

激光结晶 a-Si:H SOI 离子注入和快速退火*

顾清 鲍希茂

(南京大学物理系,南京)

1987年8月26日收到

本文对激光结晶 a-Si:H SOI 结构砷注入和快速退火行为作了研究。a-Si:H 激光结晶有 Lp-LCR, OD, FCR-2, FCR-1 四个结晶区。用剖面电镜观察了结晶区的结构。扩展电阻测量表明 Lp-LCR 区中有两种扩散机制,即杂质在晶粒体内扩散和沿缺陷扩散。OD 区中有三种扩散形式,除有上述两种以外,还有沿缺陷的扩散。首次比较了沿晶界和缺陷的扩散速度。

关键词: SOI 结构,氢化非晶硅,晶粒间界,扩散机制,快速热退火

一 引 言

在低速扫描区域,用 CW Ar⁺ 对非晶硅膜进行激光结晶,可得到四种结晶区,即高温炉结晶区 FCR-1, FCR-2 (Furnace-like Crystallization), 光损伤区 OD (Optical Damage) 以及液相激光结晶区 LP-LCR (Liquid phase Laser Crystallization)。我们曾报道过四个区的平面 TEM 分析结果。^[1] FCR-1 是微晶区。FCR-2 是固相结晶区,晶粒平均尺寸几百埃—上千埃。OD 区是非晶硅熔化但未达到单晶硅熔点,形成过冷熔体迅速成核结晶而成。晶粒大小均匀,平均尺寸数微米,晶粒中存在较多缺陷。LP-LCR 区达到单晶硅熔点,是熔融硅的液相结晶区,晶粒平均长度数十微米,晶粒的结构也较完整。这几个结晶区晶粒尺寸不同,形成原因及结构也不同,但都是多晶区,包含晶界,有的区存在着相当数量的缺陷。为了器件制备的需要,应当对激光结晶 SOI 的离子注入和快速退火行为以及结构对其的影响进行研究,同时 SOI 结构提供了一种较理想的材料,用以对杂质沿晶界和缺陷的扩散进行观察和比较。为此,我们对晶粒较大的三个区 LP-LCR, OD, FCR-2 做了砷注入和快速退火。同时对样品做了剖面 TEM 分析,观察了晶界和缺陷,以此分析 SOI 结构中杂质扩散的特殊规律。

二、实 验

实验中用辉光放电法分解硅烷 (SiH₄), 在 1mm 厚的抛光石英片上淀积非晶硅膜,厚度 0.6μm, 激光结晶工艺参见文献[1]。然后进行 As⁺ 注入,能量为 80keV, 剂量是 5 ×

* 本工作由上海冶金所离子束开放实验室资助

$10^{15}/\text{cm}^3$, 随后做快速退火激活杂质。用扩展电阻法测量了电导率的剖面分布。同一批样品的另一部分做了剖面 TEM 观察。

三、结 果

1. 剖面 TEM 分析

图 1(a) 是 LP-LCR 区的剖面 TEM 照片^{*}。晶粒晶体结构完好, 缺陷较少。结晶层上下界面清晰。整个结晶区由长 40—60 μm , 宽 10—20 μm 的晶粒拼合而成。晶粒间界由表面直穿结晶层到达石英衬底。这些晶粒间界对杂质扩散将有很大影响。

图 1(b) 显示的是 OD 区的剖面电镜照片。OD 区晶粒较 LP-LCR 区小, 其晶粒间界所占的相对比例也更大, 也是贯穿结晶层。同时由于成核结晶速度很快, 因而晶粒完整性较差, 许多晶粒含有缺陷, 从剖面观察, 这种缺陷是按一定的晶向斜穿结晶层到达衬底。

图 1(c) 是 FCR-2 的剖面 TEM 照片。这个区由数百埃—数千埃的小晶粒堆积而成, 晶粒间界更多, 且不能直线贯穿结晶层, 而是蜿蜒曲折, 纵横交错。

2. 电导率测量

图 2 是用扩展电阻法测量的不同结晶区中电导率深度变化曲线。LP-LCR 区经过 1150 $^{\circ}\text{C}$, 5 秒的快速退火, 电导率分布出现台阶。随退火时间增加台阶向膜内推移。15 秒

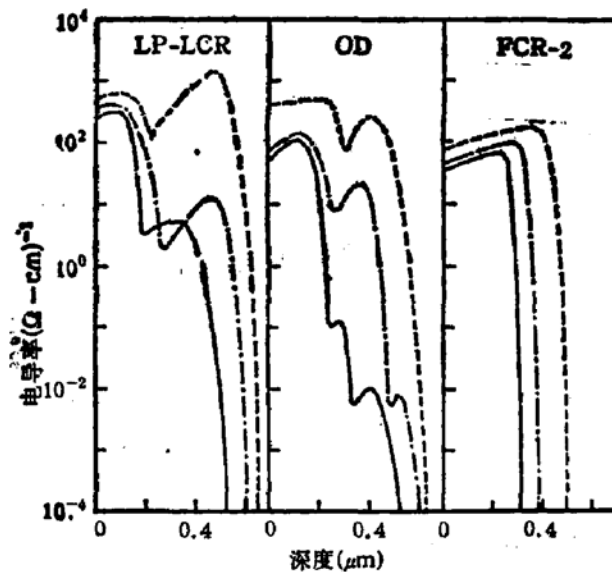


图 2 扩展电阻测量各结晶区不同退火时间的电导率深度变化曲线
—5S -.-.-15S ----35S

推到结晶层与衬底的下界面处。电导率随退火时间增加而增大说明杂质激活率也在增大。台阶处电导率增加得更快一些。35 秒后电导率迅速增大并形成峰。在 OD 区出现两个台阶, 第一个台阶退火行为类似 LP-LCR 区中的台阶。在膜的更深处出现了第二个台阶。随退火时间增加, 两个台阶都有不同程度的推移。第一个台阶电导率有较大增长, 而第二台阶则消失。FCR-2 区电导率曲线与前面两个区域的差别较大。电导率曲线中不

* 图 1 见图版 1

出现台阶,在膜的上半部电导率变化缓慢,而到达某个深度以后陡然下降。随退火时间增加虽有明显推移,但 35 秒仍达不到样品的下界面。同时电导率的数值也较前二区的对应值低。

四、讨 论

根据各结晶区的特点,我们提出了一个 SOI 结构的杂质扩散模型。用这个模型来分析本文所得的实验结果,反过来这些结果也验证了此模型。

离子注入在结晶层表面形成一个杂质注入层。退火时,注入层中杂质将向膜内推移。一方面杂质沿每个晶粒体内扩散,这种扩散与杂质在完整单晶中扩散一样,是一种慢扩散过程。另一方面杂质沿晶界(在 OD 区还沿缺陷)迅速向下扩散。沿晶界扩散下来的杂质以晶界为源向晶粒体内慢扩散。随退火时间增加,杂质沿晶界扩散到下界面,到达下界面的杂质又沿着下界面横向快扩散并在下界面积累,进而以下界面为源向晶粒内部反扩散。

根据这一模型,在结晶膜中有沿晶粒体内的慢扩散和沿晶界快扩散两种形式,后者的扩散系数比前者大两到三个数量级^[2,3,4]。扩展电阻测量表明,5 秒退火电导率分布出现台阶,但杂质尚未到达下界面。15 秒退火,由快扩散导致的台阶已达到下界面,并且杂质已开始界面面积累和反扩散,因此台阶逐渐转化为峰。退火 35 秒时下界面的峰值已增加很大。

OD 区扩展电阻测得的电导率中出现的第一台阶与 LP-LCR 区中情形相似,说明也存在沿晶界的快扩散过程。值得强调的是出现在下层的第二台阶。一个合理的解释是杂质沿缺陷扩散的结果。从图 1(b)中看到这种缺陷是斜穿整个膜层的,它们为杂质的快扩散提供了通道。但这一扩散对电导率贡献较小,当沿晶界的扩散到达下界面并开始积累和反扩散时,沿缺陷扩散将被淹没。第二台阶消失。

关于沿晶界的扩散和沿缺陷的扩散已分别有系统报道,但都只是相互独立地进行研究,结果也难以比较。在我们的实验中首次提供一个机会,对二者同时进行直接观察与比较。在这种特定的情况下,沿缺陷的扩散比沿晶界的扩散更快。

FCR-2 区晶粒很小,没有贯穿整个膜层的晶界和缺陷。沿晶界扩散的杂质很快扩穿了小晶粒,所以不形成台阶。晶界快扩散的贡献只是增大了有效扩散系数。从图 2 中 FCR-2 的杂质推移可以证明这一点。

以上从 SOI 样品的微观结构上分析了杂质砷在快速退火中的行为。杂质在膜中除沿晶粒体内扩散外,还沿晶界快速扩散。液相结晶区(LP-LCR, OD)和固相结晶区(FCR-2)结构上的差异使得测量结果出现明显差别。液相结晶区电导率出现台阶,砷沿晶界推进速度较快(15 秒可达到下界面)。OD 区中的缺陷使我们首次有机会在同一测量中看到杂质的三种扩散现象共存,即杂质沿完整晶粒体内扩散,沿晶界和缺陷扩散。而且砷沿缺陷的扩散速度比沿晶界的扩散速度快。而在 FCR-2 区,由于晶粒蜿蜒曲折,扩散速度比在单晶中快但不出现台阶。

本文的研究不但对了解 SOI 结构的扩散机制有意义,同时对 SOI 器件设计和制备提供了有用的信息。

华雪梅同志帮助制备了 TEM 样品,毛国民同志淀积了非晶硅,特此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 鲍希茂、黄信凡、邢昆山,物理学报,36,74(1987).
- [2] Lin Chenglu and Tsou Shihchang, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, B21, 527(1987).
- [3] H. Baumgart *et al.*, in: *Grain Boundaries in Semiconductors*, eds. H. J. Leamy, G. E. Pike and C. H. Seager, (North-Holland, 1982), p. 311.
- [4] W. K. Schubert, *J. Mater. Res.*, 1(2), Mar/Apr, (1986).

Ion-Implantation and RTA in Laser Crystallized α -Si:H SOI

Gu Qing and Bao Ximao

(*Departments of Physics, Nanjing University, Nanjing*)

Abstract

Ion-implantation and rapid thermal annealing (RTA) in laser crystallized α -Si:H SOI are studied. Four kinds of crystallization zone in SOI structure, LP-LCR, OD, FCR-2 and FCR-1 have been observed. Their structures are analyzed by cross-sectional TEM. Spreading resistance measurements show that there are two diffusion mechanisms in LP-LCR, diffusion in grains along grain boundaries. There is another diffusion mechanism in OD, diffusion along defects, besides the mechanisms mentioned above. We have compared for the first time the diffusion velocity along grain boundaries with that along defects directly.

KEY WORDS: SOI structure, Hydrogenated amorphous silicon, Grain boundaries, Diffusion mechanism, Rapid thermal annealing