

GaAs 中非晶态与晶态界面晶格象的 光衍射分析

林 迪 梁 静 国

(北京大学物理系)

1985年8月11日收到

提 要

我们利用光学衍射仪对离子注入后 GaAs 中晶态区与非晶态区界面的高分辨晶格象进行了分析,得到了界面附近结构变化的初步结果,由非晶态区到晶态区存在如下五个区域:非晶区;晶核与低维有序区;多晶区;单晶畸变区和单晶区。

一、引 言

离子注入目前已成为半导体集成电路及电子器件制造中的一项重要新技术,具有一定能量的离子注入固体材料后会造成不同程度的损伤,晶格损伤导致的结构变化对材料的各种物理性质都将产生影响^[1-3],因此深入了解离子注入后材料的各种损伤是很有意义的,目前,对于 GaAs 晶体离子注入后损伤区与未损伤区界面的结构还不够清楚,我们用光学衍射仪对高分辨电子显微镜拍摄的注入区(非晶态区)与未注入区(单晶区)界面附近的晶格象进行了光学处理的研究^[4],获得了有意义的结果。

二、实验方法

在 GaAs 单晶片上以 SiO₂ 掩蔽进行光刻, SiO₂ 膜厚为 400nm, 光刻窗口为 20 μ m \times 20 μ m, 窗口间距为 20 μ m, 将能量为 150keV 剂量为 5 \times 10¹⁵ions/cm² 的 ³¹P⁺ 以 8° 的入射角由光刻窗口注入 GaAs 单晶片中, 在 GaAs 晶片的背面用液氮冷却。

对离子注入后的 GaAs 晶片进行离子减薄,对减薄后的样品利用高分辨透射电子显微镜拍摄晶格象,电子束沿 GaAs 的[001]方向入射,物镜光阑取九束衍射,见图1(见图版 I)。

对电子显微镜底片进行光学衍射分析,衍射仪光源为波长是 6328 Å 的激光器,衍射透镜焦距为 980mm。

用测距仪测量衍射斑点的间距。

三、实验结果及讨论

图2(见图版 I)至图4(见图版 II)是晶态区的晶格放大像和相应区域的光学衍射

图。在这三个区域的衍射图中都只出现了规则的衍射斑点,这说明这些区域是很好的晶态。斑点间距测量结果见表 1。表 1 中 d 是斑点所代表的晶面的间距,它是利用 $Mrd = \lambda f$ 计算的。式中 M 是电子显微镜的放大倍数, λ 是激光波长, f 是衍射透镜的焦距。

表 1

图	点	$R(\text{mm})$	$d(\text{\AA})$
2	1	8.16	2.81
	2	11.40	2.01
3	1	8.19	2.80
	2	11.50	2.00
4	1	8.16	2.81
	2	11.54	1.99

对于 GaAs 单晶,利用 $d = \frac{5.65}{[h^2 + k^2 + l^2]^{1/2}} (\text{\AA})$ 可以求出(220)和(200)的晶面间距分别为 1.998\AA 和 2.825\AA 。

将表 1 中的 d 值与上面求出的标准晶面间距比较,点 1 是晶面(220)的衍射斑点,点 2 是晶面(200)的衍射斑点。

图 5 和图 6 (见图版 III) 是非晶区的高分辨像和相应的衍射图。在这两张衍射图上只出现了同心圆环,说明这些区域是完全的非晶态。

表 2

图	点	$R(\text{mm})$	$d(\text{\AA})$	与 $d_{(220)}$ 标准值的相对误差 (%)
7	1	10.87	2.11	5.60
	2	11.46	2.00	0.10
8	1	11.01	2.09	4.60
	2	11.44	2.01	0.60
	3	11.07	2.07	3.60
9	1	10.49	2.19	9.60
	2	11.02	2.08	4.10
	3	11.50	2.00	0.10
	4	10.89	2.11	5.60
10	1	10.86	2.11	5.60
	2	10.86	2.11	5.60
	3	10.43	2.01	9.60
11	1	11.56	1.99	-0.40
	2	11.06	2.08	4.10

图 7 至图 11 (见图版 IV, V, VI) 是一组晶态-非晶态界面附近的晶格放大像及相应的光学衍射图. 每张衍射图上相应于 (220) 晶面衍射斑点的间距测量结果及相应的晶面间距计算结果见表 2.

图 12 至图 16 (见图版 VI, VII, VIII) 是另一组界面附近的晶格放大像和相应的光衍射图. 斑点间距的测量值及相应的晶面间距计算结果见表 3.

表 3

图	点	$R(\text{mm})$	$d(\text{\AA})$	与 $d_{(220)}$ 标准值的相对误差 (%)
12	1	10.85	2.12	6.11
	2	10.88	2.11	5.60
13	1	11.53	1.99	-0.40
	2	11.00	2.10	4.60
14	1	10.95	2.09	5.10
	2	10.98	2.00	4.60
	3	11.49	2.00	0.10
	4	11.02	2.08	4.10
15	1	10.93	2.10	5.10
	2	10.91	2.10	5.10
	3	10.90	2.11	5.60
16	1	11.63	1.97	-1.40
	2	10.83	2.12	5.40

由表 2 给出的 d 值和图 7 至图 11 可以看出在此区域内 GaAs 已不是完整的单晶态, 除了离子注入产生的非晶态以外还包含有一些取向不同的单晶区. 那些偏离原完整晶体取向的小单晶块所对应的衍射斑点相对强度弱一些, 晶面间距值与标准值亦有一定的偏差 (+3.85—+9.61%). 我们认为晶面间距变大是由于离子注入引起的晶格畸变造成的.

由表 3 给出的 d 值和图 12 至图 16 我们看到在衍射图中有非晶圆环出现, 此外也有衍射斑点. (220) 面的衍射斑点分布在一个多晶环上. 这说明此区域为非晶和多晶的共存区, 由于晶格畸变晶面间距与完整晶体相同指数的晶面间距有偏差.

我们发现在图 7 至图 11 中有一些衍射斑点不对应 (220) 晶面的衍射, 这些点的间距测量值见表 4. 观察相应的晶格象, 发现这些图上都有粗条纹出现. 用直尺测量 (220) 条纹间距和这些粗条纹间距结果见表 5. 令粗条纹间距与 (220) 条纹间距的比值为 γ . 表中还列出了由衍射斑点测量计算出的那些不属于 (220) 面的间距与 (220) 标准晶面间距的比值 γ' .

根据表 5 我们认为这些斑点是由于晶格象上这些粗条纹的衍射造成的. 图 7 和图 8 中点 4 和点 5 我们认为是晶面 (200) 的衍射斑点, 由于晶格畸变晶面间距与完整晶体的晶

表 4

图	点	$R(\text{mm})$	$d(\text{\AA})$
7	3	6.69	3.43
	4	9.11	2.52
8	4	7.32	3.14
	5	8.87	2.59
9	5	6.74	3.41
	6	8.08	2.84
10	4	5.76	3.99
	5	6.88	3.34
11	3	6.01	3.82

表 5

图	点	粗条纹间距 (mm)	(220)条纹间距 (mm)	r	r'
7	3	1.33	0.80	1.66	1.72
8	4	1.40	0.83	1.69	1.57
9	5	1.25	0.77	1.625	1.71
	6	1.08	0.77	1.408	1.42
10	4	1.60	0.82	1.96	2.00
	5	1.40	0.82	1.71	1.67
11	3	1.50	0.97	1.83	1.97

表 6

图	$R(\text{mm})$	$d(\text{\AA})$
10	10.27	2.24
12	10.29	2.23
13	10.25	2.24
16	9.99	2.30

面间距有较大偏离。

我们注意到,在图 10, 12, 13 和 16 的衍射图中有直线对出现。这些直线对对称地分布于透射斑点的两侧。衍射线到透射斑点的距离测量结果见表 6

观察这些衍射图对应的晶格照片,我们可以看到,这些区域完整晶格象的两维有序已被破坏,但又并没有被破坏成非晶态的完全无序分布,由此推断这些衍射线对的出现是与晶格象上的某些一维有序结构相联系的。它们是(220)面晶格象的二维有序被破坏成一维有序后衍射而成,晶面间距 d 测量值与标准值的偏离同样是由于晶格畸变引起的。

从我们获得的系列光衍射图中发现,完整晶格象的光衍射图是单纯的规则斑点,纯非晶态的高分辨照片的光学衍射是同心圆环。介于两者界面附近的光学衍射既有非晶环出现,也有斑点出现,这些斑点大部分分布于一个环上,说明这个区域不存在完整的单晶,晶态结构是以多晶形式出现的。在有些衍射图上还出现了反映一维有序结构的衍射线对。我们发现,凡是有衍射线出现的衍射图中,都同时有斑点出现,而没有发现那种出现衍射线不出现斑点的衍射图。由此我们认为 GaAs 由非晶态到晶态的转变并不是先形成局部的低维有序(对应晶格象的一维有序)再逐渐形成晶核最后形成完整晶体。实际上在非晶态到晶态的转变中一开始就出现了晶核同时伴有某些低维有序出现。

根据上述实验结果与讨论,我们初步得到了 GaAs 晶体离子注入后非晶区与晶态区界面的结构变化情况。由非晶区到晶态区可分为下列几个区域:非晶区(图 5, 6)晶核和一些低维有序共存区(图 10, 12, 13, 16)、多晶区(图 9, 14, 15)、单晶畸变区(图 7, 8, 11)、单晶区(图 2, 3, 4)。

参 考 文 献

- [1] J. Narayan *et al.*, *Materials Letters*, 2(1984), 211.
- [2] N. Pashov *et al.*, *Physica Status Solidi*, 84(1984), K23.
- [3] G. Carter, W. A. Grant, *Ion Implantation of Semiconductors*, Chap. 5, Edward Arnold, (1976).
- [4] Audrey M. Glauret, *Practical Methods in Electron Microscopy*, part II, American Elsevier, (1972).

ANALYSIS OF THE LATTICE IMAGE OF INTERFACE BETWEEN AMORPHOUS REGION AND CRYSTALLINE REGION IN GaAs WITH OPTICAL DIFFRACTOMETER

LIN DI LIANG JING-GUO

(Department of Physics, Peking University)

ABSTRACT

We analysed the high resolution lattice image of interface between crystalline region and amorphous region produced by ion implantation in GaAs with optical diffractometer. The preliminary results show the structure variation at the interface. There are five districts from amorphous to crystalline region. They are: amorphous area; nuclei, crystallite and low dimensional ordered area; polycrystalline area; distorted monocrystalline area; and monocrystalline area.