

# GaAs 衬底的固态杂质源脉冲 1.06 $\mu\text{m}$ 激光诱导扩散\*

叶玉堂 李忠东 洪永和 叶灵 李家旭\* \*  
(电子科技大学光电子技术系, 成都 610054)

**摘 要** 利用 1.06  $\mu\text{m}$  脉冲 Nd:YAG 激光, 以含 Zn 的固态杂质源在化合物半导体 GaAs 基片上进行诱导扩散, 作出了 P-N 结。获得了亚微米的扩散结深及  $10^{20} \text{cm}^{-3}$  量级的表面掺杂浓度, 并利用二次离子质谱仪对扩散样品进行成分的逐层扫描分析, 研究了结深和掺杂浓度与辐照激光脉冲数、单脉冲激光能量密度的关系。

**关键词** 激光诱导处理, 激光诱导扩散, 光电子, 半导体。

## 1 引 言

由于激光诱导掺杂具有低温处理、直接写入等独特功能, 从七十年代开始, 美国、日本、意大利、法国、荷兰等发达国家都开展了这一领域的研究<sup>[1~10]</sup>。早期的研究都集中在气态杂质源激光诱导扩散。与气态源激光诱导扩散相比, 固态杂质源激光诱导扩散更方便、更安全, 因而, 进入九十年代以后, 日本 NEC 等公司已先后开展了固态源激光诱导掺杂的研究<sup>[11]</sup>。但 NEC 等公司研究的是 Si 衬底的固态源激光诱导掺杂。对集成光学、光电子等领域的应用, 重要的是 GaAs、InP、(HgCd)Te 之类的化合物半导体。而这些化合物半导体在常规的半导体掺杂工艺中容易因高温冲击而分解、气化, 这会影响半导体器件的性能。因此, 激光诱导扩散的局域升温、低温处理功能对化合物半导体的掺杂有重要的意义。

本文介绍 GaAs 衬底的固态杂质源 1.06  $\mu\text{m}$  脉冲 Nd:YAG 激光诱导扩散。用掺 Zn 的乳胶液涂覆 GaAs 基片并烘干, 在基片上形成含 Zn 乳胶膜, 聚焦的脉冲激光束辐照基片, 使 Zn 扩散进入 GaAs, 做成 P-N 结, 并利用二次离子质谱仪对扩散样品进行成分的逐层扫描分析, 给出了结深  $X_j$  及掺杂浓度  $C(x, t, T)$  等性能参数与辐照激光脉冲数、单脉冲激光能量密度等的关系曲线。脉冲激光诱导扩散结的掺杂浓度达到  $10^{20} \text{cm}^{-3}$  量级, 结深可以浅到亚微米级。该工艺在单片集成光路, 尤其是单片光电混合集成回路的制作中有广阔的应用前景。

## 2 实 验

\* 国家自然科学基金资助项目。

\* \* 现在地址: 华为技术有限公司多媒体业务部 ATM, 深圳 518057。

收稿日期: 1996 年 3 月 22 日

扩散用的源材料是美国产含 Zn 的  $\text{SiO}_2$  乳胶液。扩散前先用这种乳胶液在 N 型 GaAs 衬底的表面制备含 Zn 的  $\text{SiO}_2$  胶膜。首先将 GaAs 基片作常规工艺的去油处理, 依次用丙酮、乙醇、去离子水清洗, 然后用 1:1 的 HCl 去离子水溶液浸泡 3 min, 用去离子水清洗后再用氮气枪吹干或在超净台中用红外灯烤干。然后用离心式涂胶机在 GaAs 表面制备含 Zn 的  $\text{SiO}_2$  乳胶膜。涂胶机的转速控制在 1000~ 3000 rpm, 涂胶时间 10~ 60 s, 这由片子的大小及 P-N 结性能参数的要求而定, 最后将涂上胶液的基片在  $100^\circ\text{C}$  烘箱中烘 10~ 15 min, 除去溶剂, 烘干胶膜, 胶膜制备即告完成。在激光诱导扩散中, 这含 Zn 的  $\text{SiO}_2$  胶膜起双重作用: 第一是为高蒸气压的 As 原子提供一层密封膜, 以阻止 GaAs 衬底的分解; 第二是作为掺 Zn 原子的源。所谓固态杂质源, 也正是指这作为扩散源的胶膜呈固态。

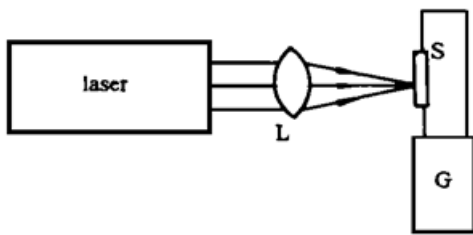


Fig. 1 Experimental set-up for pulsed induced diffusion

制备好含 Zn 的  $\text{SiO}_2$  胶膜之后, 即可用激光束照射样品, 以完成 Zn 向 GaAs 衬底中的扩散。激光诱导扩散的装置如图 1 所示。由 JEM-I 型脉冲 Nd:YAG 激光器发出  $1.06\ \mu\text{m}$  的激光脉冲, 每个激光脉冲的能量约 395 mJ, 激光束经透镜 L 聚焦后投射在 GaAs 基片上。固定衬底片的基座可以进行三维调整以改变聚焦状况或曝光位置, 从而改变激光诱导扩散时曝光功率密度(脉冲激光诱导扩散激光功率密度常以每个宽度一定的光脉冲的能量密度表示, 以下简称能量密度)或曝光区域。为便于电镜及二次离子

质谱分析时的样品解理, 扩散时使系统处于散焦状态, 同时选用较高的光脉冲能量, 使光斑半径  $R$  达 1.14 mm。通过总的曝光脉冲数和单个脉冲的能量密度这两个工艺参数的调节, 可以很方便地控制扩散结的结深、杂质分布等性能参数。曝光后的样品用 1:10 的 HF 去离子水溶液浸泡 30 s, 去掉 GaAs 的  $\text{SiO}_2$  胶膜, 再用去离子水洗净, 在  $80^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干。整个激光诱导扩散就完成了。

由于激光诱导扩散的扩散区域非常小, 不可能用常规探针法测量扩散样品的方块电阻等性能参数。因此, 将扩散样品通过曝光中心解理, 用 JEM-2000FX 型二次离子质谱仪对样品进行逐层扫描成分分析, 得到脉冲激光诱导扩散结的结深及掺杂浓度分布等性能参数。

### 3 结果与讨论

根据激光诱导扩散样品的 JEM-2000 FX 型二次离子质谱仪对样品进行逐层扫描成分分析的结果, 得到了不同工艺条件下的结深  $X_j$  及掺杂浓度分布  $C(x, t, T)$ 。  $X_j$  与单脉冲激光能量密度、辐照激光脉冲数的关系分别示于图 2 和图 3。从图 2 和图 3 可以看出, 当辐照激光脉

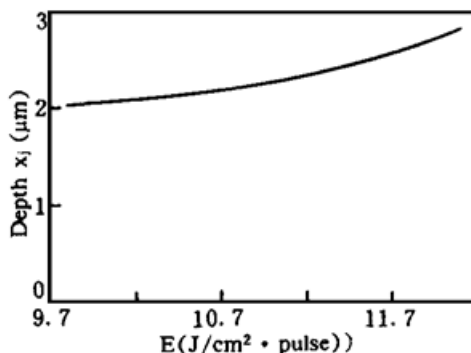


Fig. 2 Depth  $X_j$  versus power density for the P-N junctions (the number of pulses  $N = 30$ )

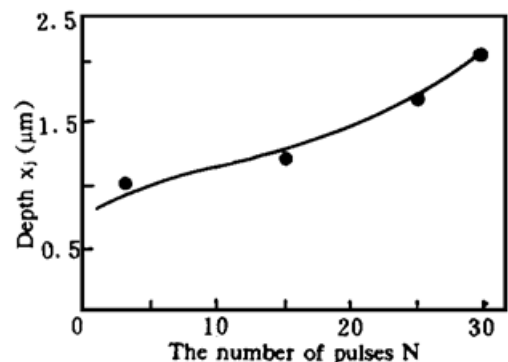


Fig. 3 Depth  $X_j$  as a function of the number of pulses ( $9.8\ \text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{pulse}$ )

冲数相同时, 激光能量密度越大, 杂质扩散得越深 ( $X_j$  增大); 当激光能量密度相同时, 辐照激光脉冲数量越多, 杂质扩散得越深 ( $X_j$  增大); 辐照激光脉冲数量越少, 越易得到超浅的 P-N 结, 在单一脉冲辐照的情况下, 得到了亚微米的 P-N 结。这表明实验中曝光区一直处于固态, 曝光总脉冲数量越大, 扩散时间也就越长, 杂质扩散的距离也就越远。

表面掺杂浓度  $C(0, t, T)$  与单脉冲激光能量密度、辐照激光脉冲数的关系示于图 4 和图 5。从图 4、图 5 可以看出, 当辐照激光脉冲数相同时, 单脉冲激光能量密度越大, 表面杂质浓度越低; 当单脉冲激光能量密度相同时, 辐照激光脉冲个数越多, 而表面杂质浓度下降得越多。而且, 表面杂质浓度受单脉冲激光能量密度的影响大于辐照的激光脉冲个数对表面杂质浓度的影响。

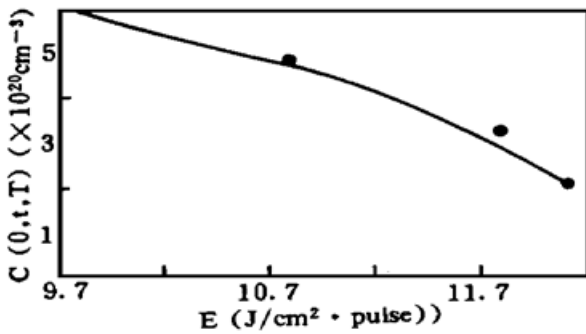


Fig. 4 Surface concentration  $C(0, t, T)$  versus power density ( $N = 30$ )

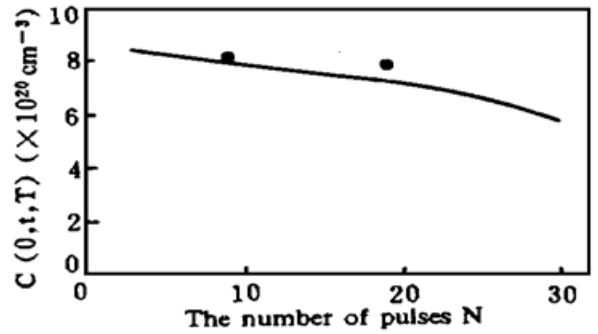


Fig. 5 Surface concentration  $C(0, t, T)$  as a function of the number of pulses ( $9.8 J/cm^2 \cdot pulse$ )

脉冲数一定时, 比较不同的单脉冲激光能量密度下的诱导扩散情况, 如图 6 所示。在同样的掺杂浓度时, 单脉冲激光能量密度越大, 结深越深, 且单脉冲激光能量密度微小变化会引起结深较大的变化。这与从图 2 中得出的结果是吻合的。

比较相同的单脉冲激光能量密度、不同的激光脉冲数时的诱导扩散情况。两条相应于激光脉冲数  $N = 3$  和  $N = 30$  的掺杂浓度分布曲线示于图 7。在相同的单脉冲激光能量密度下, 扩散结的深度随着辐照激光脉冲数的增加而增加, 脉冲数较少时, 杂质浓度梯度很大, 得到的是陡变结; 脉冲数较多时, 杂质浓度梯度降低, 得到的是缓变结。由此可见, 利用控制曝光激光脉冲数量的方法可以很方便地控制扩散结的深度。

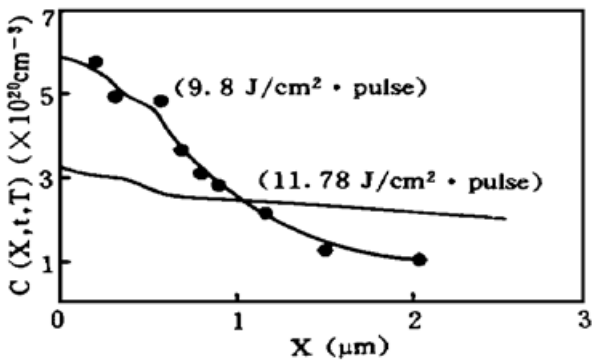


Fig. 6 Comparison of laser doped Zn profiles obtained with different laser energy density ( $N = 30$ )

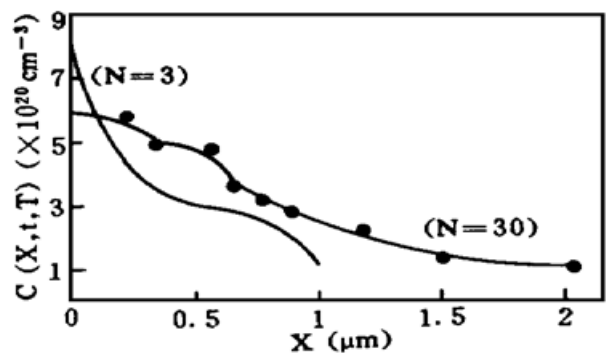


Fig. 7 Comparison of laser doped Zn profiles obtained with different number of pulses ( $9.8 J/cm^2 \cdot pulse$ )

**结 论** 用含 Zn 的固态杂质源, 在化合物半导体 GaAs 基片上做成了 1.06 μm 脉冲 Nd: YAG 激光诱导扩散的 P-N 结, 并利用二次离子质谱仪对扩散样品进行了成分的逐层扫描分

析,研究了结深、掺杂浓度等性能参数与曝光脉冲数、曝光功率密度等工艺参数的关系。结果表明,结深可浅到亚微米级,掺杂浓度可达到  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ,结深、掺杂浓度可通过曝光功率密度、曝光脉冲数的调整加以控制。这种固态杂质源激光诱导扩散工艺不需专用反应室,不需繁琐复杂的真空处理,所需工艺设备易与常规的半导体光刻工艺兼容,扩散源材料又易于运输、储存,因而在集成光学、集成电路、单片光电混合集成电路等领域有广阔的应用前景。

电子科技大学周元庆副教授、庞涛副教授、秦会斌副教授等曾给本课题以测试设备、实验技术等各方面的支持和帮助,谨此一并表示诚挚的谢意。

### 参 考 文 献

- [1] Daniel J. Ehrlich, Richard M. Osgood, Jr., T. F. Deutsch, Laser microphotochemistry for use solid-state electronics. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1980, **QE-16**(11) : 1233~ 1243
- [2] A. Slaoui, F. Foulon, P. Siffert, Excimer laser induced doping of phosphorus into silicon. *J. Appl. Phys.*, 1990, **67**(10) : 6197~ 6201
- [3] D. J. Ehrlich, J. Y. Ysao, Submicrometer-linewidth doping and relief definition in silicon by laser-controlled diffusion. *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**(3) : 297~ 299
- [4] F. Foulon, A. Slaoui, E. Fogarassy *et al.*, Optimization of the parameters involved in the photochemical doping of Si with a pulsed ArF excimer laser. *Appl. Surf. Sci.*, 1989, **36** : 384~ 393
- [5] P. Baeri, S. U. Campisano, G. Foti *et al.*, Arsenic diffusion in silicon melted by high-power nanosecond laser pulsing. *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **33**(2) : 137~ 140
- [6] D. Banerle, Laser processing and diagnostics. *Springer Series in Chemical Physics*, Berlin, Springer. 1984, 239~ 251
- [7] D. J. Ehrlich, R. M. Osgood, Jr., T. F. Deutsch, Direct writing of regions of high doping on semiconductors by UV-laser photodeposition. *Appl. Phys. Lett.*, 1980, **36**(11) : 916~ 918
- [8] G. G. Bentini, M. Bianconi, L. Correa *et al.*, Laser doping of silicon: role of the surface status in the incorporation mechanism. *Appl. Surf. Sci.*, 1989, **36** : 394~ 399
- [9] S. Kato, T. Nagahori, S. Matsumoto, ArF excimer laser doping of boron into silicon. *J. Appl. Phys.*, 1987, **62**(9) : 3656~ 3659
- [10] J. Narayan, R. T. Yong, R. F. Wood, P-N junction formation in boron-deposited silicon by laser-induced diffusion. *Appl. Phys. Lett.*, 1978, **33**(4) : 338~ 340
- [11] K. Sera, F. Okumura, S. Kaneka, Excimer-laser doping into Si thin film. *J. Appl. Phys.*, 1990, **67**(5) : 2359~ 2363
- [12] J. H. Bechtel, Heating of solid targets with laser pulse. *J. Appl. Phys.*, 1975, **46**(4) : 1585~ 1588
- [13] Koji Sugioka, Koichi Toyoda, Direct formation of three-dimensional structures in GaAs by excimer laser doping. *Japan J. Appl. Phys.*, 1989, **28**(10) : 2162~ 2166

## Pulsed Nd : YAG Laser Induced Diffusion of Zn into GaAs Using Solid State Diffusion Source

Ye Yutang    Li Zhongdong    Hong Yonghe    Ye Ling    Li Jiaxu  
(Department of Opto-Electronic Technology, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054)

(Received 22 March 1996)

**Abstract** The P-N junctions were produced by pulsed  $1.06 \mu\text{m}$  Nd : YAG laser induced diffusion of Zn into substrate GaAs with solid state diffusion source. The performance parameters of the P-N junctions such as  $X_j$  and  $C(x, t, T)$  are presented as the functions of the laser pulse number  $N$  and the power density of the exposed region. The experimental results show that junction depth  $X_j$  reaches submicrometer and the dopant concentration is of the order of  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$ .

**Key words** laser assisted processing, laser induced diffusion, photoelectron, semiconductor.