

激光退火对硅氧化层错的抑制作用*

鲍希茂 嵇福权 黄信凡 陈南斗
(南京大学物理系)

激光退火可以使离子注入半导体的损伤层再结晶,从而获得完整的单晶结构,引起了人们很大的重视。是否可以采用激光退火来控制半导体单晶中的缺陷呢?已报道的结果表明,激光退火可以消除硅单晶中的位错^[1],在某些条件下,由于应力的作用,激光辐照又会引入位错^[2]。所以,研究各种缺陷在激光退火中的表现,对了解这些缺陷的退火性质,从而进行有效的控制是重要的。

硅单晶热氧化过程中引入的氧化层错(OSF)对晶体管 and 集成电路的性能有很大的影响。为了控制和消除这些缺陷,人们进行了广泛的研究^[3]。氧化层错,特别是表面氧化层错(OSF_s),发生在晶体的表面层,而激光退火正是对表面层的退火。所以,用激光退火控制OSF,可能是适宜的。本文就是介绍用激光退火控制OSF的一些初步结果。

样品是 $1\Omega \cdot \text{cm}(111)$ 晶面的P型和 $6-8\Omega \cdot \text{cm}(100)$ 晶面的N型硅单晶片。采用的激光是Nd·YAG脉冲激光器,它的波长 $\lambda = 1.06\mu\text{m}$,脉冲宽度由Q开关控制,可以从数十毫微秒到微秒之间变化。激光器的脉冲能量约2焦耳/厘米²,光束经透镜聚焦后的光斑直径约0.5mm,光斑上的功率密度可以用调节脉冲宽度和样品离开焦点的距离来改变。变化的范围是从每平方米几兆瓦到几百兆瓦。

当激光光斑的功率密度较低时,辐照后的样品表面在外貌上看不出变化。随着功率密度的提高,首先,光斑内几个分立的小点开始熔化(图1),熔化点的位置可能由样品的非均匀性引起的各点吸收系数不同所决定。当功率密度较高时,就出现整个一个熔化区。如果熔化层较深,在凝固后经常出现裂纹,裂纹基本上是沿 $\langle 110 \rangle$ 方向发展。例如,在(100)单晶表面,裂纹互相垂直,而在(111)单晶表面,裂纹互成 60° 角(图2)。更高的功

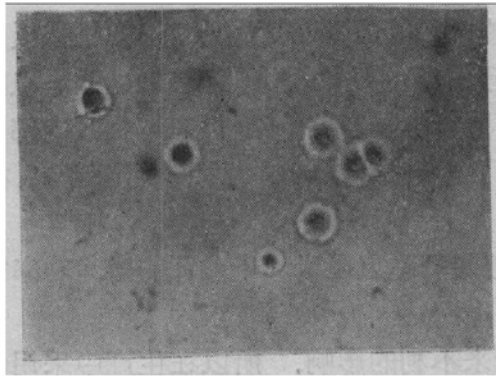


图1 分立的熔化点($\times 630$)

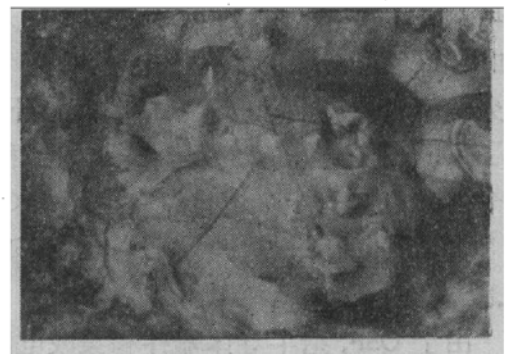


图2 凝固后出现的裂纹($\times 630$)

* 1980年2月14日收到。

率密度就会使晶体气化,打出小孔。

为了研究激光退火对 OSF₁ 的作用,我们从两方面进行了实验。一方面是样品先氧化, OSF₁ 已形成然后用激光辐照将其消除,另一方面是将样品先用激光辐照后再进行热氧化。样品在漂去 SiO₂ 层后,用 Sirtl 腐蚀液腐蚀 30 秒,显示层错,用金相显微镜观察激光退火对 OSF₁ 的影响。

实验表明激光对已形成的 OSF₁ 有消除作用,但是,激光对 OSF₁ 的抑制作用效果更为明显。图 3 表示了一个完整的激光斑点全貌。激光光斑能量沿光斑直径是一种高斯分布。光斑中央已熔化,但 OSF₁ 并未完全消除,光斑周围有一个非熔化的退火区,这个区域内的 OSF₁ 基本上全部消除。激光光斑辐照的实际范围要比图 3 照片显示的轮廓大,所以,非熔化的退火区外面还有一个虽经辐照但 OSF₁ 未被抑制的区域。因此,似乎存在着一个功率密度范围正好能抑制 OSF₁ 的产生,若功率密度过低,则对 OSF₁ 不起抑制作用。功率密度过高,则晶体熔化后也不能完全抑制 OSF₁,而且凝固后的表面很不平坦。所以,单从抑制 OSF₁ 的角度来看,采用接近熔化的功率密度可能是适宜的。

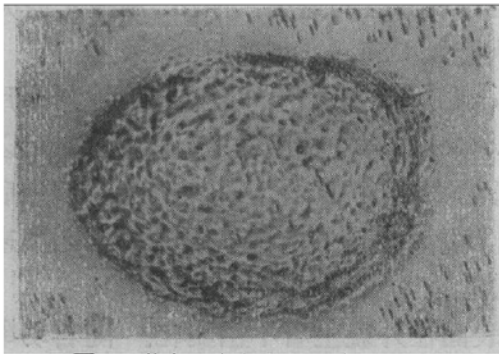


图 3 激光退火斑点全貌($\times 250$)

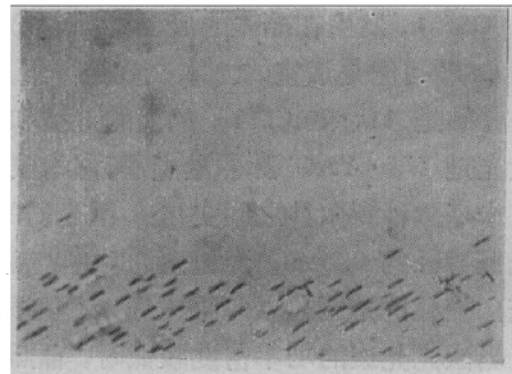


图 4 激光退火对 OSF₁ 的抑制作用($\times 400$)

图 4 是低功率密度激光退火的情况。在光斑中央很大一个范围内 OSF₁ 基本上全部被抑制。

OSF₁ 的出现,一般是样品表面上存在有 OSF₁ 成核中心,在氧化过程中,首先在成核中心上成核,然后不断生长成 OSF₁^[3]。激光退火对 OSF₁ 的抑制作用,显然是在于消除了 OSF₁ 的成核中心。OSF₁ 成核因素可能是多种多样的^[3],但是,对表面型 OSF₁,机械损伤(如研磨残存的损伤)是重要的因素^[4]。对这种位于表面的轻微损伤,经接近硅的熔点的退火是比较容易消除的。在熔化状态下,表面的机械损伤应当被消除,但在熔化区内部出现了 OSF₁,这表明在样品熔化-凝固过程中又出现了新的成核中心。从图 1 可以看出,在几个熔化点中有一个熔化点内出现了 OSF₁。

根据实验结果估计,为了有效地抑制 OSF₁,需要每平方厘米几十兆瓦的激光功率密度。

由于 OSF₁ 给半导体器件和集成电路的性能带来不利的影响。所以在生产中采用各种办法来控制 and 消除 OSF₁。以上实验说明,激光退火可以作为一种控制 OSF₁ 的有效而又简便的方法。此外,OSF₁ 的成核机理至今尚未搞清,激光退火为加深这方面的研究提供了一个新的方法。

工作中得到了冯端教授的指导,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] Porter, W. A., Parker, D. L., Richardson, T. W. and Swenson, E. J. *Appl. Phys. Lett.*, **33**, 886 (1978).
- [2] Allmen, M. V., Lüthy, W. and Affolter, K., *Appl. Phys. Lett.*, **33**, 824 (1978).
- [3] 杉田吉充, 应用物理, **46**, 1056 (1977).
- [4] Queisser, H. J. and Van Loon, P. G. G., *J. Appl. Phys.*, **35**, 3066 (1964).

SUPPRESSION OF OXIDATION INDUCED STACKING FAULTS IN SILICON BY LASER ANNEALING

Bao Ximao, Ji Fuquan, Huang Xinfan
and Chen Nandou
(*Nanjing University*)