

# 光电化学法测量 N 型半导体材料扩散长度

邵永富 陈自姚

(中国科学院上海冶金研究所)

1985年5月23日收到

本文提出的拟合法是以光响应作为  $\alpha W$  和  $\alpha L_p$  的函数, 在知道  $\alpha$  的情况下, 拟合曲线求得  $L_p$  值。结合外推法, 反过来校正  $\alpha$  值, 似可以补充外推法的不足和得出较正确的  $L_p$  值。我们分别采用拟合和外推两种方法测定扩散长度  $L_p$ , 已测得的各种半导体材料扩散长度分别为 GaP ( $N_D = 3.9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ )  $L_p = 0.036 \mu\text{m}$ , GaAs ( $N_D = 7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )  $L_p = 0.8 \mu\text{m}$ , GaAlAs ( $N_D = 8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ )  $L_p = 0.1 \mu\text{m}$ 。

## 一、引言

少数载流子扩散长度是半导体材料的基本参数, 对于亚微米和微米范围的  $L_p$ , 测量方法已有许多报道, 如 EBIC, SPV 和光电化学等方法, 其中 SC/EL 结光电化学方法, 具有不破坏样品, 不需制备测试样品和装置简单等优点而受到重视。文献[1]提出由  $I_p-W$  曲线外推求得 III-V 族半导体材料  $L_p$  的方法, 虽有不需知道材料参数的优点, 但这种方法在  $L_p$  远大于  $W$  的样品中, 有一定的局限性。

本文提出的拟合法是以光响应作为  $\alpha W$  和  $\alpha L_p$  的函数, 在知道  $\alpha$  的情况下, 拟合曲线求得  $L_p$  值, 可补充外推法的不足和得出较为正确的  $L_p$  值。

## 二、实验方法

如果把 SC/EL 界面处理为 Schottky 势垒, 并认为: (1) 空间电荷区内的量子效率为 1, (2) 能带弯曲大于 1V, (3) 光电流完全由少数载流子贡献。在这样的条件下, 光电流可由下式给出:

$$I_p = qF[1 - e^{-\alpha\omega}/(1 + \alpha L_p)]. \quad (1)$$

式中  $\alpha$  是吸收系数,  $F$  是入射光子流,  $W$  是 SC/EL 结势垒宽度,  $L_p$  是少子扩散长度。如果使方程(1)中  $\alpha W \ll 1$  得到满足, 即电流方程可由下式表示:

$$I_p = [qF\alpha/(1 + \alpha L_p)](W + L_p). \quad (2)$$

我们直接以光电流作为反偏压的函数, 外推  $I_p-W$  曲线到电流为零的截距求得  $L_p$  值。

如果将(1)式以零伏时的光电流进行归一化处理, 即

$$I_{\text{norm}} = \frac{I_p}{I_{p_0}} = \frac{1 + \alpha L_p - \exp(-\alpha\omega)}{1 + \alpha L_p - \exp(-\alpha\omega_0)}. \quad (3)$$

由(3)式可知,  $I_{\text{norm}}$  电流与吸收系数  $\alpha$ , 扩散长度  $L_p$  和势垒宽度  $W$  有关。因而扩散长度可由液结的光响应作为  $\alpha W$  和  $\alpha L_p$  的函数和拟合曲线求得。式中  $W$  值由电化学  $C-V$  法测得<sup>[2]</sup>。

本文中测试样品为液相外延生长的N型 GaAs, Gap 和 GaAlAs, 外延层厚度分别为 40, 6 和 50  $\mu\text{m}$ , 样品表面光亮, 电解液与半导体接触面积为  $0.031\text{cm}^2$ , 光源由 150W 卤钨灯经光栅单色仪分光, 频率为 12.5Hz 的调制单色光直接照射到 SC/EL 界面, 扩散长度的测试装置见文献[3]。

### 三、结果和讨论

图 1 给出的是 N-GaAs 半导体电极  $I-V$  和  $C^{-2}-V$  特性, 图中给出的平带电势  $V_{fb}$  为 1.6V (相对于 S.E.C 给出) 在 Gap 和 GaAlAs 中求得的  $V_{fb}$  分别为 1.2V 和 1.7V。

由于照射到 SC/EL 界面的单色光很微弱, 因此在光照和暗场下给出的  $V_{fb}$  是相同的。从图中不同波长下测得的  $I_p-V$  曲线可知, 光电流正比于入射光子流  $F$ , 由于测试波长选择在接近带边附近, 因此在测量时, 要求照射在 SC/EL 界面的单色光带通不宜过宽。

图 2 为 GaP 和 GaAlAs, GaAs 近带边部份的光电流谱, 图中圆点是测量时所选用的波长。由拟合和外推法在各种波长下测得的扩散长度结果如表 1 所示; 从表中可以看出, GaP 和 GaAs 在不同波长下由拟合法测得的  $L_p$  值都十分一致。在 GaP 中, 外推法的  $L_p$  值比拟合法约低 25%, 导致偏差的原因。我们认为  $I_p-W$  曲线的外推截距已远离 X 轴零点位置, 即在被测样品的耗尽层宽度  $W$  远小

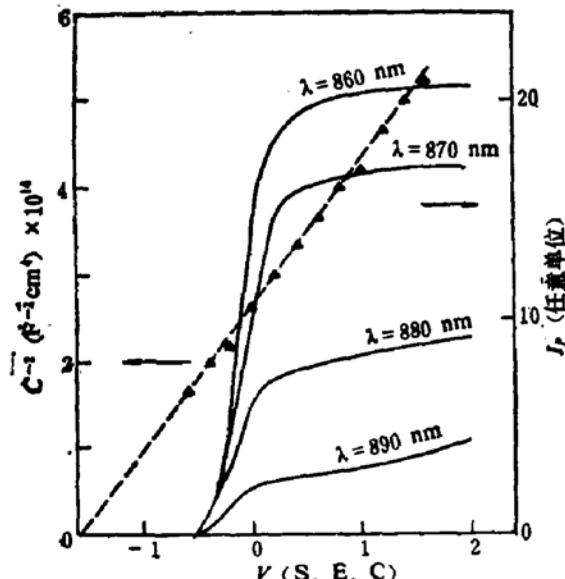


图 1 GaAs 电极的  $I-V$ ,  $C^{-2}-V$  特性  
( $CN_D = 7 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ )

我们相信  $I_p-W$  曲线的外推截距已远离 X 轴零点位置, 即在被测样品的耗尽层宽度  $W$  远小

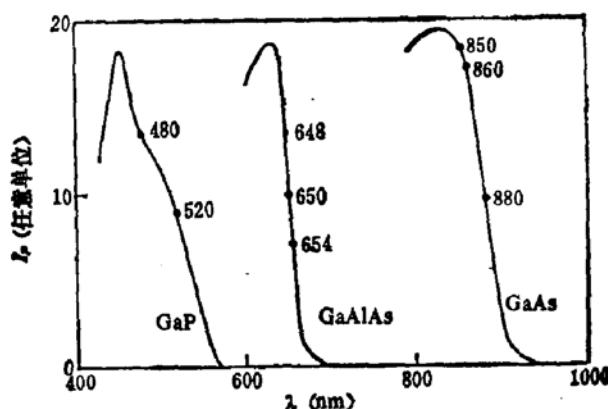


图 2 GaP, GaAlAs, GaAs 光电流谱

表1 各种半导体材料的实验条件和测量结果

材料	载流子浓度 (cm <sup>-3</sup> )	电解液	pH	平带电势 (V)	测试波长 (nm)	吸收系数 (cm <sup>-1</sup> )	耗尽层宽度 (μm)	$\alpha W$	拟合法 $L_p$ (μm)	外推法 $L_p$ (μm)
GaP	$3.2 \times 10^{19}$	HCl 0.5M	1	1.2	480	$4 \times 10^{34.1}$	$8.3 \times 10^{-3}$	$3.2 \times 10^{-3}$	0.048	0.036
					520	$4 \times 10^2$			$3.2 \times 10^{-4}$	0.036
GaAs	$7.0 \times 10^{17}$	KCl 1.0M	6	1.6	850	$8.3 \times 10^{34.5}$	0.25	0.20	0.783	0.86
					860	$6.2 \times 10^3$		0.13	0.806	
					880	$1.0 \times 10^3$ $0.95 \times 10^{34.8}$		0.025	0.80	0.79
					648	$4.7 \times 10^{34.8}$		$9.5 \times 10^{-2}$		0.10
GaAlAs	$6.0 \times 10^{16}$	KOH 2M	14	1.7	650	$3.6 \times 10^{34.8}$	0.20	$7.0 \times 10^{-2}$		0.10
					654	$2.5 \times 10^{34.8}$		$5.0 \times 10^{-2}$		0.10

\* 由计算得到的吸收系数。

于  $L_p$  时, 外推法有一定的局限性。由以上两种方法测量 GaP 样品的实验曲线分别如图 3 和图 4 所示。

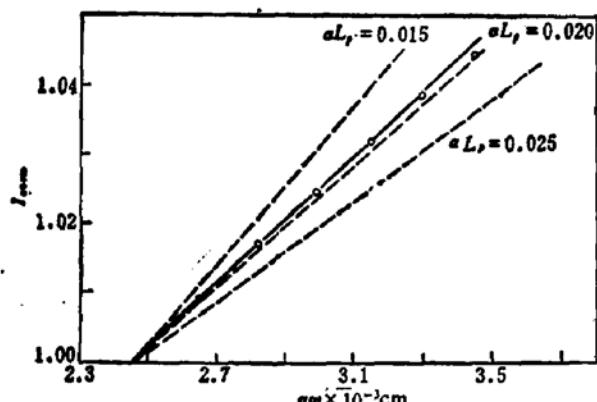


图3 拟合法归一化光电流与归一化耗尽层宽度曲线  
(GaP,  $N_D = 3.2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ,  $\lambda = 480 \text{ nm}$ ,  $\alpha = 4 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ )  
—○—○—○—实验曲线

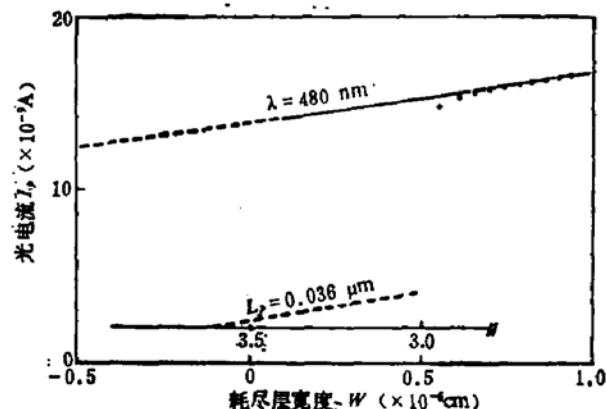


图4 光电流与耗尽层宽度曲线  
(GaP,  $N_D = 3.2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ )

在 GaAs 中, 波长在 880nm 时, 两种方法所给出的  $L_p$  值十分一致, 由外推法的  $L_p$ , 所计算得到的吸收系数为  $0.95 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ , 与拟合法的结果相符。但在 850nm 时, 外推法测得的  $L_p$  值为  $0.86 \mu\text{m}$ , 比 880nm 时的  $L_p$  值约偏大 8%, 导致偏差的原因, 主要是  $\alpha W \ll 1$  的条件已不能满足。

图 5 由外推法在三种波长下测得 GaAlAs 样品的  $L_p$  结果。三者的截距都相交在同一位置上。 $L_p$  为  $0.1 \mu\text{m}$ 。由此可见, 对于  $W$  接近  $L_p$  的材料, 外推法仍是光电化学测量扩散长度的有效方法之一。还需指出, 在 880, 654 和 520nm 时, 分别测量 GaAs, GaP 和 GaAlAs, 都没有发现  $I_p-W$  曲线呈非线性, 似表明在 SC/EL 液结的空间电荷区内, 没有发生 Frang-Keldysh 吸收。

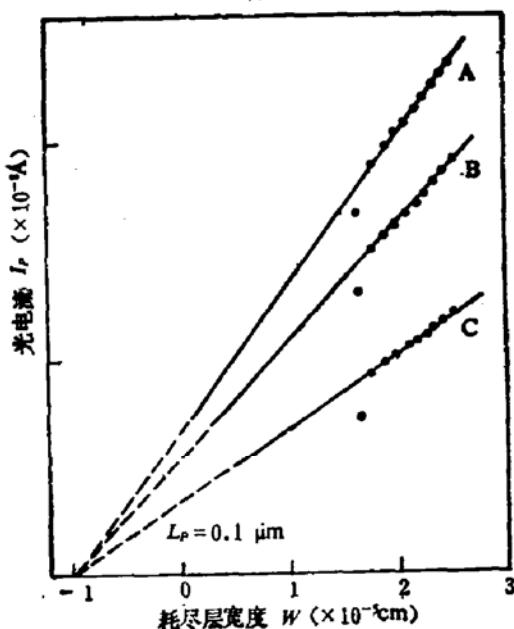


图5 光电流与耗尽层宽度曲线  
 $\text{GaAlAs } (X = 0.37) N_D = 8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$   
 A: 648nm B: 650nm C: 654nm

#### 四、结语

已经证实光电化学测量半导体材料  $L_p$ ，是一种装置简单，不需制备样品和非破坏性测量技术，本文提出的拟合法以光响应作为  $\alpha W$  和  $\alpha L_p$  的函数，拟合曲线而求得  $L_p$  值，可以补充外推法的不足和得出较为正确的  $L_p$  值。本方法已用于对其他半导体材料  $L_p$  的测量。

#### 参 考 文 献

- [1] A. Lastras-Martinez, P. M. Raccah and R. Triboulet, *Appl. Phys. Lett.*, **36**, 469(1980).
- [2] 邵永富, 陈自姚, 彭瑞伍, 半导体学报, **3**, 215(1982).
- [3] 陈自姚, 邵永富, 彭瑞伍, 半导体学报, **16**, 181(1985).
- [4] A. Etcheberry, M. Etman and B. Fotouhi, *J. Appl. Phys.*, **53**, 8867(1982).
- [5] H. C. Casey Jr., D. D. Sell and K. W. Wecht, *J. Appl. Phys.*, **46**, 250(1975).

## Minority Carrier Diffusion Length Measurement in N-Type Semiconductor by Photoelectro-Chemical Method

Shao Yongfu and Chen Ziyao

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

### Abstract

Photoelectrochemical measurements are reported on three n-type compounds semiconductors. The method basically consists of the measurement of the photo-current of SC/EL Schottky barrier as the function of applied reverse bias. Weakly absorbed light is used, so that the light penetration depth is much larger than the Schottky barrier width. The minority carrier diffusion length  $L_p$  has been obtained by means of an extrapolation method and a fitting method. Results obtained are  $L_p=0.036 \mu\text{m}$  for GaP ( $N_d=3.9\times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ),  $L_p=0.8 \mu\text{m}$  for GaAs ( $N_d=7\times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ),  $L_p=0.1 \mu\text{m}$  for GaAlAs ( $N_d=8\times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ) respectively.