

无序系统的次级光散射

张新夷

(中国科学院长春物理研究所)

本文试从无序系统的发光及喇曼散射中的几个问题出发, 阐述次级光发射中的无序效应。

Wolford 研究了三元系 $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x:\text{N}$ 中束缚激子的发光, 发现随着组份 x 值的变小, 电-声子耦合增强, 激子的半径变小。张新夷等人对三元系 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}:\text{N}$ 的束缚激子发光的研究也得到了同样的结论。在三元化合物中, 束缚激子趋于局域, 激子中电子和空穴的交换能增大。

以上两方面的工作都指出了在混晶中无序会增强晶格弛豫。王永良、顾宗权和黄昆从理论上研究了晶格弛豫的无序增强效应的机理, 指出这种晶格弛豫效应是由晶格中的无序控制的。他们计算了晶格弛豫的大小, 得到 Huang-Rhys 因子 S 与组份的关系为 $S \propto x(x-1)$

结构上的无序引起的另一个效应是光谱的宽化。Mariette 用激光选择激发技术仔细研究了从 $\text{GaP}:\text{N}$ 过渡到三元化合物 $\text{Ga}(\text{As}, \text{P}):\text{N}$ 和 $(\text{Ga}, \text{In})\text{P}:\text{N}$ 时激发光谱和发光光谱的变化, 发现发光较激发移向长波, 而且不能用斯托克斯(Stokes)位移来解释。他提出了用无序效应来进行解释的新思想。张新夷从发光的动力学模型出发, 分析发光积分强度的温度依赖关系, 得到了 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}:\text{N}$ 中 N 束缚激子的 $J=1$ 和 $J=2$ 两个子能级之间的能量差, 也即电子、空穴交换能与组份 x 的关系。Mariette 用选择激发技术也测量了 $J=1, 2$ 两个激子子能级之间的能量差, 与张新夷的结果相吻合。

Munekata 等人在无定形 $\alpha\text{-Si}_2\text{O}_{1-x}$ 的发光光谱上看到了很大的斯托克斯位移。

喇曼散射是研究固体光学性质的另一个重要手段。Balkanski 和 Hirlimann 发现 III-V 族三元化合物的一级喇曼散射的 LO 声子重现谱(replica)可以有与一级喇曼散射谱相同的强度。他们认为重现谱实际上是混晶中以激子-LO 声子耦合态为中间态的一级喇曼散射谱。

王笑军、张新夷第一次在 GaAlAs 上看到了有四个 LO 声子参与的三级重现谱; 也观察到了各种无序激活的非 Γ 点声子的喇曼散射。他们还发现这种无序激活的喇曼谱在重现谱中也出现了。在三元化合物中, 喇曼谱线变宽且不对称, 这也可认为是波矢为非零的声子被无序激活而参加到喇曼过程中造成的。

在非晶材料中, 喇曼散射光谱变得非常宽, 无序激活的喇曼谱也更清楚。Smith 等人在无定形材料中观察到由于晶格的无序而出现的无序激活的喇曼散射。另一方面, 根据喇曼散射谱的特征, 如谱线宽度, 可以研究非晶材料晶化的程度。所以, 喇曼光谱, 特别是空间分辨和时间分辨的喇曼光谱已经成为研究激光退火机理的重要手段。