

He⁺ 离子注入 LiNbO₃ 晶体波导的制备及其性能研究

卓 斌¹ 王克明² Y. T. Chow³ 李 健¹ 王象泰¹

1. 山东师范大学物理系, 济南 250014
2. 山东大学物理系, 济南 250100
3. 香港城市理工学院电子工程系

摘 要 报道了液氮温度下 He⁺ 离子注入 LiNbO₃ 波导的制备, 采用棱镜耦合法测量了波导退火前后各导模的有效折射率, 计算了波导层折射率的分布和晶体中 He⁺ 离子的射程分布和损伤分布, 两者吻合得较好。

关键词 He⁺ 注入, LiNbO₃ 波导, 折射率分布, 射程分布。

离子注入法是目前制备集成光路的一个行之有效的方法, 在低温条件下向晶体材料中注入杂质离子, 容易控制杂质离子的浓度横向分布和深度分布, 制备理想的集成光学器件^[1, 2]。LiNbO₃ 晶体由于具有较大的电光系数、非线性光学系数、良好的单畴性和稳定的机械化学性能, 因而广泛地应用于制备各种波导光学器件。本文报道了液氮温度下, 能量和剂量分别为 3.0 MeV 和 2×10^{16} 离子/cm² 的 He⁺ 离子注入 LiNbO₃(He:LN) 波导的制备与性能研究。

本文采用双面抛光的 Y 切 LiNbO₃ 晶片作为注入衬底, 大小为 $10 \times 10 \times 1$ mm³。注入前将其放入乙醇和丙酮中各清洗一刻钟后, 将其凉干放在具有良好的热接触的样品架上, 保持冷却在液氮温度下。He⁺ 的注入束流为 800 nA, 注入能量为 3.0 MeV, 注入剂量为 2×10^{16} ion/cm², 注入过程中离子束均匀扫描样品表面。为除去晶体中的色心和降低波导的损耗^[3], 用快速退火将注入后的样品在空气中 230℃ 下退火 5 min, 退火后样品中没有出现裂纹。

根据 M 线光谱法^[4], 实验采用金红石等腰直角棱镜作为耦合棱镜, 在 514.5 nm 的氩离子激光下测量了退火前后 He:LN 波导中各导模的有效折射率。发现 He:LN 波导中仅支持 TE 模, 只有异常光折射率变化; 低温快速退火后, 波导中导模的数目并没有增加。在波导模式有效折射率的基础上, 采用非静态折射率的计算方法和最小二乘法^[5], 拟合了退火前后波导的折射率分布, 如图 1 所示。图中折射率分布极值点对应的波导厚度为 7.2 μm, 相应点折射率减少量的百分比约为 0.9%。

高能 He⁺ 离子注入 LiNbO₃ 晶体中, 通过与原子核碰撞的能量传递, 导致晶体中原子无序, 产生辐射损伤, 折射率因此发生变化。所以高能 He⁺ 离子在晶体中的射程分布与晶体的

损伤分布和 He:LN 波导的折射率分布有密切的关系。本文利用离子在材料中的输运程序 (TRIM'92) 模拟了 3.0 MeV 的 He⁺ 离子在 LiNbO₃ 晶体中的射程分布和损伤分布, 如图 2 所示。图中 He⁺ 离子的射程离散约为 0.2 μm, 平均投影射程近似为 7.0 μm, 这些数据 and 波导折射率分布极值点的对应厚度近似一致。

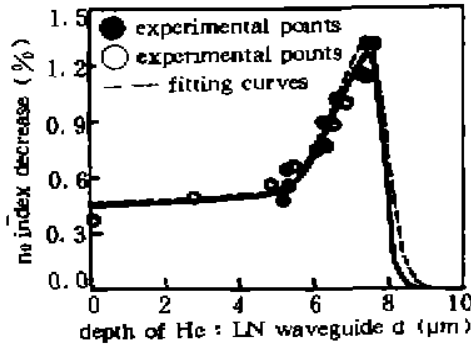


Fig. 1 Refractive index profiles of He:LN waveguide before and after annealing

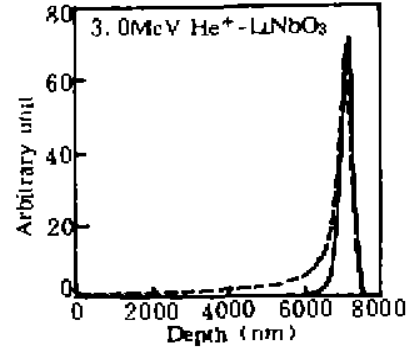


Fig. 2 The damage profile and range profile of He:LN waveguide solid line-range profile; dashed line-damage profile

结 论 总之, 在液氮温度下, 采用 3.0 MeV 的注入 He⁺ 离子成功地制备了离子注入 Y 切 LiNbO₃ 波导, 测量了退火前后波导中的模式, 计算了波导中的折射率分布, 并和 He⁺ 离子在 LiNbO₃ 晶体中的射程分布和损伤分布比较, 两者结果基本相一致。这些结论为进一步研究 He⁺ 离子注入晶体制作波导光学元件打下了基础。

参 考 文 献

- [1] P. D. Townsend, An overview of ion-implanted optical waveguide properties. *Nuclear Instruments and Methodes in Physics Research*, 1990, **B46**: 18~23
- [2] E. Glavas, P. D. Townsend, Refractive index changes in proton exchange LiNbO₃ by ion implantation. *Nuclear Instruments and Methodes in Physics Research*, 1990, **B46**: 156~160
- [3] P. J. Chandler, L. Zhang, P. D. Townsend, High temperature annealing of He⁺ ion-implanted Quartz optical waveguides. *Nuclear Instruments and Methodes in Physics Research*, 1990, **B46**: 69~74
- [4] 卓 壮, 邵宗书, 陈 军等, 一种精确测量波导参量的方法-M 线光谱法. *人工晶体学报*, 1994, **23**(1): 87~90
- [5] P. J. Chandler, F. L. Lama, A new approach to the determination of planar waveguide profiles by means of a non-stationary mode index caculation. *Optica Acta*, 1986, **33**(2): 127~143

Study on Property and Formation of He⁺ Ions-Implanted LiNbO₃ Waveguide

Zhou Zhuang¹ Wang Keming² Y. T. Chow³ Li Jian¹ Wang Xiangtai¹

1. Department of Physics, Shandong Normal University, Jinan, 250014
2. Department of Physics, Shandong University, Jinan, 250100
3. Department of Electronic Engineering, City Polytechnic of Hong Kong

(Received 15 January 1995; revised 11 April 1995)

Abstract Fabrication of LiNbO₃ crystal waveguides implanted by He⁺ ions is reported in this paper. The effective refractive index of the guided modes were measured before and after annealing. The refractive index profiles were calculated and proved to be in agreement with the damage profile and range profile.

Key words He⁺ implantation, LiNbO₃ waveguide, refractive index profile, range profile.