

不掺杂半绝缘GaAs的补偿机制

周炳林* 吴征* 陈正秀* 胡冰华*

(中国科学院上海技术物理研究所红外物理开放研究实验室)

摘要——用红外局域模方法测定了8个不同的不掺杂半绝缘GaAs样品的含碳(C_{As})量,发现碳浓度均小于 $5.20 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 。由 $1.1 \mu\text{m}$ 红外吸收测量和400 K霍尔系数测量推算出样品的净受主浓度 $N_A - N_0$,结果表明所有样品的净受主浓度均大于碳浓度,对于切自晶体下半部的样品,差别可达一个数量级。因此,这些受主必定是碳以外的其他杂质缺陷造成的,其中硼(B_{As})可能是主要因素。

一、引 言

不掺杂半绝缘GaAs材料由于在高速集成电路和微波器件中的广泛应用日益受到重视,一般认为这种材料的半绝缘性质主要是由深施主 EL_2 和浅受主碳(C_{As})之间的补偿作用造成的。但对于在某些特定生长条件下得到的晶体来说,必须考虑到 EL_2 以外的施主或者碳以外的受主在补偿中所起的作用^[1,2]。本文的目的在于通过测量红外局域模、 $1.1 \mu\text{m}$ 红外吸收和霍尔系数等方法来研究国内研制的半绝缘GaAs材料的补偿机制,从而提高材料质量提供依据。

二、实 验

实验所用的样品一部分来自北京有色金属研究院(编号为 U_1 、 U_2 、 D_1 、 D_2 、 D_3 和 D_4),一部分来自电子工业部五十五研究所(编号为86-5a、86-5b)。这些样品都是从高压液封原位合成直拉法制备的晶体上切割得到的,其中 U_1 、 U_2 、86-5a和86-4b切自晶体颈部以下的部位,而 D_1 、 D_2 、 D_3 和 D_4 切自晶体靠近尾部的部位。用于测量红外局域模的样品厚度为4~6 mm,是用Nicolet 71990型傅里叶红外光谱仪进行测量的,光谱分辨率取 0.7 cm^{-1} 。我们由室温下测得的碳局域模振动峰 580 cm^{-1} 的高度来确定碳浓度,计算时采用了Hunter等人^[3]77 K时的标定因子和江德生等人^[4]室温与77 K时的转换因子,它比Brozel等人^[5]的标定因子低2.2倍,但看来更为合理,后来Homma等人^[6]采用SIMS方法的标定结果与

本文1987年9月24日收到。修改稿1987年11月25日收到。

* 中国科学院上海冶金研究所。

Hunter 等人的结果相当一致。1.1 μm 红外吸收测量是用商用可见及近红外波段光谱仪进行的, 采用了 Martin^[7]的经验曲线确定 EL_2 浓度, 载流子浓度由 400 K 温度下霍尔系数测量得到。

三、结果和讨论

8 个样品的载流子浓度 $n(400\text{ K})$, 深施主浓度 $[\text{EL}_2]$ 、净受主浓度 $N_A - N_D$ 和碳浓度 $[\text{C}]$ 均列于表 1。其中 $N_A - N_D$ 是根据 Martin 等人^[8]提出的半绝缘 GaAs 材料三能级模型, 由 $[\text{EL}_2]$ 和有关参量计算得到的。由表 1 可以看出, 全部样品的深施主浓度 $[\text{EL}_2]$ 没有多大差别, 都在 $2.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 左右, 但载流子浓度 n 却呈现出明显的差异。我们估计, 样品 86-5a, 86-5b 与 U1、U2 之间 n 的差异是由于它们取自生长条件不同的晶体而造成的。另一方面, 即使是取自同一块晶体的上半部与下半部的样品, n 也有很大的不同, D1、D2、D3 和 D4 样品的 n 值比 U1、U2 低了一个数量级左右。显然, 根据三能级补偿模型, 这种差异应来自 $N_A - N_D$ 的差异。而计算结果的确表明 $N_A - N_D$ 值也有类似的差别, 参看表 1。

为了考虑 $N_A - N_D$ 是否与样品的含碳量有关, 我们进一步测量了各样品的碳 (C_{As}) 浓度, 结果见表 1。由该表可看出碳浓度均在 $5.20 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 以下, 接近仪器的检测限, 并没有出现 $N_A - N_D$ 那样的差异, 这种情形在图 1 中看得更加清楚。

表 1 不掺杂半绝缘 GaAs 材料有关参数
Table 1 Parameters of undoped semi-insulating GaAs.

样品编号	$n(400\text{ K})$ (cm^{-3})	$[\text{EL}_2]$ (cm^{-3})	$N_A - N_D$ (cm^{-3})	$[\text{C}]$ (cm^{-3})
86-5a	7.67×10^{10}	2.76×10^{16}	9.15×10^{14}	5.0×10^{14}
86-5b	9.11×10^{10}	2.86×10^{16}	8.03×10^{14}	4.57×10^{14}
U1	2.15×10^{11}	1.95×10^{16}	2.36×10^{14}	2.07×10^{14}
U2	1.96×10^{11}	2.16×10^{16}	3.31×10^{14}	2.25×10^{14}
D1	2.75×10^{10}	2.71×10^{16}	2.37×10^{15}	5.20×10^{14}
D2	3.68×10^{10}	1.91×10^{16}	1.91×10^{15}	2.15×10^{14}
D3	4.85×10^{10}	2.76×10^{16}	1.42×10^{15}	2.15×10^{14}
D4	2.06×10^{10}	2.60×10^{16}	2.95×10^{15}	3.57×10^{14}

图 1 画出了 8 个样品的 $N_A - N_D$ 值与 $[\text{C}]$ 值的关系曲线, “•”号代表取自晶体上半部的样品, “◦”号代表取自晶体下半部的样品, “+”号表示 Hunter 等人^[1]的实验结果, 虚线表示假定碳是唯一受主时理论上应当遵循的关系曲线。我们的数据点全部落在虚线的左侧, 这表明 $N_A - N_D > [\text{C}]$, 其中取自晶体下半部的样品的数据点偏离虚线甚远。因此可以认为, 我们的大多数样品中, 碳已不再是主要的受主了。Kikuta 等人^[2]认为, 在一定的生长条件下, 硼 (B_{As}) 可取代碳而成为主要的受主, 并且晶体中硼的沾污量受复盖液 B_2O_3 中含水量的影响, 含水量大的 B_2O_3 能抑制硼的溶入。我们认为, 目前我国许多研究单位通过原材料和材料生长工艺的改进, 已使 GaAs 晶体中碳含量降低到 $< 5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 的程度。在这类样品中, 硼可能是主要的受主, 它与 EL_2 的补偿决定了样品的半绝缘性质。这样, 86-5a、86-5b 两个样品的 $N_A - N_D$ 比 U1-U2 高的事实可理解为它们在制备时使用的 B_2O_3 含水量较小而致, 而取自晶体下半部的样品的 $N_A - N_D$ 甚高可理解为 B_2O_3 的含水量在晶体拉制过程中

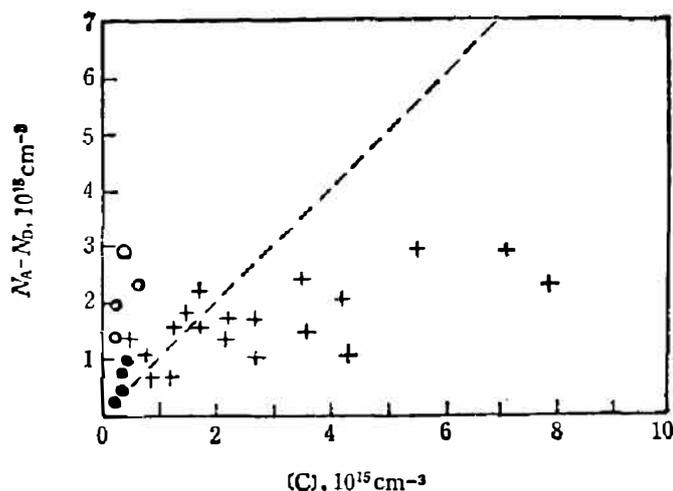


图 1 不掺杂半绝缘 GaAs 材料的 $N_A - N_D$ 与 $[C]$ 的关系图

Fig. 1 Net acceptor concentration $N_A - N_D$ vs carbon concentration $[c]$ in undoped semi-insulating GaAs.

不断变小所而成的。要完全弄清硼在半绝缘 GaAs 中的作用以及能动地控制它在晶体中的浓度, 还需要进一步的研究。

致谢——北京有色金属研究院王永鸿、马碧春和电子工业部第 55 研究所夏德谦、林树治等同志为本工作提供了样品, 上海冶金研究所祁明维、蔡培新和上海技术物理研究所叶红娟等同志协助进行了红外局域模碳含量测量, 上海冶金所谢成刚、胡雨生等同志协助进行了 $1.1 \mu\text{m}$ 红外吸收测量, 上海技术物理所红外物理开放研究实验室提供了经费资助, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] Hunter A. T. et al., *Inst. phys. conf. Ser.*, **74**(1985), 429.
- [2] Toshio kituta and koichi Ishida, *Inst. Phys. Conf. Ser.*, **83**(1987), 45.
- [3] Hunter A. J. et al., *Appl. phys. Lett.*, **44**(1984), 74.
- [4] 江德生等, *半导体学报*, **7**(1986), 59.
- [5] Brozel M. R., Clegg J. B. and Newman, R. C., *J. phys. D. Appl. Phys.*, **11**(1978), 1331.
- [6] Y. Homma et al., *J. Appl. Phys.*, **57**(1985), 2931.
- [7] Martir G. M., *Appl. phys. Lett.*, **39**(1981), 747.
- [8] Mattin G. M. et al, *J. Appl. Phys.*, **51**.(1980), 2840.

COMPENSATION MECHANISM OF UNDOPED SEMI-INSULATING GaAs

ZHOU BINGLIN, WU ZHENG, CHEN ZHENGXIU, HU BINGHUA

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

(Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Carbon concentrations (C_{As}) of eight various undoped Si-GaAs samples are measured using the method of infrared local vibrational mode (LVM). It is found that all of the obtained (C_{As}) are less than $5.20 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Net acceptor concentrations $N_A - N_D$ could be deduced from the measured results of $1.1 \mu\text{m}$ infra-red absorption and Hall effect at 400k. It turns out that the $N_A - N_D$ values of all samples are always larger than (C_{As}). There is an order of magnitude difference for those samples cut from the lower part of ingots. Therefore, the acceptors in those samples must arise from other impurities than carbon, in which boron (B_{As}) may be the main impurity.