

# 用触針下分布电阻的光电导衰退測量 鍺和硅中少数載流子的寿命\*

庄蔚华 潘貴生

## 摘 要

研究了光譜成分不同的激发光 and 不同表面条件下鍺和硅在触針下分布电阻的光电导衰退。对体寿命为  $\tau$  的半导体,当用貫穿光激发、表面复合速度小时,非平衡載流子分布均匀,分布电阻的改变随時間  $t$  的变化服从  $\Delta R = \Delta R_0 e^{-t/\tau}$  的規律;当用白光激发、表面复合速度小时,非平衡載流子的分布很不均匀,衰退服从  $\Delta R = \Delta R_0 t^{-1/2} e^{-t/\tau}$  的規律。但当表面复合速度大时,不管激发光的成分为白光或貫穿光,总是在体内激发的非平衡載流子对电阻变化的贡献占主要作用,因而电阻变化遵从  $\Delta R = \Delta R_0 t^{-1/3} e^{-t/\tau}$  的規律。实验結果与理論分析作了比較<sup>[1]</sup>,两者很好地符合。由本方法所求得的体寿命与条状样品的光电导衰退方法<sup>[2]</sup>所求得的結果相一致。本文提供了一种測量体寿命的簡單方法。

## 一、引 言

目前对鍺和硅中的少数載流子寿命的測量普遍采用光电导衰退方法<sup>[2]</sup>和双脉冲方法<sup>[3]</sup>,这二种方法的共同优点都是直接从电导的衰退中求出寿命,不需要从其他物理量中来推算。其中尤其是光电导衰退方法,关于它的理論分析比較清楚,可以作为精密測量的方法。但是上述二种方法各有一些不足之处,表现在光电导衰退的方法中,只能对具有一定形状的长方条状样品进行測量,所測出的寿命值只代表光照区域内样品的平均寿命,无法測量局部区域内寿命的变化。在双脉冲測量方法中,为了要在点接触下能得到稳定地注入少数載流子,表面必須要适当的处理。实验設備上需有較大功率的注入脉冲,以达到注入的載流子分布均匀的測量条件,否則測出的衰退常数将受非平衡載流子分布不均匀而引起扩散的影响,使測出的衰退常数低于实际的体寿命。通过点接触用脉冲注入載流子的分布較复杂,目前理論分析还不够,因而对有些測量条件的要求不够明确,或者只停留在定性了解的阶段。

本工作所介紹的实验方法是結合了以上两方法的优点而克服了他們各别的缺点。利用脉冲在半无限大的样品中注入少数載流子,样品的表面装有触針,表面可以用金鋼砂磨过或者腐蝕处理过,利用非平衡光生載流子所引起的触針下分布电阻的变化来檢驗样品中剩餘少数載流子的浓度,从分布电阻随時間的变化曲綫中,可以求出触針下局部范围内的非平衡載流子的体寿命  $\tau$ 。

\* 1962年9月17日收到。

光注入的非平衡载流子所引起的触针下分布电阻的变化,曾由王守武分析过<sup>[1]</sup>,理論的假設条件是:

(1) 样品为半无限大.

(2) 注入水平很低,即对  $p$  型样品來說,  $\frac{\Delta n}{p_0} \ll 1$ ; 对  $n$  型样品來說,  $\frac{\Delta p}{n_0} \ll 1$ ; 因而样品中的电場仍保持为球对称的分布.

(3) 激发光的时间分布为  $\delta(t)$  函数的形式. 从这些假設出发, 得出了在四种特殊情况下分布电阻  $\Delta R(t)$  随时间的变化規律 (计算是对吸收系数为  $k$  的单色光进行的, 并假設样品为  $p$  型; 在激发光是由多种光谱成分組成时, 可以将下式对不同  $k$  的情况进行迭加):

1) 当  $s = 0, k = 0$  时,

$$\Delta R(t) = (1 + b) \frac{\beta N}{P_0} R_0 k e^{-t/\tau}; \quad (1)$$

2) 当  $s = 0, \frac{1}{k} \ll l_d$  时,

$$\Delta R(t) = (1 + b) \frac{\beta N R_0}{P_0 \sqrt{\pi D}} t^{-1/2} e^{-t/\tau}; \quad (2)$$

3) 当  $s \gg \frac{D}{l_d}, k = 0$  时 (在  $r_0 \ll l_d$  的特殊情况下),

$$\Delta R(t) \propto (1 + b) \frac{\beta N R_0}{P_0} k \left(\frac{t}{\tau}\right)^{-1/3} e^{-t/\tau}; \quad (3)$$

4) 当  $s \gg \frac{D}{l_d}, \frac{1}{k} \ll l_d$  时 (在  $k \gg \frac{s}{D}$  的特殊情况下),

$$\Delta R(t) = (1 + b) \frac{\beta N R_0}{P_0} \frac{\sqrt{D}}{2\sqrt{\pi}} \frac{1}{s^2} t^{-3/2} e^{-t/\tau}, \quad (4)$$

式中  $R_0$  是无光照时触针下的分布电阻,  $s$  为表面复合速度,  $b$  为电子和空穴的迁移率之比,  $\beta$  是该波长的光的量子产額,  $P_0$  是平衡时多数载流子的浓度,  $N$  为脉冲光照期間单位面积样品上所吸收的总的光子数,  $t$  是光激发停止后的延时时间,  $l_d$  是少数载流子的扩散长度,  $D$  是少数载流子的扩散系数,  $r_0$  是触针的接触半径.

造成上述四种不同衰退形式的物理原因, 决定于非平衡载流子分布的均匀程度的不同. 第一种情况下, 光子激发的电子空穴对在样品体内的分布是均匀的, 表面沒有附加的复合, 因而分布电阻随时间的变化主要决定于载流子在体内的复合, 所以衰退是純粹指数式的. 第二种情况下, 由于半导体的吸收系数过大, 激发光所产生的电子空穴对大部分集中在靠近表面的一薄层内, 这层的厚度远小于扩散长度, 因而在衰退过程中非平衡载流子要向体内扩散, 此时影响触针下分布电阻变化的不仅是体内复合, 而且还有向体内的扩散, 因而使衰退起始阶段的衰退率增快. 第三种情况下, 光激发的电子空穴对的分布是均匀的, 但是表面复合速度很大, 表面处的载流子复合特別快, 因而非平衡载流子向表面有扩散. 影响分布电阻变化衰退的因素有体内复合和表面复合. 第四种情况亦是激发不均匀的情况, 此时信号正比于  $1/s^2$ , 而  $s$  又是很大, 因而信号  $\Delta R_0$  特別小.

以上(1)至(4)式代表了当光生非平衡載流子分布的均匀程度不同时,其衰退規律的区别。这些式子一般都可以用  $t^{-1/n}e^{-t/\tau}$  的形式表示出来( $n=2, 3, 2/3$ )。可以看出,当  $t$  大于几个寿命時間之后,  $t^{-1/n}$  随  $t$  的变化将比  $e^{-t/\tau}$  因子的变化小得多,衰退就愈接近于指数形式,这表示了  $t$  大于几个寿命時間之后,載流子的分布已趋于均匀。

在  $t/\tau$  較小的时候,  $t^{-1/n}$  因子的影响是重要的。实际測量中,由于受到信号水平的限制,  $t$  的变化范围总限制于从 0 到  $3\tau$  的时间范围内,因此不能简单地用純指数來說明衰退曲綫,而在不同的測量条件下求体寿命时,必須利用(1)至(4)式。

在文献[1]中,初步的實驗結果与理論定性地符合,但是对上述的理論沒有严格定量的验证。具体來說,对同一材料的同一触点下,用不同条件測量及分析时沒有得到同一的体寿命。本文的工作是在測量条件严格控制 and 測量精确度提高的基础上,定量地观察了不同表面处理 and 激发光条件下衰退曲綫的变化。實驗結果表明:在各种条件下所測得的体寿命完全一致。这点进一步証实了理論和實驗的可靠性,并在此基础上說明了用这种測量方法的正确測量条件。

## 二、測量条件及实验設備

測量綫路方框图見图 1。样品表面受到脉冲光照而注入非平衡載流子。光激发停止后經過一定延迟時間,触針上通过一个恆流的脉冲电流,根据測量触針上的脉冲电压降随延迟時間的变化,就能检查出非平衡載流子随時間的衰退。脉冲电压是在經過一段延迟時間后要測量电导时才加上的,所以对少数載流子的漂移作用不影响衰退曲綫<sup>1)</sup>。

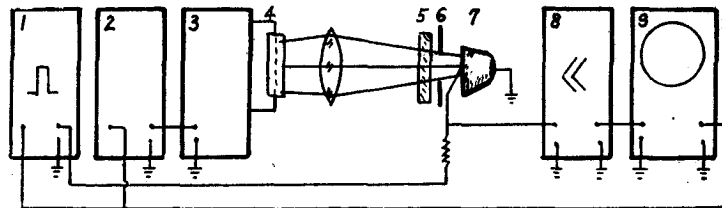


图 1 測試綫路方框图。

1. 脉冲发生器 2. 分頻器 3. 脉冲光源 4. 氙气灯 5. 滤光片  
6. 光閘 7. 样品 8. 削波放大器 9. 示波器

样品的形状是錠状,为滿足半无限大的条件,要求其半径和高度大于扩散长度的 10 倍。这样才能准确測出体寿命,不滿足这个条件时只能得到包含表面效应在内的有效寿命。

为保証电場是球对称的分布,样品的底电极要做得足够大,底电极的接触要求为很好的欧姆接触,否則对測量結果有較大的影响。在測量中,我們对硅选用电鍍鍺的电极,对鍺选用电鍍錫的电极,都能获得滿意的結果。触針是用 0.5 毫米直径的鎢絲做成,触針的接触半径  $r_0$  要尽量小,以滿足  $r_0 \ll l_d$  的条件,这一条件的选择是便于和(3)式的情况相比较。

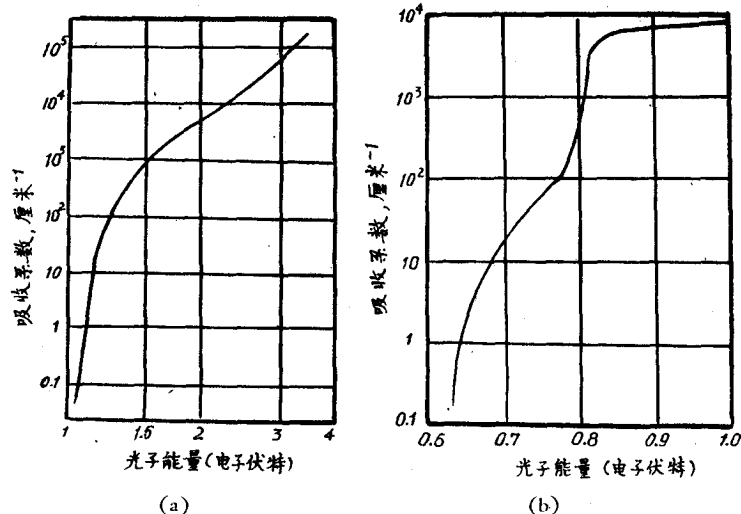
1) 这一点亦是本方法的一个优点,由于电場的大小沒有限制,因而測量的信号要比条状样品中的光电导衰退的信号大得多。

激发光源是用氙气灯高压放电,其光强的光谱分布经过测定与前人所测出的分布相符合,其具体分布见表1<sup>[4]</sup>。锗和硅对各种波长的吸收系数 $k$ 见图2<sup>[5]</sup>。 $1/k$ 表征这种波长的光能入射到半导体内的贯穿深度。贯穿深度愈深的光所产生的非平衡载流子在半导体内的分布愈均匀。从图表中看出,氙气放电中有相当多成分的光能贯穿到硅的体内。

表1 氙气灯放电的光谱成分<sup>1)</sup>

(a) 波长短于 10000 埃的成分		(b) 波长长于 10000 埃的成分	
波长 $\lambda$ (埃)	相对强度	波长 $\lambda$ (埃)	相对强度
8231	5000	10838	1000
8280	5000	10920	200
8346	2000	11100	250
8409	2000	11750	50
8819	5000		
9790	2000		
9923	2000		

1) 表中(a)与(b)的相对强度不是取同一单位。

图2 硅(a)和锗(b)中的吸收<sup>[5]</sup>

光源通过透镜聚焦于样品上,在进入样品之前,根据我们的需要可以经过或不经过硅(或锗)的滤光片。在样品光照区的光强要尽可能的均匀,样品前的光阑做成圆形,其直径至少大于触针接触半径的50倍。因为光照面与未照面边界上存在光生少数载流子的陡度,因而要引起它们的扩散,只有当这个边界离触针相当远时(约 $50r_0$ ),边界面上载流子的扩散对分布电阻的影响才可以忽略不计。

光强的大小影响到少数载流子的注入水平,这对于测量结果的正确性有很大的影响。一方面,少数载流子的寿命随注入水平的大小会有变化,我们所要求的是小注入下的寿命。另一方面,注入过大就会破坏电场分布的球对称性。此外这样还会使电压的衰退与载流子浓度的衰退有一定的差别。因此,正常的测量是选择在光照后样品上的电压降变化 $\Delta V_0$ 只有无光照时样品上电压降 $V_0$ 值的2%以内(即 $\frac{\Delta V_0}{V_0} \leq 2\% \ll 1$ )。

測量是用恆流脉冲进行的，与样品串联的恆流电阻  $R$  要比样品的分布电阻变化值大得多， $\frac{\Delta V_0}{V_0}$  愈小时，恆流电阻的值亦可以取得低些。在我們的測量中，均保證  $\frac{\Delta V_0}{V_0} \leq 2\%$ ，因而选用恆流电阻  $R$  的值不小于样品的分布电阻的五倍，即  $R \geq 5R_0$ ， $R_0$  为样品的分布电阻。

方框图 1 中的脉冲发生器能供給出二个脉冲，一为矩形測量脉冲，其电压可在 0 至 50 伏之間变化。另一为控制灯放电的触发脉冲。測量脉冲相对于触发脉冲有一个可变延迟，延迟的时间可在 0 至 2000 微秒之間变化。触发脉冲通过一分頻器之后再触发光源，这样使氙气灯放电的重复頻率比脉冲发生器的頻率低一倍。这样每当样品中流过二次脉冲电流时，氙气灯放电一次，示波器是受脉冲发生器触发的，因而其扫描重复頻率与脉冲发生器的重复頻率相同，而比氙气灯放电的重复頻率高一倍。这样示波器的屏上将有二条曲綫显示出来，一条对应于光照后分布电阻的瞬变，另一条对应于无光照时的分布电阻的瞬变。在每一延迟时间  $t$  測量二条曲綫的幅度之差，就得到光照与无光照时的电阻之差。

脉冲电压的极性要使得触針相对于样品來說加在通流方向，这样触針下面的电阻主要是分布电阻，虽然在測量脉冲初加上的瞬間，触針下会注入一些少数載流子，但是因为光照与无光照时电脉冲所注入的少子基本上是一样的，所以并不引进誤差。相反，如果脉冲电压的极性使触針相对于样品加在反方向，那么虽然亦有信号，但此信号在很大程度上受到触針与样品間阻挡层所引起的接触电阻的影响，不能代表真正載流子浓度的衰退。

样品上电压降的改变只是整个电压降的很小的一部分，为了要能在示波器上显示出来，在放大之前先要經過削波器。測量电阻率不同的样品时，对削波器的內阻和噪音的要求是不相同的。測量低阻样品时，信号較小，要求削波比大、噪音低的削波器，測量高阻样品时，信号較大，但要求削波器的輸入阻抗高。为了能在較广范围内測量，我們采用了二种削波器，一种为測低阻用的二极管削波器，內阻为 5 千欧姆，最低可讀信号为 0.5 毫伏。另一种为适合高阻样品測量用的三极管削波器，內阻为 1 兆欧姆，最低可讀信号为 2 毫伏。

### 三、測量結果及討論

实验中我們选用了四种測量条件，对硅和鍺的典型結果列于图 3 至图 9。衰退曲綫的典型形式列于表 2，現分別各种情况說明如下：

(1) 激发光先通过与样品同样的半导体制成的滤光片后再照入样品（測量鍺时用鍺滤光片，測硅时用硅滤光片）。样品表面用 CP4 腐蝕剂腐蝕。

实验的衰退曲綫很好地符合指数規律（見图 3 图 7 中曲綫 (1)）。在  $\log \Delta V \sim t$  图中得到很好的直綫，从  $\frac{d \log \Delta V}{dt} = -\frac{1}{\tau}$  关系求出的衰退时间  $\tau$  的数值与样品的体寿命的值相符合。

这种实验条件是比較接近于  $k \neq 0$ ， $s = 0$  的第一种理論分析情况，应该預期衰退曲綫是由許多  $k = 0$  的波长的貫穿光迭加的结果，应具有 (1) 式的曲綫的形式，实验証实了

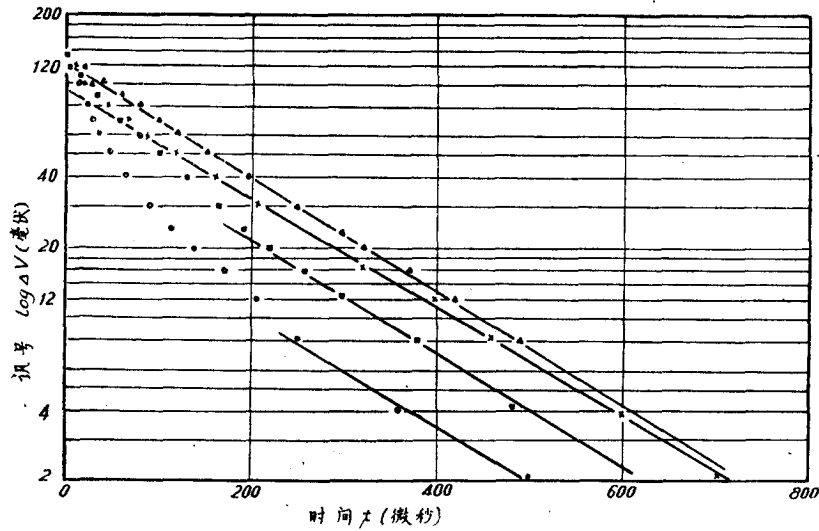


图3 硅中触针下分布电阻的光电导衰退曲线 ( $p$ 型硅, 5600 欧姆-厘米)  
 (1) -×-×-×- CP4 腐蚀, 贯穿光激发,  $\tau = 200$  微秒。  
 (2) -○-○-○- CP4 腐蚀, 白光激发。  
 (3) -△-△-△- M5 金钢砂磨, 贯穿光激发。  
 (4) -□-□-□- M5 金钢砂磨, 白光激发。

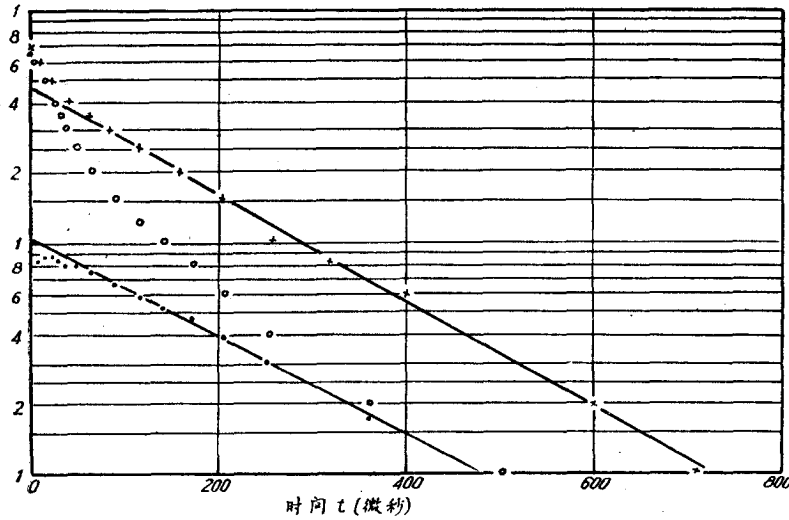


图4 当表面用 CP-4 腐蚀, 白光激发下, 按  $\Delta V = \Delta V_0 t^{-1/2} e^{-t/\tau}$  关系作图时, 可以从直线的斜率中求出体寿命。与用贯穿光激发所得的结果一致。  
 ( $p$ 型硅, 5600 欧姆-厘米)  
 (1) -×-×-×- CP4 腐蚀, 贯穿光激发  $\log \Delta V \sim t$  图,  $\tau = 200$  微秒。  
 (2) -○-○-○- CP4 腐蚀, 白光激发,  $\log \Delta V \sim t$  图。  
 (2)' -...-...- CP4 腐蚀, 白光激发,  $\log t^{1/2} \Delta V \sim t$  图,  $\tau = 208$  微秒。

这一点。

(2) 激发光用氙气灯放电的白光, 样品表面用 CP4 腐蚀, 这时实验得到的  $\log \Delta V \sim t$  曲线严重地偏离了直线(图3, 图7中曲线(2)), 而是斜率随  $t$  一直在变化的一条曲线。

但假若作  $\log t^{1/2}\Delta V \sim t$  图时，则在很短的  $t$  之后，图形与直线完美的符合，直线斜率与第一种情况下的斜率十分接近（见图 4）。这表明在这种情况下，应以  $\Delta V = \Delta V_0 t^{-1/2} e^{-t/\tau}$  的关系来描述衰退规律。这种关系对  $p$  型和  $n$  型的锗硅样品都是存在的，典型的結果见图 6 和图 8。

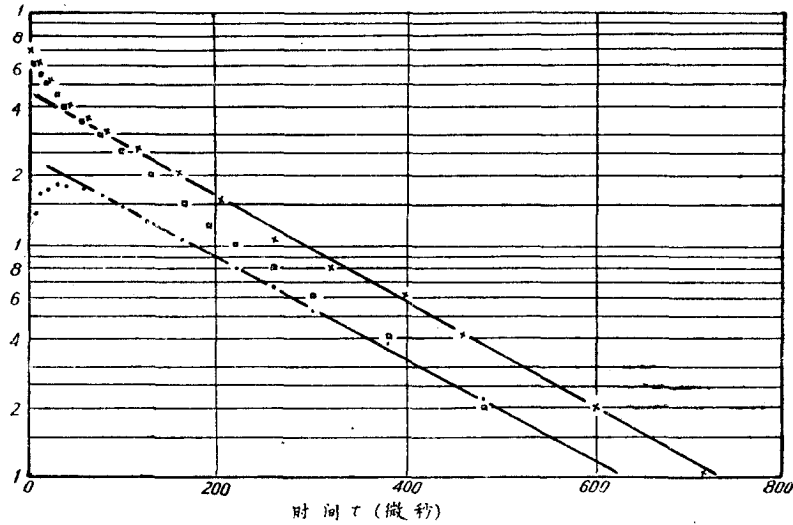


图 5 当表面用金鋼砂磨，白光激发时，按  $\Delta V = \Delta V_0 t^{-1/2} e^{-t/\tau}$  关系作图，可以从直线的斜率中求出体寿命。其数值与用贯穿光激发所得的结果一致（ $p$  型硅，5600 欧姆-厘米）。

- (1) -x-x-x-x- CP4 腐蝕，贯穿光激发， $\log \Delta V \sim t$  图， $\tau = 200$  微秒。
- (4) -□-□-□- M5 金鋼砂磨，白光激发， $\log \Delta V \sim t$  图。
- (4') -...-...- M5 金鋼砂磨，白光激发， $\log t^{1/2}\Delta V \sim t$  图， $\tau = 200$  微秒。

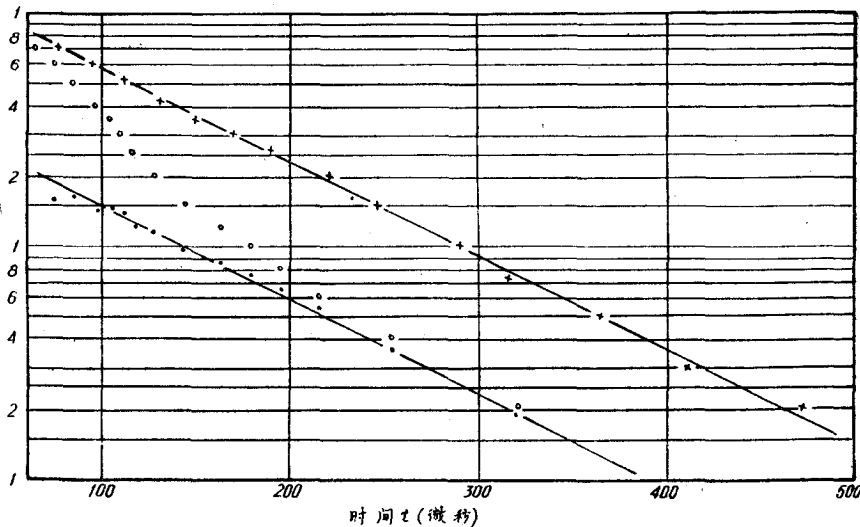


图 6 同图 4 ( $n$  型硅，19 欧姆-厘米)。

- (1) -x-x-x-x- CP4 腐蝕，贯穿光激发， $\log \Delta V \sim t$  图， $\tau = 110$  微秒。
- (2) -○-○-○- CP4 腐蝕，白光激发， $\log \Delta V \sim t$  图。
- (2') -...-...- CP4 腐蝕，白光激发， $\log t^{1/2}\Delta V \sim t$  图， $\tau = 107$  微秒。

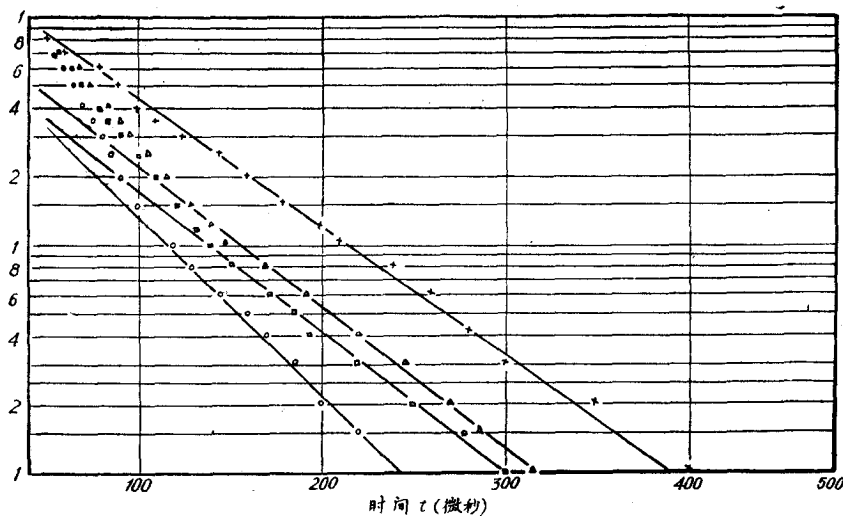


图7 锗中触针下分布电阻的光电导衰退曲线, ( $p$ 型锗 10 欧姆-厘米)

- (1) -x-x-x-x- CP4 腐蚀, 贯穿光激发,  $\tau = 78$  微秒.
- (2) -o-o-o-o- CP4 腐蚀, 白光激发.
- (3) -Δ-Δ-Δ- M5 金钢砂磨, 贯穿光激发.
- (4) -□-□-□- M5 金钢砂磨, 白光激发.

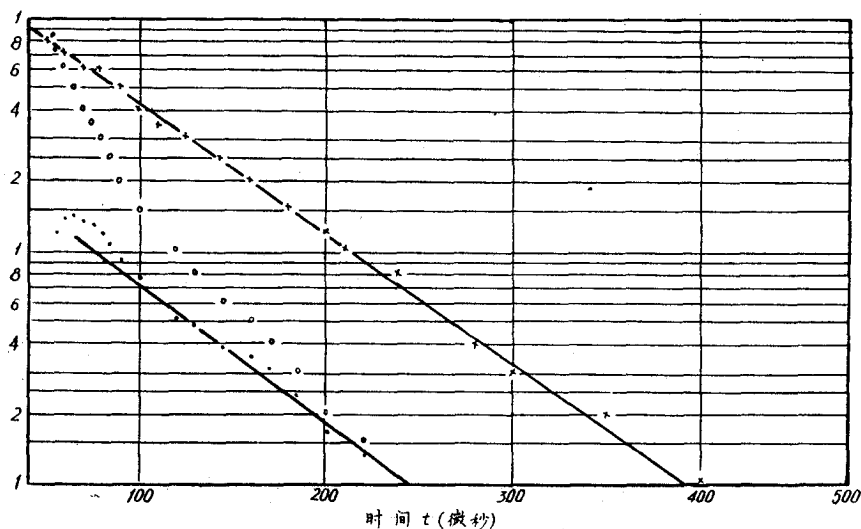


图8 同图4( $p$ 型锗, 10 欧姆-厘米)

- (1) -x-x-x-x- CP4 腐蚀, 贯穿光激发,  $\log \Delta V \sim t$  图,  $\tau = 78$  微秒.
- (2) -o-o-o-o- CP4 腐蚀, 白光激发,  $\log \Delta V \sim t$  图.
- (2') -...-...- CP4 腐蚀, 白光激发,  $\log t^{1/2} \Delta V \sim t$  图,  $\tau = 70$  微秒.

这种情况可近似地认为  $s = 0$ , 但激发光的成分是比较复杂的, 既有  $k = 0$  的贯穿光, 又有  $k \gg 1/l_d$  的非贯穿光, 还有  $k \approx 1/l_d$  的光谱成分. 虽然理论中对  $k$  处于中间值 ( $k \approx 1/l_d$ ) 的情况没有分析, 但是可以断定, 他们对样品分布电阻变化的贡献是介于  $k = 0$  和  $k \gg 1/l_d$  二种极端情况之间, 不会有很大的突变, 因而可以归纳在(1)、(2)二式表示的二种衰退形式之内. 所以总电阻的改变可以看成是(1)、(2)两式的迭加. 但从(1)、(2)



二式可以看出:一个  $k = 0$  的光子对电阻变化的贡献正比于  $k$ , 而一个  $k \gg 1/l_d$  的光子的贡献与  $k$  值无关. 两者相比,  $k = 0$  的光子对  $\Delta R_0$  的贡献要小得多. 同时从氙气灯的光谱分布中知道, 光源中所包含的  $k \gg 1/l_d$  的光子的总数要比  $k = 0$  的贯穿光光子的总数多. 所以  $k \gg 1/l_d$  的非贯穿光对信号的贡献要占主要优势.  $\Delta V$  随时间衰减的规律将主要地服从 (2) 式的形式, 即  $\Delta V = \Delta V_0 t^{-1/2} e^{-t/\tau}$ . 实验结果证实了这一点.

(3) 激发光通过与样品相同的滤光片后再照射到样品, 样品的表面用金钢砂磨.

这时实验得到的  $\log \Delta V \sim t$  曲线和直线关系有一定偏离 (图 3 和图 7 中曲线 (3)). 在  $t$  相当大之后, 斜率接近于不变的值. 但是由斜率的倒数求出的衰退常数比样品的体寿命要低. 如果作  $\log t^{1/2} \Delta V \sim t$  的曲线, 则在很小的  $t$  之后就得到直线关系, 其斜率与第一种情况下的斜率符合. 这种直线关系在  $p$  型和  $n$  型的锗和硅的测量数据中都是存在的, 典型的结果示于图 9.

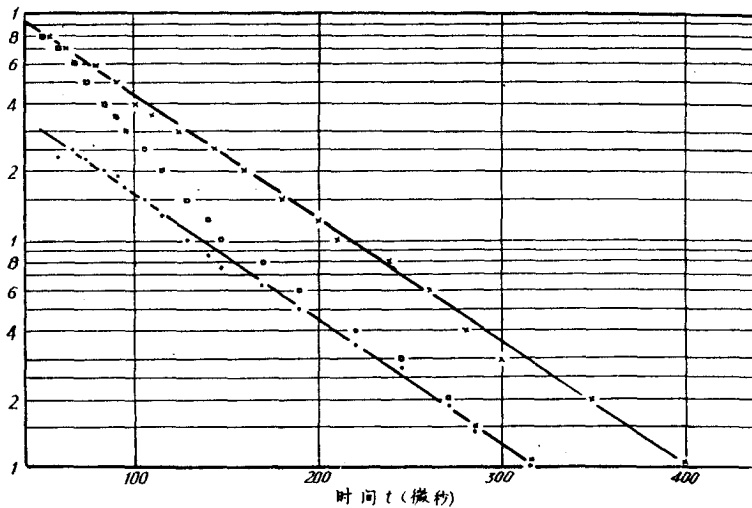


图 9 表面用 M5 金钢砂磨, 贯穿光激发, 按  $\Delta V = \Delta V_0 t^{-1/2} e^{-t/\tau}$  关系作图, 可以从直线的斜率中求出体寿命, ( $p$  型锗, 10 欧姆-厘米)

- (1) -x-x-x- CP4 腐蚀, 贯穿光激发,  $\log \Delta V \sim t$  图,  $\tau = 78$  微秒.
- (4) -□-□-□- M5 金钢砂磨, 贯穿光激发,  $\log \Delta V \sim t$  图.
- (4') -△-△-△- M5 金钢砂磨, 贯穿光激发,  $\log t^{1/2} \Delta V \sim t$  图,  $\tau = 80$  微秒.

这种实验条件接近于  $k = 0, s \gg D/l_d$  的第三种情况, 因而衰退规律应该属于 (3) 式所规定的形式, 实验证实了这一点. 这种测量条件下表面只需用 M5 号金钢砂磨, 处理比较简单.

(4) 用氙气灯放电的白光直接激发, 用 M5 号金钢砂磨表面.

实验得到的  $\log \Delta V \sim t$  曲线与直线关系有一定偏离, 而与第 (3) 种情况接近, 约在  $t > 2\tau$  之后斜率才接近于不变的值, 但由斜率的倒数求出的衰退常数亦比样品的体寿命低. 但如果作  $\log t^{1/2} \Delta V \sim t$  的图, 则在很小的延迟时间  $t$  之后就能得到很好的直线关系, 其斜率与第一种情况下求出的斜率很好地符合. 这种结果在  $p$  型和  $n$  型的锗和硅中都能观察到, 典型的曲线如图 5 所示.

这种实验条件属于  $s \gg D/l_d$  的情况, 而光谱中包含  $k = 0, k \gg 1/l_d$  和  $k \approx 1/l_d$  的

三种成分,其衰退规律应属于(3)(4)两式迭加的形式,但是从(4)式中可以看出,  $k \gg 1/l_d$  的光子的贡献是正比于  $1/s^2$ ,  $s$  愈大时,这种光子对  $\Delta R_0$  的贡献就愈小. 因而在各种成分的光谱迭加起来的情况下,总的衰退是与(3)式所规定的形式相符合. 这正是我们实验上所观察到的情况.

表 2 中总结了四种不同成分的激发光及表面处理情况下,触针下分布电阻的变化衰退的形式. 表 3 中则列出了在这四种不同情况下按照上述分析处理数据后所求出的体寿命. 从表 3 中看出,四种条件下所求得的体寿命彼此满意地符合<sup>1)</sup>. 将这种方法所求得的

表 2 四种不同激发光及表面处理情况下的分布电阻改变  $\Delta R$  的衰退曲线

表面情况	激发光成分	衰 退 情 况
1. CP4 腐蚀	通过与样品同样材料的滤光片	随时间的衰退遵从 $e^{-t/\tau}$ 的指数规律. 由 $\log \Delta V \sim t$ 曲线的斜率可求出体寿命
2. CP4 腐蚀	氙气灯放电的白光	随时间的衰退与 $e^{-t/\tau}$ 的关系偏离严重,作 $\log t^{1/2} \Delta V \sim t$ 图得到很好的直线关系,由直线斜率可求出体寿命
3. M-5 号金钢砂磨	通过与样品同样材料的滤光片	随时间的衰退与 $e^{-t/\tau}$ 的关系有一定偏离,作 $\log t^{1/2} \Delta V \sim t$ 图时得到很好的直线关系,由直线斜率可求出体寿命
4. M-5 号金钢砂磨	氙气灯放电的白光	同第(3)种情况

表 3 四种不同激发光及表面处理情况下按本方法求出的体寿命值的比较

表面情况	光谱成分	求 出 的 体 寿 命 值 (微 秒)			
		p-Si(5600 欧姆-厘米)	n-Si(19 欧姆-厘米)	p-Ge(10 欧姆-厘米)	n-Ge(44 欧姆-厘米)
CP4 腐蚀	通过滤光片	200	110	78	280
CP4 腐蚀	氙气灯放电白光	208	107	70	280
M5 号金钢砂磨过	通过滤光片	200	112	80	300
M5 号金钢砂磨过	氙气灯放电白光	200	112	80	300
用条状样品光电导衰退方法求出的体寿命		200	110	70	270

体寿命与条状样品的光电导衰退方法所测得的体寿命相比较时,亦能很好地符合. 以上都说明了:上述四种条件下只要对衰退曲线作出正确的分析,都能够求出体寿命.

#### 四、结 语

我们在实验上测定了不同激发光和表面处理条件下触针下分布电阻的光电导衰退曲线,并肯定了由这些曲线求体寿命的分析方法:

(1) 贯穿光激发表面腐蚀时,按  $\Delta V = \Delta V_0 e^{-t/\tau}$  处理衰退曲线,由  $\log \Delta V \sim t$  曲线的斜率求出体寿命  $\tau$ .

1) 为精确起见,在求体寿命时,我们取信号  $\Delta V$  衰退到其最大值  $\Delta V_0$  的 25% 之后的  $\log t^{1/2} \Delta V \sim t$  曲线的斜率,此时的延迟时间约相当于  $t > 1.5\tau$  之后,我们认为光激发停止后的延迟时间愈长时,表面和扩散的影响都会减少,求得的  $\tau$  值更可靠.

(2) 用白光激发、表面腐蚀时,按  $\Delta V = \Delta V_0 t^{-1/2} e^{-t/\tau}$  处理衰退曲线,由  $\log t^{1/2} \Delta V \sim t$  曲线的斜率求出体寿命  $\tau$ 。

(3) 用贯穿光激发、表面磨过时,按  $\Delta V = \Delta V_0 t^{-1/3} e^{-t/\tau}$  处理衰退曲线,由  $\log t^{1/3} \Delta V \sim t$  曲线的斜率求出体寿命  $\tau$ 。

(4) 用白光激发、表面磨过时,按  $\Delta V = \Delta V_0 t^{-1/3} e^{-t/\tau}$  处理衰退曲线,  $\log t^{1/3} \Delta V \sim t$  曲线的斜率求出体寿命  $\tau$ 。

在以上四种情况中,在第(1)种情况时非平衡载流子分布最均匀。第(2)种情况分布尚称均匀,偏离指数还不严重,第(3)种情况下测量的特点是表面处理简单而表面复合速度稳定。

以上的研究提供了一种设备简单表面处理要求不高而能在锭上样品上测量出各局部点的少数载流子寿命的实验方法,方法的误差较小。

我们感谢王守武先生的指导和周汝生同志的帮助。

### 参 考 文 献

- [1] 王守武,物理学报, **19**(1963), 176.
- [2] Stevenson, D. T., Keyes, R. T., *J. Appl. Phys.*, **26** (1955), 190.
- [3] Иглицын, М. И. Концевой Ю. А. и др., *Ж.Т.Ф.*, **27** (1957), 1414, 1425.
- [4] Handbook of Chemistry and Physics 37th Edition V.II.
- [5] Dash, W. C. Newman. R., *Phys. Rev.*, **99** (1955), 1151.

## MEASUREMENT OF MINORITY CARRIER LIFETIME IN Ge AND Si BY THE SPREADING-RESISTANCE- PHOTO-DECAY METHOD

ZHUANG WEI-HWA PAN GUI-SHENG

### ABSTRACT

The photo-conductive decay of the spreading resistance of Ge and Si is investigated. The influence of the surface recombination velocity and the depth of absorption of the exciting light on the shape of the decay curve are studied in detail. The decay curves obtained are consistent with those predicted by the theory. The conditions required for accurate measurement of bulk lifetime are also discussed.