

研究简报

磷砷化镓离子注入层的 CW CO₂ 激光退火研究

马景林 周瑞英 李国辉 阎凤章

(北京师范大学低能核物理研究所)

1984年1月23日收到

本文对 N、Zn 离子注入 GaAs_{1-x}P_x 材料之后,用连续 CO₂ 激光束进行退火作了研究。晶格恢复、注入杂质的激活率和光致发光的实验测量结果表明,CO₂ 激光退火的效果优于常规热退火。本文对 CO₂ 激光退火效果优于热退火的原因作了初步的解释。

一、引 言

实验表明:^[1]在 n 型 GaAs_{1-x}P_x 材料中掺 Zn 制作的二极管,使用离子注入法比用扩散法制成的发光二极管的发光效率大得多。使用离子注入工艺制造器件必须进行退火处理。目前一般使用的退火手续主要是热退火。这种方法的优点是重复性和均匀性较好,易于控制。但它的最大缺点是:在长时间的高温处理中,往往材料发生热分解而使电学性能受到影响。激光退火与热退火相比,具有许多优点。如退火时间短,损伤恢复完整,杂质替位率高等。但利用脉冲红宝石激光进行退火,材料表面瞬时熔化,往往使样品的表面带来新的损伤,而且退火的均匀性也不大好。据报道,使用连续 CO₂ 激光束进行退火,能够避免脉冲激光退火所产生的问题^[2],也能够提高发光效率^[3]。本文在此基础上选用长波长的连续 CO₂ 激光束对 N、Zn 离子注入 GaAs_{1-x}P_x 材料进行退火。既克服了热退火的缺点,又避免了脉冲激光退火的不足。

二、实验方法

本实验的样品是 n 型 GaAs_{1-x}P_x ($x \approx 0.4$), N 离子注入能量是 350 keV, 剂量是 $4 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 。注 Zn 时样品的温度为 350℃。退火前在样品表面复盖 4000 Å 的 PSG 和 2000 Å 的 SiO₂ 保护膜。然后将样品划分成 $5.5 \times 5.5 \text{mm}^2$ 大小的方块进行退火。

激光退火使用的激光源是 JQ-1 型 CO₂ 激光器。光斑直径为 11mm。CO₂ 激光退火时选用两种不同的方法进行。第一种方法为激光照射样品正面,样品的位置固定不动,激光功率密度为 100W/cm^2 。第二种方法是激光照射样品的背面,同时样品以每分钟 70 次在光斑中心左右 2.5mm 范围内来回移动,以增强激光退火的均匀性。在背面激光照射的过程中,样品先在 100W/cm^2 的功率密度下被照射一定的时间后,激光的功率密度减小到

70W/cm² 再照射一定的时间。目的是使样品不致因温度直线上升而烧毁。

热退火选择 850℃ 退火 35 分钟。退火时样品放在有一定的 Ga、As 蒸汽压的石英管中进行^[1]。这种热退火条件是以前实验选出的最佳退火条件^[1]。

三、实验结果和讨论

在 CO₂ 激光束照射样品的正面及背面这二种退火方式中, 每一种退火方法都采用不同的退火时间。从退火后样品的光致发光的比较可知, 每种方法中都有其最佳的退火时间。当功率密度为 100W/cm² 的激光束照射样品的正面时, 最佳退火时间为 15.5 秒。但这时样品表面的注入层已有部份损伤。使用激光照射来回摆动的样品的背面时, 先用功率密度为 100W/cm² 的激光照射 12 秒, 再用 70W/cm² 照射 40 秒, 得到了最佳的退火效果。而且样品的正面注入层保持了光亮的抛光表面。图 1 表示这两组中的最佳 CO₂ 激光退火样品及热退火样品的光致发光谱。峰值位置在 6500 Å 左右。这是 N 在 GaAs_{1-x}P_x (x ≈ 0.4) 中形成的等电子陷阱所束缚的电子与 Zn 受主上的空穴复合所发出的红光。从图中可以看到背面退火样品的光致发光的峰值积分强度比正面退火及热退火的样品大二倍多。而正面退火的样品的积分发光强度与热退火样品相当。由于正面激光退火的样品容易使注入层产生损伤, 因此这种方法是不可取的。

下面再比较背面激光退火和热退火后样品的杂质激活率及晶格恢复情况。样品经热退火后 Zn 杂质的激活率约为 50% 左右, 而激光退火后的激活率超过 100%。对于激活退火后杂质的激活率超过注入的剂量的原因现在还在探讨之中。由透射电镜所拍的反射式电子衍射图及背散射沟道测量的结果可以看出, 850℃ 的热退火未能满意地消除损伤。而 CO₂ 激光背面退火能使注入区的定向谱与光片定向谱充分接近。从激光退火样品的电子衍射图还可看到菊池线。这说明样品在 CO₂ 激光退火下已良好地再结晶, 并且晶格恢复优于热退火的样品。

同时我们在 CO₂ 激光退火的过程中用铂铑-铂热电偶及光学温度计测量了样品的最高温度, 达 1150℃ 左右。这个温度低于 GaAs_{1-x}P_x 的熔化温度。杂质 N 和 Zn 的激活率随退火温度的升高而增加^[1,4]。但是当样品的温度长时间高于 950℃ 时又容易产生热分解现象。在 CO₂ 激光退火过程中(大于 1000℃), 注入的杂质既被全部激活又能防止化合物半导体在长时间热退火过程中产生热分解。这可能是连续 CO₂ 激光退火效果优于热退火的主要原因。

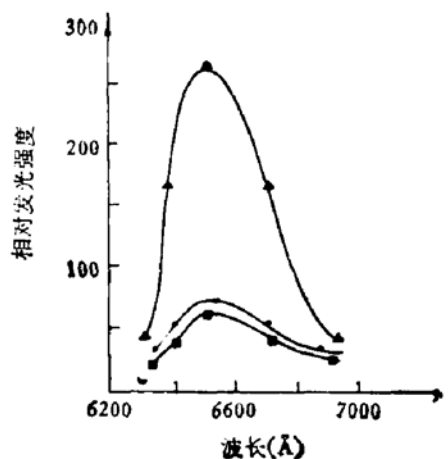


图 1 发致发光谱

- △ 背面激光退火的样品
100W/cm² 12 秒 + 70W/cm² 40 秒
- 正面激光退火的样品
100W/cm² 15.5 秒
- 热退火的样品
850℃ 35 分

四、结 论

1. $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ 材料的 N、Zn 离子注入层使用 CW CO_2 激光退火具有以下优点: 退火均匀性好, 杂质激活率高, 离子注入层的晶格恢复较完整, 光致发光积分强度是最佳热退火样品的三倍半。

2. 背面 CO_2 激光退火的效果优于正面退火。

3. CO_2 激光退火之所以比热退火好的原因主要是短时间的高温处理。有效地避免了长时间高温热退火所引起的材料电学性能变坏及热分解的影响。

在本文的工作中得到了铁道部科学研究院李志忠、丁新华; 北师大物理系刘玉樑; 复旦大学物理二系承焕生等及本所刘伊犁、马玉岗、吕贤淑等同志的帮助, 作者在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 李国辉等, 北京师范大学学报, 1981年第1期.
- [2] S. C. Tson, et al., *Appl. Phys.*, **23**, 163(1980).
- [3] M. Takai and H. Ryssel, *Appl. Phys. Lett.*, **35** (9), 1 (1979).
- [4] D. J. Wolford, R. E. Anderson and B. G. Streetman, *J. Appl. Phys.*, **48**, 2442(1977).

Studies of CW CO_2 Laser Annealing in the Ion Implanted Layers of $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$

Ma Jinglin, Zhou Ruiying, Li Guohui and Yan Fengzhang
(Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University)

Abstract

A CW CO_2 laser annealing behavior of nitrogen and Zinc implanted $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ ($x \approx 0.4$) is investigated. After the measurements on the recovery from crystal damage, electrical activation of implanted atoms and photoluminescence emission, it is found that CO_2 laser annealing has an advantage over the thermal annealing. A preliminary discussion is made on the reason why the property of CO_2 laser annealing is better than that of thermal annealing.