

红外数字图象处理技术用于研究 砷化镓材料中的缺陷形态分布*

张 福 贵

(中国科学院电子学研究所, 北京)

摘要 本文介绍了一种用于研究砷化镓材料中的缺陷(比如 EL2 吸收特性等)的新方法: 将一束波长为 $1.1\text{--}1.5\mu\text{m}$ 的近红外光穿过一块厚度为 $4\text{--}8\text{mm}$, 直径为 50mm 的砷化镓材料, 用红外摄像机 TOSHIBA 8844 摄取图象, 并直接送入计算机图象处理系统 DATASUD, 材料中的非均匀性缺陷图象, 即材料中的缺陷(EL2, 位错等)在截面上的分布结构形状(十字形, 网状, 球粒形等)就可从屏幕上观察到. 本文给出了为研究这类材料设计的 ZHIMAG (ZHANG IMAGE) 图象处理软件包和应用 ZHIMAG 所获得的一些结果. ZHIMAG 也适用于其它类型的图象处理。

关键词 红外图象; 砷化镓; 图象处理软件

1. 引言

半绝缘砷化镓(GaAs)材料中存在着两种缺陷: 一种是晶格位错缺陷; 另一种是化学杂质缺陷^[1]. 为了满足集成电路对基片的均匀性的要求, 减少和控制基片的物理特性的起伏是非常重要的. 特别是 EL2 中心的改变所导致基片电阻的变化, 将直接影响集成电路性能. 目前, 已有几种方法来研究砷化镓材料中的缺陷: (1)位错计数法^[2]. 该方法速度慢(经常需要几个小时), 并且非常繁琐. 目前, SUMITOMO 公司已应用此方法建立了一套计算机辅助系统, 用于自动分析和计数^[3]. (2) x 射线拓扑法^[4]. 用此方法, 位错图象可以从 x 射线光源, 或者同步加速器射线得到, 但它要求材料的厚度不超过 1mm . 由于砷化镓材料制成的基片厚度为 $4\text{--}5\text{mm}$, 因此限制了这种技术的直接应用, 必须事先进行切片, 抛光处理. (3)光电测量法. 该方法是由 M. Bonnet 首次使用^[5]. 基本方法是通过测量材料的导电性和霍尔效应来研究材料电特性分布的非均匀性. 它的缺点是测量时间较长.

与上述几种方法不同, 本文提出的红外传输图象方法不需要对材料进行抛光, 切片, 而直接得到材料的红外图象. 这种图象是由材料中的缺陷形成, 包含 $1.1\text{--}1.5\mu\text{m}$ 之内, 传感器能够检测得出来的所有缺陷. 利用红外激光源就可定量地估计出中心密度深度 EL2. 由于图象灰度相对值间接地与 EL2 值相关, 因此, 就有可能用来研究 EL2 的“猝

* 1986年12月17日收到, 1988年6月5日修改定稿.

熄”(quenching)现象^[6]。

2. 红外传输图象法

红外传输图象法的基本构成如下: 将一束波长为 $1.1\text{--}1.5\mu\text{m}$ 的近红外光穿过一块厚度为 $4\text{--}8\text{ mm}$, 直径为 50 mm 的砷化镓 (GaAs-SILEC), 用红外摄像机 TOSHIBA 8844 摄取图象, 然后输入计算机图象处理系统 DATASUD, 并在显示屏上显示出材料中的非均匀性缺陷图象。观察和分析图象就能研究材料中的缺陷(EL2, 位错等)在截面上的分布结构形态(十字形, 网状, 球粒形等)。

由于光学系统和电子系统中各种干扰(如热噪声、光电传感器的质量等)的影响, 直接获得的图象的质量是极差的。为了改善图象的质量和材料的缺陷作定量分析, 我们采用红外数字图象处理技术, 来提高信噪比和增强图象对比度。下面简要地描述红外图象的采集装置和实验条件, 介绍作者为研究这种材料设计的 ZHIMAG 图象处理软件包。最后, 举出了一些应用结果, 并进行了分析。

3. 实验装置

砷化镓材料中缺陷的红外图象采集和分析处理装置如图 1 所示。

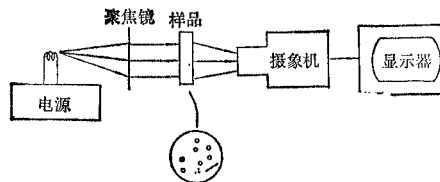


图 1 砷化镓材料中缺陷的红外图象采集和分析处理装置

红外光源用来产生激发和测试用的近红外光束。它由一个功率为 $100\text{--}250\text{ W}$ 的卤族灯泡和一个低压直流电源构成。产生的近红外光束(波长为 $1.1\text{--}1.5\mu\text{m}$) 经过棱镜聚焦后产生的平行光束穿过一块直径为 50 mm , 厚度为 5 mm 的砷化镓材料 (GaAs-SILEC) 的横截面。缺陷图象由红外摄像机 TOSHIBA 8844 摄取, 然后经过数字化, 再输入 DATASUD 图象处理机。图象的分辨率为 512×512 象素, 8 bit 的灰度。最后, 利用 ZHIMAG 软件包进行显示、处理和分析。

4. ZHIMAG 软件包介绍

(1) ZHIMAG 的特点 (a). 利用“菜单”显示所有图象处理功能; (b). 通过键盘选择处理功能, 并立即执行; (c). 对话式选择可变参量; (d). 执行过程中的中断请求控制; (e). 在多功能选择条件下的对话式执行过程; (f). 可实现批文件处理和数据修改, 键盘式或程序式中断, 通过键盘引入数据和输出结果。

(2) ZHIMAG 的起动过程 为了使用方便和直接进入 ZHIMAG 软件包, 一个称为管理文件的“核”能够在开机后自动装入系统。

(3) ZHIMAG 的系统构成 ZHIMAG 是一个环绕着管理文件“核”的环状结构, 这个“核”通过 DOS 系统与硬件部分相连接。此外, 它可以进入所有构成 ZHIMAG 的文件中。

(4) ZHIMAG 的“菜单” “菜单”将所有图象处理功能列入一张表格, 且显示于屏

幕上。每个图象处理功能可借助于 ASCII 码由键盘来选择。文件执行完成后,自动退回“菜单”。

(5) ZHIMAG 的处理功能 ZHIMAG 的处理子程序是用 MOTOROLA 68000 机器语言写成的。用户可选择同功能,但不同应用的算法子程序。ZHIMAG 也包含了用于砷化镓材料中缺陷图象处理的专用算法子程序。

除了那些计算图象密度的概率算法子程序外,我们还可列举如下的一些处理功能:(a) 伪彩色处理;(b)对比度增强;(c)空间滤波;(d)图象的快速傅里叶变换及其分析;(e)图象的分割;(f)图象的识别;(g)边界检测和跟踪;(h)图象纹理结构检测;(i)图象分析;(j)砷化镓材料中缺陷分布形态分析。

(6) ZHIMAG 的图象处理文件库结构及其自动处理过程 由摄影机获得的图象经过数字化后,输入图象存储器。整个图象处理过程可以是序列方式进行或者是并列方式进行。处理过程结束之后,全部结果可以送入电视监视器进行显示或记录于磁盘保存起来。

5. ZHIMAG 的应用举例

下面给出一些应用 ZHIMAG 所获得的图象例子,并且对结果加以分析。

图 2 表示一张 512×512 象素点的原始红外传输图象。从图中我们可以观察到分布于整个图象中的网状缺陷,也可看到在亮区域中的 EDZ 缺陷和处于图象中心的“十”字形缺陷。

图 3 是一幅直方图均匀化后的图象。通过对灰度等级的扩展,图象对比度得到了改善。

为使网状结构更加清晰,必须对原始图象进行增强,也就是说,在边界检测后,经过对门限的适当选择和对图象中每个象点进行保留或变换。在图 4 中,我们对增强前后图象进行了比较,水平线上方表示增强后图象,下方表示原始图象。

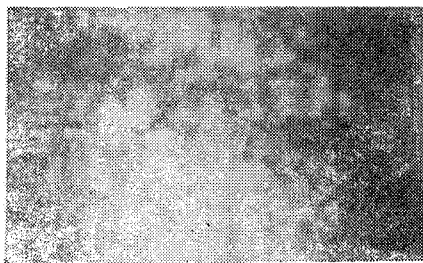


图 2 砷化镓材料的红外传输图象

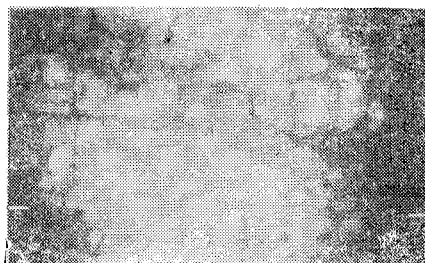


图 3 直方图均匀化后的图象

图 5 表示将原始图象放大两倍后的图象。我们可较清楚地观察到网状缺陷(暗区域)和 EDZ 缺陷(亮区域)。由此可得出结论:网状对应于 EL2 高吸收区域,它包围着 EL2 的低吸收区域 EDZ。这一结论与 Brozel^[7] 和 Kikuta^[8] 的结果相一致。

图 6 表示了利用差分法获得的边界检测图象。我们利用的是 3×3 窗口中 8 个相邻点的差分运算法。可以这样说,边界检测不仅能观察到缺陷,而且能分割和区分开不同缺陷:如果网状缺陷(亮区域)是由一系列封闭曲线组成,那么它包围着缺陷 EDZ (暗区

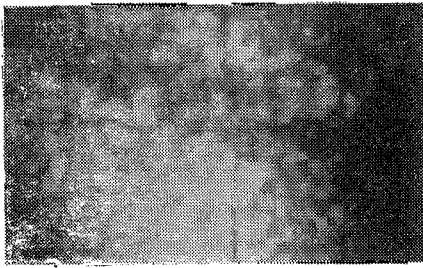


图 4 边界增强后的图象



图 5 把图 2 放大两倍后的图象

域);相反,如果网状是开口的,这时的线状缺陷(暗区域)是 SST 和 CST 缺陷。

图 7 是一幅边界跟踪图象。从图 6 我们看到,边界检测会产生一定的边界厚度。为使边界只有一个象素点厚,从而更加精确,必须应用边界跟踪的算法。

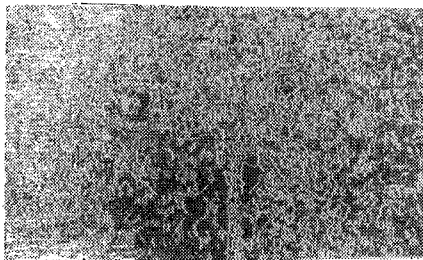


图 6 利用差分法所得边界检测图象

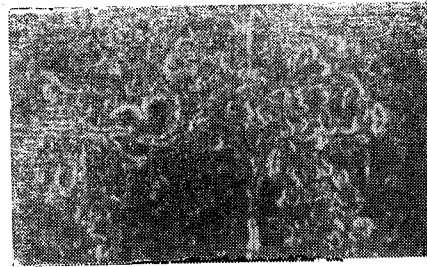


图 7 边界跟踪后的图象

6. 结论

在这项工作中,我们建立了一个图象处理软件包 ZHIMAG,并第一次将它应用于砷化镓的研究中。这项新技术有很多优点:(1)在工业上,这项技术是非破坏性的,能够几乎实时地检测和检验材料中的缺陷。这就允许改善材料的提取技术,从而实现制造过程的最佳化;(2)在对缺陷的研究方面,砷化镓材料的红外传输图象与 EL2 缺陷相关,它对材料的电特性有很大影响,这样就可研究造成缺陷的原因和器件特性。

通过 ZHIMAG 的建立和应用,我们已证明这个软件包能够对图象进行自动处理。定量分析和形态研究。它适用于任何其它类型的图象处理。

参 考 文 献

- [1] Fugui Zhang, Morphologie des Distributions de Defauts Dans GaAs-Si par Imagerie Infra-Rouge Numerique, These de doctorat, Montpellier, France, 1986.
- [2] J. Logowski, et al., Semi-insulating III-V Materials, Conf., Kahneeta, U. S. A., 1984, 130—135.
- [3] N. Yoyoda, et al., Defect Recognition and Image Processing in III-V Compounds, Conf., la Grande Motte, France, 1985, 30—34.
- [4] M. P. Scott, Defect Recognition and Image Processing in III-V Compounds, Conf., La Grande Motte, France, 1985, 80—86.
- [5] B. Gautheraux, Les Mesures de Conductivite Electrique en Cartographie, These Paris VI, 1985, 120—140.
- [6] M. Asgarinia, L'etude Experimentals des Defauts Dans GaAs-Si, Repport DEA, Montpellier, France, 1985, 50—56.
- [7] M. R. Brozel, et al., Three Dimensional Image of the Distribution of $1\mu\text{m}$ Absorpton in Undoped SI-LEC. GaAs and Related Compounds, Biareitz, France, 1984, 50—57.

- [8] T. Kikuta, et al., Microscopic Distribution of Deep and Shallow Levels Around Dislocations in Undoped SI-GaAs, GaAs and Related Compounds, Biarritz, France, 1984, 72—76.

STUDY OF MORPHOLOGICAL DISTRIBUTION OF DEFECTS IN GaAs WAFERS BY INFRARED DIGITAL IMAGE PROCESSING

Zhang Fugui

(Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing)

ABSTRACT A new method is applied to characterize the defects in GaAs material (e.g. the absorption of EL2 centres). The method consists of transmitting a laser beam ($\lambda=1.1-1.5\ \mu\text{m}$) through the GaAs wafer of 4—8 mm thickness and 50 mm diameter. The image is received by the TOSHIBA 8844 camera and entered into the DATASUD computer image processing system. This image is displayed on a monitor permitting to observe the inhomogeneity (like cross, cells and volutes) of the EL2 and dislocation defects. This paper will introduce a specific image processing software for GaAs material, called ZHIMAG (ZHANG IMAGE) and its applications in GaAs wafer. The software can be also applied to any other types of image processing.

KEY WORDS Infrared image; GaAs, Image processing software