第7卷 第1期
1986年1月

半 导 体 学 报
CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS

Vol. 7, No. 1
Jan., 1986

研究快报

中子辐照氢气生长区熔硅中一个新的三斜对称缺陷

吴 恩 吴书祥 毛晋昌 秦国刚
(北京大学物理系)

1985年7月16日收到

用电子顺磁共振在中子辐照氢气氛下生长的区熔硅中观察到一个新的三斜对称缺陷，确定了该缺陷的 g 张量主值和各主轴在晶轴坐标系中的方向余弦. 据此对旋转花样图进行了理论计算,与实验结果符合很好.

一、引 言

对于中子辐照氢气氛生长区熔硅中的缺陷,已有一些研究工作[1-4]，所用主要实验手段是深能级瞬态谱及红外吸收，但迄今为止还没有看到用电子顺磁共振（EPR）对这些缺陷进行研究的报道. 另外,国外用 EPR 研究过质子注入硅材料，但并未发现质子注入所特有的 EPR 谱[5,6].我们用 EPR 研究了中子辐照含氢区熔硅中的缺陷,观察到一个新的三斜对称缺陷,按国际惯例,标为 Si-PK1.

二、实 验 方 法

实验中所用样品是N型氢气氛生长区熔硅单晶,电阻率约为 40Ω·cm. 用X射线衍射仪确定晶向之后,切割成 $2.5 \times 3.0 \times 15(\mathrm{mm})^3$ 的长方条,上下端面为{110}晶面,两侧面分别为{111}和{112}晶面.

将样品分为甲乙两组. 甲组在中子辐照之前经过 650℃ 半小时的热处理，乙组样品不做处理. 然后两组样品在相同条件下进行中子辐照,剂量 $\sim 3 \times 10^{17}$ 中子/cm²，镉比为10. 中子辐照之后在 150—500℃ 范围内,进行等时退火，温度间隔 50℃，每个温度点的退火时间为 20 分钟.

EPR 测量是在 BRUKER 的 ER-200D-SRC 型谱仪上进行，X波段,测量温度为 68 K. 外磁场处在{110}晶面内. 样品以⟨110⟩为轴转动. 从⟨100⟩至⟨110⟩的范围内,测量各共振峰的中心与转角之间的关系,得到旋转花样图. 并由此定出该缺陷的 g 张量主值和方向余弦.

三、实 验 结 果

在 200—300℃ 的退火范围内，在甲乙两组样品中都观察到 Si-PK1，但在甲组样品

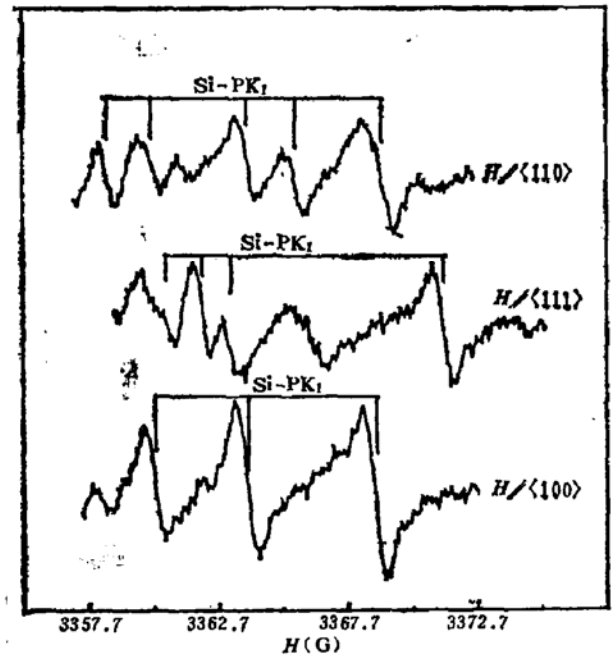

图 1 Si-PK1 的 EPR 谱 $\nu = 9.435$GHz, $T = 68$K

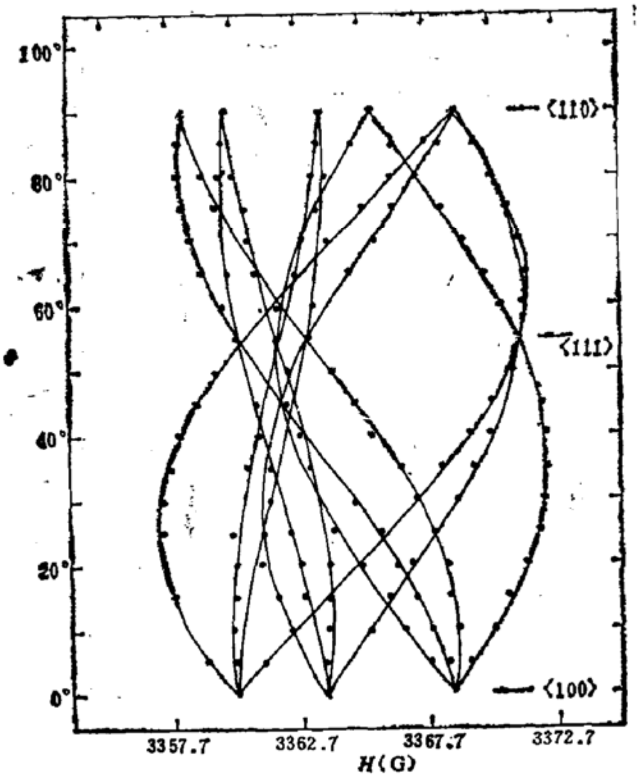

图 2 Si-PK1 旋转花样图 $\nu = 9.435$GHz, $T = 68$K

●实验数据 ——理论曲线

中谱线的强度比在乙组样品中强得多. 甲组样品中的 Si-PK1 在磁场平行于〈100〉、〈111〉与〈110〉时的 EPR 谱如图 1 所示，其旋转花样图如图 2 所示. 根据图 2 判断，Si-PK1 具有三斜对称性,相应点群为 C_1 或 C_i.

Si-PK1 可用下面的自旋哈密顿描述:

$$\mathscr{H}_s = \beta \mathbf{H} \cdot \mathbf{g} \cdot \mathbf{S} \tag{1}$$

其中 $S=\frac{1}{2}$. 对旋转花样图进行理论拟合所确定的 Si-PK1 的 **g** 的三个主值为:

$$g_1 = 2.0082 \pm 0.0002,\quad g_2 = 2.0048 \pm 0.0002,\quad g_3 = 1.9992 \pm 0.0002$$

g 的三个主轴相对于晶格坐标系(〈100〉,〈010〉,〈001〉)的方向余弦分别为:

	g_1	g_2	g_3
$\eta(\langle 100\rangle)$	0.8819	−0.2093	0.2599
$\eta(\langle 010\rangle)$	0.3933	0.8206	−0.5318
$\eta(\langle 001\rangle)$	0.2599	0.4146	0.8060

图 2 中的实线是根据(1)式和上述 **g** 的主值和方向余弦进行理论计算的结果，它与实验结果符合很好.

四、讨　论

已报道的用 EPR 确定的硅中辐照缺陷,具有三斜对称性的极少，据我们所知，至今只报道过两个,即 1976 年 G. D. Watkins 报道的 Si-G10[7] 和 1982 年 S. H. Muller 等报道的 Si-NL23[8]. 由于我们观察到的 Si-PK1 的顺磁参数明显不同于 Si-G10 或 Si-NL23. 可以肯定 Si-PK1 是硅中一个新的三斜对称缺陷.

Si-PK1 仅在 200—300℃ 退火范围内存在,说明它不是中子辐照的原生缺陷，而是在后来的退火处理过程中形成的.

因为甲组样品在中子辐照前经过 650℃ 半小时的热处理,导致部分氢逸出或凝聚,故其中的氢含量肯定比乙组样品的低. 为什么经过"赶氢"的样品中 Si-PK1 的密度较大以及 Si-PK1 的微观结构等问题,正在进一步研究之中.

样品的中子辐照得到清华大学孟祥提同志的热情支持和帮助. 在实验测量和结果处理中分别得到林绪伦、许惠英、吴清龙等同志的帮助,在此谨对他们表示感谢.

参　考　文　献

[1] 正正元,林兰英,半导体学报,**3**,282(1982).
[2] 张正南,许振嘉,物理学报,**31**,994(1982).
[3] 杜永昌,张玉峰,秦国刚,半导体学报,**5**,7(1984).
[4] 杜永昌,张玉峰,秦国刚,物理学报,**33**,477(1984).
[5] H. Lütgemeier and K. Schnitzke, *Phys. Lett*. **25A**, 232(1967).
[6] R. L. Kleinhenz, Y. H. Lee, Inst. Phys. Conf. Ser. No. 46: Chapter 3, p. 200.
[7] G. D. Watkins, *Phys. Rev.* **B13**, 2511(1976).
[8] S. H. Muller, G. Y. Tuynman, E. G. Sieverts and C. A. J. Ammerlaan, *Phys. Rev.*, **B25**, 25 (1982).

A New Triclinic Defect in Neutron-Irradiated FZ-Silicon Grown in Hydrogen

Wu En, Wu Shuxiang, Mao Jinchang and Qin Guogang
(Department of Physics, Peking University)

Abstract

A new triclinic defect, labled Si-PK1, was observed first with EPR in neutron-irradiated FZ-silicon grown in hydrogen. the paramagnetic parameters of this defect were determined. The pattern computer calculated with these parameters was found to be in close agreement with the experimentaldata.