

SOS 外延膜的光吸收研究

章熙康 顾隆道

(中国科学院上海冶金研究所)

1981年7月29日收到

SOS(蓝宝石上外延硅)膜是异质外延,由于点阵失配、外延后冷却时产生的热应力及自掺杂效应,外延膜的结晶质量及半导体性能对于衬底制备及外延工艺参数非常敏感。Druminski 等^[1,2]根据 SOS 膜的光谱反射吸收测量,提出用一光吸收因子 F_A 来表征硅膜的结晶质量。 F_A 定义为

$$F_A = (\alpha_{22} - \alpha_{16}) \cdot \alpha_{17} \text{ (厘米}^{-2}\text{)}$$

式中 α 是在给定波数上的吸收系数,脚标 22, 17, 16 分别表示相应的波数为 22000, 17000 和 16000 厘米⁻¹。结果表明^[3], F_A 和外延温度有关,它有一个最低值,对应于最佳结晶质量的外延温度。当温度高于或低于该最佳温度时, F_A 增大。本文在实验确认 F_A 随外延温度变化的基础上,进一步阐明在外延温度不同时,SOS 膜结晶质量的差异及 F_A 升高的原因。

实验用衬底是经二氧化硅胶体抛光的国产蓝宝石直拉单晶片,取向为 [1102] ± 2°。用硅烷热分解方法在卧式水冷管中进行外延沉积,载气为氢,感应加热用石墨基座上包以碳化硅,并在每次外延前包覆多晶硅。外延生长速率为 2 微米/分,膜厚 0.8—0.9 微米。外延温度用光学高温计测量,文内所列温度均为未经修正的表温。光谱反射吸收测量在岛津 MPS 5000 型分光光度计上进行,波长范围为 0.3—2.5 微米,膜厚用红外干涉法测定。同时,片子用 Nomarski 干涉相衬显微镜及电子衍射方法检验结晶质量。

图 1 是光吸收因子 F_A 和外延温度的关系,这与 Druminski^[3] 的结果非常相似。当外延温度为 940°C 时, F_A 值最低,平均为 120×10^6 厘米⁻²。在高温区和低温区, F_A 都增大,而在低温区增大得更快。图 2 是在三个典型温度(915, 940, 1010°C)外延的 SOS 膜的吸收系数的波谱关系。

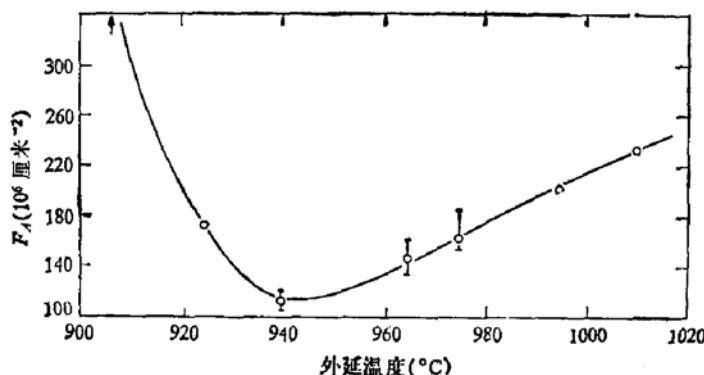


图 1 光吸收因子 F_A 和外延温度的关系

由 F_A 的定义可知, 吸收峰的斜率 ($\alpha_{22}-\alpha_{16}$) 或波数为 17000 厘米 $^{-1}$ 的吸收系数 α_{17} 的增大都会使 F_A 增大, 但两者却反映着不同的吸收增强机制, 由此可以判别结晶质量的差异。表 1 列出了三种样品的 ($\alpha_{22}-\alpha_{16}$), α_{17} 及 F_A 值。从表 1 及图 2 可以看出, 在低温区, F_A 的增大主要是由于 ($\alpha_{22}-\alpha_{16}$) 的增大, 而在高温区则主要是由于 α_{17} 的增大。可见在低温区存在着一个对波长敏感的光吸收增强因素。在低温区 (915°C) 生长的 SOS 膜的干涉相衬照片 (图 3a) 及电子衍射花样 (图 4) 表明硅膜内包含有多晶硅。因为晶界的存在使硅的折射率提高^[4], 且提高的量与光子能量有关^[2], 因此, $\alpha-h\nu$ 曲线 (图 2) 的斜率增大, 致使 F_A 升高。在图 2 上, 915°C 外延的 SOS 膜在 2.1 电子伏特附近吸收峰的宽化也说明晶界的存在。

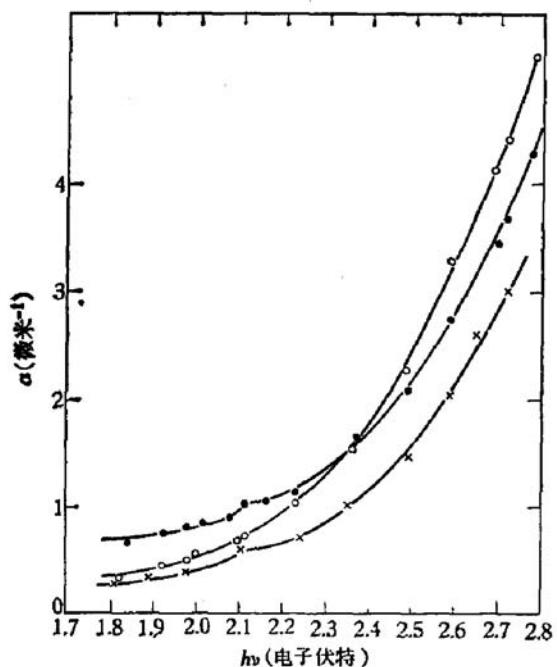


图 2 吸收系数的波谱关系
○—915°C, ×—940°C, ●—1010°C

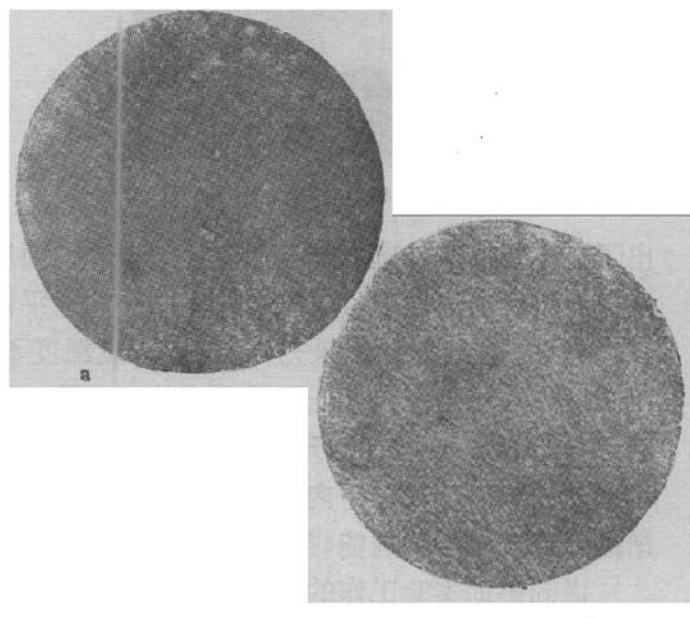


图 3 SOS 膜的干涉相衬照片
外延温度: a. 915°C, b. 1010°C

表 1

样品号	外延温度(°C)	$\alpha_{22}-\alpha_{16}$ (微米 $^{-1}$)	α_{17} (微米 $^{-1}$)	F_A (10 6 厘米 $^{-2}$)
1	915	3.866	0.762	295
2	940	2.701	0.523	140
3	1010	2.801	1.004	289

在 940°C 以上外延的 SOS 膜均为单晶, 但 F_A 随外延温度的升高而增大。这是因为, 在温度升高时, 硅烷气相分解加剧^[5], 气相分解产物的尺寸增大^[6], 因而在干涉相衬照片上可观察到不平整的颗粒状表面 (图 3b)。同时, 随着温度的升高, 在衬底表面被完全覆盖前, 蓝宝石表面受硅浸蚀的程度加剧, 这造成硅膜上下表面的粗糙。此外, 自掺杂界面层的厚度也随着外延温度的升高而增大, 该界面层的折射率与硅的折射率不同。所有这些因素使得硅膜上下内表面之间的多次漫反射增强, 它对于光子能量是不敏感的。图 5 示

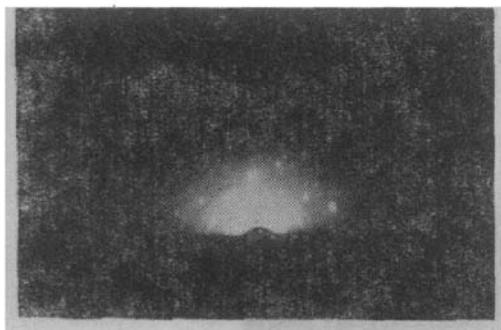


图 4 915℃ 外延的 SOS 膜的电子衍射花样

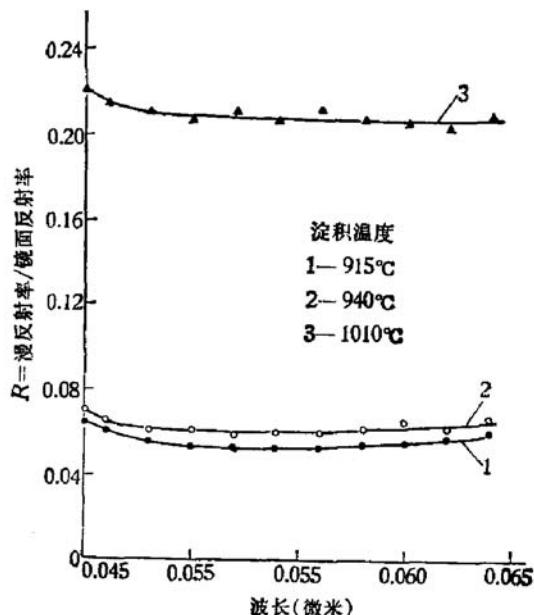


图 5 SOS 膜的漫反射

出了在不同温度外延的样品的漫反射率与镜面反射率之比和波长的关系，可以看出高温区样品漫反射的增强，这导致 $\alpha - h\nu$ 曲线上移， α_{17} 增大， F_A 升高。

总之，上述实验结果充分说明，外延温度不同时，SOS 膜光吸收因子 F_A 的升高具有不同性质的原因。对于低温区外延的 SOS 膜， F_A 的升高是由于有多晶硅存在；对于高温区外延的 SOS 膜， F_A 的升高是由于硅烷的气相分解、蓝宝石表面的浸蚀及自掺杂界面层增厚而引起的硅膜上下内表面之间多次漫反射的增强。在确定 SOS 的外延工艺，研究其结晶质量及半导体性能时应该注意到上述特征。

谨向协助实验工作的孙克怡、徐正芳及北京工业学院娄玲芳同志致谢。

参 考 文 献

- [1] M. Druminski and C. Kühl, *Siemens Forsch.-Entwickl.-Berg.*, 5, 139 (1976).
- [2] C. Kühl, M. Druminski and F. Schwidelsky, *J. Electrochem. Soc.*, 121, 1496 (1974).
- [3] M. Druminski, *J. Electrochem. Soc.*, 127, 959 (1980).
- [4] R. Hezel and F. Schwidelsky, *Siemens Forsch.-Entwickl.-Berg.*, 1, 297 (1972).
- [5] F. C. Eversteyn, *Philips Res. Rept.*, 26, 134 (1971).
- [6] T. U. M. S. Murthy, N. Miyamoto, M. Shimbo and J. Nishizawa, *J. Cryst. Growth*, 33, 1 (1976).

Investigation of SOS Films by Optical Absorption Measurements

Zhang Xikang and Gu Longdao

(Institute of Metallurgy, Academia Sinica)