

# 半绝缘砷化镓单晶中AB微缺陷的定量测量方法

张泽兰

(武汉大学分析测试中心

曾立波\*

武汉 430072)

齐芸馨

(电子工业部第四十六所 天津 300220)

**摘要** 报道了非掺杂半绝缘砷化镓单晶中AB微缺陷显微特征的研究结果,提出了一种自动定量测量微缺陷的方法,并在WD-5图象处理分析系统中实现了该算法。

**关键词:** 图象分析;微缺陷;砷化镓;单晶

**中图分类号:** O657.32

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1006-3757(1999)01-0045-03

半绝缘砷化镓(GaAs)作为新一代衬底材料,其质量对器件性能有重大影响。一般用KOH腐蚀显示的位错密度来评价GaAs单晶的质量,现在,非掺杂液封直接半绝缘砷化镓中平均位错密度已可低于 $2 \times 10^4$ 个/ $\text{cm}^2$ ,随着位错不良影响的降低,微缺陷已成为影响器件性能的突出问题。Yamamoto等人<sup>[1]</sup>研究了位错密度和微缺陷密度对FET器件性能的影响,得到了这样的结论:“衬底质量大大影响器件性能。位错对器件性能不一定有影响,而AB液显示的沉淀状微缺陷的密度对器件性能和均一性具有决定性的影响”。

随着集成度和精细加工水平的提高,对衬底材料的质量要求会更高,搞清微缺陷在单晶中的分布规律并采取措施有效地控制微缺陷,成为单晶制备和器件生产的共同要求。为此,必须首先解决微缺陷的定量问题。

## 1 实验材料和仪器

实验用料为50.8 mm液封直拉未掺杂半绝缘砷化镓单晶,均经950℃退火处理。单晶锭经滚圆定向,切取后的晶片经机械和化学抛光至镜面,以去除机械损伤层。用AB腐蚀液<sup>[2]</sup>在65℃热蚀10 min之后,用去离子水热煮10 min,将试样清洗干净。

用LECO 2001高清晰金相显微镜在200倍下观察微缺陷分布形态。图象经摄像机和采集卡输入

到WD-5图象处理分析系统。

## 2 AB微缺陷的特征

AB微缺陷的形貌和分布特征如图1所示。由图1可见:微缺陷呈线状,线条上排列着腐蚀坑。大部分蚀坑排列紧密,也有个别蚀坑零散,分布在线条上。微缺陷在试样上呈网状分布,将试样分割成“胞”,微缺陷聚集在胞壁上,在胞的内部几乎没有微缺陷。

同时实验表明:微缺陷面积和密度沿晶片直径方向呈W型分布,即在晶片中心和边缘较高,在半径二分之一处较低。在同一个径向50个视场之间,微缺陷数量约相差5~20倍之多。这说明AB微缺陷在微观尺寸上具有很大的不均匀性。

## 3 AB微缺陷的测量方法

AB微缺陷图像衬度较小,蚀坑密度高( $10^5$ 个/ $\text{cm}^2$ )而且每个蚀坑尺寸又较小。因此用普通金相显微镜和目测已无法满足要求,微缺陷的准确计量必须使用装备有图象分析仪的高清晰度金相显微镜系统来进行。

衡量AB微缺陷主要的参数为:蚀坑密度(单位面积上蚀坑的个数)和蚀坑面积百分比(蚀坑总面积/测量面积 $\times 100\%$ )。使用一般的图象分析仪分析AB微缺陷存在的一个最大问题是:由于大部分蚀坑紧密排列,经灰度分割后得到的蚀坑二值图上,蚀坑绝大部分互相连在一起,测量前必须使用鼠标人工

\* 通讯联系人。

收稿日期: 1998-09-30; 收到修改稿日期: 1998-11-16。

断开粘连的蚀坑。这是一项极耗时的工作,而且大量视域很难进行。因此有必要建立一种能自动断开粘连在一起蚀坑的方法。

考察 AB 微缺陷的形貌和分布特征,我们可以看出如下特点:微缺陷呈线条状,线条上排列的蚀坑尽管紧密粘连,但断连处仍存在一个微小的凹陷,为



图 1 AB 微缺陷(200×)

Fig. 1 AB Microdefecta(200×)

校正后的图象很容易用灰度门限的方法分割出蚀坑。灰度门限值的确定采用 Otsu 提出的类别分析法<sup>[3]</sup>。计算步骤为:

计算输入图象的灰度级直方图(用  $HPS(i)$  表示)。

计算灰度均值( $\mu_T$ ):

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{255} i^* PHS(i)$$

计算灰度类均值  $\mu(k)$  和类直方图  $\omega(k)$

$$\mu(k) = \sum_{i=1}^k i^* PHS(i)$$

$$\omega(k) = \sum_{i=1}^k PHS(i)$$

计算类分离指标

$$\sigma_B(k) = \frac{[\mu_T \omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]}$$

求使  $\sigma_B$  最大的  $k$ , 最佳阈值  $T = k - 1$ 。中心线的提取采用以下方法:

a 跟踪一条蚀坑二值图象的边缘<sup>[4]</sup>。

b 依次去掉跟踪出的边缘点,要求去掉该边缘点时,不会引起该条蚀坑二值图象断裂成两部分,否则保留该边缘点。

c 对该条蚀坑二值图象重复 a、b 两步骤,直到没有被删除的边缘点为止。

d 对整个蚀坑二值图象重复以上步骤。

此,我们提出了一个自动断开的算法:

灰度分割门限值:一般情况下,图象分析系统采集到的原始图象存在着由于断面微起伏而引起的阴影,我们采用由计算机对图象进行低通滤波计算出阴影,然后再从原图象上减去阴影的办法,很好地解决了这个问题。阴影校正后的图象如图 2 所示。

图 2 阴影校正后的图象

Fig. 2 Shadow correct

以下是我们提出的自动断开算法:

(1) 求取蚀坑分割灰度分割  $T$ , 经灰度分割成二值图。

(2) 按上述算法计算蚀坑分割后二值图的中心线。

(3) 求出蚀坑分割后二值图的中心线的长度及蚀坑线条宽度。

(4) 去掉长度小于  $1/3$  蚀坑线条宽度的中心线和长度小于  $1/3$  蚀坑线条宽度的中心线分叉,以降低算法对蚀坑形状变化的敏感。因为两个粘连的圆形颗粒其中心线长度应近似于一个颗粒的直径,因此长度小于  $1/3$  蚀坑线条宽度的中心线对应已分开的蚀坑,长度小于  $1/3$  蚀坑线条宽度的中心线分叉多是因蚀坑形状不规则变化引起。

(5) 从离中心线一端点  $1/3$  宽度处开始搜索直至离中心线此端点  $4/3$  宽度处,搜索此区间最小宽度,此最小宽度处应是蚀坑交界处,在此画一垂线分开粘连蚀坑。

(6) 以最小宽度处作为中心线端点重复第(3)步直至整条中心线搜索完毕。

(7) 对所有中心线重复第(5)、(6)步。

## 4 实验结果与讨论

图 3 是图 2 进行二值分割后的蚀坑二值图象及求出的中心线,中心线为黑色颗粒中的白色线段。

(为显示清晰, 我们只取了其中的局部)。图 4 是自动断开后的蚀坑局部二值图象。自动断开操作对于  $720 \times 540$  大小的图象在奔腾 120 MHz 主频计算机上只耗时 2 s。可以看出大部分蚀坑已被自动分开。未能自动断开的蚀坑只需稍加人工断开即可。测出

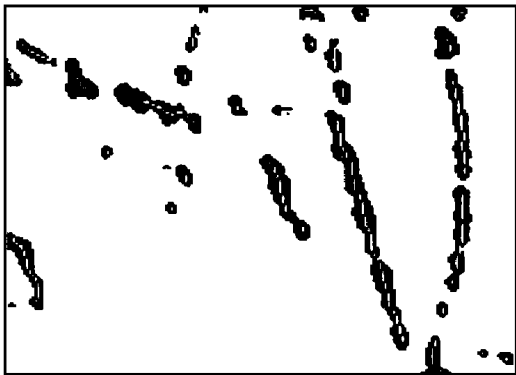


图 3 蚀坑线条及其中心线

Fig. 3 Microscopic defect and its skeleton

的对应蚀坑密度为  $2.1 \times 10^5$  个/ $\text{cm}^2$ 。蚀坑面积百分比为 15 %。

表 1 是对一根单晶头、中、尾三部分用 Leica Quantime 570 型图象分析仪进行的对比测量结果 (每一试样测量 50 个视场的平均值)。



图 4 自动断开后的蚀坑

Fig. 4 Microscopic defect by auto depart

表 1 对比测量结果

Table 1 The results of two instruments

|   | Leica Quantime 570       |              | WD- 5                    |              |
|---|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
|   | 蚀坑密度( 个/ $\text{cm}^2$ ) | 蚀坑面积百分比( % ) | 蚀坑密度( 个/ $\text{cm}^2$ ) | 蚀坑面积百分比( % ) |
| 头 | 2. 0                     | 6. 2         | 2. 1                     | 6. 4         |
| 中 | 2. 0                     | 6. 7         | 2. 0                     | 6. 6         |
| 尾 | 1. 9                     | 7. 3         | 1. 8                     | 7. 2         |

由上述实验结果可以看出本文提出的方法能自动分割和断开粘连的线状蚀坑, 避免了大量人工干预, 使砷化镓单晶中的 AB 微缺陷的测量能快速进行, 有利于搞清微缺陷在单晶中的分布规律, 并采取控制措施控制微缺陷。而且本方法已在 WD- 5 图象分析系统中实现, 并在天津电子工业部四十六所实际应用。它在工厂的生产质量控制上同样具有良好的应用前景。

参考文献

[ 1 ] Yamamoto H, Oda O, Seiwa M, Ttaniguchi M, Makata H, Ejima M. Microscopic defects in seminsulating GaAs on their effect on the FET device performance[ J]. Electrochem Soc, 1989, 136 ( 10): 3098 ~ 3102.

[ 2 ] Abrahams M S, Buioch C J. Etching of dislocations on the low index faces of GaAs[ J]. Applied Physics, 1965, 36(9): 2855~ 2863.

[ 3 ] Otsu N. A threshold selection method from graylevel histogram[ J]. IEEE Trans. Vol. SMC- 9, 1979, 62~ 69.

[ 4 ] 周新伦. 数字图像处理[ M]. 北京: 国防工业出版社, 1986.

A Quantitative Method of AB Microscopic Defects in Semi- insulating GaAs Single Crystals

ZHANG Zelan      ZENG Libo      QI Yunxin

(Center of Analysis and Measurement, Wuhan University    Wuhan    430072)

**Abstract:** The microscopic characteristics of AB microdefects in LEC undoped semi- insulating GaAs single crystals have been studied. A new method for auto mesurement of microdefects is proposed and realized by WD- 5 image processing and analysis system.

**Key words:** image analysis; microscopic defect; GaAs; single crystal

**Classifying:** O657. 32