

# 大直径 SI-GaAs 中的位错和微缺陷\*

赵彦桥 刘彩池<sup>†</sup> 郝秋艳 孙卫忠

(河北工业大学信息功能材料研究所, 天津 300130)

**摘要:** 利用化学腐蚀法对直径 150mm LEC SI-GaAs 单晶片进行腐蚀,并用金相显微镜对腐蚀后的样品进行检测.在样品中发现了不同形貌的位错和微缺陷,其中球形微缺陷和胞状位错尤为常见.本文对样品中缺陷的类型、密度和分布等情况进行了描述和讨论.

**关键词:** SI-GaAs; 化学腐蚀法; 位错; 微缺陷

EEACC: 0560

中图分类号: TN304.2

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2007)S0-0133-04

## 1 引言

GaAs 是继硅之后发展最快的新一代的化合物半导体材料,具有迁移率高、直接跃迁型能带结构等优点.随着信息时代的来临,当人们对信息的存储、传输及处理的要求越来越高时,以 GaAs 为主的化合物半导体显示了巨大的优越性.目前以 GaAs 为代表的化合物半导体集成电路(IC)的技术和相关电子器件产品,已发展成为无线通讯、光通讯、卫星通讯、网络技术等领域的最基础元器件,市场需求很大.它是继硅材料之后最重要的微电子材料,适合制造高频、高速器件和电路.

单晶材料生长工艺的改进和质量的提高总是影响着各种器件的发展速度;器件和市场的需要对 GaAs 单晶材料提出了越来越高的要求,要求它在增大单晶直径的同时,还要减少晶体中的缺陷,不断提高各项物理参数及其均匀性等.因此对液封直拉法(LEC)生长的大直径 SI-GaAs 中的缺陷研究也显得尤为重要,其中位错和微缺陷是缺陷类型中最典型的两种.位错是一种线缺陷,常会在它附近引起晶格畸变.微缺陷主要包括位错环、各种形状的沉积物以及点缺陷的聚合物等<sup>[1]</sup>.

## 2 实验

### 2.1 样品

样品是液封直拉法生长的直径 150mm SI-GaAs 双面抛光单晶片.

### 2.2 AB 腐蚀和超声 AB 腐蚀

本实验采用 AB 腐蚀法<sup>[2]</sup>.腐蚀液配比为 H<sub>2</sub>O : AgNO<sub>3</sub> : CrO<sub>3</sub> : HF = 20mL : 80mg : 8g : 10mL.按上述顺序加入塑料杯中,注意在 AgNO<sub>3</sub> 完全溶解后再放入 CrO<sub>3</sub>,然后将解理后的样品放入腐蚀液中腐蚀 20min.腐蚀完后将样品用大量去离子水反复冲洗干净,最后取出样品,吹干表面.

在 AB 腐蚀液中,CrO<sub>3</sub> 是氧化剂, HF 酸是络合剂, H<sub>2</sub>O 是缓和剂,而加入 AgNO<sub>3</sub> 的目的是使 As 面上出现腐蚀坑.

选择样品的不同部分,在以上 AB 腐蚀法的基础上加上超声在常温下腐蚀 15min.

### 2.3 样品检测

用 STM6 型金相显微镜对腐蚀后的样品进行检测.

## 3 结果与讨论

### 3.1 腐蚀结果

在 GaAs 单晶中的沉淀、位错等缺陷处晶格的原子排列被破坏,晶格畸变,应变比较大,在某些化学腐蚀剂中晶体缺陷处与非缺陷处腐蚀速率不同,利用这种异常的物理化学效应,在表面处产生选择性的侵蚀从而形成特定的腐蚀图案.用金相显微镜检测腐蚀好的样品,经检测发现以下缺陷腐蚀图片.

#### 3.1.1 位错的胞状和系属结构

在腐蚀后的样品中最常见的是位错的胞状和系

\* 国家自然科学基金(批准号:60276009)和河北工业大学博士科研启动基金资助项目

<sup>†</sup> 通信作者. Email: liucaichi@eyou.com

2006-12-12 收到

属结构,如图 1 所示.在典型的胞状结构内大部分都有孤立的位错线或腐蚀坑(图 1),但也有少数小的胞状结构内没有孤立的位错和腐蚀坑,其胞心和剥光区平整干净,如图 2 所示.

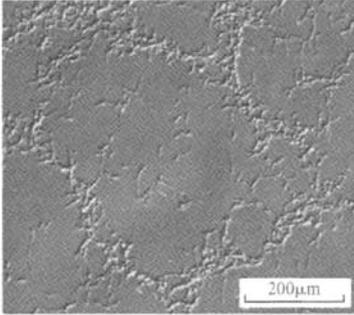


图 1 AB 腐蚀所示胞内有孤立位错的胞状结构

Fig. 1 Cellular structure with the isolated dislocation by AB etching

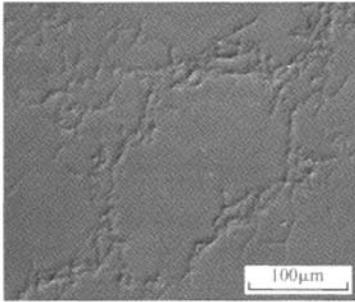


图 2 AB 腐蚀所示胞内没有孤立位错的胞状结构

Fig. 2 Cellular structure without the isolated dislocation by AB etching

### 3.1.2 球状微缺陷

如图 3 所示,微缺陷为球形.这种形貌的微缺陷密集的地方呈网状分布,稀疏的地方形成胞状结构,

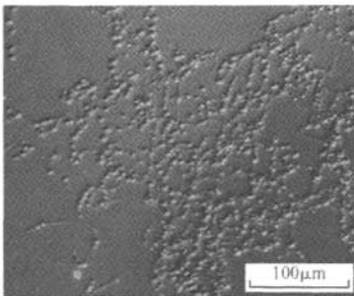


图 3 AB 腐蚀所示球形微缺陷

Fig. 3 Globose microdefects by AB etching

在胞内有微小的腐蚀坑.当放大倍数为 500 倍时,我们可以清晰地看到球形微缺陷聚集区的形貌,如图 4 所示,球形泡大小不一,部分微缺陷沿位错线方向呈线状排布.

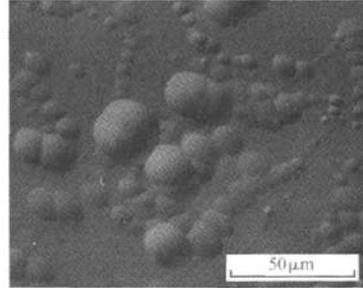


图 4 AB 腐蚀所示的球形微缺陷

Fig. 4 Globose microdefects by AB etching

如图 3,4 所示,位错线呈网状分布,在位错线上分布有球形泡状微缺陷,微缺陷围绕着位错分布.微缺陷由于受到位错应力场的作用而被吸附到位错附近,围绕着位错分布,大部分微缺陷缀饰在位错上.当位错以胞状结构、系属结构等方式分布时,微缺陷也呈现出相同的分布状态;当微缺陷与位错的距离较远时,微缺陷受位错的影响很小,可能与位错分离存在.

### 3.1.3 环状位错

在以上腐蚀条件下,调节金相显微镜的检测尺度,在样品的其他部位我们还发现了环状位错.如图 5 所示.大部分环状位错分布在胞状结构内,大小不等.

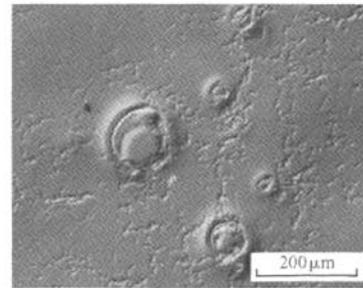


图 5 AB 腐蚀所示的环形位错

Fig. 5 Annular dislocations by AB etching

### 3.1.4 枣核形位错和层状分布的微缺陷

随着腐蚀时间的延长,环状位错逐渐消失,而后转变成大的腐蚀坑.当腐蚀时间增加到 40min 时,样品上出现了大小不一,分布不均匀的枣核形位错,有的粘连在一起,如图 6 所示.在样品的边缘部分还出现了密集(layered)分布的微缺陷,如图 7 所示.

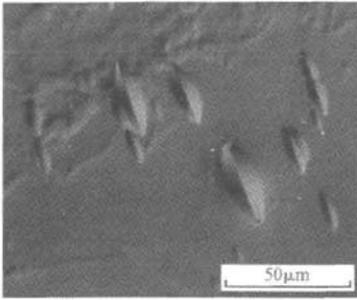


图 6 AB 腐蚀所示的枣核形位错

Fig. 6 Nucleus form dislocations by AB etching

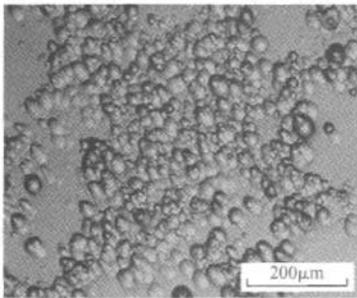


图 7 AB 腐蚀所示层状分布的微缺陷

Fig. 7 Stratiform microdefects by AB etching

### 3.1.5 位错腐蚀坑

在室温下用超声 AB 腐蚀法腐蚀样品,发现样品表面除了以上缺陷类型之外,还出现了密集的位错腐蚀坑(图 8).在样品的中心区域腐蚀坑相对稀疏.可见超声 AB 腐蚀法和普通的 AB 腐蚀法相比具有更高的灵敏性和充分性.

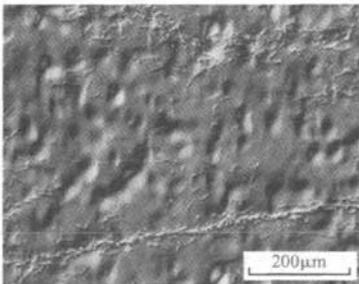


图 8 超声 AB 腐蚀后的位错腐蚀坑

Fig. 8 Etch pit by USAB etching

### 3.2 位错密度的测定

沿任意直径解理样品,选择不同部位的 9 个样品小片,在标准配比的 AB 腐蚀液中腐蚀 20min,将

腐蚀后的样品冲洗吹干后用金相显微镜检测.选择合适的阈值(139~255)和检测面积,对样品小片中的颗粒数和位错所占面积比例进行测试,并记录数据.最后进行数据处理,分析实验结果如表 1 所示.表中位错密度是指单位面积上位错的个数.通过以上各片样品的位错密度数值,我们可以用图 9 中曲线图形象地描述出位错在整个样品上的分布情况.在以往对小直径半绝缘砷化镓单晶片中,位错密度沿晶片径向呈 W 型分布,在边缘与中心区位错密度较高<sup>[3~5]</sup>.在本实验中发现大直径 SI-GaAs 晶片中位错密度呈 U 型分布,即边缘部分位错多,中间部分位错少.因为在拉晶过程中,当晶片拉出液面后,晶棒表面和晶棒内部存在的温差很大,产生很大的热应力,这有可能在晶棒边缘产生大量的位错.另外在晶棒滚圆、切片过程中也可能会引进缺陷,还有对晶片进行研磨、抛光处理时也容易引起边缘损伤.

表 1 用金相显微镜检测的样品位错密度

Table 1 Dislocations density of the samples by metal-oscope

样品名称	1	2	3	4	5	6	7	8	9
位错密度 /mm <sup>-2</sup>	4750	3270	1970	1330	870	1290	1630	2210	4650

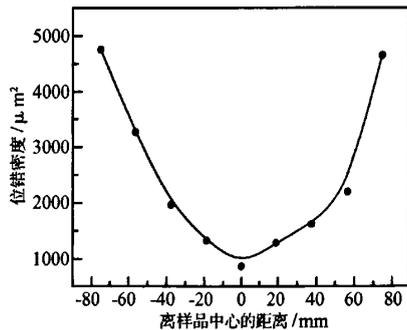


图 9 位错密度曲线图

Fig. 9 Graph of dislocations density

## 4 结论

(1)大直径 SI-GaAs 晶片,经 AB 腐蚀后会出现明显的位错胞状结构和网状结构,随着腐蚀时间的延长还会出现环状位错和枣核形层错结构等特殊的缺陷形貌.

(2)SI-GaAs 中的位错和微缺陷是紧密联系并且相互作用的.当位错密集以胞状结构、系属结构等方式分布时,微缺陷也呈现出相同的分布状态.当位错线稀疏,微缺陷离位错线较远时位错和微缺陷才可能分离存在,呈点状分布.

(3)直径 150mm SI-GaAs 晶片中,沿直径方向

位错密度呈 U 型分布,即在样品边缘部分位错较多,样品中心部分位错较少.

### 参考文献

- [ 1 ] Xu Yuesheng, Zhang Chunling, Liu Caichi. Crystal defects in semi-insulation gallium arsenide. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2003, 24(7): 718 (in Chinese) [徐岳生, 张春玲, 刘彩池. 半绝缘砷化镓单晶中的晶体缺陷. *半导体学报*, 2003, 24(7): 718]
- [ 2 ] Abrahams M S, Buiocch C J. Etching of dislocations on the low index faces of GaAs. *Appl Phys*, 1965, 36(9): 2855
- [ 3 ] Qi Yunxin, Jiang Chunxiang. Quantitative study of AB microscopic defects in semi-insulating GaAs single crystals. *Ordnance Material Science and Engineering*, 1995, 18(3): 39 (in Chinese) [齐芸馨, 姜春香. 半绝缘砷化镓单晶中 AB 微缺陷的定量研究. *兵器材料科学与工程*, 1995, 18(3): 39]
- [ 4 ] Zhang Zelan, Zeng Libo. A quantitative method of AB microscopic defects in semi-insulating GaAs single crystals. *Analysis and Testing Technology and Instruments*, 1999, 5(1): 45 (in Chinese) [张泽兰, 曾立波. 半绝缘砷化镓单晶中 AB 微缺陷的定量测量方法. *分析测试技术与仪器*, 1999, 5(1): 45]
- [ 5 ] Abrahams M S, Buiocchi C J, Tietjen J J. Detection of selenium clustering in GaAs by transmission electron microscopy. *J Appl Phys*, 1967, 38: 760

## Dislocations and Microdefects in Large Diameter SI-GaAs\*

Zhao Yanqiao, Liu Caichi<sup>†</sup>, Hao Qiuyan, and Sun Weizhong

(*Institute of Information Function Materials, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China*)

**Abstract:** The dislocation and micro-defects in  $\phi 150\text{mm}$  SI-GaAs single crystal are investigated by means of chemical etching and microscopy observation. The experimental results show dislocations, micro-defects and cell structures in the samples. By analyzing the etching morphology of dislocations and micro-defects, the density and formation of defects in large diameter SI-GaAs are discussed.

**Key words:** SI-GaAs; chemical etching; dislocations; microdefects

**EEACC:** 0560

**Article ID:** 0253-4177(2007)S0-0133-04

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 60276009) and the Doctor Start-up Foundation of Hebei University of Technology

<sup>†</sup> Corresponding author. Email: liucaichi@eyou.com

Received 12 December 2006