一个实施例中,基于与样品的明场及暗场图像相关联的散射功率及缺陷吸收的测量检测缺陷且对缺陷分类。举例来说,检验系统100可使用照明光束108的任何分布及敞开(例如,未阻塞或最小阻塞)光瞳平面提供明场图像。因此,与明场图像的每一点相关联的信号强度可对应于样品的对应部分的反射率且与缺陷相关联的信号强度可与归因于吸收的光损耗相关。在此方面,明场图像(或其反像)可提供样品上的缺陷的吸收横截面的测量。

[0130] 相比之下,可使用照明光束108的互补分布及光瞳平面中的掩模获得暗场图像。在此方面,在光瞳平面中阻挡来自样品的镜面反射辐射且在光瞳平面中透射散射辐射。因此,与缺陷相关联的信号强度可对应于缺陷的散射功率。

[0131] 在另一实施例中,检验系统100的检测模式装置136循序地修改光瞳平面的透射率以提供明场图像作为明场集光信号且提供暗场图像作为暗场集光信号用于缺陷的检测及分类。举例来说,检验系统100可提供适用于明场及暗场检测模式(例如,环形分布、单或多瓣分布或类似物)两者的固定照明光束108。此外,检测模式装置136可循序地提供使照明光束108的分布互补的敞开光圈及阻挡光圈使得检测器118可提供明场及暗场集光信号用于基于散射功率及缺陷吸收检测缺陷且对缺陷分类。

[0132] 明场及暗场光圈可物理定位于不同衬底或共同衬底上。此外,检测模式装置136可通过所属领域中已知的任何方法将明场及暗场光圈提供到光瞳平面。在一个实施例(未展示)中,检测模式装置136包含用以将光圈平移到光瞳平面的平移载物台(例如,线性平移载物台、旋转平移载物台或类似物)。在另一实施例(未展示)中,检测模式装置136可包含可提供依据可变光圈上的位置而变化的可调整透射率的可变光圈。在一个例子中,可变相位板可包含液晶装置。

[0133] 在另一实施例中,检测模式装置136可修改光瞳平面的透射率及照明光束108的分布两者以提供明场及暗场检测模式。举例来说,检测模式装置136可将光圈提供到照明路径110的光瞳平面用于修改照明光束108的分布且将光圈提供到集光路径120的光瞳平面以修改从样品发出的辐射到检测器118的透射。

[0134] 在一个实施例中,基于其中修改样品周围的浸润介质的折射率的样品的多个图像的比较检测缺陷且对缺陷分类。缺陷的散射横截面及因此散射信号的功率可基于浸润介质的折射率且尤其基于缺陷与浸润介质的折射率之间的差异变化。根据本发明的一或多个实施例,在表2中提供在193nm与266nm处的水浸润及干式成像模式中的共同缺陷材料的瑞利散射横截面的比率。

[0135] 表2:针对193nm与266nm的波长的水浸润及干式成像模式中的散射横截面的比率

193 nm 266 nm

	193 nm	266 nm
[0136]	Al	22.57
	Cu	0.70
	Au	0.60
	Fe	0.86
	Ge	1.35
	Si	1.92
	Si ₃ N ₄	0.43
	SiO ₂	0.02
	W	1.48
		0.90

[0137] 如表2中说明,可基于使用水浸润及干式浸润测量的散射功率的比率对缺陷分类。特定来说,可区分金属粒子与电介质或弱吸收材料。举例来说,许多电介质(例如, SiO₂)的实折射率可比许多金属(例如, Al、Au或类似物)的实折射率基本上更接近水使得水浸润及干式成像中的散射横截面的比率针对电介质可比针对金属基本上更低。

[0138] 在另一实施例中,检验系统100的检测模式装置136循序地修改样品周围的浸润介质以包含具有已知折射率的两个或两个以上浸润介质。在此方面,检测器118可产生与在两个或两个以上浸润介质中使样品成像相关联的两个或两个以上集光信号。浸润介质可为液体(例如,水、浸润油或类似物)或气体(开放氛围、氮、氩或类似物)。举例来说,检测模式装置136可包含用以含有样品及浸润介质的腔室。此外,检测模式装置136可包含浸润介质传送装置,例如(但不限于)贮集器、管道、泵、阀或压力调节器。

[0139] 表3及4提供根据本发明的一或多个实施例的在266nm的波长处使用环形照明的暗场水浸润及干式成像模式中的金及二氧化硅的100nm球体的散射功率的实验测量。

[0140] 表3:水浸润及干式成像模式中的100nm金球体的散射功率

粒子#	水浸润	干式成像	比率
[0141]	1	2151	0.53
	2	2825	0.40
	3	2464	0.48
	4	2934	0.44
	5	2264	0.68
	6	2621	0.47
	7	3036	0.36
	8	2539	0.46
	9	2492	0.55
平均值		2592	0.46

[0142] 表4:水浸润及干式成像模式中的100nm二氧化硅球体的散射功率

粒子#	水浸润	干式成像	比率
[0143]	1	1101	30567
	2	1168	31986
	3	1236	35392
	4	1091	28697
	5	1188	37896
	6	1388	40767
	7	1133	31135
[0144]	8	1470	45609
	9	1203	35893
	10	1028	28380
	11	1253	40650
	12	1350	39365
	13	1315	36627
	14	1349	42303
平均值		1234	36091
			0.03

[0145] 表3及4的实验资料与表2中的模拟数据的比较显示测量数据与模拟良好一致。因此,可基于使用多个成像模式测量的散射功率的比较容易地对缺陷分类,其中每一成像模式对应于不同浸润介质中的图像。

[0146] 图8是说明根据本发明的一或多个实施例的用于基于缺陷散射特性检测缺陷且对缺陷分类的方法800中执行的步骤的流程图。申请者提及,本文中在系统100的上下文中先前描述的实施例及启发性技术应解译为延伸到方法800。然而,应进一步注意,方法800不限于检验系统100的架构。

[0147] 在一个实施例中,方法800包含使用照明光束照明样品的步骤802。照明光束可包含照明的任何波长,包含(但不限于)VUV、DUV、UV、可见或IR波长。此外,照明光束可空间上相干或空间上非相干。举例来说,空间上相干光束(例如,激光源或类似物)可提供逐点成像中的光谱功率的高度有效使用。通过另一实例,空间上非相干光束(例如,灯源、斑纹抑制激光源或类似物)可照明用于延伸成像的样品的延伸部分。

[0148] 样品的照明可引发样品发出辐射。举例来说,在通过照明光束的照明之后,样品可反射(例如,镜面反射)辐射、散射辐射(例如,通过一或多个缺陷)及/或衍射辐射。本文中应认知,来自样品的衍射辐射可指示样品上的特征的频率使得小特征可产生在给定立体角内比相对较大特征更高的衍射级。

[0149] 在一个实施例中,步骤802包含按一角度(例如,高NA或类似物)照明样品使得一或多个非零衍射级的辐射可从样品发出。

[0150] 在另一实施例中,方法800包含使用两个或两个以上检测模式收集来自样品的辐射以产生两个或两个以上集光信号的步骤804。在另一实施例中,方法800包含基于两个或两个以上集光信号确定与从样品发出的辐射相关联的一或多个缺陷散射特性的步骤806。在另一实施例中,方法800包含基于与样品上的缺陷相关联的一或多个散射特性对一或多个缺陷分类的步骤808。

[0151] 缺陷散射特性可包含(但不限于)散射相位、散射功率及缺陷吸收。在一般意义上,散射特性将基于缺陷的组成变化。因此,可通过缺陷散射特性的测量确定缺陷的组成。此外,可基于经测量缺陷散射特性对缺陷分类。举例来说,可基于缺陷内的一或多个元素及/或化合物的识别或基于测量的灵敏度通过通用材料类型(例如,金属、电介质、有机物或类似物)对缺陷分类。情况可为已知材料集可已知或通常预期作为缺陷而存在。在此类情况下,有限数目个材料可降低用以根据所要粒度对缺陷分类的所需测量灵敏度。

[0152] 在一个实施例中,基于使用窄带照明源的测量确定与样品上的一或多个缺陷相关联的缺陷散射特性。在另一实施例中,短波长照明(例如,VUV波长、DUV波长、UV波长或类似物)由方法800利用以基于散射功率对波长的 λ^{-4} 相依性提供高散射功率及照明源的光谱功率的有效使用。

[0153] 举例来说,步骤804可包含使用多个检测模式收集从样品发出的辐射以至少提供与样品上的缺陷相关联的散射相位。

[0154] 在一个实施例中,步骤804包含样品的多个相位对比度图像的测量以基于来自样品的镜面反射辐射与散射辐射之间的干涉提供相移相位对比度成像。步骤804可接着包含有意地引入在镜面反射辐射与散射辐射之间的一系列已知相位偏移且针对每一已知相位偏移产生相位对比度干涉图像。步骤806可接着包含基于所述系列相位对比度图像确定与样品上的缺陷相关联的散射相位、散射功率及/或缺陷吸收中的任何者。此外,步骤808可包含基于散射相位、散射功率及/或缺陷吸收对样品上的缺陷分类。另外,可循序地或同时执行与在相移相位对比度成像中引入的已知相位偏移相关联的多个集光信号的检测。

[0155] 在另一实施例中,步骤804包含样品的至少一明场图像及暗场图像的测量。步骤806可接着包含至少基于明场及暗场图像确定与样品上的缺陷相关联的散射功率及/或缺陷吸收。举例来说,明场图像可提供样品上的缺陷的吸收(例如,吸收横截面),而暗场图像可提供样品的散射功率(例如,散射横截面)。步骤808可接着包含基于散射功率及/或缺陷吸收对缺陷分类。

[0156] 在另一实施例中,步骤804包含测量由至少两个不同浸润介质(例如,环境氛围、水、浸润油或类似物)包围的样品。缺陷的散射功率可依据浸润介质的折射率之间的差而变化。在步骤806中,可针对每一介质测量散射横截面(基于散射功率)。因此,可在步骤808中计算在两个不同浸润介质中测量的缺陷的经测量散射横截面的比率以对缺陷分类。

[0157] 本文中描述的标的物有时说明其它组件内含有或与其它组件连接的不同组件。应理解,此类所描绘的架构仅为示范性,且事实上可实施实现相同功能性的许多其它架构。在概念意义上,用以实现相同功能性的组件的任何布置有效“相关联”使得实现所要功能性。因此,在本文中组合以实现特定功能性的任何两个组件可被视为彼此“相关联”使得实现所要功能性而不考虑架构或中间组件。同样地,如此相关联的任何两个组件也可视作彼此“连接”或“耦合”以实现所要功能性,且能够如此相关联的任何两个组件也可视作彼此

“可耦合”以实现所要功能性。可耦合的特定实例包含(但不限于)可物理交互及/或物理交互组件及/或可无线交互及/或无线交互组件及/或可逻辑交互及/或逻辑交互组件。

[0158] 据信,本发明及许多其伴随优点将通过前述描述理解,且将明白,可对组件的形式、构造及布置做出多种改变而不脱离所揭示的标的物或不牺牲全部其材料优点。所描述的形式仅仅是解释性,且所附权利要求书希望涵盖且包含此类改变。此外,应理解,本发明由所附权利要求书界定。

100

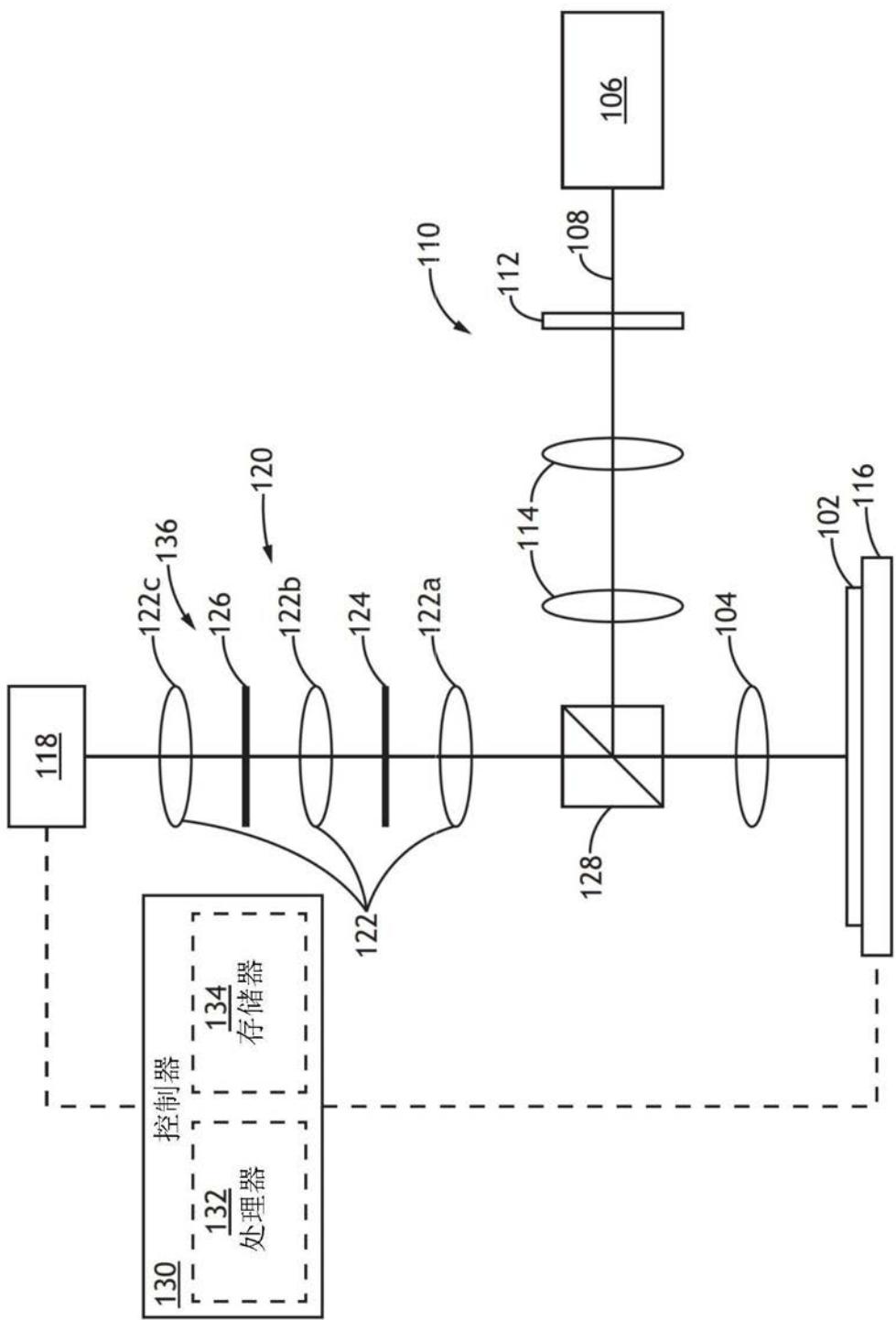


图 1A

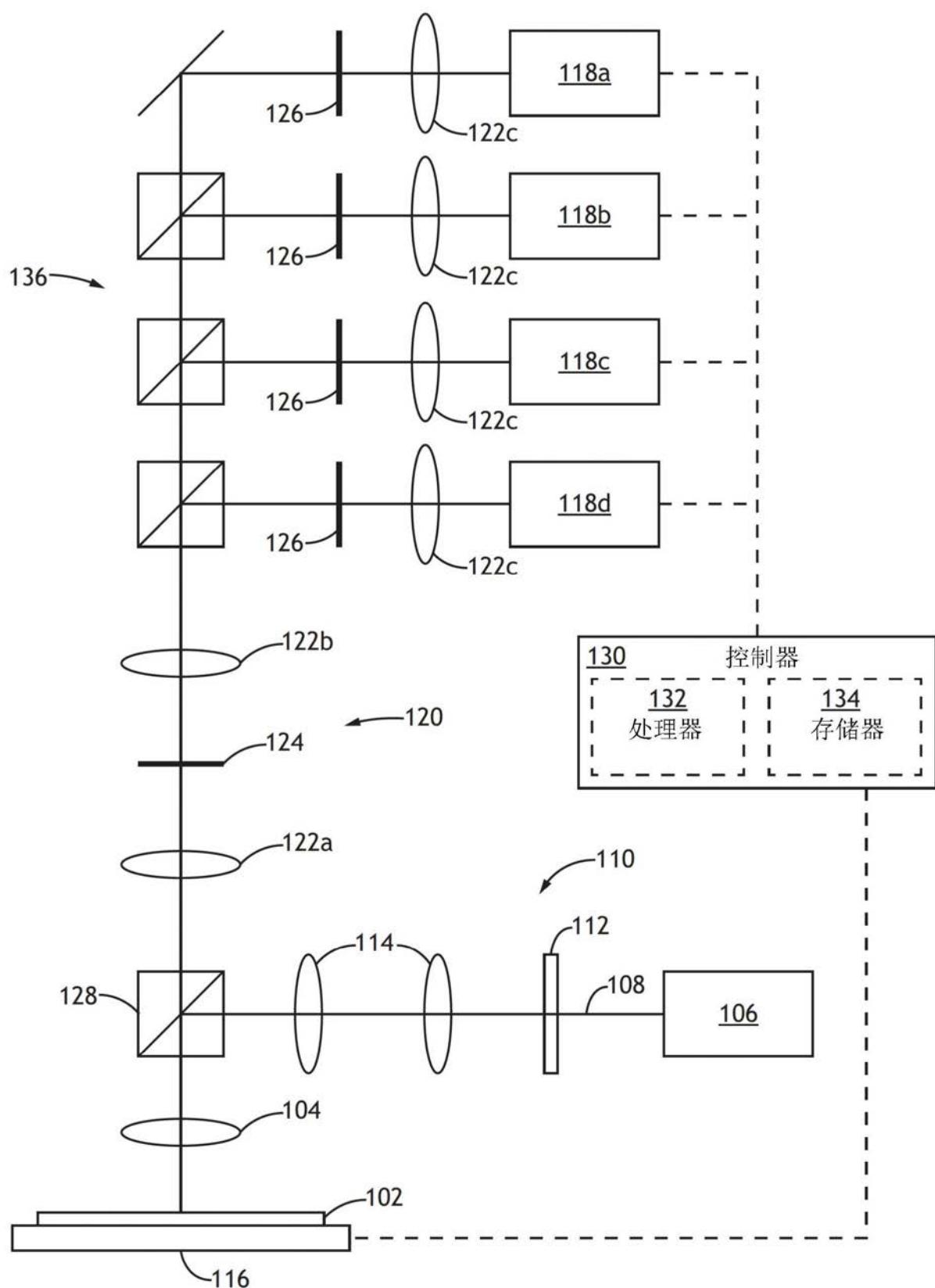
100

图1B

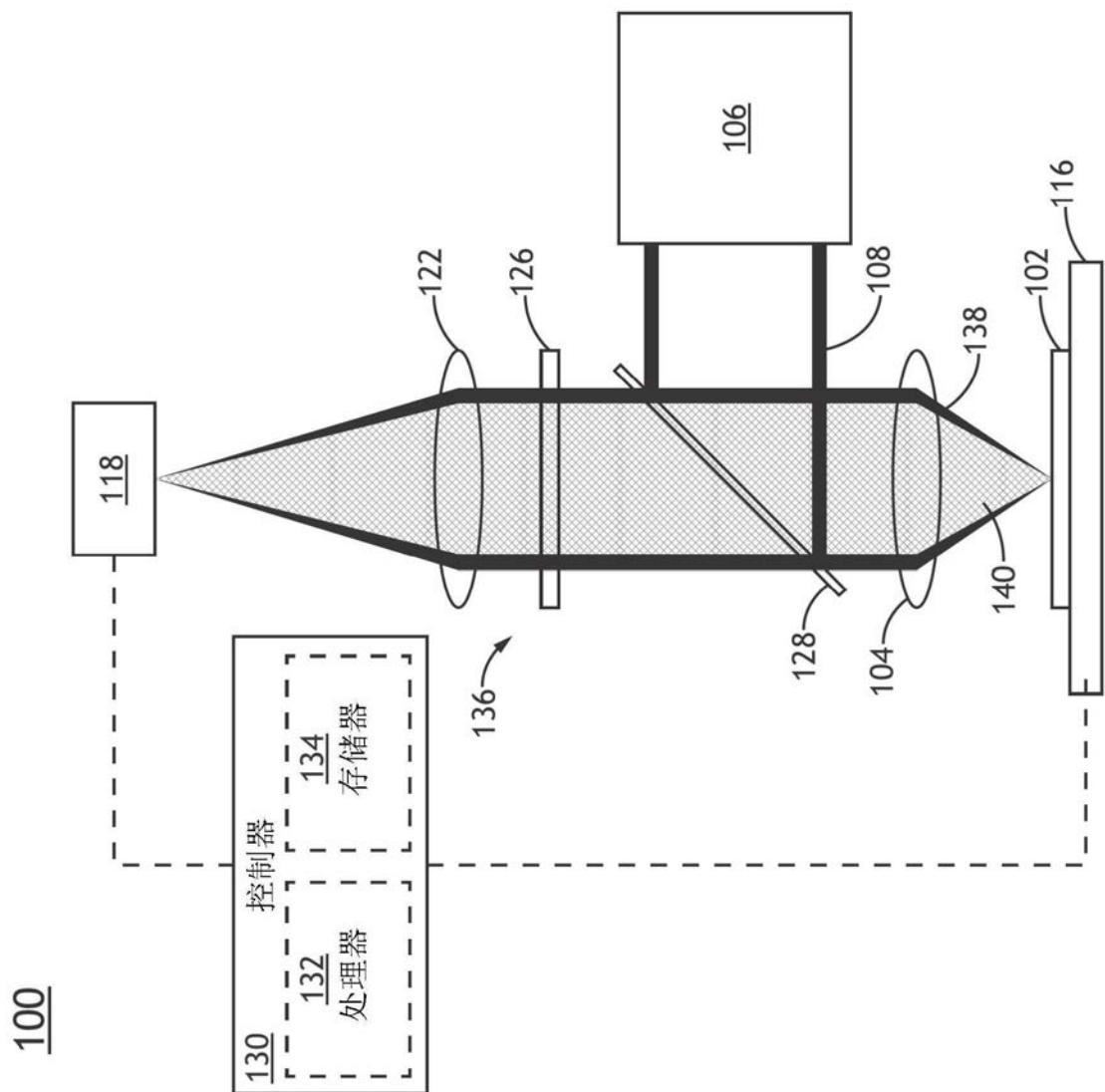


图1C

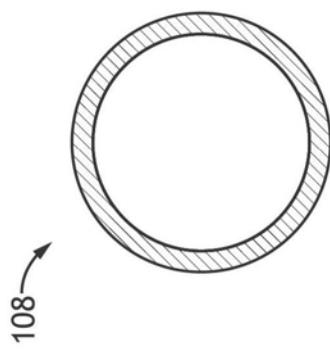


图1D

100

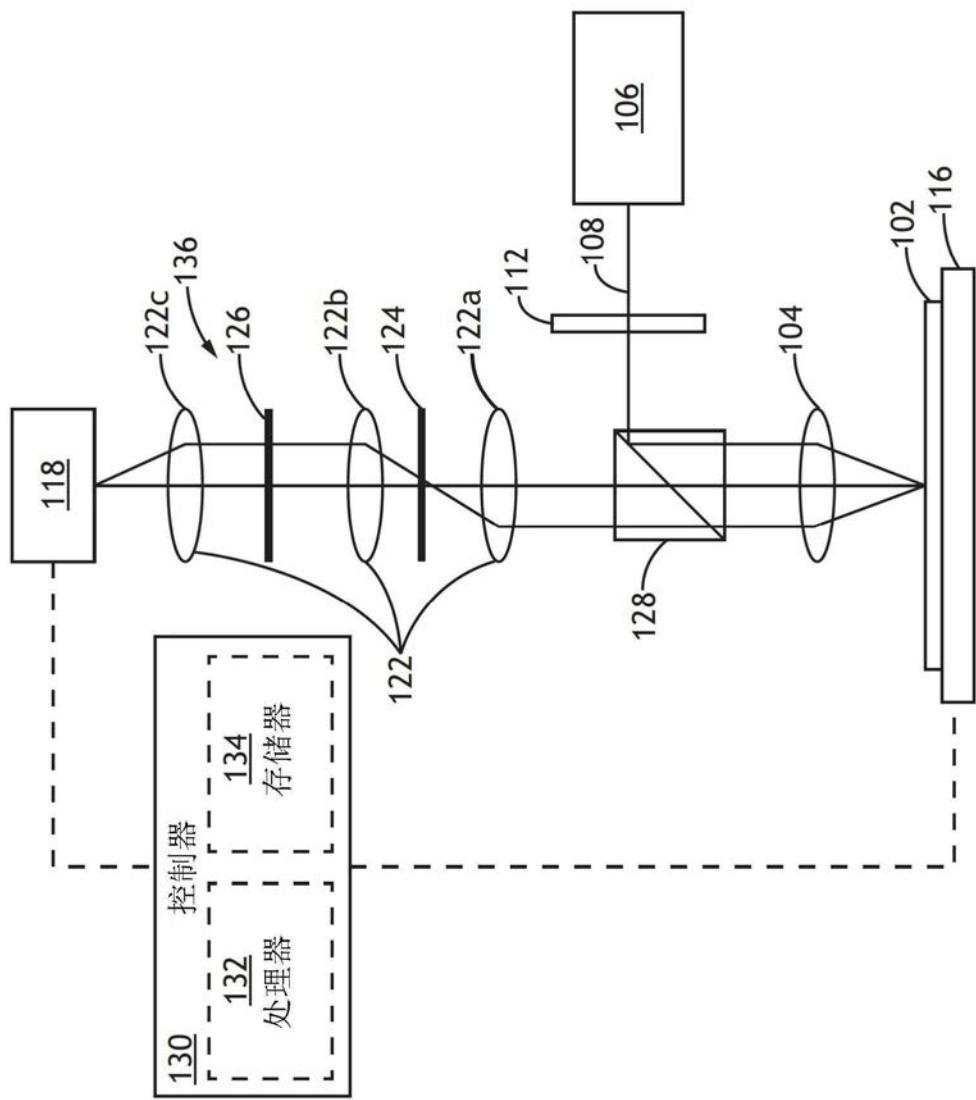


图1E

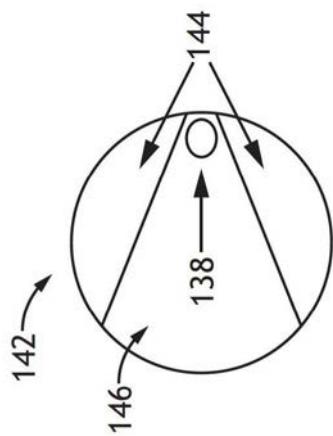


图1F

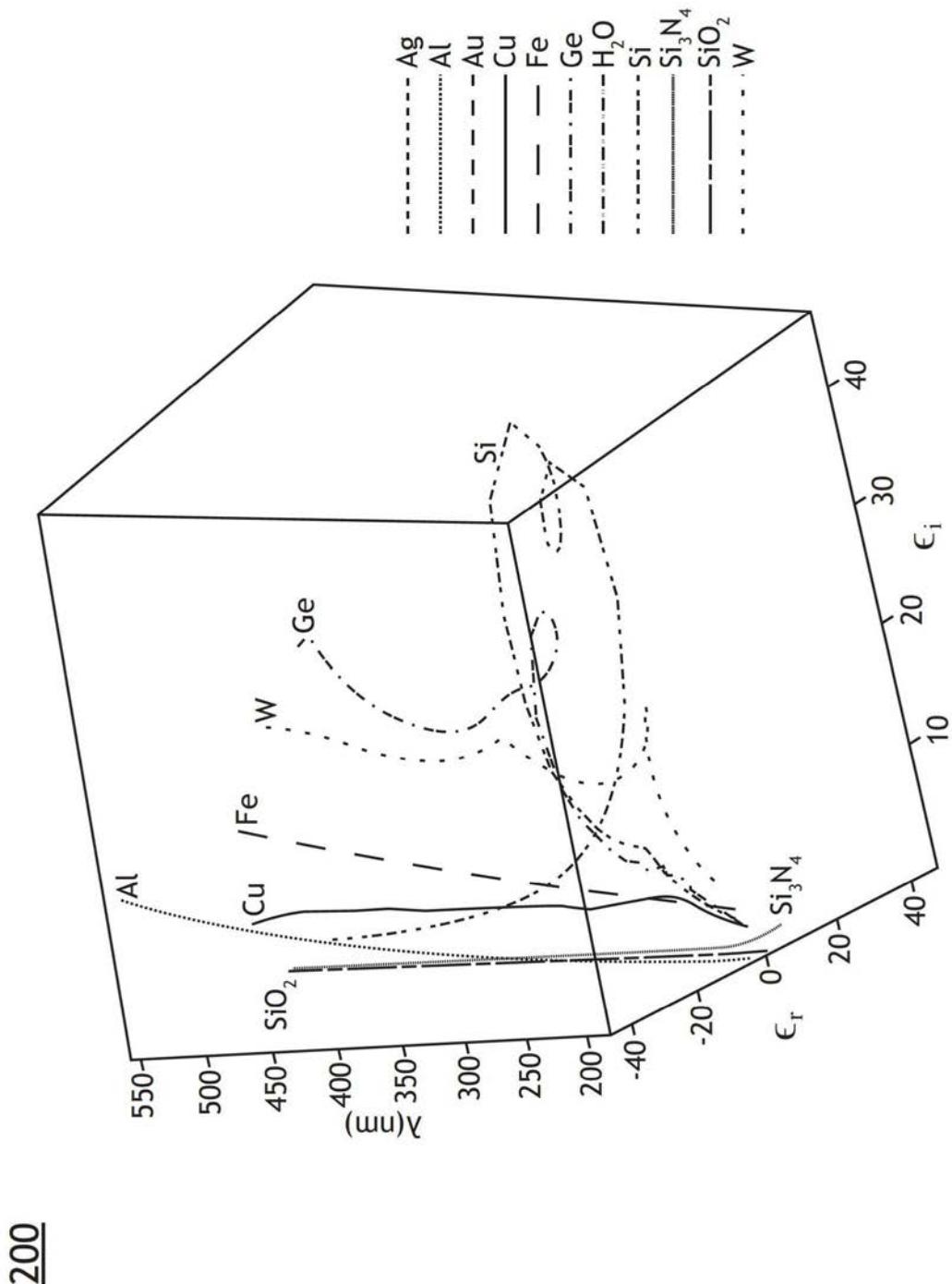
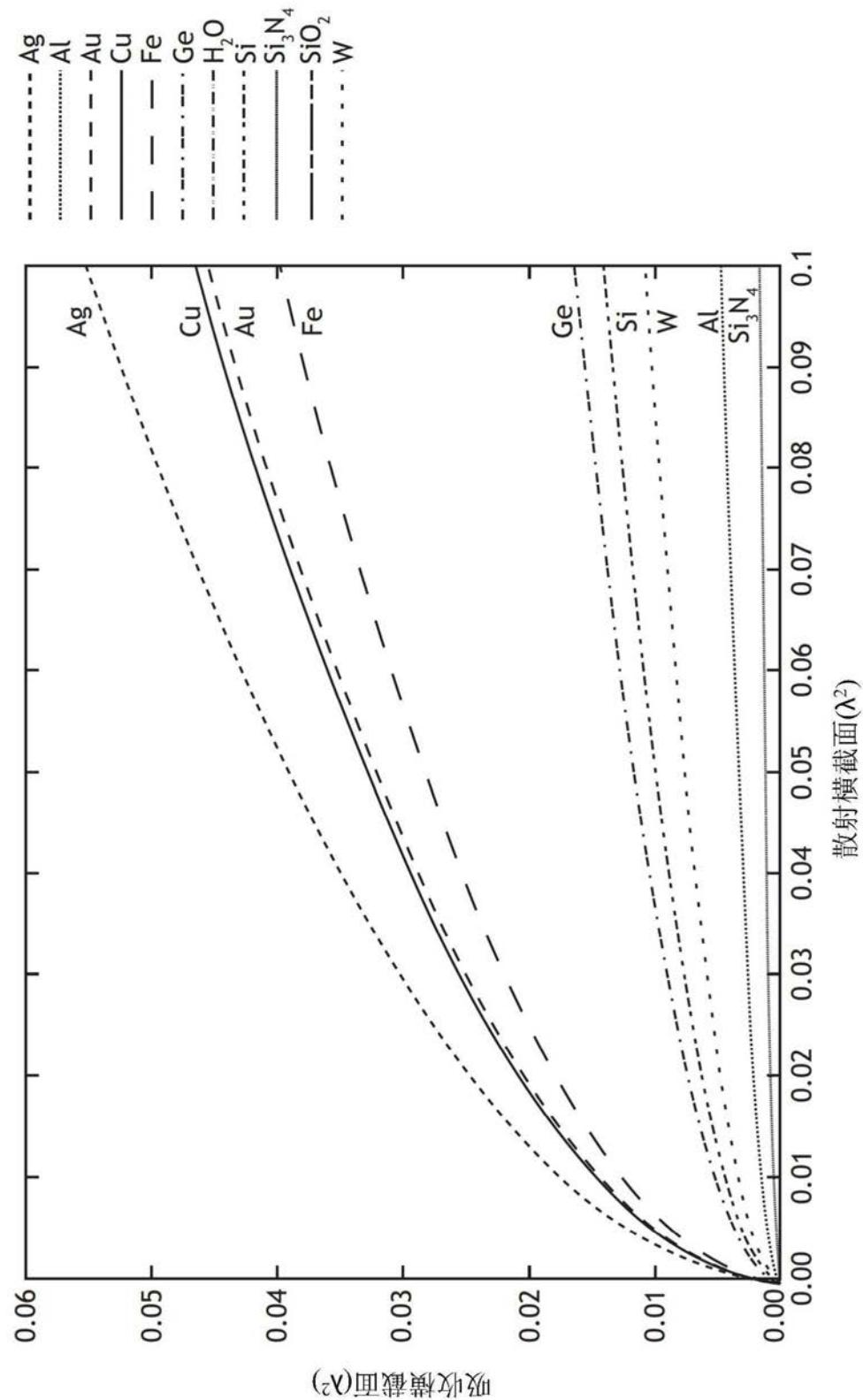
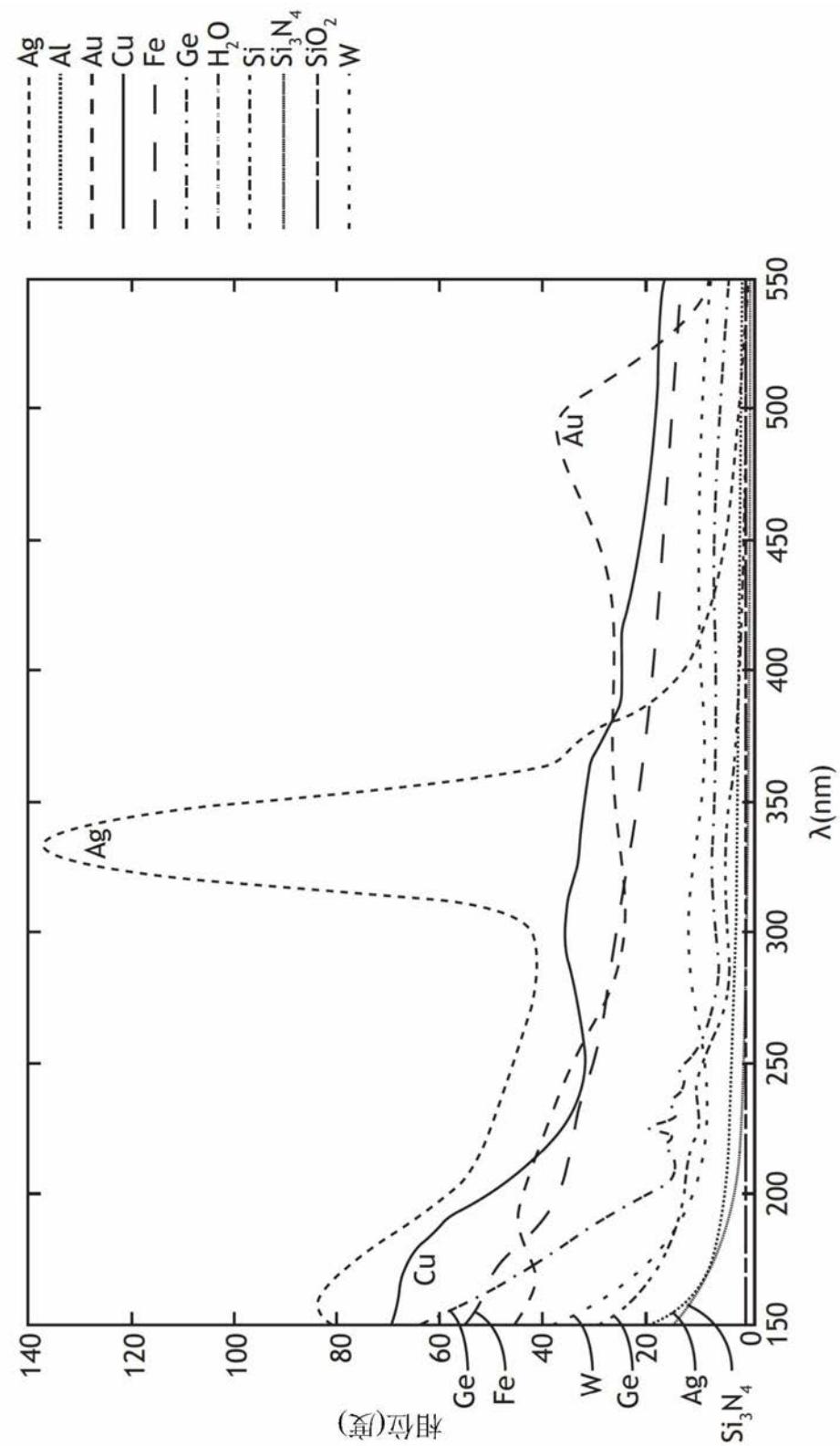


图2



300

图3



400

图4

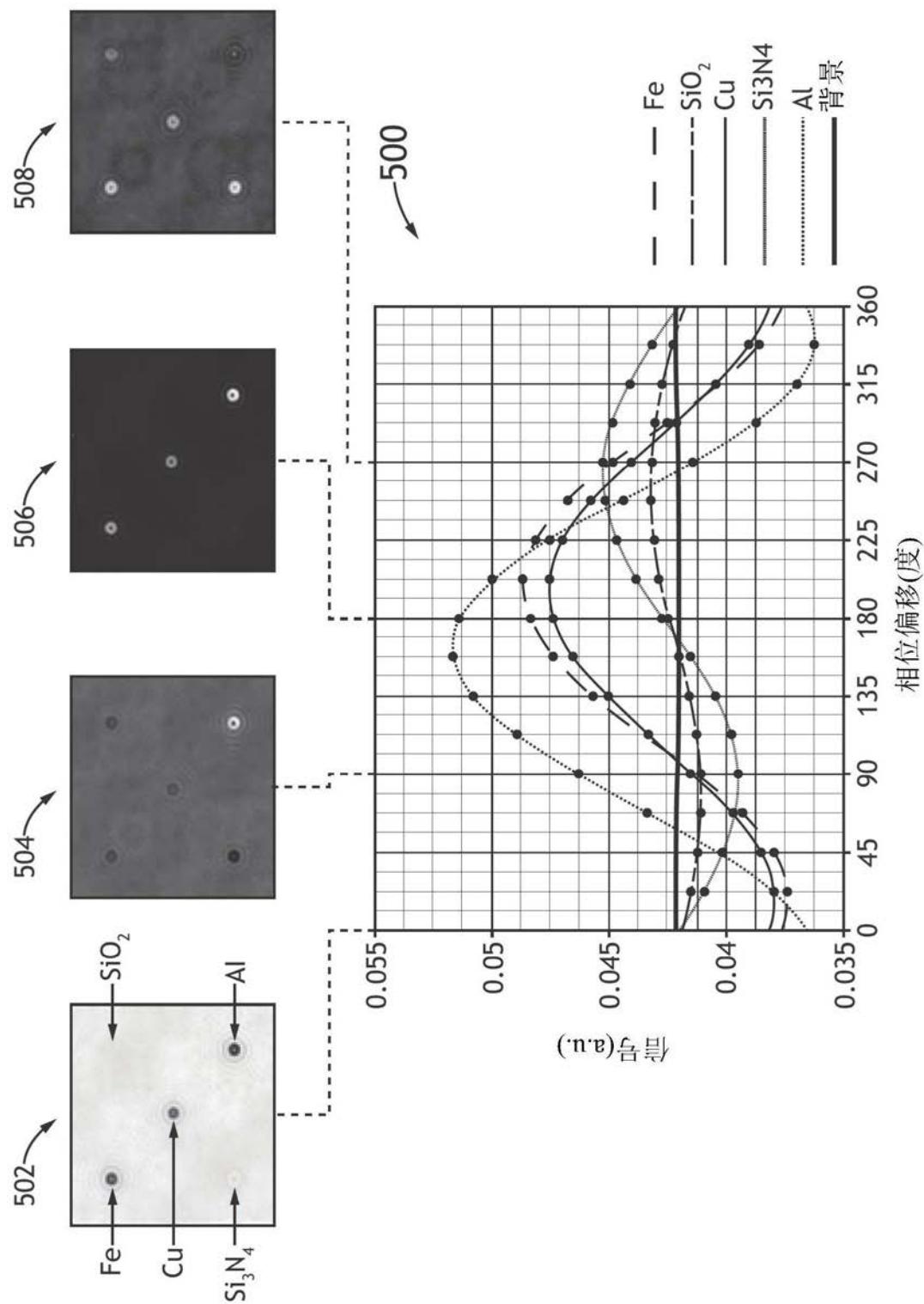


图5

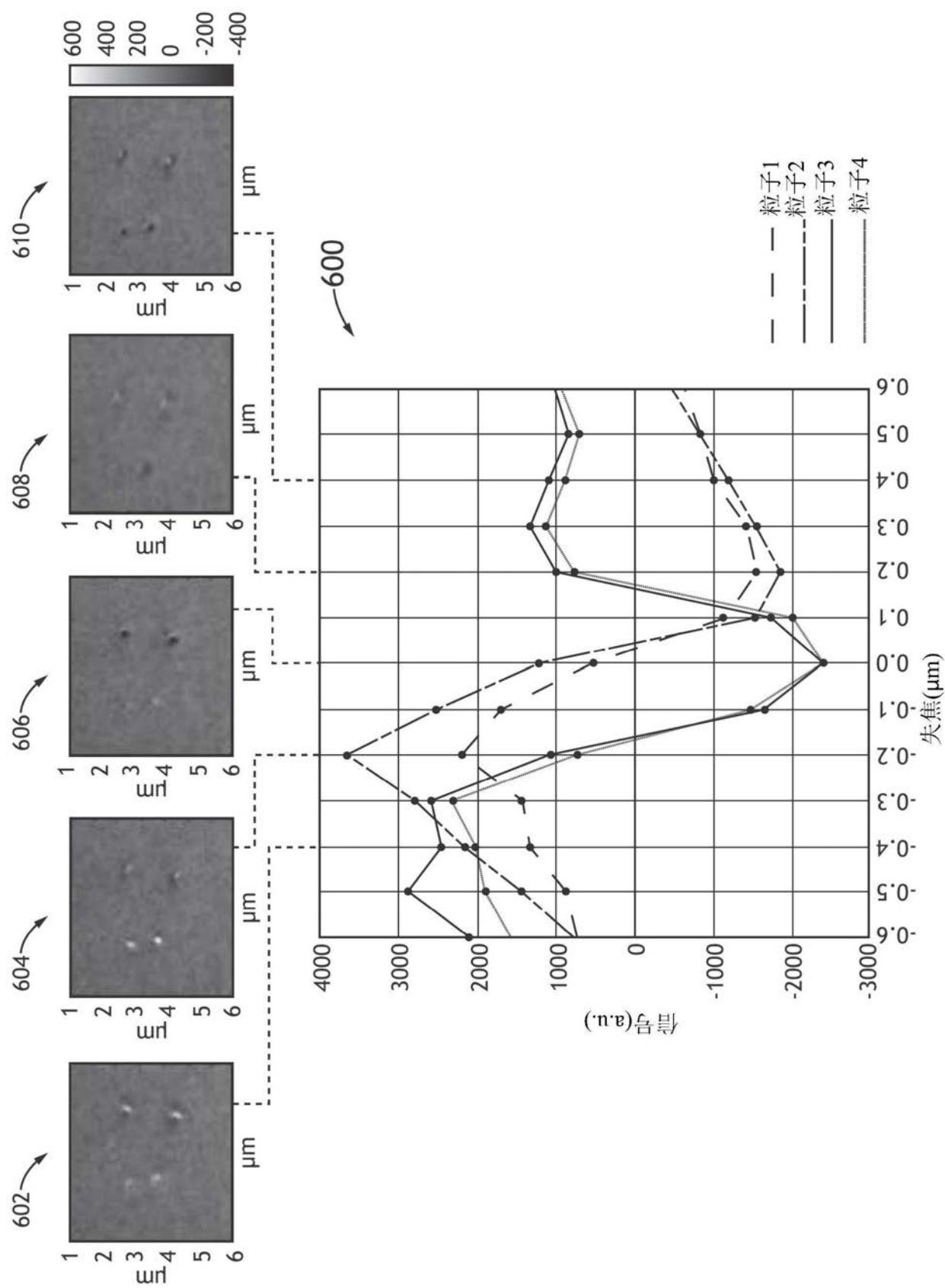


图6

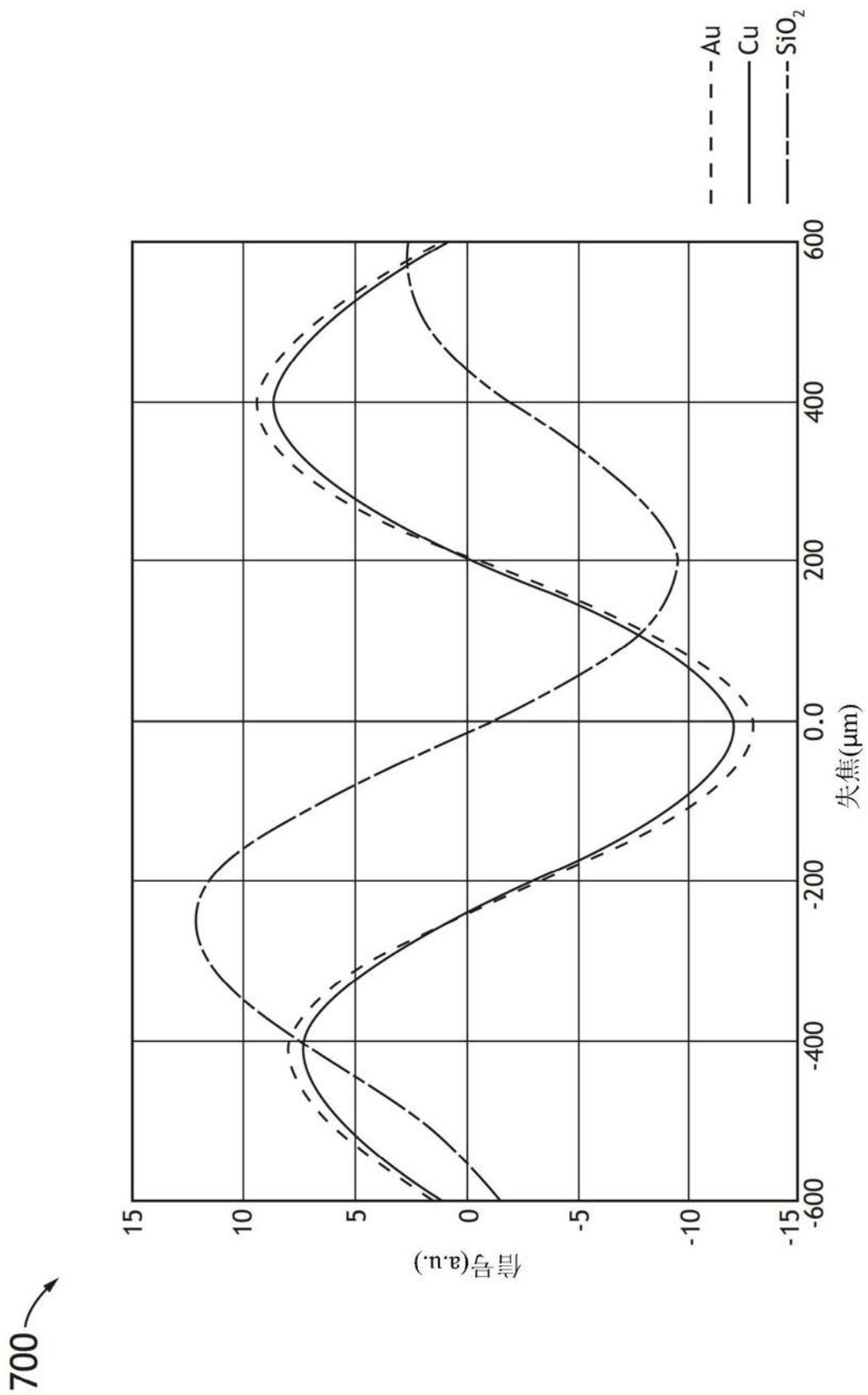


图7

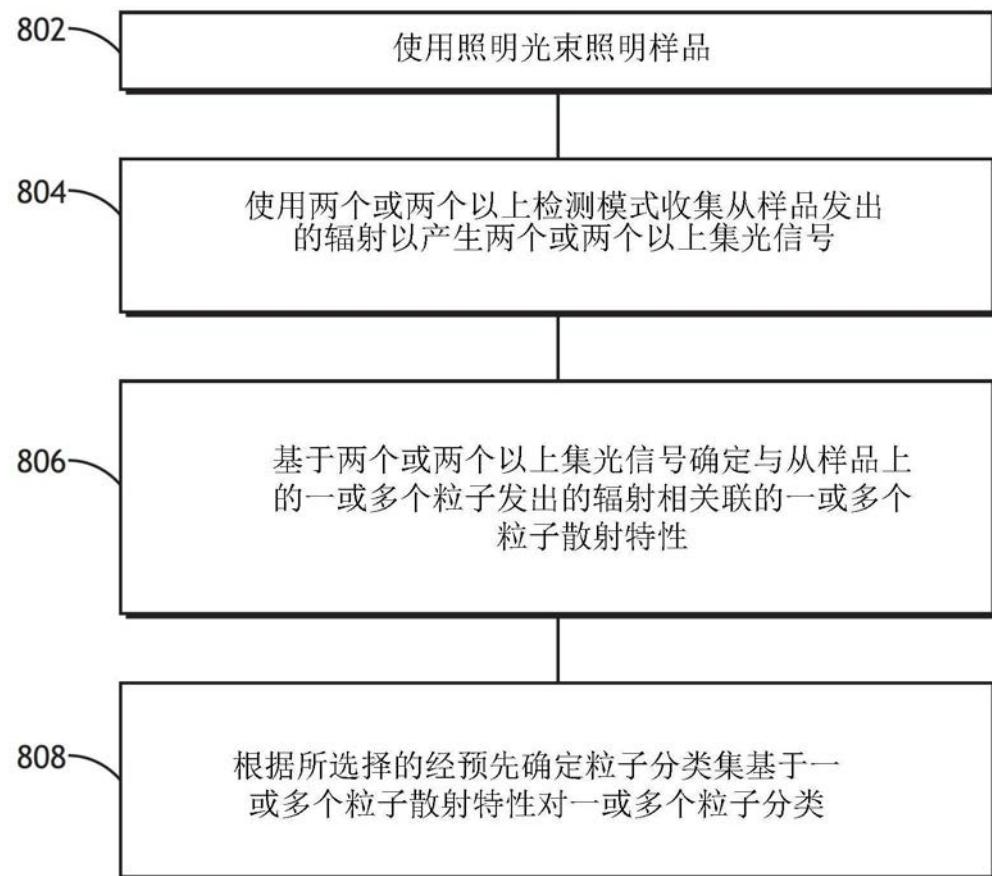
800

图8