PL Mapping 技术检测大直径 SI-GaAs 晶片中缺陷分布*

赵彦桥　韩彦辉　杨燕萍　郝秋艳　刘彩池

(河北工业大学信息功能材料研究所　天津　300130)

摘　要　采用 PL Mapping 技术,检测 6 英寸 SI-GaAs 晶片的均匀性,从而得到样品中的缺陷分布状况。本文主要通过光荧光谱获得样品表面和内部丰富信息,利用光谱图中颜色的不同来分析样品缺陷的不均匀分布等特点;对比样品局部发光强度信号和发光峰位的变化曲线图及化学腐蚀图片,进一步讨论由于缺陷而造成的样品均匀性的变化。

关键词　快速扫描光荧光技术　SI-GaAs　光谱分析　缺陷分布

引言

砷化镓是最重要的第二代化合物半导体材料,为满足高速移动通讯的迫切要求,大直径半绝缘砷化镓(SI-GaAs)单晶的发展非常迅速。增大晶体直径、提高材料的电学和光学微区均匀性、降低单晶的缺陷密度已成为目前砷化镓单晶材料的发展趋势[1],所以对大直径 SI-GaAs 晶片的检测显得尤为重要。

快速扫描光荧光(PL Mapping)技术是一种快速、无接触、无损伤的测量技术。它通过收集光信号,将光信号转换为电信号进行信号处理,然后将不同能量的信号用不同颜色的点表示,通过观察晶片上各种颜色的分布,得到晶片相关参数的均匀性。另外它在室温下就可以操作,还可以在生产中进行在线测量。使用该技术可以得到整个晶片的 PL Mapping,从而可得到缺陷以及材料其它属性的均匀性的重要信息。

1　实验

实验样品为表面抛光的 6 英寸 SI-GaAs 单晶片。

实验仪器为 ACCENT RPM2000 系列的 2050 型号 PL Mapping 扫描光谱仪[2],它能给出峰的位置、峰的能量、半峰宽和综合能量。仪器最高分辨率为 0.1mm,最大扫描直径为 150mm(6 英寸)。

2　实验过程、结果和讨论

进行测试时,将激光光束照到测试样品上,如果光的能量超过材料的禁带宽度,将激发电子从价带跃迁到导带。由于激发状态属于不稳定状态,所以电子会自发从导带向价带复合使电子趋于稳定状态。如果禁带中无杂质能级,则电子直接从导带向价带复合,此时会以光子形式放出多余的能量。但是在电子从导带返回价带的过程中,如果在禁带中存在杂质能级,则电子就会从导带进入杂质能级,以光子形式放出剩余的能量。因为杂质能级的位置不同,所以放出的光子的能量也不同。由方程 $E = h\upsilon$,可知不同的能量对应于不同的频率,而 $\lambda = 1/\upsilon$,即频率不同波长不同,所以不同的能量对应于不同的波长。而在光学中,不同波长的光则以不同的颜色呈现出来。通过以上过程,我们就可以用不同的颜色的光谱图来描述和分析问题。

图 1 为对 6 英寸 SI-GaAs 晶片进行测量得到的结果,测量中使用 1.0mm 的分辨率,扫描速率为 5pts/s。图 1 中不同颜色的点表明光信号能量高低的差别。其中红色点所对应的峰值能量最高,这说明禁带中杂质少,所对应的区域质量最好,相应的缺陷分布也少。反之,蓝色点代表的区域质量最差缺陷分布也较多,绿色点区域则介于红色和蓝色之间。由发光峰发光强度信号的均匀性(Peak Int)光谱图可以看到晶片整体呈蓝色,其中点缀一些红色和绿色的点,中间及边缘左下角部分颜色呈绿色。正因为晶片的不均匀性才有光谱图中颜色的差别,据测试出的光谱图,整个晶片的不均匀度为 19.0%,有关专家认为造成这种现象的原因主要是由于表面复合对发光效率的影响[3]。而发光峰值信号的均匀性(Peak Lambda)图,整体呈绿色,其中点缀有红色和蓝色斑点,而在晶片左下角部分发光峰值信号反差较大,因此在 Peak Lambda 图中此区域的蓝色斑点较多,而在发光强度相对均匀的其他部分红色斑点分布较多,发光峰信号的均匀性较好。

如果用 ACCENT 软件改变颜色所对应的能量(Volt)指数,并将图改变为黑白衬度,其它测试条件都不变,就可以得到比较明显的样品均匀性对比图(见图 2)。在图 2 中样品从边缘到中间颜色依次变浅,并点缀有大小不一的白色斑点,另外在样品边缘

* 国家自然科学基金(60276009)和河北省自然科学基金资助项目

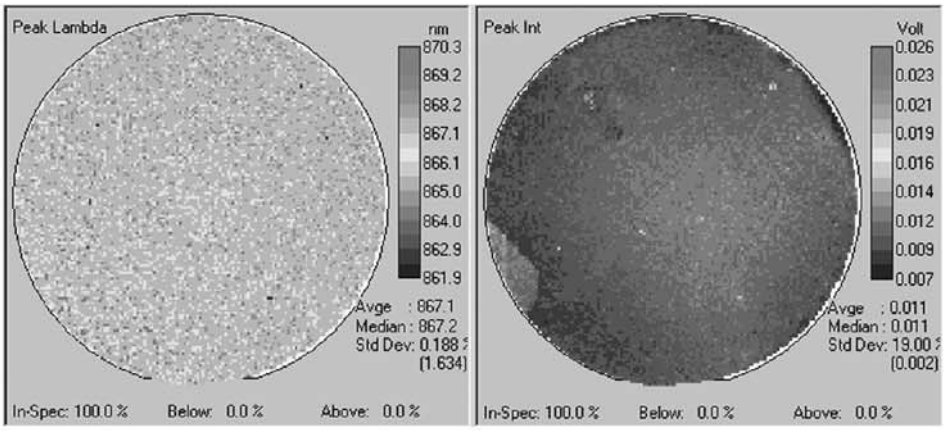

图 1　6 英寸 SI-GaAs 的 PL Mapping

左下角出现部分浅色分布区域。但从整体上分析，样品的中间部分的发光峰发光强度明显高于边缘部分，其中白色斑点处的发光强度信号最好。这说明此样品的缺陷密度由边缘到中心逐渐降低，如果去掉黑色区域所在的边缘部分，样品的质量和均匀性将有很大的提高。我们知道在拉晶过程中，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，这有可能是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，图 1 和图 2 证实这种说法。

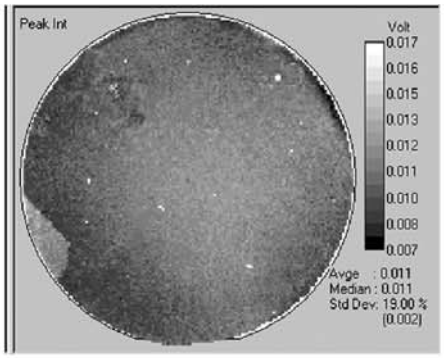

图 2　样品的发光峰发光强度信号均匀性光谱

用 PL Mapping 检测，由发光强度可以看出材料的发光能量，在固定的激发光强下，样品表面各点的发光强度的变化可直观反映出样品发光中心浓度的变化。当用激光照射到被测样品表面时，材料出现本征吸收，在材料表面产生大量的空穴电子对。它通过不同的复合机理进行复合，产生光发射。发射光在逸出表面前会受到样品本身的自吸收。逸出表面的发射光经会聚进入单色仪分光，然后经探测器接收并放大，得到发光强度按光谱能量分布的曲线。图 3 为本样品中心处的发光峰位（nm）和发光强度（V）图。SI-GaAs 发光峰位约为 866nm。

应用 ACCENT 软件，还可以得到样品任意直径上发光峰发光强度变化曲线（见图 4）。

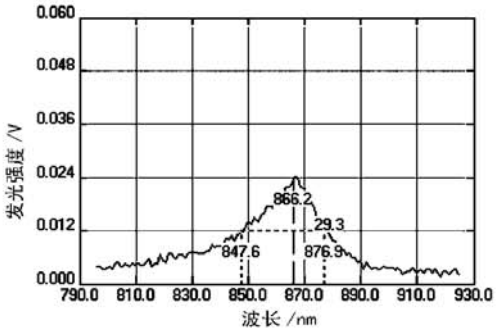

图 3　样品中心点处的发光峰位和发光强度

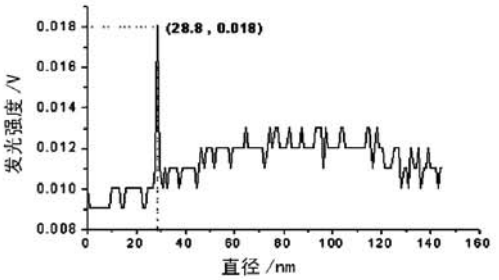

图 4　沿样品直径发光峰发光强度的变化曲线

图 2 所示的光谱图中，可以明显看到在离样品边缘 28 8mm 处有一个白色斑点，此斑点正好对应于图 4 中坐标（28 8，0 018）处的曲线最高峰。这说明在此斑点处发光强度信号最强，样品的质量也最好几乎没有缺陷存在。而从整个曲线图分析可以看到样品的中心区域发光强度值明显高于样品边缘，进一步说明 SI-GaAs 晶片中心区域的质量优于边缘部分，缺陷密集区在样品的边缘。

经有关专家研究表明：SI-GaAs 晶体的位错密度对晶体的各种均匀性都有一定影响[4]。通过超声 AB 腐蚀法在常温下对解理后的样品进行腐蚀，然后用金相显微镜进行检测，对比样品各部分的腐蚀图片发现：图 2 中对应的黑色分布区域出现的位错胞状结构、腐蚀坑等缺陷比较密集（见图 5），而其他部分缺陷分布相对稀疏（见图 6）。此现象验证用 PL Mapping 光谱对样品缺陷分布及均匀性分析的准确性。

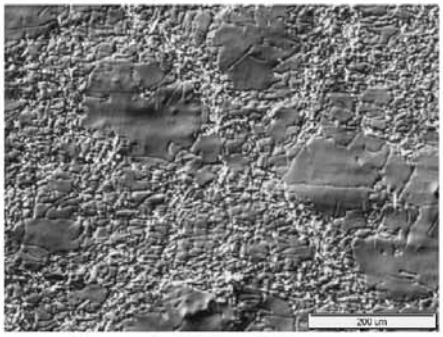

图 5　金相腐蚀图片(50×)

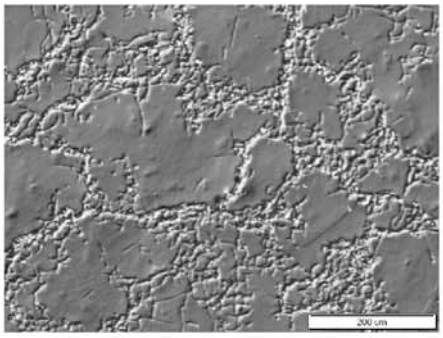

图 6　金相腐蚀图片(50×)

3　结论

(1)光谱谱形和光谱强度除与激发光的光子流密度有关外,与处于样品禁带内的各种杂质,缺陷密切相关。通过光荧光谱获得6英寸SI-GaAs晶片表面和内部丰富信息。晶片发光峰发光强度高的区域缺陷分布少,反之缺陷密集的地方发光强度的信号就弱。

(2)通过以上实验,可见PL Mapping技术确实是测量SI-GaAs材料微区均匀性的有力手段,该测量技术具有非破坏性、灵敏度高、直观性强,快速准确等优点。在本实验中,检测出的6英寸SI-GaAs晶片的均匀性相对较好,只有边缘部分均匀性较差,器件质量明显优于小直径SI-GaAs晶片。

参考文献

1　凌玲. 半导体材料的发展现状[J],产业论坛,2003,6:6～10

2　Bio-Rad Semiconductor System Division,RPM 2000 photoluminescence mapper[M],1998

3　李光平,汝琼娜,李静等. PL Mapping在SI-GaAs材料与器件性能关系研究中的应用[J],现代仪器,1999,4:38～40

4　赖占平,齐德格,高瑞良等. 影响SI-GaAs单晶抛光片均匀性的因素研究[J],人工晶体学报,2000,29(2):176～179

The defects distribution of SI-GaAs wafer using PL Mapping technique

Zhao Yanqiao　Han Yanhui　Yang Yanping　Hao Qiuyan　Liu Caichi

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

Abstract　In this paper, the defects distribution of SI-GaAs wafer was studied using PL Mapping technique in detail. The experiment results showed the information about the sample's surface and inner analysed by the spectrum. We analysed the nonuniform defects distribution according to different colours in the spectral map. By comparing PL Mapping with line profile of peak int and chemical etching pictures, we discussed uniformity change of the sample quality due to the existential defects.

Key words　PL Mapping　SI-GaAs　spectral analysis　defects distribution

(下接第33页)

Determination of standard value of nitrate standard solution by ion cromatography

Zhang Liping[1]　Xing Zhi[*2]　Feng Lu[2]　Li Heng[2]

(1. Chemistry Department of Bao Tou Normal college of Mongolia Scientific and Technological University Baotou　014030)

(2. Analysis Center, Tsinghua University, Beijing　100084)

Abstract　The method for exact determination of nitrate in standard solution by ion chromatography with conductivity detector has been developed. The separation of the nitrate was conducted on IonPac AS19 anion exchange column (2mm I.D. x 250mm) with NaOH solution as isocratic eluent, the detection was performed by the suppressed conductivity detector with the injection volume of 25 μL. The optimal chromatography conditions were obtained by orthogonal design $L_9(3^4)$ table. The reliability of method was proved by evaluation of the stability of calibration curve, the test of quality control sample and the recovery. The linearity range of calibration curve is 1.0～100mg/L. The detection limit (3σ), RSD and average recovery of standard addtion are 0.007mg/L, 0.36% and 94.2%～104% respectively.

Key words　Ion chromatography　Nitrate　Standard　Substance