

高温注氦及随后230MeV的²⁰⁸Pb²⁷⁺辐照Al₂O₃的光致发光谱的研究*

宋银¹⁾ 张崇宏 王志光 赵志明 段敬来 姚存峰

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 主要研究了110keV的He⁺高温注入Al₂O₃单晶及1.1MeV/u的²⁰⁸Pb²⁷⁺辐照注氦Al₂O₃样品的光致发光的特性. 从测试结果可以清楚地看到在375nm, 413nm和450nm处出现了强烈的发光峰. 并且在600K, 5 × 10¹⁶ ions/cm²剂量点, 样品的发光峰是最强的. 这表明He⁺注入Al₂O₃后使带隙中深的辐射中心复合的效率大幅度提高, 极大的增强了其发光强度, 而且发光伴随着蓝移现象. 而经过高能²⁰⁸Pb²⁷⁺辐照后的样品, 在390nm出现了新的发光峰, 从FTIR谱中我们能够看到, 可能是²⁰⁸Pb²⁷⁺辐照相对沉积膜出现一定的晶化, 其中含有许多纳米尺寸的Al₂O₃晶粒所致.

关键词 离子注入 重离子辐照 Al₂O₃ 光致发光谱 FTIR谱

1 引言

离子注入作为一种表面改性新技术, 可控性强、均匀性好、重复性高、可使材料表面的成分和结构发生变化, 而离子辐照可导致显著的物理-化学改性, 研究这些效应一方面有助于认识离子与固体相互作用的最基本问题, 如能量损失过程、损伤产生及变化规律等; 另一方面也可作为离子束在新型材料的制备工艺中的应用提供有价值的信息. 单晶Al₂O₃的离子注入改性研究主要侧重于辐照损伤、力学效应、磁学性能、纳米晶的形成, 以及宝石的着色、惰性气体注入形成起泡、稀土离子发光等光学性能.

目前, Ti³⁺, Cr³⁺, V²⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Fe⁺离子注入对单晶光学性能的影响已有研究. 而惰性气体在高

温条件注入以及重离子辐照条件下对光学性能影响的研究还未见报道. 作者将注入He⁺的Al₂O₃单晶并进行了随后²⁰⁸Pb²⁷⁺辐照, 通过荧光光谱仪测试研究其光致发光性能的变化.

2 实验部分

实验样品为高纯抛光的Al₂O₃单晶片(10mm × 10mm × 1mm). He离子注入是在中科院近代物理研究所的MEVVA离子源上完成. 靶室的真空为5 × 10⁻⁴Pa, 基体温度600K, 流强为35μA, 注入能量110keV. ²⁰⁸Pb²⁷⁺辐照是在中国科学院近代物理研究所的兰州重离子加速器国家实验室HIRFL-SFC终端上进行的, 能量为230MeV. 具体实验条件如表1.

表 1

样品编号	离子种类	E/keV	注入剂量/ (×10 ¹⁷ ions/cm ²)	T/K	辐照离子种类	辐照剂量/ (×10 ¹³ ions/cm ²)	辐照温度/K	辐照能量/MeV
1#	He	110	0.5	600				
2#	He	110	1	600				
3#	He	110	2	600				
4#	He	110	0.5	320				
5#	He	110	0.5	320	²⁰⁸ Pb ²⁷⁺	5	320	230
6#	He	110	0.5	320	²⁰⁸ Pb ²⁷⁺	25	320	230
0#	高纯的Al ₂ O ₃ 单晶(即没有离子注入, 又没有辐照的参考样品)							

2005 - 01 - 24 收稿

* 国家自然科学基金(10376039)和中国科学院“西部之光”项目资助

1) E-mail: songyin@impcas.ac.cn, impsy@163.com

3 实验结果及分析

样品在室温下进行了傅立叶变换红外光谱和光致发光谱的测试, 红外光谱用美国 PerkinElmer 公司 Spectrum GX 型光谱仪测得; 光致发光测试使用日本岛津公司的 RF-5301PC 光谱仪. 测量了 340nm 波长激发光激发下的 He 离子注入 Al_2O_3 样品以及 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 辐照注氦 Al_2O_3 的光致发光谱(以下简称 PL 光谱).

3.1 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 辐照注 He 的 Al_2O_3 的红外光谱 (FTIR)

图 1 示出了样品的 IR 谱, 波数在 $460\text{--}510\text{cm}^{-1}$ 间的吸收是 Al_2O_3 振动模式, 经过离子辐照后, 吸收带展宽, 说明出现一定的非晶化或者产生了纳米 Al_2O_3 颗粒. $1000\text{--}1300\text{cm}^{-1}$ 之间为 Al-O-Al 桥氧的伸缩模式, 辐照后吸收带向高波数方向移动, 说明有其他离子参与成键.

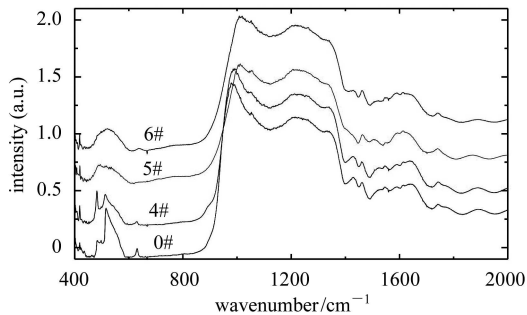


图 1 Pb 离子辐照注 He 的 Al_2O_3 的 FTIR 谱

3.2 He 离子注入 Al_2O_3 的光致发光谱

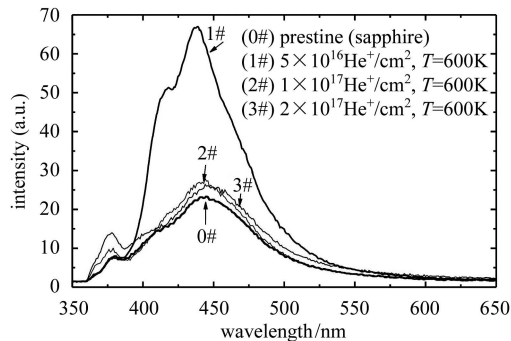


图 2 He 离子注入 Al_2O_3 的 PL 谱

图 2 示出了在 600K 温度 5×10^{16} ions/cm², 1×10^{17} ions/cm², 2×10^{17} ions/cm² 的 He 离子注入 Al_2O_3 的光致发光谱, 激发光波长为 340nm. 从图中能够清楚地看到在 375nm, 413nm 和 450nm 出现了发光峰变强的现象. 而且在 600K, 5×10^{16} ions/cm² (1# 样品), 样品发

光峰是最强的. 说明了 He⁺ 注入使带隙中深的辐射中心复合的效率大幅度提高, 极大的增强了其发光强度.

3.3 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 辐照注 He 的 Al_2O_3 的光致发光谱

图 3 示出了室温条件注入 5×10^{16} He⁺/cm² 并且随后 2.5×10^{14} ions/cm² 和 5×10^{13} ions/cm² 的 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 辐照后的 Al_2O_3 光致发光谱, 激发光波长为 340nm. 在图中对 5×10^{13} ions/cm² 和 Al_2O_3 空白样品作了高斯函数拟合. 从图中可以看到, 室温下 He⁺ 注入样品的 PL 谱变化不大, 但 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 离子辐照后, 出现了与 He⁺ 高温注入后的发光峰明显增强类似的现象, 并在 390nm 出现新的发光峰. 图 4 为 450nm 波长荧光下测得的 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 离子辐照注 He⁺ 的 Al_2O_3 的激发光谱, 显示了在 350nm 附近波长条件下样品的 PL 谱效果最佳.

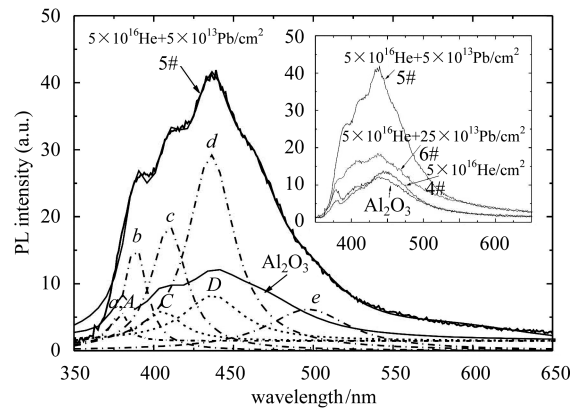


图 3 Pb 离子辐照注 He 的 Al_2O_3 的 PL 谱

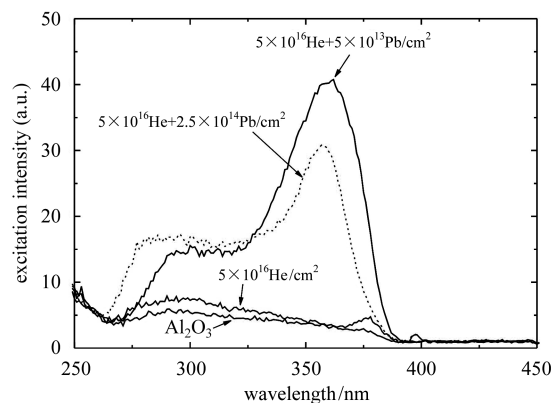


图 4 Pb 离子辐照注 He 的 Al_2O_3 的激发光谱

1960 年 Gourary 和 Adrian^[1] 等人提出了中心为氧空穴的严重扭曲的铝离子的四面体的 Al_2O_3 结构模型(如图 5). 1973 年 La, Bartram 和 Cox^[2] 等人计算了所有包括 s, p 和 d 轨道电子作用的晶体场能的假设波函数. 3 个退化的类 p 激发态被晶体场分裂为 1A, 2A 和 2B 轨道^[3], 这一特性已大量应用于光电器件中. 这些波函数证明捕获的电子被很好的束缚在最接近的阳

离子的平均距离为半径的球形内. 图 6 示出了 Al_2O_3 能带图. 利用这个结构和能带图, 我们能够很好的解释 He 离子注入 Al_2O_3 的 PL 谱和 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 离子辐照注 He 的 Al_2O_3 的 PL 谱. 在图 1 和图 2 中, 450nm (2.75eV) 为本征激发发光(图 6 的 d), 电子从价带跃迁到导带形成导带电子和价带空穴, 电子和空穴也可以通过杂质电离的方式产生, 当电子从施主能级跃迁到导带时产生导带电子, 当电子从价带激发到受主能级时产生价带空穴. 380nm (3.26eV), 413nm (3.0eV) 和 516nm 为复合发光(图 6 的 a, c 和 e), 电子从高能态跃迁到低能态, 放出一定能量, 使导带电子和价带空穴减少, 而且发光伴随着蓝移现象. 经过 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 离子辐照后, 在 390nm 出现了新的发光峰. 可能是由于 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 离子辐照样品相对沉积膜出现一定的晶化, 其中含有许多纳米尺寸的 Al_2O_3 晶粒所致.

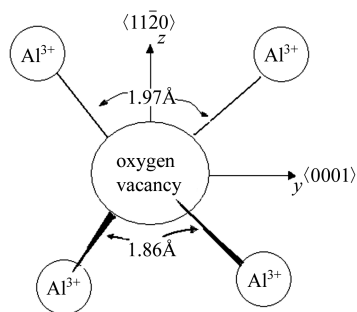


图 5 Al_2O_3 模型

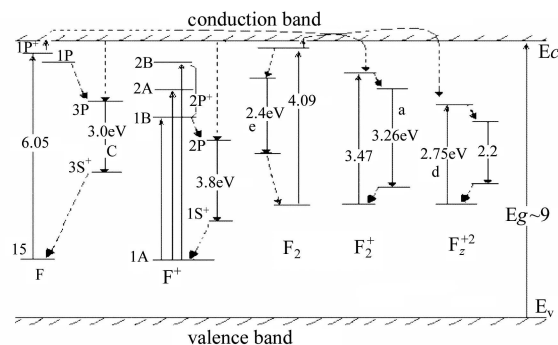


图 6 不同电荷态的 Al_2O_3 的能带图

4 结论

总之, He 离子注入 Al_2O_3 的 PL 谱的测试结果可清楚地看到在 375nm, 413nm 和 450nm 出现了强烈的发光峰. 并且在 600K, 5×10^{16} ions/cm² 剂量点, 发光峰是最强的. 这表明 He⁺ 注入使带隙中深的辐射中心复合的效率大幅度提高, 极大的增强了其发光强度, 而且发光伴随着蓝移现象.

在室温条件下 He 离子注入 Al_2O_3 后 PL 谱变化不大, 但经过 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 离子辐照后, 出现了高温条件注入的发光峰变强的现象并在 390nm 出现了新的发光峰, 这可能是由于 $^{208}\text{Pb}^{27+}$ 离子辐照样品相对沉积膜出现一定的晶化, 其中含有许多纳米尺寸的 Al_2O_3 晶粒所致.

参考文献(References)

- 1 Gourary B S, Adrian F J. Solid State Phys., 1960, **10**: 127
- 2 La S Y, Bartram R H, Cox R T. J. Phys. Chem. Solids.,

1973, **34**: 1079

- 3 Bruce D. Evans. Journal of Nuclear Materials, 1995, **219**: 202—223

Photoluminescence Study of He⁺ Ion Hot-Implanted Sapphire after $^{208}\text{Pb}^{27+}$ Ion Irradiation*

SONG Yin¹⁾ ZHANG Chong-Hong WANG Zhi-Guang ZHAO Zhi-Ming

DUAN Jin-Lai YAO Cun-Feng

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

Abstract In the present work the photoluminescence (PL) character of sapphire implanted with He ions and subsequently irradiated with $^{208}\text{Pb}^{27+}$ of 1.1MeV/u was studied. Sapphire single crystals were implanted with 110keV He ions at 600K temperature to fluences ranging from $(0.5 \text{ to } 2) \times 10^{17}$ ions/cm², some of them were subsequently irradiated with $^{208}\text{Pb}^{27+}$. From experimental results we found PL spectra peaks at 375nm, 413nm, and 450nm, and it's intensity gets maximum at fluence of 5×10^{16} He ions/cm². Also we found a new peak at 390nm after subsequent $^{208}\text{Pb}^{27+}$ irradiation, which is possibly due to the crystallized sediment containing nano crystal Al_2O_3 appeared on the sample surface.

Key words ion implantation, heavy ion irradiation, Al_2O_3 , photoluminescence spectra, FTIR spectra

Received 24 January 2005

*Supported by National Natural Science Foundation of China (10376039) and West Light Foundation of CAS

1) E-mail: songyin@impcas.ac.cn, impsy@163.com