

铅离子辐照注碳 4H-SiC 的红外光谱特性研究*

周丽宏, 张崇宏, 宋 银, 杨义涛

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 主要研究了铅离子辐照注碳 4H-SiC 样品在 3 个不同退火温度下傅立叶变换红外光谱的变化。从红外谱的变化可以知道铅辐照注碳 4H-SiC 样品在一定深度内出现了非晶层, 波数在 $960-1450\text{ cm}^{-1}$ 范围内出现了干涉带, 干涉带强度随着退火温度的升高而变弱。1373 K 退火后样品的卢瑟福背散射分析结果显示, 一定深度内硅原子的背散射产额明显减少。

关键词: 4H-SiC; 傅立叶变换红外光谱; 离子注入; 卢瑟福背散射分析; 退火

中图分类号: O571 **文献标识码:** A

1 引言

以碳化硅为代表的新一代化合物半导体材料由于大的禁带宽度、高的载流子饱和漂移速率、高的击穿电压和良好的化学热稳定性等诸多优点, 在高速、高温、大功率微电子器件以及高亮度短波长光电子器件的开发中显示了重要的应用前景, 因此受到人们越来越多的关注。在碳化硅器件工艺中, 即使在 $1800\text{ }^\circ\text{C}$ 扩散条件下, 大部分掺杂的扩散速率仍然较低^[1], 因此离子注入被认为是比较可行的掺杂工艺技术。然而离子注入都不可避免地使碳化硅材料中出现缺陷, 会使其电学性能受到很大的影响, 往往需要在一定条件下退火, 使损伤的晶格得到一定的恢复。所以研究注入或辐照后缺陷的退火行为是碳化硅器件制造和应用的基础。另外, 碳化硅材料也是未来核聚变堆的一种很有前景的候选结构材料, 对其辐照缺陷演化的研究有助于了解这种材料在聚变堆强辐射环境中结构与性能的变化。

离子注入/辐照后的碳化硅可用红外光(IR)谱和拉曼光谱等方法分析其物理性能的变化。傅立叶变换红外光(FTIR)谱除可用于研究固体晶格振动外, 还可用于分析薄膜的厚度^[2]、半导体载流子的浓度以及空间分布^[3,4]和离子注入后的损伤情

况^[5]。

本文利用 FTIR 结合卢瑟福背散射分析(RBS)方法研究了退火温度的变化对铅离子辐照注碳 4H-SiC 样品损伤恢复程度的影响。

2 实验过程

碳离子注入实验是在中国科学院近代物理研究所 200 kV 的离子注入机上完成的。注入碳离子($^{12}\text{C}^+$)的能量为 110 keV, 注入量为 $5 \times 10^{17}\text{ ion/cm}^2$, 注入时样品的温度为室温。依照 SRIM96 计算结果, 射程为 199 nm, C 原子浓度峰值为 61%^[6]。注入碳离子后又用能量 230 MeV 的铅离子($^{208}\text{Pb}^{27+}$)辐照样品, $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 辐照是在中国科学院近代物理研究所的 HIRFL-SFC 的实验终端上进行的, 辐照量为 $1 \times 10^{13}\text{ ion/cm}^2$, 辐照时样品的温度为 500 K。依照 SRIM96 计算结果, 射程为 370 nm^[6]。铅辐照注碳后的样品在真空环境下退火, 真空度在 $3 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ 以上, 退火温度分别为 773, 1073 和 1373 K, 退火时间均为 30 min。

利用 SpectrumG X 型谱仪在室温下测得 FTIR。测试时的分辨率为 4.0 cm^{-1} , 增益为 1.0, 扫描次数 20 次, 扫描波波数在 $580-4000\text{ cm}^{-1}$ 。卢瑟福

收稿日期: 2005-11-20; 修改日期: 2006-02-20

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10575124); 中国科学院西部之光人才培养计划资助项目; 北京大学教育部重离子物理开放实验室基金资助项目

作者简介: 周丽宏(1980-), 女(汉族), 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 从事离子注入与材料科学研究;

E-mail: zhouliahong2004@yahoo.com.cn

背散射分析是在北京大学重离子物理教育部开放实验室的 1.7 MV 串列静电加速器上完成的。分析所用离子为 2 MeV 的 $^4\text{He}^+$ ，散射角为 165° ，探测器为金硅面垒型。

3 实验结果与分析

图 1 给出了铅辐照注碳 4H-SiC 样品的 FTIR，1[#] 是空白 4H-SiC 样品，2[#] 是未退火的铅辐照注碳 4H-SiC 样品，3[#]、4[#] 和 5[#] 分别是铅辐照注碳 4H-SiC 在 773、1 073 和 1 373 K 退火后的 IR 谱。4H-SiC 的“剩余射线反射带”在 $780\text{--}990\text{ cm}^{-1}$ 之间^[5,7-9]。从图 1 可知，铅离子辐照注碳 4H-SiC 的“剩余射线反射带”与空白样相比有很大的变化；3 个不同的退火温度几乎不影响铅辐照注碳 4H-SiC 的“剩余射线反射带”；纵向光学模 ω_{LO} (990 cm^{-1}) 向低波数方向移动；波数在 $960\text{--}1\,450\text{ cm}^{-1}$ 范围内出现干涉带；干涉带的强度随着退火温度的升高而变弱，且在 1 373 K 退火后， $1\,250\text{--}1\,450\text{ cm}^{-1}$ 波数之间的干涉带消失。

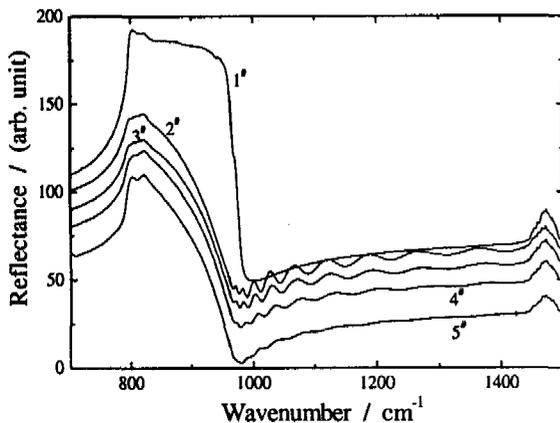


图 1 4H-SiC 样品的 FTIR 谱

1[#] 未注 C 的 4H-SiC；2[#] 注 C 未退火的 4H-SiC 样品；3[#]、4[#] 和 5[#] 分别为经 773、1 073 和 1 373 K 退火的 Pb 离子辐照注 C 的 4H-SiC 样品。

图 2 给出了空白 4H-SiC 样品和铅辐照注碳样品在 1 373 K 退火后的 RBS 谱。从图中可以看出，在一定深度内硅原子的散射产额明显减少。散射产额的减小是因为这一深度内铅离子的存在使硅原子

的散射率降低引起的。根据 SRIM96 计算结果可知， $^{12}\text{C}^+$ 和 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 均会对样品产生移位损伤，故铅离子辐照和碳离子注入均会使 4H-SiC 样品一定深度内的化学计量比发生变化，这会使样品在一定深度内的折射率发生变化。

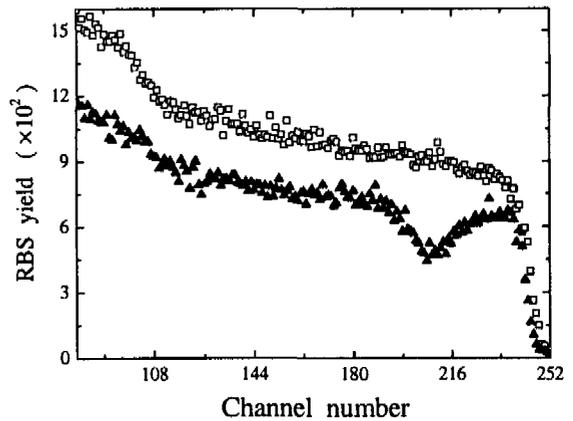


图 2 4H-SiC 样品的 RBS 谱

□ 未注入 4H-SiC 样品，▲ 铅离子辐照注碳 4H-SiC 样品。

“剩余射线反射带”的变化表明，4H-SiC 样品出现非晶层^[5,7]，其变化不受退火温度的影响，这说明 1 373 K 和 30 min 的退火不能使非晶层完全再结晶。

干涉带的出现是由于非晶层与没有非晶化基体之间的折射率不同^[5]。干涉带强度随退火温度的升高而变弱，这表明高温退火可以使非晶层有一定的恢复但不能完全恢复。要使非晶层完全再结晶，退火温度应高于 1 373 K。

4 结论

110 keV 的 $^{12}\text{C}^+$ 注入和 230 MeV 的 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 辐照使 4H-SiC 出现非晶层。退火温度低于 1 373 K 不能使非晶层再结晶化。FTIR 可用于分析注入和辐照后 4H-SiC 的损伤情况以及退火温度对损伤恢复程度的影响。

致谢 感谢中国科学院近代物理研究所材料组其他同事在 Pb 离子辐照实验中给予的帮助。

参考文献:

- [1] 凌志聪, 陈旭东, 冯汉源. 物理, 2004, **33**(11): 786.
- [2] Bozdog C, Yakovlev V, Bosch-Charpenay S, *et al.* Phys Stat Sol (c), 2002, **0**(1): 443.
- [3] Yaguchi H, Narita K, Hijikata Y, *et al.* Mater Sci Forum, 2002, **389—393**: 621.
- [4] Swapna Sunkari, Mazzola M S, Mazzola J P, *et al.* J Electr Mater, 2005, **34**(4): 320.
- [5] Chang W Y, Feng Z C, Lin J, *et al.* Intern J Modern Phys, 2002, **B16**: 151.
- [6] Ziegler J F, Biersack J P, Littmark U. The Stopping and Range of Ions in Solids. **1**. New York: Pergamon Press, 1984.
- [7] Feng Z C, Yan F, Chang W Y, *et al.* Mater Sci Forum, 2002, **389—393**: 647.
- [8] 方荣川. 固体光谱学. 合肥: 中国科技大学出版社, 2001, 232—281.
- [9] 张光寅, 蓝国祥, 王玉芳. 晶格振动光谱学. 北京: 高等教育出版社, 2001, 284—303.

FTIR Characterization of C-ion Implanted and Pb-ion Irradiated 4H-SiC*

ZHOU Li-hong, ZHANG Chong-hong, SONG Yin, YANG Yi-tao

(*Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: 4H-SiC specimens were implanted with C-ions and then irradiated with Pb-ions, and subsequently annealed at three different temperatures. The samples were investigated by using Fourier transformation infrared spectrum (FTIR) and Rutherford backward scattering (RBS). The obtained FTIR spectra showed that there is a buried amorphous layer close to the ion-incident surface and there are several interference fringes in the range from 960 to 1 450 cm^{-1} . The intensity of fringes decreases with the increase of annealing temperature. The obtained RBS spectra showed that the yield of Si atoms in 4H-SiC crystal decreases in a well-defined depth region after annealing at 1 373 K.

Key words: 4H-SiC; FTIR; implantation; RBS; annealing

* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (10575124); West Light Talent Foundation of Chinese Academy of Sciences; Ministry of Education Key Laboratory of Heavy Ion Physics of Peking University