

DB65

新疆维吾尔自治区地方标准

DB65/T 3485—2013

太阳能级多晶硅块少数载流子寿命 测量方法

Minority carrier lifetime measurement methods for Solar-grade casting
multi-crystalline brick

2013-10-20 发布

2013-12-01 实施

新疆维吾尔自治区质量技术监督局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 方法提要	2
5 干扰因素	2
6 测量仪器	3
7 试样要求	4
8 仪器校准	5
9 测试程序	5
10 测试少数载流子寿命表达式	5
11 测量系统精密度	6
12 试验报告	6

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则编写。

本标准由特变电工新疆新能源股份有限公司提出。

本标准由新疆维吾尔自治区机械电子工业行业管理办公室归口。

本标准由特变电工新疆新能源股份有限公司、新疆维吾尔自治区标准化研究院负责起草。

本标准主要起草人：许琴、咎武、熊金杰、丁宝林、哈丽旦·艾比布拉、胡小明。

本标准为首次发布。

太阳能级多晶硅块少数载流子寿命测量方法

1 范围

本标准规定了太阳能级多晶硅块少数载流子寿命的测量方法。

本标准适用于太阳能级多晶硅块少数载流子寿命的微波光电导非接触在线测试。本标准也适用于单晶硅片、多晶硅片、单晶硅棒的少数载流子寿命测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14264 半导体材料术语

GB/T 26068 硅片载流子复合寿命的无接触微波反射光电导衰减测试方法

GB/T 29054 太阳能级铸造多晶硅块

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

寿命 lifetime

晶体中非平衡载流子由产生到复合存在的平均时间间隔，它等于非平衡少数载流子浓度衰减到起始值的 $1/e$ ($e=2.718$)所需的时间，又称少数载流子寿命，体寿命。

非平衡载流子寿命等于非平衡载流子扩散长度的平方除以扩散系数所得商，而扩散系数是设定的或有载流子迁移率测量确定的，寿命符号是 τ ，单位 μs 。

[GB/T 14264-2009, 定义3.140]

3.2

损伤 damage

一种晶格缺陷，是一种不可逆转的形变，因室温下没有后续热处理时的表面机械加工引起，像切割，磨削，滚圆，喷砂，以及撞击造成。

[GB/T 14264-2009, 定义3.53]

3.3

GRR 量具的重复性和复现性 Gauge Repeatability and Reproducibility

表示量测的重复性与再生性，国际上多个实验室所建立IQC-88的实验。

[GB/T 14264-2009, 定义B.24]

3.4

重复性 Repeatability

重复性是用本方法在正常和正确操作情况下，由同一操作人员，在同一实验室内，使用同一仪器，并在短期内，对相同试样所作多个单次测试结果，在95%概率水平两个独立测试结果的最大差值。

3.5

再现性 Reproducibility

在改变了的测量条件下，对同一被测量的测量结果之间的一致性，称为测量结果的再现性。再现性又称为复现性、重现性。

3.6

复合速率 Recombination velocity

复合是载流子激发的逆过程，中性原子可以产生电子和空穴两种载流子，同样，空穴和电子可以在一定条件下复合，变回原子，呈电中性。复合速率，是电子和空穴发生复合的概率。

4 方法提要

4.1 微波光电导衰减法

本标准采用微波光电导衰减法 (Microwave photoconductivity decay) 测试硅块中的少数载流子寿命。主要包括激光注入产生电子-空穴对和微波探测信号的变化两个过程。波长904nm的激光注入（对于硅，注入深度约30um）产生电子-空穴对，导致样品电导率增加。当撤去外界光注入时，电导率随时间呈指数衰减，这一趋势间接反映少数载流子的衰减趋势，从而通过微波探测电导率随时间变化的趋势即可得到少数载流子的寿命。

4.2 少数载流子寿命计算

少数载流子寿命计算，是用微波反射光电导衰减法，采用红外脉冲激光照射硅块，在其内部产生大量非平衡载流子，撤去激光激发后，采用微波反射信号测得非平衡载流子的复合规律，分析得到的微波反射信号的衰减规律，进而计算出非平衡载流子寿命。

5 干扰因素

5.1 影响少数载流子寿命的两个要素

μ -PCD 测试的是少子有效寿命，它受两个因素影响：体寿命和表面寿命。

5.2 放置方式影响

待测硅块的放置方向，位置平行度、放置准确性及放置位置的重复性，引起设备检测少数载流子寿命的探头寻边位置发生相对偏差，从而对测试结果产生影响。

5.3 硅块表面质量影响

硅块表面不平整或有沾污，造成硅块待测平面位置或洁净度发生变化，对测试结果的准确性产生影响。

5.4 设备运行状态影响

检测仪器的探头运行速度不稳定会造成微波接收信号不全面，引起硅块局部区域的测试结果改变。

5.5 探头与硅块之间的间距影响

探头与硅块之间的间距过大可能导致表面光电压信号丢失，硅块表面损伤层过厚或者表面沾污可能导致表面光电压信号丢失，造成少数载流子寿命的检测结果误差较大。

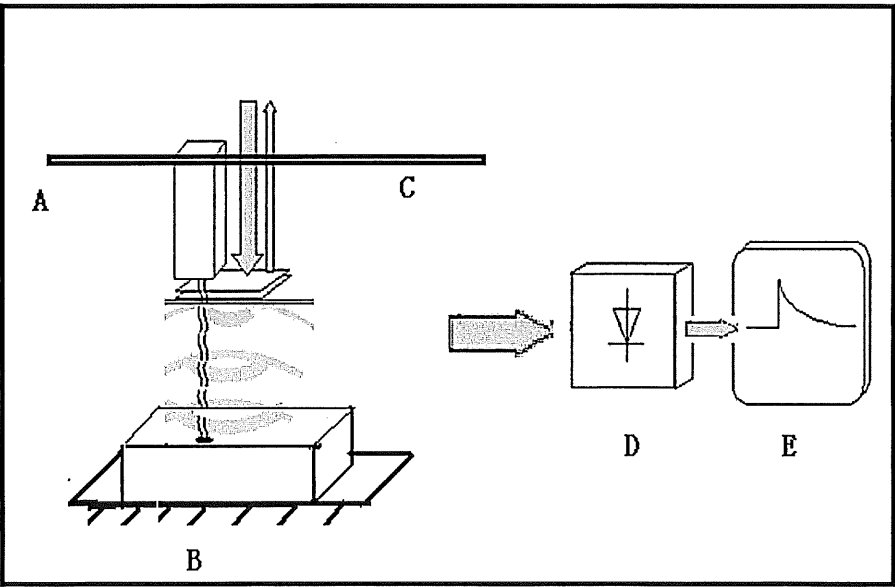
5.6 其他影响因素

GB/T 26068 中列举的干扰因素，均会对本测试中相对应的测试结果造成影响。

6 测量仪器

6.1 测量仪器构成

测量仪器应包括探头、承载装置、导轨、数据处理系统、计算机系统。如图1所示：



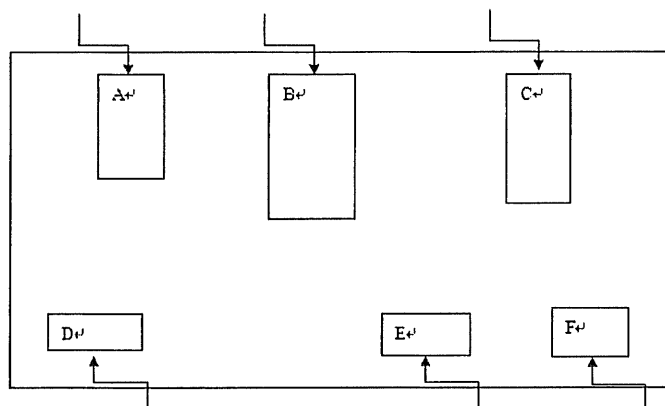
元件：

- | | | |
|------------|-----------|--------|
| A——探头； | B——承载装置； | C——导轨； |
| D——数据处理系统； | E——计算机系统。 | |

图1 少数载流子寿命测试仪器系统结构图

6.2 探头

6.2.1 探头是承装用于测试的微波光源系统，应包括以下测试探头：电阻率探头（可选）、LBIC 探头、少数载流子寿命测试探头、SHR 探头 方块电阻测试（可选）、光学寻边探头、电容寻边探头。探头模块如图 2 所示。



元件：

- | | | |
|--------------|---------------|-----------------|
| A——电阻率检测探头； | B——LBIC 检测探头； | C——少数载流子寿命检测探头； |
| D——SHR 检测探头； | E——光学寻边检测探头； | F——电容寻边检测探头。 |

图2 探头模块示意图

6.2.2 光源应提供强度及波长均匀、稳定的入射光，波长为 $904\text{nm} \pm 1\text{nm}$ 。

6.3 承载装置

6.3.1 应能承载待测硅块，并与探头等距。

6.3.2 测试中承载装置应静止，振动幅度应小于 $200\mu\text{m}$ 。

6.4 导轨

6.4.1 导轨宜保持水平，使探头与被测样品表面高度一致。

6.4.2 导轨宜匀速运行，保证测试探头运动位移一致，使测试结果真实反映样品品质。

6.5 数据处理系统

6.5.1 应具有形状与边缘识别功能。

6.5.2 应能将获取的微波测试结果按照一定的算法进行硅块少数载流子寿命的转换与识别。

6.5.3 根据少数载流子寿命差别的特征，应能对指定测试区域每个测试点的测试数据进行记录、分析、存储。

6.6 计算机系统

6.6.1 控制测试过程。

6.6.2 能存储、分析测试图像及数据，输出测试结果。

7 试样要求

标准样品及待测样品应表面平整（宜小于 $50\mu\text{m}$ ）、清洁。

8 仪器校准

- 8.1 将标准样品置于承载装置上，设备初始化。
- 8.2 对标准样品进行测试，将测试结果与标准样品数值进行对比；
- 8.3 调整探头与硅块待测表面的距离，使得测试数据与标准样数据一致，偏差在±5%之内。
- 8.4 测试不同类型、规格的硅块时，应对应的程序进行预设值。
- 8.5 保存所有校准数据及文件。

9 测试程序

- 9.1 测试环境温度应保持在 25℃～35℃，环境相对湿度≤65%。
- 9.2 测试将待测样品置于承载装置上。
- 9.3 根据待测硅块尺寸和类型，选取对应的校准文件和测试数据库文件。
- 9.4 探头开始对待测硅块进行扫描并成像。
- 9.5 图像处理系统分析、处理获取的硅块图像。
- 9.6 计算机系统保存并输出测试结果。

10 测试少数载流子寿命表达式

10.1 体寿命与测试寿命的关系见公式 (1)、公式 (2) 和公式 (3)。表面寿命对测试寿命有很大影响，使其偏离体寿命。在样品厚度一定的情况下，即扩散寿命一定，如果表面复合速率较大，则在测试高体寿命样品时，测试寿命值与体寿命值偏差就较大；但对于低体寿命的样品，则不会使少数载流子寿命大幅降低。应对样品表面进行化学抛光钝化，降低样品的表面复合速率。

$$\frac{1}{\tau_{meas}} = \frac{1}{\tau_{bulk}} + \frac{1}{\tau_{diff} + \tau_{surf}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\tau_{diff} = \frac{d^2}{\pi^2 D_{n,p}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\tau_{surf} = \frac{d}{2S} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- τ_{meas} ——样品的测试寿命；
- τ_{bulk} ——样品的体寿命；
- τ_{diff} ——少子从样品体内扩散到表面所需时间；
- τ_{surf} ——因样品表面复合产生的表面寿命；
- d ——样品厚度；
- D_n ——电子的扩散系数；
- D_p ——空穴的扩散系数；
- S ——表面复合速度。

10.2 不同表面复合速率下，体寿命和测试寿命的关系见图 3。对于表面复合速率 S 为 1cm/s 或 10cm/s 的样品，即使在 1000 μs 数量级的体寿命，测试寿命还是与体寿命偏差仍然很小。即当样品的表面复

合速率为 10cm/s 或更小的情况下, 对于 1000 μ s 数量级高体寿命的样品, 测试寿命也能用来表示体寿命。

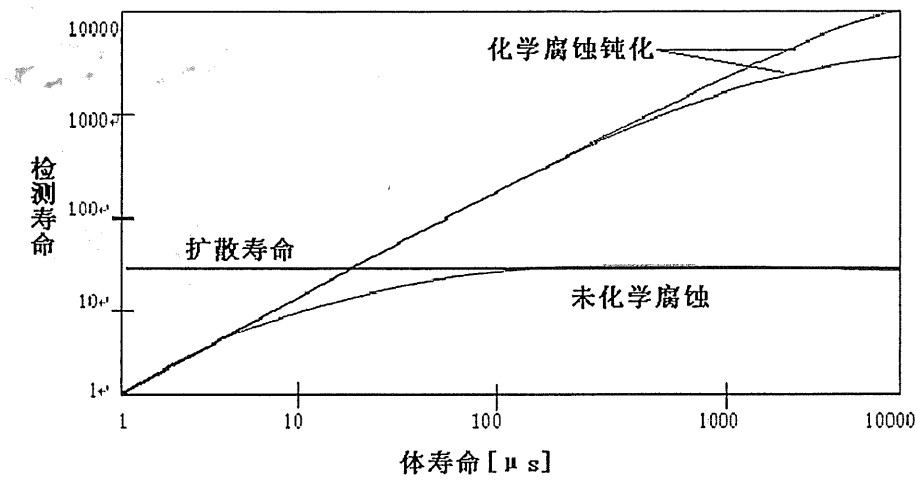


图3 不同表面复合速率下体寿命和测试寿命的关系

11 测量系统精密度

11.1 创建测量系统

少数载流子寿命试验分别选取多晶硅块10个, 将所选样品按照同一方向、同一顺序, 由有经验的操作人员在实验室进行三次重复测试, 要求测试结果的GRR<10%。

11.2 测量系统分析

所有测试设备应严格执行设备的检定、校准, 选择同样测试条件后, 在一定的范围内, 通过数据分析, 具有较好的准确性, 可以达到测量系统要求的重复性与再现性。

12 试验报告

少数载流子寿命测试报告应包括以下内容:

- a) 环境温度和湿度;
- a) 晶块类型及编号;
- b) 测试设备的名称及型号;
- c) 样品测试方向;
- d) 样品的少数载流子寿命数据及分布情况;
- e) 测试结果确认;
- f) 本标准编号;
- g) 测试地点和测试者。