

ICS 77.040.01
H 21



中华人民共和国国家标准

GB/T 1553—1997

硅和锗体内少数载流子寿命测定 光电导衰减法

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

1997-06-03 发布

1997-12-01 实施

国家技术监督局 发布

前 言

本标准等效采用美国试验与材料协会 ASTM F28—90《光电导衰减法测量锗和硅体内少数载流子寿命的标准测试方法》，结合我国的实际情况，对 GB 1553—79、GB 5257—85 进行修订而成的。

本标准起草时，删去了 F28—90 中“有害说明”及“关键词”章节，删减了“意义和用途”中的 5.1～5.2 条内容，合并了“方法 A”和“方法 B”。

考虑到实际应用的需要，本标准把 GB 1553—79 的附录 A《硅单晶中少数载流子寿命测定 高频光电导衰减法》非仲裁测量方法作为标准的附录放在附录 A 中。

本标准从 1997 年 12 月 1 日起实施。

本标准从生效之日起，同时代替 GB 1553—79、GB 5257—85。

本标准的附录 A 是标准的附录。

本标准由中国有色金属工业总公司提出。

本标准由中国有色金属工业总公司标准计量研究所归口。

本标准起草单位：峨嵋半导体材料厂、中国有色金属工业总公司标准计量研究所。

本标准主要起草人：吴道荣、刘文魁、尹建华、吴福立。

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—1997

代替 GB 1553—79
GB 5257—85

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

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 本标准包括两种测试方法。
- 1.2.1 方法 A——脉冲光方法,适用于锗和硅。
- 1.2.2 方法 B——斩切光方法,仅适用于电阻率不小于 $1 \Omega \cdot \text{cm}$ 的硅试样。
- 1.3 两种方法都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(见表 1)和研磨的表面,一般不宜作其他用途。
- 1.4 本标准可测的最低寿命值取决于光源的余辉,而可测的最高寿命值主要取决于试样尺寸(见表 2)。

表 1 推荐的三种试样尺寸

mm

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

表 2 试样体寿命可测的最大值 τ_B

μs

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

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 1550—1997 非本征半导体材料导电类型测试方法

GB/T 1551—1995 硅、锗单晶电阻率测定 直流二探针法

GB/T 14264—93 半导体材料术语

国家技术监督局 1997-06-03 批准

1997-12-01 实施

3 定义

本标准采用下列定义。

3.1 表观寿命 filament lifetime

光电导电压衰减到初始值的 $1/e$ 时的时间常数 $\tau_F(\mu s)$, 用公式(1)表示:

$$\Delta V = \Delta V_0 \exp(-t/\tau_F) \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中: ΔV ——光电导电压, V;

ΔV_0 ——光电导电压的峰值或初始值, V;

t ——时间, μs 。

τ_F ——表观寿命, μs 。

4 方法提要

4.1 方法 A——在两端面为研磨表面并具有欧姆接触的单一导电类型的半导体单晶试样上通一直流电流, 用示波器观察试样上的电压降。对试样施一脉冲光, 在试样中产生非平衡少数载流子, 同时触发示波器扫描。从脉冲光停止起电压衰减的时间常数可由示波器扫描测得。当试样中电导率调幅非常小时, 所观察到的电压衰减等价于光生载流子的衰减, 因此电压衰减的时间常数就等于非平衡少数载流子衰减的时间常数, 少数载流子寿命即由该时间系数确定。必要时, 应消除陷阱效应和对表面复合及过量电导率调幅进行修正。

4.2 方法 B——本方法只适用于硅。光源为斩切光而非脉冲光, 其他与方法 A 相同。光源波长为 $1.0 \sim 1.1 \mu m$ 。本方法需满足小注入条件以避免过量电导率调幅的影响。信号进入示波器以前, 可对信号进行调节, 对表面复合需进行修正。

本方法不适用于测试条件下呈非指数规律变化信号的试样。

5 意义和用途

本标准只适用于研究、开发和过程控制, 不适用于抛光片的验收测试。对于一般非仲裁性的测试, 可使用本标准的附录 A。

6 干扰因素

6.1 陷阱效应影响

室温下的硅和低温状况下的锗, 载流子陷阱会产生影响。如果试样中存在电子或空穴陷阱, 脉冲光停止后, 非平衡少数载流子将保持较高浓度并维持相当长一段时间, 光电导衰减曲线会出现一条长长的尾巴。在这段衰减曲线上进行测量将错误地导致寿命值增大。

6.1.1 沿衰减曲线进一步延伸, 由高端至低端进行测量, 若时间常数增加, 可判定存在陷阱效应(消除方法见 10.1.9)。

6.1.2 当试样中陷阱效应超过衰减曲线总幅度的 5%(方法 A)或衰减曲线呈非指数规律变化时(方法 B), 就不能用本方法测量少数载流子寿命。

6.2 表面复合影响

6.2.1 表面复合会影响寿命测量, 特别是使用小块试样时。表 3 给出了推荐试样尺寸对应的表面复合率, 在“计算”一章中也给出了表面复合修正的一般公式。当试样表面积与体积之比很大时, 更有必要进行修正。

6.2.2 若对表面复合修正太大, 会严重降低测量的准确性。建议对测量值的修正不要超过测量值倒数的 $1/2$ (即表观寿命须大于体寿命的一半, 或表面复合率不大于体寿命的倒数, 见 11 章公式(10)。标准条形试样所测定的最大体寿命值列于表 2。

表 3 表面复合率 R_{sf} μs^{-1}

材料	类型 A	类型 B	类型 C
p 型锗	0.032 30	0.008 13	0.002 15
n 型锗	0.015 75	0.003 96	0.001 05
p 型硅	0.011 20	0.002 82	0.000 75
n 型硅	0.004 20	0.001 05	0.000 28

6.3 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。

6.3.1 方法 A: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。

6.3.2 方法 B 不允许作这种修正。此处小注入条件是指在连续光照下稳定存在于试样中注入的少数载流子浓度与平衡的多数载流子浓度之比小于 0.001(见 10.2.10)。若光注入不能降低到小注入值,试样就不宜用本方法测量。

6.4 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。方法 A 和方法 B(见 10.1.5 和 10.2.6)都给出了判定是否存在这种光生电压的方法。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。

6.5 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。因为脉冲光源比斩切光源注入的载流子初始浓度一致性差,方法 A 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。

6.6 电场影响

如果少数载流子被电流产生的电场扫出试样的一端,少数载流子就不会形成衰减曲线。因此,两种方法都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。

6.7 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作比较。

6.8 杂质复合中心影响

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。

6.9 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。

7 试剂和材料

7.1 纯水

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

7.2 研磨材料

氧化铝粉,颗粒范围为 $5 \sim 12 \mu\text{m}$ 。

7.3 欧姆接触材料

在试样端面应形成欧姆接触,可使用镍、铈或金电镀浴,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℃。

8 测试仪器

8.1 测试电路图

测试电路图见图 1。

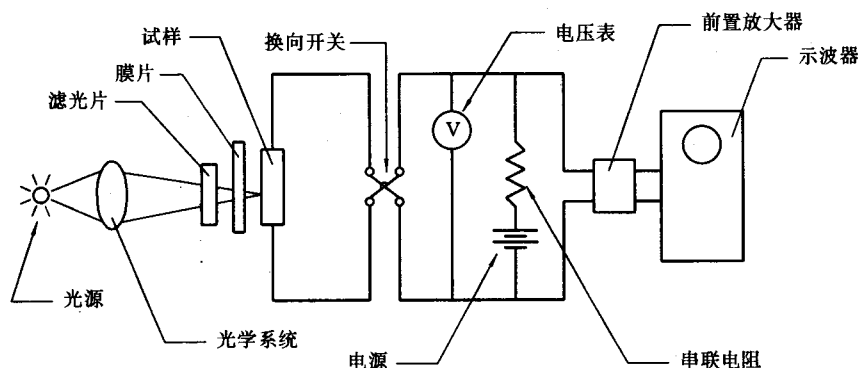


图 1 少数载流子寿命测量电路示意图

8.2 光源

脉冲(方法 A)或斩切(方法 B)光源,光源须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 1.0~1.1 μm 以内。

8.2.1 方法 A——氙闪光管或放电管,配备 0.01 μF 的电容器以及可提供频率为 2~60 Hz 脉冲的高压电源。光源应在 0.3 μs 内达到最大光强,并在小于 0.5 μs 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 μs 的试样。

8.2.2 方法 B——脉冲发生器光源,用以产生周期性方波光脉冲,脉冲幅度、高度和间隔应单独可调,脉冲宽度和间隔的可调范围最少应在 5~20 μs 之间,光源最高辐射能应足够大,测量信号最小不低于 1 mV;光脉冲上升沿和下降沿两个时间系数均应小于被测最低表观寿命值的 1/5。脉冲发生器还应为信号调节器和示波器提供触发信号。

注:具有所提供特性的光源是一个发光二极管(LED),其关断时间约为 0.1 μs 。此外,用机械转动法把光斩切为频率 15 Hz、45 Hz 或 77 Hz 的 A6-V, 8-A 钨带状灯丝灯,适用于表观寿命不小于 5 μs 的测量。

8.3 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_t 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。

8.4 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 $27 \pm 1^\circ\text{C}$,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照下。

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。

8.5 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(仅用于方法 A,见 8.5)。

8.6 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。对方法 A,光照区域是长度 $L_i = L/2$,宽度 $W_i = W/2$;对方法 B,光照区域是长度 $L_i = 3.0 \pm 0.1$ mm,宽度 $W_i = W$ 。两种方法,光照部位都在试样中央位置。

8.7 电信号测量线路

8.7.1 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 Hz~30 Hz 可调。

8.7.2 信号调节器——脉冲取样均衡器或波形整形器,用于改善小信号时的信噪比。仅用于方法 B,为保证小注入条件而减少光照时采用。

8.7.3 示波器——具有合适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:

a) 对方法 A,规定屏幕尺寸在 10 cm×10 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(见图 2)。

b) 对方法 B,屏幕上还有一条附加水平线,位于 y 最大值的 0.37 处。

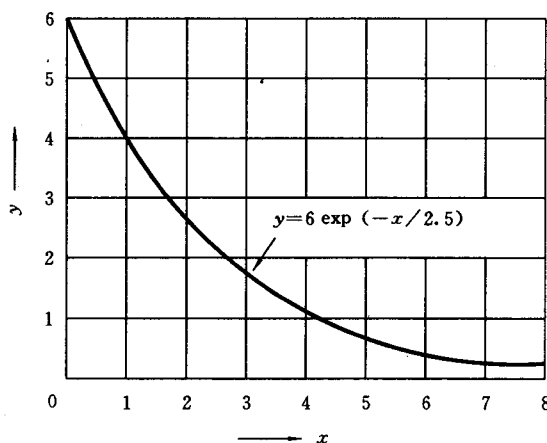


图 2 方法 A 示波器面板上的指数曲线

8.7.4 对电路总体要求:

- a) 校正垂直扫描灵敏度至 0.1 mV/cm 或更好;
- b) 校正垂直增益和扫描线性度在 3% 以内;
- c) 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;
- d) 脉冲没有明显的变坏现象,如过冲或阻尼效应。

8.8 研磨设备

能把试样的所有表面加工成光滑、平整的表面。

8.9 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。

8.10 试样尺寸测量工具

精度为 0.01 mm 的千分尺或游标卡尺。

9 试样制备

9.1 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。对方法 B,推荐使用尺寸类型 B 和类型 C,测量、记录所有尺寸,精确到 0.1 mm。

注: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。

9.2 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。

9.3 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。

9.4 在试样的两个整个端面上制作欧姆接触。

注：推荐在锗试样的端面镀镱、铈或金，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℃，同时研磨端面，防止滴在金刚砂布上的镱形成镱污点。也可在 n 型硅试样端面镀镱，在 p 型硅试样端面镀铈。

9.5 如果试样导电类型是未知的，可按 GB/T 1550 测定。

9.6 测试接触点：

9.6.1 将试样置于夹具中，以一个方向接通电流，在试样上形成 2~5 V 的电压，记录该电压降 V_1 。

9.6.2 改变电流方向，记录试样上电压降 V_2 。

9.6.3 如果 V_1 与 V_2 的差小于 5%，则试样具有欧姆接触。

9.7 按 GB/T 1551 测量和记录并修正其至 27℃ 时的电阻率。

10 测量步骤

10.1 方法 A——脉冲光方法

10.1.1 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 ±1℃。

10.1.2 开启光源，将前置放大器与示波器接通。

10.1.3 接通电源，调整电流，在试样上产生 2~5 V 电压。

10.1.4 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 8.7.3a），方法如下：

a) 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，使屏幕横向上出现多个衰减曲线，以易于调节。

b) 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 与标准曲线左边上方点一致。

10.1.5 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。

10.1.6 若未观察到上述光电压信号且衰减曲线呈纯指数曲线，则可由 (3) 式确定表观寿命 τ_F (μs)：

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

式中： S_1 ——时间基准扫描速度， $\mu\text{s}/\text{cm}$ 。

10.1.7 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 (cm)，由 (4) 式计算 τ_F ：

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

当不具备屏幕标准曲线（见 8.7.3a）时，也可用该步骤。

10.1.8 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。

a) 若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；

b) 若试样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；

c) 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 (cm)，由 (5) 式计算表观寿命：

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

重复上述过程两遍以上,得到 τ_{F2} 、 τ_{F3} 等;

d) 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。

10.1.9 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% 的曲线部分来测定。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°C 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%, 则该试样不适于用本方法测量。

10.1.10 检查是否满足扫出条件:

a) 关断光源, 测量试样上直流电压 V_{dc} ;

b) 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 10.1.11 操作;

c) 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 (6) 式给出:

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

式中: L ——试样长度, mm;

μ ——少数载流子迁移率, $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ (见表 4);

τ_F ——表观寿命, μs 。

d) 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;

e) 重复从 10.1.4~10.1.10d) 的操作, 直至 τ_F 值是一个常数且满足扫出条件。

表 4 少数载流子迁移率与方法 A 推荐试样长度对应的扫出条件常数

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

10.1.11 检查是否满足小注入条件。

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

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

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

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

式中: $\tau_{F\text{meas}}$ ——10.1.6 中测量或 10.1.7 中计算的表观寿命值;

τ_F ——表观寿命修正值。

10.2 方法 B——斩切光方法

10.2.1 用夹具夹紧试样于定位膜片矩形窗孔处, 使试样中央位置处于光照下, 测量并记录试样夹具的温度。

10.2.2 开启光源, 连接前置放大器与示波器。

10.2.3 接通电源并调节电流, 使试样上产生 2~5 V 电压, 调节脉冲幅度、示波器垂直增益及扫描速度旋钮, 使示波器上出现几个单周期信号。

10.2.4 调节脉冲宽度, 使脉冲幅度达到饱和值 ΔV_0 。在脉冲关断之前同时调节脉冲截止时间, 使信号到达两个脉冲间的基线(直流电压值)。

10.2.5 调节示波器扫描速度旋钮、电流及脉冲幅度, 使示波器屏幕上出现的单周期信号图形具有较大

幅度,直流电压不超过 5 V。调节垂直位移旋钮,使基线与刻在屏上指定的刻度一致,再调整其他旋钮,直到图形充满屏幕(见图 3)。

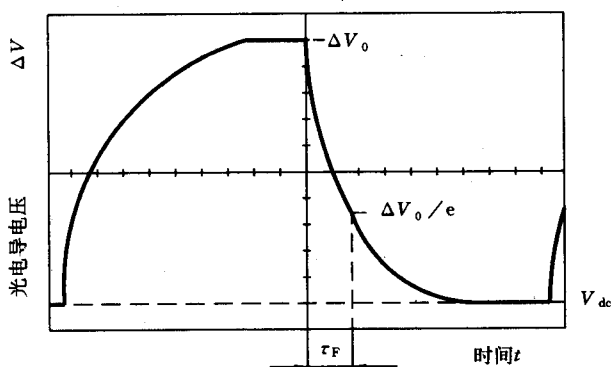


图 3 方法 B 的一个周期的光电压波形图

10.2.6 关断电流,保留光照,其他旋钮不动,观察示波器上是否检测到一个光电压信号。若测到信号大于脉冲饱和值的 1%,说明试样中存在光伏特效,该试样不适于用本方法测量。

10.2.7 若未观察到上述光电压信号,可确定表观寿命的最初近似值 τ_F 。该时间在光电导信号衰减的起点与衰减曲线上其饱和值的 0.37 之间选取。

10.2.8 增加前置放大器的低频切断值(提升至值 $10/\tau_F$),消除低频噪声。对衰减曲线上呈正增长的点,不增加其低频切断值。

10.2.9 检查是否满足扫出条件。

- a) 关断光源,测量试样上直流电压 V_{dc} ;
- b) 若扫出条件满足:对 n 型硅, $V_{dc} \leq 1170/\tau_F$; 或对 p 型硅, $V_{dc} \leq 390/\tau_F$, 则进行 10.2.10 操作;
- c) 10.2.9b) 中给出的常数仅适用于试样尺寸类型 B 和类型 C 以及由 8.5 条中规定的光照长度 3.0 mm 的试样。若采用其他尺寸试样,其条件由(8)式给出:

$$V_{dc} \leq (10^6 \cdot L_c \cdot L) / (500 \cdot \mu \cdot \tau_F) \dots\dots\dots (8)$$

式中: L_c ——光照区域与负极接点(对 n 型硅)或与正极接点(对 p 型硅)间的距离, mm;

L ——试样长度, mm;

μ ——少数载流子迁移率, $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ (见表 4);

τ_F ——表观寿命, μs ;

d) 若不满足扫出条件,可降低试样电流减小 V_{dc} , 这样会改变曲线形状, τ_F 也将发生变化;

e) 重复 10.2.7~10.2.9 的操作,直至 τ_F 值是一个常数且满足扫出条件。

注:若试样光照区域相对样品中心是非对称的(如光照区域的一端正位于试样中央),当试样上电流换向而 τ_F 值变化不超过 5% 时,才能满足扫出条件。

10.2.10 检查是否满足小注入条件:

- a) 用与满足扫出条件相同的电流值,开启光源,测量光电压饱和值 ΔV_0 ;
- b) 若满足小注入条件:对 n 型硅, $\Delta V_0/V_{dc} \leq 1.6 \times 10^{-4}$; 对 p 型硅, $\Delta V_0/V_{dc} \leq 4.8 \times 10^{-4}$, 则进行 10.2.11 操作;

10.2.11 操作:
c) 10.2.10b) 中给出的常数仅适用于尺寸类型 B 和类型 C 及 8.5 条中规定的光照长度 3.0 mm 试样,其他尺寸试样,由(9)式给出:

$$(\Delta V_0/V_{dc}) \leq 10^{-3} \times [1 + (\mu_{\min}/\mu_{\text{maj}})] \times (L_1/L) \dots\dots\dots (9)$$

式中: μ_{\min} ——少数载流子迁移率, $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$;

μ_{maj} ——多数载流子迁移率, $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$;

L ——试样长度, mm;

L_1 ——试样光照区域长度,mm;

- d) 若不满足小注入条件,则减少光强度;
- e) 重复 10.2.8~10.2.10d)的操作,直至满足小注入条件。

注:当减小光强时,建议使用信号调节器(见 8.6.2),以提高信噪比。

10.2.11 当扫出条件和小注入条件都满足时,调节示波器时间基准扫描速度,使脉冲光末端出现在示波器屏幕上。

10.2.12 测量和记录波幅及其对应的衰减曲线上 $0.9\Delta V_0$ 和 $0.1\Delta V_0$ 间等距间隔的五个点的衰减时间。

10.2.13 将样品转动 90° ,允许试样温度平均为 $27 \pm 1^\circ\text{C}$ 。

10.2.14 在与前面相同的测试条件下测量和记录波幅及其对应的衰减曲线上 $0.9\Delta V_0$ 和 $0.1\Delta V_0$ 间等距间隔的五个点的衰减时间。

10.2.15 对应于试样的每一个测量位置,在半对数 $\ln\Delta V = f(t)$ 坐标上标出波幅对应的时间值。

10.2.16 若得到的图象呈线性减少,则进行 10.2.17 操作。否则该试样不适于用本方法测量。

10.2.17 确定表观寿命 τ_F 。对每一个测量位置, τ_F 是半对数坐标图上对应于 ΔV_0 和 $0.37\Delta V_0$ 值及水平轴上相应时间值的斜率。

10.2.18 求出这两个不同测量位置的 τ_F 平均值。

11 测量结果的计算

11.1 小注入条件下的体少数载流子寿命由(10)式计算。

$$\tau_B = (\tau_F^{-1} - R_{sf})^{-1} \dots\dots\dots (10)$$

式中: τ_B ——体少数载流子寿命, μs ;

τ_F ——表观寿命, μs ;

R_{sf} ——表面复合率;标准样品的 R_{sf} 由表 3 给出, μs^{-1} 。

注:注意 6.2.1 中的复合及表 2 规定的可测最大体寿命。

11.2 对长度为 L , 宽为 W , 厚为 T 的长条形试样, R_{sf} 由(11)式求得:

$$R_{sf} = \pi^2 D(L^{-2} + W^{-2} + T^{-2}) \dots\dots\dots (11)$$

对于长为 L , 半径为 r 的圆柱样品则:

$$R_{sf} = \pi^2 D[L^{-2} + (9/16r^2)] \dots\dots\dots (12)$$

式中: D ——少数载流子扩散系数, cm^2/s 。

12 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 $\pm 20\%$ ($R2S\%$), 测量锗单晶体少数载流子寿命单个实验室测量精密度为 $\pm 50\%$ ($R2S\%$)。

13 试验报告

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) 试样上测量点及其光照区域的长(L_1)、宽(W_1);
- e) 光源种类;
- f) 直流电压降 V_{dc} , 电压幅度峰值(方法 A)或饱和值(方法 B);
- g) 是否使用了信号调节器(仅方法 B);

- h) 是否使用幅度修正(仅方法 A);
- i) 表观寿命 τ_F 测量值(如方法 A 中使用幅度修正);
- j) 计算的体少子寿命 τ_B ;
- k) 本标准编号;
- l) 测试人员和日期。

附录 A

(标准的附录)

硅单晶少数载流子寿命测定高频光电导衰减法

A1 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。

A2 方法提要

本方法以直流光电导衰减法原理为基础,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试样上电压的变化(见图 A1)。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也按指数规律衰减,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。

A3 仪器设备

A3.1 测量系统装置图

测量系统装置图见图 A1。

A3.2 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。

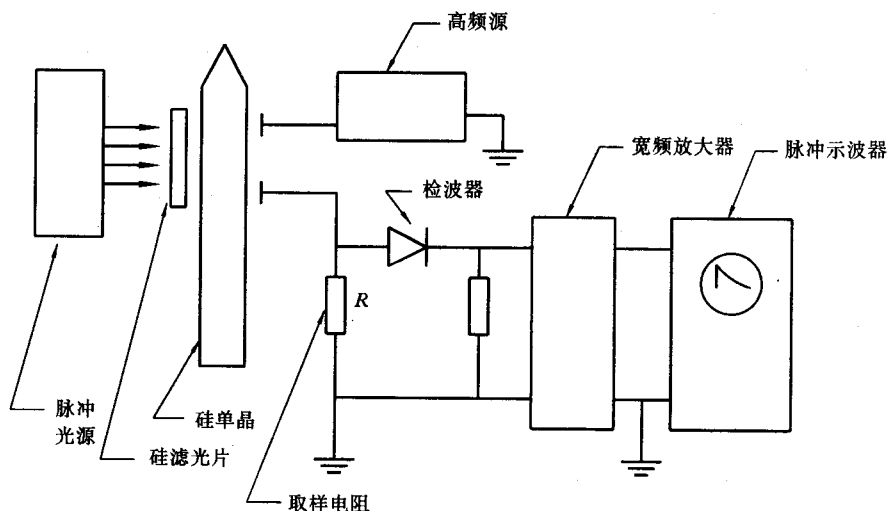


图 A1 少数载流子寿命高频光电导衰减法测量电路示意图

A3.3 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。

A3.4 高频电源

频率 25~35 MHz,低输出阻抗,输出功率不低于 1 W。

A3.5 检波器

宽频带放大器与脉冲示波器,保证信号不畸变,频率响应 2 Hz~1 MHz,脉冲示波器扫描时间应连续可调。

A4 试样制备

A4.1 试样形状:整根单晶棒,圆柱状或具有平面的单晶锭亦可。

A4.2 试样处理:腐蚀去除氧化层,表面清洁,不得有沾污。

A5 测试程序

A5.1 测量环境

A5.1.1 温度 $23 \pm 2^\circ\text{C}$,相对湿度不大于 65%。

A5.1.2 实验室应有电磁屏蔽,工频电源应有滤波装置。

A5.2 测试条件

A5.2.1 应保证在小注入条件下测量,满足(A1)式要求:

$$(1/M)(\Delta V/V) \leq 1\% \quad \dots\dots\dots (A1)$$

式中: M ——修正因子,当忽略回路中感抗、容抗以及试样电阻比取样电阻大得多时, M 近似于 1;

ΔV ——光照时,取样电阻上电压变化值;

V ——无光照时,取样电阻上电压降。

也可通过把取样电阻上的高频电压变化值控制在一定范围内来保证小注入条件。

A5.2.2 试样的光生伏特效应小于光电导信号的 5%。

A5.2.3 测量时,试样应避免环境光照的影响。

A5.2.4 噪信比应小于 10%,测量信号上下波动小于 5%。

A5.3 测量

A5.3.1 调节光强及示波器有关旋钮,在满足测量条件下,使示波器屏幕上观察到的光电导信号 ΔV 与示波器上的标准指数曲线 $y = y_0 \cdot e^{-x/L}$ 相重合,读出 X 轴上长度 L 所对应的时间值,即为表观寿命 τ_F (见图 A2)。

A5.3.2 若光电信号 ΔV 部分偏离指数曲线,则应作如下处理:

A5.3.2.1 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 A3)。

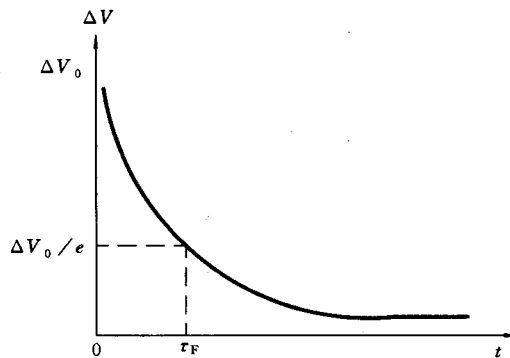


图 A2 $\Delta V - \tau_F$ 曲线

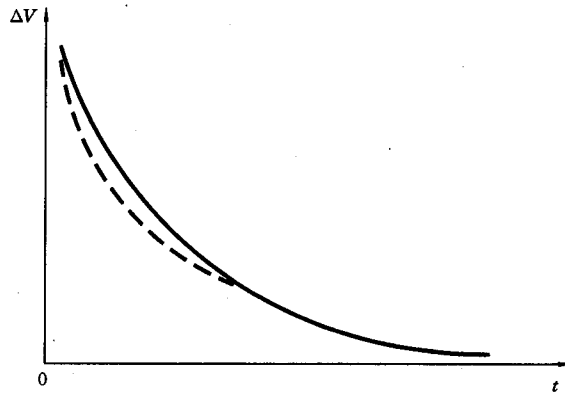


图 A3 表面复合

A5.3.2.2 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A4)。

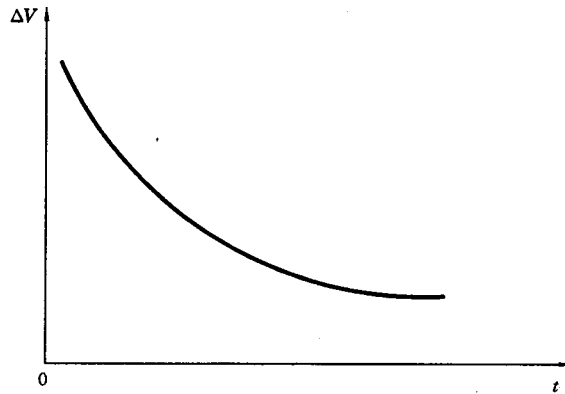


图 A4 陷阱效应

A5.3.2.3 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A5)。

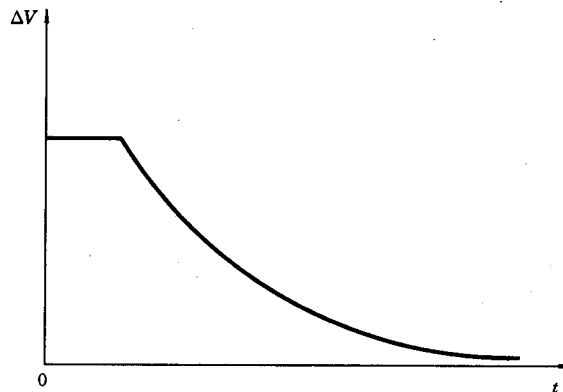


图 A5 信号限幅

A6 测量结果的计算

A6.1 计算体寿命时,考虑到表面复合作用,对表观寿命应作修正:

$$\text{对长方形试样: } 1/\tau_B = 1/\tau_F - \pi^2 D(1/L^2 + 1/W^2 + 1/T^2) \dots\dots\dots (A2)$$

对圆柱形试样： $1/\tau_B = 1/\tau_F - \pi^2 D(1/L^2 + 9/4\phi^2)$ (A3)

式中：
 τ_B ——体寿命， μs ；
 τ_F ——表观寿命， 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 $D_p=13 \text{ cm}^2/\text{s}$ ；
 $L、W、T、\phi$ ——分别为试样长、宽、厚、直径， cm 。

A6.2 试样的最小尺寸与可测量最高寿命值(理论值)见表 A1。

表 A1 试样尺寸与可测寿命最高值

长度,cm	载面积,cm ² 或直径,cm	体寿命,μs	
		n 型	p 型
1.5	0.25×0.25	240	90
2.5	0.5×0.5	950	350
2.5	1.0×1.0	3 600	1 300
1.5	φ0.25	210	80
2.5	φ0.5	860	310
2.5	φ1.0	3 300	1 200

表 A1 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。

A7 精密度

A7.1 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±15.8%(R2S%)。

A8 实验报告

A8.1 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。

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—1997

*

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045
电 话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1¼ 字数 29 千字
1997年11月第一版 1997年11月第一次印刷
印数 1—600

*

书号: 155066·1-14169 定价 12.00 元

*

标 目 321—10