

利用离子注入硅及 Nd:YAG 连续 激光退火制备厘米波段雪崩管

朱美芳 姚德成 刘世祥 石万全

(中国科技大学研究生院)

杨丽华

(邮电部半导体研究所)

1982年5月5日收到

提 要

采用离子注入硅及 Nd:YAG 连续激光退火制备厘米波 p^+nn^+ 结构雪崩二极管。器件输出功率达 1.25W, 效率达 7.7%。与热退火工艺结果进行比较。讨论了将连续激光退火用于制备毫米波雪崩管的有利方面。

一、引 言

离子注入后激光退火具有比热退火再结晶完整、杂质电激活高等优点。特别是连续激光退火还具有不引起杂质再分布及可以自动控制选择性退火等优点。近几年来激光退火技术已被广泛地研究^[1], 并正被进一步研究应用于半导体器件生产中。

考虑到硅雪崩二极管要求高掺杂浓度及突变结的特点, 采用离子注入及连续激光退火技术可以较理想的达到上述要求。我们在系统研究 B^+ 、 P^+ 、 As^+ 注入 Si 用 Nd:YAG 连续激光退火的基础上^[2], 采用硼离子注入 Si 及连续激光退火新技术制备厘米波雪崩二极管, 并与热退火工艺作比较。

二、实验方法

我们采用 p^+nn^+ 硅单漂移区结构制备雪崩二极管。衬底材料是电阻率为 $4\sim 8\times 10^{-3}\Omega\text{cm}$ 的 n^+ 铈掺杂(111)单晶。衬底上外延生长 $5.7\sim 7.2\mu\text{m}$ 不同厚度的 n 型外延层。在 n 型外延层上离子注入硼以形成 p^+n 结, 注入能量为 150keV, 注入剂量分别为 $5\times 10^{15}/\text{cm}^2$ 和 $1\times 10^{16}/\text{cm}^2$ 。离子注入后分别进行激光退火及热退火。

激光退火是采用 Nd:YAG 连续激光器, 激光器波长 $1.06\mu\text{m}$, 输出功率可达 20W, 激光束束斑直径为 $80\sim 120\mu\text{m}$ 。样品置于 xy 方向自动控制的二维载物台, x 方向步进为 $10\mu\text{m}$, y 方向扫描速度为 $1.6\sim 3.5\text{cm}/\text{sec}$ 。衬底加热温度为 250°C 。适当的调节激光输出功率, 激光束束斑及扫描速度可对各种离子注入样品退火。

热退火是在常规热退火条件下进行的。

样品经激光退火或热退火后,蒸发钛-金作为欧姆接触,然后电镀铜热沉,背面减薄,光刻腐蚀台面,管芯倒装,涂胶保护,封装后进行直流特性及微波特性的测量。

三、实验结果

样品 I-20 的外延层厚度为 6.2—6.6 μm ,硼离子注入能量 150 keV,剂量为 $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 。激光退火功率为 9.8W, y 方向扫描速度为 2.0 cm/sec,调节激光束到适当大小,离子注入层被完全退火,方块电阻 $R_{\square} = 24\text{—}40\Omega/\square$,制成雪崩二极管电学性能指标如表 1 所示。其中样管 2*效率可达 7.7%。表中 V_B 是击穿电压, V_f 为正向压降, P_w 为输出功率, f 为振荡频率。

表 1 I-20 样管电学性能

编号	参数	$V_B(V)$	$V_f(V)$	工作点 (mA/V)	$P_w(W)$	$f(Gc)$
1*		84	2	155/106	1	8.2
2*		84	2	150/108	1.25	8.8
3*		84	2	160/106	1	8.2

样品 I-21 的外延层厚度为 5.9—6.45 μm ,硼离子注入能量为 150 keV,注入剂量为 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 。部分样品在与 I-20 相近的条件下进行激光退火,其方块电阻 $R_{\square} = 20\text{—}30\Omega/\square$,制成雪崩二极管样管 I-21-1 其电学性能如表 2 所示。

表 2 I-21-1 样管电学性能

编号	参数	$V_B(V)$	$V_f(V)$	工作点 (mA/V)	$P_w(W)$	$f(GC)$
1		80	1.23	160/100	1.0	8.6
2		80	1.38	160/100	0.8	8.3
3		80	1.5	155/100	0.8	8.2
4		80	1.7	160/102	1.0	8.0

另一部分 I-21 样品在氮气气氛中 800 $^{\circ}\text{C}$ 下退火 30 分钟,再制作成雪崩管,其电学特性测试结果如表 3 所示。

表 3 I-21-2 样管电学特性

编号	参数	$V_B(V)$	$V_f(V)$	工作点 (mA/V)	$P_w(W)$	$f(GC)$
1		90	1.3	140/156	1.0	7.7
2		90	1.24	130/116	1.0	7.9

直流特性的测试还表明 I-21-1 样管的击穿电压分布比 I-21-2 样管均匀且其击穿特性更硬。

四、讨 论

采用常规热扩散掺杂工艺制备的雪崩二极管输出功率为 1W, 效率为 7%。我们采用离子注入及 Nd:YAG 连续激光退火新技术制备的雪崩二极管得到了和常规热扩散工艺同样的结果, 说明离子注入激光退火应用于半导体器件制造是可行的。

原则上离子注入激光退火可形成较理想的浅突变结。结浅利于散热, 热阻小。结陡可减小雪崩区宽度, 这些因素都有利于提高输出功率和效率。我们的激光退火实验在某些方面如效率、结特性获得了比热退火更好的结果, 但离子注入激光退火的优越性未能充分显示。除了工艺上的原因外, 我们初步认为在大讯号情况下^[3], 即使是理想的突变结, 由于在厘米波段它具有较大的负 Q 值, 不能获得最大的输出功率和效率。若在毫米波段, 突变结二极管具有较小的负 Q 值可获得较高的输出功率和效率。预期利用全离子注入^[4]连续激光退火制备 p^+nn^+ 雪崩二极管可能获得较高的输出功率和效率。

感谢邮电部半导体所雪崩管组全体同志对该项工作的大力支持。

参 考 文 献

- [1] 许振嘉, 庄蔚华, 国外电子技术 7·38 (1979).
- [2] 朱美芳、姚德成、刘世洋、石万全, 在第三届全国半导体物理学术会议上报告 (1981).
- [3] W. D. Hershberger "Topics in Solid State and Quantum Electronics" pp. 99-186.
- [4] Thomas E. Seidel, et al, *Proc. IEEE*, 59, No. 8 (1971).

Fabrication of Centimeter Wave Impatt Diode Using Implanted Silicon and CW Nd: YAG Laser Annealing

Zhu Meifang, Yao Decheng, Liu Shixing, Shi Wanquan
(Graduate School, University of Science & Technology of China)

Yang Lihua

(Institute of Semiconductors, Ministry of Post & Telecommunication)

Abstract

Centimeter wave IMPATT diode with p^+nn^+ structure has been manufactured by using Nd:YAG CW laser to anneal B^+ implanted Silicon. The diode's output power is 1.25 W and its efficiency reaches 7.7%. Comparison is made between the results of the laser annealing and those of the thermal annealing. The application of CW laser annealing in making millimeter wave IMPATT diode is discussed.