

研究简报

氢化非晶硅液相激光结晶

鲍希茂 杨敏

(南京大学物理系)

1985 年 3 月 14 日收到

用低速扫描对 $a\text{-Si:H}$ 进行激光结晶,适当调整扫描速度、激光功率和光斑内能量分布,可以得到液相激光结晶 (LP-LCR),晶粒尺寸可达 $20\sim 30\text{ }\mu\text{m}$. 重叠扫描可获得大面积的大晶粒多晶硅膜,有可能为器件制备提供一种薄膜材料.

近年来,在半导体激光结晶技术中,氢化非晶硅 ($a\text{-Si:H}$) 的激光结晶受到了重视^[1,2]. 这是因为大面积的 $a\text{-Si:H}$ 薄膜经激光辐照变为大晶粒多晶硅,可以制备高效率的日光电池和大屏幕的显示器件,同时由于 $a\text{-Si:H}$ 含有氢,激光结晶后还能保持相当高的氢含量,对晶粒间界有明显的钝化作用^[2,3].

$a\text{-Si:H}$ 激光结晶过程与激光功率和光斑内能量分布、激光扫描速度以及衬底温度等许多因素有关. 如果固定衬底温度,用一定功率的高斯分布光斑扫描,随着激光扫描速度的变化,将出现多种结晶过程^[1]. 在激光扫描速度 $\leq 30\text{ cm/s}$ 的较低速度下,有两个类似高温炉结晶过程 (FCR——Furnace Crystallization),分别以 FCR-1 和 FCR-2 表示,在光斑中心还将出现光损伤区 (OD-Optical Damage). 在激光扫描速度 $> 30\text{ cm/s}$ 的高速扫描时,发生爆发结晶 (XCR——Explosive Crystallization). 其中又分固相爆发结晶 (SP-XCR) 和液相爆发结晶 (LP-XCR). 由 FCR-1 和 FCR-2 只能得到小晶粒多晶硅,在 OD 区虽然晶粒较大,但是这是一个表面粗糙的损伤区,这样的表面状态是不能用于制作器件的. 虽然在高速扫描时,调整激光功率和扫描速度可以由 LP-XCR 得到大晶粒的连续扫描线^[4],但是对条件的控制要求很严格.

我们研究了更低的扫描速度,发现在低速扫描时,只要适当调整激光功率和光斑内能量分布,粗糙的 OD 区可以消除,代之出现一个液相激光结晶区,这里以 LP-LCR (Liquid Phase Laser Crystallization) 表示. LP-LCR 区域晶粒大,表面平滑,利用重叠扫描,可以为器件提供有应用前途的大面积大晶粒多晶薄膜.

样品的衬底是经精细抛光的熔融石英. 用辉光放电法生长一层厚度为 $4500\text{ }\text{\AA}$ 的 $a\text{-Si:H}$ 膜,生长温度为 250°C . 使用的激光器是最高功率为 12 W 的氩离子激光器. 光斑直径是 $90\text{ }\mu\text{m}$. 实验中采用了微型马达驱动工作台和偏转激光反射镜两种扫描方法. 激光辐照时样品衬底加温到 $T_s = 200^\circ\text{C}$, 样品用氮气保护. 扫描后的样品用透射光显微镜 (TOM) 和透射电子显微镜 (TEM) 两种方法作了观察和分析.

在相当大的范围内,激光功率和速度是可以相互补充和调整的. 在固定的激光功率

下,改变扫描速度,可以单独得到 FCR-1,降低速度,可以同时得到 FCR-1 和 FCR-2,还可以同时得到 FCR-1,FCR-2 和 OD 三种结晶过程。如果固定扫描速度,改变激光功率,也可以重复上述控制过程。

图 1 是激光功率 $P = 5W$, 扫描速度 $V = 15cm/s$ 扫描后的 TOM 照片(见图版 I)。图中 FCR-1,FCR-2 和 OD 三个区域界线是清楚的。在 OD 区可以看到许多凹凸不平的损伤点。在这个激光功率下,将扫描速度降低到 $5cm/s$ 左右,OD 区的损伤点开始减少,在 TOM 下可以清楚地看到,背景出现了液相结晶的结构。图 2 是扫描速度为 $4cm/s$ 时的结晶情况(见图版 I),图中除了 FCR-1 和 FCR-2 外,明显地出现了一个液相激光结晶区(LP-LCR)。但是由于高斯分布的光斑中心能量密度过高,石英衬底已受到了破坏,把硅膜去掉之后,可以看到石英的损伤痕迹。从应用的角度看,应尽量扩大 LP-LCR 区,同时必须消除石英损伤区。为了扩大 LP-LCR 区,应进一步减慢扫描速度。如果光斑直径保持 $90\mu m$ 不变,把扫描速度从 $4cm/s$ 降为 $2cm/s$,激光在样品的一点上辐照持续时间将从 $1.5ms$ 增加到 $3ms$,热的特征扩散长度也相应增加^[9],光斑内温度分布将变得平坦一些。为了避免石英损伤,应当改变光斑内能量的分布。当激光工作于 TEM_{00} 模,强度分布为高斯分布 $I = I_0 \exp(-r^2/a^2)$, r 是到光斑中心的距离, a 是激光强度下降到 I_0/e 时的 r 值,一般将它定义为光斑半径。激光的总功率为

$$P = \int_0^{\infty} 2\pi I_0 e^{-r^2/a^2} r dr = I_0 \pi a^2$$

对于具有高斯分布的光斑,中心的强度最高,所以引起石英的衬底损伤。改变光斑内能量分布的方法,可以选择特殊的高次模,或者简单地采用离焦的办法也是有效的。如果使激光离焦,光斑半径增大, I_0 将减小,光斑内能量分布将变得平缓,从而避免了对石英衬底的损伤。离焦后,如果光斑内平均功率密度过低,可适当提高激光的总功率加以调整。图 3 为激光功率 $6.5W$ 扫描速度 $2cm/s$ 时离焦扫描结晶样品的 TOM 照片(见图版 I)。可以看出,在这个条件下,扫描后 OD 区完全消失,出现了一个很宽的大晶粒的 LP-LCR 区。由于晶粒内和晶粒间界的光学参数不同,所以在 TOM 下枝状的晶粒很清楚,晶粒尺寸可达数十微米长。用干涉显微镜观察,LP-LCR 区是相当平滑的。

为了对 LP-LCR 的结晶过程作进一步的了解,还作了 TEM 分析。图 4(a)(见图版 II) TEM 照片表示了 FCR-1 和 FCR-2 两个结晶区以及它们之间明显的界线。FCR-1 区晶粒细小,实际上这是一个小晶粒多晶和非晶的混合区^[1]。FCR-2 是一个结晶很均匀的多晶区,晶粒可达亚微米数量级。FCR-1 和 FCR-2 之间有一个鲜明的分界线,这是由于 FCR-2 区接受了 α -Si 向 β -Si 相变过程中放出的结晶潜热,使原来温度的连续分布产生了突变^[1]。图 4(b) 是 FCR-2 与 LP-LCR 区及其分界线(见图版 II),可以看到 LP-LCR 区的大晶粒。由于 FCR-2 是固相结晶,而 LP-LCR 是液相结晶,熔化的界线是很清楚的。LP-LCR 区的大晶粒正是以 FCR-2 的小晶粒为籽晶结晶而成的,这一点从图 3 看得更清楚。实际上在这种低速扫描情况下,激光光斑前沿首先发生 FCR-1 和 FCR-2 结晶过程,继而光斑中心区的高能量将其熔化,但光斑两侧通过固相结晶形成的 FCR-1 和 FCR-2 却保存了下来。光斑扫过之后温度随之下降,首先从两侧开始结晶,FCR-2 为 LP-LCR 提供了籽晶。这个结晶过程和高温炉的结晶过程是不同的,用高温炉是无法得到这样平坦的大

晶粒多晶膜的, 所以这里我们称其为液相激光结晶 LP-LCR, 而不称作高温炉结晶 FCR. 图 5 给出了 LP-LCR 的 TEM 照片(见图版 I). 由于 TEM 样品制备时大晶粒很容易破碎, 这里给出的只是几个长晶粒的一部分. 一般长度可达 $20 \sim 30 \mu\text{m}$, 图中插图给出了电子衍射图, 表示结晶是良好的. 此外我们用光斑重叠扫描, 获得了大面积的大晶粒多晶膜. 图 6 是重叠扫描后一部分多晶膜的. TOM 照片(见图版 II). 照片表明, 经重叠扫描后, FCR-1 和 FCR-2 全部消失, 只保留了连续的 LP-LCR 区.

总结上述结果可以看到, 用连续氩离子激光对石英衬底上 a-Si:H 进行激光结晶, 在低速激光扫描范围内, 适当调整扫描速度和光斑能量分布, 可以消除 OD 区而得到一个液相激光结晶区 LP-LCR, 其晶粒可达 $20 \sim 30 \mu\text{m}$ 长. 它不同于高温炉结晶. 重叠扫描后可以得到大面积的大晶粒多晶硅膜, 其表面比较平滑, 有可能为器件制备提供一种有用的薄膜材料.

实验得到了李齐副教授、刘智慧和马严殿同志的许多帮助, 特此致谢.

参 考 文 献

- [1] G. Auvert, D. Bensahel, A. Perio, F. Morin, G. A. Rozgonyi and V. T. Nguyen, *Laser and Electron-Beam Interactions with Solids*, p. 535, by B. R. Appleton and G. K. Celler, North Holland (1982).
- [2] I. D. Calder, K. L. Kavanagh, H. M. Naguib, C. Brassard, J. F. Currie, P. Depelsenaire and R. Groleau, *J. Electronic Materials*, 11, 303 (1982).
- [3] R. S. Sussman, A. J. Harris and R. Ogden, *J. Non-Cryst. Solids*, 35, 249 (1980).
- [4] D. Bensahel, G. Auvert, V. T. Nguyen and G. A. Rozgonyi, *Laser and Electron-Beam Interactions with Solids*, p. 541, by B. R. Appleton and G. K. Celler, North-Holland, (1982).
N. Bloembergen, *Laser-Solid Interactions and Laser processing*, 1978, p. 1, by S. D. Ferris, H. J. Leamy and J. M. Poate, American Institute of physics, New York, (1979).

Liquid Phase Laser Crystallization of Hydrogenated Amorphous Silicon

Bao Ximao and Yang Min

(Nanjing University)

Abstract

Hydrogenated amorphous silicon was crystallized with a CW Ar laser at low scan speeds. By properly controlling the scan speeds, laser power and energy profile in the laser spot, a liquid phase laser crystallization has been achieved. The grain size of crystallized polysilicon is about $20\text{--}30 \mu\text{m}$. Using overlap laser scanning, large area polysilicon film with large grain size can be obtained. It is possible to provide a crystallized film for device fabrication.