

# 用光吸收法测量半绝缘 GaAs 中 Cr 浓度的定标曲线

许振嘉 张泽华 孙伯康

(中国科学院半导体研究所)

1982年6月3日收到

## 提 要

利用中子活化法作定标,建立了用红外吸收法测量半绝缘 GaAs 中 Cr 浓度的定标曲线,并讨论了该曲线的应用范围。

半绝缘 GaAs 单晶是制作微波器件的基础材料,也是 GaAs 集成电路的重要衬底材料。Cr 常用作掺杂剂以制备半绝缘 GaAs 体单晶。为了了解掺 Cr-GaAs 的纯度和均匀性,测量 Cr 的浓度非常必要。

G. M. Martin 等<sup>[1]</sup>指出,半绝缘 GaAs 中由于 Cr 的存在,在低于吸收边的光子能量范围产生一个吸收带。他们论证了此吸收带是由电子从价带到  $Cr^{3+}$  态的转移 ( $Cr^{3+} \rightarrow Cr^{2+}$ ) 所引起的。当施主浓度很低时, Cr 在 GaAs 的格点上是中性的,即半绝缘 GaAs 中绝大部分 Cr 原子处于  $Cr^{3+}$  态。他们的实验也证实,该吸收带的强弱取决于 Cr 浓度的大小。因此,有可能方便地利用该吸收带的吸收系数来测量半绝缘 GaAs 中 Cr 的浓度。

我们采用了 G. M. Martin 等<sup>[1]</sup>提出的论据,利用活化分析结果作定标,得到了用光吸收法测量半绝缘 GaAs 中 Cr 浓度的定标曲线。

实验中,我们将水平 Bridgman 法生长的不同掺 Cr 浓度的 GaAs 样品,双面磨抛成满

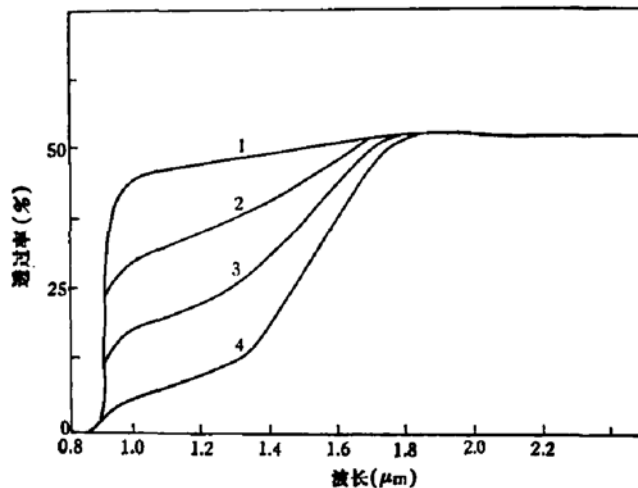


图1 不同 Cr 含量的 GaAs 样品的透过率光谱

1. 未掺, 2. Cr 含量 0.7 ppm, 3. Cr 含量 1.75 ppm, 4. Cr 含量 3.43 ppm.

足光吸收实验的平行镜面。样品尺寸大于  $8 \times 12 \times 2 \text{mm}^3$ 。室温下在日立 340 型分光光度计上测量 ( $0.8-2.6 \mu\text{m}$ ) 范围的透过率光谱。图 1 绘出了不同掺 Cr 浓度的 GaAs 透过率谱。可以看出,在波长大于  $1.8 \mu\text{m}$  处,样品的透过率与 Cr 含量无关;而在波长小于  $1.8 \mu\text{m}$  处,样品透过率随波长减小而逐渐下降,直到吸收边处为零。Cr 含量越高,下降的幅度越大。考虑到这是一个由 Cr 引起的吸收带,我们取透过率曲线下降部分中点附近  $1.35 \mu\text{m}$  处的吸收大小来表征 GaAs 中 Cr 含量的多少。

$1.35 \mu\text{m}$  处由 Cr 引起的吸收系数由下式计算:

$$T = T_0 \exp(-\alpha d) \quad (1)$$

式中  $T$  和  $T_0$  分别为样品在  $1.35 \mu\text{m}$  处和  $2.0 \mu\text{m}$  处的透过率,  $d$  为样品厚度 (cm),  $\alpha$  为样品在  $1.35 \mu\text{m}$  处的吸收系数 ( $\text{cm}^{-1}$ )。

将作过吸收测量的样品切成  $7 \times 7 \times 2 \text{mm}^3$  的大小,再用中子活化法测量其 Cr 浓度。

如果在直角坐标纸上,以横坐标作为吸收系数,纵坐标为中子活化法测得的 Cr 浓度,描绘出实验点,如图 2 所示。可以看到  $N_{\text{Cr}}$  (ppm) 和  $\alpha_{\text{Cr}}$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) 之间有着线性关系。

根据误差理论<sup>[2]</sup>,用最小二乘法处理数据,可以得到如下关系式:

$$N_{\text{Cr}}(\text{ppm}) = 0.59\alpha - 0.105 \quad (2)$$

此式所代表的定标曲线的误差为  $\pm 0.135 \text{ppm}$ 。如图 2 中两条虚线所示。如果换算成原子密度则为

$$[N]_{\text{Cr}} = (2.60\alpha - 0.46) \times 10^{16} \text{ 原子}/\text{cm}^3 \quad (3)$$

相应的误差为  $\pm 0.60 \times 10^{16} \text{ 原子}/\text{cm}^3$ 。

式(2)或式(3)即为从吸收系数求 Cr 浓度的公式。

实验发现,当  $1.35 \mu\text{m}$  处  $\alpha$  小于  $6 \text{cm}^{-1}$  时,  $\alpha$  与中子活化法测得的 Cr 浓度呈线性关系。但当  $\alpha$  大于  $6 \text{cm}^{-1}$  时,  $\alpha$  与中子活化法测得的 Cr 浓度不再呈线性关系,即吸收系数稍有增加,中子活化法得的 Cr 浓度则大大高于直线范围。我们认为,这一偏离是由 Cr 的沉淀所引起。据报道<sup>[3,4]</sup>,Cr 在 GaAs 中的溶解度为  $\sim 10^{17} \text{ 原子}/\text{cm}^3$ 。根据本实验的定标,  $6 \text{cm}^{-1}$  相当于  $1.5 \times 10^{17} \text{ 原子}/\text{cm}^3$ 。可以认为, GaAs 中 Cr 的饱和溶解度为  $\sim 1.5 \times 10^{17} \text{ 原子}/\text{cm}^3$ 。当 Cr 浓度大于这个值时,就会产生 Cr 沉淀。显然,沉淀的 Cr 与溶解的 Cr ( $\text{Cr}^{3+}$ ) 状态不同,它们在  $1.35 \mu\text{m}$  处对吸收的贡献也不同。因此,用光吸收法测量半绝缘 GaAs 中 Cr 浓度的上限为  $\sim 1.5 \times 10^{17} \text{ 原子}/\text{cm}^3$ 。

此外,当 GaAs 中掺入施主杂质(如 Si),可以改变  $\text{Cr}^{3+}$  的状态,即  $\text{Cr}^{3+}$  俘获电子后成为  $\text{Cr}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{1+}$ ... 等状态<sup>[5,6]</sup>。同时,对于用 LEC 方法生长的掺 Cr-GaAs,还存在 B 和 O 的玷污问题,这些玷污可以形成 B 和 O 等 Cr 的络合物<sup>[7]</sup>。显然,这些因素都可以影响  $\alpha(\text{cm}^{-1})$  的测定值,因此,本定标曲线只限于水平 Bridgman 法生长的掺 Cr 半绝缘 GaAs

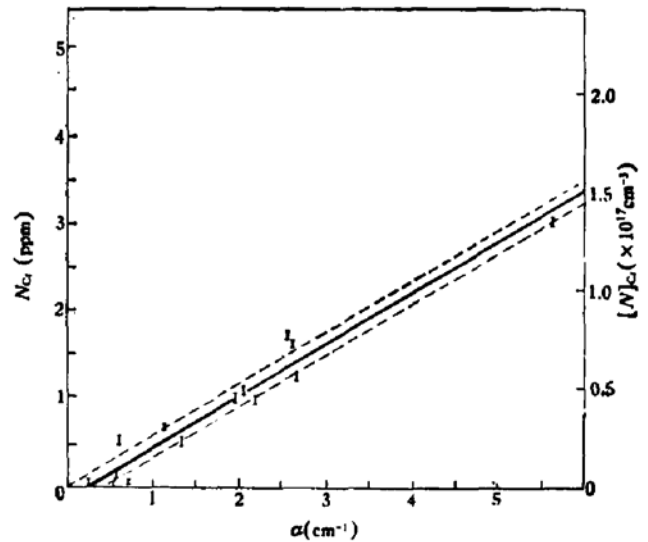


图 2 掺 Cr-GaAs 在  $1.35 \mu\text{m}$  处吸收系数与 Cr 浓度的关系

样品。

本实验中误差的来源除了光吸收测量和中子活化测量本身引入的误差外，主要来自样品中 Cr 浓度的不均匀性。光吸收测量时，光照面积较大 ( $8 \times 12\text{mm}^2$ )，而中子活化法则要求样品表面尺寸为 ( $7 \times 7\text{mm}^2$ )，两者的不一致必然引入一定误差。

本工作由李毓言、刘冬琴、徐学敏等同志协助完成，本所材料室、有色研究总院、营口火柴厂提供样品，原子能所协助作中子活化分析，在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] G. M. Martin et al., *J. Appl. Phys.*, **50**, 467 (1979).
- [2] 冯师颜, 误差理论与实验数据处理, 科学出版社.
- [3] R. W. Haisty et al., *Proc. 7th Int. Conf. Physics of Semiconductors* (Paris: Dunod), 1964, pp. 1161—7.
- [4] M. R. Brozel et al., *J. Phys. C: Solid State Phys.*, **11**, 1857 (1978).
- [5] U. Kaufmann et al., *Solid State Commun.*, **20**, 143 (1976).
- [6] G. J. Rees (Editor): *Semi-Insulating III-V Materials*, Nottingham, (1980).
- [7] K. Laithwaite et al., *Gallium Arsenide and Related Compounds*, Edinburgh p. 84 (1977).

## Optical Absorption Calibration Curve for Measurement of Cr Content in Semi-Insulating GaAs

Xu Zhenjia, Zhang Zehua and Sun Bokang  
(*Institute of Semiconductors, Academia Sinica*)

### Abstract

A method using infrared absorption is described for measuring Cr content in semi-insulating GaAs, which is calibrated by neutron activation analysis. The applicability of the calibrated curve is also discussed.