

硅外延层解理面缺陷腐蚀坑的观察及初步分析

蔡 田 海

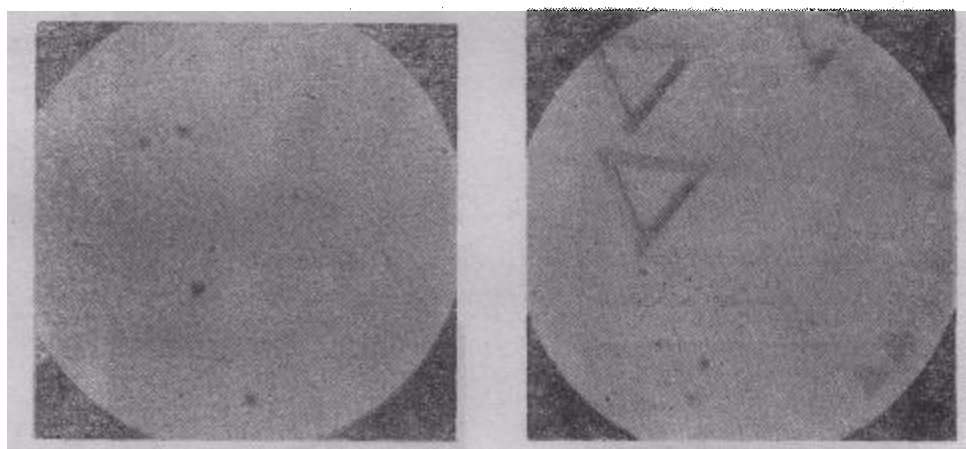
(中国科学院半导体研究所)

提 要

本文叙述用 Wright 腐蚀剂^[1]对 $\langle 111 \rangle$ 取向的硅外延片解理面进行择优腐蚀的观察结果。腐蚀后,硅外延片剖面上显示出层错、位错、S(Saucer)坑以及其它蚀坑。并观察到一些隐埋在外延层内的层错结构。

一、引 言

对于外延层中的晶体缺陷,如层错、位错、S坑等,通常由对外延层表面择优腐蚀通过光学显微镜观察,如图1所示。这种局限于表面的观察,自然不能反映外延层内这些缺陷



(a) 位错坑及 S 坑(放大 $\sim \times 500$)

(b) 层错坑及 S 坑(放大 $\sim \times 500$)

图1 取向为 $\langle 111 \rangle$ 的硅外延层表面经 Wright 腐蚀剂择优腐蚀后显示的位错坑、层错坑及 S 坑显微照片 (a) 外延层厚为 76 微米的 n/n^+ 外延片, Wright 腐蚀剂室温下腐蚀 15 分钟; (b) 外延层厚为 76 微米的 n/n^+ 外延片, Wright 腐蚀剂室温下腐蚀 15 分钟

的全貌。作为一个补充,硅外延片的解理面的缺陷腐蚀图样的观察,可以对硅外延层中晶体不完整性作更多的了解。此外,新剖开的硅外延层解理面十分清洁,可以给观察带来一个良好的本底条件。

二、硅外延片解理面缺陷腐蚀坑的观察结果和讨论

在实验中观察的样品是 $\langle 111 \rangle$ 晶向的硅外延片,外延层厚度在10—80微米之间,是在1150—1200°C下用四氯化硅氢还原法制备的.衬底单晶材料用的是重掺锑无位错 c - s 单晶,并经铬离子化学机械抛光再经适当表面清洗处理的.

作为金刚石结构的硅晶体, $\{111\}$ 面经常总是滑移面.而滑移沿着原子最密的方向是能量最低的.所以 $\langle 110 \rangle$ 晶向是滑移方向.对于如图1(b)所示的闭合三角形状外延堆垛层错,通常沿与衬底界面成 $70^\circ 53'$ 交角的三个 $\{111\}$ 面与外延层表面相交形成倒层错四面体.此四面体的一个顶点在外延层-衬底界面上或在外延层中,其余三个顶点则在外延层表面上.沿着与外延层表面相交的三个 $\{111\}$ 面中任何一个平面解理,如果此解理面横截一个层错四面体,如图2所示,

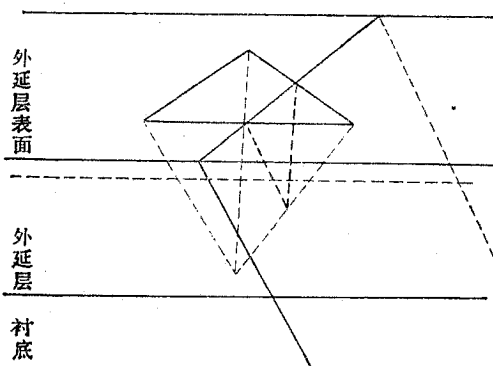


图2 一个解理面横截通过外延生长层错四面体而出现“V”形图样的示意图

的三个 $\{111\}$ 面中任何一个平面解理,如果此解理面横截一个层错四面体,如图2所示,

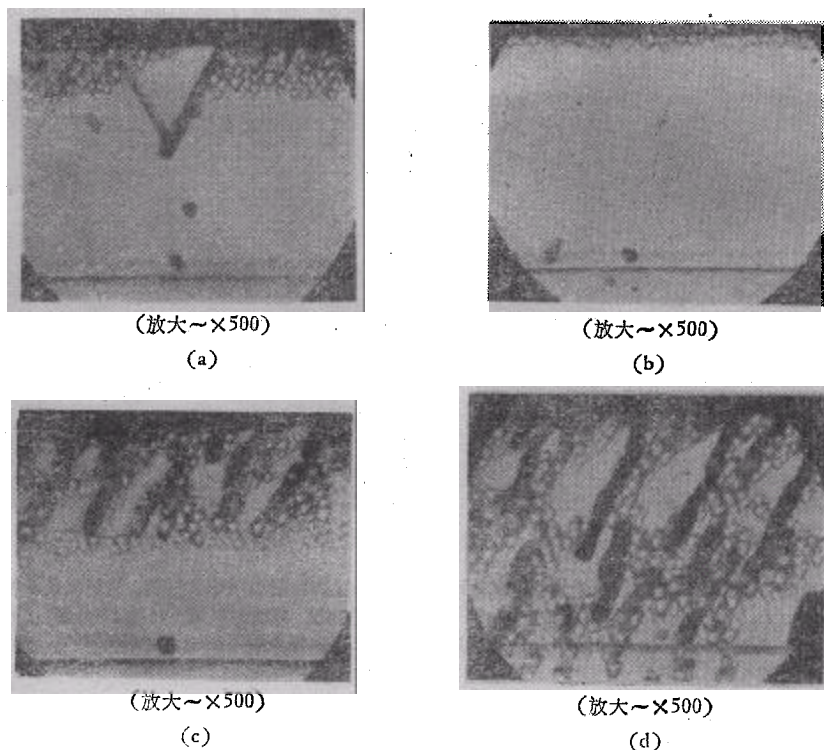


图3 外延层厚度为76微米的 n/n^+ 硅外延片一组解理面腐蚀坑照片
Wright 腐蚀剂室温下腐蚀22分钟

则经适当择优腐蚀后,在解理面上将显示“V”形腐蚀图样。

将一外延层厚度为 76 微米的 n/n^+ 外延片沿 {111} 面解理并用 Wright 腐蚀剂处理后的一组照片示于图 3。硅外延层中存在有点缺陷,所谓雾渍缺陷即是一种^[2],国外文献报道的碟形坑^[3] (S-Pit) 点缺陷,两者之间大约是类似的。这种缺陷已表明与金属沾污有关^[3]。S 坑被发现不仅限于外延层表面,而且在外延层中和衬底中均有,但总的说来,趋于表面作密集分布,如图 3 (a) 至 (d) 所示。在解理面上还观察到层错,位错等腐蚀坑,如由图 3 (a), (b) 所示,黑色的位错坑及靠近外延层表面处的“V”形层错图样。通常在外延层衬底界面附近,位错腐蚀坑较多。

在观察中,我们还看到若干隐埋在外延层内的层错结构,由图 4 所示。图 4 (b) 中照

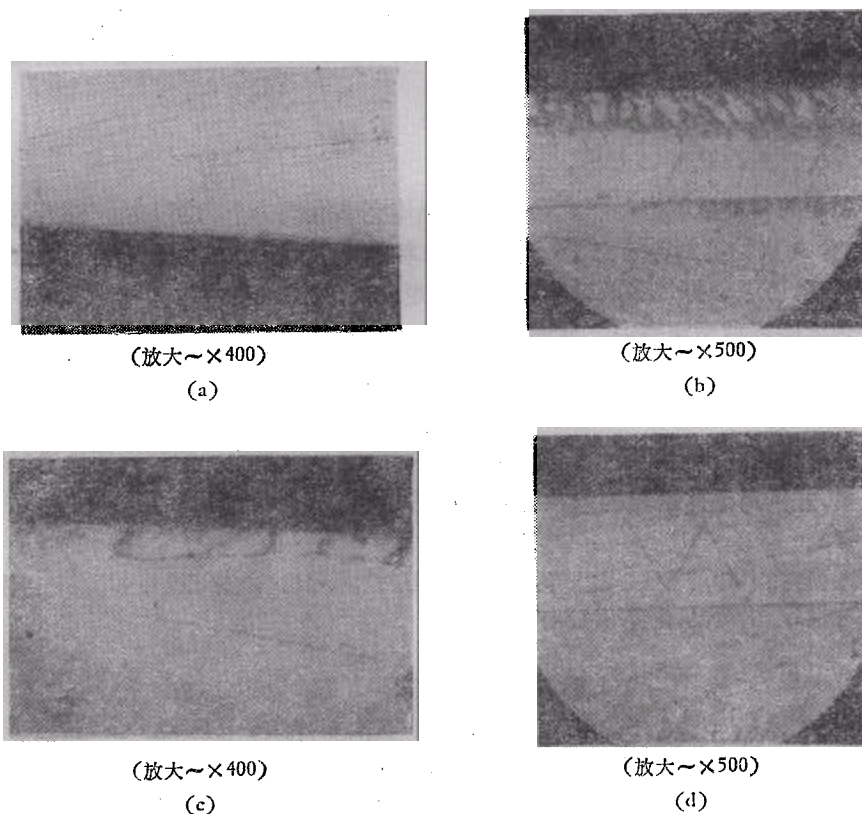


图 4 外延层厚度为 35 微米的 n/n^+ 外延片由 Wright 腐蚀剂腐蚀 75 秒钟后在解理后剖面上显示出的隐埋层错结构的腐蚀图样显微照片

片上显示一个杆状层错腐蚀图样。杆两端有较深的坑,显示出不全位错腐蚀较快,相比之下,四面体层错的角端的不全位错腐蚀坑就腐蚀不明显。另据文献报道^[4],由本征-非本征层错对组成的单线外延层错,两端也常不具有明显的腐蚀坑。而外延杆状本征型层错则多呈明显的端点腐蚀坑。这种上述隐埋在外延层内部的杆状腐蚀图样的层错,是 Heidenreich-Schockley 型位错呢还是 Frank 不全位错所围的层错呢? 现在是不清楚的。按照 Kuhlman-Wilsdorf 的机制^[5],当生长后快速冷却,浓度很高的空位就将过饱和而可能凝聚成片状的位错环。据报道^[6] Petroff 等人在用透射电子显微镜对外延层作研究时,也观察

到在外延层-衬底界面附近有尺度为 150 埃大小的隐埋层错,认为这些层错之所以未随生长延伸至外延层表面,是由于受到局部点缺陷的过饱和的限制。

图 4(d) 中的“W”的层错结构,是由两个层错相互作用而成的复杂结构。中间连接部分是 Lomer-Cottrell 位错。由于两个层错堆垛次序正好使在连接后的晶格堆垛次序变成正确,所以不再随晶体外延生长而继续发展。而此复杂的层错结构的两边应发展至外延层表面,但现在不是这样。一个可能是由于外延生长终止后降温时退火所致。按文献报道^[7],在温度高于 600°C 时,外延层错中一部分可由退火处理而消除,并且这种消失过程是由外延层表面开始的,自上而下直至成核处。

图 4(a), (c) 是同一外延片在解理后的两个对应的剖面。由图可看出,经 Wright 腐蚀剂腐蚀后,出现的腐蚀图样是对应的。从图中照片上可看到三个隐埋的杆状层错。它们的尺度在 2 至 7 微米之间。这些隐埋层错很可能是由于点缺陷的过饱和而产生的。

三、结 论

硅解理面的腐蚀坑观察是研究硅外延层晶体完整性的一个简便方法。裂开的新鲜晶面十分清洁,为腐蚀坑图样给出了一个良好的本底条件。通过表面及结合解理面缺陷腐蚀图样的观察,可以较好地了解缺陷在体内的走向或分布。

在硅外延层解理面观察中,发现有一些隐埋在外延层内的杆状层错。这种类似于 Frank 型缺陷的层错结构的形成机理尚不清楚。另一些隐埋层错结构估计由外延生长后退火处理造成的。

仅靠由对腐蚀法产生的腐蚀坑的观察来研究缺陷是不够的,还要应用像透射电子显微镜等工具,才能对晶体缺陷的本性有较完整的认识。

林兰英教授在工作中给予关心和指导,王守武教授对隐埋层错结构提出指导性的意见,韩文藩同志协助制备了硅外延片样品,作者一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Margaret Wright Jenkins, *J. Electrochem. Soc.*, **124**(5) (1977), 757.
- [2] 哈尔滨工业大学半导体器件专业、上海元件五厂, 哈尔滨工业大学学报, 第一期 (1975), 107.
- [3] C. W. Pearce and R. G. Mcmahon, *J. Vac. Sci. and Tech.*, **14**(1) (1977), 40.
- [4] G. R. Booker and R. Sticker, *J. Appl. Phys.*, **33**(11) (1962), 3281.
- [5] Kuhlman-Wilsdorf, *Phil. Mag.*, **3**(1958), 125.
- [6] P. M. Petroff, L. L. Katz and A. Savagl, *Semiconductor Silicon 1977*, (Howard R. Huff, Erhard Sirtl, eds), Electrochemical Soc., p. 761.
- [7] Takaya Suzuki, Mitsuru Ura, Takuzo Ogawa, *Japan. J. Appl. Phys.*, **11**(5) (1972), 666.

DEFECTS ETCHING PITS OBSERVATIONS AND ANALYSES ON EPITAXIAL SILICON CLEAVAGE SURFACE

CAI TIAN-HAI

(Institute of Semi-conductors, Academia Sinica)

ABSTRACT

In this paper results of observation using the Wright etchant on epitaxial silicon (111) cleavage surface are described. On silicon cleavage surface the etchant reveals stacking faults, dislocations, S-pits and other etch pits. Some of the buried stacking faults are also observed.