

Si-SiO₂-Al₂O₃ 结构的电子束辐照效应

林理彬 田景文 谢建华 陈伯英
(四川大学物理系)

唐方元 熊文树 林茂清
(成都 720 所)

1981年1月13日收到

本文介绍了 Si-SiO₂-Al₂O₃ 系统的电子束辐照及实验结果, 定性地讨论了辐照能量、剂量及剂量率的影响. 根据辐射效应, 我们认为 Al₂O₃-SiO₂ 及 Al₂O₃-Si 结构中 Al₂O₃ 膜内靠近界面处存在有受主型界面态, 表现出负电荷性质, 辐射的电离效应进一步增强了界面的负电荷效应. 同时实验结果还表明电子轰击引起了硅中杂质在界面附近的再分布.

一、样片的制备和测试

实验所采用的样片是电阻率为 10Ω-cm 左右的 n 型 (100) 的直拉硅单晶. 单层结构的 Si-Al₂O₃ 样片是在硅片上直接溅射 Al₂O₃ 得到. 双层结构的 Si-SiO₂-Al₂O₃ 样片是先经 1100℃ 高温在硅片上干氧化获得 1000 Å 左右的 SiO₂ 膜, 然后再在 SiO₂ 上直流溅射一层 Al₂O₃ 制成. 直流溅射条件为: 当真空度达 10⁻²mm Hg 以上充以氧气, 氧气流量为 200ml/分钟、电流恒定在 45mA 左右, 电压为 1000V 左右, 溅射速度约为 150 Å/小时.

单层膜及双层膜的厚度及折射率都是用椭偏仪直接精确测量的^[1]. Al₂O₃ 膜的表面用扫描电子显微镜观察. 用俄歇谱仪测得界面组分情况, 用 C-V 测试求得有效界面电荷值. 用三角波法测量可动电荷. 同时也还测量了介质膜的击穿电压等.

二、电子束辐照的实验结果

我们用 JJ-2 型电子静电加速器加速的电子束辐照样片, 改变扫描面积, 束流强度, 辐照时间和能量以控制辐照的剂量和剂量率^[2,3]. 实验中使用的能量范围是 0.6MeV 至 2MeV, 剂量范围在 10⁴ 至 10⁸rad (Si), 剂量率在 10⁴ 至 10⁵rad (Si)/sec 范围内. 为了便于对比, 我们也对 SiO₂-Si 样片进行了辐照, 辐照实验的结果是:

1. 当辐照剂量及剂量率相同, 厚度一定的情况下, 单层结构的平带电压随辐照能量的增加而向正向漂移 (图 1). 但双层结构的情况就不相同, 平带电压的漂移值与辐照能量的关系在 1.2MeV 处有一拐点, 当辐照能量达到 2MeV, 平带电压相对未辐照的情况偏离最小 (图 2).

2. 固定电子束能量, 改变剂量及剂量率, 发现单层结构平带电压向正向方向漂移, 随

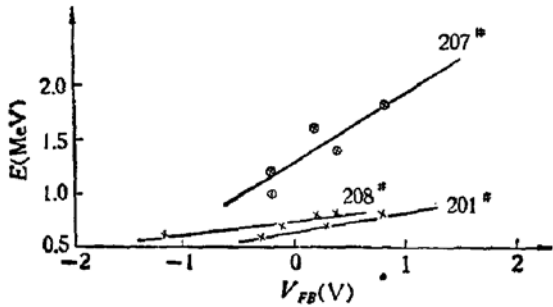


图 1 Al₂O₃-Si 样片

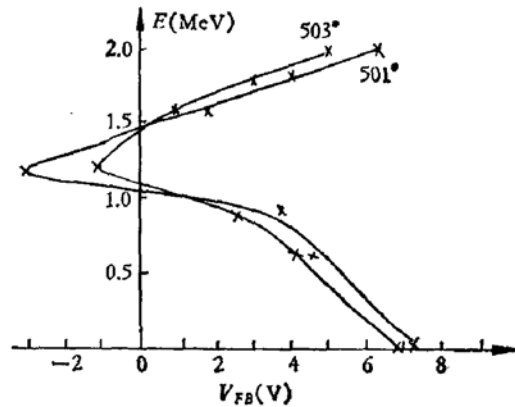


图 2

剂量率的增加而增大,二者呈线性关系(图 3)。双层结构的情况则不相同,剂量率大,平带电压偏离辐照前较小,剂量率小则偏离更大。

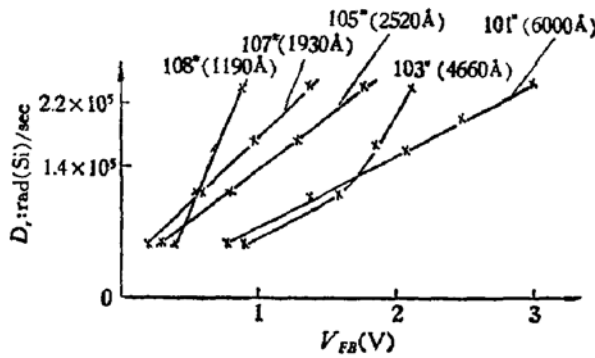


图 3

3. 单层膜及双层膜结构的 C-V 曲线均有滞后现象,双层结构的 C-V 曲线还有畸变。但如用能量为 1.6MeV, 剂量为 5×10^7 rad(Si) 及剂量率为 8.9×10^4 rad(Si)/sec 的电子束辐照后,则双层结构的 C-V 曲线的畸变及滞后现象均消除了(图 4、图 5)。

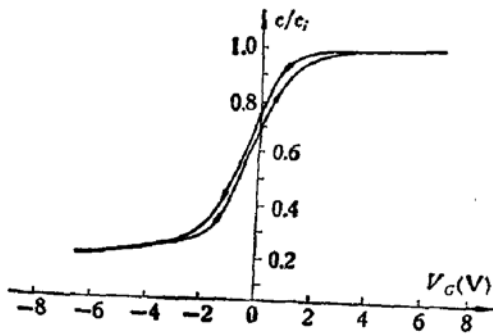


图 4 Al₂O₃-Si 样片

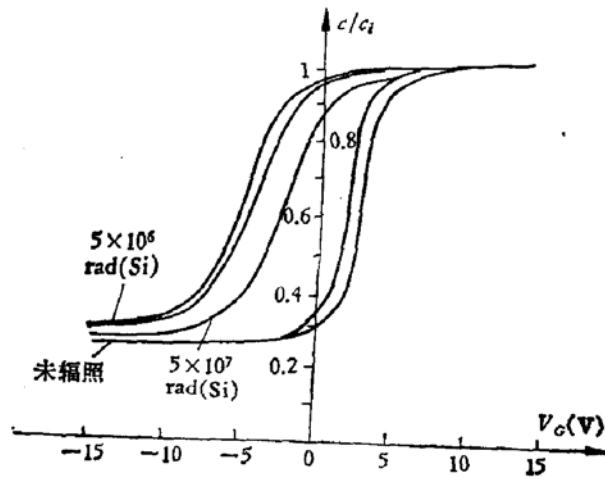


图 5

三、分析和讨论

1. 我们认为单层结构的平带电压取决于 Al₂O₃-Si 界面电荷, 而双层结构的平带电压决定于 Al₂O₃-SiO₂ 及 SiO₂-Si 两个界面的界面电荷, 因为单层结构的平带电压为

$$V_{FB} = -Q_{AS} \frac{d_A}{\epsilon \epsilon_A} + \phi_{MS}, \quad (1)$$

d_A 是 Al₂O₃ 的膜厚, ϵ 及 ϵ_A 各为真空中及 Al₂O₃ 的介电常数, ϕ_{MS} 为金属与半导体的功函数差, Q_{AS} 是 Al₂O₃-Si 的界面电荷, 未辐照前测得是负电荷^[1,2], 经过电子束辐照负电荷增加, 辐照能量愈大, Q_{AS} 增加愈多, 平带电压则向正向漂移越大, 呈线性关系。

双层结构的平带电压的表式^[6]为

$$V_{FB} = -Q_{OS} \frac{d_0}{\epsilon \epsilon_0} - (Q_{OS} + Q_{A0}) \frac{d_A}{\epsilon \epsilon_A} + \phi_{MS}. \quad (2)$$

d_0 及 ϵ_0 是 SiO₂ 的膜厚及介电常数, Q_{OS} 及 Q_{A0} 各为 SiO₂-Si 及 Al₂O₃-SiO₂ 的界面电荷, 未辐照前 Q_{OS} 为正值, Q_{A0} 为负值, 且有 $Q_{A0} > Q_{OS}$, 故平带电压为正值, 经辐照后, Q_{OS} 及 Q_{A0} 都增加, 但因 Q_{OS} 的值更大地影响平带电压, 因而平带电压随辐照能量加大而向负方向漂移, 但因 Q_{OS} 及 Q_{A0} 随能量的增加速率不同, 达到某一能量值时, 又有 $Q_{A0} > Q_{OS}$, 则 V_{FB} 向正向漂移, 到 2MeV 时, 相对未辐照的情况 V_{FB} 的偏离已很小, 这与实验结果一致。

2. 剂量率对有效界面电荷密度的影响, 可由电离效应解释, Al₂O₃ 中原子上的电子受到辐照而激发, 从价带跃迁到导带产生电子-空穴时, 空穴常会被 Al₂O₃ 中的陷阱俘获, 电子则填充受主型界面态而增强了界面的负电荷效应, 如果辐照的剂量率越大, 单位时间内 Al₂O₃ 吸收的能量就越多, 负的有效界面电荷密度也愈多。

3. 关于滞后现象, 我们认为主要是由 Al₂O₃-Si 界面处的受主型界面态引起的, 这些界面态电荷具有较长的恢复到平衡时的弛豫时间, 如果在测量 C-V 特性时界面态中的电荷跟不上电压的变化, 那末就会出现滞后现象。

我们用同样的设备测量了 SiO₂-Si 样片, 也发现了滞后现象, 但方向与 Al₂O₃-Si 样片相反(图 6)。结合三角波法的测试结果, 证实 SiO₂-Si 界面处同时存在有可动正电荷与施主型的界面态。

Al₂O₃-SiO₂-Si 结构是前两种情况的结合, 因辐照条件对 Al₂O₃-Si 结构的滞后现象影响较小, 而对 SiO₂-Si 结构影响较大, 故在一定辐照条件下, 双层结构的滞后现象及畸变可能消失(图 5)。

4. 对于某些不同膜厚的 Al₂O₃-Si 片, 在电子束辐照后, C-V 曲线的归一化最小电容值也各不相同, 反映了靠近界面处硅表面附近杂质的再分布。

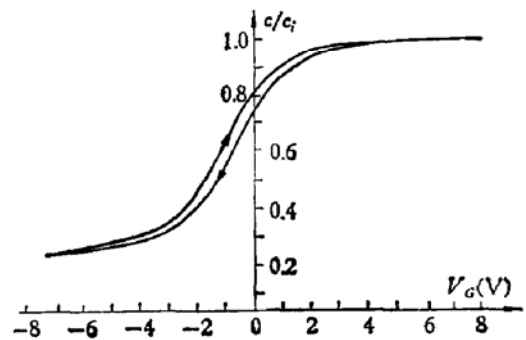


图 6 SiO₂-Si 样片

参 考 文 献

- [1] 林理彬等人, 四川大学学报, 1980年4期.
[2] A. L. Barry, *IEEE*, NS-22, 2703 (1975).
[3] C. H. Cheek and V. T. Linnenbom, Calculation of Absorbed Dose, PB 161259 (1959).
[4] M. Matsushita and Y. Koga, Paper 90 presented at Electrochem. Soc. Meeting, Boston, May, 5-9 (1968).
[5] S. K. Tung and R. E. Caffrey, *Thin Film Dielectrics*, (1969).
[6] J. A. Aboaf, D. R. Kerr and E. Bassous, *J. Electrochem. Soc.*, 120, 1103 (1973).

Radiation Effects in Si-SiO₂-Al₂O₃ Structure

Lin Libin, Tian Jingwen, Xie Jianhua, Chen Baiying
(Department of Physics, Sichuan University)

Tang Fangyuan, Xiong Wenshu and Lin Maoqing
(720 Institute of Chengdu)