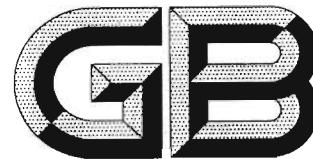


ICS 29.045
H 80



中华人民共和国国家标准

GB/T 1553—2009
代替 GB/T 1553—1997

硅和锗体内少数载流子寿命测定 光电导衰减法

Test methods for minority carrier lifetime in bulk germanium
and silicon by measurement of photoconductivity decay

2009-10-30 发布

2010-06-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

广州四探针科技-提供专业半导体测试解决方案 www.4probes.com 020-31375051

中华人民共和国
国家标 准
硅和锗体内少数载流子寿命测定
光电导衰减法
GB/T 1553—2009

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码：100045

网址 www.spc.net.cn

电话：68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 24 千字
2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月第一次印刷

*

书号：155066·1-39552 定价 18.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权所有 侵权必究
举报电话：(010)68533533

前　　言

本标准代替 GB/T 1553—1997《硅和锗体内少数载流子寿命测定光电导衰减法》。

本标准与原标准相比,主要有如下变化:

- 新增加少子寿命值的测量下限范围;
- 删除了有关“斩切光”的内容;
- 本标准将 GB/T 1553—1997 中第 7 章“试剂和材料”和第 8 章“测试仪器”并为第 6 章“测量仪器”;
- 本标准增加了“术语”章和“体寿命”的解释;
- 本标准在“干扰因素”章增加了对各干扰因素影响的消除方法。

本标准的附录 A 为规范性附录。

本标准由全国半导体设备和材料标准化技术委员会提出。

本标准由全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会归口。

本标准起草单位:峨嵋半导体材料厂。

本标准主要起草人:江莉、杨旭。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB 1553—1979、GB 5257—1985、GB/T 1553—1997。

硅和锗体内少数载流子寿命测定 光电导衰减法

1 范围

- 1.1 本标准规定了硅和锗单晶体内少数载流子寿命的测量方法。本标准适用于非本征硅和锗单晶体内载流子复合过程中非平衡少数载流子寿命的测量。
- 1.2 本标准为脉冲光方法。这种方法不破坏试样的内在特性,试样可以重复测试,但要求试样具有特殊的条形尺寸和研磨的表面,见表 1。

表 1

单位为毫米

类 型	长 度	宽 度	厚 度
A	15.0	2.5	2.5
B	25.0	5.0	5.0
C	25.0	10.0	10.0

1.3 本标准可测的最低寿命值为 $10 \mu\text{s}$,取决于光源的余辉,而可测的最高寿命值主要取决于试样的尺寸,见表 2。

表 2

单位为微秒

材料	类型 A	类型 B	类型 C
p型锗	32	125	460
n型锗	64	250	950
p型硅	90	350	1 300
n型硅	240	1 000	3 800

1.4 本标准不适用于抛光片的验收测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GB/T 1550 非本征半导体材料导电类型测试方法
 GB/T 1551 硅、锗单晶电阻率测定 直流两探针法
 GB/T 14264 半导体材料术语

3 术语和定义

GB/T 14264 规定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

表观寿命 filament lifetime

光电导衰减到初始值的 $1/e$ 时的时间常数 $\tau_F(\mu\text{s})$ 。

5.3 注入量的影响

测量时试样电导率调幅必须很小,这样试样上电势差的衰减才等价于光生载流子的衰减。当试样上最大直流电压调幅 $\Delta V_0/V_{dc}$ 超过 0.01 时,允许进行修正。

5.4 光生伏特效应影响

试样电阻率不均匀会产生使衰减信号扭曲的光电压——光生伏特效应。在没有电流通过时就呈现光电压的试样不适宜用本方法测量。测量时避免光照。

5.5 光源波长的影响

光生载流子大幅度衰减会影响曲线的形状,尤其在衰减初期使用脉冲光时,这种现象更为显著。因为脉冲光源注入的载流子初始浓度一致性差,要求使用滤光片以增加注入载流子浓度的一致性,并在衰减曲线峰值逐渐减弱之后进行测量。或用单色激光作光源。

5.6 电场影响

如果少数载流子被电流产生的电场扫出试样的端面,少数载流子就不会形成衰减曲线。因此,需要用一块挡光板遮挡试样端面,使测试中扫出效应不显著。

5.7 温度影响

半导体中杂质的复合特性受温度强烈影响,控制测量时的温度就相当重要。在相同温度下进行的测量才可以做比较。

5.8 杂质复合中心的影响

不同的杂质中心具有不同的复合特性,当试样中存在一种以上类型的复合中心时,观察到的衰减曲线可能包含两个或多个具有不同时间常数的指数曲线,诸曲线合成结果也不呈指数规律,测量不能得出单一寿命值。

5.9 滤光片的影响

滤光片本身有信号,它和试样信号叠加产生测试误差。因此应选择厚度 1 mm、与被测试样材料相同、信号较弱(低寿命值)的滤光片。

6 测量仪器

6.1 测试电路图

测试电路图见图 1。

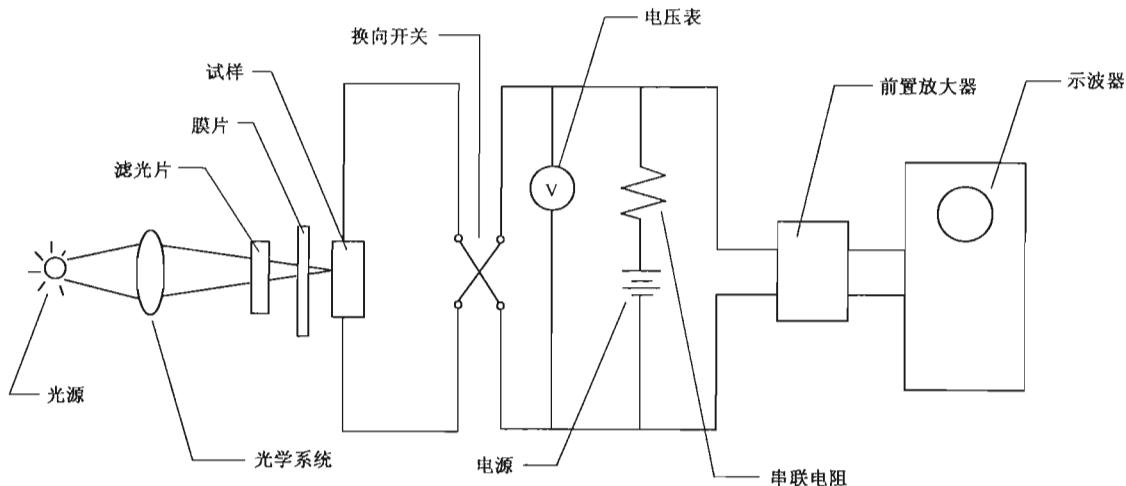


图 1 少数载流子寿命测量电路示意图

6.2 光源

脉冲光源应在光强从最大值减小到其 10% 时关断, 或关断时间小于所测试样寿命时间的 1/5 或更少。用于硅试样测量的光源光谱分布的最大值应在波长范围 $1.0 \mu\text{m} \sim 1.1 \mu\text{m}$ 以内。

氩光管或放电管, 配备 $0.01 \mu\text{F}$ 的电容器以及可提供频率为 $2 \text{ Hz} \sim 60 \text{ Hz}$ 脉冲的高压电源。光源应在 $0.3 \mu\text{s}$ 内达到最大光强, 并在小于 $0.5 \mu\text{s}$ 内光强由最大值下降不大于 5%。采用更小的电容可获得更短的脉冲宽度, 适合测量表观寿命低于 $5 \mu\text{s}$ 的试样。

6.3 电源

电源应稳定并经过良好滤波, 应在试样上产生不低于 5 V 的直流电压。电路中的串联电阻 R_s 值至少是试样电阻 R 及接触电阻 R_c 之和的 20 倍, 电路中还应有对试样电流换向及切断电流的开关装置。

6.4 试样夹具及恒温器

隔热试样夹具及恒温器应使试样处于规定温度 $27^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, 夹具与试样的整个端面应保持欧姆接触, 并至少应使试样四个侧面中的一个侧面处于光线下。

注: 制作与试样端面成欧姆接触的试样夹具的方法较多, 建议使用金属带或纤维的压力接触, 也可用厚铅板或钢板。

6.5 滤光片

滤光片应双面抛光, 由与试样相同的材料制成, 厚度为 1 mm , 直接放置在矩形窗孔膜片的上方。

6.6 矩形窗孔膜片

放置于靠近试样的光照表面, 光透过矩形窗孔膜片, 只能照射到试样的部分区域。光照区域的长度 $L_i = L/2$, 宽度 $W_i = W/2$; 光照部位都在试样中央位置。

6.7 电信号测量线路

6.7.1 前置放大器——具有可调的高、低频频带范围, 低频截止频率从 $0.3 \text{ Hz} \sim 30 \text{ Hz}$ 可调。

6.7.2 示波器——具有适合的时间扫描和信号灵敏度及经校准的时间基线, 其精度和线性度都优于 3% 并能被试验信号或外部信号触发, 还应配备有助于分析衰减曲线的透明屏幕, 其要求如下:

规定屏幕尺寸在 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 以内, 该尺寸有利于减小视差。屏幕上刻有一条曲线, 在基线上方的高度沿横坐标的距离呈指数衰减, 由公式(2)表示:

$$y = 6 \exp(-x/2.5) \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中: x 和 y 都是以刻度盘的刻度划分。

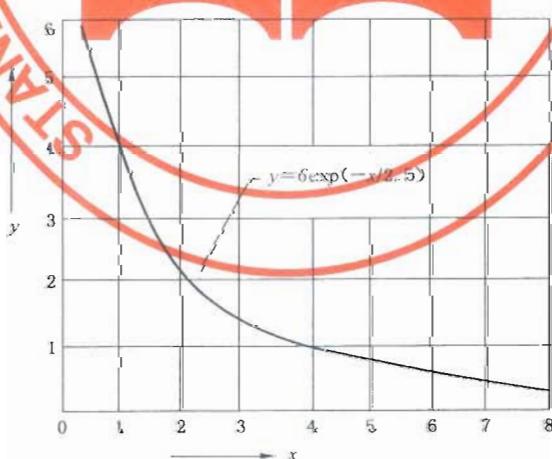


图 2 示波器面板上的指数曲线

6.7.3 对电路总体要求:

6.7.3.1 校正垂直扫描灵敏度至 $0.1 \text{ mV}/\text{cm}$ 或更低;

6.7.3.2 校正垂直增益和扫描线性度在 3% 以内;

- 6.7.3.3 响应时间：输入信号以步进方式变化时，输出信号的衰减不超过所测最小表观寿命值的 1/5；
 6.7.3.4 脉冲没有明显的变坏现象，如过冲或阻尼效应。

7 样品制备

7.1 试剂和材料

7.1.1 纯水

25 °C 时电阻率大于 $2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 的去离子水。

7.1.2 研磨材料

氧化铝粉，颗粒范围为 $5 \mu\text{m} \sim 12 \mu\text{m}$ 。

7.2 取样

从晶体上指定区域切取试样，长度为 L ，厚度为 T ，宽度为 W ，如表 1 所示。记录所有尺寸，精确到 0.1 mm。较低寿命值的材料测量宜使用较小尺寸的试样。直拉硅单晶的测量大都使用类型 B，而区熔硅单晶的测量建议采用类型 C。

7.3 研磨

测量前，用氧化铝粉研磨试样，使试样的六个表面成为平整的磨面。

7.4 清洗

将研磨后的试样用超声清洗或用水冲洗，用干燥氮气吹干。试样端面应清洁干净，有利形成良好的欧姆接触。

7.5 欧姆接触材料

在试样端面应形成欧姆接触，可使用镍、铑或金电镀浴，要避免铜沾污。对硅试样，可用一小滴镓滴在金刚砂布上，并使用加热盘将试样加热至 35 °C。

7.6 研磨设备

能把试样的所有表面加工成光滑、平整的表面。

7.7 清洗和干燥设备

可用水冲洗或超声清洗。干燥设备提供干燥氮气吹干试样。

7.8 试样尺寸测量工具

精度为 0.01 mm 的千分尺或游标卡尺。

7.9 欧姆接触

在试样的两个整个端面上制作欧姆接触。推荐在锗试样的断面镀镍、铑或金，镀膜过程中应避免铜沾污；对硅试样最好办法是把试样加热到 35 °C，同时研磨端面，防止滴在金刚砂布上的镓形成镓污点。也可在 n 型硅试样端面镀镍，在 p 型硅试样端面镀铑。

7.10 测试接触点

将试样置于夹具中，以一个方向接通电流，在试样上形成 2 V~5 V 的电压，记录该电压降 V_1 。改变电流方向，记录试样上电压降 V_2 。如果 V_1 与 V_2 的差小于 5%，则试样具有欧姆接触。

7.11 测量和记录

按 GB/T 1551 测量和记录并修正其至 27 °C 时电阻率。如果试样导电类型是未知的，可按 GB/T 1550 测定。

8 测量步骤

8.1 用试样夹具夹紧试样，定位于膜片的矩形窗孔处，使试样的中央处于光照下。测量并记录试样夹具的温度，取值士 1 °C。

8.2 开启光源，将前置放大器与示波器接通。

8.3 接通电源，调整电流，在试样上产生 2 V~5 V。

8.4 使观察到的衰减曲线与画在示波器透明屏上的标准指数曲线一致(见 6.7.2),方法如下:

8.4.1 调节垂直位移旋钮,使观察到的衰减曲线的基线与标准指数曲线的基线重合。调节时间基准扫描速度于一较低值,使屏幕横向出现多个衰减曲线,以易于调节。

8.4.2 延长时间基准以产生一个单周期信号图样,调节水平位移、垂直放大和时间基准扫描速度,直到观察到的曲线与标准指数曲线尽可能吻合,脉冲峰值 ΔV_0 与标准曲线左边上方点一致。

8.5 测试试样是否存在光生伏特效应:关断电流,保留光照,其他旋钮不动,观察示波器是否检测到一个光电压信号。如果检测到一个超过脉冲峰值 1% 的信号,则试样中存在光生伏特效应,该试样不适合用本方法测量。

8.6 若未观察到上述光电压信号且衰减曲线呈指数曲线,则可由式(3)确定表观寿命 $\tau_F(\mu\text{s})$:

$$\tau_F = 2.5 \cdot S_1 \quad \dots \dots \dots (3)$$

式中:

S_1 ——时间基准扫描速度,单位为微秒每厘米($\mu\text{s}/\text{cm}$)。

8.7 若示波器时间基准未经校准,则标准指数曲线不适用,表观寿命可如下确定:旋转时间基准扫描速度至一合适分度值 $S_2(\mu\text{s}/\text{cm})$,测量衰减曲线上任意两点间幅度比为 2:1 的水平距离 $M(\text{cm})$,由式(4)计算 τ_F :

$$\tau_F = 1.44MS_2 \quad \dots \dots \dots (4)$$

当不具备屏幕标准曲线(见 6.7.2.1)时,也可用该步骤。

8.8 当观察到的屏幕衰减曲线呈非纯指数曲线但接近于纯指数曲线时,表观寿命可由曲线低端的几对点确定。

8.8.1 当试样的一半或少于一半的宽度已受光照,表观寿命从信号衰减到其峰值的 60% 以后的曲线部分来测定。

8.8.2 当试样的一半以上的宽度已受光照,表观寿命从信号衰减到其峰值的 25% 以后的曲线部分来测定。

8.8.3 上述两种情况都要增加垂直增益以延长衰减曲线,使指定部分达到屏幕垂直满刻度,调节时间基准扫描到一合适分度值 $S_2(\mu\text{s}/\text{cm})$,使衰减曲线的指定部分尽可能达到屏幕水平满刻度,测量曲线上幅度比为 2:1 的任意两点间水平距离 $M(\text{cm})$,由式(5)计算表观寿命:

$$\tau_{F1} = 1.44MS_2 \quad \dots \dots \dots (5)$$

重复上述过程两遍以上,得到 τ_{F2} 、 τ_{F3} 等。

8.8.4 确定和记录平均表观寿命 τ_F ,即 τ_{Fi} 的平均值。若 τ_{Fi} 之间差值超过 10%,则该试样不适合用本方法测量。

注:特别是在 p 型硅的情况下,寿命随载流子浓度函数变化非常迅速,在宽范围内取得的平均值产生的误差可能很大。

8.9 试样是否存在陷阱效应由表观寿命值的变化来确定。诸寿命值从小于衰减曲线峰值(ΔV_0)的 25% 的曲线部分来确定。若寿命值在沿曲线更低处测量时反而增加,则存在陷阱。把试样加热到 50 ℃~70 ℃ 或用一稳定的本底光照射试样,可消除陷阱效应。若陷阱的影响超过曲线总幅度的 5%,则该试样不适合用本方法测量。

8.10 检查是否满足扫出条件

8.10.1 关断光源,测量试样上直流电压 V_{dc} 。

8.10.2 计算 V_{dc} 与 τ_F 的积,若乘积不大于表 4 给出的对应常数,则满足扫出条件,即扫出效应不显著,进行 8.11 漳州四探针科技-提供专业半导体测试解决方案 www.4probes.com 020-31375051

8.10.3 表 4 给出的常数,仅用于推荐长度的试样,其他长度的试样,其条件由式(6)给出:

$$V_{dc} \cdot \tau_F \leqslant 30 L/\mu \quad \dots \dots \dots (6)$$

式中：

L ——试样长度,单位为毫米(mm)；

μ ——少数载流子迁移率,单位为平方厘米每伏秒($\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$)(见表 4)；

τ_F ——表观寿命,单位为微秒(μs)。

8.10.4 若不满足扫出条件,可降低试样电流来减小 V_{dc} ,这将会改变曲线形状, τ_F 值也将发生变化。

8.10.5 重复从 8.4~8.10.4 的操作,直至 τ_F 值是一个常数且满足扫出条件。

表 4

材 料	迁移率/ ($\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$)	类型 A	类型 B 和 C
p型锗	3 800	7.3	12
n型锗	1 800	11	18
p型硅	1 400	12	20
n型硅	470	20	35

8.11 检查是否满足小注入条件。

8.11.1 用满足扫出条件相同的电流值,开启光源,测量脉冲峰值, ΔV 。

8.11.2 若 $\Delta V_0/V_{dc} \leq 0.01$,则满足小注入条件,进行“计算”。

8.11.3 若 $\Delta V_0/V_{dc} > 0.01$,则按式(7)修正表观寿命:

$$\tau_F = \tau_{F\text{meas}} [1 - (V_0/V_{dc})] \quad \dots \dots \dots (7)$$

式中:

$\tau_{F\text{meas}}$ ——8.6 中测量或 8.7 中计算的表观寿命值;

τ_F ——表观寿命修正值。

9 计算

9.1 小注入条件下的体少数载流子寿命由式(8)计算。

$$\tau_b = (\tau_F^{-1} - R_{SF})^{-1} \quad \dots \dots \dots (8)$$

式中:

τ_b ——体少数载流子寿命,单位为微秒(μs);

τ_F ——表观寿命,单位为微秒(μs);

R_{SF} ——表面复合率,标准样品的 R_{SF} 由表 3 给出,单位为微秒⁻¹(μs^{-1})。

注:注意 5.2.1 中的复合及表 2 规定的可测最大体寿命。

9.2 对长度为 L ,宽为 W ,厚为 T 的长条形试样, R_{SF} 由式(9)求得:

$$R_{SF} = \pi^2 D (L^{-2} + W^{-2} + T^{-2}) \quad \dots \dots \dots (9)$$

9.3 对长度为 L ,半径为 r 的圆柱样品, R_{SF} 由式(10)求得:

$$R_{SF} = \pi^2 D [L^{-2} + (9/16r^2)] \quad \dots \dots \dots (10)$$

式中:

D ——少数载流子扩散系数,单位为平方厘米每秒(cm^2/s)。

10 报告

试验报告应包括如下内容:

- a) 试样编号;
- b) 试样尺寸;
- c) 试样导电类型和电阻率;

- d) 试样上测量点及其光照区域的长(L_i)、宽(W_i)；
- e) 光源种类；
- f) 直流电压降 V_{dc} ，电压幅度峰值或饱和值；
- g) 是否使用了幅度修正；
- h) 表观寿命 τ_F 测量值；
- i) 计算的体少数载流子寿命 τ_b ；
- j) 本标准编号；
- k) 测试人员和日期。

11 精密度

本标准测量硅单晶体少数载流子寿命单个实验室测量精密度为±20%，测量锗单晶体少数载流子寿命单个实验室测量精密度为±50%。

附录 A
(规范性附录)
硅单晶少数载流子寿命测定高频光电导衰减法

A.1 范围

本标准规定了硅单晶少数载流子寿命高频光电导衰减测量方法。本标准适用于硅单晶锭、块的少数载流子寿命测量，多用于常规测量。

A.2 方法原理

本方法以直流光电导率减法原理为基础，用高频电场代替直流电场，以电容耦合代替欧姆接触，以检测试样上电流的变化代替检测样品上电压的变化。不光照时，由高频源产生等幅高频正弦电流，通过试样与取样电阻 R，在取样电阻两端产生高频电压。试样受光照时，产生附加光电导，流过试样到取样电阻 R 的高频电流幅值也相应增加。光照停止后，在小注入条件下，附加光电导按指数规律衰减，高频电流幅值增加部分指数规律衰减，取样电阻上形成的高频调幅信号经检波和滤波、宽频放大器放大输入示波器，屏上显示一条指数衰减曲线，其时间常数 τ 即为非平衡少数载流子寿命。

A.3 测量仪器

A.3.1 测量系统装置图

测量系统装置图见图 A.1。

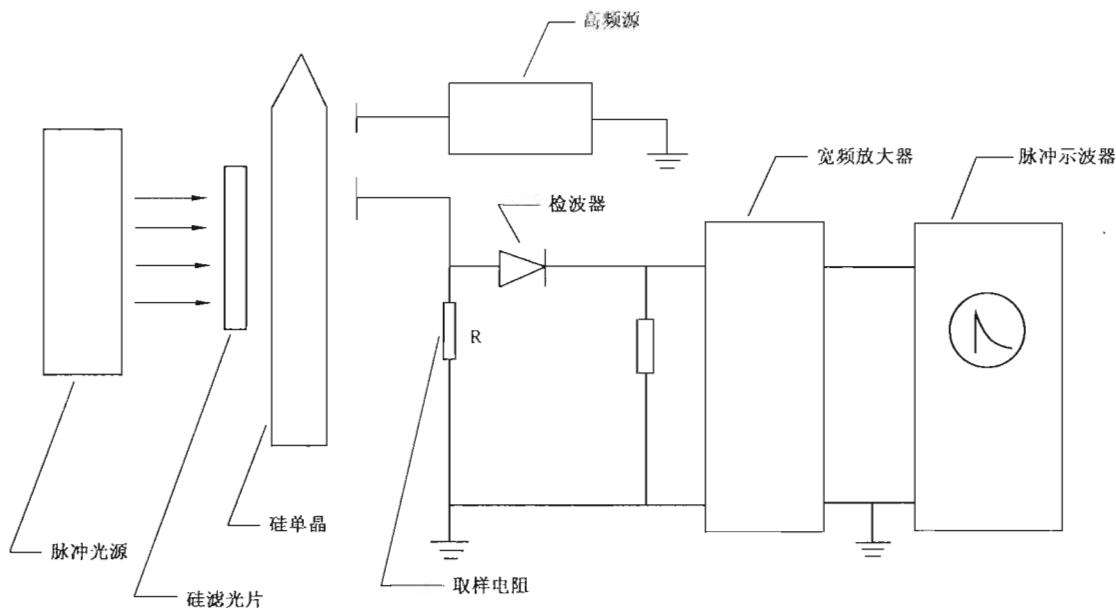


图 A.1 少数载流子寿命高频光电导衰减法测量电路示意图

A.3.2 光脉冲发生装置

光脉冲关断时间应小于所测寿命值的一半，重复频率为(1~5)次/s。

注：当采用发光二极管作光源时，重复频率可达 25 次/s。

A.3.3 光学系统

透镜和滤光片分别构成聚光和滤光系统，聚光只改变光强而不改变光照面积，保证区域内光照均匀。滤光片由电阻率大于 $10 \Omega \cdot \text{cm}$ 的硅单晶片制成，厚度不小于 1 mm，表面抛光至镜面。

A.5.3.2 若光电导信号 ΔV 部分偏离指数曲线，则应作如下处理。

A.5.3.2.1 若曲线初始部分衰减较快(表面复合效应),则由曲线较后部分测量,一般取下降到 60% 以后的部分读数也可以用更厚的硅滤光片测量(见图 A.3)。

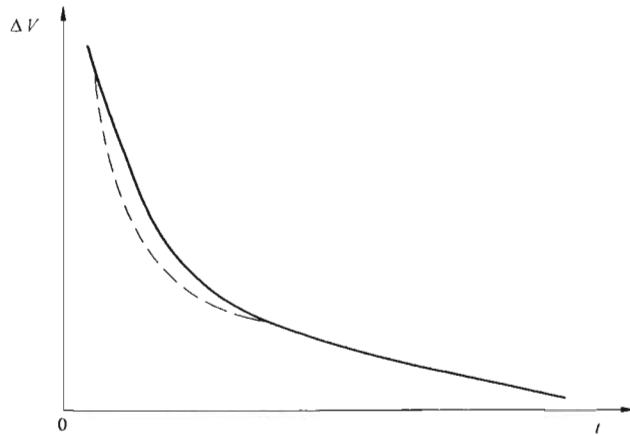


图 A.3 表面复合

A.5.3.2.2 若曲线后部不与基线重合,则用弱的稳定光照消除陷阱效应进行测量。当陷阱幅度大于 20%(与曲线的最大值比较)时,则不予报数(见图 A.4)。

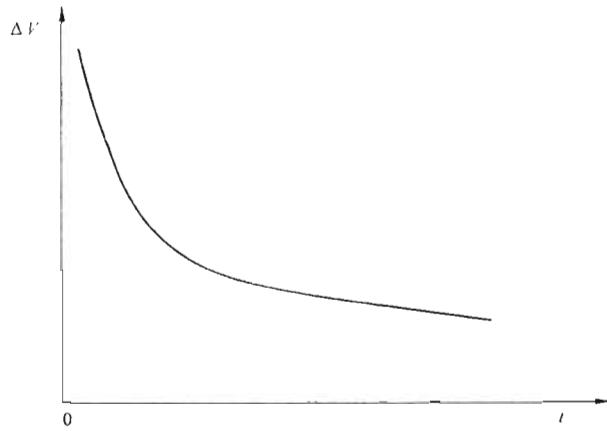


图 A.4 陷阱效应

A.5.3.2.3 若曲线头部出现平顶现象,说明信号太大,应减弱光强及倍数在小信号下进行测量(见图 A.5)。

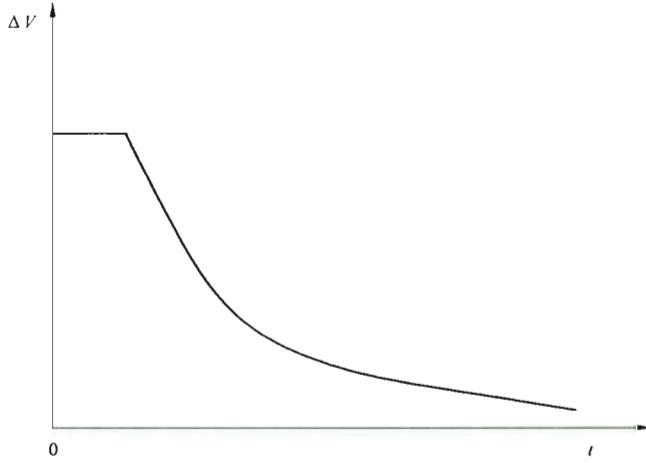


图 A.5 信号限幅

A.6 计算

A.6.1 计算体寿命时,考虑到表面复合作用,对表观寿命应作修正:

$$\text{对长方形试样: } 1/\tau_B = 1/\tau_F - \pi^2 D(1/L^2 + 1/W^2 + 1/T^2) \dots \dots \dots \text{ (A.2)}$$

$$\text{对圆柱形试样: } 1/\tau_B = 1/\tau_F - \pi^2 D(1/L^2 + 9/4\phi^2) \dots \dots \dots \text{ (A.3)}$$

式中:

τ_B ——体寿命,单位为微秒(μs);

τ_F ——表观寿命,单位为微秒(μs);

D ——少数载流子扩散系数,电子扩散系数 $D_n = 36 \text{ cm}^2/\text{s}$,空穴扩散系数 $D_p = 13 \text{ cm}^2/\text{s}$;

L, W, T, ϕ ——分别为试样长、宽、厚、直径,单位为厘米(cm)。

A.6.2 试样的最小尺寸与可测量最高寿命值(理论值)见表 A.1。表 A.1 供制作试样时参考,若直接测得的表观寿命大于表中值的一半时,则尺寸必须增大。

表 A.1

长度/ cm	截面积或直径	体寿命/ μs	
		n型	p型
1.5	0.25 cm × 0.25 cm	240	90
2.5	0.5 cm × 0.5 cm	950	350
2.5	1.0 cm × 1.0 cm	3 600	1 300
1.5	Φ0.25 cm	2 100	80
2.5	Φ0.5 cm	860	310
2.5	Φ1.0 cm	3 300	1 200

A.7 报告

试验报告应包括以下内容:

- a) 试样编号;
- b) 试样尺寸;
- c) 试样导电类型和电阻率;
- d) 表观寿命 τ_F 测量值;
- e) 计算的体少子寿命 τ_B ;
- f) 本标准编号;
- g) 测试人员和日期。



广州四探针科技 提供专业半导体测试解决方案 www.4probes.com 020-31375051 版权所有 侵权必究

书号:156066 · 1-39552

定价: 18.00 元