

MOCVD-InP 的低温光致发光光谱

舒占永 杜明泽 蒋 红 洪春荣 元金山 金亿鑫 张新夷

(中国科学院长春物理研究所, 吉林, 长春)

摘要——包括深中心发光在内的 MOCVD-InP 的低温光致发光光谱, 表明了非故意掺杂外延层较高的纯度, 初步判别了可能引入的杂质, 并证明了电学测量与光学测量的一致性。

关键词——光致发光光谱, 低温, 发光机制。

1. 引 言

用新组装的 MOCVD 系统, 以 $\text{TmIn}[\text{In}(\text{CH}_3)_3]$ 和 PH_3 为反应源材料, 在常压下成功地进行了非故意掺杂的 InP 材料单晶薄膜的生长。电学测量结果表明: 外延层的室温迁移率和载流子浓度可在 $3500 \sim 4000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 和 $3.3 \times 10^{15} \sim 2.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 范围内重复。

为了表征外延层的性质, 我们对 MOCVD-InP 外延层的发光特性进行了较全面的研究。InP 的 PL 谱峰在红外波段, 我们对 InP 的完整的 PL 谱进行了测试与分析。

2. MOCVD-InP 的低温 PL 谱

MOCVD-InP 的激子发光峰和杂质发光峰在低温 (9K) 时处在 860~940 nm 范围, 光电倍增管 9684-QB 的响应曲线在此范围刚开始有较明显的下降, 不过, 考虑到它较高的灵敏度, 我们对该范围的谱线仍用光电倍增管 9684-QB 进行了测量, 测量结果均经过标准曲线校正。激发光源为 Ar^+ 激光器, 光谱仪为 GDM1000。

2.1 典型的 MOCVD-InP 的光致发光光谱

如图 1 所示, 半宽度为 9.3 meV 的近带边峰的中心位置在 1.416 eV。InP 材料的禁带宽度在 9K 时为 1.420 eV, 所以, 我们认为 1.416 eV 的发光峰由自由激子发光峰和束缚激子发光峰组成。实验证明, 这些发光峰在温度降到 2K 以下时才能分辨^[1]。实验还证明中心在 1.381 eV 时的发光峰为杂质的发光峰, 样品的 PL 谱随其迁移率的变化可以清楚地说明这一点, 如图 2 所示。随着样品的迁移率的增加, 即样品中杂质浓度的相应减少 (电学测量已

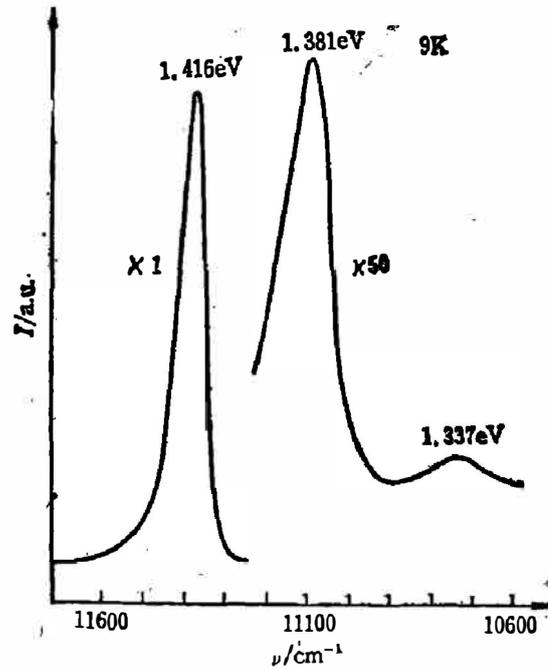


图 1 典型的 MOCVD-InP 的低温光致发光光谱
Fig. 1 Typical PL spectrum of InP grown by MOCVD.

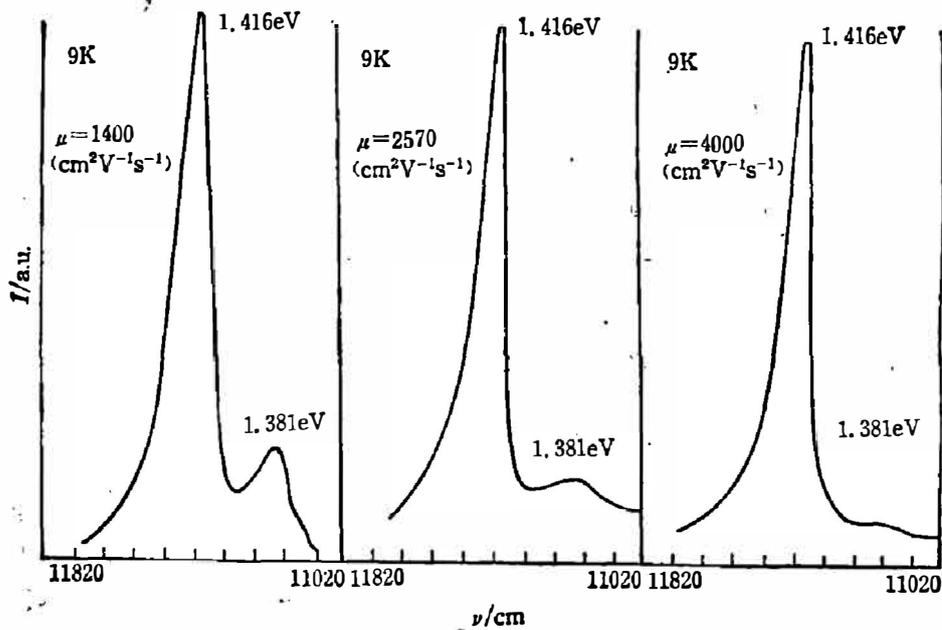


图 2 具有不同迁移率的 MOCVD-InP 的低温光致发光光谱
Fig. 2 PL spectra of InP grown by MOCVD with different electron mobility.

经证实了这一点), 样品的这一发光峰的强度在有规律地逐渐减弱。考虑到峰的中心位置及反应源材料的种类, 我们初步认为这一杂质发光峰与 O, Zn 杂质有关, 发光机制包括与 O, Zn 有关的施主、受主对发光和导带电子到 O 和 Zn 的受主能级的跃迁, 较精细的 4.2KPL 谱的研究曾证实了这一点^[2]。中心在 1.337eV 的发光峰被认为是杂质发光峰的声子伴线。一方面, 实验发现该峰的强度正比于 1.381eV 的杂质发光峰的强度, 且随其变化而做相同的改变。另一方面, InP 外延层的喇曼光谱证明了这一点, 如图 3 所示。喇曼谱表明 MOCVD InP 的 LO 声子线的能量为 43.9 meV, 与 1.337 eV 和 1.381 eV 的差值一致。

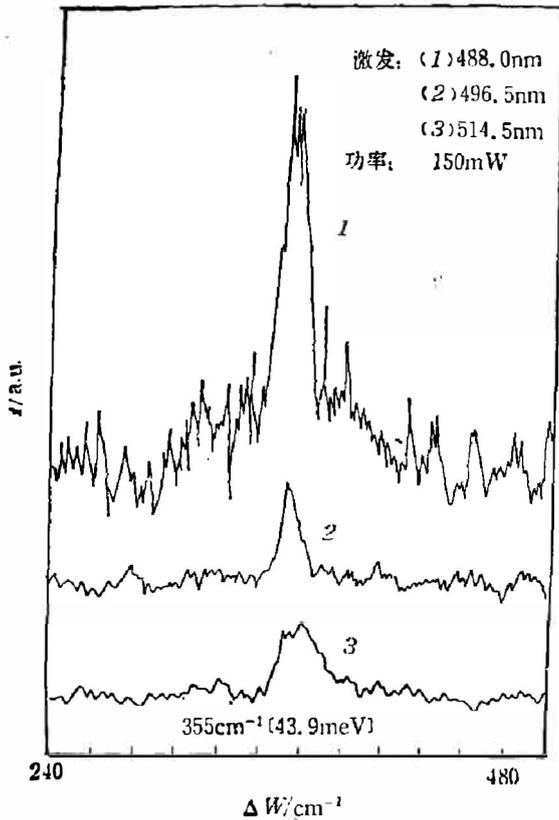


图3 MOCVD-InP 的喇曼光谱
Fig. 3 Raman spectra of InP grown by MOCVD.

2.2 不同迁移率外延层的 PL 谱随样品迁移率的改变

MOCVD-InP 的 PL 谱随样品迁移率改变的实验结果,如图 2 所示。实验一方面证明了 1.381 eV 的发光峰属于杂质发光,另一方面也说明了电学测量与光学测量的一致性。

2.3 不同生长温度的外延层的 PL 谱。

生长温度不同的样品,其 77K PL 谱中近带边峰的发光强度和半宽度的变化如图 4 所示。图中曲线说明,外延层的生长温度对发光效率有很大的影响。其原因可能是当生长温度较低时,由于反应源 PH_3 (反应源材料对 PH_3 和 TMIIn) 的缓慢分解,引起了生长层化学配比和非故意掺杂杂质的改变。经常与形貌有关的结构缺陷,或是与晶格失配有关的点缺陷将引起 PL 谱强度的减小。较低的生长温度可能造成生长层中离化杂质浓度的增加及结构缺陷的增加,因此引起 PL 谱半宽度的增加。

3. MOCVD-InP 的深中心发光

光电倍增管 9684-QB 不适合对波长在 950 nm 以上的红外辐射的探测。对于波长较长的深中心发光,我们用 Ge 探测器进行了测量,限于系统的差别,测量温度为 77K。

图 5 为包括深中心发光在内的 MOCVD-InP 的光致发光光谱。图中 (a), (b) 和 (c) 三个样品的迁移率分别为 $1800, 2500$ 和 $2850 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。在 (b) 中,可以看到中心位置在

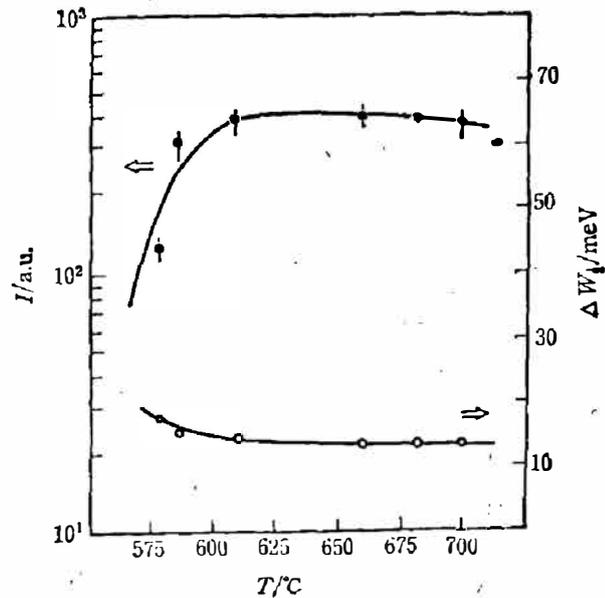


图4 不同温度下生长的 MOCVD-InP 的
发光强度与半宽度(77K)

Fig. 4 Photoluminescence intensity and half width measured at 77K versus substrate temperature for InP grown by MOCVD.

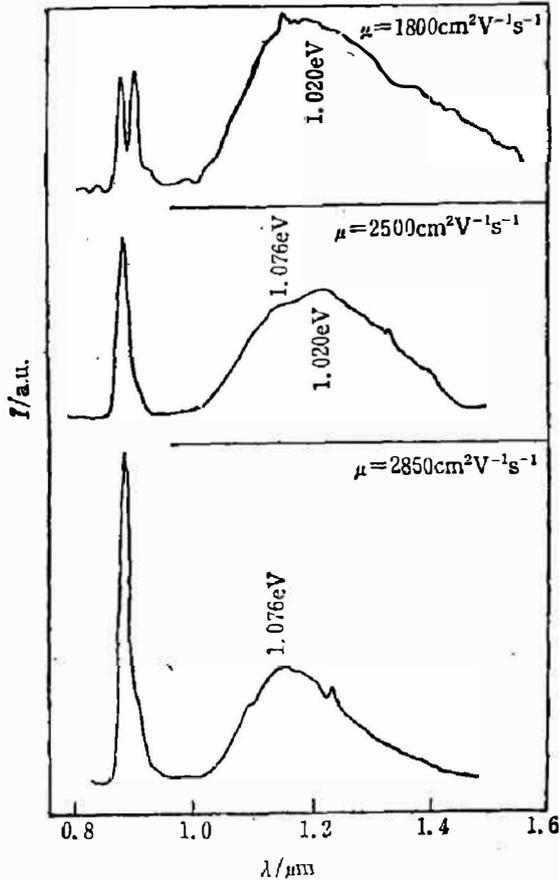


图 5 不同迁移率的 MOCVD-InP 的深中心光致发光光谱

Fig. 5 PL spectra of deep levels of InP grown by MOCVD with different mobility.

1.020 eV 和 1.076 eV 的两个发光峰；在 (a) 中, 1.020 eV 峰变得更强, 使得 1.076 eV 峰不能分辨；在 (c) 中 1.020 eV 峰已经看不见, 只有 1.076 eV 峰很清楚。更多的实验结果表明, 在迁移率较高的样品中, 只能看到 1.076 eV 峰, 只有在迁移率较小时, 才出现较强的 1.020 eV 的发光。因此, 我们认为 1.020 eV 的发光是某种杂质的发光, 它只在杂质浓度较大时, 即迁移率较低时占主导地位；而 1.076 eV 峰存在于所有样品中, 且具有相当高(与带边发光相比)的强度。不同 P 气氛下的生长实验证明了该峰可能是与磷(P)空位有关的络合物峰^[3]。

由此可知, MOCVD-InP 外延层的光致发光光谱是表征其性质, 尤其是材料纯度的有效方法。测量结果说明了生长温度对外延层质量的影响和杂质对外延迁移率的影响, 并指出了杂质和缺陷的可能的种类和特点。光致发光测量与电学测量, 以及深能级的 DLTS 测量^[3], 提供了新组装的 MOCVD 系统的可能杂质来源和最佳外延生长条件, 为以后生长量子阱与超晶格结构打下基础。

参 考 文 献

- [1] Razeghi M. et al., *Appl. Phys. Lett.* **52** (1988), 2: 117.
- [2] Bass S. J. et al., *J. Cryst. Growth.* **64** (1983), 68.
- [3] 舒占永, 中国科学院长春物理所理学硕士论文, 1988.

PHOTOLUMINESCENCE SPECTRA AT LOW TEMPERATURE OF InP GROWN BY METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION

Shu Zhanyong, Du Mingze, Jiang Hong, Hong Chunrong,
Yuan Jinshan, Jin Yixin, Zhang Xinyi

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica, Changchun, Jilin, China)

ABSTRACT

The photoluminescence spectra at low temperature of InP grown by metalorganic chemical vapor deposition, involving the spectra of deep energy levels, have indicated the high purity of the undoped epitaxial layers, identified the impurities probably introduced, and showed the consistency of electrical and optical measurements.