

硅单晶中层错与氢的交互作用*

蒋柏林 职任涛 褚武扬

(北京科技大学, 北京 100083)

摘要 利用阴极充氢法, 向硅单晶表面注入氢离子, 用化学浸蚀法观察晶体表面氢与层错间的相互作用. 层错, 特别是 Frank 半位错在硅单晶表面的露头处是原子氢的择优聚集区, 原子氢化合成分子氢后能诱发大的晶格畸变. 利用化学浸蚀法, 观察到了氢与层错的相互作用.

关键词 硅单晶, 氢, 层错, 晶格畸变

层错是直拉硅单晶在热处理过程中产生的一种主要晶体缺陷. 早在 70 年代, 对于它的性质和形成机理, 就做过广泛的研究^[1-3]. 这类层错属于插入型, 错排面是{111}晶面, 其边界是 Frank 半位错^[1]. Dishman 等人^[4]研究过电子器件的电性能与层错间的关系, 发现被杂质原子缀饰的层错具有电活性, 它能使电子器件的漏电流明显增大. 硅单晶缺陷(包括层错)与杂质原子间的相互作用, 是材料工作者广泛感兴趣的课题之一.

本文利用阴极充气法, 向硅单晶表面注入氢离子, 用化学浸蚀法研究氢与层错间的相互作用.

1 实验方法

实验所用晶体, 是用直拉法生长的 P 型硅单晶, 晶体沿〈100〉方向生长. 电阻率约 $10\Omega \cdot \text{cm}$, 氧和碳含量分别是 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 和 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$. 试样沿垂直生长方向切割, 厚度约 0.5 mm. 试样在充氢前, 在氧气氛中, 经 1150°C , 10 h 热处理. 经上述处理后, 晶体内存生成大量的层错, 层错尺寸约 5—20 μm . 晶体用化学腐蚀法去除一定厚度的表面层, 使得晶体内的层错能相交于晶体表面. 腐蚀后的试样厚度约 0.35mm. 用阴极充氢法, 在室温下向晶体表面注入氢离子, 电解液是 1 mol/L HCl+As₂O₃ 10 mg/L 的水溶液. 充氢后, 试样用浸蚀液^[5]显示层错, 并用光学显微镜观察氢与层错间的相互作用.

2 实验结果和讨论

图 1 是试样充氢前, 层错在 (100) 表面的腐蚀形态, 由于层错面是{111}型晶面, 因此层错与 (100) 表面的交线应是〈110〉晶向. 图 2 是试样经 5 h 充氢后层错的腐蚀形态,

* 收到初稿日期: 1996-08-02, 收到修改稿日期: 1996-10-31

本文通讯联系人: 褚武扬, 教授, 北京(100083)北京科技大学材料物理系

除了沿 (110) 方向的层错腐蚀线外, 还可在层错附近观察到呈弧形分布的点状蚀斑. 图 3 是晶体经 60 h 充氢后层错的腐蚀形态, 图 4 是图 3 中一些层错腐蚀形态的放大照片. 由图 3 和图 4 可以看出, 除了层错的腐蚀线外, 在层错附近, 特别是在层错线的两端, 即 Frank 半位错在晶体表面的露头, 都可观察到大的腐蚀坑. 用 X 射线衍射形貌技术^[6]可以显示试样表面的划痕, 以及划痕所产生的晶格畸变与氢的相互作用. 图 5 是含有划痕的硅单晶片, 经 10 h 充氢后的 X 射线透射形貌照片. 图中的黑色衬度显示了划痕以及氢在划痕处聚集所产生的晶格畸变. 图 5 表明, 氢能缀饰处在晶体表面的缺陷, 因此图 4 中所观察到的大蚀坑应归因于氢在层错及 Frank 半位错处聚集所诱导的晶格畸变.

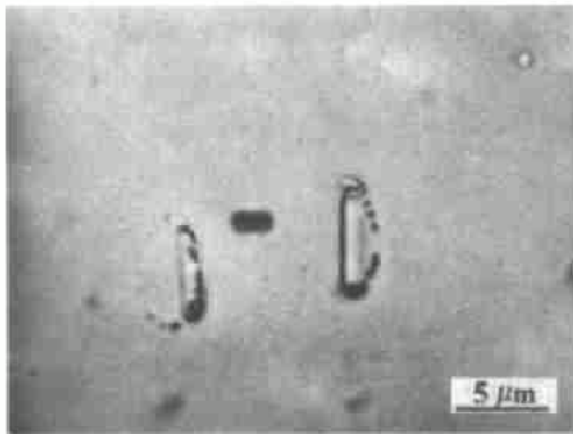


图 2 晶体经 5 h 充氢后, 层错在 (100) 表面的腐蚀形态

Fig.2 The etching pattern of stacking fault and the distorted zone induced by hydrogen in the sample precharged with hydrogen for 5 h, showing the arc-like distribution of etching pits induced by hydrogen accumulation

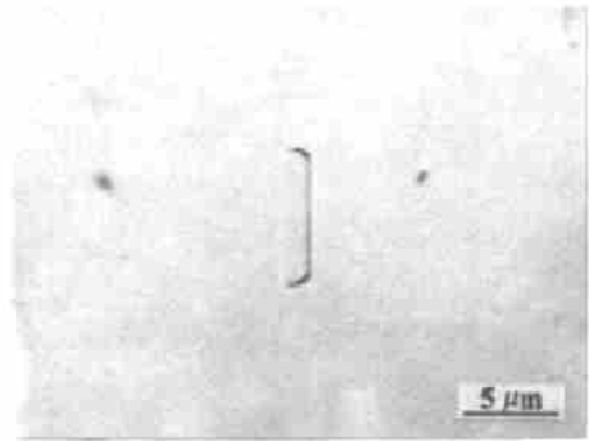


图 1 未充氢晶体中, 层错在 (100) 表面的腐蚀形态

Fig.1 The etching pattern of stacking fault on the (100) surface in the uncharged silicon single crystal

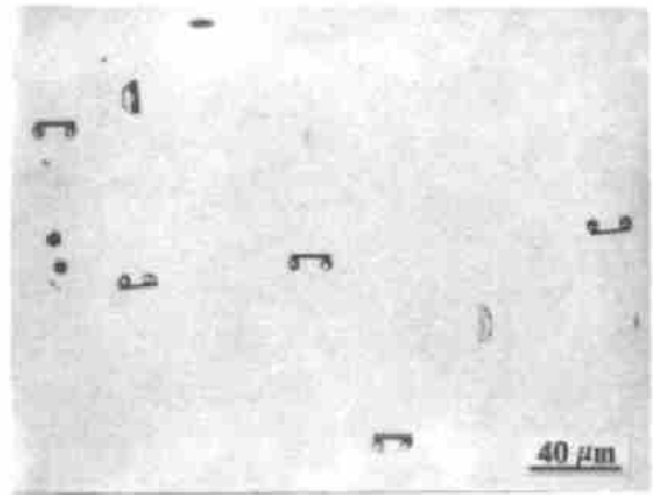


图 3 晶体经 60 h 充氢后, 在层错线两端都可观察到大的蚀坑

Fig.3 The etching patterns after charging with hydrogen for 60 h, showing big circular etching pits near the outcrops of Frank dislocation

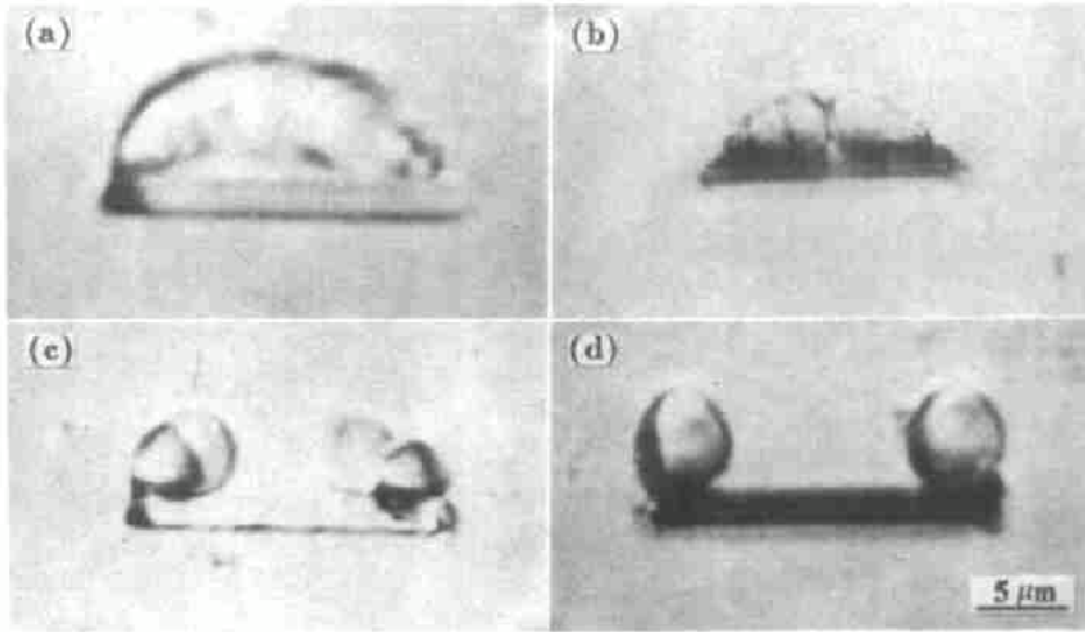


图 4 图 3 中某些层错腐蚀形态的放大照片

Fig.4 The magnification pictures of four typical etching patterns in Fig.3.

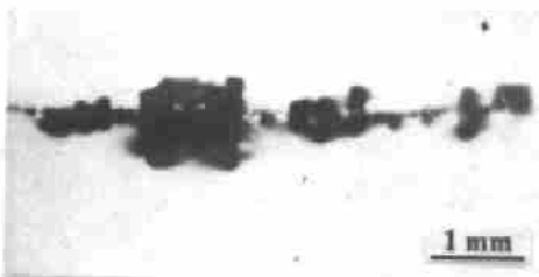


图 5 含有表面划痕晶体, 经 10 h 充氢后衍射矢量为 \bar{r}_{220} 的 X 射线透射形貌相

Fig.5 X-ray topography of \bar{r}_{220} for the sample with surface scratch precharged for 10 h

层错和 Frank 半位错都是氢的陷阱, 在阴极充氢过程中, 试样表面的氢原子择优地聚集在层错和 Frank 半位错在表面的露头处, 并且原子氢化合成分子氢, 分子氢压随着充氢时间增长而增大, 因此氢压所诱导的晶格畸变区也将随着充氢时间增长而增大. 在图 2 和图 4 中, 试样充氢时间不同, 观察到氢聚集所诱导的腐蚀坑大小也不同. 和层错相比, Frank 半位错是氢聚集较强的陷阱, 因此原子氢以及化合的分子氢能择优地聚集在 Frank 半位错在表面的露头, 导致层错线两端形成大的晶格畸变区. 在图 3 中, 多数层错线的两端都可观察到大的蚀坑. 为了降低表面能, 分子氢所诱导的畸变区应呈球形或圆形 (见图 4d).

3 结 论

层错, 特别是 Frank 半位错在硅单晶表面的露头处, 是原子氢的择优聚集区, 原子氢化合成分子氢后能诱导出大的晶格畸变, 经化学漫蚀后呈现大的蚀坑.

参考文献

- 1 Mahajan S, Rozgonyi G A, Brasen D. *Appl phys lett*, 1977; 30(2): 73
- 2 Patal J R. *J Appl Phys*, 1977; 48: 5279
- 3 Maber D M. *J Appl Phys*, 1976; 47: 3813
- 4 Dishman J M, Haszko S E, Marcus R B, Murarka S P, Sheng T T. *J Appl Phys*, 1979; 50: 2689
- 5 Jenkins M W. *J Electrochem Soc*, 1977; 124: 757
- 6 Lang A R. *J Appl Phys*, 1958; 29: 597

THE INTERACTION BETWEEN STACKING FAULT AND HYDROGEN IN SINGLE CRYSTAL SILICON

JIANG Bailin, ZHI Rentao, CHU Wuyang (*University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083*)

(Manuscript received 1996-08-02, in revised form 1996-10-31)

ABSTRACT Hydrogen on the surface of single crystal silicon has been introduced by cathodic charging. The interaction between stacking fault and hydrogen on the surface of the sample has been researched by means of chemical etching. Atomic hydrogen will segregate at outcrops of the stacking fault and particularly Frank dislocation on the surface of single crystal silicon and compound into molecule hydrogen at the outcrops. The distortion zone induced by hydrogen pressure, which can be detected as etching pit after etching, is preferably located at the outcrops of Frank dislocation.

KEY WORDS single crystal silicon, hydrogen, stacking fault, lattice distortion

Correspondent: CHU Wuyang, professor, Department of Materials Physics, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083