

GaAs 表面的室温光致氮化*

徐前江·丁训民 侯晓远**

(复旦大学应用表面物理国家重点实验室 上海 200433)

(复旦大学李政道物理学综合实验室 上海 200433)

摘要 在纯氮气体起辉放电产生的紫外光的激励下,到达 GaAs 表面的 N_2 会离解并和 Ga、As 原子成键,X 射线光电子能谱测量结果证实了这一设想.

PACC: 8160C, 3380G, 7960

1 引言

GaAs 在制作高速半导体器件方面的广泛应用前景使其成为最受重视的 III-V 族半导体材料之一.但这种材料所具有的高表面态密度却又在很大程度上限制了 GaAs 器件的实际应用.解决这一问题的主要途径是在器件制作过程中对材料表面进行钝化处理.硫化物浸泡是迄今用得最多的钝化处理办法.经过这种处理后 GaAs 的表面态密度大大降低,器件性能明显改善^[1-5].使用的浸泡液有 $(NH_4)_2S_x$ ^[2,3]、 S_2Cl_2 ^[4,5] 等.

然而,采用浸泡方式的湿法钝化的效果受处理条件的影响较大,不易控制,同时在处理过程中往往还会造成一定程度的表面沾污.更为理想的钝化方法是在真空或特定的气态氛围中形成钝化膜,即干法钝化.表面的氮化处理是近年来开始探索的一种干法钝化方法.其典型作法是:先在低温(100—120K)下表面吸附一层含氮化合物 NH_3 ^[6] 或 HN_3 ^[7],然后用紫外脉冲激光照射吸附表面并同时使样品升温.光致离解产生的 N 原子在此过程中与 GaAs 表面的 Ga 或 As 原子成键,形成起钝化作用的表面氮化层.这种方法的优点是消除了湿法钝化可能造成的表面沾污,但其缺点是必须经过低温吸附这一步骤,增加了处理方法的复杂性.

我们在本文中报道一种无需经过低温吸附的室温氮化方法:将纯氮兼而用作形成氮化物所需的气态氮源和激发真空紫外辐射所需的放电气体,使起辉放电后产生的紫外光射向处于氮气氛中的 GaAs 样品表面.对经过这样处理的样品所作的原位 X 射线光电子能谱(XPS)测量表明,表面确实已经氮化.这一结果一方面有可能发展成为 GaAs 表面钝化的一种新方法,另一方面又为外延生长 GaN 提供了解决氮源问题的一种可能途径.

* 国家自然科学基金资助课题

** 李政道实验室正大基金特约研究员

徐前江 男,1970 年生,硕士生,现从事凝聚态表面物理研究

丁训民 男,1946 年生,副教授,现从事凝聚态表面物理研究

1994 年 12 月 23 日收到初稿,1995 年 3 月 27 日收到修改稿

2 实验方法

实验所用设备是一台经过改装的 ADES400 型电子能谱仪. 氮化处理和测量分别在该谱仪的样品制备室和分析室内进行, 样品可在二者之间作超高真空传递^[8].

用作试样的 n 型 GaAs(100) 单晶片经常规化学清洗后送入样品制备室, 进行离子轰击加退火 (IBA) 处理. 具体做法是: 用能量为 1keV 的氩离子轰击 30min, 然后在 550℃ 左右的温度下真空退火 30 到 60min. 一般经过 2—3 次这样的 IBA 处理就能观察到清晰的 (4×1) 低能电子衍射 (IEED) 图样, 表明样品表面已成为清洁有序的富 Ga 表面.

紫外放电灯采用差分抽气方式与超高真空的样品制备室无窗连接. 在维持稳定放电的条件下, 用电离真空规测得的样品制备室内的 N_2 气压为 4×10^{-6} Pa. 样品表面的 N 暴露量就按此测量值与时间的乘积计.

XPS 测量用光子能量为 1486.6eV 的 $AlK\alpha$ 线作为激发源. 能量分析器的通过能量为 50eV. 对 Ga 和 As, 分别测量动能较低的 2p 峰代替 3d 峰以提高表面位移峰的相对强度.

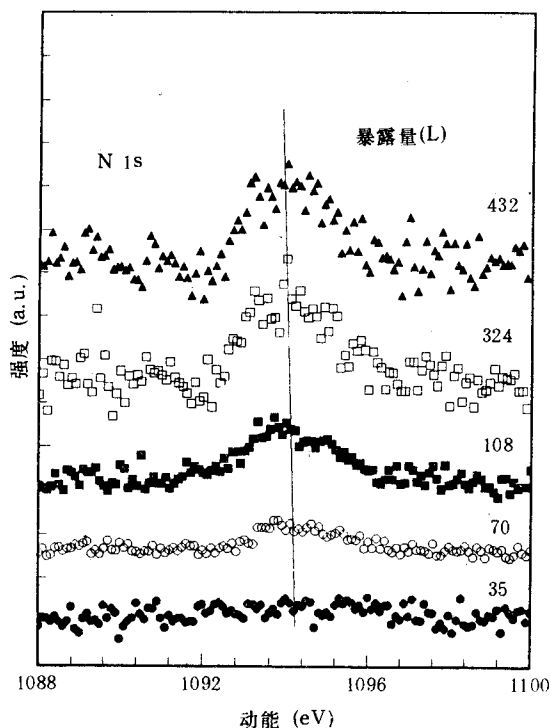


图 1 N 1s 信号(暴露 N 后与清洁表面的 XPS 差谱)

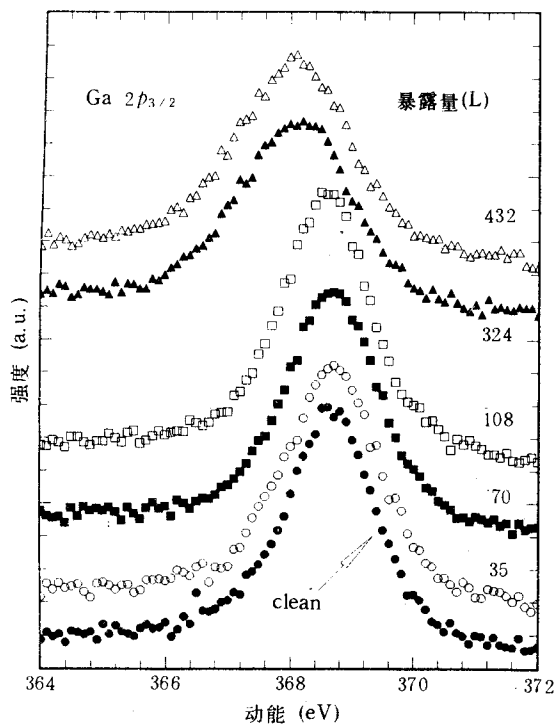
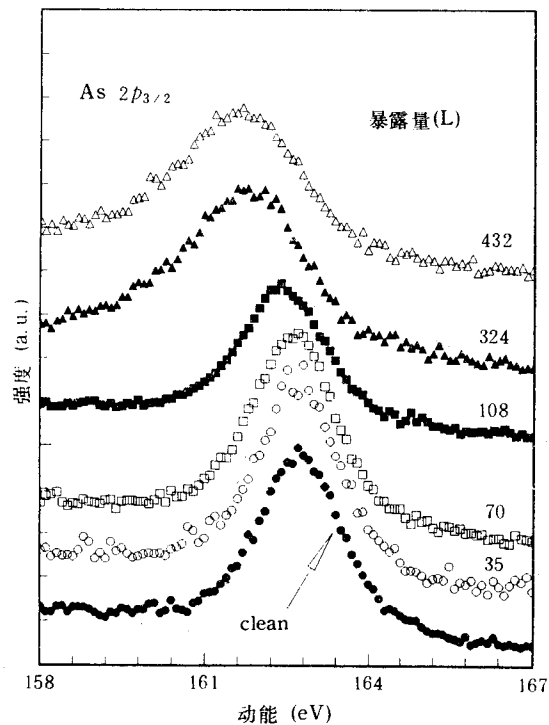
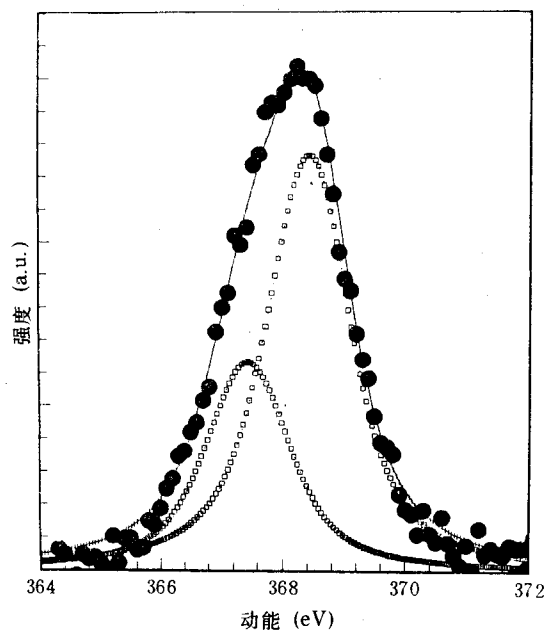
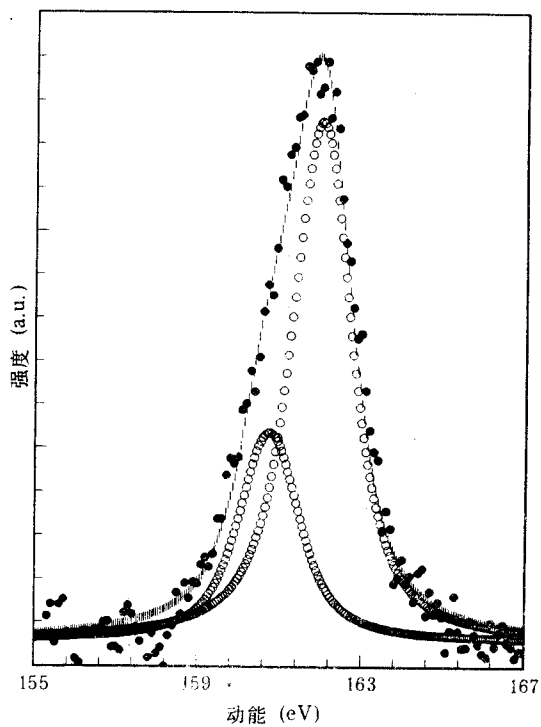
从图 1 可以清楚地看出, 在暴露量达到 100L 左右时, 表面的 N 含量开始明显增大, 接着又很快趋向饱和. 与之形成对照的是, 在关闭紫外灯的情况下向 GaAs 表面通 N_2 后测得的 XPS 谱中, 找不到任何 N 信号的痕迹. 这意味着在纯氮起辉后所产生的紫外光 ($h\nu=10.93\text{eV}$) 的激励下, 到达 GaAs 表面的 N_2 确实会离解并与 Ga 或 As 原子成键. 同时测得的 Ga 和 As 的芯能级谱随 N 暴露量的变化证实了这一点.

图 2 和图 3 分别是 Ga 2p_{3/2} 和 As 2p_{3/2} 谱在暴露 N 过程中的变化. 与图 1 中 N1s 信号明显增大相对应, Ga 和 As 信号明显向高结合能方向展宽, 表面随着暴露量的增大在 Ga 2p_{3/2} 和 As 2p_{3/2} 谱中分别出现了由表面和次表面 Ga 和 As 原子化学键合方式发生

3 结果与讨论

样品的 LEED 图样在一开始暴露 N 时没有明显变化. 但在暴露量超过 200L ($1L=1.33 \times 10^{-4} \text{Pa} \cdot \text{s}$) 后, 分数阶衍射斑点逐渐变得模糊, 最后消失于增强了的本底之中, 图样变为 (1×1). 一般认为, (4×1) 可能是一种不完全有序的 (8×2) 再构^[9], 而后者可归因于表面 Ga 二聚物每隔二个缺失二个. 如果这一模型是正确的话, 则游离于 GaAs 表面附近的 N 原子不仅能与第一层 Ga 原子成键, 而且能与第二层 As 原子乃至第三层 Ga 原子成键. 也就是说, 氮化有可能发生在 GaAs 表面及其下一、二个原子层内. XPS 测量结果也说明了这一点.

图 1 是 N 1s 信号强度随暴露量增加的变化. 由于 N 1s 峰与 Ga 的 LMM 俄歇峰在能量上靠得很近, 当 N 1s 信号较弱时不易分辨, 所以图中给出的都是与从清洁

图2 Ga $2p_{3/2}$ 谱在暴露 N 过程中的变化图3 As $2p_{3/2}$ 谱在暴露 N 过程中的变化图4 对 N 暴露量为 432L 的 Ga $2p_{3/2}$ 谱的分峰拟合结果图5 对 N 暴露量为 432L 的 As $2p_{3/2}$ 谱的分峰拟合结果

变化引起的位移峰. 对这两个图中暴露量为 432L 的典型宽峰拟合处理的结果分别如图 4 和图 5 所示. 图中的实心点是实验测量数据点, 实线是对实验点的拟合曲线, 空心方块则表示构成拟合曲线的分解峰. Ga 的位移峰出现在结合能比基准峰高 0.9eV 处, As 的位移峰出现在结合能比基准峰高 1.5eV 处. 这种与 N 成键后在 Ga 和 As 的芯能级谱中出现高结合能位移峰的现象以前也曾被观察到. 例如, Bu 等发现^[7], 在 GaAs(100) 表面低温(120K) 吸附 HN_3 , 经波长为 308nm 的激光照射并进行 450K 退火后, Ga $2p_{3/2}$ 和 As $2p_{3/2}$ 谱中分别出现结合能高 0.9eV 和 2.0eV 的位移峰. 因此可以肯定, 采用我们的简单处理方法, 能产生与上述处理方法相同的表面氮化效果.

考察 Ga $2p_{3/2}$ 和 As $2p_{3/2}$ 谱中位移峰相对于基准峰的强度变化, 可以发现在我们实验所用的 N 暴露量范围内这一值已渐趋恒定. 这意味着氮化仅发生在表面及其下一、二个原子层内. 一旦这一区域内的 Ga 和 As 原子重新结合的过程完成以后, 光致离解的 N 原子很可能只能自相结合成 N_2 回到真空中, 氮化过程就此结束. 但如在光致离解的 N 原子周围存在游离的 Ga 原子的话, 这一过程或许能继续进行下去. 当然这有待进一步的实验研究.

参 考 文 献

- [1] C. J. Sandroff, R. N. Nottenburg, J. C. Bischoff *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1987, **51**:33.
- [2] M. S. Carpenter, M. R. Melloch, M. S. Lundstrom *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1988, **52**:2157.
- [3] X. Y. Hou, W. Z. Cai, Z. Q. He *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1992, **60**:2252.
- [4] Z. S. Li, W. Z. Cai, R. Z. Su *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1994, **64**:3425.
- [5] W. Z. Cai, Z. S. Li, X. M. Ding *et al.*, J. Crystal Growth, 1994, **142**:397.
- [6] X. Y. Zhu, M. Wolf, T. Huett *et al.*, J. Chem. Phys., 1992, **97**:5856.
- [7] Y. Bu and M. C. Lin, Surface Sci., 1994, **317**:152.
- [8] 董国胜, 侯晓远, 丁训民等, 真空科学与技术, 1990, **10**:95.
- [9] D. K. Begelsen, R. D. Bringans, J. E. Northrup *et al.*, Phys. Rev. B, 1990, **41**:5701.

Photon-Induced Nitridation of GaAs Surface at Room Temperature

Xu Qianjiang, Ding Xunmin and Hou Xiaoyuan

(Surface Physics Laboratory and Fudan T. D. Lee Physics Laboratory, Fudan University, Shanghai 200433)

Received 23 December 1994, revised manuscript received 27 March 1995

Abstract Stimulated by the ultra-violet light produced during N_2 glow discharging, the nitrogen molecules arriving at the GaAs surface will dissociate there and saturate the Ga and As dangling bonds, as is confirmed by the results of X-ray photoelectron spectroscopic measurements.

PACC: 8160C, 3380G, 7960