

激光脉冲使硼在硅中扩散*

姚 杰

(物理学系)

几年前,苏联一个科研小组,提出采用激光对离子注入的样品进行退火处理⁽¹⁻³⁾,取代过去惯用的热退火处理,对晶格损伤的修复和杂质的电激活效果更好。同时发现在激光退火的过程伴随注入杂质离子的快速扩散而重新分布⁽⁴⁾。其扩散迅速程度,不能用固相扩散过程来解释,因为根据激光退火实验所得的扩散系数比一般固相热扩散的大七、八个数量级。但是,用液相扩散机理则能圆满地解释⁽⁵⁾。J. Narayan等人⁽⁶⁾曾以天然硼用电子束蒸发在Si表面,然后用激光辐照,形成的PN结正向特性好,但是,反向耐压及击穿特性未提及,另外,硼在离硅表面 $0.03\mu\text{m}$ 范围内,纵深分布不够精细。本文采用旋涂和淀积方法,使硼在红宝石激光器作用下诱导扩散形成硅PN结,测定了硼的纵深分布、结的伏-安特性及光电特性。

关于激光器和能量密度的选择 本实验用Q开关红宝石激光器,其波长为 $0.694\mu\text{m}$ 。激光脉冲持续时间为 30ns ,输出功率为 80MW ,束斑大小用一透镜调节,输出的能量密度的大小通过调节工作电压和束斑大小来改变。

假若能量密度太大,则会使硅样品表面温度远高于熔点之上,达到沸腾状态。图1和图2是硅单晶被 $3.7\text{J}/\text{cm}^2$ 和 $3.2\text{J}/\text{cm}^2$, 30ns 的红宝石激光辐照烧伤的形貌象。它们是抛光后经热氧化生长几千埃 SiO_2 膜,然后,下半部位用HF腐蚀去掉 SiO_2 膜,硅表面裸露着,用上述能量密度激光同时分别辐照样品的上下部位。由图1可见,有 SiO_2 膜复盖的部位被烧伤的焦斑比裸露部位严重得多。这是由于 SiO_2 膜对激光具有防反射起增透作用,有助于吸收更多的激光能量,使得硅表面层的温度较高,而裸露硅表面对激光反射率较大,吸收激光能量不如 SiO_2 膜复盖部位的大,温度比较低,因此被烧焦的斑点较小且稀。图2的下半部位保持完好的表面,而上半部位被严重烧焦,同样可用上述理论解释。值得注意的是,实验表明,由于激光能量密度太大,硅表面焦斑部位的温度太高, SiO_2 膜受到严重的破坏。进行激光诱导扩散时,应当控制激光能量密度低于使样品表面烧焦的范围,即选用 $0.8-2.5\text{J}/\text{cm}^2$ 为宜。

扩散与结果 用(111)面的N型硅单晶片,电阻率为 $1\Omega\cdot\text{cm}$,在自旋式涂胶机上旋涂上一层很薄的经稀释的硼酸三丙脂 $[\text{B}(\text{OCH}_3)_3]$,然后在 640°C 的氮气氛下处理15分钟,最后用激光辐照。硼就在这强激光驱使下向硅体内扩散。扩散样品用二次

* 激光诱导扩散样品是在光学教研室梁振斌老师协助下做的。

二次离子质谱分析硼在硅中的纵深分布是北京电子管厂中心试验室做的。

离子质谱全离子监视法测定,并进行归一化处理得到硼在硅中的纵深分布,如图3所示。

用这种方法扩散所得到的P-N结的伏-安特性曲线见图4。正向特性很好,反向有较高的硬击穿特性,击穿电压达22伏。本工作还采用在扩散炉中850℃,15分钟淀积BN,然后进行激光诱导扩散,得到类似前面一种方法的结果。



图1 激光辐照硅和二氧化硅的焦斑形貌象 300×

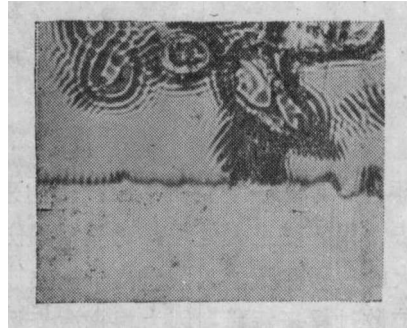


图2 激光辐照二氧化硅焦斑形貌象 400×

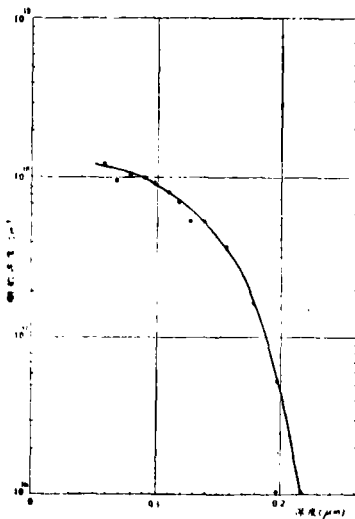


图3 硼的纵深分布

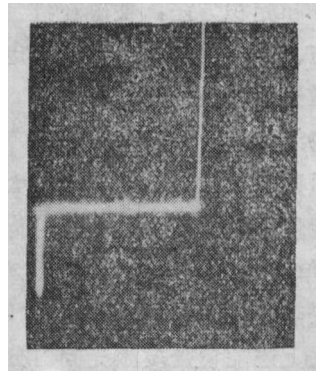


图4 激光诱导扩散结的伏-安特性
横座标: 5伏/格
纵座标: 10微安/格

应用激光诱导扩散方法,作了研制硅光电二极管的尝试。激光能量密度为 $1.4\text{J}/\text{cm}^2$,脉冲持续时间为 30ns 的调Q红宝石激光辐照。得到的硅光电二极管的PN结反向特性如图5。(b)是光照情况下的反向特性,光电流是很明显的,在 $1000L_{ux}$ 照度下光电流大于 $60\mu\text{A}$ (光敏区面积 $2 \times 2\text{mm}^2$);(a)是无光照情况下的反向特性。光谱响应峰值波长在 $0.62\mu\text{m}$ 左右,这是由于这种扩散方法得到的P-N

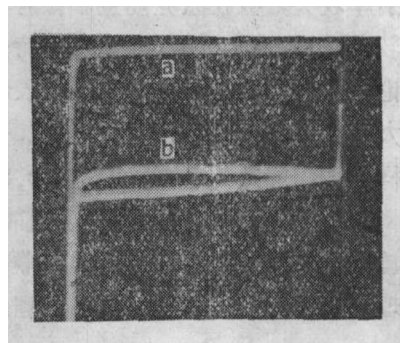


图5 光电二极管特性曲线
横座标: 4伏/格
纵座标: 20微安/格

结很浅的缘故。

本文用二次离子质谱分析硼杂质在硅中的分布,是选用一次离子能量为7keV,以减少一次离子束造成的原子混乱程度,用全离子监视法归一特性二次离子强度,以消除由于一次离子束流变化和样品表面状态对二次离子流的影响,并经 $\frac{K_B^+}{K_{Si^+}}$ 修正。因此,结果是可靠的。

激光诱导扩散,只局限于样品表面薄层作用,可获得很浅结。因此,对于化合物半导体、微波器件和光电器件有意义,

参 考 文 献

- [1] E.I. Shtyrkov et al., *Sov. Phys. Semicond.*, 9 (1976), 1309.
- [2] G.A. Kachurin et al., *ibid*, 9 (1976), 946.
- [3] I.B. Khaibullin et al., *ibid*, 11(1977), 190.
- [4] C.W. White et al., *Appl. Phys. Lett.*, 33 (1978), 662.
- [5] J.C. Wang et al., *ibid*, 33 (1978), 455.
- [6] J. Narayan et al., *ibid*, 33 (1978), 338.