(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103185854 B
(45)授权公告日 2015.07.01

(21)申请号 201310054383.6
(22)申请日 2007.05.04
(30)优先权数据
2006902366 2006.05.05 AU
(62)分案原申请数据
200780025426.0 2007.05.04
(73)专利权人 BT成像股份有限公司
地址 澳大利亚新南威尔士省
(72)发明人 T. 特鲁科 R. A. 巴多斯
(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限责任公司 11240
代理人 余刚 吴孟秋
(51)Int.Cl.
G01R 31/265(2006.01)
G01R 31/02(2006.01)
(56)对比文件
WO 98/11425 A1,1998.03.19,
US 2005/0252545 A1,2005.11.17,
US 5006717 A,1991.04.09,
Yasue Kaji et.al.Characterization of polycrystalline silicon solar cells by electroluminescence.《15th international photovoltaic science & engineering conference (PVSEC-15)》.2005,153-154.
审查员 徐辉

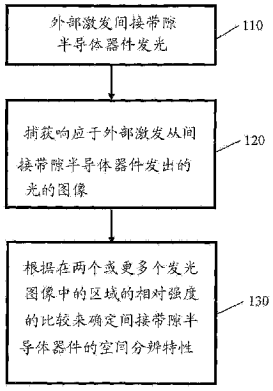
权利要求书3页 说明书11页 附图8页

(54)发明名称

利用发光成像测试间接带隙半导体器件的方法和系统

(57)摘要

利用发光成像测试间接带隙半导体器件的方法和系统。描述了用来识别或确定间接带隙半导体器件例如太阳能电池中的空间分辨特性的方法和系统的实施例。在一个实施例中,通过从外部激发间接带隙半导体器件以使所述间接带隙半导体器件发光(110)、捕获响应于所述外部激发从间接带隙半导体器件发出的光的图像(120)、以及根据在一个或多个发光图像中的区域的相对强度的比较确定所述间接带隙半导体器件的空间分辨特性(130)来确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性。



CN 103185854 B

1. 一种用来确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性的方法，所述方法包括步骤：

从外部激发所述间接带隙半导体器件以使所述间接带隙半导体器件发光；

捕获响应于所述外部激发从所述间接带隙半导体器件发出的光的图像；以及

根据对两个或更多个所述光的图像中的区域的相对强度的比较来确定所述间接带隙半导体器件的空间分辨特性，

其中从外部激发所述间接带隙半导体器件的所述步骤包括通过施加至少一个电激发信号到所述间接带隙半导体器件的接触端来电激发所述间接带隙半导体器件以电致发光的步骤，并且确定空间分辨特性的所述步骤包括以下步骤：比较至少两个电致发光图像中的对应区域的强度，所述电致发光图像中的每一个对应于电激发信号的不同电平，由此空间分辨所述间接带隙半导体器件中的电隔离或不良连接区域。

2. 根据权利要求 1 的方法，其中确定空间分辨特性的所述步骤包括比较一个所述光的图像中的不同区域之间的强度比与至少一个另外的所述光的图像中的相应区域之间的强度比的步骤。

3. 根据权利要求 1 的方法，其中所述电隔离或不良连接区域对应于相对于利用第一电平的电激发信号产生的第一电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域但是不对应于相对于利用第二电平的电激发信号产生的第二电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域，其中所述第一电平电激发信号高于所述第二电平电激发信号。

4. 根据权利要求 1 的方法，其中在外部激发所述间接带隙半导体器件的所述步骤还包括：

利用适于在所述间接带隙半导体器件中引起光致发光的光照射所述间接带隙半导体器件。

5. 根据权利要求 4 的方法，其中确定空间分辨特性的所述步骤包括比较光致发光图像和电致发光图像中的区域的相对强度的步骤。

6. 根据权利要求 5 的方法，其中在没有相对于所述光致发光图像中的其它区域改变了强度的相应区域的情况下所述电隔离或不良连接区域与相对于所述电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域对应。

7. 根据权利要求 1 的方法，其中外部激发所述间接带隙半导体器件的所述步骤还包括：

利用适于在所述间接带隙半导体器件中引起光致发光的光照射所述间接带隙半导体器件并且同时相对于开路值改变跨越所述间接带隙半导体器件的接触端的电压电平。

8. 根据权利要求 7 的方法，其中确定空间分辨特性的所述步骤包括在相对于开路值改变跨越所述间接带隙半导体器件的接触端的电压的情况下比较至少一个电致发光图像和至少一个光致发光图像中的相应区域的强度的步骤。

9. 根据权利要求 7 或权利要求 8 的方法，其中同时相对于开路值改变跨越所述间接带隙半导体器件的接触端的电压的所述步骤包括从步骤组选择的步骤，所述步骤组包括：

跨越所述间接带隙半导体器件的接触端施加外部偏置；

跨越所述间接带隙半导体器件的接触端施加负载；

在所述间接带隙半导体器件的接触端两端应用短路；

跨越所述间接带隙半导体器件的接触端施加电压；

将电流注入到所述间接带隙半导体器件的接触端中；以及

从所述间接带隙半导体器件的接触端抽取电流。

10. 根据权利要求 7 或权利要求 8 的方法，其中同时相对于开路值改变跨越所述间接带隙半导体器件的接触端的电压的所述步骤包括相对于开路值减小所述接触端两端的所述电压的步骤。

11. 根据权利要求 10 的方法，其中所述电隔离或不良连接区域与相对于所述电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域以及相对于在所述接触端两端具有降低的电压的所述光致发光图像中的其它区域有较高强度的区域对应。

12. 根据权利要求 1 到 8 中的任一项的方法，其中所述间接带隙半导体器件包括硅设备和光电设备的一个或多个。

13. 根据权利要求 1 到 8 中的任一项的方法，其中所述间接带隙半导体器件包括太阳能电池。

14. 一种用来确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性的仪器，所述仪器包括：

用来激发所述间接带隙半导体器件发光的激发装置；

用来捕获由所述间接带隙半导体器件发出的光的图像的图像捕获装置；以及

用来处理所述光的图像以根据在两个或更多个所述光的图像中的区域的相对强度的比较来确定所述间接带隙半导体器件的空间分辨特性的处理装置，

其中所述激发装置包括用于施加电信号到所述间接带隙半导体器件的接触端以在所述间接带隙半导体器件中引起电致发光的电信号产生装置，并且所述处理装置适于比较至少两个电致发光图像中的区域的相对强度，所述电致发光图像中的每一个对应于电激发信号的不同电平，以及其中所述空间分辨特性包括所述间接带隙半导体器件中的电隔离或不良连接区域。

15. 根据权利要求 14 的仪器，其中所述处理装置适于比较在一个所述光的图像中的不同区域之间的强度比与在至少一个另外的所述图像中的相应区域之间的强度比。

16. 根据权利要求 14 的仪器，其中所述电隔离或不良连接区域对应于相对于利用第一电平的电激发信号产生的第一电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域但是不对应于相对于利用第二电平的电激发信号产生的第二电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域，其中所述第一电平电激发信号高于所述第二电平电激发信号。

17. 根据权利要求 14 的仪器，其中所述激发装置还包括：

利用适合在所述间接带隙半导体器件中引起光致发光的光照射所述间接带隙半导体器件的照射装置。

18. 根据权利要求 17 的仪器，其中所述处理装置适于比较光致发光图像和电致发光图像中的区域的相对强度。

19. 根据权利要求 18 的仪器，其中在没有相对于所述光致发光图像中的其它区域改变了强度的相应区域的情况下所述电隔离或不良连接区域与相对于所述电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域对应。

20. 根据权利要求 14 的仪器，其中所述激发装置还包括：

利用适于在所述间接带隙半导体器件中引起光致发光的光照射所述间接带隙半导体器件的照射装置，以及

用来相对于开路值改变跨越所述间接带隙半导体器件的接触端的电压电平的电压改变装置。

21. 根据权利要求 20 的仪器，其中在相对于开路值改变跨越所述间接带隙半导体器件的接触端的电压的情况下所述处理装置适于比较至少一个电致发光图像和至少一个光致发光图像中的区域的相对强度。

22. 根据权利要求 20 或权利要求 21 的仪器，其中所述电压改变装置包括选自下列组的电压改变装置，所述组包括：

外部偏置装置；

负载；

短路；

电压源；

电流源；以及

电流吸收器。

23. 根据权利要求 20 或权利要求 21 的仪器，其中所述电压改变装置相对于开路值减小所述接触端两端的所述电压。

24. 根据权利要求 23 的仪器，其中所述电隔离或不良连接区域与相对于所述电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域以及相对于在所述接触端两端具有降低的电压的所述光致发光图像中的其它区域有较高强度的区域对应。

25. 根据权利要求 14 到 21 中的任一项的仪器，其中所述间接带隙半导体器件包括硅设备和光电设备中的一个或多个。

26. 根据权利要求 14 到 21 中的任一项的仪器，其中所述间接带隙半导体器件包括太阳能电池。

利用发光成像测试间接带隙半导体器件的方法和系统

[0001] 本申请是申请号为200780025426.0、申请日为2007年5月4日、发明名称为“利用发光成像测试间接带隙半导体器件的方法和系统”的申请的分案申请。

[0002] 相关申请

[0003] 本申请要求2006年5月5日提交的澳大利亚临时专利申请No. 2006902366的权益并且并入其全部内容作为参考。

技术领域

[0004] 本发明主要涉及利用发光成像的半导体测试，并且更具体地说涉及间接带隙半导体器件例如硅太阳能电池的测试。

背景技术

[0005] 太阳能电池的生产从裸露的半导体晶片例如硅晶片开始。在生产期间，通常通过丝网印刷或掩埋接触工艺将金属图案或栅格施加到晶片。所述金属图案或栅格的目的是收集响应于通过外部照明源对太阳能电池的半导体结构的激发而产生的电流。所述金属栅格通常包括电连接到一条或多条母线的多个指状物。

[0006] 因为效率原因，一方面，期望使太阳能电池的光收集面积最大。这规定了所述指状物应当薄、窄并且间隔宽以减小光收集面积的阴影。也因为效率原因，另一方面，期望金属指状物在最小电损耗的情况下传输电流。这规定了金属指状物应当厚、宽并且间隔紧密以使电阻损耗最小。因此太阳能电池设计的主要部分是实现这些对立要求之间的合适折衷。

[0007] 光电太阳能电池制造通常由未能满足所需效率规格的设备的显著废品率来表征，并且常规测试方法通常不能确定太阳能电池显示出低效率的原因。

[0008] 优良的光电设备的区域通过低的串联电阻横向并联连接。光电设备失效的一个特有模式是光电设备中的一些区域变得与所述光电设备中的其它区域电隔离或连接不良。例如，金属指状物在太阳能电池的制造期间，尤其是在由非常薄的指状物来表征的最佳设计的丝网印刷期间断裂。在该情形下，在邻近断裂的指状物附近产生的电流不能被有效收集，其导致了太阳能电池的效率损失。另一个失效模式由具有增强的接触电阻的太阳能电池内的高接触电阻或特定区域引起。从半导体的本体到金属接触的电流引起电压降，所述电压降由接触电阻确定。局部增强的接触电阻降低了太阳能电池的效率。在工业制造的太阳能电池中存在各种这种局部增强的接触电阻的电势源。

[0009] 因此需要能够识别间接带隙半导体器件中的不良连接或电隔离区域的方法和系统。也需要能够识别太阳能电池中断裂的金属指状物、母线以及指状物和母线之间的连接的方法和系统，其是工业太阳能电池中出现的共同问题。

发明内容

[0010] 本发明的各个方面涉及用来识别或确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性(spatially resolved property)的方法和系统。

[0011] 本发明的第一方面提供用来确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性的方法。所述方法包括的步骤为：从外部激发间接带隙半导体器件以使所述间接带隙半导体器件发光、捕获响应于外部激发从间接带隙半导体器件发出的光的图像、以及根据对两个或更多个发光图像中的区域的相对强度的比较来确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性。

[0012] 确定空间分辨特性的步骤可以包括空间分辨间接带隙半导体器件中的电隔离或不良连接区域。

[0013] 确定空间分辨特性的步骤可以包括比较一个发光图像中的不同区域之间的强度比与至少一个另外的发光图像中的相应区域之间的强度比。

[0014] 确定空间分辨特性的步骤可以包括比较至少两个发光图像中的区域的相对强度，所述至少两个发光图像可以从发光图像组中选择，所述发光图像组包括：通过利用电信号激发间接带隙半导体器件所产生的电致发光图像；当间接带隙半导体器件的接触端保持开路状态时通过利用适于引起光致发光的入射光激发间接带隙半导体器件所产生的光致发光图像；以及通过利用适于引起光致发光的入射光激发间接带隙半导体器件并且同时相对于开路值改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压电平所产生的光致发光图像。

[0015] 在一个实施例中，外部激发间接带隙半导体器件的步骤可以包括下列步骤中的至少一个：利用适于在间接带隙半导体器件中引起光致发光的光照射间接带隙半导体器件；以及施加电信号到间接带隙半导体器件的接触端以在间接带隙半导体器件中引起电致发光。可以通过比较光致发光图像和电致发光图像中的区域的相对强度来确定空间分辨特性。在没有相对于光致发光图像中的其它区域改变了强度的相应区域的情况下，电隔离或不良连接区域可以与相对于电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域对应。

[0016] 在一个实施例中，外部激发间接带隙半导体器件的步骤可以包括利用适于在间接带隙半导体器件中引起光致发光的光照射间接带隙半导体器件并且所述方法可以包括同时相对于开路值改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压的另一个步骤。可以通过比较在没有相对于开路值改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压的情况下的至少一个光致发光图像和在相对于开路值改变跨越所述间接带隙半导体器件的接触端的电压的情况下的至少一个光致发光图像中的对应区域的强度来确定空间分辨特性。同时相对于开路值改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压的步骤可以包括从以下步骤选择的步骤：跨越间接带隙半导体器件的接触端施加外部偏置；跨越间接带隙半导体器件的接触端施加负载；在所述间接带隙半导体器件的接触端两端应用短路；跨越间接带隙半导体器件的接触端施加电压；将电流注入到间接带隙半导体器件的接触端中；以及从间接带隙半导体器件的接触端抽取电流。同时相对于开路值改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压的步骤可以包括相对于开路值减小接触端两端的电压。在没有相对于在接触端两端具有开路电压值的光致发光图像中的其它区域改变了强度的相应区域的情况下，电隔离或不良连接区域可以与相对于在接触端两端具有降低电压的光致发光图像中的其它区域有较高强度的区域对应。

[0017] 在一个实施例中，外部激发间接带隙半导体器件的步骤可以包括通过施加至少一个电激发信号到间接带隙半导体器件的接触端来电激发间接带隙半导体器件以电致发光。确定空间分辨特性的步骤可以包括比较至少两个电致发光图像中的对应区域的强度，电致发光图像中的每一个对应于电激发信号的不同电平。电隔离或不良连接区域可以对应于相

对于利用第一电平的电激发信号产生的第一电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域而不对应于相对于利用第二电平的电激发信号产生的第二电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域，其中所述第一电平电激发信号高于所述第二电平电激发信号。

[0018] 在一个实施例中，外部激发间接带隙半导体器件的步骤可以包括下列步骤：施加电信号到间接带隙半导体器件的接触端以在间接带隙半导体器件中引起电致发光；以及利用适于在间接带隙半导体器件中引起光致发光的光照射间接带隙半导体器件并且同时相对于开路值改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压电平。确定空间分辨特性的步骤可以包括在相对于开路值改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压的情况下比较至少一个电致发光图像和至少一个光致发光图像中的相应区域的强度。同时相对于开路值改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压的步骤可以包括从步骤组选择的步骤，所述步骤组包括：跨越间接带隙半导体器件的接触端施加外部偏置；跨越间接带隙半导体器件的接触端施加负载；在所述间接带隙半导体器件的接触端两端应用短路；跨越间接带隙半导体器件的接触端施加电压；将电流注入到间接带隙半导体器件的接触端中；以及从间接带隙半导体器件的接触端抽取电流。同时相对于开路值改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压的步骤可以包括相对于开路值减小接触端两端的电压。电隔离或不良连接区域可以与相对于电致发光图像中的其它区域有较低强度的区域以及相对于在接触端两端具有降低的电压的光致发光图像中的其它区域有较高强度的区域对应。

[0019] 本发明的另一方面提供用来识别太阳能电池中的电隔离或不良连接区域的方法，所述太阳能电池包括间接带隙半导体晶片的一部分，所述间接带隙半导体晶片具有至少一个设置在其表面上的金属图案。所述方法包括的步骤为：激发太阳能电池发光、捕获所发射的光的至少一个图像、以及处理所述至少一个发光图像以根据所述至少一个发光图像中的区域的强度的比较来识别金属图案中的断裂。金属图案可以包括包含多个电连接到至少一条母线的并联指状物的栅格，并且其中电隔离区域包括一个或多个选自组的项中的断裂，所述组包括：指状物、母线、以及指状物和母线之间的连接。

[0020] 在一个实施例中，可以利用电信号激发太阳能电池以引起电致发光的发射。可以根据对电致发光图像中强度相对较低区域的检测来识别断裂的指状物。强度相对较低的区域可以包括接近指状物的一部分的伸长区域。

[0021] 在一个实施例中，可以通过利用适于引起光致发光的入射光照射太阳能电池并且同时相对于开路值改变跨越太阳能电池的接触端的电压电平来激发太阳能电池发光。同时改变跨越太阳能电池的接触端的电压电平可以包括：跨越太阳能电池的接触端施加外部偏置；跨越太阳能电池的接触端施加负载；在所述太阳能电池的接触端两端应用短路；跨越太阳能电池的接触端施加电压；将电流注入到太阳能电池的接触端中；或从太阳能电池的接触端抽取电流。可以根据对强度相对较高的区域的检测识别断裂的指状物。强度相对较高的区域可以包括接近指状物的一部分的伸长区域。

[0022] 处理至少一个发光图像的步骤可以包括根据至少两个发光图像中的区域的相对强度的比较来识别金属图案中的断裂。所述至少两个发光图像可以包括从发光图像组选择的发光图像，所述发光图像组包括：通过利用电信号激发太阳能电池所产生的电致发光图像；当太阳能电池的接触端保持开路状态时通过利用适于引起光致发光的入射光激发太阳能电池所产生的光致发光图像；以及通过利用适于引起光致发光的入射光激发太阳能电池

并且同时相对于开路值改变跨越太阳能电池的接触端的电压电平所产生的光致发光图像。所述处理步骤可以包括比较在一个发光图像中的不同区域之间的强度比与在至少一个另外的发光图像中的对应区域之间的强度比。

[0023] 本发明的另一方面提供用来确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性的仪器。所述仪器包括用来激发间接带隙半导体器件发光的激发装置、用来捕获由间接带隙半导体器件发出的光的图像的图像捕获装置、以及用来处理发光图像以根据在两个或更多个发光图像中的区域的相对强度的比较来确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性的处理装置。

[0024] 本发明的另一方面提供用来识别太阳能电池中的电隔离或不良连接区域的仪器，所述太阳能电池包括间接带隙半导体晶片的一部分，所述间接带隙半导体晶片具有至少一个设置在其表面上的金属图案。所述仪器包括用来激发太阳能电池发光的激发装置、用来捕获所发射的光的至少一个图像的图像捕获装置、以及用来处理所述至少一个发光图像以根据所述至少一个发光图像中的区域的强度的比较来识别金属图案中的断裂的处理装置。

附图说明

[0025] 下文将参考附图仅以实例的形式来描述少量实施例，其中：

[0026] 图 1 是根据本发明的实施例的用来确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性的方法的流程图；

[0027] 图 2a、2b 和 2c 是有缺陷的太阳能电池的发光图像；

[0028] 图 3 是根据本发明的实施例的用来识别太阳能电池中的电隔离或不良连接区域的方法的流程图；

[0029] 图 4a 和 4b 是有缺陷的太阳能电池的发光图像；以及

[0030] 图 5 是根据本发明的实施例的用来确定间接带隙半导体器件例如太阳能电池的空间分辨特性的仪器的方块图。

具体实施方式

[0031] 下文描述用于间接带隙半导体器件的电致发光和光致发光成像的方法和系统的实施例。尽管具体参考太阳能电池描述了某些实施例，但并不旨在使本发明局限于这种设备，因为本发明的原理对光电设备和 / 或半导体器件和结构具有一般适用性，其可以全部或部分地被处理。

[0032] 在本说明书的内容中，对电隔离或不良连接区域的参考旨在包括在预期涵义范围内的部分电隔离区域。例如，电隔离或不良连接区域包括电阻性地耦合到其它区域的区域。

[0033] 用来光检查或测试间接带隙半导体器件例如光电设备和太阳能电池的方法在设备的激发方式上不同。在电致发光成像中，外部电信号或正向偏置（电压或电流）被施加到太阳能电池的接触端并且响应于施加的正向偏置而发射的光被观测和 / 或记录。该方法一般适用于完整的设备。可以利用市场上可买到的 CCD 照相机在大约 1 秒内获得典型工业太阳能电池的具有优良空间分辨率的电致发光图像。

[0034] 在光致发光成像过程中，通过适于引起光致发光的外部照射激发半导体晶片或完整的太阳能电池并且观测和 / 或记录所发出的光。

[0035] 图 1 是用来确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性的方法的流程图。这种空间

分辨特性包括例如间接带隙半导体器件的电隔离和不良连接区域。

[0036] 参考图 1，在步骤 110 间接带隙半导体器件被外部激发以发光。这种外部激发可以包括利用适于引起光致发光的发射的光照射间接带隙半导体器件和 / 或将电信号（例如电压或电流）施加到间接带隙半导体器件的接触端以引起电致发光的发射。在某些情况下，可以相对于开路值（响应于照射而产生）改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压电平同时照射间接带隙半导体器件以获得不同或更多有用的光致发光图像。例如可以通过将外部偏置、负载、短路或电压中的任何一个施加到间接带隙半导体器件的接触端来相对于开路值改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压。可替换地，可以将电流注入到间接带隙半导体器件的接触端或从间接带隙半导体器件的接触端被抽出。

[0037] 在步骤 120，由间接带隙半导体器件响应于外部激发而发射的光的图像被捕获。这种图像可以包括下列中的任何一个：

[0038] ● 通过利用电信号激发间接带隙半导体器件所产生的电致发光图像；

[0039] ● 当间接带隙半导体器件的接触端保持开路状态时通过利用适于引起光致发光的入射光激发间接带隙半导体器件所产生的光致发光图像；以及

[0040] ● 通过利用适于引起光致发光的入射光激发间接带隙半导体器件并且同时相对于开路值改变跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压电平所产生的光致发光图像。

[0041] 在步骤 130，发光图像被处理以根据在两个或更多个发光图像中的区域的相对强度的比较来确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性。可以通过比较在一个发光图像中的不同区域之间的强度比与在一个或多个另外的发光图像中的对应区域之间的强度比来确定空间分辨特性。

[0042] 比较发光图像中的区域的相对强度

[0043] 在图 1 的方法的一个实施例中，在以下图像之间进行区域的相对强度的比较：

[0044] （i）通过跨越间接带隙半导体器件的接触端施加电激发信号所产生的电致发光图像；以及

[0045] （ii）间接带隙半导体器件的接触端处于开路条件所产生的光致发光图像。

[0046] 在电致发光图像中具有较低相对强度（即相对于电致发光图像中的其它区域较暗）但是在光致发光图像中不显示任何强度变化的区域表示电隔离或不良连接区域。

[0047] 在图 1 的方法的另一个实施例中，在以下图像之间进行区域的相对强度的比较：

[0048] （i）在跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压电平相对于开路值减小的情况下所产生的光致发光图像；以及

[0049] （ii）间接带隙半导体器件的接触端处于开路条件所产生的光致发光图像。

[0050] 在减小电压电平的光致发光图像中具有较高相对强度（即相对于电致发光图像中的其它区域较亮）但是在开路光致发光图像中不显示任何强度变化的区域表示电隔离或不良连接区域。

[0051] 在图 1 的方法的另一个实施例中，在以下图像之间进行区域的相对强度的比较：

[0052] （i）通过跨越间接带隙半导体器件的接触端施加电激发信号所产生的电致发光图像；以及

[0053] （ii）在跨越间接带隙半导体器件的接触端的电压电平相对于开路值减小的情况下所产生的光致发光图像。

[0054] 在电致发光图像中具有较低相对强度(即相对于电致发光图像中的其它区域较暗)但是在光致发光图像中具有较高相对强度的区域表示电隔离或不良连接区域。

[0055] 在图 1 的方法的又一个实施例中,在以下图像之间进行区域的相对强度的比较 :

[0056] (i)通过跨越间接带隙半导体器件的接触端施加第一电平的电激发信号所产生的第一电致发光图像 ;以及

[0057] (ii)通过跨越间接带隙半导体器件的接触端施加第二电平的电激发信号所产生的第二电致发光图像。

[0058] 第一电平的电激发信号高于第二电平的电激发信号(例如第一电压高于第二电压)。在第一电致发光图像中具有较低相对强度(即相对于电致发光图像中的其它区域较暗)但是在第二电致发光图像中不具有较低相对强度的区域表示电隔离或不良连接区域。在替换实施例中,可以在 2 个以上的电致发光图像之间进行区域的相对强度的比较。

[0059] 利用电致发光和光致发光图像的实例

[0060] 图 2a 到 2c 是有缺陷的太阳能电池产生的电致发光和光致发光图像的实际实例。图像显示垂直(即从图像的顶部到底部)设置的两条母线和跨越所述母线水平(即跨越所述图像从左到右)设置的多个薄指状物。

[0061] 图 2a 示出有缺陷的太阳能电池的电致发光图像。所述图像通过跨越太阳能电池的接触端施加电激发信号并且捕获或记录响应于所述电激发信号从太阳能电池发射的电致发光而获得。所述电激发信号具有 25 mA/cm^2的电流密度。

[0062] 在图 2a 的图像中心的相对较暗的区域 210 是与图像中其它相邻区域相比强度相对较低的区域。区域 210 可以是由于以下原因中的任何一个 :

[0063] ● 半导体衬底材料中的缺陷(例如污染物),所述缺陷很可能导致太阳能电池使用寿命降低 ;或

[0064] ● 太阳能电池结构中的电隔离区域,与强度相对较高的区域相比其中流动的电流相对较小。

[0065] 图 2b 示出与图 2a 的主体相同的缺陷太阳能电池的光致发光图像。通过利用约等效于一个太阳的照明照射太阳能电池同时保持太阳能电池的接触端两端开路、并且捕获或记录响应于所述照射从太阳能电池发出的光致发光来获得图 2b 的图像。

[0066] 在图 2a 的电致发光图像中看起来相对较暗的那些区域 210 在图 2b 的图像中没有看见明显相对较暗或较亮的区域。

[0067] 图 2c 示出与图 2a 和 2b 的主体相同的缺陷太阳能电池的光致发光图像。通过利用适于引起光致发光的光照射太阳能电池、同时在太阳能电池的接触端两端应用短路、并且捕获或记录响应于所述照射从太阳能电池发出的光致发光来获得图 2c 的图像。电激发信号是 25 mA/cm^2的电流密度。相对于开路值,短路的作用是降低跨越太阳能电池的接触端的电压电平。结果,响应于照射产生的载流子被从太阳能电池抽出,从而导致太阳能电池的较暗的图像。应当注意的是,可以替换地将其它负载条件、外部电压或外部电流施加到太阳能电池的接触端来代替短路以达到相同或类似的效果。

[0068] 在图 2c 的图像的中心可观察到相对较亮的区域 230(即强度相对较高的区域)。与其它区域对比发光强度较高的区域 230 可以是由于以下原因中的任何一个 :

[0069] ● 太阳能电池的增加的寿命,或

[0070] ● 太阳能电池结构中的电隔离区域，与强度相对较低的区域相比其中流动的电流相对较小。

[0071] 如上所述，在图 2a 和 2c 的中心区域中的强度相对较低的区域 210 和强度相对较高的区域 230 分别表示以下任何一个：

[0072] ● 材料质量（即局部少数载流子寿命）的变化；或

[0073] ● 太阳能电池结构中的电隔离区域，与强度相对较低的区域相比其中流动的电流相对较小。

[0074] 因此，当单独考虑图 2a 的电致发光图像或图 2c 的光致发光图像时，各自的图像未能分别提供关于图 2a 和 2c 的中心区域中的强度相对较低的区域 210 和强度相对较高的区域 230 的原因的充分确凿的信息。

[0075] 然而，当图 2a 的电致发光图像与图 2b 或图 2c 的光致发光图像相比时，可以确定强度相对较低或较高的区域的原因。也可以通过比较图 2b 和图 2c 的光致发光图像来确定强度相对较低或较高的区域的原因。

[0076] 参考图 2b 的光致发光图像，在中心没有强度相对较低的区域表示太阳能电池的中心区域中的半导体材料没有退化。因此，图 2b 与图 2a 或图 2c 的比较显示出，在中心的强度相对较低或较高的区域分别表现出太阳能电池中电隔离或局部连接区域以及没有表现出在该区域中的降低的少数载流子寿命。

[0077] 参考图 2a 的电致发光图像和图 2c 的光致发光图像，相对于该电致发光图像内的其它区域有较低强度的区域的存在以及在具有减小的外部电压的光致发光图像中的相对较高的强度的中心存在相应的区域显示出，在太阳能电池中心区域中的半导体材料与电池的其余部分连接不良或电隔离。这种在所述两个发光图像的对比中的变化不能由少数载流子寿命的变化引起。图 2a 中减小的发光强度是越过串联电阻的电压降的结果，使中心区域处于较低电压。在图 2c 中较高发光强度的区域也是由越过串联电阻的电压降引起，使中心区域处于较高电压，其表示为较高的发光强度。

[0078] 图 3 是用来识别太阳能电池中的电隔离或不良连接区域的方法的流程图，所述太阳能电池包括间接带隙半导体晶片的一部分，所述间接带隙半导体晶片具有至少一个设置在其表面上的金属图案。所述金属图案可以包括包含多个电连接到至少一条母线的指状物的栅格。指状物通常但并不是必须被设置得基本上彼此平行。电隔离或不良连接区域可以包括指状物、母线、或指状物和母线之间的连接中的断裂（即电中断）。

[0079] 参考图 3，在步骤 310 太阳能电池被激发发光。这种激发可以包括：

[0080] ● 施加电信号或正向偏置（例如电压或电流）到太阳能电池的接触端以引起电致发光的发射；和 / 或

[0081] ● 利用适于引起光致发光的发射的光照射太阳能电池并且同时在照射太阳能电池的时候相对于开路值改变跨越太阳能电池的接触端的电压电平。

[0082] 例如可以通过将外部偏置、负载、短路或电压中的任一个施加到太阳能电池的接触端来相对于开路值改变跨越太阳能电池的接触端的电压。替换地，可以将电流注入到太阳能电池的接触端或从太阳能电池的接触端被抽出。

[0083] 在步骤 320，记录或捕获至少一个响应于激发从太阳能电池发出的发光图像。这种图像可以包括下列图像中的任何一个：

[0084] ● 通过利用电信号或正向偏置激发太阳能电池所产生的电致发光图像，如上文中所述；以及

[0085] ● 通过利用适于引起光致发光的入射光激发太阳能电池并且同时相对于开路值改变跨越太阳能电池的接触端的电压电平所产生的光致发光图像。通过跨越太阳能电池的接触端施加外部偏置、负载、短路或电压来执行跨越太阳能电池的接触端的电压电平相对于开路值的改变。替换地，电流可以被注入到太阳能电池的接触端或从太阳能电池的接触端被抽出。

[0086] 在步骤 330，处理所述至少一个发光图像以根据所述至少一个发光图像中的区域的强度的比较来识别金属图案中的断裂。处理步骤可以包括比较一个发光图像中的不同区域之间的强度比与至少一个另外的发光图像中的相应区域之间的强度比。

[0087] 可以根据一个或多个发光图像中的区域的相对强度的比较来识别太阳能电池的金属图案中的断裂。例如，可以根据单个电致发光图像中强度相对较低的区域的检测来识别断裂的指状物。替换地，可以根据单个光致发光图像中强度相对较高的区域的检测利用跨越太阳能电池的接触端的电压电平相对于开路值的同时变化来识别断裂的指状物。这种有相对较高或较低强度的区域通常在形状上被伸长并且紧接着断裂指状物的一部分出现。

[0088] 当利用两个或更多个发光图像来识别太阳能电池中的电隔离或不良连接区域时，所述发光图像可以包括：

[0089] ● 通过利用电信号激发太阳能电池所产生的电致发光图像；

[0090] ● 当太阳能电池的接触端保持开路状态时通过利用适于引起光致发光的入射光激发太阳能电池所产生的光致发光图像；以及

[0091] ● 通过利用适于引起光致发光的入射光激发太阳能电池并且同时相对于开路值改变跨越太阳能电池的接触端的电压电平所产生的光致发光图像。

[0092] 图 4a 和 4b 是有缺陷的太阳能电池产生的电致发光和光致发光图像的实际实例。所述图像示出两条垂直设置(即从图像的顶部到底部)的母线和多个跨越母线水平设置(即跨越图像从左到右)的薄指状物。

[0093] 图 4a 示出有缺陷的太阳能电池利用电致发光成像产生的图像。通过将外部偏置(25 mA/cm^2的电流密度)施加到太阳能电池的接触端并且捕获或记录响应于外部偏置电压的激发从太阳能电池发出的光致发光来获得所述图像。

[0094] 图 4a 的检查显示紧接指状物的一部分的强度相对较低(即相对较暗)的伸长区域 410、420、430 和 440。在光学显微镜下对相同的受损太阳能电池进行的检查证实强度相对较低(即通常比相邻区域暗)的伸长区域 410、420、430 和 440 表示太阳能电池中对应位置处的断裂金属指状物。指状物中的断裂通常位于相应伸长区域的一端。

[0095] 因此在太阳能电池的电致发光图像中强度相对较低的区域与该太阳能电池中断裂金属指状物的位置之间有直接关系。

[0096] 用来识别太阳能电池中的断裂的金属指状物的可替换方法利用光致发光成像并且同时相对于开路值改变跨越太阳能电池的接触端的电压电平。断裂的金属指状物的作用是电隔离(部分或完全)紧邻断裂的金属指状物的区域与太阳能电池的其余部分。相对于开路值降低跨越太阳能电池的接触端的电压电平导致跨越太阳能电池电连接良好的所有区域的电压急剧下降。不良地电连接到太阳能电池的其余部分的区域例如断裂的金属指状物

表示光致发光图像中强度相对较高的区域(即较亮的区域)。

[0097] 图 4b 示出作为图 4a 的主体的缺陷太阳能电池的图像,利用光致发光成像同时相对于开路值降低跨越太阳能电池的接触端的电压电平来产生所述图像。更具体地说,跨越太阳能电池的接触端施加短路同时利用等效于大约一个太阳能的照明照射所述太阳能电池。短路的作用是,由于照射太阳能电池而产生的载流子从太阳能电池被抽出。载流子抽取导致太阳能电池的较暗的图像。因此,图 4b 中紧邻指状物部分的强度相对较高(即通常比相邻区域亮)的伸长区域 450、460、470 和 480 表示从太阳能电池抽取载流子的较低水平。在光学显微镜下对相同的受损太阳能电池的检查证实强度相对较高的伸长区域 450、460、470 和 480 表示太阳能电池中相应位置处的断裂金属指状物。指状物中的断裂通常位于相应伸长区域的一端。

[0098] 因此在太阳能电池的光致发光图像中强度相对较高的区域与该太阳能电池中断裂金属指状物的位置之间有直接关系。

[0099] 图 5 是用来识别或确定间接带隙半导体器件例如太阳能电池中的空间分辨特性的仪器 500 的方块图。

[0100] 仪器 500 包括光源 510、可选短通滤波器(short-pass filter)单元 514、图像捕获设备 522 和偏置装置 560。所述短通滤波器单元 514 可以包括一个或多个短通滤波器。短通滤波器透过激发光并且吸收或反射不必要的长波长发射。短通滤波器的实例包括彩色滤波器和介质干涉滤波器。可替换地,可以使用介质镜(例如在 45 度之下),所述介质镜反射该部分将要使用的光并且透射所述不必要的长波长光。短通滤波器单元也可以包括短通滤波器和介质镜的组合。所述仪器也可以包括准直器 512 和 / 或均化器 516,所述均化器 516 是用来将具有不均匀强度的准直光束转化成垂直入射到准直束的平面均匀照明区的设备。实例包括一个(或多个)十字柱面透镜阵列和微型透镜阵列。准直器可以是多种透镜。

[0101] 可以利用图 5 的仪器 500 执行光致发光成像同时相对于开路电压(由光致发光产生)改变跨越间接带隙半导体器件 540 的接触端的电压。电压改变装置 560 被耦合到间接带隙半导体器件 540 用来相对于开路电压改变跨越间接带隙半导体器件 540 的接触端的电压。所述电压改变装置可以包括外部偏置装置、电压源、电流源、电流吸收器(current sink)、负载、短路、或电工学领域已知的任何其它合适的电压改变装置。相对于开路电压降低跨越间接带隙半导体器件 540 的电接触的电压使载流子通过间接带隙半导体器件 540 的电接触从间接带隙半导体器件 540 被抽取到较低的电势点,否则在开路条件下所述载流子将在所述间接带隙半导体器件 540 内重新结合。这种载流子抽取的结果是所述间接带隙半导体器件 540 发光减小。被抽取的载流子的数目以及因而由所述间接带隙半导体器件 540 产生的发光水平取决于跨越间接带隙半导体器件 540 的接触端的电压电平相对于开路值的变化量。

[0102] 在图 5 的实施例中,仪器 500 的元件被设置如下 :光源 510 面向间接带隙半导体器件 540,准直器 512、短通滤波器单元 514、以及均化器 516 以该顺序光学对准。在另一个实施例中,准直器 512 和短通滤波器单元 514 的次序可以对换。可以在均化器和间接带隙半导体器件 540 之间使用物镜(未示出)。这些元件远离间接带隙半导体器件 540 使得大面积的间接带隙半导体器件 540 可以被照射。

[0103] 光源 510 产生适于在间接带隙半导体器件 540 中引起光致发光的光。所产生的光

的总光功率可以超过 1.0 瓦。较高功率的光源能够更迅速和强烈地引起间接带隙半导体器件 540 中的光致发光。光源 510 可以产生单色光或基本单色的光。光源 510 可以是至少一个激光器。例如，808 nm 的二极管激光器可以用来产生单色光。两个或更多个具有不同主波长的激光器也可以实施。另一个光源 510 可以包括与合适的滤波结合以提供部分滤波的光的广谱光源（例如闪光灯）。还有另一个光源 510 可以是高功率发光二极管（LED）。又一个光源 510 可以包括发光二极管（LED）的阵列。例如，这种 LED 阵列可以包括在具有散热器的小型阵列中的大量（例如 60 个）LED。在不脱离本发明的范围和精神的情况下可以实施其它高功率光源。

[0104] 来自光源 510 的光被准直器或准直器单元 512 准直成平行光束，所述准直器单元 512 可以包括一个以上的元件。短通滤波被应用于所产生的光。这可以利用包括一个或多个滤波器元件的干涉短通滤波器单元 514 来完成。对产生的光进行短通滤波可以减少高于规定发射峰的长波长光。短通滤波器 514 可以将所产生的光的长波长尾部中的总光子通量减小大约因子为 10 或以上。所述长波长尾部可以开始于比光源 510 的最长的波长发射峰高达约百分之十（10％）的波长。例如，所述滤波可以除去不必要的光谱成分例如具有在 900 nm 到 1800 nm 范围内或该范围的子范围内的波长的红外成分。可以使用多个短通滤波器，因为一个滤波器它本身可能不足以除去或减少不必要的光谱成分。短通滤波器可以被实现在光源 510 和间接带隙半导体器件 540 之间的光学元件的全部组合中的许多不同位置处。如果使用一个以上的短通滤波器，则所述滤波器中的一个或多个可以如此设置使得它们逆着准直束的光轴以某一角度倾斜以避免反射光的多次反射。然后可以通过均化器 516 使短通滤波和准直光均匀以均匀地照射大面积间接带隙半导体器件 540。然而，步骤的次序可以改变。间接带隙半导体器件 540 的照射面积可以大于或等于大约 1.0 cm^2。均化器 516 跨越间接带隙半导体器件 540 的表面均匀地分布所述准直束。

[0105] 入射到间接带隙半导体器件 540 的表面上的照明足以在间接带隙半导体器件 540 中引起光致发光。该光致发光在图 5 中由从间接带隙半导体器件 540 的平坦表面发出的箭头或射线表示。硅的外部光致发光量子效率可能非常低（约为 $< 10^{-6}$）。图像捕获设备 530 捕获在间接带隙半导体器件 540 中引起的光致发光的图像。短通滤波器单元 514 减少或除去来自光源 510 的入射光，被图像捕获设备 530 接收。光源尾部辐射可以是大约 10^{-4}的源峰，与间接带隙半导体例如 AlGaAs 的光致发光效率（约为 $< 10^{-2}$）对比，其可以大大超过硅的光致发光效率（约为 $< 10^{-6}$）。为了阻止反射的激发光起作用于测量信号，可以结合图像捕获设备 530 使用可选的长通（long pass）滤波器单元 518。

[0106] 图像捕获设备 530 包括聚焦元件 520（例如一个或多个透镜）和光敏电子元件的焦平面阵列 522。在该实施例中，光敏电子元件的焦平面阵列 522 包括电荷耦合器件（CCD）的阵列。焦平面阵列可以由硅制成并且可以被冷却。冷却改善这种焦平面阵列的信噪比。例如，图像捕获设备 530 可以是具有硅 CCD 阵列的数字视频照相机并且装备有用于记录图像的通信的数字接口（例如 USB 或 Firewire）或存储介质（例如 DV 带或存储条）。替换地，光敏电子元件的焦平面阵列 522 可以由 InGaAs 制成。

[0107] 图像处理技术可以应用于光致发光图像以量化间接带隙半导体器件 540 的规定电子特性。光致发光强度的空间变化被检查和识别。如图 5 中所示，通用计算机 550 可以通过通信信道 552 获得和分析由图像捕获设备 530 记录的光致发光图像，其可以包括合适

的通信接口和 / 或存储设备。可以在软件、硬件、或两者的结合中执行图像处理技术。成像不同于光致发光制图(photoluminescence mapping),所述光致发光制图缓慢并且因此不适合工业应用作为内嵌(inline)生产的测试工具和光致发光的光谱测试,所述光致发光的光谱测试通常涉及测试小面积半导体。根据本发明的该实施例的系统可以被用来识别间接带隙半导体器件 540 的有缺陷的区域。

[0108] 可以通过利用电压改变装置 560 或电气领域已知的另外的合适正向偏置产生装置将正向偏置(即电压或电流)施加到间接带隙半导体器件 540 的接触端两端来执行电致发光成像。以类似于上文中参考光致发光成像所描述的方式,可以利用图像捕获设备 530 捕获电致发光图像并且利用通用计算机 550 对电致发光图像进行处理。然而,在电致发光成像的情况下不使用光源 510、准直器 512、干涉短通滤波器 514 和均化器 516。

[0109] 前面的描述仅提供了示范性实施例,并且并不旨在限制本发明的范围、可应用性或配置。相反,该示范性实施例的描述给本领域技术人员提供用来实施本发明的实施例的启用描述。在不脱离以下权利要求中阐述的本发明的精神和范围的情况下可以在元件的功能和设置中进行多种改变。

[0110] 在这里涉及的特定特征、元件和步骤具有本发明涉及的领域中的已知等效的情况下,这种已知等效被认为将在此被并入,好像个别地阐述一样。此外,如果没有相反地规定,相对于特定实施例涉及的特征、元件和步骤可以随意地形成其它实施例中的任何一个的一部分。

[0111] 正如这里所用的,术语“包括”旨在具有开放式、非排斥性含义。例如,所述术语旨在表示 :“主要包括,但不一定是独有地”并且不表示“基本包括”或“仅包括”。术语“包括”的变化型式例如“包含”、“含有”和“由……构成”具有相应的含义。

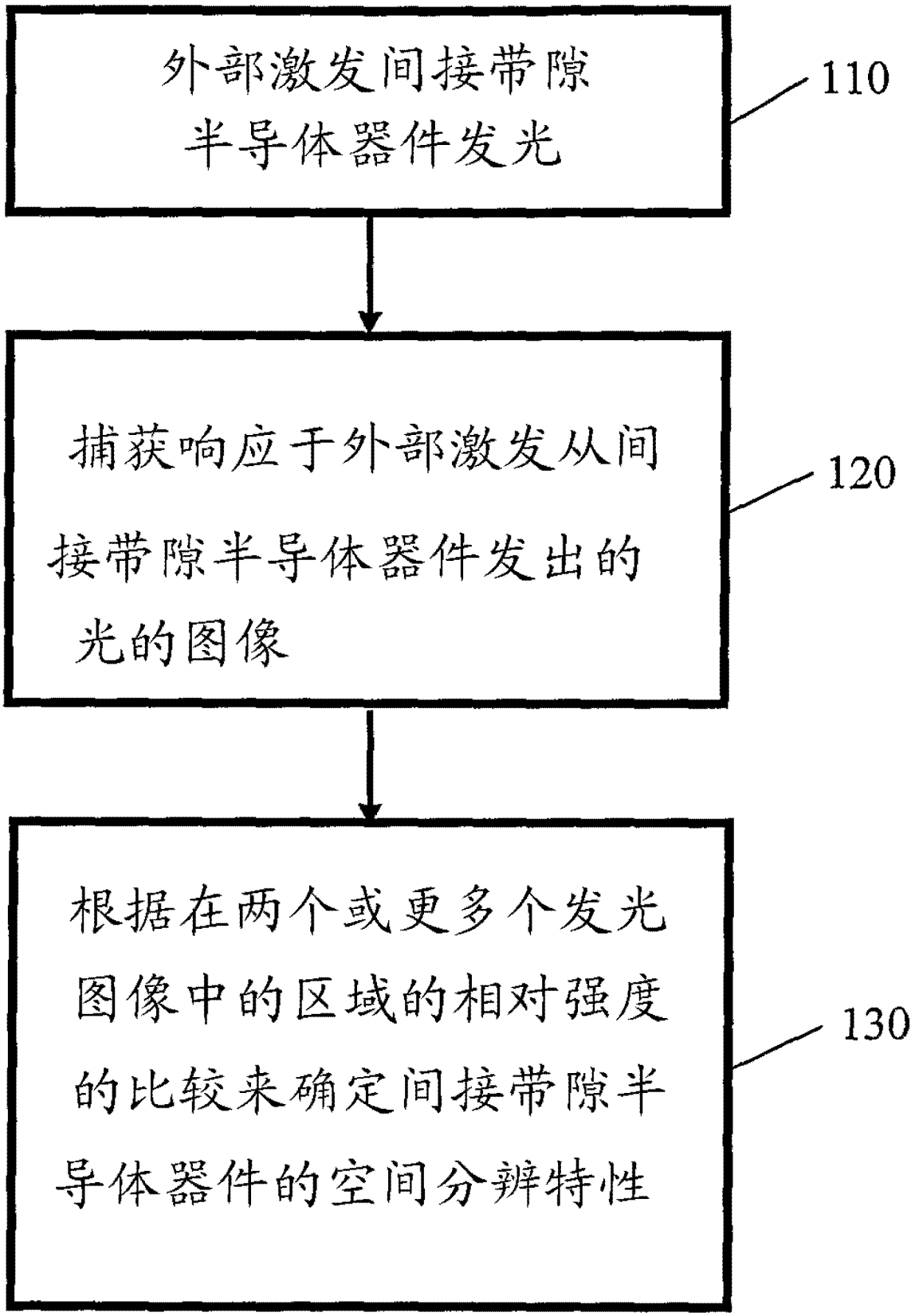

外部激发间接带隙半导体器件发光
110
捕获响应于外部激发从间接带隙半导体器件发出的光的图像
120
根据在两个或更多个发光图像中的区域的相对强度的比较来确定间接带隙半导体器件的空间分辨特性
130

图 1

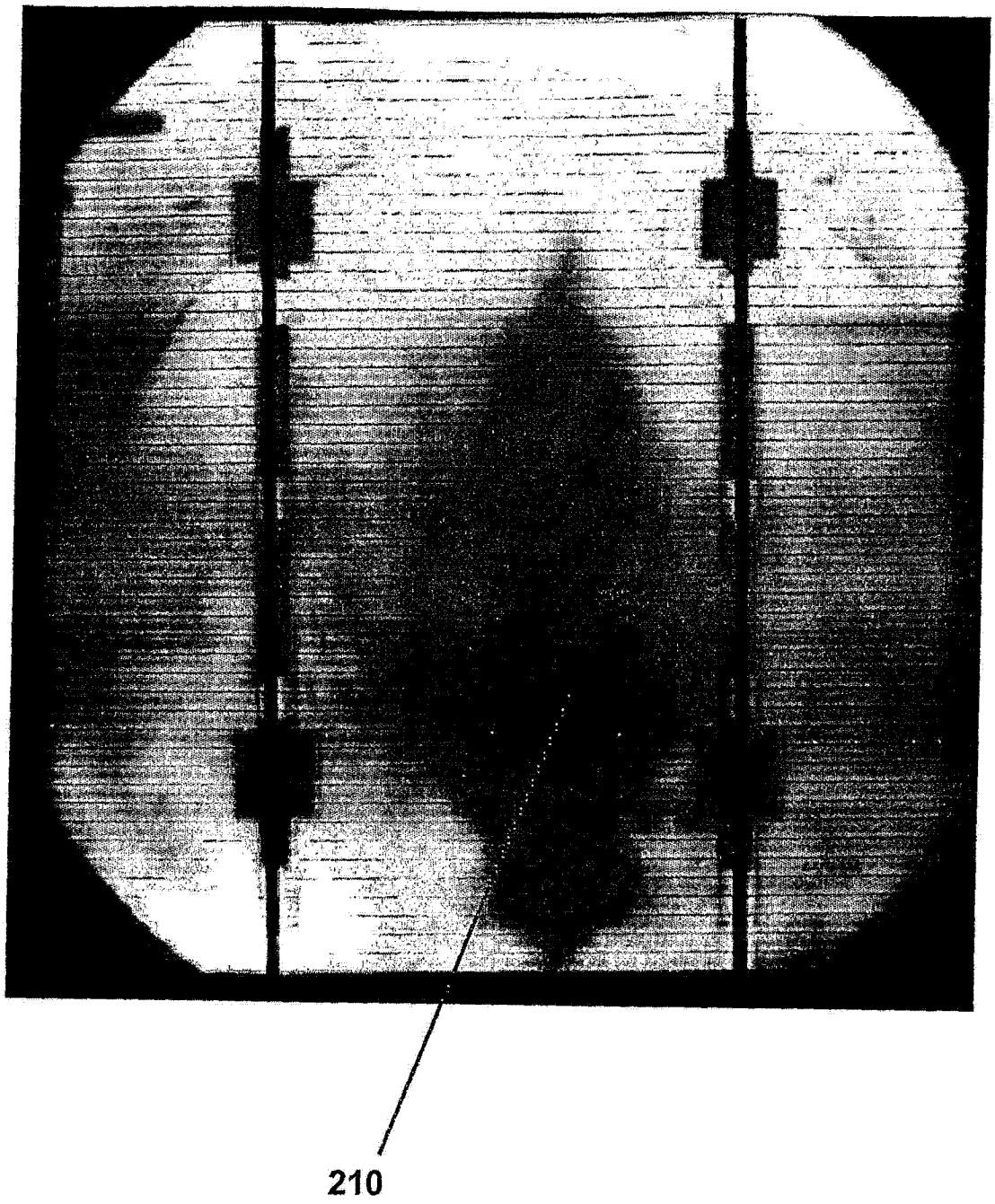


图 2a

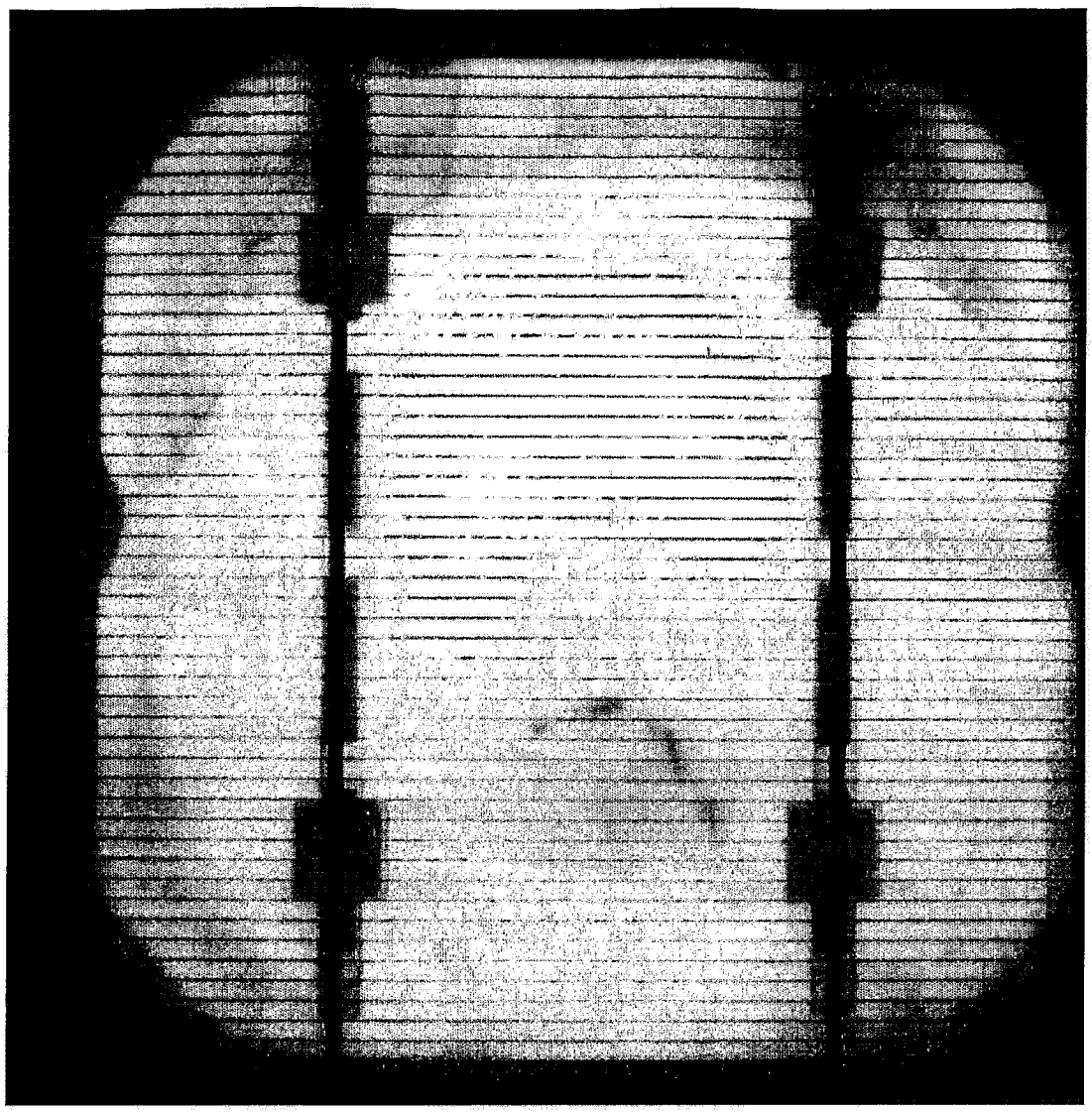


图 2b

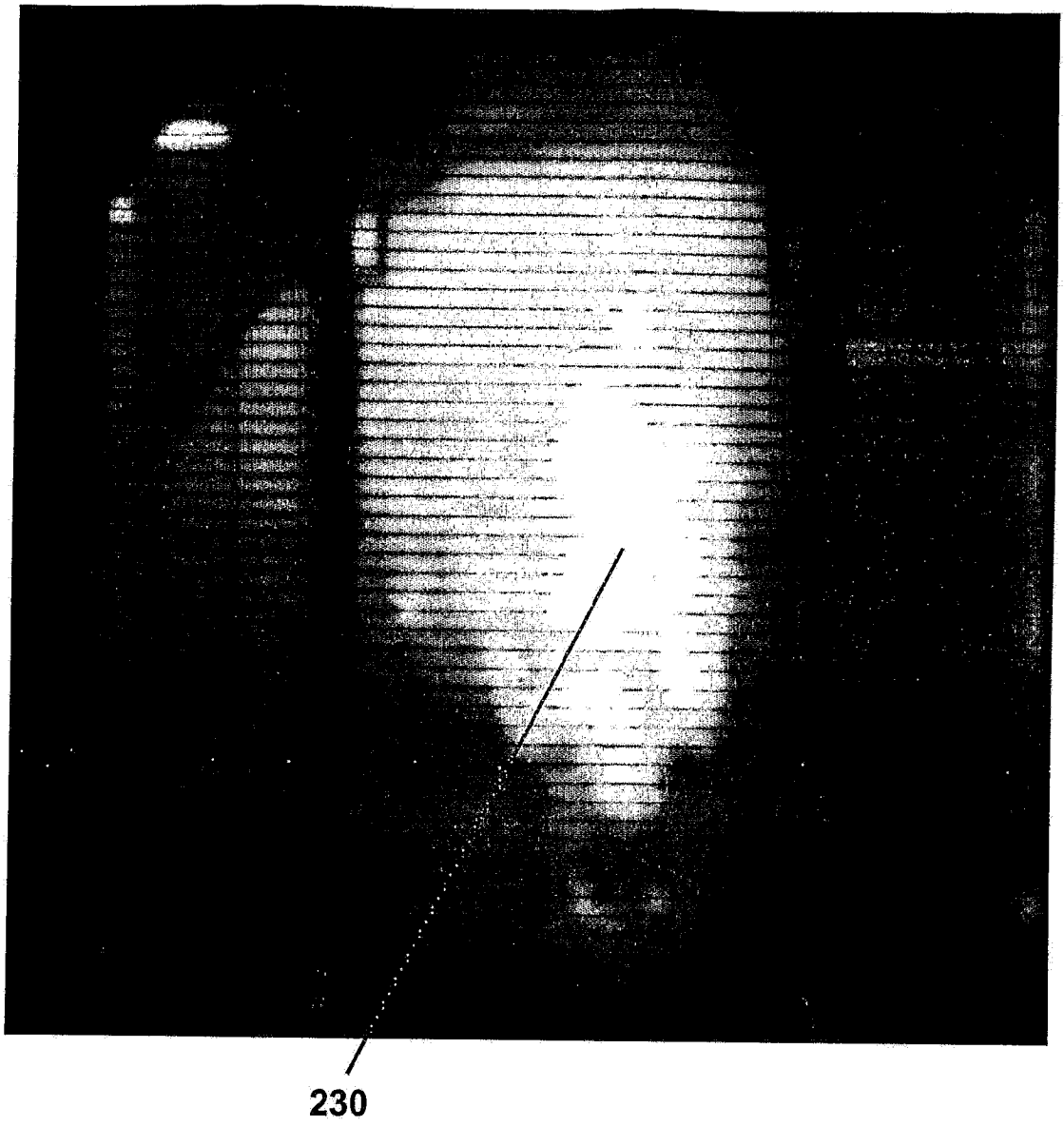


图 2c

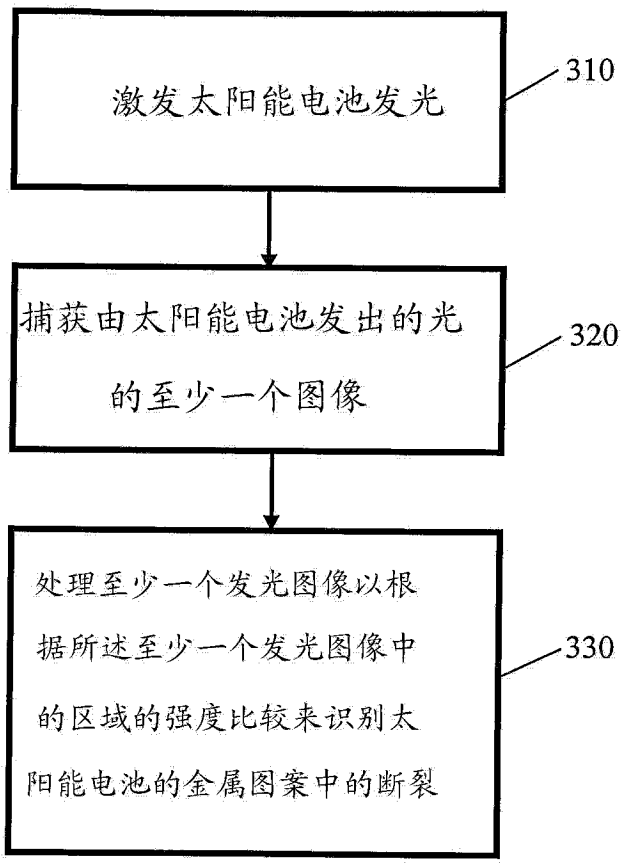

激发太阳能电池发光
310
捕获由太阳能电池发出的光的至少一个图像
320
处理至少一个发光图像以根据所述至少一个发光图像中的区域的强度比较来识别太阳能电池的金属图案中的断裂
330

图 3

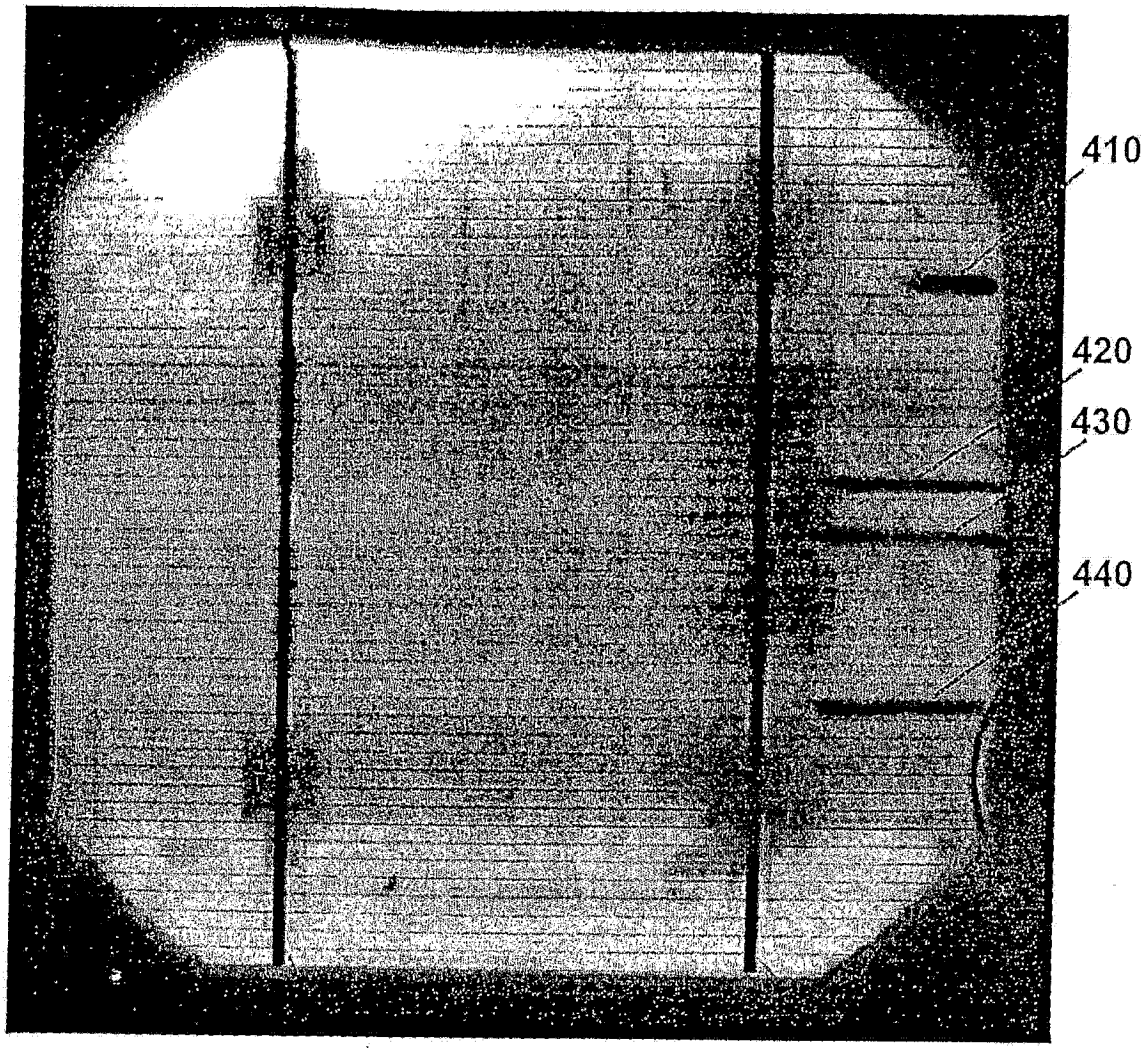


图 4a

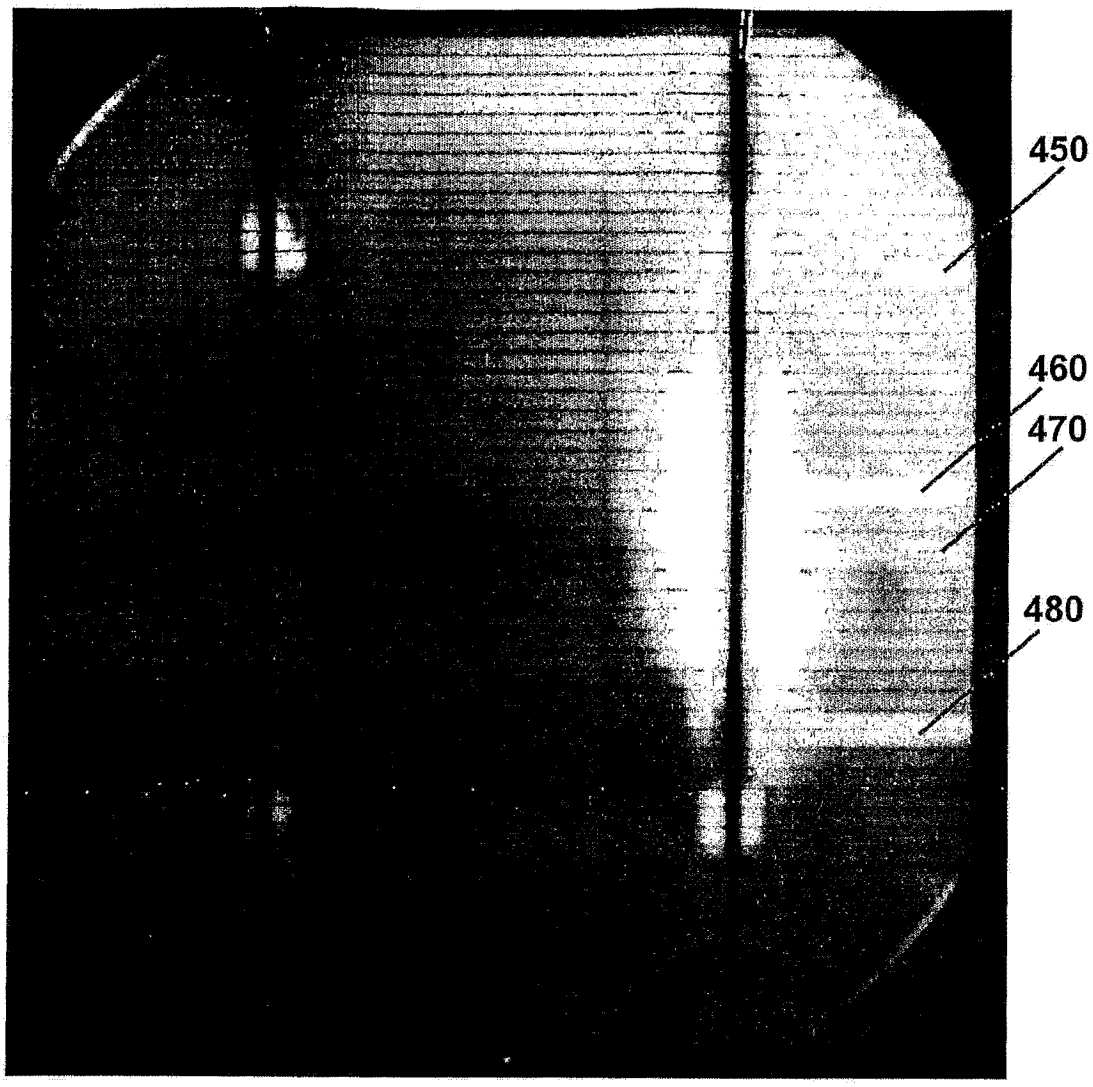


图 4b

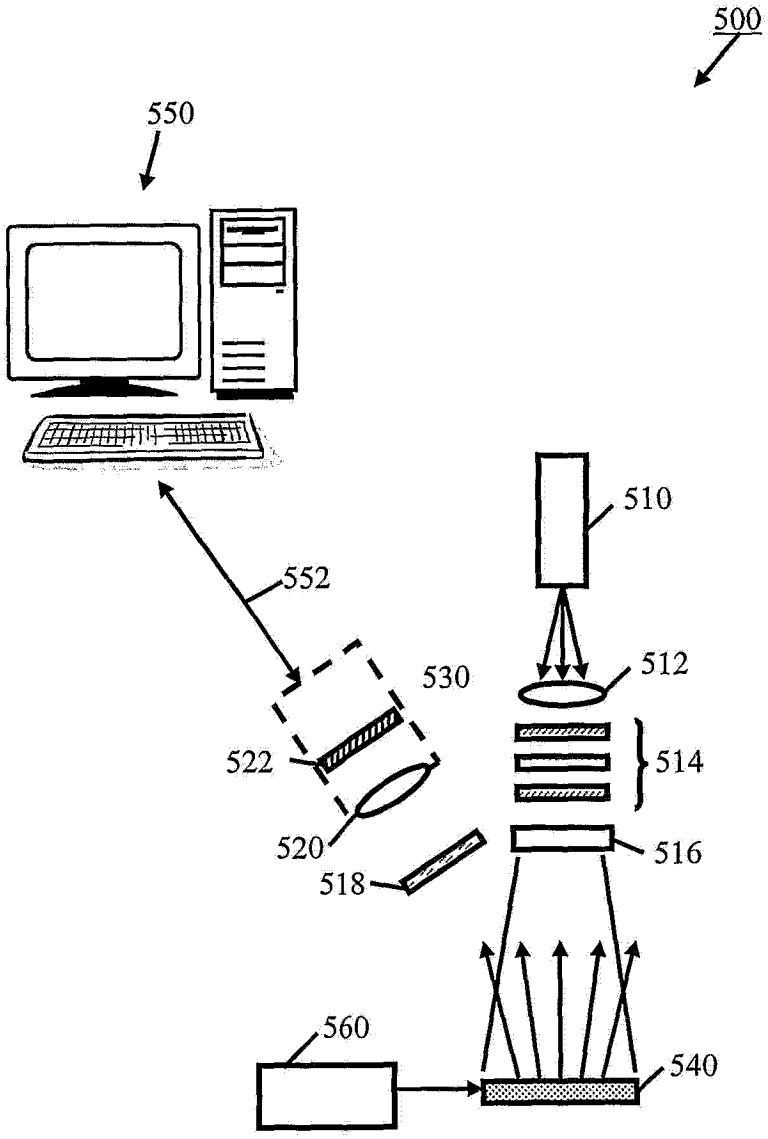


图 5