

文章编号: 0253-2239(2010)10-2978-05

Si 衬底 GaN 基蓝光 LED 钝化增透膜研究

刘军林^{1,2} 邱 冲² 江凤益^{1,2}

(¹南昌大学教育部发光材料与器件工程研究中心, 江西 南昌 330047)
²晶能光电(江西)有限公司, 江西 南昌 330029)

摘要 在 Si 衬底 GaN 基蓝光 LED 芯片上生长了一层 SiON 钝化膜,使器件的光输出功率提高 12%且有效降低了器件在老化过程中的光衰。对有、无钝化膜的样品进行性能比较,结果表明 SiON 钝化膜能有效隔离环氧树脂与高温芯片,缓解环氧树脂的老化变黄;又能部分弛豫环氧树脂对芯片的张应力,降低非辐射复合中心产生的几率;有效减小器件的侧壁漏电通道,降低器件的光衰和漏电流,提高器件的可靠性。

关键词 光电子学;Si 衬底;光衰;增透膜;SiON;LED

中图分类号 TN312⁺.8 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20103010.2978

Research of Passivation and Anti Reflecting Layer on GaN Based Blue LED on Silicon Substrate

Liu Junlin^{1,2} Qiu Chong² Jiang Fengyi^{1,2}

(¹Education Ministry Engineering Research Center for Luminescence Materials and Devices,
Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330047, China
²Lattice Power (Jiangxi) Corporation, Nanchang, Jiangxi 330029, China)

Abstract SiON passivation layer is deposited on GaN blue LED based on Si substrate. It improves the light output power of LED by 12% and reduces the luminous decay of LED during aging efficiently. The analysis results of the samples with and without SiON passivation layer demonstrate that SiON layer can separate the epoxy from hot surface of LED during aging, which prevents epoxy resin from carbonization. In addition, the SiON layer can partly relax tensile stress of device from epoxy resin, and reduce the generation probability of non-radiation centers. Furthermore, SiON layer can reduce sidewall leakage current of LED. In a word, SiON layer can improve the stability of LED.

Key words optoelectronics; Si substrate; luminous decay; anti reflecting layer; SiON; LED

1 引 言

LED 发光效率高、寿命长,是最有潜力的下一代照明光源。随着 GaN 基蓝绿光 LED 亮度和稳定性的不断提高,全彩色 LED 已广泛应用于装饰灯、数码显示、全彩显示屏以及电视背光等领域,并正进入通用照明市场。同时,GaN 基 LED 也得到了学者的广泛研究^[1~4]。其中钝化增透膜的应用,在提高 GaN 基 LED 可靠性的同时,能够提高 LED 的光辐射功率,这项技术在学术界和产业界受到广泛关注。Soon-Jin So 等^[5]运用 Al₂O₃ 钝化膜使 GaN 基 LED

的发光强度提高 13.6%。沈光地等^[6~9]用 SiON 作为钝化膜材料,使 GaN 蓝光 LED 发光强度提高了 17.8%,同时降低了 LED 的反向漏电流。老化结果表明,长有 SiON 钝化膜的 LED 具有更好的可靠性。本文研究了 Si 衬底 GaN 基蓝光 LED 芯片上, SiON 作为钝化增透膜对 LED 亮度提升和光功率衰减的影响。实验对 SiON 及老化前后的 LED 进行了表征,对减少光衰的机理进行了探讨,报道了 SiON 钝化膜能够减缓 LED 封装环氧树脂的碳化,进而减少器件的光衰。

收稿日期: 2009-12-02; 收到修改稿日期: 2010-01-22

基金项目: 教育部长江学者与创新团队发展计划(IRT0730)和国家 863 计划(2006AA03A128)资助课题。

作者简介: 刘军林(1978—),男,博士,副教授。主要从事 Si 衬底 GaN 基半导体材料与器件研究。

E-mail: liujunlin@latticepower.com

本文彩色效果详见中国期刊网(<http://optics.journal.net>)相关文献。

2 实 验

实验采用自主研制的 Si 衬底 GaN 基 LED 外延片,结构如图 1(a)所示^[10],通过衬底剥离技术将 GaN 薄膜从原 Si 衬底上转移至新 Si 基板上,制作

成垂直结构的芯片,尺寸为 $200\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$ 。实验制备了两种形式的芯片,分别为不做钝化处理的 A 类芯片和长有 SiON 钝化膜的 B 类芯片,结构如图 1(b)、(c)所示。

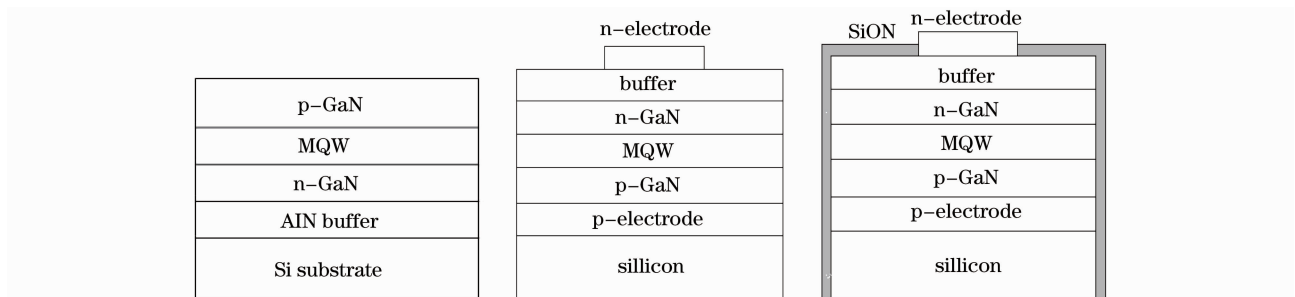


图 1 Si 衬底外延片及芯片结构示意图。(a)外延片,(b)无钝化膜 A 类芯片,(c)有钝化膜 B 类芯片

Fig. 1 Schematic structure of GaN based LED on Si substrate. (a) EPI wafer, (b) A type chip without SiON passivation layer, (c) B type chip with SiON passivation layer

采用 Oxford-800plus 型等离子体增强化学气相沉积(PECVD)制备 SiON 钝化增透膜,实验生长条件为:温度 $260\ ^\circ\text{C}$,腔体压力 $100\ \text{Pa}$, SiH_4 (体积分数 5%) 的流量为 $480\ \text{mL}/\text{min}$, N_2 (体积分数 95%) 的流量为 $600\ \text{mL}/\text{min}$, N_2O 的流量为 $120\ \text{mL}/\text{min}$,高频源($13.56\ \text{MHz}$)和低频源($100\ \text{kHz}$)的功率分别为 $40\ \text{W}$ 和 $30\ \text{W}$,高低频交替使用,时间比为 11:9。为了保证芯片的一致性便于比较,实验将一片含有 5×10^4 个 $200\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$ 芯片的两英寸大小圆片一分为二,分别制成 A、B 两种类型的芯片,A 类芯片不长钝化膜,B 类芯片长有 SiON 钝化增透膜,具体如图 1(b)、(c)所示。A、B 两类芯片经过测试、切割分选出相同波长的芯粒用环氧树脂分别封装成为 $\Phi 5\ \text{mm}$ 的 A、B 类型的平头管子,并各选取 10 只平头管子进行 168 h, $30\ \text{mA}$ 室温老化。

表 1 A、B 类型管子老化前后及重新封装后 $20\ \text{mA}$ 电流下的光电性能

Table 1 Optical and electrical properties at $20\ \text{mA}$ current of A and B type lamps before and after aging and re-encapsulation

Type of LED	Dominant wavelength / mm	Voltage forward (20 mA) / V	Light output power before aging / mW	Light output power after aging / mW	Luminous decay after aging / %	Light output power after re-encapsulation / mW	Luminous decay after re-encapsulation / %
A	464.40	3.12	7.88	6.06	23.1	6.82	13.46
B	464.70	3.10	8.83	8.36	5.3	8.38	5.10

实验用 F-20UV 膜厚仪及台阶仪对 SiON 薄膜折射率及厚度进行了测试,测得折射率为 1.583,厚度为 $215.1\ \text{nm}$ 。根据单层增透膜理论公式^[7]

$$\begin{cases} n = (n_1 \times n_2)^{1/2} \\ T = k\lambda / (4n) \quad k = 1, 3, 5, \dots \end{cases}$$

式中 n , T 分别为增透膜的折射率和厚度, n_1 , n_2 分别是增透膜上下两层介质膜的折射率。取 GaN 和

实验用远方公司生产的 PMS-50 光谱分析系统表征了样品老化前后的光电参数,用 Keithley2635 I-V 特性测试仪测试了样品老化前后的 I-V 特性,并用 F-20UV 膜厚仪测试了 SiON 的折射率。

3 结果与讨论

实验在 $20\ \text{mA}$ 电流下测试了 A、B 类型 $\Phi 5\ \text{mm}$ 平头管子的光电参数,表 1 中给出的主波长、 V_f 及光功率均为 2 类各 10 只管子的平均结果。表 1 中“老化前光功率”为封装后尚未老化的管子的光功率,在两类管子主波长和工作电压非常接近的情况下,B 类管子的光功率比 A 类高 12%。由于 A、B 两类芯片的主要区别在于 B 类芯片长有 SiON 钝化膜,所以 B 类管子光输出功率明显提高是 SiON 钝化膜起作用的结果。

环氧树脂(实验采用环氧树脂进行封装)的折射率分别为 2.50 和 1.50,波长为 $464.40\ \text{nm}$,可求得增透膜的理论折射率为 1.936,厚度为 $59.97\ \text{nm}$ 的奇数倍。实验制备的 SiON 折射率为 1.583,和理论单层增透膜需要的折射率 1.936 有些差距,因此没有达到最好的增透效果,提高光功率为 12%(按照文献[7]的报道,增透膜的理论增透极值为 25.6%)。对

比理论值和实验测试数据不难发现,在一定的折射率误差范围内,实验生长的 SiON 薄膜在一定程度上起到了提高 LED 输出光功率的作用。

值得一提的是,自主研发并实现产业化的 Si 衬底 GaN 基蓝光 LED,芯片尺寸仅为 $200\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$ (有效发光区尺寸为 $160\ \mu\text{m} \times 160\ \mu\text{m}$),在没有制作反射镜也没有进行芯片表面粗化的情况下,封装后 20 mA 时的光功率高达 8.83 mW,表明具有很高的内量子效率。Si 衬底 GaN 基 LED 低成本优势和较高的内量子效率,必将促进 GaN 基蓝绿光 LED 的市场应用向着这两方面发展。

实验从 A、B 两类管子中各挑出十个进行了常温,30 mA、168 h 的老化,老化前后的光功率值如表 1 所示。从表 1 可以看出:没有长 SiON 钝化膜的 A 类管子光功率衰减(以下简称光衰)高达 23.1%,而经钝化处理的 B 类样管光衰仅为 5.3%。由此可见,SiON 钝化膜很大程度上降低了 Si 衬底 GaN 基 LED 老化后的光衰。

实验用光学显微镜对老化前后的管子进行了观察,拍摄到如图 2 所示的现象。图 2(a)、(b)为 A 类芯片老化前后的表面图片。从图中能明显看到,A 类芯片老化后表面明显泛黄,可见环氧树脂有明显的碳化现象。图 2(c)、(d)是 B 类芯片老化前后的表面图片,显然,做了 SiON 钝化处理的管子在相同的老化条件下没有出现环氧碳化的现象。文献[11]报道了碳化后的环氧透射率会有显著的降低,从而减小样品老化后的光功率,增大 LED 的光衰。为了证实这一推断,实验对老化后的管子进行了环氧剥离,并对剥离下来的芯片重新进行封装。实验对重新封装前后的 LED 进行了光电性能的表征,得到的平均值如表 1 所示。

由表 1 可以看出,A 类老化后的管子经解剖、重新封装后,光功率提高了 9.64%,而 B 类的管子重新封装前后,光功率几乎没有变化。由此可见,环氧树脂的碳化是引起 A 类型管子较大光衰的重要原因。

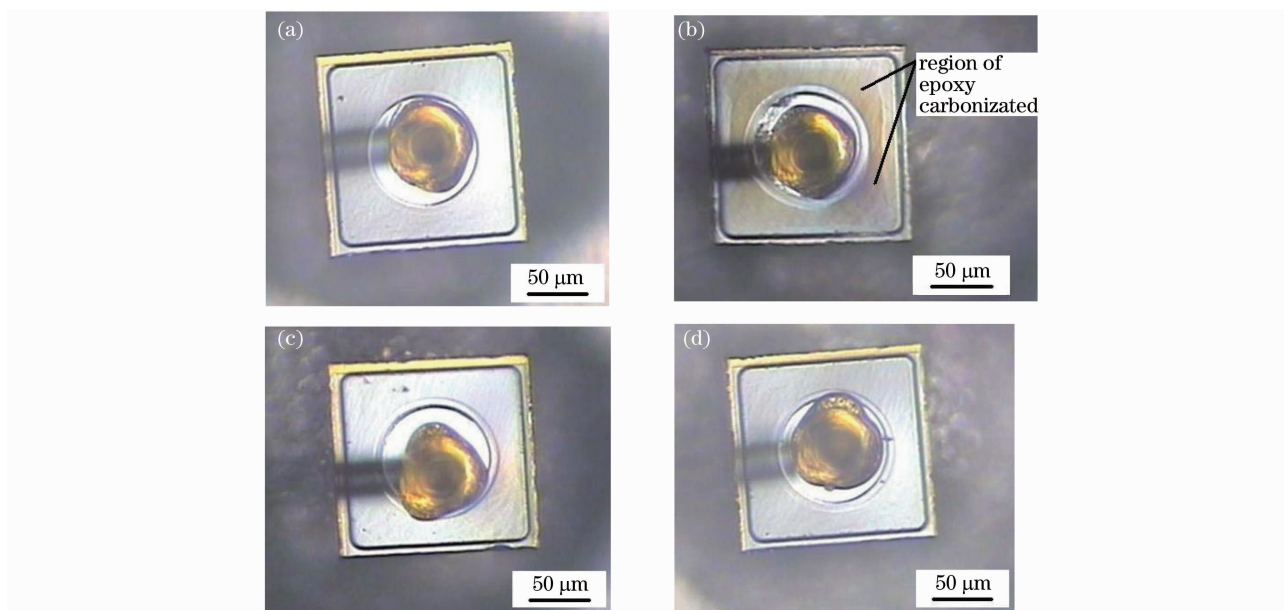


图 2 A、B 两类管子老化前后芯片表面形貌。(a)A 类管子老化前,(b)A 类管子老化后,(c)B 类管子老化前,(d)B 类管子老化后

Fig. 2 Topside images of A and B type lamps before and after aging. (a) A type lamp before aging, (b) A type lamp after aging, (c) B type lamp before aging, (d) B type lamp after aging

周利寅等^[12,13]研究表明,较高温度及紫外照射是引起环氧变质的主要原因。SiON 钝化膜由于其导热性差,可以有效隔离老化过程中的环氧树脂与高温芯片,因此可以有效地延缓环氧树脂的老化变黄;而没有 SiON 钝化膜的芯片,老化过程中的环氧树脂和高温芯片表面直接接触,因此环氧树脂老化变黄较快,减小了 LED 的输出光功率。此外,A 类管子由于

有更多的光不能辐射到自由空间而留在器件内,使温度进一步升高,从而加剧了环氧的老化变黄,使 LED 的光衰进一步增加,陷入了一个恶性循环。

另外,实验对 A、B 两类管子进行了 I-V 测试,测试结果如图 3 所示。图 3 中(a)、(b)分别为 A、B 类管子老化前后的 I-V 曲线。没有做钝化处理的 Si 衬底 GaN 基 LED,无论正向还是反向均存在着较大的漏

电流,而长有 SiON 钝化膜的芯片,漏电流则要小得多,这证明实验生长的 SiON 钝化膜能有效地覆盖 Si

衬底 GaN 基蓝光 LED 侧壁 p-n 结,防止漏电通道的产生,有效地提高 LED 的可靠性,减少 LED 的光衰。

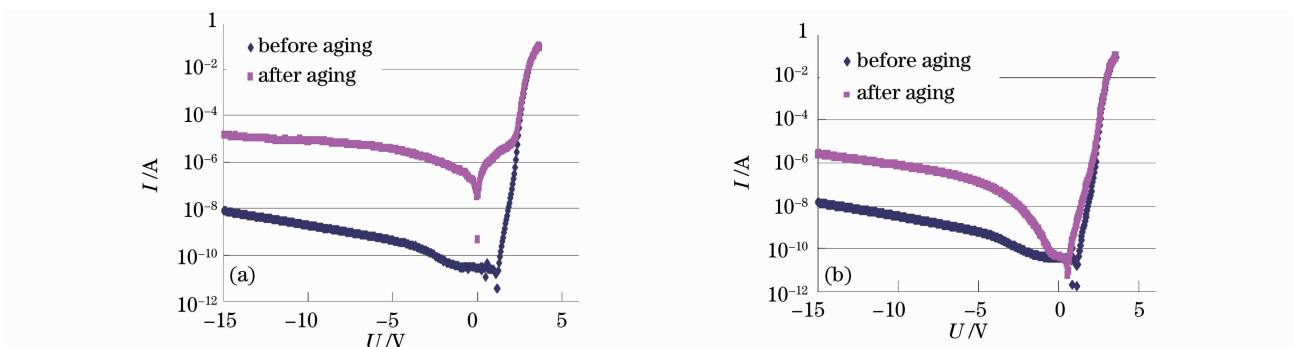


图 3 A、B 两类管子老化前后的 I-V 曲线。(a) A 类管子, (b) B 类管子

Fig. 3 I-V curves of A and B type lamps before and after aging. (a) A type lamp, (b) B type lamp

钝化膜除了防止环氧碳化和减小侧壁漏电通道外,芯片台面上的 SiON 钝化膜在老化过程中能部分弛豫环氧树脂施加在芯片上的张应力,也起到了抑制光衰的作用。对于没有做钝化的芯片,由于环氧树脂的热膨胀系数比 GaN 大得多,所以对芯片施加了较大的张应力,老化过程中 GaN 的微裂纹以及位错等非辐射复合缺陷更容易扩展和滋生^[13~16],从而使芯片有更大的漏电流和光衰。

4 结 论

对有无 SiON 钝化膜的 Si 衬底 GaN 基 LED 光电性能进行了比较,研究发现:折射率为 1.583,厚度为 210.10 nm 的 SiON 钝化膜能提高 Si 衬底 GaN 基蓝光 LED 的光功率,输出光功率最大增幅为 12%。另外,长有钝化膜的芯片经过 30 mA、168 h 的常温老化,光衰为 5.3%,而未做钝化处理的芯片光衰为 23.1%,表明实验生长的 SiON 钝化膜能有效的提高 Si 衬底 GaN 基 LED 的可靠性。SiON 钝化膜能有效降低 Si 衬底 GaN 基蓝光 LED 光衰的原因归结为:SiON 钝化膜隔离了环氧树脂与高温芯片,缓解了环氧树脂的老化变黄,又能部分弛豫环氧树脂对芯片的张应力,并有效减小器件的侧壁漏电通道。

参 考 文 献

- 1 Kuang Hai, Liu Junlin, Cheng Haiying *et al.*. Effect of transferred submount materials on properties of GaN-based LED chips grown on Si substrate [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(1): 143~145
- 2 Shi Lingna, Huang Shanglian, Sun Jiyong *et al.*. Optical performance analysis and experiment of grating light modulator with LED light source [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(11):

- 2225~2231
- 史玲娜, 黄尚廉, 孙吉勇等. LED 照明的光栅光调制器光学特性分析与实验 [J]. *光学学报*, 2008, **28**(11): 2225~2231
- 3 Zongyou Yin, Densen Cao, Jingzhi Yin *et al.*. Fabrication of blue LEDs on big chips [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(4): 220~221
- 4 Wu Haibin, Wang Changling, He Sumei. Research of color rendering of white LED based on red and green phosphors [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(9): 1777~1782
- 5 吴海彬, 王昌铃, 何素梅. 涂敷红、绿荧光粉的白光 LED 显色性研究 [J]. *光学学报*, 2008, **28**(9): 1777~1782
- 6 Soonjin So, Choonbae Park. Improvement of brightness with Al₂O₃ passivation layers on the surface of InGaN/GaN-based light-emitting diode chips [J]. *Thin Solid Films*, 2008, **516**(8): 2031~2034
- 7 Guangdi Shen, Xiaoli Da, Xia Guo *et al.*. Effects of the passivation layer deposition temperature on the electrical and optical properties of GaN-based light-emitting diodes [J]. *J. Luminesce.*, 2007, **127**(2): 441~445
- 8 Xiaoli Da, Xia Guo, Limin Dong *et al.*. The silicon oxynitride layer deposited at low temperature for high-brightness GaN-based light-emitting diodes [J]. *Solid-State Electronics*, 2006, **50**(3): 508~510
- 9 Yanxu Zhu, Chen Xu, Xiaoli Da *et al.*. GaN-based light-emitting diodes with SiON_x on sidewalls [J]. *Semiconductor Science and Technology*, 2007, **22**(6): 659~662
- 10 Da Xiaoli, Shen Guangdi, Xu Chen *et al.*. Study on enhancement of light output power for GaN based LED by coating passivation layers [J]. *Research & Progress of SSE*, 2007, **27**(4): 558~561
- 11 达小丽, 沈光地, 徐晨等. 钝化膜提高 GaN 基 LED 光提取效率研究 [J]. *固体电子学研究与进展*, 2007, **27**(4): 558~561
- 12 Mo Chunlan, Fang Wenqing, Liu Hechu *et al.*. Growth and characterization of InGaN blue LED structure on Si (111) by MOCVD [J]. *Crystal Growth*, 2005, **28**(5): 312~316
- 13 G. Meneghesso, S. Levada, E. Zanoni *et al.*. Reliability of visible GaN LEDs in plastic package [J]. *Microelectronics Reliability*, 2003, **43**(9~11): 1737~1742
- 14 Zhou Liyin, He Ying, Zhang Wenfei *et al.*. Development of epoxy/epoxy-silsesquioxane hybrid material for LED packaging [J]. *Engineering Plastics Application*, 2009, **37**(3): 5~8
- 15 周利寅, 贺英, 张文飞等. LED 封装用环氧树脂/环氧倍半硅氧烷杂化材料的研制 [J]. *工程塑料应用*, 2009, **37**(3): 5~8
- 16 M. Meneghini, L. Trevisanello, C. Sanna *et al.*. High temperature electro-optical degradation of InGaN/GaN HBLEDs [J]. *Microelectronics Reliability*, 2007, **47**(9~11): 1625~1629
- 17 Lin Liang, Chen Zhizhong, Chen Ting *et al.*. Characteristics of the accelerated aging white LEDs [J]. *Chin. J. Luminesc.*, 2005,

26(5): 617~621

林 亮, 陈志忠, 陈 挺 等. 白光 LED 的加速老化特性[J]. 发光学报, 2005, 26(5): 617~621

- 15 Z. Q. Fang, D. C. Reynolds, D. C. Look. Changes in electrical characteristics associated with degradation of InGaN blue light-emitting diodes [J]. *J. Electron. Mater.*, 2000, 29(4):

448~450

- 16 X. A. Cao, P. M. Sandvik, S. F. LeBoeuf *et al.*. Defect generation in InGaN/GaN light-emitting diodes under forward and reverse electrical stresses[J]. *Microelectronics Reliability*, 2003, 43(12): 1987~1991

欢迎订阅
《中国激光》特刊

纪念激光器发明50周年特刊



定价: 45元 出版时间: 2010年8月15日

激光器是二十世纪最伟大的发明之一。1960年, 美国科学家梅曼研制出世界上第一台红宝石激光器, 为光学领域各分支的迅速发展开创了一个崭新的时代。五十年间, 激光器已经深入到社会生活的每一个角落, 影响着所有人的生活。作为中国光学学会纪念激光器发明50周年的系列活动之一, 《中国激光》2010年第9期推出“纪念激光器发明50周年特刊”, 刊登国内著名院士、专家和中青年学者在激光领域的研究论文和综述, 以期集中反映我国近年来在激光器及其相关领域取得的重大成就和研究进展, 精彩内容云集, 是纪念中国激光发展历程的珍贵资料。

欢迎广大专家学者订购

联系电话: 02169918691 联系人: 朱俊刚 email: zhujungang@siom.ac.cn

2010年37卷第9期“纪念激光器发明50周年特刊”部分重点推荐文章目录

第一作者	题 目
周炳琨 教授, 中国科学院院士	纪念激光器发明50周年序言
干福熹 研究员, 中国科学院院士	回顾中国激光的诞生和早期发展
王之江 研究员, 中国科学院院士	中国第一台红宝石激光器的研制过程
王启明 研究员, 中国科学院院士	中国半导体激光器的历次突破与发展
姜中宏 研究员, 中国科学院院士	中国激光玻璃研究进展
林尊琪 研究员, 中国科学院院士	激光核聚变的发展
陈创天 研究员, 中国科学院院士	探索硼酸盐非线性光学晶体的艰难历程
李爱珍 研究员, 美国国家科学院外籍院士	单极型量子级联激光器的发明及其进展
楼棋洪 研究员	大芯径光纤激光器的新进展
赵振堂 研究员	X射线自由电子激光的发展
余吟山 研究员	准分子激光技术的发展
崔明启 研究员	同步辐射软X射线光学实验平台的建立及应用
周寿桓院士课题组	高效率连续环形腔单频激光器
彭堃堃院士课题组	全固态连续单频可调谐钛宝石激光器腔内损耗及其最佳透射率
赵伊君院士课题组	单频拉曼光纤放大器中受激布里渊散射的抑制
姚建铨院士课题组	正向抽运脉冲染料激光放大时间特性研究