

研究简报

复合型 GaAs 材料在 $10.6\mu\text{m}$ 吸收特性的研究

王桂芬 张光寅 张春平

(南开大学物理系)

1981年7月3日收到

一、引言

随着高功率 CO_2 激光器的迅速发展,从不同的物理性质和化学性质的材料中,选择最适宜的红外激光器窗材料是一个重要问题。从目前应用的几种激光器窗材料来看, KCl 和 NaCl 机械性能差,易潮解^[1], Ge 的吸收系数较大^[2], 都不是较好的高功率激光器窗材料。因而进一步提高 GaAs 的性能,就仍有其实际意义。

自 1979 年以来,冶金部有色金属研究总院采用液封直拉工艺,研制成复合型半绝缘 GaAs 材料,此种材料的吸收系数低,透射率高,热稳定性能良好,能承受高功率 CO_2 激光,而且大大降低了成本,可作为一种优良的千瓦级 CO_2 激光器窗材料^[3]。我们利用光声光谱方法,对有色金属研究总院研制的复合型半绝缘 GaAs 材料在 $10.6\mu\text{m}$ 的红外吸收进行了研究,并与掺 Cr 半绝缘单晶等材料作了对比,测量结果表明,复合型半绝缘 GaAs 材料的吸收系数比掺 Cr 半绝缘 GaAs 单晶等材料低(低于 0.01 厘米^{-1})。

二、 GaAs 吸收系数的测量

为估价高功率 CO_2 激光器窗材料的应用价值,材料的吸收系数是一个重要参数。我们采用高灵敏度的激光光声光谱方法,测量了 GaAs 的低吸收系数。

图 1 所示的实验装置与以前^[2]介绍的相同,只是在样品前加了一个半透半反分束镜,

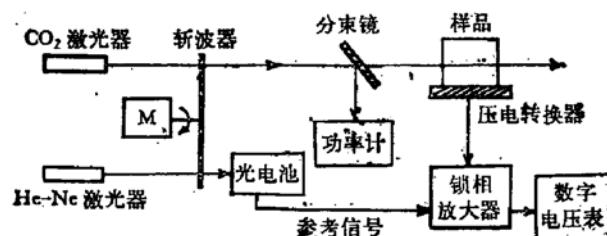


图 1 实验装置图

便于用激光功率计来监视输入功率的变化, 以修正由于功率起伏引起的误差。从低功率 CO_2 激光器发出的 $10.6\mu\text{m}$ 的光, 经斩波后照射在被测样品上, 压电转换器直接粘接在样品的一个面上(为了提高测量精度, 把压电转换器粘接在样品的不同面上, 进行反复测试)。在样品内, 由于吸收激光引起的声信号, 经压电转换器转换成电压信号后, 用锁相放大器进行放大, 由数字电压表显示。

在实验中, 用真空脂代替以前使用的环氧树脂作为粘接剂, 将样品粘到压电转换器上。这样便于更换样品, 又不损坏样品。所有被测样品可用一块压电转换器进行接收, 从而消除了由于不同的压电转换器性能差异所引起的实验误差。

光声电压信号的表达式为^[5]:

$$V \simeq \frac{\beta \cdot P \cdot \alpha(1 + \sigma)t}{2\pi c \cdot \rho(1 - \sigma)r^2} \quad (1)$$

其中 c 为样品的比热, ρ 为样品的密度, α 为样品的热膨胀系数, σ 为泊松比, 利用以前已经测出吸收系数 β 的 Ge 样品 ($\rho = 20\Omega \cdot \text{cm}$) 作为标准样品, 在入射功率 P 、照射时间 t 、光束与压电转换器之间的垂直距离 r 都相同的情况下, 分别测出 Ge 及 GaAs 的光声电压信号 V 。根据以上条件, 由方程式 (1) 可得 GaAs 的吸收系数(带下标“1”的为 GaAs 的参数)为

$$\beta_1 = 0.96 \frac{c_1 \rho_1 (1 - \sigma_1) V_1}{\alpha_1 (1 + \sigma_1)} \cdot g / \frac{c \rho (1 - \sigma) V}{\alpha (1 + \sigma)} \quad (2)$$

公式前加 0.96 是因为在输入功率一定的条件下, Ge 和 GaAs 的反射率不同。将 Ge 及 GaAs 的 c 、 ρ 、 α 、 σ 的已知数据^[1,6] 及 Ge 的吸收系数^[2]代入式 (2), 便可计算出 GaAs 的吸收系数 β_1 。我们测得的各种规格的 GaAs 的吸收系数如表 1 所示。

表 1 测得的各种规格 GaAs 的吸收系数

编 号	规 格 和 参 数	吸收系数 β (cm^{-1})
复 1	复合型 GaAs $\rho \sim 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$, $n \sim 10^6 \text{cm}^{-3}$	0.0088
复 2	复合型 GaAs $\rho \sim 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$, $n \sim 10^6 \text{cm}^{-3}$	0.0066
复 4	复合型 GaAs $\rho \sim 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$, $n \sim 10^6 \text{cm}^{-3}$	0.0096
C-2	掺 Cr-GaAs $\rho \sim 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$, $n \sim 10^6 \text{cm}^{-3}$	0.0128
P-1	纯度高阻 GaAs $\rho \sim 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$, $n \sim 10^6 \text{cm}^{-3}$	0.0162
P-2	纯度 GaAs $n \sim 10^{14} \text{cm}^{-3}$	0.0181
P-3	纯度 GaAs $n \sim 10^{11} \text{cm}^{-3}$	0.0186
P-4	纯度 GaAs $n \sim 10^{15} \text{cm}^{-3}$	0.0194

由表 1 可见, 测得的各种规格的 GaAs 材料在 $10.6\mu\text{m}$ 的吸收系数与国外报道的一致^[1,3], 它们都大于 0.01cm^{-1} , 而几种不同型号的复合型半绝缘 GaAs 材料在 $10.6\mu\text{m}$ 的吸收系数都低于 0.01cm^{-1} 。

三、测量结果的讨论

半绝缘 GaAs 材料 ($\rho \simeq 10^6 \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$, $n \simeq 10^7 \sim 10^{15} \text{cm}^{-3}$) 的红外吸收已在文献

[7, 8, 9] 中作过详细研究，在 $10.6\mu\text{m}$ 附近的吸收主要是由材料的晶格振动的多声子吸收过程引起的。但掺 Cr 的半绝缘 GaAs 材料，在 $10.6\mu\text{m}$ 的吸收系数多在 0.01cm^{-1} 以上（见 [1, 3] 与表 1），均比理论估计的纯属由于多声子过程引起的吸收值稍高（理论估计值为 0.006cm^{-1} ^[8] 和 0.008cm^{-1} ^[9]）。对于掺 Cr 半绝缘 GaAs 材料，由于重掺 Cr 过程难以完全避免出现的 Cr 沉淀物和由此引起的晶格缺陷^[9, 10] 导致了附加红外杂质吸收或杂质感应吸收。复合型半绝缘 GaAs 材料是通过掺入两种或两种以上杂质（深受主和浅施主或深施主）的工艺来生长的，由于液封直拉工艺所用的 B_2O_3 中残存水而引入深施主氧，故只需控制较低的深受主和浅施主掺杂浓度就能重复生长 $\rho > 10^7\Omega\cdot\text{cm}$ 的复合型半绝缘 GaAs 材料^[4]，它可以避免重掺 Cr 引起的上述问题，从而减少了杂质吸收。测得的吸收系数更接近于纯多声子吸收的理论值（见表 1）证明了这一点。

国内若干单位使用结果表明，这种复合型半绝缘 GaAs 材料比掺 Cr 半绝缘 GaAs 更适宜作为千瓦级 CO_2 激光器的窗材料。

有色金属研究总院李光华、张国利同志为我们提供了 GaAs 样品及有关数据。我校傅汝廉、郭转运同志对本工作给与了不少帮助，在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] B. S. Patel, *Appl. Opt.*, **16**, 1232 (1977).
- [2] 王桂芬、李增发、张光寅, 激光, **1**, 33(1981).
- [3] Harold C. Hafner et al., AD-AO 14, 809 (1975).
- [4] 李光华、张国利等, 激光, (待发表).
- [5] A. Hardvik et al., *Appl. Opt.*, **16**, 101 (1977).
- [6] 饭田修一等合编, 张质贤等译, 物理学常用数表, (1979).
- [7] T. F. Deutsch, *J. Phys. Chem. Solids*, **34**, 2091 (1973).
- [8] C. P. Christensen et al., *J. Appl. Phys.*, **45**, 4957 (1974).
- [9] J. B. Vander Sande, *J. Appl. Phys.*, **45**, 1298 (1974).
- [10] R. Zucca, *Gallium Arsenide and Related Compounds*, 228 (1977).

Investigation of Absorption Property for Complex Type GaAs Material at $10.6\mu\text{m}$

Wang Guifen, Zhang Guangyin and Zhang Chunping
(Department of Physics, Nankai University)

Abstract

An investigation of infrared absorption property at $10.6\mu\text{m}$ using photoacoustic spectroscopic method for complex type GaAs material is reported. The absorption coefficients of different types of GaAs materials are obtained. The results demonstrate that the absorption coefficients of complex type GaAs materials are less than 0.01 cm^{-1} , that these materials are better than normal Cr-doped semi-insulating GaAs materials. The complex type GaAs materials could be better infrared window materials for CO_2 lasers.