

高压下 GaAsSb 纳米线室温光致发光特性研究*

殷雪彤¹⁾ 廖敦渊²⁾ 潘东^{2)†} 王鹏^{1)‡} 刘冰冰^{1)††}

1) (吉林大学, 超硬材料国家重点实验室, 长春 130012)

2) (中国科学院半导体研究所, 半导体芯片物理与技术全国重点实验室, 北京 100083)

(2025 年 1 月 11 日收到; 2025 年 1 月 27 日收到修改稿)

三元砷锑化镓 (GaAsSb) 纳米线具有直接带隙电子结构, 通过调节锑含量可实现其近红外波段发光波长在 870—1700 nm 范围内的超宽带调谐, 在近红外微纳光学器件方面具有十分重要应用前景. 但由于高密度表面态的存在, 砷锑化镓纳米线室温发光效率低、难以观测, 这导致其光学性质研究主要集中在低温条件下, 严重阻碍了其室温条件下的光学性质的调控研究及器件化应用. 本文利用高压策略结合荧光光谱与拉曼光谱技术, 在室温条件下进行砷锑化镓纳米线光学性质的调控研究. 研究表明, 通过压力的施加, 在 0—2.8 GPa 的压力范围内, 砷锑化镓纳米线的室温荧光获得显著增强, 并且发光波长可以通过压力实现原位调控. 同时, 砷锑化镓纳米线的发光性质与激发光波长相关, 相对于 473 nm 激发光波长, 514 nm 和 633 nm 波长对应的发光效率更高. 高压原位拉曼光谱研究表明, 短波长 473 nm 激光辐照砷锑化镓纳米线可以产生显著的光热效应, 抑制光发射, 而高压策略可以有效降低光热效应对砷锑化镓纳米线光学性质的影响.

关键词: 砷锑化镓, 纳米线, 高压, 室温发光**PACS:** 78.55.Cr, 78.55.-m, 78.67.Uh**DOI:** 10.7498/aps.74.20250042**CSTR:** 32037.14.aps.74.20250042

1 引言

由于尺寸效应、准一维结构及高的体表面积比, 半导体纳米线可以呈现不同于其体材料的独特光学、电学及力学物理性质^[1,2]. 在过去的几十年中, 研究者们已经对各类半导体纳米线开展广泛的研究, 揭示了这类特殊的纳米半导体材料在传感器^[3]、太阳能电池^[4,5]、激光器^[6,7]和光电探测器^[8,9]等领域所具有的广泛应用潜力. 以砷化镓 (GaAs) 为代表的 III-V 族半导体材料在近红外波段具有高光敏感性和快速光响应能力, 因此 GaAs 基 III-V 族半

导体是近红外光电器件理想待选体系. 随着合成技术的快速发展, 半导体纳米线已经实现在尺寸、形态及元素含量高度可控合成^[10–12]. 目前已经可以利用分子束外延技术成功实现三元砷锑化镓 (GaAsSb) 纳米线中锑元素近似全组分的合成^[13]. 由于三元 GaAsSb 纳米线具有直接带隙电子结构, 在不同含量锑元素掺杂的条件下, 其发光波长范围可以覆盖整个 870—1700 nm 的近红外波段. 因此 GaAsSb 纳米线在近红外微纳光学器件方面具有重要的应用前景^[14,15].

但是由于 III-V 族纳米线具有高表面态密度, 其在室温条件下的载流子复合以表面非辐射复合

* 国家自然科学基金 (批准号: 11604116, 12374459)、中国科学院战略重点研究项目 (批准号: XDB0460000) 和中国科学院青年创新促进会 (批准号: 2017156, Y2021043) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: pandong@semi.ac.cn

‡ 通信作者. E-mail: wangpengtrrs@jlu.edu.cn

†† 通信作者. E-mail: liubb@jlu.edu.cn

为主,这极大限制了其室温条件下的发光效率.因此其光性质研究主要集中在5—77 K的低温条件下^[13,16],这严重阻碍了这一类重要半导体纳米材料的室温光学性质调控研究及其作为微纳器件的室温化应用.作为重要的热力学参量之一,压力能够减小原子间距,改变原子空间排列规律及原子外层电子轨道分布形式^[17].高压策略是一种高效且环保的方法,可以在不引入杂质元素的条件下,原位调控材料的晶体结构和电子结构.以二元GaAs纳米线为例,施加高压可以诱导发生结构相变、调控带隙展宽以及金属化转变^[18,19].此外,压力也可以增强纳米材料与外部介质界面间的相互作用,从而调控界面电荷转移行为,实现表面非辐射复合的抑制及室温发光效率提高,这些为三元III-V族半导体纳米线的室温光学性质研究提供了可行的新途径.

温度作为另一种典型的热力学参量,可以影响晶体内晶格热膨胀及电子-声子相互作用行为.利用特定波长激光向半导体纳米材料(例如GaAs^[20,21], InAs^[22]等)施加特殊光照可能会诱导热效应的生成,导致样品表面产生温度梯度,从而影响材料的光学性能.本文利用高压策略实现了GaAsSb纳米线材料室温光学性质的调控研究.结合拉曼和荧光光谱技术对其在不同波长激光激发下的光学性质进行细致研究,发现压力可以增强GaAsSb纳米线的发光效率,诱导带隙增大,同时也证实了GaAsSb纳米线的光学性质与激发光波长相关,短波长激光辐照纳米线可以产生显著光热效应.

2 实验部分

2.1 样品与仪器

实验所研究的GaAsSb三元纳米线是利用固体源分子束外延系统VG V80H在商用n型硅基底上生长制备的^[13].首先,将硅基底浸入稀释的含量为5%的HF溶液中约30 s,以便去除天然氧化层;然后将衬底浸入体积比为4:1的H₂SO₄和H₂O₂溶液中20 s,使衬底表面覆盖一层新的氧化层;最后用去离子水冲洗后通氮气流干燥.在开始GaAsSb纳米线生长时,首先提前10 min打开As快门以获得稳定的As通量,然后同时打开Ga和Sb快门. Ga, As和Sb的通量分别为 5.1×10^{-7} , 4.5×10^{-6} 和 2.2×10^{-6} mbar (1 bar = 10^5 Pa).生长温度为590 °C,

生长时间为1 h.

使用JEM F200系统中对GaAsSb纳米线的晶体结构进行高分辨透射电子显微镜表征,利用属于JEM-F200系统上的能谱仪对纳米线进行了EDS元素分析.使用HORIBA LabRAM HR Evolution光谱仪(激发光波长为473 nm)和Renishaw in Via光谱仪(激发光波长为514 nm和633 nm)完成GaAsSb三元纳米线高压原位拉曼光谱测试和荧光光谱测试.高压实验在金刚石对顶砧装置中完成,如图1所示,为金刚石对顶砧加压装置以及光学测试时样品腔的示意图.实验中使用的金刚石砧面大小为400 μm ,高压实验所使用的垫片为T301钢片.实验中的压力标定采用红宝石荧光标定法,传压介质(PTM)为比例为4:1的甲乙醇混合溶液.

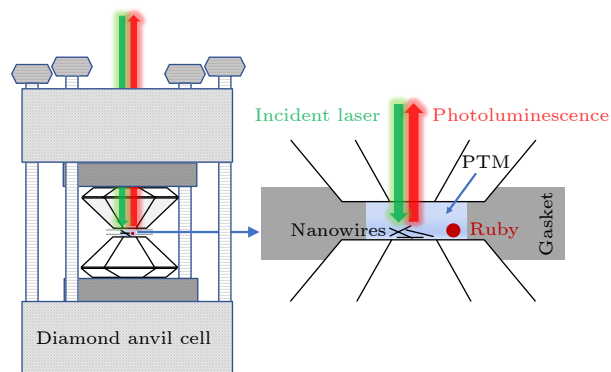


图1 金刚石对顶砧加压装置以及光学测量时样品腔内示意图

Fig. 1. Schematic diagram of the diamond anvil cell (DAC) and the sample cavity during optical measurements.

2.2 实验过程

纳米线样品的压力加载是通过金刚石对顶砧装置来实现的.首先将垫片厚度预压至60 μm 左右,在压痕中心利用激光打孔机打出直径约130 μm 的孔作为样品腔.随后将垫片进行复位.在对纳米线高压光学性质研究中,首先在样品腔放入少量GaAsSb纳米线,并向腔中点入一颗直径约为20 μm 的红宝石微球,最后向样品腔中封入4:1甲乙醇混合溶液作为传压介质,完成装样.实验中通过同时旋紧4个螺丝的方式加压.进行光学测试时,激光从上砧面的孔洞垂直射入样品腔,同时样品腔内样品的光学信号沿原路返回,实现信号接收,完成测试.为避免激光功率对测试结果的影响,光谱测试

中激光的功率都保持在 2 mW 左右.

3 实验结果

3.1 材料的表征

图 2(a) 为 GaAsSb 三元纳米线的高分辨透射电子显微镜 (HRTEM) 图像, 插图为其选区的电子衍射图. 图 2(b) 为高角度环形暗场 (HAADF) 成像. 图 2(c)–(e) 分别为 GaAsSb 三元纳米线中 3 种元素的成分分析结果. 结果表明, GaAsSb 三元纳米线中 Ga 元素、As 元素以及 Sb 元素的分布比较均匀. 透射电子显微镜的能谱测试表明, GaAsSb 纳米线中 Sb 元素的含量在 25% 左右. 纳米线直径约为 100 nm, 长度约为 2 μm . 由透射电子显微镜结果和电子衍射结果可以看出样品为闪锌矿结构的 GaAsSb 三元纳米线.

3.2 高压下 3 种激发波长激发的荧光光谱

本文选取了 473 nm, 514 nm 和 633 nm 三种不同波长的激光作为激发光进行 GaAsSb 纳米线高压原位荧光光谱测试. 图 3(a) 所示为 473 nm 激光激发得到的高压原位荧光光谱. 可以看出, 在常压到 1.9 GPa 的压力区间内, 采集到的光谱信号信噪比很差, 难以观测到 GaAsSb 纳米线发光峰. 继续加压到 2.5 GPa 时, 才能观察到较弱的荧光信号. 图 3(b) 为波长 514 nm 激光激发高压原位荧光光谱. 可以看到, 在常压下难以观测到 GaAsSb 纳米线的荧光信号, 但是当压力增大到 0.6 GPa 时,

可以观测到荧光峰出现, 并且随着压力继续增大, 荧光强度获得了显著的增强, 荧光峰位发生蓝移. 荧光增强说明纳米线表面非辐射复合受到了抑制, 而压致荧光峰蓝移说明随着压力增大 GaAsSb 纳米线的带隙获得了展宽. 如图 3(c) 所示, 也可以在波长 633 nm 激光激发高压原位荧光光谱中观测到压致荧光增强及蓝移的现象, 同时可以看到随着激发波长的增大, 相近压力下, GaAsSb 纳米线的荧光信号呈现增强的趋势.

图 4(a), (b) 所示分别为 514 nm 和 633 nm 两种激发光条件下 GaAsSb 纳米线得到的荧光峰位与峰强随压力的变化趋势. 结合前人关于 III-V 族纳米线的高压研究结果及实验测试结果^[23], 我们对荧光峰位与压力依赖关系进行线性拟合, 可以得到荧光峰位蓝移的压力系数分别为 50.2 meV/GPa (514 nm 激发) 和 41.4 meV/GPa (633 nm 激发), 它们荧光峰的压力系数均明显小于 GaAs 纳米线^[24]的 99 meV/GPa. 这说明在 GaAs 晶格中引入具有更大原子质量及原子半径的锑原子可以显著影响其在高压下电子结构的演化行为.

由于高密度的表面态的存在, 常压条件下载流子非辐射复合会抑制砷化镓基纳米线的辐射复合即发光^[25]. 因此, 在室温常压下利用不同波长激发 GaAsSb 纳米线均难以观测到其荧光信号. 而在本工作中, 在室温高压条件下, 利用 473 nm, 514 nm 及 633 nm 等 3 种不同波长的光激发, GaAsSb 纳米线荧光光谱均由难以观测变为可以观测, 并且在不同程度上呈现了压致增强的趋势, 这些实验结果

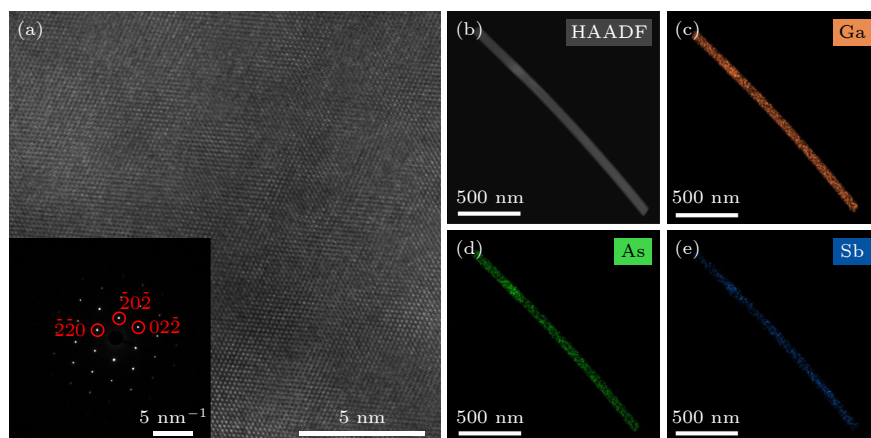


图 2 (a) GaAsSb 三元纳米线的高分辨率透射电子显微镜图像, 左下角为其电子衍射图; (b) GaAsSb 三元纳米线的高角度环形暗场成像; (c)–(e) GaAsSb 三元纳米线中 Ga 元素、As 元素、Sb 元素对应的伪彩色 EDS 映射图

Fig. 2. (a) HRTEM image of GaAsSb nanowires (NWs) with the corresponding electron diffraction pattern image in left bottom; (b) HAADF image of GaAsSb NWs; (c)–(e) false color EDS maps of GaAsSb NWs with the Ga element, As element and Sb element.

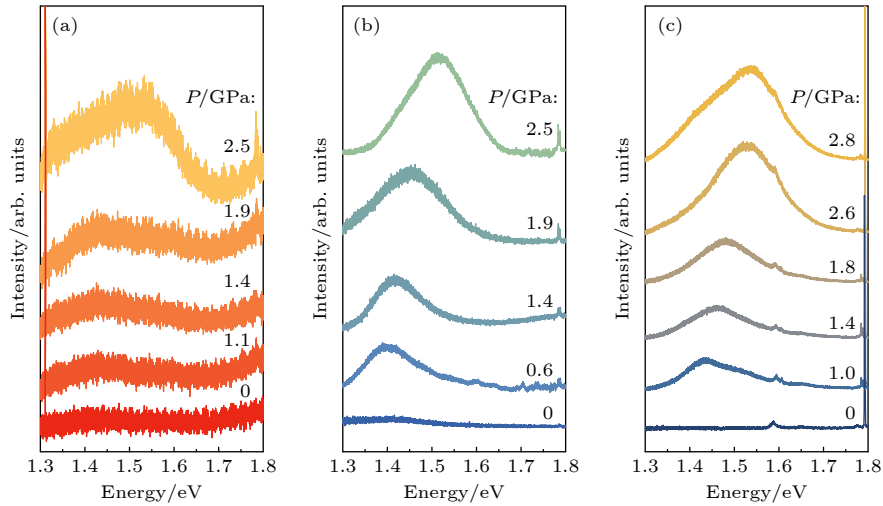


图3 室温条件下,在(a) 473 nm, (b) 514 nm 和 (c) 633 nm 三种不同波长激光激发下, GaAsSb 纳米线的荧光光谱随压力的变化情况

Fig. 3. Pressure-dependent photoluminescence (PL) spectra of GaAsSb NWs obtained at ambient temperature with the excitation wavelength of (a) 473 nm, (b) 514 nm, and (c) 633 nm.

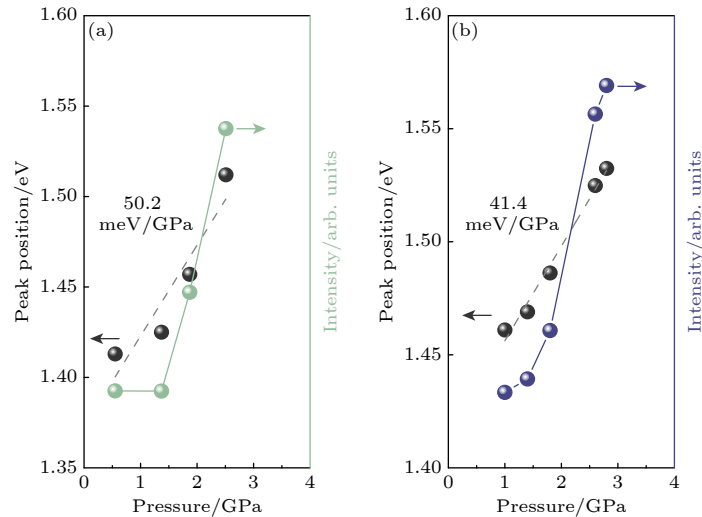


图4 在(a) 514 nm 和 (b) 633 nm 两种不同波长激光激发下 GaAsSb 纳米线的荧光峰峰位 (左边 Y 轴) 和强度 (右边 Y 轴) 随压力的变化情况, 其中黑色虚线是荧光峰位与压力的线性拟合结果

Fig. 4. Pressure dependence of the PL emission position (left Y-axis) and intensity (right Y-axis) of GaAsSb nanowires with excitation wavelength of (a) 514 nm, (b) 633 nm. The dashed line represents the linear fit results between the PL emission position and pressure.

证实了高压策略可以有效实现 GaAsSb 纳米线在室温条件下的光学性质研究. 在近期关于二元 GaAs 纳米线的高压原位荧光光谱研究中^[24], 同样发现了压致荧光增强现象, 并通过理论研究证实压力诱导的纳米线发光增强与传压介质和纳米线表面之间的电荷转移高度相关. 施加压力可以直接减小纳米线及介质界面间的原子间距、诱导增强电荷转移等界面相互作用、降低表面态密度并抑制非辐射复合, 从而实现荧光增强. 但是值得注意的是, GaAsSb 纳米线荧光强度与激发光波长相关, 尤其是在

473 nm 激光激发下, 其荧光强度显著减弱.

3.3 高压下 3 种激发波长激发的拉曼谱图

为进一步探究不同入射激发波长对于纳米线光学性质的影响, 我们在不同激发波长的条件下, 对 GaAsSb 纳米线进行了高压原位拉曼散射光谱测试. 图 5(a)—(c) 分别为在 473 nm, 514 nm 和 633 nm 三种波长条件下测得了 GaAsSb 纳米线的高压原位拉曼光谱. 图 5(a) 所示为入射波长为 473 nm 所激发 GaAsSb 纳米线升压过程的拉曼

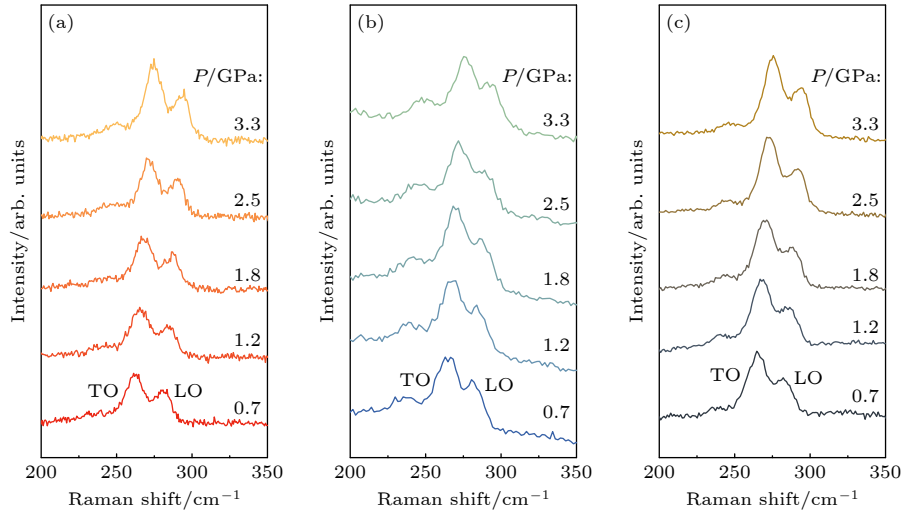


图 5 室温条件下, 在 (a) 473 nm, (b) 514 nm 和 (c) 633 nm 三种不同波长激光激发下 GaAsSb 纳米线的高压拉曼光谱

Fig. 5. High-pressure Raman spectra of GaAsSb NWs at room temperature with excitation wavelength of (a) 473 nm, (b) 514 nm, and (c) 633 nm.

光谱, 最高压力为 3.3 GPa. 拉曼信号由类 GaAs 横光学模式 (TO) 拉曼峰和类 GaAs 纵光学模式 (LO) 拉曼峰组成. 拉曼光谱实验的初始压力为 0.7 GPa, 在此压力点下, TO 峰和 LO 峰的峰位分别位于 261.7 cm^{-1} 和 280.8 cm^{-1} . 随着压力的升高, 由于晶格受到压缩, 诱导了声子能量增大, 两种模式的拉曼峰均表现出蓝移趋势. 图 5(b), (c) 分别为入射波长为 514 nm 和 633 nm 时, GaAsSb 纳米线的高压原位拉曼光谱, 其测试压力与 473 nm 完全相同. 它们的拉曼光谱同样由 TO 模式和 LO 模式拉曼峰组成, 在 0.7 GPa 压力下, TO 峰和 LO 峰的峰位分别位于 264.2 cm^{-1} (514 nm) 和 281.1 cm^{-1} (514 nm), 以及 264.9 cm^{-1} (633 nm) 和 282.2 cm^{-1} (633 nm), 633 nm 激发的拉曼光谱峰位值略高于 514 nm, 均明显大于 473 nm 所激发的拉曼峰位. 随着压力的升高, 514 nm 和 633 nm 激发的 TO 和 LO 拉曼峰的峰位都向更高波数方向移动, 呈蓝移趋势. 在加压过程中, 没有观测到新拉曼峰出现.

4 讨论部分

为了细致比较光谱的差异, 我们选取了 0.7 GPa, 1.2 GPa, 1.8 GPa 及 2.5 GPa 四个压力点, 分别对 473 nm, 514 nm 和 633 nm 三个不同波长的入射激光所测得的拉曼光谱进行对比. 如图 6 所示, 在相同的压力条件下, 与 473 nm 激光激发得到的拉曼光谱相比, 随着激发光波长增大, 拉曼光谱的 TO 峰和 LO 峰的峰位均产生了相对

蓝移的趋势. 我们将不同压力点 3 种波长入射光激发具体的 TO 拉曼峰位在表 1 中列出. 除了一些共振激发等特殊情况, 半导体材料的特征拉曼峰位不会随激发波长的变化而发生变化, 而温度及压力是可以直接影响特征拉曼峰位的移动. 在本工作中, 拉曼光谱测试是对于同一样品在完全相同压力下进行的, 同时也利用硅的一阶拉曼峰对光谱进行校正, 因此这种特征拉曼随激发波长的变化可能是来自于激光辐照后, GaAsSb 纳米线表面载流子非辐射复合产生光热效应. 这种光热效应已在 GaAs^[20,21], InAs^[22] 等半导体材料的常压和高压光学性质研究中被观测到. 参考前人关于 GaAs 纳米线的热效应研究工作, TO 模式拉曼峰的峰位能够反映样品表面温度^[26], 存在关于样品的 TO 峰拉曼波数与表面温度之间关系公式:

$$\frac{dv}{dT} = 0.016 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}. \quad (1)$$

因此可以通过计算两种波长的入射光辐照引起的 GaAsSb 纳米线 TO 拉曼峰的频率偏差来估算测试过程中纳米线表面的相对温度差的变化, 用来确定不同波长激发条件下的光热效应. 如图 7 所示, 波长越短的入射光辐照纳米线所产生表温度越高. 由 473 nm 激光辐照所产生温度显著高于 514 nm 或 633 nm 激光辐照, 相对温度差最高可达 200 K. 同时, 注意到随压力升高相对温度差逐渐减小, 因此推断可以利用高压策略降低表面态密度来抑制光热效应.

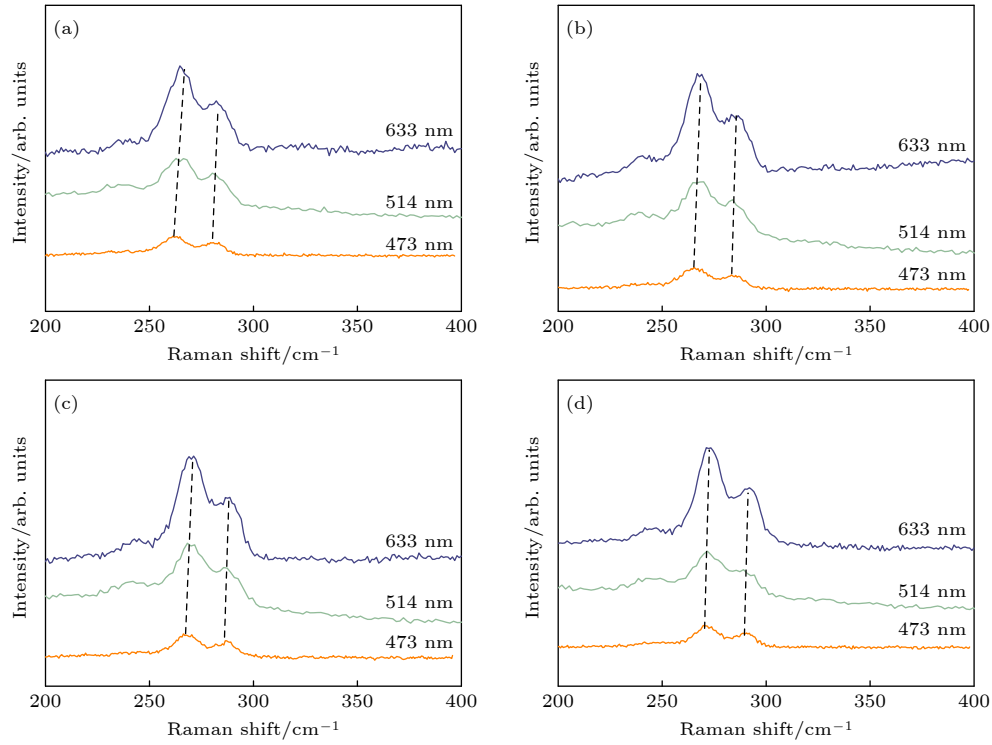


图 6 在 (a) 0.7 GPa, (b) 1.2 GPa, (c) 1.8 GPa 和 (d) 2.5 GPa 四个压力点下由 473 nm, 514 nm 和 633 nm 三种不同波长激光激发得到的拉曼峰对比

Fig. 6. Raman spectra stimulated by incident laser at wavelengths of 473 nm, 514 nm, and 633 nm under the pressures of (a) 0.7 GPa, (b) 1.2 GPa, (c) 1.8 GPa, (d) 2.5 GPa.

表 1 不同压力下由 3 种波长的激发光激发的拉曼峰的 TO 模式峰位.

Table 1. The TO mode Raman peak positions stimulated by laser at different wavelengths under different pressures.

TO/cm ⁻¹	0.7 GPa	1.2 GPa	1.8 GPa	2.5 GPa
473 nm	261.7	265.0	267.8	271.2
514 nm	264.2	267.2	269.7	272.5
633 nm	264.9	267.8	270.2	272.9

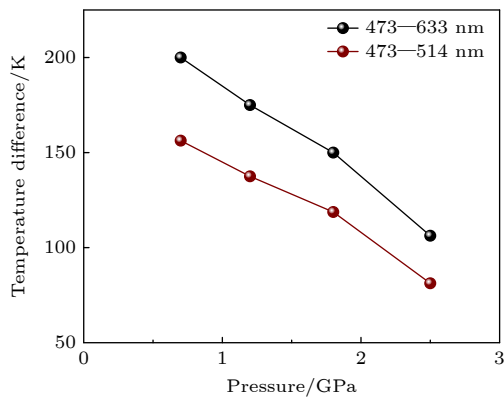


图 7 不同压力下由两种不同波长入射激光引起的相对温差

Fig. 7. Pressure dependence of the relative temperature difference excited by the selected two different incident lasers.

图 8 所示为在 1.4 GPa, 1.8 GPa 和 2.5 GPa 下由不同波长激光激发的荧光光谱. 在测试过程中已经采用相同功率 (2 mW) 来激发样品, 同时为了减小辐照区域样品密度和不同波长激光辐照载流子浓度差异带来的影响, 进一步利用 TO 模式拉曼峰的强度对 PL 光谱进行了归一化处理. 可以看出在 3 个压力点下, 随着波长的减小, 其荧光强度减弱, 尤其是由 473 nm 激光激发得到的荧光强度明显弱于 514 nm 和 633 nm 激发, 这与通过拉曼光谱对比估算出的样品表面温度差的结果相一致. 相对于 514 nm 和 633 nm, 473 nm 可以引起更为强烈的光热效应, 而温度的提高可以进一步抑制 GaAsSb 纳米线表面的辐射效率 (即温度猝灭效应). 随着压力的增大, 表面态密度减小, 导致荧光增强, 这与拉曼光谱研究所发现的光热效应随压力升高而受到抑制的实验现象相符. 高压增强了传压介质和纳米线表面之间的电荷转移, 对 GaAsSb 纳米线表面态产生了钝化效应, 抑制了表面非辐射复合及光热效应, 在这种条件下, GaAsSb 纳米线表面辐射复合增强, 因此产生的光热效应也会被抑制, 导致不同波长辐照下样品表面的温度差逐渐变小.

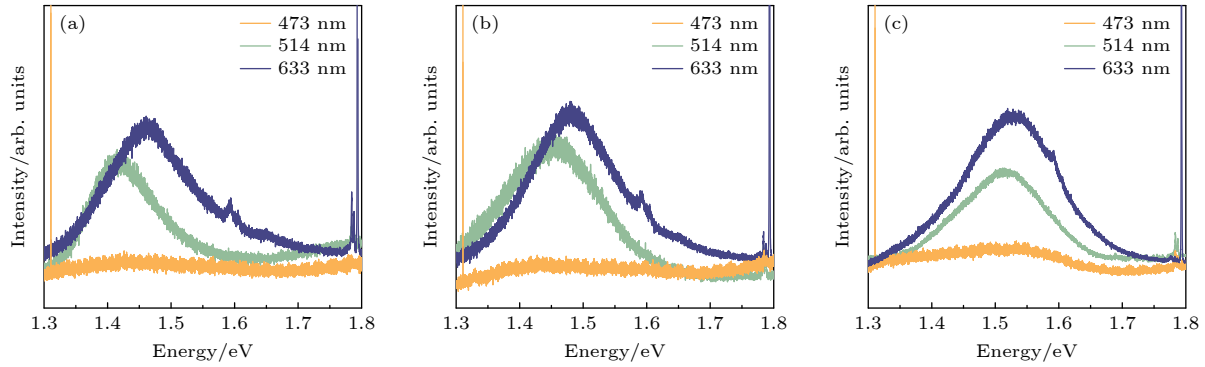


图 8 (a) 1.4 GPa, (b) 1.8 GPa, (c) 2.5 GPa 三个压力点下由 473 nm, 514 nm 和 633 nm 三种不同波长激光激发得到的荧光峰对比
Fig. 8. The PL spectra stimulated by incident laser at different wavelengths of 473 nm, 514 nm, and 633 nm under the pressure of (a) 1.4 GPa, (b) 1.8 GPa, (c) 2.5 GPa.

5 总 结

本文利用金刚石对顶砧加压装置, 通过荧光光谱与拉曼光谱技术, 在室温条件下研究了在不同波长入射光激发条件下 GaAsSb 纳米线光学性质. GaAsSb 纳米线呈现了压力诱导的荧光增强现象, 同时其荧光强度也与激发波长相关. 在相同压力条件下, GaAsSb 纳米线 TO 模式拉曼峰的频率也表现出了波长依赖性, 短波长的入射光会引起更显著的光热效应, 导致 GaAsSb 纳米线光致发光效率的进一步减弱. 压力的提高能够减少表面态密度, 抑制非辐射复合及光热效应, 这些均有利于提升 GaAsSb 纳米线的发光效率.

参考文献

- [1] Liu X, Gu L L, Zhang Q P, Wu J Y, Long Y Z, Fan Z Y 2014 *Nat. Commun.* **5** 4007
- [2] Guo W, Zhang M, Banerjee A, Bhattacharya P 2010 *Nano Lett.* **10** 3355
- [3] Cui Y, Wei Q Q, Park H K, Lieber C M 2001 *Science* **293** 1289
- [4] Tian B Z, Zheng X L, Kempa T J, Fang Y, Yu N F, Yu G H, Huang J L, Lieber C M 2007 *Nature* **449** 885
- [5] Nowzari A, Heurlin M, Jain V, Storm K, Hosseinnia A, Anttu N, Borgström M T, Pettersson H, Samuelson L 2015 *Nano Lett.* **15** 1809
- [6] Zhang Q, Ha S T, Liu X F, Sum T C, Xiong Q H 2014 *Nano Lett.* **14** 5995
- [7] Duan X F, Huang Y, Agarwal R, Lieber C M 2003 *Nature* **421** 241
- [8] Dai X, Zhang S, Wang Z L, Adamo G, Liu H, Huang Y Z, Couteau C, Soci C 2014 *Nano Lett.* **14** 2688
- [9] Soci C, Zhang A, Bao X Y, Kim H, Lo Y, Wang D 2010 *J. Nanosci. Nanotechnol.* **10** 1430
- [10] Dick K A 2008 *Prog. Cryst. Growth Ch.* **54** 138
- [11] Zhang L L, Li X, Cheng S B, Shan C X 2022 *Materials* **15** 1917
- [12] Duan X, Wang J, Lieber C M 2000 *Appl. Phys. Lett.* **76** 1116
- [13] Li L X, Pan D, Xue Y Z, Wang X L, Lin M L 2017 *Nano Lett.* **17** 622
- [14] Li Z Y, Yuan X M, Gao Q, Yang I, Li L, Caroff P, Allen M, Allen J, Tan H H, Jagadish C, Fu L 2020 *Nanotechnology* **31** 244002
- [15] Wang W, Yip S P, Meng Y, Wang W J, Wang F, Bu X M, Lai Z X, Kang X L, Xie P S, Quan Q, Liu C T, Ho J C 2021 *Adv. Opt. Mater.* **9** 22
- [16] Zhuo R, Wen L J, Wang J, Dou X M, Liu L, Hou X Y, Liao D Y, Sun B Q, Pan D, Zhao J H 2024 *Sci. China Phys. Mech.* **67** 127311
- [17] Chandrasekhar M, Pollak F H 1977 *Phys. Rev. B* **15** 2127
- [18] Liang Y L, Yao Z, Yin X T, Wang P, Li L X, Pan D, Li H Y, Li Q J, Liu B B, Zhao J H 2019 *Chin. Phys. B* **28** 076401
- [19] Zhou W, Chen X J, Zhang J B, Li X H, Wang Y Q, Goncharov A F 2014 *Sci. Rep.* **4** 6472
- [20] Yin X T, Liang Y L, Li L X, Liu S, Pan D, Wang P 2024 *Nanotechnology* **35** 245702
- [21] Yazji S, Zardo I, Soini M, Postorino P, Morral A F I, Abstreiter G 2011 *Nanotechnology* **22** 325701
- [22] Majumdar D, Ercolani D, Sorba L, Singha A 2016 *J. Mater. Chem. C* **4** 2339
- [23] Zardo I, Yazji S, Marini C, Uccelli E, Morral A F I, Abstreiter G, Postorino P 2012 *ACS Nano* **6** 3284
- [24] Ma L M, Wang P, Yin X T, Liang Y L, Liu S, Li L X, Pan D, Yao Z, Liu B B, Zhao J H 2020 *Nanoscale Adv.* **2** 2558
- [25] Chang C C, Chi C Y, Yao M Q, Huang N F, Chen C C, Theiss J, Bushmaker A W, LaLumondiere S, Yeh T W, Povinelli M L, Zhou C W, Dapkus P D, Cronin S B 2012 *Nano Lett.* **12** 4484
- [26] Soini M, Zardo I, Uccelli E, Funk S, Koblmüller G, Morral A F I, Abstreiter G 2010 *Appl. Phys. Lett.* **97** 263107

Room-temperature photoluminescence in GaAsSb nanowires under high-pressure^{*}

YIN Xuetong¹⁾ LIAO Dunyuan²⁾ PAN Dong^{2)†}

WANG Peng^{1)‡} LIU Bingbing^{1)††}

¹⁾ (State Key Laboratory of Superhard Materials, Jilin University, Changchun 130012, China)

²⁾ (State Key Laboratory of Semiconductor Physics and Chip Technologies, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

(Received 11 January 2025; revised manuscript received 27 January 2025)

Abstract

Ternary GaAsSb nanowires (NWs) have considerable potential applications in infrared optical nanodevices due to their direct bandgap and wavelength-tunable light emission which covers the range from 870 nm to 1700 nm by changing the content of Sb in GaAsSb NWs. Due to the high surface state density, the light emission efficiency of GaAsSb NWs is quite low and the light emission is difficult to observe under room-temperature conditions. Previous studies on the optical properties of GaAsSb NWs were mainly carried out under low-temperature conditions, thereby limiting their room-temperature optical properties modulation research and room-temperature applications. In the present study, we modulate the optical properties of GaAsSb NWs under room-temperature conditions through the high-pressure strategy, by means of both photoluminescence (PL) and Raman spectroscopy. With the increase of pressure, the PL intensity of GaAsSb NWs is obviously enhanced at room temperature and the PL peak position shows a blue-shifted trend. With the change of wavelength (473 nm, 514 nm, and 633 nm) of the incident laser, the excitation-wavelength-dependent PL can be observed in GaAsSb NWs. The laser with a longer wavelength (633 nm) will excite the stronger light emission. The Raman spectra of GaAsSb NWs excited by different lasers (473 nm, 514 nm, and 633 nm) all show blue shift under compression. We select four pressure points (0.7 GPa, 1.2 GPa, 1.8 GPa, and 2.5 GPa) for the detailed comparison between the Raman spectra excited by different lasers. Under the excitation of 473 nm laser, the Raman peaks of GaAsSb NWs show an evident red-shift compared with those excited by 514 nm or 633 nm laser, which reveals the existence of temperature difference. The estimated relative temperature difference in GaAsSb NWs induced by two different lasers (473 nm and 633 nm) can reach up to 200 K. The laser with shorter wavelength will induce a stronger heating effect in GaAsSb NWs and reduce the light-emission efficiency. Under high-pressure condition, the charge transfer between the surface of GaAsSb NWs and pressure transmitting medium can be enhanced, which resulting in the reduction of surface state density and laser-heating effect. Therefore, the high-pressure strategy provides an efficient route for suppressing the high surface state density and optimizing optical properties of semiconductor nanostructures.

Keywords: GaAsSb, nanowire, high-pressure, room-temperature photoluminescence

PACS: 78.55.Cr, 78.55.-m, 78.67.Uh

DOI: 10.7498/aps.74.20250042

CSTR: 32037.14.aps.74.20250042

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11604116, 12374459), and the Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences (Grant No. XDB0460000), and the Youth Innovation Promotion Association, Chinese Academy of Sciences (Grant Nos. 2017156, Y2021043).

† Corresponding author. E-mail: pandong@semi.ac.cn

‡ Corresponding author. E-mail: wangpengtrrs@jlu.edu.cn

†† Corresponding author. E-mail: liubb@jlu.edu.cn



高压下GaAsSb纳米线室温光致发光特性研究

殷雪彤 廖敦渊 潘东 王鹏 刘冰冰

Room-temperature photoluminescence in GaAsSb nanowires under high-pressure

YIN Xuetong LIAO Dunyuan PAN Dong WANG Peng LIU Bingbing

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 74, 067802 (2025) DOI: 10.7498/aps.74.20250042

CSTR: 32037.14.aps.74.20250042

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.74.20250042>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

高压下TiO₂纳米线晶粒和晶界性质及电输运行为

Grain and grain boundary behaviors and electrical transport properties of TiO₂ nanowires under high pressure

物理学报. 2022, 71(9): 096101 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20212276>

表面效应对纳米线电极屈曲失稳的影响

Surface effects on buckling of nanowire electrode

物理学报. 2022, 71(3): 033101 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20211864>

高压导致纳米TiO₂形变的电子显微研究

Electron microscopic study on high-pressure induced deformation of nano-TiO₂

物理学报. 2023, 72(3): 036201 <https://doi.org/10.7498/aps.72.20221656>

纳米线环栅隧穿场效应晶体管的电容模型

Capacitance model for nanowire gate-all-around tunneling field-effect-transistors

物理学报. 2021, 70(21): 218501 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20211128>

限域条件下氮分子的高温高压诱导聚合

High-pressure high-temperature induced polymerization of nitrogen molecules under restricted condition

物理学报. 2024, 73(8): 086102 <https://doi.org/10.7498/aps.73.20240173>

毫秒时间分辨同步辐射X射线衍射和高压快速加载装置及应用

Millisecond time-resolved synchrotron radiation X-ray diffraction and high-pressure rapid compression device and its application

物理学报. 2022, 71(10): 100702 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20212360>