

晶体硅太阳能电池的场致发光分析

Athapol Kitiyanan¹, Karsten Bothe², Yu Takahashi¹,

Akiyoshi Ogane¹, Takashi Fuyuki¹

*1 Graduate School of Materials Science, Nara Institute of Science and Technology (NAIST),
Japan,*

2 Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln/Emmerthal (ISFH), Germany

摘要 用硅 CCD 相机正向偏压下, 场致发光 (EL) 的图像测量是对单晶或多晶硅太阳能电池的背面钝化和少数载流子扩散长度的调查的一个强有力的分析工具。正向偏压下, 太阳能电池发出红外线 (波长在 1100 到 1200nm), 光强反映了 p 型层的少数载流子的数目。EL 图像的低 EL 强度区域反映了太阳电池的低质量区域。拿 12.5 x 12.5 cm² 的电池举例, EL 图像的测量时间大约一秒, 这相比激光诱导电流 (LBIC) 测试需要的 8 小时是非常快的。另外, EL 成像技术可以在来评估大尺寸的太阳电池, 曝光时间在小于一秒。

然而, EL 成像展示的是灰度图像, 这就导致了很难区分那些低质量区域的种类。固有的缺陷比外在缺陷更对温度很敏感。太阳电池温度的变化可能显示出不同的 EL 强度对比。这些测量温度上的影响可用于分类晶体硅太阳电池的缺陷类型。

引言

晶体硅是地面光伏的极好材料。无毒而且丰富 (占地壳的 25%), 具有极好的电学、化学和机械性能, 打造出一个简单的单电子半导体, 具有几乎完美的带宽 (1.1eV)。可提供一个长期稳定的太阳能电池和产品。此外, 也是微电子工业选择的材料, 确保有很大范围的工艺设备和应用。了解了晶体硅的这些特性, 那就不会对几乎所有 (>90%) 的陆地光伏产品都是应用硅太阳能电池的事实不奇怪了。根据大量晶体硅太阳能电池的生产数据显示, 晶片裂痕, 破裂, 电极问题等都是涉及的严重问题。在大量生产中, 硅材料特性的快速精确评估是需要获得晶体硅电池的高效可靠的参数。

EL 成像技术被证实是一个可靠的描述太阳能电池关于电学、光学和物料性质等资料的强大的快速的工具。冷却的硅 CCD 相机用来成像太阳能电池在正向偏压下激发的 EL 信号 (红外, 波长 1100-1200nm)。样片激发的 EL 强度分布明显地与少数载流子扩散长度的绘图一致。

EL 强度与总的少数载流子密度和如裂痕、缺陷减少少数载流子密度的缺失之和成比例, 这个现象使空间变化或多相以暗部分 (点、线、区域) 显示在 EL 图像上 [1-3]。这些多相可能是由于位错、晶界 (内在缺陷)、裂缝或者指状电极破裂或者工艺导致的缺陷 (外在缺陷) 所引起的。

然而, EL 成像展示的是灰度图像, 这就导致了很难区分那些低质量区域的种类。因而, 需要考虑其它途径去有效地鉴别缺陷的种类。位错、晶界等 (内部缺陷) 比裂缝、指状电极破裂或者工艺产生的缺陷 (外在缺陷) 对温度更敏感。太阳能电池的温度变化提供了不同的 EL 强度进行对照。如多晶硅太阳能电池, 100°C 时的 EL 图像显示了在内缺陷区域许多低对比, 而外在缺陷区域的对比几乎和室温下 EL 图像一样。因此, 这个不同是一种讨论太阳能电池的内在缺陷和外在缺陷。

实验

太阳能电池在一个适当的正向偏压下研究的。发射的光电流是由于带带间的跃迁再复合而产生

的波长在1150nm左右的与硅禁带宽度对应的光。光电流被-50℃冷却的分辨率为512x512的硅CCD相机收集。正向偏压使电流在0-40mA/cm²。

实验是在暗室里进行的。数据获取时间选择在0.5到2秒间。相机镜头前用光学红外长波过滤器带有850nm的斩波器来减小环境光干扰。温度依据分析的样品台装在四个珀耳帖加热器来使样品温度从室温到100℃，0.5℃的侧向变化。实验设备安装示意图在图1。

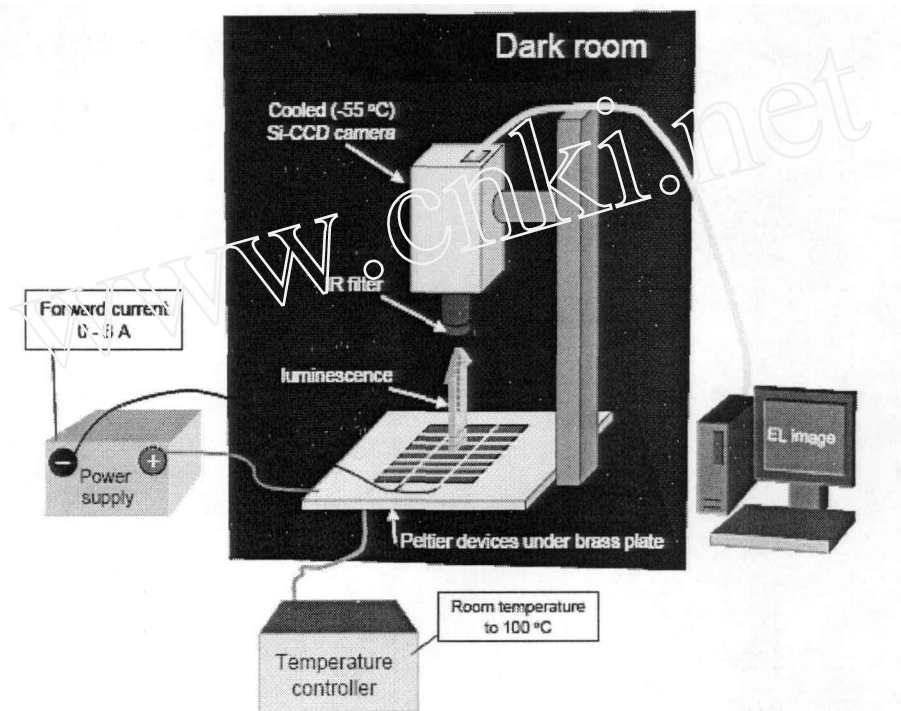


图 1 实验设备装置

结果与讨论

在室温下，给单晶硅电池加上正向偏压，带间跃迁再复合产生的EL发射被硅CCD相机收集。极好的相似的太阳能电池将呈现一个EL图像，没有任何空间变化或不同，在图2中显示。如图2(b)显示的，一个参考电池的没有任何异样或暗区的EL图像。

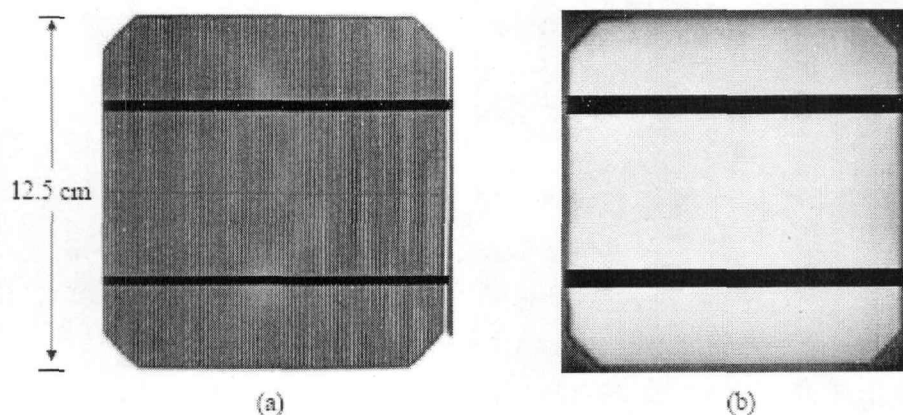


图 2 参考的没有任何空间变化的单晶硅电池

(a) 光学图像

(b) 正向电流密度35mA/cm²的EL图像

图3 单晶硅电池样品No.1光学图像和EL图像的图解。在图3(b)的下部，一个长的水平

线和许多点区域（圆形标记）在EL图像中发现，但在光学图像中没发现图像3（a）。

图像3（c）显示放大的图3（a）中左部分突出部分（M1区域）两个箭头指示两个水平线扫描方向。两个线的EL强度剖面扫描见图3（d）。

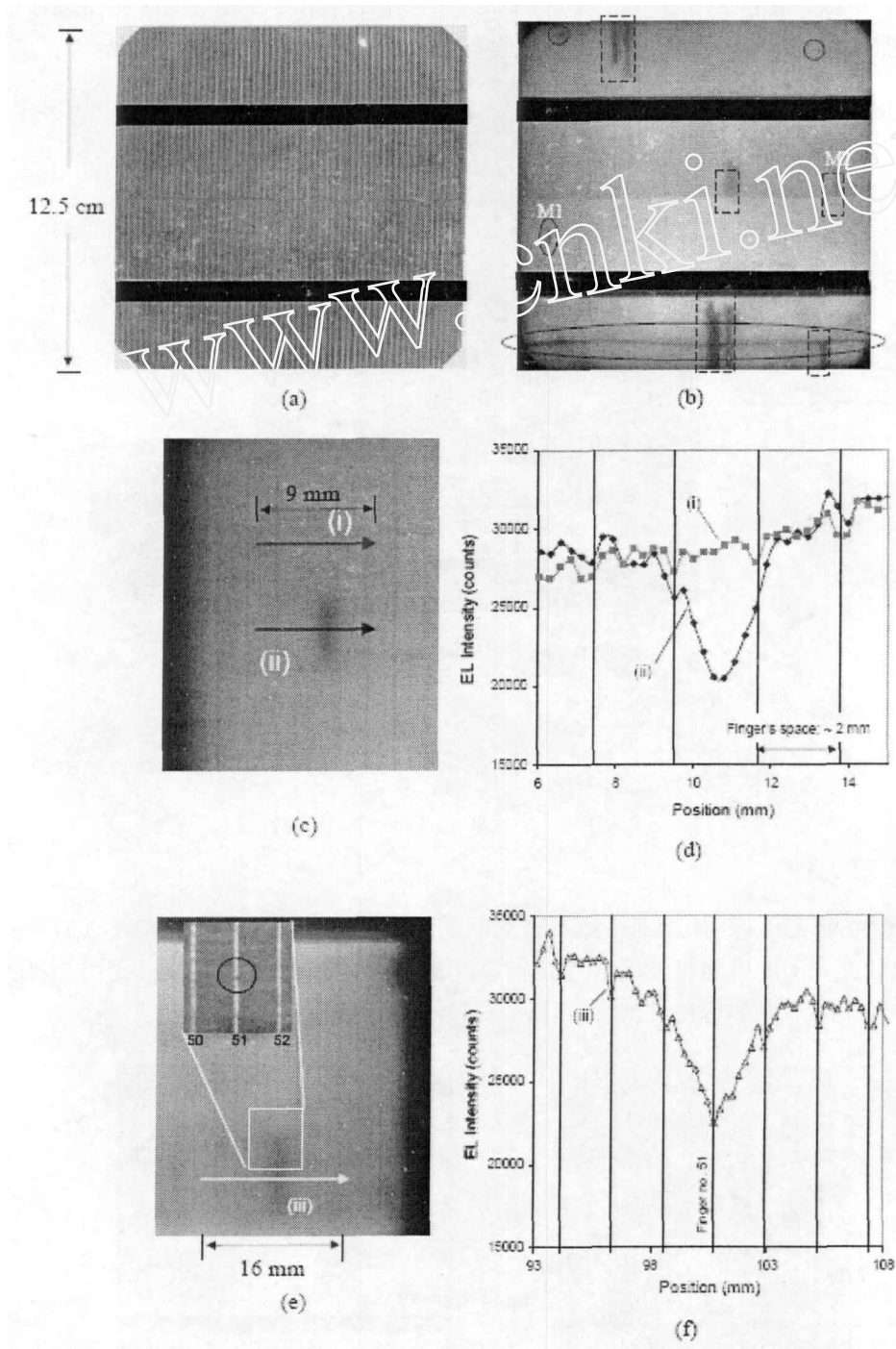


图 3 (a) 晶体硅-1的光学图像
 (b) 正向电流为 $35\text{mA}/\text{cm}^2$ 的单晶硅-1的EL图像
 (c) 图3（a）中偏左部分（M1）区域放大图
 (d) 图3（c）两个带箭头的两个线的EL强度扫描剖面
 (e) 图3（a）中偏右部分（M2）区域放大图
 (f) 图3（e）中带箭头的线的EL强度扫描剖面

EL成像技术可用于检测破裂的指状电极，如在图3 (b) 突出部分显示。图3 (e) 显示了图3 (b) 上M2区的放大的EL图像，插图显示指状电极 no.51的放大的光学图像，可以清楚地看到finger no.51的破裂区。这导致了EL强度的降低。图3 (f) 显示了图3 (e) 中通过破裂区的水平线扫描。从剖面扫描看，断开可能导致指状电极no.50 和no.52之间的电势下降。破裂的指状电极不仅影响下方的指状电极还影响邻近区域。

EL成像技术还能用于研究其它类型的硅太阳能电池，如多晶硅，带硅，或者大尺寸的太阳能电池模块。在图4中，所有EL图像都是在正向偏压，曝光时间为1秒下拍摄的。

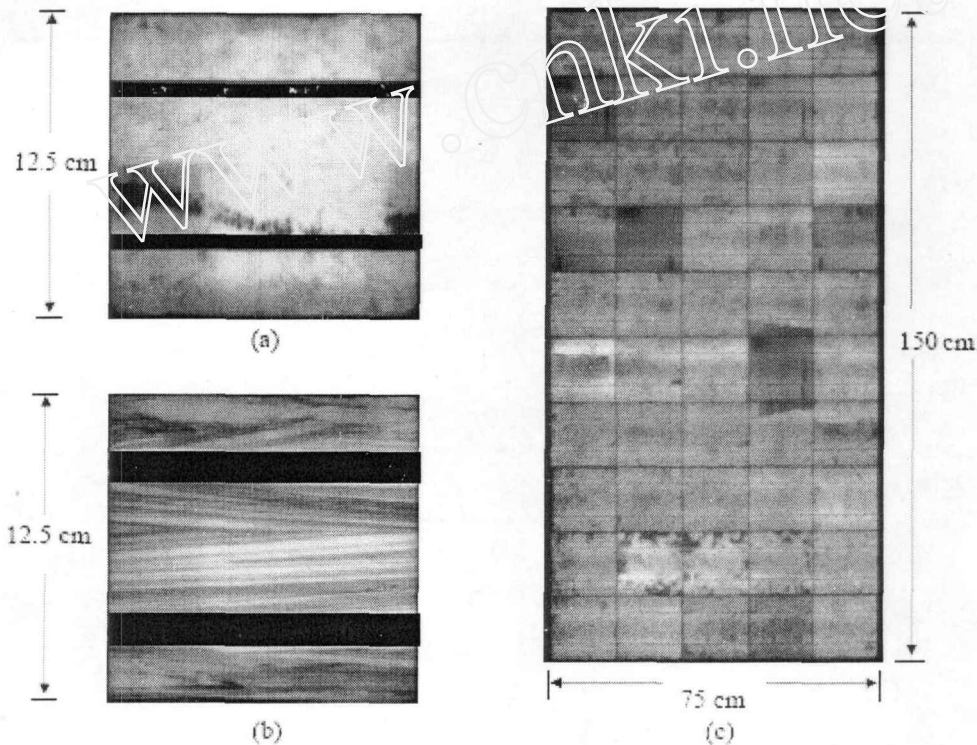


图4 EL图像 (a) 多晶硅太阳能电池 (b) 带硅太阳能电池 (c) 太阳能电池群

多晶硅太阳能电池中的断层和并联电阻在图4 (a) 中可以很明显地看到。图4 (b) 中可以明显地看到水平条纹，图4 (c) 中，展示了太阳能电池群的缺陷电池或者是模块制造过程中工艺导致的缺陷。EL图像的分辨率和放大率依赖于光学透镜的质量和太阳能电池样品和硅CCD相机的距离。

然而，EL图像的细节区域的品质显示成灰色，这导致区分缺陷区域的种类很困难。因此，需要考虑其它途径来有效地辨别缺陷的种类。

温度对内在缺陷的影响大于对外在缺陷的影响，对少数扩散长度和寿命都有类似影响。改变太阳能电池的温度会产生不同的EL图像。图5 图解了不同温度下，多晶硅电池的EL图像。这个结果表明了温度越高，对比越低，这可以从许多缺陷位置看出（暗区）。

为了阐明温度影响的区域，运用图像减补色技术减补色两个不同温度的EL图像。一个像素一个像素地拿100℃温度的EL图像减去20℃下的EL图像。

图6 列出的25℃和100℃的样品EL图像和消减后的图像。消减后的图像表明亮区域受到温度的影响较大。在消减后的图像中，亮区域应该是内在缺陷的区域。

三个线扫描：L—25℃，L—100℃，L—Sub 明显在同一个轨迹，从左到右扫描通过裂纹

位置（大约在20像素的位置）和缺陷部位（扫描线的末尾）。图7显示了区域的像素位置与EL强度相对应的位置。

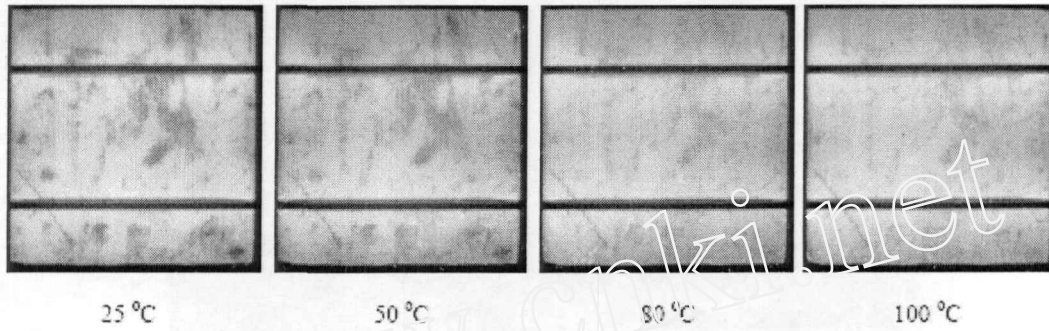


图5 不同温度下，多晶硅电池的EL图像

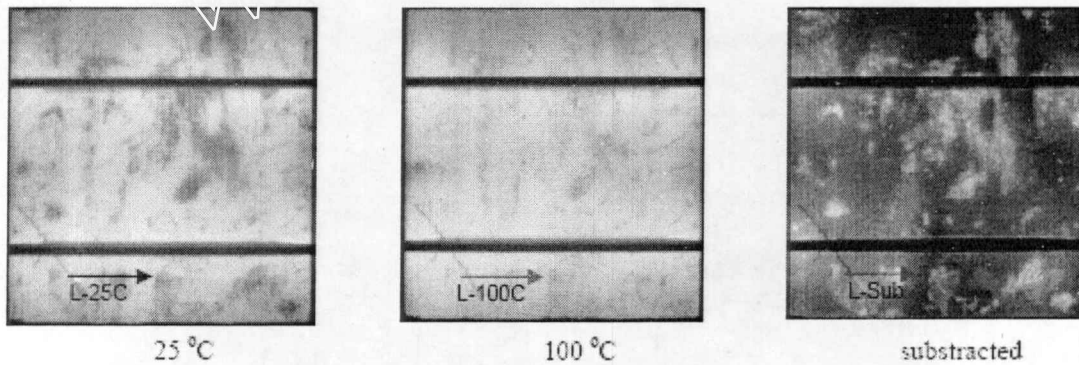


图6 消减100°C和25°C的EL图像

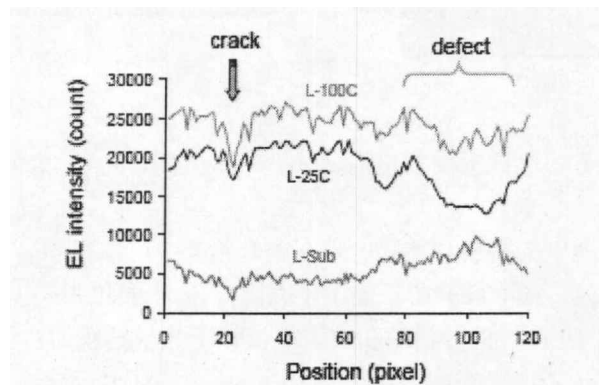


图7 线扫描L—25°C，L—100°C，L—Sub的EL强度剖面

从图7的绘图可以看出，25°C时，EL强度在缺陷区域和裂痕位置都比平均的低。（平均~19000），与高温的相比，EL强度在缺陷区域的线扫描L—100°C几乎是一样的平均值（平均~23500），而裂痕位置仍显示比较低的强度。L—Sub线是100°C与25°C的EL强度点对点消减得到的。因此，从缺陷区域得到的强度比那些裂痕位置得到的强度高，这个不同导致了在消减图像上缺陷区域和裂痕区域不同的对比。

展示了一个图像处理技术后，外在缺陷图像也在图8中显示。这个图像强调了多晶硅电池在工艺中导致的缺陷位置。

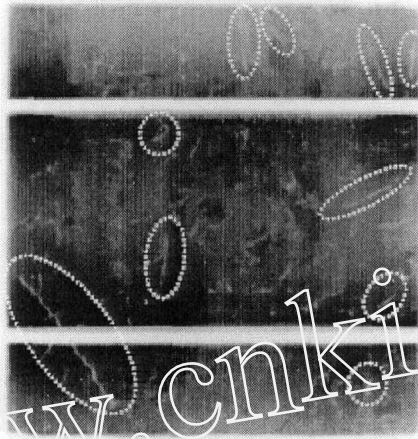


图 8 外在缺陷图像（环标记位置）

结论

场致发光成像技术提供了太阳能电池的电学和材料特性的信息。太阳能电池中的裂痕和缺陷区域还有破指状电极位置可以非常快和清楚地探测到如EL图像中的暗区或异样区域。另外，EL成像技术可以应用于大型的太阳能电池模块的评估，而暴光时间在一秒内。这使得EL成像技术在生产线上对晶体硅电池和太阳能电池模块进行评估。然而，EI图像显示的是灰度，因此，两个不同温度的EL图像的消减技术需要来显现多晶硅太阳能电池的内在缺陷和外在缺陷。

EL成像技术结合不同温度消减技术应该是一种通用的辨别晶体硅太阳能电池缺陷区域的工具，并且适宜于太阳能电池生产的质量控制。

参考文献

1. T. Fuyuki, H. Kondo, Y. Kaji, T. Yamazaki, Y. Takahashi and Y. Uraoka, *Proceeding of the 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference 2005*, (IEEE, New York, 2005) p. 1343
2. T. Fuyuki, H. Kondo, T. Yamazaki, Y. Takahashi and Y. Uraoka, *Appl. Phys. Lett.* **86**, 262108 (2005).
3. Y. Takahashi, H. Kondo, T. Yamazaki, Y. Uraoka and T. Fuyuki, *Proceedings of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference 2005*, (WIP, Munich, 2005) p. 1375
4. A. Kitiyanan, K. Bothe, Y. Takahashi, A. Ogane and T. Fuyuki, *Proceedings of the 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference 2007*, (WIP, Munich, 2007) in press.