

测量半导体中少子漂移迁移率和扩散长度的新方法

李言谨 方家熊

(中国科学院上海技术物理研究所 上海 200083)

摘要 根据少子衰退的加速度分布, 提出了一种测量半导体中少子漂移迁移率的新方法. 实测了窄禁带半导体碲镉汞的少子迁移率和扩散长度.

PACC: 0560, 7240

1 引言

测量半导体中少子迁移率一般采用漂移实验(海恩斯-肖克莱实验)^[1]. 作者曾在文献[2]中提出可以根据线性光电导衰退现象来测量半导体中少子迁移率. 在一个具有两个端电极的半导体样品中, 用脉冲光源均匀地向半导体中注入少子脉冲, 观测光电导的衰退过程. 在一定的条件下, 光电导的衰退过程会成为近似线性过程, 利用这一过程, 就会得到少子的漂移迁移率.

本文对线性型衰退过程进一步深入研究, 结果表明经过适当的数据处理, 扣除体内复合, 衰退过程对时间的二阶导数与时间的关系近似为正态分布. 其峰值时间对应漂移时间, 半峰宽与扩散长度有关. 这样就可以从比较简单的光电导衰退实验, 获得精确的少子迁移率和扩散长度. 本文说明了这种方法的原理, 并实测了窄禁带半导体碲镉汞的少子迁移率和扩散长度.

2 理论

在不考虑扩散时, 少子衰退过程为^[2]:

$$\begin{aligned} \Delta p(t) &= \Delta p_0 \left(1 - \frac{t}{t_0} \right) e^{-t/\tau} & 0 < t < t_0 \\ \Delta p(t) &= 0 & t > t_0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中 $t_0 = L / (\mu_a E)$ 为少子从样品一端漂移至另一端的渡越时间; L 为样品长度; E 为偏置电场强度; μ_a 为漂移迁移率; τ 为过剩载流子寿命. 在(1)式两端乘以 $e^{t/\tau}$, 再对 t 求二阶导数, 得:

$$d^2(p(t)\exp(t/\tau))/dt^2 = \delta(t - t_0) \tag{2}$$

$d^2(p(t)\exp(t/\tau))/dt^2$ 代表了不考虑体内复合时少子衰退的加速度 (2) 式的物理意义是, 当 $t < t_0$ 时, 少子匀速扫出, 即线性衰退 当 $t = t_0$ 时, 少子被迅速扫出, 衰退速度突然增加, 加速度无穷大 当 $t > t_0$ 时, 少子被扫清, 衰退速度自然为零

考虑到少子扩散时, 采用数值计算求解少子连续性方程

$$\frac{\partial \Delta p}{\partial t} = -\frac{\Delta p}{\tau} + D \frac{\partial^2 \Delta p}{\partial x^2} - \mu_a E \frac{\partial \Delta p}{\partial x} \tag{3}$$

满足边界条件: $\Delta p(0) = \Delta p(L) = 0$ D 为少子扩散系数 图 1 是由方程(2) 计算得到的少子衰退过程 图 2 是采用式(2) 的数据处理办法, 得到少子衰退加速度随时间的分布 $L_D/L = 1/10, L_E/L$ 分别为 3/1、2/1 和 3/2, L_D 和 L_E 分别为少子扩散长度和漂移长度 计算结果表明, 少子衰退的加速度与时间的关系近似为正态分布 其峰值位置为少子渡越时间:

$$t_0 = L / (\mu_a E) \tag{4}$$

半峰宽为:

$$w = 2L_D / (\mu_a E) \tag{5}$$

测得 t_0 和 w , 根据式(4) 和(5), 即可求得漂移迁移率 μ_a 和扩散长度 L_D .

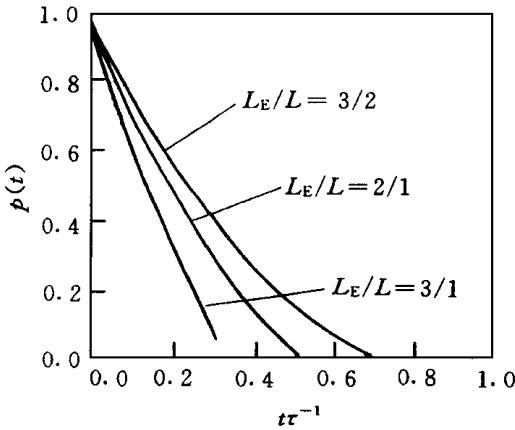


图 1 不同电场下计算得到的少子衰退过程

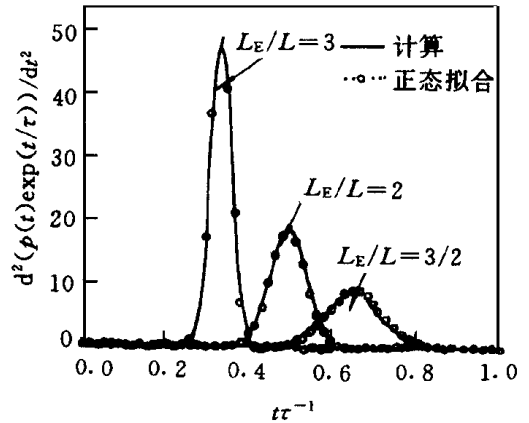


图 2 不同电场下少子衰退加速度随时间的分布

3 实验

采用组分为 $x = 0.25$ 区熔法生长的 n-型窄禁带半导体材料碲镉汞制备样品, 样品长度和宽度均为 $340\mu\text{m}$, 经减薄厚度约 $10\mu\text{m}$. 两端制作欧姆接触电极 样品置于低温杜瓦瓶中, 测量时用液氮制冷 用 GaAs 半导体脉冲激光器来激发少数载流子, 脉冲宽度为 50ns 输出信号用 TDS520 数字示波器记录, 通过 IEEE488 接口由计算机采集光电导响应衰退数据, 然后进行数据处理和分析

先测量小电场下的光电导衰退过程以获得体寿命 τ , 然后增加电场至出现线性衰退过程 图 3 是在 $E = 88\text{V/cm}$ 时的光电导衰退过程 采用式(2) 的处理方法, 得到图 4 由图 4 得到 $t_0 = 1.3\mu\text{s}, w = 0.45\mu\text{s}$ 根据式(4) 和(5), 求得 $x = 0.25$ 的 n-型碲镉汞材料在液氮温度下的漂移迁移率 μ_a 和扩散长度 L_D 分别为 $297\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 和 $58\mu\text{m}$.

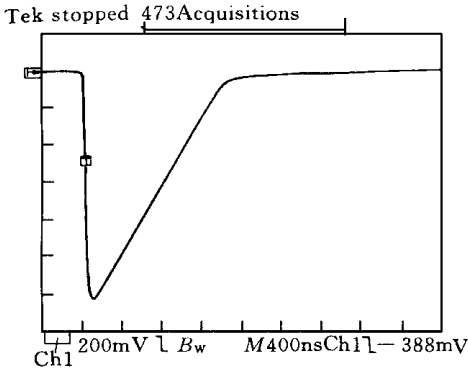


图3 碲镉汞光电导样品的衰退过程图

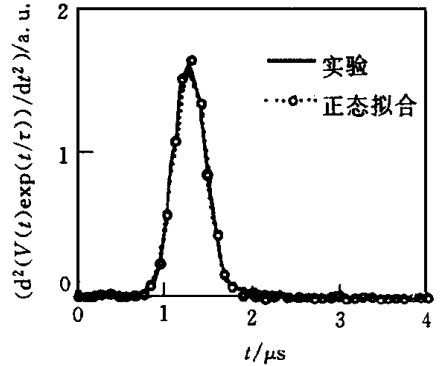


图4 光电导衰退加速度正态拟合

4 讨论

本文采用光电导衰退实验获得了和漂移实验同样的效果,而在实验上却要简单得多。样品只需制备两个电极,脉冲激发光源均匀入射,省却了小光点聚焦系统和复杂的机械定位装置。随着数字技术的发展,数据处理变得非常简单。测试精度也得到了提高,这是因为本文实验样品长度可以由光刻精度控制,而在漂移实验中,读出区宽度、小光点大小和位置均影响漂移距离的计算。

究其两种实验的本质,漂移实验由于采用了读出电极和小光点,在物理上取了两次小量,也可理解为作了两次微商。本文所提出的方法,却是在数学上求了两次微商。两种实验方法有异曲同工的效果。

综上所述,本文提出的方法可以认为是一种测量半导体中少子漂移迁移率和扩散长度的新方法。

参 考 文 献

- [1] 叶良修, 半导体物理学, 上册, 北京: 高等教育出版社, 第五章
 [2] 李言谨, 等, 红外与毫米波学报, 1992, 11(4): 271~ 276

New Method of Determining Excess Carrier Bipolar Mobility

Li Yanjin, Fang Jiaxiong

(Shanghai Institute of Technical Physics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083)

Received 12 June 1998, revised manuscript received 2 October 1998

Abstract A new method of determining the excess carrier bipolar mobility is described. The distribution of the acceleration of excess carrier decay with time is main characteristics. According the peak position and semi-peak width of the characteristic curve, the excess carrier mobility and diffusion length can be obtained. The excess carrier mobility and diffusion length of HgCdTe is determined by this method.

PACC: 0560, 7240