

半导体混晶声子的远红外光谱研究

沈学础

(中国科学院上海技术物理研究所)

半导体器件和其它各种固体器件中广泛使用着各种混晶, 如 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 用于红外探测器、 $\text{GaAs}_x\text{P}_{1-x}$ 用于发光管、 $\text{Pb}_x\text{Sn}_{1-x}\text{Te}$ 用于半导体激光器等。此外, 这些材料的结构介于原胞严格周期排列的单晶体和长程完全无序的非晶态固体之间, 在有关固体的基本物理问题研究中也有重要的意义。以晶格振动谱研究为例, 混晶使人们可以观察到孤立杂质诱发的定域化振动模如何演变为完全无序系统的振动带, 或发育成另一种晶体的主声子振动带。混晶化还可以诱发原来光学不活动的声子模, 从而使得人们可以用光学方法研究这些晶格振动状态。

本文综合报道作者及其合作者用远红外吸收和反射光谱方法研究 $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ 、 $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ 、 $\text{Mn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ 和 $\text{GaAs}_x\text{P}_{1-x}$ 混晶声子谱的主要结果。对 $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ 合金混晶, 实验观察到混晶化导致的杂质和无序效应诱发的原来光学不活动的诸单声子吸收带, 及某些质量缺陷杂质的准束缚振动态, 包括位于纯 Ge 单晶 TA 声子带上方的准定域模。对 $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ 和 $\text{Mn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ 等, 反射光谱实验观察到了或说明了其光学声子的多模行为和高电子浓度情况下的等离子振荡量子-LO 声子耦合模效应。透射光谱实验则首次观察到了混晶化效应诱发的 TA 声子带模的光学活动性, 和 Mn 在 CdTe 单晶中的共振模振动及其向混晶 TA 带模行为的过渡。此外透射光谱方法还给出了 $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ 光学声子双模行为和 TO-LO 分裂的直接证据, 从而直观地表明其晶格振动的膺谐振子特性和 $\omega_{\text{TO}}-\omega_{\text{LO}}$ 之间的衰减波。

利用面间力常数方法, 可以较简便地“从头算起”估计布里渊区某些临界点或高对称方向的声子振动频率。进行存在质量缺陷杂质情况下晶格振动的格林函数计算, 并运用纯晶体声子态密度函数可以估计杂质诱发的定域化的和非定域化的晶格振动模的行为。在这些计算和估算基础上, 可以半定量地解释实验观察到的大部分结果。