

研究简报

分子束外延 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中的持续光电导中心

周 炳 林

(中国科学院上海冶金研究所)

1983年3月22日收到

提 要

在掺硅分子束外延 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中观察到一个持续光电导中心。当组份 $x = 0.25$ 时, 热激活能为 $E_a = 0.06\text{eV}$ 。为了说明持续光电导主要来自该中心的贡献, 必须确证样品不均匀性的贡献是次要的。提出了把迁移率温度关系作为判别标准。

一、引言和实验方法

和 GaAs 不同, n 型掺杂 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 在室温下就出现载流子冻结现象^[1]。Nelson^[2]研究了掺碲 n 型液相外延 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 的光霍耳效应, 指出引起载流子冻结的深中心也是样品持续光电导现象的起因。所谓持续光电导(以下简称 pp), 就是样品的激发光照停止后, 光电导能持续几小时甚至几天的现象。但是, Sheinkman 等^[3]分析了半导体内部不均匀性的物理性质, 认为不均匀性造成的势垒能使光生电子和空穴在空间上分离, 从而出现 pp 现象。目前有关 pp 起因的讨论往往各执一词, 我们则认为两种情况都有可能。因此, 我们在研究 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中的 pp 中心时, 也注意到样品中不均匀性的存在并对它们作了研究和讨论。

实验所用的样品是在掺铬半绝缘 GaAs 衬底上生长的掺硅分子束外延 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层, 厚度 $2.5-2.7\mu\text{m}$, 组份 $x = 0.25-0.30$ 。用范得堡法在 $4.2-300\text{K}$ 温度范围作了暗霍耳效应和光霍耳效应测量, 激发光源为 GaAs 红外发光管(中心波长 $0.95\mu\text{m}$)。由于 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 异质结势垒的阻挡作用, 衬底中光生载流子对 pp 的贡献可以不予考虑。

二、实验结果和讨论

图 1 给出了样品 #2337 和 #4073 电子浓度 n_H 的温度依赖关系。可以看出, 室温以下 n_H 指数式下降, 120K 左右趋于稳定。样品 #2337 低温下 n_H 直到 4.2K 保持不变, #4073 在 60K 以下由于阻值过高, 无法作进一步的测量。加恒定光照后, 样品 n_H 值显著增加。我们采用强激发条件, 记录 n_H 的饱和值。对于 #2337, 光生载流子为热平衡载流子的 6 倍, 而 #4073 竟增加了 10,000 倍! 光照停止后, 光生载流子能持续存在几天之久。这是首次

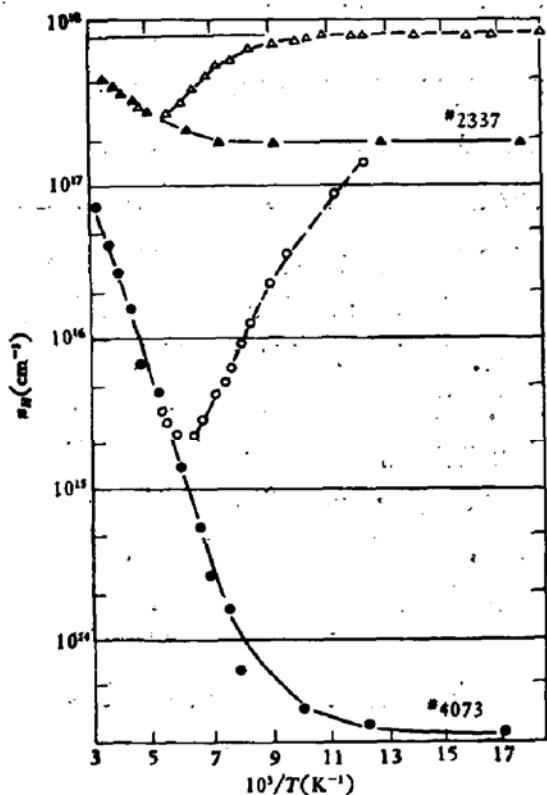


图1 摊硅分子束外延 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 的电子浓度 n_H 的温度依赖关系。图中连续曲线和黑点是暗霍耳值;虚线和白点则是光霍耳值。

▲△ 样品 #2337, $x = 0.25$
●○ 样品 #4073, $x = 0.30$

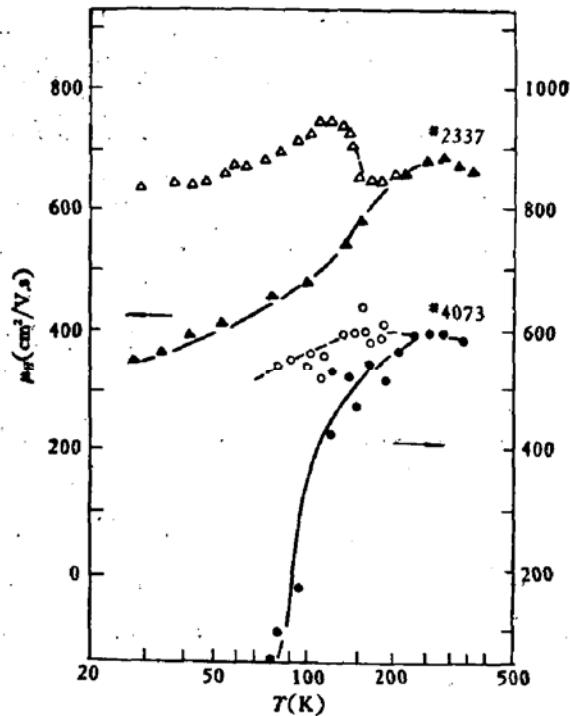


图2 摊硅分子束外延 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 的电子迁移率 μ_H 的温度依赖关系。实线和黑点是无光照时值,虚线和白点则是光照时值。

▲△ 样品 #2337, $x = 0.25$
●○ 样品 #4073, $x = 0.30$

在分子束外延样品上观察到的 pp 现象。

图2给出了这两个样品电子迁移率 μ_H 的温度依赖关系。由图可见,样品#2337 77K时迁移率约 $450 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$,这显然不能只用离化杂质散射来解释。我们认为,不均匀性引起的空间电荷散射^[4]是重要的限制因素。这种影响在样品#4073上表现得更为明显。它的掺杂量比#2337轻,室温载流子浓度要低一个数量级,但是77K时迁移率反而更低,约 $80 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$,并且出现反常的温度关系,即 $\mu_H \propto T^{3.4}$,大大超过了Brooks-Herring公式预期的 $T^{1.5}$ 关系。Sheinkman等^[5]把不均匀性势垒称为“复合势垒”。在严重不均匀时,复合势垒开始相连,又形成阻塞载流子漂移运动的新势垒,称为“漂移势垒”。其实验标志便是反常的超过 $T^{1.5}$ 的迁移率温度关系。据此,我们认为样品#4073中存在着漂移势垒。考察光照时迁移率的变化进一步揭示出样品中不均匀性的存在。由图可见,光照时迁移率显著增加,这可以解释为光照引起空间电荷区收缩。

上述结果清楚地表明,我们的样品中既存在着引起载流子冻结的深中心,也存在着不均匀性。由于两者都可能是pp现象的起因,因此有必要分清主次。许多有关半导体中不均匀性的理论和实验工作指出^[5,6],复合势垒所引起的pp是相当微弱的,不可能产生如同样品#2337中相对增量为6那样大的pp值。因此,把它归之于深中心是唯一合理的。相反,漂移势垒可以产生很大的pp值,从而给分析样品#4073 pp的起因带来了困难,这里

不作进一步的讨论。显然,我们可以把迁移率温度关系作为分析 pp 现象时的一个判别标准。

关于引起载流子冻结的深中心是 pp 现象起因的判断,从图 1 可以得到进一步的印证,那就是样品 #2337 光照时的 n_H 值和室温下热平衡载流子浓度数量级相同。这样,我们可以认为是三个动力学参量决定了光照时 $n_H - \frac{1}{T}$ 曲线的形状,即电子光发射率 c_n^0 , 电子热发射率 c_n^t 和电子热俘获率 c_n^c 。由于持续光电导中心的特殊性质,这里我们可以假定电子光俘获率 c_n^0 可以忽略不计。其中 c_n^0 基本上和温度无关,而 c_n^t 和 c_n^c 都是具有热激活性质的参量。高温时, $c_n^t \gg c_n^0$, 由 c_n^t 和 c_n^c 决定曲线。因此光霍耳和暗霍耳曲线互相重合。由其斜率得到该深中心的热激活能 $E_0 = 0.06\text{eV}$ 。应当指出的是,由于深中心浓度远大于浅中心浓度,这里载流子的激发过程服从双分子规律, $n_H \propto \exp(-E_0/2kT)$; 在中等温度区, $c_n^0 \gg c_n^t$, 由 c_n^0 和 c_n^c 决定曲线。随着降温时 c_n^t 下降, n_H 上升,导致曲线出现 U 形;最后,在低温区 c_n^t 也可以忽略不计,只需要考虑 c_n^0 ,就得饱和的持续光电导。

总之,我们在掺硅分子束外延 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 中观察到一个持续光电导中心。对于组份 $x = 0.25$, 热激活能 $E_0 = 0.06\text{eV}$ 。为了说明它是引起 pp 的主要原因,提出把迁移率的温度关系作为判别标准。关于该中心的电子发射和俘获的动力学过程的研究,可以参看有关文献^[7]。

参 考 文 献

- [1] A. J. Springthorpe, F. O. King, and A. Becke, *J. Electron. Mater.*, **4**, 101 (1975).
- [2] R. J. Nelson, *Appl. Phys. Lett.*, **31**, 351 (1977).
- [3] M. K. Sheinkman, and A. Ya. Shik, *Sov. Phys. Semicond.*, **10**, 128 (1976).
- [4] E. M. Conwell and M. O. Vassell, *Phys. Rev.*, **166**, 797 (1968).
- [5] E. M. Baskin, B. S. Lisenker, and A. Yu. Shegai, *Sov. Phys. Semicond.*, **12**, 816 (1978).
- [6] V. B. Sandomirskii, A. G. Zhdan, M. A. Messerer, and I. B. Gulyaev, *Sov. Phys. Semicond.*, **7**, 881 (1974).
- [7] B. L. Zhou (周炳林), K. Ploog, E. Gmelin, X. Q. Zheng (郑祥钦), and M. Schulz, *Appl. Phys.*, **A28**, 223 (1982).

A Persistent Photoconductivity Center in Molecular Beam Epitaxial $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$

Zhou Binglin

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Abstract

A persistent photoconductivity center is observed in Si-doped molecular beam epitaxial $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, and its thermal activation energy E_0 is 0.06 eV when the component $x=0.25$. The temperature dependence of mobility is proposed to be a criterion in order to ensure that this center is attributed mainly to the persistent photoconductivity.