

研究简报

Al-SiO₂-Si/n 系统的 γ 辐照界面
效应及退火特性

张秀森 顾 峰 谢可勋

(杭州大学物理系)

1983年8月1日收到

本工作以 ^{60}Co 作为 γ 辐射源, 在 7.6×10^3 至 6.9×10^4 伦琴剂量范围内, 研究了 Al-SiO₂-Si/n 系统的辐照感应氧化层有效电荷、界面态与辐照剂量的关系。也研究了这些界面效应的退火特性。此外, 还对实验结果作了分析和讨论。

一、引 言

随着现代科学技术的发展, 半导体器件受到各种射线或粒子辐射的机会日益增加。在例如核爆炸条件下或航天环境中, 就会受到核爆炸产生的辐射或宇宙射线的照射。特别是其中的 γ 射线具有很高的穿透本领和能量, 可以穿过封装在半导体体内和界面上产生辐照效应, 使器件性能退化甚至失效, 因而受到人们的普遍关注。

本工作以 ^{60}Co 作为 γ 辐照源, 研究了 Al-SiO₂-Si/n 系统的界面辐照效应。 ^{60}Co 在衰变中发射能量分别为 1.17 MeV 和 1.33 MeV 的两种 γ 光子。众所周知, 在这种能量范围内的 γ 光子与物质相互作用的主要机制是康普顿散射。

本工作以 1 MHz 的高频 C-V 曲线测量氧化层有效电荷密度, 由准静态低频 C-V 曲线与高频 C-V 曲线相结合的 Castagne 方法^[1]测量界面态密度。所用 MOS 样品的衬底为电阻率 5—10 $\Omega \cdot \text{cm}$ 的 n 型 (100) 硅。用常规的干氧-湿氧-干氧高温氧化工艺生长约 1500 Å 左右的氧化层, 并经过 890°C 的磷处理和吹氮退火。

二、实 验 结 果

(1) 氧化层电荷、界面态与辐照剂量的关系

按照 Scoggon 等^[2], 辐照引入的氧化层电荷密度 ΔQ_0 可由辐照引起的禁带中央点电压的移动来测量, 即

$$\Delta Q_0 = -C_{ox} \cdot \Delta V_{MG}, \quad (1)$$

式中 C_{ox} 为单位面积的氧化层电容, 负号则表示有效正电荷密度的增加相应于禁带中央点电压的负向移动。图 1 为实验测得的 ΔV_{MG} 、相应的 ΔQ_0 与辐照剂量的关系。

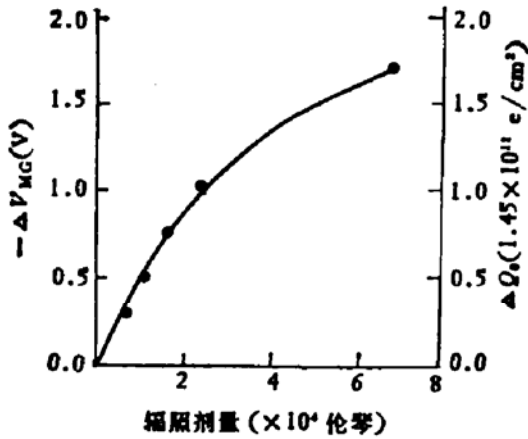
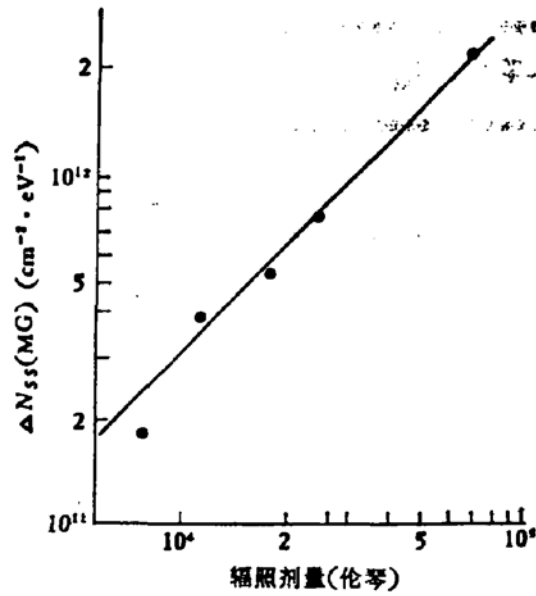
图1 $\Delta V_{MG}(\Delta Q_0)$ 与辐照剂量的关系图2 $\Delta N_{SS}(MG)$ 与辐照剂量的关系

图2示出了辐照引入的禁带中央点界面态密度 $\Delta N_{SS}(MG)$ 与辐照剂量关系的实验结果。辐照前的禁带中央点界面态密度 $N_{SS}(MG)$ 约为 $2.9 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$ 。

此外,实验还发现 γ 辐照后在导带底以下约 0.3—0.5 eV 范围出现一个界面态密度分布的宽峰。这一宽峰对应于辐照后的准静态低频 $C-V$ 曲线在平带点与禁带中央点之间的一个“隆起”。图3为一个 MOS 样品在辐照前后的准静态低频 $C-V$ 曲线和高频 $C-V$ 曲线。图4为根据图3计算得到的辐照前后的界面态密度分布。两图中箭头所示处即为 γ 辐照后低频 $C-V$ 曲线上的隆起和与之相应的界面态密度分布宽峰。

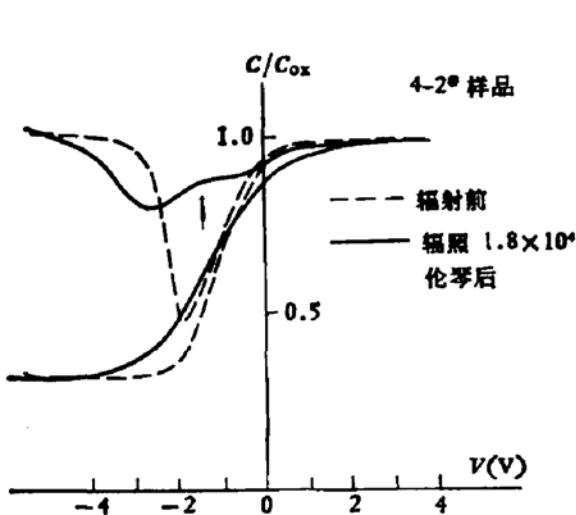
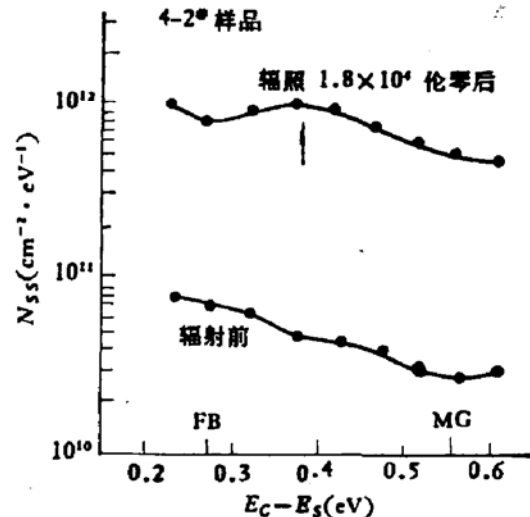
图3 一个 MOS 样品辐照前后的准静态低频 $C-V$ 曲线和高频 $C-V$ 曲线

图4 一个 MOS 样品辐照前后的界面态密度分布

(2) 辐照效应的退火特性

图5为一个辐照后样品的 ΔV_{MG} 、相应的 ΔQ_0 以及平带电压 V_{FB} 在 20 分钟等时退火

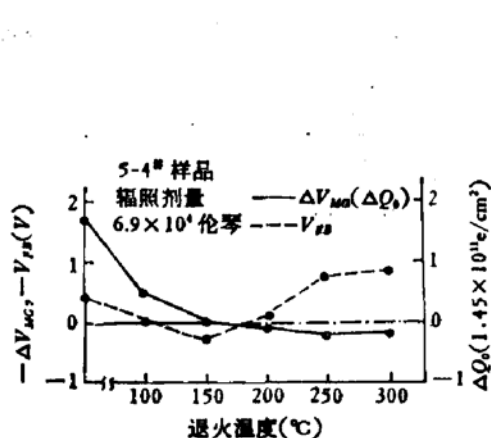


图5 一个辐照后 MOS 样品的 $\Delta V_{MS}(\Delta Q_s)$, V_{th} 在 20 分钟等时退火中的变化

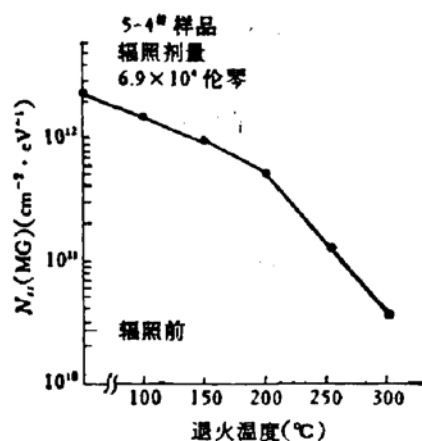


图6 一个辐照后 MOS 样品的 $N_{ss}(MG)$ 在 20 分钟等时退火中的变化

过程中的变化。退火前,样品经过 6.9×10^4 伦琴 γ 辐照,其 V_{MG} 值为 $-3.35V$ 。图6为该样品的禁带中央点界面态密度在同一退火过程中的变化。等时退火是在空气中进行的。

三、讨论和结论

(1) 辐照引入的氧化层有效电荷

图1的实验结果表明,随着辐照剂量的增加,氧化层中正电荷的积累过程将逐渐变慢,但在本文的辐照剂量范围内,尚不能明显看出饱和的趋势。按照 C. T. Sah^[3], ^{60}Co γ 辐照在 SiO_2 中激发电子-空穴对,当空穴被氧化层中的空穴陷阱俘获时就引起正电荷积累。由于俘获空穴后的陷阱转变为具有较大俘获截面的有效电子陷阱^[4],以及正电荷积累在 SiO_2 中和 SiO_2 -Si 之间产生的附加电场的作用,一部分正电荷将被电子的俘获所中和,这使得正电荷积累过程随着辐照剂量的增加而逐渐变慢。

(2) 辐照引入的界面态

图2的结果表明,在本实验所用的 γ 辐照剂量范围内,辐照引入的禁带中央点界面态密度与辐照剂量基本上呈简单的线性关系。这一结果不同于 P. S. Winokur 等^[5]在具有辐照加固 (radiation-hard) 氧化物的 MOS 样品上得到过的 $2/3$ 次幂函数关系。对本文的实验结果可作如下的简单理解:在低剂量情况下,每个入射的 γ 光子对键的断裂都同样有效,因而打破的价键数正比于入射 γ 光子数。而按照 C. T. Sah^[3],键的断裂正是辐照产生界面态的原因。

一般认为辐照后在禁带中出现的界面态密度分布宽峰,可能与界面附近某种弱键的断裂有关。

(3) 退火特性

图5的实验结果表明,经 150°C 的退火,辐照引入的氧化层有效正电荷即能被充分消除。而在更高的退火温度下氧化层有效正电荷甚至可略低于辐照以前的数值,在用 1.3

MeV 的电子辐照 MOS 系统时也曾观察到过类似的现象^[6]。图 6 的结果则表明界面态密度需要在 300℃ 退火后才能基本上恢复到辐照以前的水平。

从图 5 可见, 平带电压 V_{FB} 在退火过程中的行为比较复杂。当退火温度低于 150℃ 时, V_{FB} 右移增加, 而当退火温度高于 150℃ 时, V_{FB} 却又左移减小。这一行为可以从有效正电荷和界面态具有不同的退火特性得到解释。平带电压的变化 ΔV_{FB} 对应于 SiO_2 -Si 界面等效电荷密度的变化 ΔQ_{fc} ,

$$\Delta Q_{fc} = -C_{ox} \cdot \Delta V_{FB}. \quad (2)$$

而 ΔQ_{fc} 包括 ΔQ_0 和界面态电荷变化的贡献 ΔQ_{ss} 两部分, 即

$$\Delta Q_{fc} = \Delta Q_0 + \Delta Q_{ss}. \quad (3)$$

对于 n 型样品, 在平带条件下, 禁带上半部直至费米能级为止的受主界面态因被电子填充而贡献负电荷, 因此界面态密度的降低, 意味着它所贡献的负电荷的减少。 V_{FB} 在 150℃ 以下的退火中的右移增加说明, 此时氧化层正电荷的退除要比界面态退除引起的负电荷减少更快; 而在 200℃ 以上的退火过程中, 因为氧化层正电荷已基本退除完毕, 因此界面态的进一步退除引起的负电荷的减少使 V_{FB} 左移减小。

实验结果还表明, 准静态低频 C-V 曲线在平带点与禁带中央点之间的隆起, 即界面态密度宽峰, 一般在 200℃—250℃ 退火后消失。

本工作的 γ 辐照是在浙江省农科院原子能研究所进行的, 作者谨对该所章秋岳同志的热情协助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] R. Castagne and A. Vapaille, *Surf. Sci.*, **28**, 157 (1971).
- [2] G. A. Scoggon and T. P. Ma, *J. Appl. Phys.*, **48**, 294 (1977).
- [3] C. T. Sah, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-23**, 1563 (1976).
- [4] A. R. Stivers and C. T. Sah, *J. Appl. Phys.*, **51**, 6292 (1980).
- [5] P. S. Winokur and H. E. Boesch, Jr. *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-27**, 1647 (1980).
- [6] 包宗明、张秀森、杨恒青、张增光, 半导体学报, **4**, 64(1983).

Effect of Gamma Irradiation on Al-SiO₂-Si/n System and Its Annealing Characteristics

Zhang Xiumiao, Gu Feng and Xie Kexun

(Department of Physics, Hangzhou University)

Abstract

⁶⁰Co has been used as the source of Gamma irradiation to study the interface radiation effect of the MOS system. The relations between irradiation doses and the increases in effective positive charges and interface states induced by radiation for Al-SiO₂-Si/n system at doses from 7.6×10^3 to 6.9×10^4 Roentgen have been obtained experimentally. The annealing characteristics of irradiation effect has also been studied. In addition, the experimental results have been analysed and discussed.