

质子辐照对超辐射发光二极管性能的影响

赵 妙[†] 孙孟相

(中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要: 用能量分别为 350keV 和 1MeV, 注量为 1×10^{12} 和 1×10^{13} p/cm² 的质子对超辐射发光二极管(SLD)进行辐照, 对辐照前后器件的光学和电学性能进行了测试. 结果表明, 在相同注量辐照的条件下, 350keV 与 1MeV 能量质子辐照引起的辐照损伤相比, 前者引起的出光功率的退化更大, 造成的辐照损伤更加严重. 采用 TRIM 程序对质子入射到器件材料中的射程分布进行了模拟, 初步探讨了 SLD 在 350keV 和 1MeV 能量质子辐照下的损伤效应.

关键词: 超辐射发光二极管 (SLD); 辐照损伤; 出光功率; TRIM 程序; 注量

PACC: 6180 EEACC: 2550R

中图分类号: TN248.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2007)S0-0478-04

1 引言

超辐射发光二极管(SLD)是一种单程光放大半导体光电子器件, 其性能介于激光器(LED)和发光二极管(LED)之间, 具有较大的光输出功率和较宽的谱宽^[1-3]. 1300nm InGaAsP/InP 的 SLD 以其稳定可靠的优点广泛用于光纤通信系统中. 随着应用范围的扩大, SLD 可用于全球定位系统中^[4], 放于卫星上. 卫星运行在充满着辐射粒子的空间轨道上, 主要受到质子、电子以及 γ 射线的辐射, 它们的能量很高, 能谱宽, 强度大, 器件置于恶劣环境中, 其性能将产生相应的退化以至失效, 严重时可能造成整个系统失效.

为确保系统稳定、可靠地工作, 深入研究 SLD 在各种不同辐射环境中的响应规律和失效机理, 对于正确地评估器件的抗辐照水平, 具有非常重要的指导意义, 也是对其进行相应的抗辐射加固措施的前提和基础. 近年来, 针对空间卫星发展的需要, 国内外的科学工作者开展了对发光二极管(LED)、半导体激光器(LD)和太阳能电池等光电子器件的辐射效应方面的研究^[6-10], 主要研究了电子、高能质子辐射器件的辐射效应, 而低能质子对 SLD 辐射效应的研究未见报道, 由于在空间直接进行辐射研究通常受到空间实验条件的限制, 而利用地面加速器提供的质子束模拟空间辐射对器件辐射效应进行研究, 有方便、省时、经济的优点.

本文采用串列加速器, 对 SLD 进行了能量分别在 350keV 和 1MeV, 相同注量质子辐照对 SLD 出光功率和 $I-V$ 特性的影响的研究. 采用 Monte-

Carlo 方法对其进行了模拟, 根据 TRIM98 计算 350keV 和 1MeV 能量的质子在 SLD 中的射程, 初步探讨了质子辐照对器件损伤的失效机理.

2 辐照实验

样品为 InP 基 SLD 管芯, 管芯有异质结(DH)和量子阱(QW)两种结构, 其中外延材料采用金属有机物化学气相沉积法(MOCVD)制备.

质子辐照实验在 GIC4117 2×1.7 MV 串列静电加速器上完成. 选质子能量分别为 350keV 和 1MeV, 辐照注量为 1×10^{12} 和 1×10^{13} p/cm². 为减少样品受温度的影响, 限制注量率在 10^{10} cm⁻² · s⁻¹ 以下, 温度在 25℃, 对辐照前和不同能量质子辐照后的样品进行 $P-I-V$ 特性的测试. 表 1 为质子辐照管芯的实验条件.

表 1 样品的辐照实验条件

Table 1 Experimental conditions of proton irradiation on samples

Energy/MeV	1			
Sample	DH1	DH2	QW1	QW2
fluence/(p/cm ²)	1.0×10^{12}	1.0×10^{13}	1.0×10^{12}	1.0×10^{13}
Energy/keV	350			
Sample	DH5	DH6	QW5	QW6
fluence/(p/cm ²)	1.0×10^{12}	1.0×10^{13}	1.0×10^{12}	1.0×10^{13}

3 结果与讨论

3.1 SLD 在相同注量的质子辐照下, 分别以 1MeV 和 350keV 能量进行辐照, 其出光功率在辐照前后的变化

图 1 中, 1×10^{12} p/cm² 注量的质子辐照下, 无

[†] 通信作者. Email: miaozhao@mail.semi.ac.cn

2006-11-30 收到, 2006-12-18 定稿

论对于异质结结构还是量子阱结构的器件,1MeV 能量的质子辐照下,其出光功率明显高于 350keV 能量下出光功率曲线对应的值,说明 1MeV 能量的质子辐照与 350keV 能量质子辐照相比,后者对于 SLD 出光功率的损伤更加严重. 图 2 中,在 1×10^{13} p/cm² 注量下,观察到同样的情形,说明在相同注量的质子辐照下,350keV 能量的质子辐照造成器件出光功率的退化程度更大. 另外,我们还发现,注量为 1×10^{13} p/cm² 时,图 2(a)中,350keV 能量辐照下,异质结 SLD 几乎没有光输出,而在图 2(b)中,对于量子阱结构的器件,该能量和注量下,器件还有一定的出光功率,说明量子阱结构的器件,其抗辐照的能力优于异质结结构的器件. 这是由于量子阱结构增大了载流子的限制,提高了注入电流的密度,从而提高了器件的增益,其抗辐照能力相对于异质结结构的器件更高.

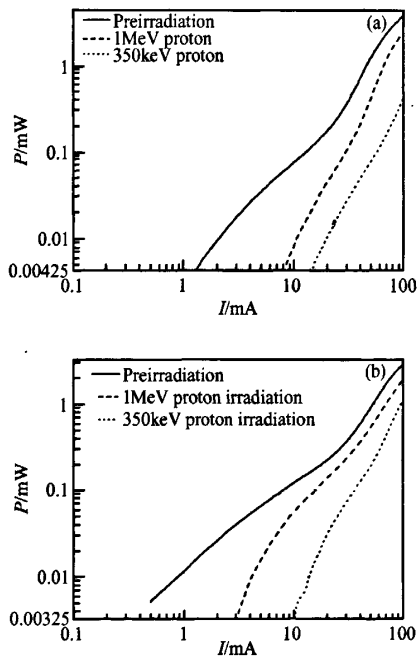


图 1 1×10^{12} cm⁻² 注量的质子辐照 DH-SLD(a)和 QW-SLD (b)的 $P-I$ 特性的对数曲线

Fig.1 Logarithm of the $P-I$ of the proton irradiation on DH-SLD (a) and QW-SLD (b) at fluence of 1×10^{12} cm⁻²

相同注量下,350keV 能量质子辐照对于出光功率的损伤更加严重,可以从 TRIM 模拟的结果进行分析. TRIM 是以蒙特卡罗模拟方法(M-C 方法)为基础计算粒子射程等参数的一种计算程序^[11,12],通过计算机模拟跟踪一大批入射粒子的运动. TRIM 程序对于各种能量的离子,各种单质、化合物

和多层靶材料均适用. 采用 TRIM 程序计算过程中,将入射离子种类、能量、所需计算离子数、靶材料等数据输入,经过计算就可以得到各种参数,如图 3 所示. 其中图 3(a),(b)分别为 350keV 和 1MeV 能量的质子从器件上表面对其进行质子辐照后,质子在其中的射程分布.

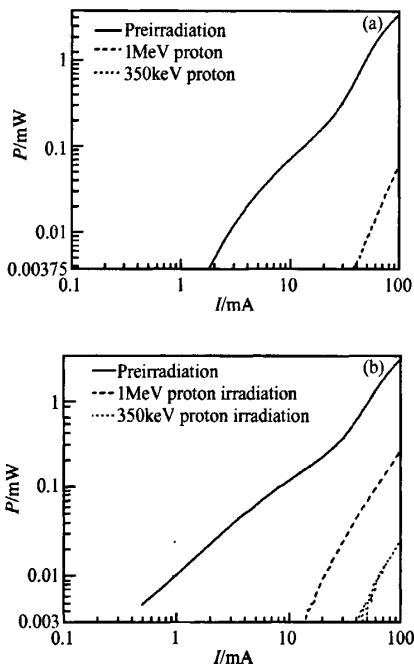


图 2 1×10^{13} cm⁻² 注量的质子辐照 DH-SLD (a)和 QW-SLD (b)的 $P-I$ 特性的对数曲线

Fig.2 Logarithm of the $P-I$ of the proton irradiation on DH-SLD (a) and QW-SLD (b) at fluence of 1×10^{13} cm⁻²

由图 3 的模拟结果可知,相同注量不同能量辐照下,质子在 SLD 材料中的射程分布情况. 当能量为 350keV 时,质子射程分布在有源区 InGaAsP 处,由于质子辐照形成的缺陷主要集中在射程的末端,对材料产生较大的位移损伤,所以当 350keV 能量的质子入射后,辐照损伤造成的缺陷主要在有源区,这些缺陷在材料中起非辐射复合中心的作用,减少了少数载流子的寿命,从而降低了出光功率. 而 1MeV 能量的质子辐照样品后,质子射程分布在衬底 InP 材料中,损伤的大部分区域未在有源区,有源区受位移损伤的程度小,所以对出光功率的影响没有 350keV 能量质子辐照时大.

3.2 质子辐照前后,超辐射发光管的 $I-V$ 特性

图 4 是在能量为 1MeV、注量为 1×10^{13} p/cm² 下 SLD 辐照前后的 $I-V$ 特性曲线. 由图可知,辐照后

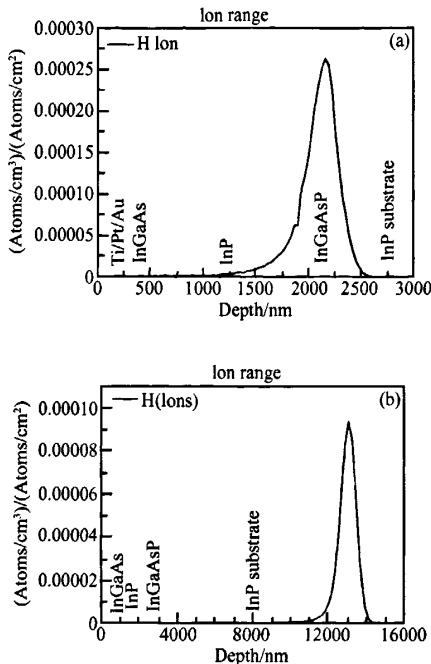


图 3 能量分别为 350keV(a) 和 1MeV(b) 的质子在 SLD 中的分布

Fig. 3 Ranges and atom distributions of 350keV(a) and 1MeV(b) proton in SLD from TRIM 98

SLD 的伏安特性曲线出现了软阈值现象,说明辐照后的器件中有漏电流存在,影响了 SLD 的伏安特性。

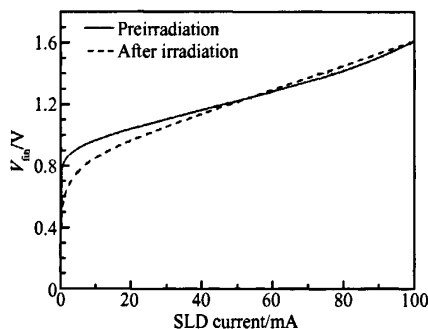


图 4 SLD 辐照前后 $I-V$ 特性对比

Fig. 4 $I-V$ characteristic of the SLD before and after irradiation

4 结论

利用能量分别为 1MeV 和 350keV,注量为 1×10^{12} 和 1×10^{13} p/cm² 的质子辐照异质结和量子阱结构的超辐射发光二极管,辐照前后,测量其出光功率和 $I-V$ 特性.在相同的辐照注量条件下,350keV 能量的质子辐照对器件造成的损伤高于 1MeV 能

量的质子辐照造成的损伤.量子阱结构的 SLD 抗辐照性能优于异质结结构的器件.通过 $I-V$ 特性的变化,可以看出辐照后的 SLD 有漏电流的产生.采用 Monte-Carlo 中的 TRIM 程序计算了 350keV 和 1MeV 能量质子辐照 SLD,质子在材料中射程的分布情况.模拟结果显示,350keV 能量的质子辐照 SLD 后,质子射程分布在器件的有源区,由于质子对材料产生辐照损伤主要分布在射程的末端,所以在有源区中,辐照后材料中产生的缺陷,将在半导体材料的禁带中引入缺陷能级,这些缺陷作为非辐射复合中心,减少了少数载流子的寿命,从而降低了内量子效率,减少了出光功率,当注量达到一定值时,有源区中将不再输出光.

参考文献

- [1] Ong T K, Yin Ming, Yu Zheng, et al. High performance quantum well intermixed superluminescent diodes. *Measurement Science and Technology*, 2004, 15: 1591
- [2] Wu B R, Lin C F, Lai H W, et al. Extremely broadband InGaAsP/InP superluminescent diodes. *Electron Lett*, 2000, 36 (25): 2093
- [3] Wei Wensheng, Zhang Chunxi, Ma Jing, et al. Study and application of superluminescent diode. *Laser and Infrared*, 2003, 33(6): 409 (in Chinese) [韦文生, 张春熹, 马静, 等. 超辐射激光二极管的研究与应用. *激光与红外*, 2003, 33(6): 409]
- [4] Lin Libin, Liao Zhijun, Zu Xiaotao, et al. Effect of electron radiation in 1.3 μm InGaAsP semiconductor laser. *Chinese Journal of Lasers*, 2001, 28(6): 497 (in Chinese) [林理彬, 廖志君, 祖小涛, 等. 1.3 μm InGaAsP 半导体激光器的电子辐照效应. *中国激光*, 2001, 28(6): 497]
- [5] Cao Jianzhong. The irradiation effect on the semiconductor material. Beijing: Science Press, 1993 (in Chinese) [曹建中. 半导体材料的辐照效应. 北京: 科学出版社, 1993]
- [6] Wang Rong, Yang Jingbo, Fan Qiang. Proton irradiation effects on multi-quantum wells GaAs solar cells. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2005, 26(8): 558 (in Chinese) [王荣, 杨增波, 范强, 等. 量子阱 GaAs 太阳能电池的质子辐照效应. *半导体学报*, 2005, 26(8): 1558]
- [7] Khanna S M, Estan D, Houdayer A, et al. Proton radiation damage at low temperature in GaAs and GaN light-emitting diodes. *IEEE Trans Nuclear Science*, 2004, 51(6): 3585
- [8] Johnston A H. Proton displacement damage in light-emitting and laser diodes. *IEEE Trans Nucl Sci*, 2001, 48(5): 1713
- [9] Johnston A H. Radiation effects in light-emitting and laser diodes. *IEEE Trans Nucl Sci*, 2003, 50(3): 689
- [10] Johnston A H, Miyahira T F. Radiation degradation mechanisms in laser diodes. *IEEE Trans Nucl Sci*, 2004, 51(6): 3564
- [11] Ziegler J E, Biersack J P, Littmark U. The stopping and range of ions in solids. London: Pergamon Press, 1985
- [12] Wang Zhiguo, Zu Xiaotao, Lei Yu, et al. Influence of 60keV proton irradiation on the transformation behavior of a TiNi shape memory alloy thin film. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, 16(11): 1473 (in Chinese) [王治国, 祖小涛, 雷雨, 等. 60keV 质子辐照对 TiNi 记忆合金薄膜马氏体相变的影响. *强激光与粒子束*, 2004, 16(11): 1473]

Proton Irradiation on the Performance of the Superluminescent

Zhao Miao[†] and Sun Mengxiang

(*Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: The superluminescent was proton irradiated, the energy is 350keV and 1MeV, and the fluence is 1×10^{12} and 1×10^{13} p/cm², respectively. the optical and electrical characters after irradiation are studied. when the SLD is irradiated in the similar proton fluence, the degradation of optical power with 350keV is higher than those with 1MeV. The resist irradiation in QWSLD is more excellent than the DHSLD. The ions range in the material is simulated, and the irradiation damage mechanism is discussed.

Key words: superluminescent (SLD); irradiation degradation; optical power; TRIM code; fluence

PACC: 6180 EEACC: 2550R

Article ID: 0253-4177(2007)S0-0478-04

[†] Corresponding author. Email: miaozhao@mail.semi.ac.cn

Received 30 November 2006, revised manuscript received 18 December 2006