

用表面光伏方法研究半绝缘 GaAs 的禁带宽度

王松柏, 张声豪

(1. 福州大学信息科学与技术学院, 福建 福州 350002; 2. 厦门大学物理系, 福建 厦门 361005)

摘要: 根据所建立的半绝缘(SI) GaAs 的禁带宽度 E_g 公式, 利用表面光伏(SPV)方法的测量结果, 计算了室温下 5 种样品的 E_g 值, 并对其中之一进行了 21 - 300 K 温度范围的 E_g 计算, 确认了 SPV 方法对研究 SI-GaAs 禁带宽度的可行性.

关键词: 半绝缘 GaAs; 禁带宽度 E_g ; 表面光伏

中图分类号: TN304.2

文献标识码: A

The energy gap E_g of semi - insulating GaAs studied by the SPV method

WANG Song - bai, ZHANG Sheng - hao

(1. College of Information Science and Technology, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. Department of Physics, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

Abstract: According to the gotten formula of the energy gaps (E_g) of the semi - insulating(SI) GaAs, and using the measured result by the surface photovoltage method, the energy gaps of five kinds of sample in 300 K are computed. In addition, the E_g of one of the samples from 21 to 300 K are computed, it is pointed out that the SPV method is a effective one for studying the energy gap of SI - GaAs.

Key words: semi - insulating GaAs; energy gap; surface photovoltage

禁带宽度 E_g 是半导体器件的一个重要特性参数, 文献[1] 已用吸收谱方法较精确地测量过 GaAs 的禁带宽度在不同温度下的值. 本工作将借助于半绝缘(SI) GaAs 的表面光伏谱及公式, 计算经不同压强热处理 SI - GaAs 单晶的禁带宽度 E_g 值.

1 原理及公式

根据文献[2], 描述未掺杂 SI - GaAs SPV 值的方程式通常是载流子的一维电流方程和其稳态连续方程. 据此, 可以推出 SI - GaAs 样品在一般情况(入射光在样品前、后表面发生多次反射和透射)的表面光伏 V_{OC} 的理论公式:

$$V_{OC} = \frac{KT(\mu_p - \mu_n)}{q(\mu_p + \mu_n)} \ln \frac{\sigma_0 + q(\mu_p + \mu_n) \left[2K_1 \left(\frac{D_a}{L_a} \operatorname{ch} \frac{t}{L_a} + S_1 \operatorname{sh} \frac{t}{L_a} \right) - \frac{K_2 D_a}{L_a} + A_1 e^{-t} + A_2 e^{-t} \right]}{\sigma_0 + q(\mu_p + \mu_n) \left[\frac{2K_1 D_a}{L_a} - 2K_2 \left(\frac{D_a}{L_a} \operatorname{ch} \frac{t}{L_a} + S_2 \operatorname{sh} \frac{t}{L_a} \right) + A_1 + A_2 \right]}$$

其中: K 是玻尔兹曼常数; T 是样品所处温度; q 是载流子电荷; μ_n 和 μ_p 分别是电子和空穴载流子迁移率; σ_0 是无光照时样品的暗电导率; L_a 、 τ_a 和 D_a 分别称为样品载流子的双极扩散长度、双极寿命和双极扩散系数; 吸收长度 $L_a = \frac{1}{\alpha}$, α 是吸收系数; t 是样品的厚度; S_1 和 S_2 分别是样品前表面和背表面的复合速度. 这里 σ_0 、 A_1 、 A_2 、 K_1 、 K_2 只和上述参数及样品对入射光反射率、入射光通量及光量子产额有关. 上式经进一步简化可得表达式:

收稿日期: 2002 - 10 - 16

作者简介: 王松柏(1964 -), 男, 硕士, 讲师.

基金项目: 福建省教育厅科研资助项目(JB01016)

$$[(V_m / V_{oc}) - 1]^{-1} = L_a \tag{1}$$

其中: V_m 为所测得表面光伏数组中的最大值; α 为该样品的吸收系数; L_a 则为该样品的双极扩散长度.

对于 GaAs, 当 $E_{g2} > h\nu_2 > E_g$ 时, 其光跃迁为竖直跃迁, 吸收系数可表示为^[3]:

$$\alpha = \frac{A}{h} (h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

其中: A 是一个与带边有效质量及带间矩阵元有关而与入射光频率 ν 无关的常数. 代(2)式入(1)式有:

$$\left[\frac{V_m}{V_{op}} - 1 \right]^{-1} = L_a \frac{(h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}}}{h} \tag{3}$$

若在给定温度下本征吸收边附近的光伏谱上选取两点, 其光频率为 ν_1 和 ν_2 (对应波长为 λ_1 和 λ_2), 相应光伏为 V_{op1} 和 V_{op2} , 则由(3)式可解得:

$$E_g \text{ (eV)} = \frac{Bh\nu_1 - h\nu_2}{B - 1} = \frac{1.24 \left[\frac{B}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right]}{B - 1} \tag{4}$$

其中: $B = \left[\left(\frac{V_m}{V_{op1}} - 1 \right) \lambda_1 \right]^2 / \left[\left(\frac{V_m}{V_{op2}} - 1 \right) \lambda_2 \right]^2$, 波长 λ 的单位取 μm . 式(4)与文献[4]对导电半导体推得的禁带宽度公式有相似形式. 这样, 从(4)式就可以利用两次测量结果 V_{op1} 、 V_{op2} 和对应波长 λ_1 和 λ_2 方便地求得 E_g .

光伏谱数据的测量采用电容耦合方法. 整套设备用溴钨灯作光源, 发出的光经透镜聚焦后, 通过斩波器形成矩形脉冲光, 照射在样品上, 产生表面光伏, 光伏信号通过电容器耦合经静电计管放大器实现阻抗变换后, 由锁定放大器测出. 为了更直观地监测光伏信号波形变化的情形, 还在信号输出端接入了双线示波器.

2 实验结果及 E_g 计算值

所用实验样品(101 - 105)参数情况详见表 1. 其中, 101 样品为无砷压热处理的原生单晶, 表中以 ‘*’ 表示, 所有样品均系无掺杂 SI- GaAs, 深施主 EL_2 缺陷浓度值是用 $1.1 \mu\text{m}$ 红外光吸收法测得^[5].

表 1 不同砷压热处理 SI- GaAs 的参数值

Tab.1 The values of the parameters of the heat - treated SI- GaAs in the different ambient of As atmosphere

样品编号	环境砷压 P_{As} /MPa	t / min	t /h	EL_2 浓度 / cm^{-3}	样品厚度 b / μm	
					腐蚀前	腐蚀后
101	*	*	*	1.69×10^{-16}	580	564
102	0.0	1 000	5	1.6×10^{-16}	560	512
103	0.13	1 000	5	3.0×10^{-16}	715	694
104	0.49	1 000	5	2.3×10^{-16}	640	578
105	0.69	1 000	5	2.2×10^{-16}	620	590

实验中, 样品经腐蚀液处理得到两组厚度(即用 H_2SO_4 : H_2O_2 : $\text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 20$ 腐蚀液将样品上下表面各腐蚀去一部分), 再进行表面光伏 SPV 的测量. 根据所获得的大量实验数据, 利用(4)式可以算得腐蚀后 5 种样品在室温(300 K)下的禁带宽度 E_g 值, 如表 2 所示.

表 2 在室温(300 K)下的禁带宽度 E_g 值

Tab.2 The values of the energy gap E_g of SI- GaAs in 300 K

样品编号	101	102	103	104	105
E_g /eV	1.393	1.410	1.412	1.413	1.414

为了比较不同温度下样品的 E_g 值, 这里利用(4)式对腐蚀前 105 号样品进行了测量和计算, 结果

如表 3 所示.

表 3 不同温度下样品的 E_g 值

Tab. 3 The values of the energy gap E_g of the sample in the different temperature

T/K	300	185	77	21	
E_g /eV	A	1.413	1.449	1.467	1.475
	B	1.422	1.471	1.508	1.518

为了深入认识腐蚀前 105 号样品在不同温度下 E_g 的变化规律,通过多项式拟合,获得如下经验公式(5):

$$E_g = 1.4783 - 1.6481 \times 10^{-4} T + 3.7337 \times 10^{-7} T^2 - 1.8323 \times 10^{-9} T^3 \quad (5)$$

同时,给出了 $E_g - T$ 的拟合曲线,如图 1 所示.

考虑到根据(4)式计算所得 E_g 值的可信度,在表 3 中同时给出了用下述公式的计算值 $E_g B$ [6]:

$$E_g = 1.591 - \frac{5.405 \times 10^{-4} T^2}{T + 204} \quad (6)$$

可见,在室温附近,用两种方法算出的 E_g 偏差很小,但在低温时,偏差较大.

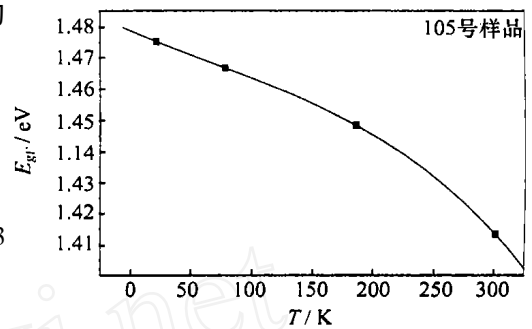


图 1 $E_g - T$ 的拟合曲线

Fig. 1 The fit curve of $E_g - T$

3 结语

由表 2 可见,考虑到各样品的生长砷压,发现室温下半绝缘(SI) GaAs 的禁带宽度随生长砷压的增大而增大.从这一结果可以认为,正是由于砷压的增大造成样品晶格常数的减小,从而引起样品带隙 E_g 值的增大.另外,从图 1 可见,半绝缘(SI) GaAs 样品的禁带宽度随所处温度的升高而减小.此时和上述情况相反,可以认为温度的升高造成样品晶格常数的增大,从而引起样品带隙 E_g 值的减小.

当然,SI-GaAs 中的各种杂质缺陷及其行为是 SI-GaAs 具有半绝缘性质及复杂特性的基础,比如,实验研究表明,未掺杂 SI-GaAs 中的主要深施主 EL_2 在决定材料性能上也起着重要作用.作为测量 SI-GaAs 的重要参数 E_g 的方法之一,从表 3 的比较中可知,SPV 方法的测量误差和推导禁带宽度 E_g 式可能引入误差,从原理上讲,若有更精确的吸收系数 α 的表达式,并提高测量 SPV 的准确性,SPV 方法应该是一种获得半绝缘(SI) GaAs 禁带宽度的有效方法.

致谢:对上海冶金所和厦门大学物理系陈朝教授在样品及测试方面给予的大力支持表示衷心的感谢.

参考文献:

- [1] Sturge M D. Optical absorption of gallium arsenide between 0.6 and 2.75 eV[J]. Physical Review, 1962, 127: 768 - 773.
- [2] 施敏. 半导体器件物理[M]. 黄振岗译. 北京: 电子工业出版社, 1987.
- [3] Blakemore J S. Semiconducting and other major properties of gallium arsenide[J]. J Appl Phys, 1982, 53(10): R123.
- [4] 沈华. 表面光电电压法测定半导体光跃迁类型和带隙参数[J]. 电子学报, 1989, 17(3): 1.
- [5] JU WU, Yuanxi Zou, Peigen Mo. Variation of EL_2 in SILEC GaAs with arsenic pressure during heat treatment[J]. Materials Letters, 1986, 5: 29 - 30.
- [6] Sze S M. Physics of semiconductor devices[M]. 2nd ed. New York: Wiley, 1981.