

$\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 量子阱激光器 材料的光致荧光谱

程文芹 蔡丽红 谢小刚 王文新 胡 强 周钧铭

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

(1994 年 10 月 12 日收到)

测量了 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 量子阱激光材料的光致荧光谱. 发现在室温连续激光器材料的光致荧光谱中有两个峰, 而不能激射的材料中则只有一个很宽的峰. 将高能峰归属于准费密能级电子的跃迁.

PACC: 7855

近些年来用分子束外延(MBE)方法生长的量子阱材料制作的半导体激光器得到了很大的发展. 室温连续输出功率高达近百瓦. 一个重要原因是量子阱激光器的阈值电流密度低而且随着温度的升高阈值电流密度的增加比体材料的慢. 但是用 MBE 方法生长激光器材料比生长其它器件的材料更困难. 作者曾用 MBE 方法生长的量子阱材料制作出阈值电流密度为 $300 \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的激光器, 波长为 $809 \mu\text{m}$ 但是材料的重复性差. 本文对用于制作激光器的 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 量子阱材料的光致荧光谱进行了测量. 看到了能够在室温连续工作的材料与不能激射材料光致荧光谱的区别.

图 1 给出一个室温连续激光器材料的室温光致荧光谱. 量子阱中掺铝, 铝组份 y 约为 0.03. 光学腔的铝组份 x 值约为 0.3. 阱宽度约为 10 nm. 在光致荧光谱中出现了两个峰, 一个峰在 12055 cm^{-1} (1.494 eV), 另一个峰在 12400 cm^{-1} (1.537 eV). 两峰的间距为 43 meV. 前者来自导带阱内第一能级电子与价带阱内第一重空穴能级重空的复合辐射.

图 2 给出一个不能激射材料的光致荧光谱. 谱中只出现一个很宽的荧光峰.

为了搞清楚图 1 的高能峰(12400 cm^{-1})是什么峰, 做了偏振荧光谱, 也做了光致荧光谱随激发光强的变化. 测量结果表明二个峰的相对强度当改变偏振时无明显变化. 另外, 二峰的间距(43 meV)也远大于估算的轻、重空穴跃迁峰的间距(约为 14 meV). 还有一个可能是来自第二电子和重空穴子能级的跃迁. 但二峰的间距又比它们的跃迁峰与第一子能级跃迁峰的间距(估计为 90 meV)小得多. 这样, 把高能峰归属为准费密能级的跃迁是很自然的. 这一归属需要说明两个问题, 一个是打破 K 的守恒问题, 它可能是由于导带电子之间的相互作用. 就像 n 型 GaAs 的光致荧光谱那样^[1]. 另一个问题是为什么在实验所用激发光强度范围内没有发现高能峰的明显位移. 一个可能的解释是, 在一定激发光强度范围内, 当激发光强度增加时复合速率也加快. 有关高能峰的解释还有待进一步研究. 类

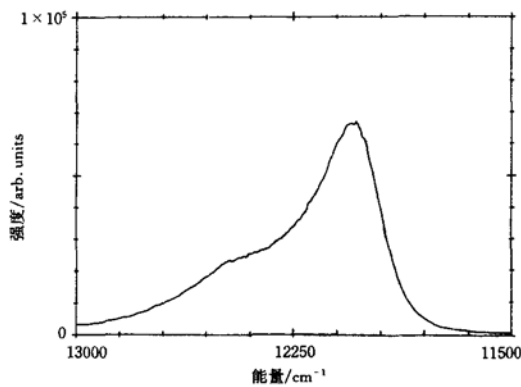


图1 室温连续 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 量子阱激光器材料的室温光致荧光谱

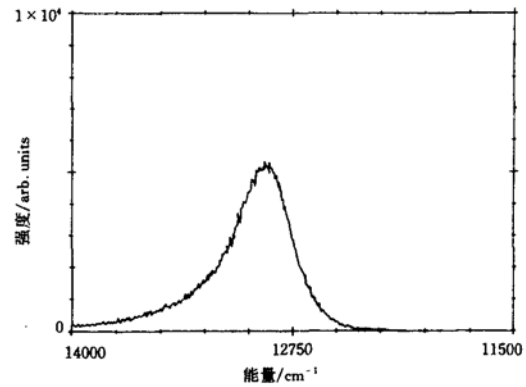


图2 不能激射的 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 量子阱材料的室温光致荧光谱

似图1的光致荧光谱的谱线宽度都比较窄.这说明非辐射复合中心很少,使光产生的载流子的寿命变得很长.容易形成载流子的积累,也就容易形成粒子数反转因而容易激射.实验结果可以说明这一点.

研究表明,非辐射复合速率比辐射复合速率大得多^[2],不能激射材料的光致荧光谱线的宽度很宽,说明量子阱中存在大量非辐射复合中心.对非有意掺杂 $\text{GaAs}/\text{AlGaAs}$ 量子的光致荧光谱的研究^[3,4]表明,用MBE方法生长 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 时受主杂质(多半是碳)不进入 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中而是浮在表面,当生长 GaAs 时进入 GaAs 的前几层, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层越宽进入 GaAs 中的越多,层数也越多.这引起界面的不平整及由此引起的其它缺陷.后者可能是非辐射复合中心.即使是碳辐射复合中心也会使荧光峰加宽从而增大阈值电流密度,严重时也能导致不激射.

这样看来,要想用MBE的方法生长出好的 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 量子阱激光材料必须减少污染.污染可能来自原材料,加热器,系统或清洗过程.

总之,对很多 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 量子阱材料光致荧光测量的结果表明,室温连续激光器材料的光致荧光谱出现双峰.而不能激射材料只出现一个很宽的峰.双峰中的高能峰被认为来自准费密能级电子的跃迁.

[1] Jiang De-sheng, Y. Makita, K. Ploog and H. J. Queisser, *J. Appl. Phys.*, **53**(1982), 999.

[2] M. Krah, D. Bimberg and R. K. Bauer, *J. Appl. Phys.*, **67**(1989), 434.

[3] C. Delalaude, *Physica*, **146B**(1987), 112.

[4] Robert C. Miller, Arthur C. Gossard and Won. T. Tsang, *Physica*, **117**(1983), 714.

PHOTOLUMINESCENCE SPECTRA OF $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ QUANTUM WELL FOR LASERS

CHENG WEN-QIN CAI LI-HONG XIE XIAO-GANG WANG WEN-XIN

HU QIANG ZHOU JUN-MING

(*Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080*)

(Received 12 October 1994)

ABSTRACT

The photoluminescence spectra of $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($0 < y < 0.3$) quantum well materials for lasers were measured at room temperature and liquid nitrogen temperature. There are two peaks in the spectra of the materials from which the lasers operated continuously at room temperature were fabricated. The peak on the high energy side was attributed to the recombination of electrons at quasi-Fermi energy level. There was only one wide peak in the spectra of the material the diodes prepared with such material can not be stimulated.

PACC: 7855