

绝缘衬底上硅膜的激光侧向外延

林惠旺 线佩信 马腾阁 李志坚

(清华大学 微电子学研究所)

1982年11月24日收到

提 要

对具有侧向籽晶的绝缘衬底上的多晶硅薄膜的连续氩离子激光再结晶进行了研究。实验结果显示出了明显的籽晶外延效果，外延的最大晶粒已达 $50\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ ，晶向与籽晶一致，均为 $\langle 100 \rangle$ 。无侧向籽晶的多晶硅膜激光再结晶后晶粒也能长大，但是晶粒的晶向是随机的。

一、引言

近年来绝缘衬底上多晶硅层(SOI)的激光再结晶研究在国外颇为活跃^[1-5]，其原因是希望达到较好的硅再结晶层，以便在其上制造出性能优良的有源器件^[6-9]，甚至形成三维集成电路^[10,11]。在一定功率和一定条件下，经激光扫描后 SOI 中的晶粒会显著增大，在其上制造的 MOSFET 已有较好的功能。我们的前一工作，即用连续氩离子激光再结晶的办法得到了大于 $30\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ 的 SOI 晶粒，并制造出了 n 沟 MOSFET，沟道宽长比为 5 时，跨导为 $420\mu\text{A}$ ，表面电子迁移率为 $246\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ ^[12]。

但是，在激光直接再结晶的 SOI 硅膜中各晶粒的晶向是随机的，晶粒大小也不易控制，因而生长重复性比较差。由于晶向杂乱，在其上制作器件时性能就不易控制，使得在实际中进一步利用这种硅膜遇到很多困难。最理想的是把 SOI 再结晶为与衬底同晶向的单晶薄膜。

我们采用侧向籽晶方式进行了 SOI 的激光再结晶，得到了明显的籽晶外延效果。实验结果已指明，只要进一步控制好再结晶的条件，在 SOI 上有可能外延出有一定尺度的、晶向与籽晶相同的孤岛式的单晶块。最近，G. K. Celler 等^[13]和 J. Sakurai 等^[14]利用改进的侧向籽晶外延技术也获得了大的单晶膜。

二、实验结果与讨论

有侧向籽晶多晶硅样品的结构示于图 1，每个 SOI 岛的面积为 $40\mu\text{m} \times 700\mu\text{m}$ ，它们被与其等平面的直接相邻的单晶硅区域(作为籽晶)所包围。原始硅片为 P 型 $\langle 100 \rangle$ -Si，电阻率为 $8\Omega \cdot \text{cm}$ 。实验用的连续氩离子激光器是由中国科学院电子学研究所研制的。激光束经焦距为 18cm 的石英透镜聚焦后，在样品上得到的扫描光斑直径约为 $100\mu\text{m}$ ，样品放在 X-Y 移动台上的石英杯内，用高纯氮气保护，并可以预热。

在激光功率为 12W、X 方向扫描速度为 4cm/s、Y 方向步距为 27 μm 、衬底温度为 710°C 的条件下,获得了长 50 μm 、宽 40 μm 的大晶粒。样品用 Secco 液^[15]腐蚀 10 秒显示晶粒间界,其 SEM 照片示于图 2。再结晶样品经喷射减薄后,对 SiO₂ 上硅层的不同位置进

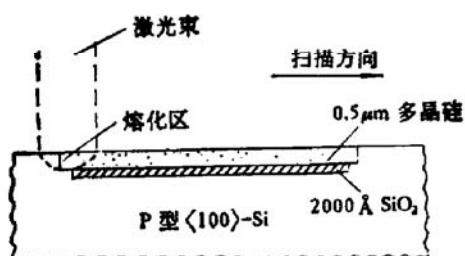


图 1 侧向籽晶多晶硅样品结构示意图

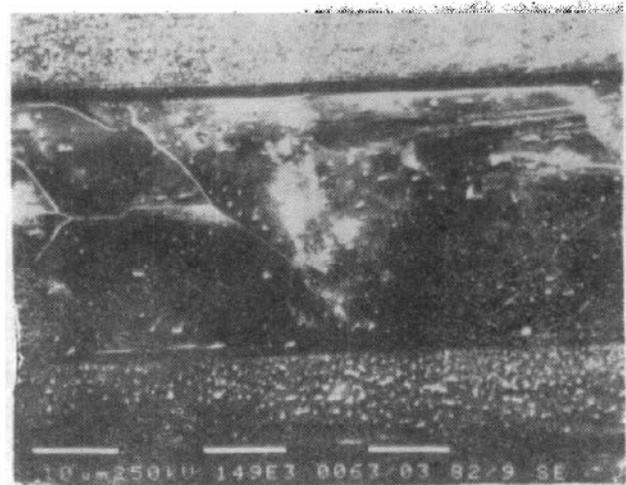


图 2 侧向籽晶 SOI 激光再结晶 SEM 照片(样品倾斜 35°)

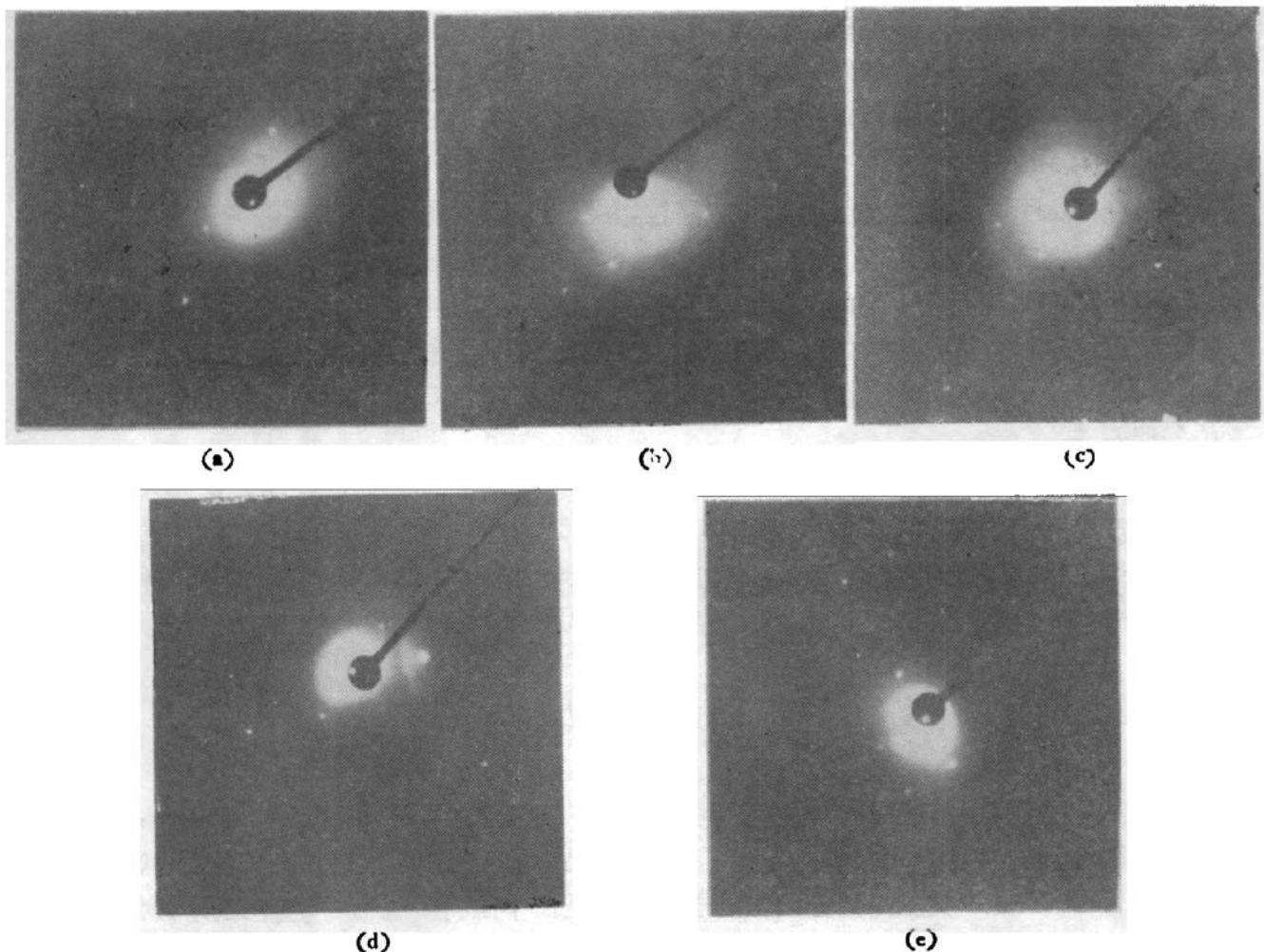


图 3 侧向籽晶 SOI 激光再结晶硅膜 TEM 电子衍射图 (a)、(b)、(c)、(d), 粒子衍射图 (e)

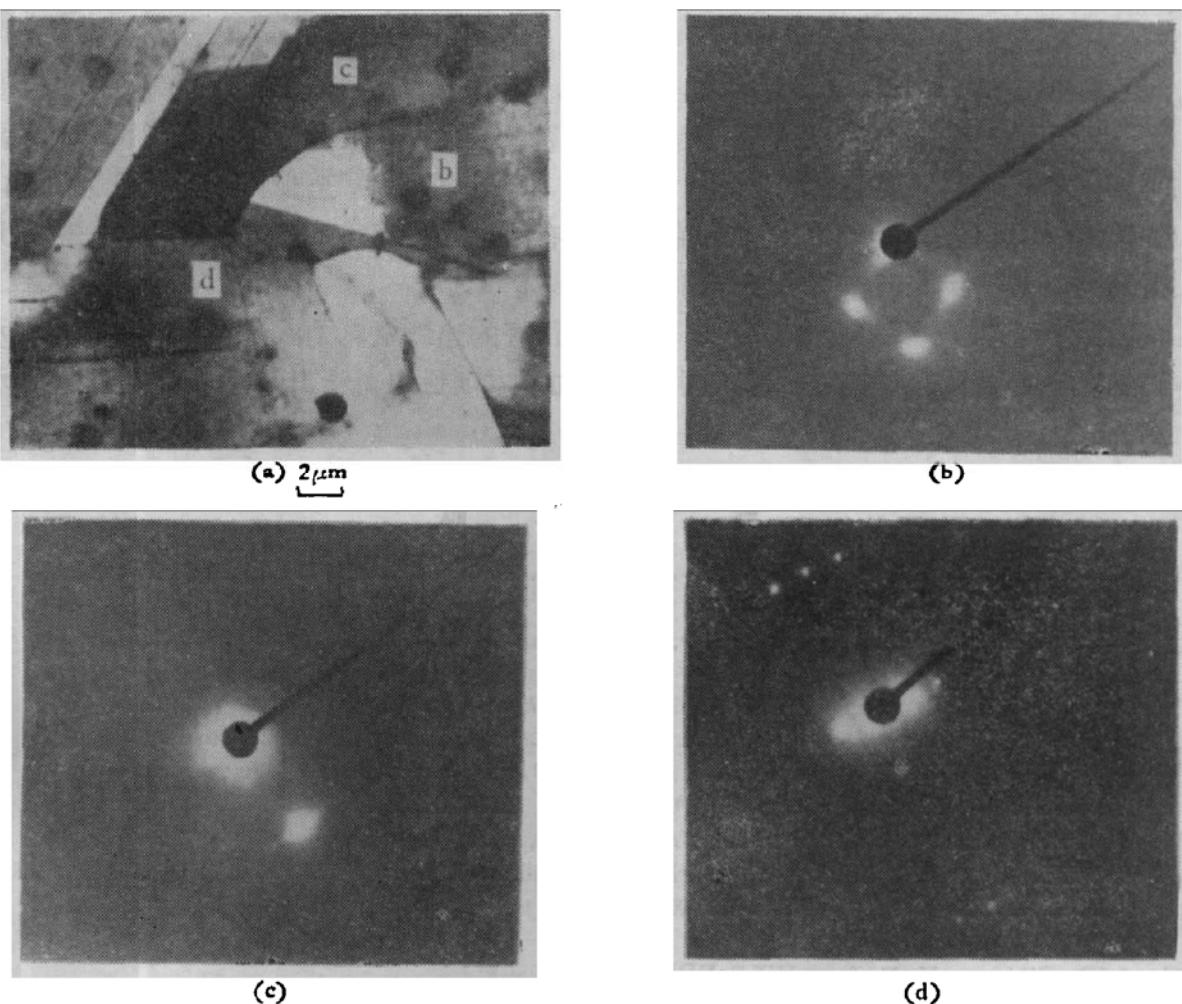


图4 无侧向籽晶多晶硅再结晶硅膜 TEM 透射照片和相邻三个晶粒对应的选区电子衍射图

行了 TEM 选区电子衍射, 其中四张衍射照片示于图 3(a)、(b)、(c)、(d), 而籽晶的电子衍射照片示于图 3(e), 可以看出, 它们都是 [001] 膜面衍射图。经多次实验, 说明以上结果是可重复的。由此可见, 这种方法确实达到了 SOI 上的籽晶侧向外延的明显效果。在这种再结晶硅膜上制出的 n 沟 MOSFET 跨导为 $600\mu\text{A}$ (沟道宽长比同样为 5), 算得表面电子迁移率达到 $483\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。比无侧向籽晶的再结晶硅膜 MOSFET 的性能^[12]有很大改进。

为了比较, 在激光功率为 10W、X 方向扫描速度为 $4\text{cm}/\text{s}$ 、Y 方向步距为 $35\mu\text{m}$ 、衬底温度为 805°C 条件下, 对无侧向籽晶多晶硅膜进行激光再结晶。此样品减薄后, TEM 选区电子衍射的结果表明, 相邻的三个晶粒对应着三个不同的晶向。图 4 中的照片 (b)、(c)、(d) 对应着 (a) 中的三个相邻的晶粒 b、c、d 的选区电子衍射图。计算表明它们的晶向分别是 $\langle 001 \rangle$ 、 $\langle 135 \rangle$ 、 $\langle 112 \rangle$ 。这些实验证实, 在无侧向籽晶情况下, 激光再结晶虽然也能使晶粒长大, 但晶向是随机的。

对于上述侧向外延的机理, 可作如下的初步考虑。由于高斯激光束是沿着 SiO_2 上多晶硅区域与周围籽晶区域交界线的平行方向扫描的 (见图 1), 因此熔化区也沿着这个方向移动。因为 SiO_2 热导率比单晶硅热导率小得多, 所以熔化的籽晶区域要比熔化的 SiO_2 上的多晶硅区域先凝固。从而, SiO_2 上的多晶硅就以直接相邻的籽晶熔化区作为晶种外

延生长,即获得籽晶的外延。

此外,由图2可见,许多大的晶粒实际上都是已经横跨整个SOI岛,即两边外延生长的单晶膜已严密相连;有的部位虽不是一个单晶,但也只是从两侧外延出来的两个大晶粒。这种迹象说明,只要控制好激光能量,扫描重迭率等条件,至少在实验所用的尺度内获得完整的单晶膜是有可能的。有趣的是,所有晶粒间界都与束扫描方向呈现一定的角度,显然这为进一步的工作指明了方向。

中国科学院电子所为我们提供了一台性能很好的连续氩离子激光器,作者在此表示衷心感谢,陈必贤同志和其它工艺组同志也参加了本项目的实验工作,作者对他们也表示谢意。

参 考 文 献

- [1] A. Gat, L. Gerzberg, J. F. Gibbons, T. J. Magee, J. Peng, and J. D. Hong, *Appl. Phys. Lett.*, **33**, 775 (1978).
- [2] J. F. Gibbons, K. F. Lee, T. J. Magee, J. Peng, and R. Ormond, *Appl. Phys. Lett.*, **34**, 831 (1979).
- [3] M. W. Geis, D. C. Flanders, H. I. Smith, *Appl. Phys. Lett.*, **35**, 71 (1979).
- [4] M. Tamura, H. Tamura, and T. Tokuyama, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **19**, L23 (1980).
- [5] H. W. Lam, R. F. Pinizzotto, A. F. Tasch, Jr., *J. Electrochem. Soc.*, **128**, 1981 (1981).
- [6] H. W. Lam, A. F. Tasch, Jr., and T. C. Holloway, *IEEE EDL-1*, 206 (1980).
- [7] T. I. Kamins, and P. A. Pianetta, *IEEE EDL-1*, 214 (1980).
- [8] H. W. Lam, Z. P. Sobczak, R. F. Pinizzotto, and A. F. Tasch, Jr., *IEEE ED-29*, 389 (1982).
- [9] M. Miyao, M. Ohkura, I. Takemoto, M. Tamura, and T. Tokuyama, *Appl. Phys. Lett.*, **41**, 59 (1982).
- [10] J. F. Gibbons, K. F. Lee, *IEEE EDL-1*, 117 (1980).
- [11] J. F. Gibbons, K. F. Lee, F. C. Wu, and G. E. Eggerment, *IEEE EDL-3*, 191 (1982).
- [12] 马腾阁、林惠旺、钱佩信、李志坚和伍溢流,《激光再结晶硅薄膜MOS器件》,全国第二届三束学术年会论文摘要集,1982.10.常州。
- [13] G. K. Celler, L. E. Trimble, K. K. Ng, H. J. Leamy, and H. Baumgart, *Appl. Phys. Lett.*, **40**, 1043 (1982).
- [14] J. Sakurai, S. Kawamura, M. Nakano, and M. Takagi, *Appl. Phys. Lett.*, **41**, 64 (1982).
- [15] F. S. Aragona, *J. Electrochem. Soc.*, **119**, 948 (1972).

Lateral Epitaxy of SOI under Laser Radiation

Lin Huiwang, Tsien Peihsin Ma Tengge and Li Zhijian

(Institute of Microelectronics, Tsinghua University)

Abstract

the CW-Ar⁺ laser recrystallization of polysilicon-on-oxide with lateral seed is investigated. The experimental results show substantial effects of laterally seeded epitaxy. The largest grains observed are about 50 μm × 40 μm. The recrystallized silicon layer has the same orientation with the seed, their orientations are all <100>. The increasing of grain size after laser recrystallization without lateral seed is also observed, but the crystal orientations are random.