

论掺铜 GaAs 中受主络合物和束缚激子*

王占国

H. P. Gislason, B. Monemar

(中国科学院半导体研究所)

(瑞典 Linköping 大学物理和测量技术系)

本文对不同条件下扩铜 HB、SI-LEO 体 GaAs 和 VPE、LPE-GaAs 样品与铜相关的光致发光谱(1.36 eV PL 带, 束缚激子 C_0 (1.5026 eV) 和 F_0 (1.4832 eV) 等)的行为进行了全面、系统的研究, 并对前人的结果做了评述。首次报道了扩铜条件及其扩铜后的淬火过程和热处理条件对 PL 谱线的影响, 其主要结果如下: (1) 在 Ga-GaAs 溶液中扩铜, 仅能观察到 1.36 eV PL 带和束缚激子谱线 C , 但从未看到 F 谱线, 这意味着在形成 F 中心的某一过程中必有 V_{As} 的参与。(2) 与铜相关中心的热处理行为显著不同。 C 中心很不稳定, 在温度等于或小于 500°C 时处理几十分钟, 或在室温下存放几周后便趋于消失。 F 中心和 1.36 eV PL 带却基本上不依赖于这种处理。(3) 扩铜后快速淬火使 C 的 PL 强度明显增加; 相反, 缓慢淬火将导致 C 趋于消失, F 中心 PL 强度增加。(4) 随着真空铜扩散温度的增高, F 谱线强度(相对于 C)增加并逐步占统治地位。

电导和霍尔系数的测量表明: 不管所选用的原始材料如何, 样品在扩铜后都为 P 型。对 850°C, 12 小时 Cu 扩散样品实验研究发现: 0.15 eV 受主能级和 1.36 eV PL 带分别控制了样品的电学和光学性质。这个结果有力地支持了普遍被人们接受的 1.36 eV PL 带相应于导带或浅施主到 0.15 eV 受主能级跃迁的指派。

为了进一步揭示束缚与铜相关激子谱线 C 和 F 的中心的本质, 作者对这些样品进行了磁光性质的测量**。结合塞曼透射谱测量中所观察到的束缚激子线磁分量之间的热化(Thermalization)行为和反磁位移, 作者首次识别了 C 和 F 中心的中性受主特征, 即每一个激子络合物都是由一个强束缚的空穴和一个由它的库仑场弱束缚的电子所组成。此外, 本文还观察到了位于 1.5022 eV 处的来自等电子中心的新发光峰。

基于上述新结果, 结合对已发表资料分析, 本文提出如下与铜相关中心的微观结构模型:

1.36 eV 中心——中性 Cu_{Ga} 受主, 具有 $\langle 100 \rangle$ 对称性。

C 中心——线性 $\langle 111 \rangle$ 取向的 $Cu_{Ga}Cu_i$ 络合物, 中性受主。间隙铜的参与反映了 C 中心的热不稳定性。

F 中心—— $(Cu-Ga)_{Ga}$ 中性受主络合物, 具有 $\langle 100 \rangle$ 对称性。 F 中心的 $\langle 100 \rangle$ 取向排除了 V_{As} 参与络合物的可能性。另外, 可以期望高温扩散时样品表面的 $(Ga)_i$ 浓度比体内高, 这同 F 中心在接近表面处有较强的 PL 信号实验结果相一致。

正像人们把 0.15 eV 受主能级与 1.36 eV PL 带连系在一起一样, 想当然地把 0.45 V 能级同 1.02 eV PL 带连系在一起; 进而又把束缚激子线 C 和 F 看成分别束缚在 0.15 和 0.45 eV 受主中心上的激子复合发光。本文以新的实验结果指出上述指派是不正确的。

* 本工作是在瑞典隆德大学, 固体物理系, 光致发光实验室(现迁到 Linköping 大学)完成的。

** 这部份工作是在法国 Grenoble 完成的, 参于这部分工作的还有 Ch. Uihlein 和刘普霖。