

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0227-04

单片光电集成电路的激光微细加工装置的改进

范 超, 叶玉堂, 吴云峰, 焦世龙, 王昱琳, 刘 霖, 陈镇龙

(电子科技大学光电信息学院, 四川 成都 610054)

摘要 将激光微细加工“直接写入”、“低温处理”的优势,应用于单片光电集成电路(OEIC)的制作,有利于解决其中的光电兼容问题。详细介绍了本课题组多年来在激光微细加工制作领域方面所取得的进展,完善了实验系统,包括硬件平台的搭建和改进、软件的设计,并最终形成了以计算机为核心的集光机电为一体的自动控制系统,减少了由于人为因素的影响而带来的实验误差,为激光微细加工制作出性能优越的器件创造了前提条件。同时对激光微细加工中的温度这一关键工艺参数进行了大量的理论分析和实验研究,主要包括温度的测量、温度变化规律的分析以及由此对温度参数进行控制的理论分析和研究,取得了进展,提高了激光微细加工的精度并已实际应用于 InGaAs/InP 平面型 PIN 光探测器的制作。

关键词 激光技术; 激光微细加工; 单片光电集成; 温度参数

中图分类号 TN253 **文献标识码** A

Improving of the Equipment of Laser Assisted Microprocessing Used in OEICs

FAN Chao, YE Yu-tang, WU Yun-feng, JIAO Shi-long, WANG Yu-lin

LIU Lin, CHEN Zhen-long

(School of Opto-Electronic Information, University of Electronics Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

Abstract With the advantages of “direct access” and “low-temperature process”, laser-assisted microprocessing can be used in the fabrication of OEICs to realize the optoelectronic compatibility. The achievements which our team has arrived at in the field of laser-assisted microprocessing are presented in this paper. Firstly, the experimental system has been improved, including the hardware platform's building and improving, and the software's designing, and finally developed into an automatic control system with the computer as the core and with optics, mechanism and electronics incorporated. Thus, the amount of experimental errors caused by human factors is decreased and the superior performance devices are accessible through laser assisted microprocessing. Meanwhile, a substantial theoretical analysis and experiments have been done on temperature, a key parameter of laser assisted microprocessing, which mainly includes the measurement of temperature, the analysis of the regularity for change of temperature and the study of the controlling of temperature. Consequently, the accuracy of laser-assisted microprocessing has been improved and the technology has been used for the planar InGaAs/InP PIN photodiode's fabricating.

Key words laser technique; laser assisted microprocessing; monolithic optoelectronic integrated; parameter of temperature

1 引 言

激光微细加工技术具有“直接写入”、“低温处理”等独特的优越性,在微电子、光电子、集成光学及

光电混合集成等领域有着广阔的应用前景^[1],国内外在这方面的研究非常活跃^[2~5]。

单片光电集成电路(OEIC)由于体积小、重量

基金项目: 四川省科技厅(04GG021-020-01)资助课题。

作者简介: 范 超(1980—),男,四川成都人,博士研究生,主要从事光电集成电路器件制作方面的研究。

E-mail: fanchao41@126.com

导师简介: 叶玉堂(1960—),男,重庆人,教授,博士生导师。主要从事光电集成电路、计算机红外图像处理等方面的研究。E-mail: ytye@uestc.edu.cn

轻、可靠性高等优点,在光纤通信、光互连以及光信息处理等方面有着广泛的应用前景。由于单片 OEICs 需要将光、电两类功能和材料结构不同的器件集成到同一衬底上,因此需要解决材料和工艺兼容性问题。虽然现有工艺通过选择腐蚀、生长及快速热处理等方法部分解决了这一问题,但是工艺复杂,产品成本很高。为此,提出利用激光微细加工的方法制作单片 OEIC 器件是将电路和光路部分分开来做,即先半导体衬底上用常规的集成电路工艺做好集成电路,再利用激光微细加工的直接写入功能,一次性“写入”p-n 结和欧姆接触以制作光器件。这样可以避免高温热损坏半导体基片和集成电路,可以使 OEIC 各个部分性能达到最优,提高 OEIC 的整体性能。

2 激光微细加工实验平台的改进

2.1 激光微细加工实验装置

激光微细加工的基本实验装置如图 1 所示,主要由激光器、透镜和被加工基片等部分组成。这是进行激光微细加工的最小组成,没有任何外围监控设备,尤其是对温度参数的监控。因为在半导体的激光微细加工技术里,微小曝光区域的温度分布是关键工艺参数。曝光区温度分布的细节,尤其是焦斑中心温度和热斑边界等重要信息都必须得到精确的测量。

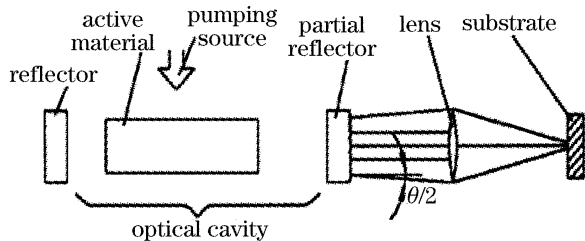


图 1 激光微细加工的最小组成

Fig. 1 Minimum system of laser assisted microprocessing

2.2 基本实验装置的初步改进

针对温度这一关键参数,课题组研制了微小高温区温度不接触实时测量系统,测量区域直径最小可以达到 $18 \mu\text{m}$,温度分辨力可以达到 1°C ,基本满足激光微细加工的要求^[6]。改进后的实验装置如图 2 所示,主要是在激光微细加工最小组成上添加了测温系统。

但该系统在实际应用时还存在以下几个问题:首先是要进一步提高温度分辨率时,测温范围达不到要求;第二是测量曝光区温度分布时,需手动调节测温套筒的位置。系统的调整和读数不方便,只能

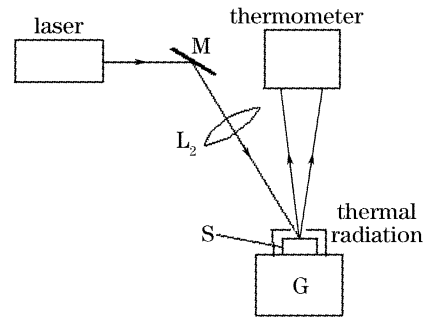


图 2 激光微细加工改进系统

Fig. 2 Improved system of laser assisted microprocessing

测较少的点,不能很好地反映曝光区的温度分布。同时难以寻找到曝光区的最高温度点,给测温带来误差;第三是难以测得基片温度随时间的瞬态变化过程。由于有这些缺点,测温装置和被测微小面元的纵向对准也未得到较好的解决。

2.3 基本实验装置的进一步改进

课题组在原有系统的基础上,提出一种计算机温度测量系统,较好地解决了以上问题。系统框图如图 3 所示,以计算机为核心,采集前端测温导筒和电流放大器探测的温度信号,并以此控制后端电动平台自动搜索最佳位置,实现了温度采集、分析和搜索的自动控制,排除了人为因素的干扰,减小了实验误差。

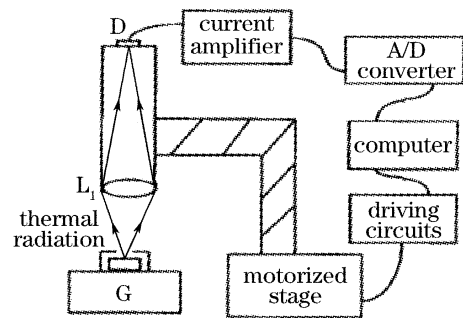


图 3 激光微细加工计算机控制系统

Fig. 3 Experimental setup for the temperature-measuring system

该系统采用高精度、低漂移电流放大器对光电探测器产生的光电流进行放大,并将放大后的电压信号转换为数字信号输入计算机。由计算机对曝光区进行快速扫描,由于系统具有较快的响应速度(采样时间间隔约 $10 \mu\text{s}$)和自动记录功能,可获得温度场的分布并对最高光电流进行判断。通过控制电动平台可精确调整测温导筒,自动寻找温度最高区域,实现系统的自动控制。该系统在温度为 600°C 附近,将温度分辨率提高到 0.2°C ,并且扩大了测温范围,系统对光电流的分辨力比原有系统提高 10 倍,允许的光电流信号范围增大近 3 倍。

使用 Microsoft VC++ 来进行软件的开发, 用基于单文档界面的应用程序实现了设计要求, 其应用程序窗口如图 4 所示。

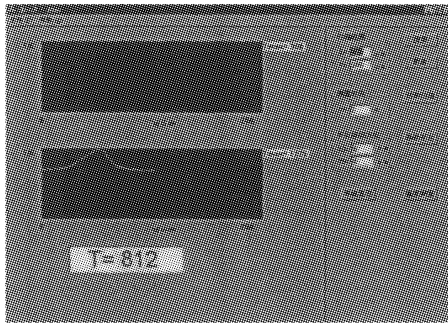


图 4 激光微细加工的人机交互界面

Fig. 4 Human-computer interface of laser assisted microprocessing

其中问题域部分由接口类构成, 人机交互部分由控制面板类和显示面板类构成, 数据管理部分由文档类构成。控制面板类完成各种命令和参数的输入, 显示面板类完成测量结果的显示, 文档类完成测量结果的存储。

3 激光微细加工系统的应用

利用激光微细加工实验系统, 对影响器件性能的各种因素进行了讨论。理论分析和实验结果表明, 影响激光微细加工精度的关键因素之一是温度参数, 并由此进行了大量的理论研究。

分析发现, 测温系统温度测量准确性的主要是由像差校正系统、杂散光及探测器光敏面面积决定的。因此将原有探测器更改为带单模尾纤式探测器以限制杂散光并减小光接收面面积。实验证明该方法基本满足微小面元温度测量的要求^[7]。同时, 系统的调焦状况也将影响对可见光波段和近红外波段两种情况下系统成像物镜的焦距。成像物镜在波长为 $0.546 \mu\text{m}$ 时的焦距为 30 mm , 固定像距为 196 mm 时, 得到在波长为 $1.335 \mu\text{m}$ 时的物距比波长为 $0.546 \mu\text{m}$ 时大 1.33 mm 。利用这个结果, 结合在不同物距时系统对被测高温区进行扫描得到的温度分布, 提出了调焦的方法。利用该方法, 系统物距可调节到最佳物距为中心 $\pm 0.05 \text{ mm}$ 的范围内, 满足了微小面元温度测量的要求^[8]。

实验结果表明, 由于 Si, InP 等半导体材料对 $10.6 \mu\text{m}$ 波长激光的吸收系数随温度的升高而增大, 实验时容易产生热致破坏, 损伤基片。在分析热致破坏的产生机理后, 提出了在聚焦激光束照射下, 曝光区温度的数值计算方法。计算结果表明, 在半

导体基片初始温度为室温时, 以恒定功率的激光束照射基片, 曝光区温度不能稳定在扩散实验需要的温度范围。在此基础上, 提出了预热基片及对曝光区温度进行实时控制等抑制热致破坏的方法, 有效地克服了这一困难^[9~11]。课题组还研究了入射激光光强对扩散区温度的影响, 并由此提出了采用多次激光诱导扩散的积分效应来实现杂质浓度分布的均匀化整形的方法, 达到了良好的效果^[12]。

以上诸多理论分析和实验研究对于用激光微细加工制作出高性能的单片光电集成电路器件有重要意义。

4 结 论

课题组还利用激光微细实验平台进行了激光诱导腐蚀的相关研究, 并已经取得了阶段性的成果, 扩大了该实验平台的应用范围^[13,14]。通过对该实验平台的改进和对实验影响因素的理论研究, 实现了计算机的自动控制, 提高了激光微细加工的精度并已实际应用于 InGaAs/InP 平面型 PIN 光探测器的制作^[15], 向用激光微细加工方法制作出采用平面型 PIN 光探测器的单片集成光接收机的目标迈出了关键的一步。

参 考 文 献

- Ye Yutang. Laser Assisted Microprocessing [M]. Chengdu: Press of University of Electronic Science and Technology, 1995
叶玉堂. 激光微细加工 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1995
- Ye Yutang, Li Zhongdong, Hong Yonghe *et al.*. Pulsed Nd: YAG laser induced diffusion of Zn into GaAs using solid state diffusion source [J]. *Acta Optica Sinica*, 1997, **17**(4): 419~422
叶玉堂, 李忠东, 洪永和等. GaAs 衬底的固态杂质源脉冲 $1.06 \mu\text{m}$ 激光诱导扩散 [J]. *光学学报*, 1997, **17**(4): 419~422
- Ye Yutang, Li Zhongdong, Hong Yonghe *et al.*. Continuous wave CO₂ laser induced diffusion of Zn into GaAs using a solid state diffusion source [J]. *Chinese J. Lasers*, 1997, **A24**(3): 237~241
叶玉堂, 李忠东, 洪永和等. 用固态杂质源在 GaAs 衬底上实现的连续波 CO₂ 激光诱导 Zn 扩散 [J]. *中国激光*, 1997, **A24**(3): 237~241
- A. Yu Bonchik, S. G. Kijak, Z. Gotra *et al.*. Laser technology for submicron-doped layers formation in semiconductors [J]. *Optics & Laser Technology*, 2001, **33**(8): 589~591
- T. K. Ong, Y. C. Chan, B. S. Ooi. Fabrication of multiple-wave-length lasers in InGaAs-InGaAsP structures using direct laser writing [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2001, **13**(11): 1161~1163
- Li Zhongdong, Ye Yutang, Hong Yonghe *et al.*. Remote sensing of the temperature of the exposed region in laser assisted diffusion [J]. *J. Appl. Sci.*, 1997, **15**(4): 413~417
李忠东, 叶玉堂, 洪永和等. 连续波激光诱导扩散区温度的不接触测量 [J]. *应用科学学报*, 1997, **15**(4): 413~417
- Zhao Aiyang, Ye Yutang, Wu Yunfeng *et al.*. Temperature measurement precision for small laser-processed region [J]. *J.*

- Semiconductor Optoelectronics*, 2005, **26**(6): 531~534
赵爱英,叶玉堂,吴云峰等. 微小激光加工区温度测量的准确性研究 [J]. 半导体光电, 2005, **26**(6): 531~534
- 8 Wu Yunfeng, Ye Yutang, Yang Xianming *et al.*. Focusing in radiometric temperature measurement for small laser-processed region [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(5): 702~706
吴云峰,叶玉堂,杨先明等. 微小激光加工区辐射测温系统的调焦 [J]. 中国激光, 2005, **32**(5): 702~706
- 9 Wu Yunfeng, Ye Yutang, Wu Zeming *et al.*. Temperature rise on a semiconductor substrate locally heated by 10.6 μm laser beam [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(7): 870~874
吴云峰,叶玉堂,吴泽明等. 半导体基片在 10.6 μm 激光局域加热时的温度上升 [J]. 中国激光, 2004, **31**(7): 870~874
- 10 Wu Yunfeng, Ye Yutang, Wu Zeming *et al.*. Temperature rise of InP heated by CW CO₂ laser locally [J]. *Chinese J. Semiconductors*, 2004, **25**(8): 956~960
吴云峰,叶玉堂,吴泽明等. InP 基片在连续波 CO₂ 激光局域加热时的温度上升特性 [J]. 半导体学报, 2004, **25**(8): 956~960
- 11 Wu Yunfeng, Ye Yutang, Yang Xianming *et al.*. The elimination of thermal runaway in 10.6 μm laser-induced diffusion [J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(12): 1638~1642
吴云峰,叶玉堂,杨先明等. 10.6 μm 激光诱导扩散中热致破坏的抑制 [J]. 光学学报, 2004, **24**(12): 1638~1642
- 12 Wang Yulin, Ye Yutang, Wu Yunfeng *et al.*. Integration effects of twice irradiations on homogenizing distribution of one-dimensional impurity concentration [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, **18**(1): 6~10
王昱琳,叶玉堂,吴云峰等. 两次曝光积分效应实现杂质浓度分布均匀化 [J]. 强激光与粒子束, 2006, **18**(1): 6~10
- 13 Liu Lin, Zhao Suying, Liu Juanxiu *et al.*. Laser etching holes diameter controlling and transverse etching [J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2005, **16**(7): 841~844
刘霖,赵素英,刘娟秀等. 激光化学腐蚀孔直径控制与横向腐蚀特性 [J]. 光电子·激光, 2005, **16**(7): 841~844
- 14 Liu Lin, Ye Yutang, Zhao Suying *et al.*. New method of laser induced wet-chemical etching [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2005, **32**(10): 89~92
刘霖,叶玉堂,赵素英等. 激光化学诱导液相腐蚀新方法 [J]. 光电工程, 2005, **32**(10): 89~92
- 15 Wu Yunfeng, Liao Yun, Ye Yutang *et al.*. Fabrication of planar InGaAs/InP PIN photodiodes using laser assisted microprocessing [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, **17**(1): 13~16
吴云峰,廖云,叶玉堂等. 用激光微细加工制做平面型 InGaAs/InP PIN 光探测器 [J]. 强激光与粒子束, 2005 **17**(1): 13~16