

Al-SiO₂-Si(n) 系统的电子辐照效应

包宗明 张秀森 杨恒青

(复旦大学物理系)

张 增 光

(上海整流器厂研究室)

1981年11月5日收到

提 要

本文研究了电子辐照和退火对 Al-SiO₂-Si(n) 系统的影响。结果表明,经电子辐照加适当退火处理的样品与未经辐照的样品相比,体内非平衡少数载流子复合寿命明显降低,但表层产生寿命却有所增加,而且平带电压、界面态密度和表面产生速度都略有降低。

一、引 言

辐照形成的缺陷和缺陷复合体在半导体体内起着有效复合中心的作用,因此辐照有可能用作器件制造中控制少子复合寿命的一种新工艺^[1]。为了探求在平面双极型器件及 MOS 器件中应用电子辐照控制少子复合寿命的可能性,必须研究辐照引起的表面效应。

本工作研究了电子辐照和退火对 Al-SiO₂-Si(n) 系统的影响。研究结果表明,只要进行适当的退火处理,则电子辐照有可能用于平面双极型及 MOS 器件中少子复合寿命控制,而不会造成由表面效应引起的诸如表面漏电流增加、开启电压漂移等问题。

二、实 验

本工作所用的 MOS 结构样品,其原始材料均为〈100〉晶向的 n 型硅单晶,材料的电阻率约为 8—12Ω·cm。在 1000℃ 生长厚度为 1500 Å 左右的氧化层,在 890℃ 下作磷处理,再蒸铝、反刻制成 MOS 结构。MOS 结构为面积 2.0×10⁻³cm² 的圆图形,带有保护环。

采用电子静电加速器获得 1.3MeV 高能电子束,对 MOS 结构进行辐照。辐照时 MOS 结构的栅是浮置的。

如所周知,电子辐照会使界面态密度增大,并在 SiO₂ 中引入正电中心。这些表面效应可以通过退火加以消除。

实验表明,经电子辐照的样品用 250W 红外灯烘烤(灯泡前部距样品约 5cm,垂直照

射)约 1 小时,虽可退除辐照引入的大部分界面态和正电中心,但是并不能完全退除,这说明需要进一步提高退火温度. 据报道,在退火气氛中含有氢有利于表面效应的消除^[2-4].

为了避免退除掉辐照引入体内的复合中心,参照张增光的工作^[5],本工作选定退火温度 300℃,时间 10 分钟. 选定湿氮作为退火气氛.

为了研究电子辐照、退火对 Al-SiO₂-Si(n) 系统的影响,将每个含有许多 MOS 图形的硅圆片分成四块 1/4 圆片. 其中一块不作处理 (a) 作为对照样品,其余三块分别进行辐照 (b)、退火(不辐照) (c)、辐照加退火 (d) 处理. 对这些样品用高频 C-V 和准静态技术观察和测定平带电压的变化和界面态密度,用瞬态电容法测定表层 1~2 μm 的产生寿命和表面产生速度,用表面光电压法测定深度为几十到上百 μm 范围内的少子复合寿命.

三、实验结果

1. 高频 C-V 曲线

图 1 为 MOS 结构在经不同处理后高频 C-V 曲线的典型结果. 由图可见: 1) 辐照引入了高密度的界面态,使 C-V 曲线严重畸变; 2) 辐照后的样品再经退火处理,其 C-V 曲线形状恢复; 3) 虽然样品只经退火处理有时也表现出平带电压降低,但经辐照加退火处理,其平带电压的降低则更为显著.

2. 界面态密度

用准静态技术进行了界面态密度变化的跟踪测定,即在退火前后或辐照加退火前后测定同一个 MOS 结构的界面态密度,以观察其变化. 表 1 中列出了三个硅圆片上的测试结果. 图 2 为 9[#] 硅圆片上的一个 MOS 结构在辐照、退火前后的准静态低频 C-V 曲线和高频 C-V 曲线. 这些样品在投入试验前已经过湿氮 300℃10 分钟的预退火.

由表 1 和图 2 可见,辐照引入的高密度界面态在退火处理后可被充分退除,而且经过辐照加退火处理后界面态密度可比处理前有可观的降低,这种降低在作为对照的、只经退火处理的样品上却没有观察到.

3. 产生寿命和表面产生速度

如所周知, SiO₂-Si 界面及硅表面附近耗尽区中的少子产生率对材料和工艺处理极为敏感,即使在同一个硅片上的各个 MOS 结构之间也常有较大的差异^[6-8]. 因此在研究辐照、退火对产生寿命和表面产生速度的影响时,必须测定为数较多的样品,然后进行

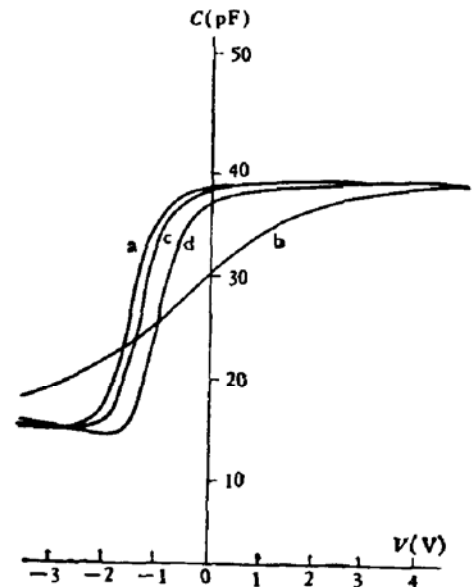


图 1 MOS 结构经不同处理后的高频 C-V 曲线 a. 对照样品, b. $3.0 \times 10^{14} \text{e/cm}^2$ 辐照后, c. 湿氮 300℃退火 10 分钟, d. $3.0 \times 10^{14} \text{e/cm}^2$ 辐照后再在 300℃湿氮气氛中退火 10 分钟

表 1 不同处理前后禁带中央点附近界面态密度的变化

禁带中央点附近界面态密度 N_{it} ($\text{cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$)	处理情况	b		c		d	
		辐照前	辐照 $3.0 \times 10^{14} \text{ e/cm}^2$ 后	退火前	湿氮 300°C 退火 10 分钟后	辐照退火前	辐照 $3.0 \times 10^{14} \text{ e/cm}^2$ 湿氮 300°C 退火 10 分钟后
7*硅圆片		4.8×10^{10}	$\sim 10^{12}$ 以上	6.5×10^{10}	8.5×10^{10}	5.4×10^{10}	4.0×10^{10}
8*硅圆片		7.0×10^{10}	$\sim 10^{12}$ 以上	7.0×10^{10}	7.7×10^{10}	8.7×10^{10}	3.6×10^{10} *
9*硅圆片		9.7×10^{10}	$\sim 10^{12}$ 以上	8.9×10^{10}	1.07×10^{11}	8.9×10^{10}	4.5×10^{10}

* 因原定 MOS 结构在辐照加退火处理后严重漏电,该数据是从紧靠原定位置的 MOS 结构上测得的。

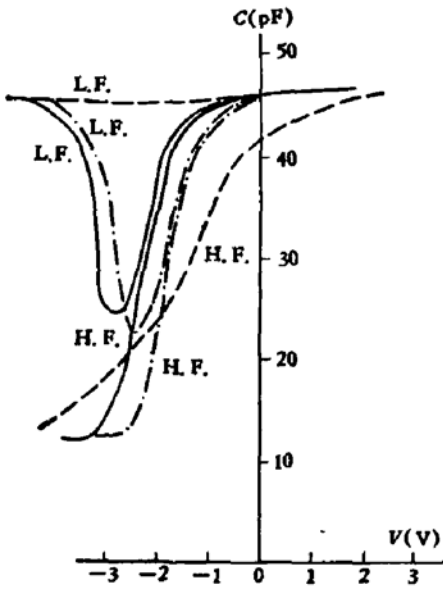


图 2 一个 MOS 结构样品在电子辐照、退火前后的准静态低频 C-V 曲线和高频 C-V 曲线
 ——辐照前, ---- $3.0 \times 10^{14} \text{ e/cm}^2$ 辐照后
辐照后再在湿氮气中 300°C 退火 10 分钟

统计比较。本工作采用下列方法: 在每块 1/4 圆片上各任意选定 6 个 MOS 结构, 在退火或辐照加退火处理前后对它们进行跟踪测定, 然后对变化倍率取算术平均进行比较。产生寿命和表面产生速度的测定采用饱和电容快速算法^[9]。

表 2 列出了六个硅圆片上的实验结果。尽管各个 MOS 结构在处理前后其产生寿命和表面产生速度的变化有所差别, 但由表 2 可见, 平均说来, 经过辐照加退火处理后表面产生速度有所降低, 而只经退火处理的对照组则基本不变。表面附近 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 薄层的产生寿命在只经退火处理或经辐照加退火处理后均有所增加, 但辐照加退火处理的产生寿命增长倍率高于只经退火处理的对照组。

在图 3 中示出了一个硅圆片上的 MOS 结构在经受多次辐照加退火处理时产生寿命和表面产生速度平均值的变化情形。

表 2 不同处理前后产生寿命和表面产生速度改变倍率的平均值

样品编号	c 湿氮 300°C 退火 10 分钟		d 辐照 $3.0 \times 10^{14} \text{ e/cm}^2$ 湿氮 300°C 退火 10 分钟	
	产生寿命改变倍率平均值 (τ_g/τ_{g0})	表面产生速度改变倍率平均值 (s_g/s_{g0})	产生寿命改变倍率平均值 (τ_g/τ_{g0})	表面产生速度改变倍率平均值 (s_g/s_{g0})
1*硅圆片	2.2	1.12	3.2	0.55
2*硅圆片	1.7	1.05	4.7	0.72
3*硅圆片	2.3	1.17	5.8	0.39
4*硅圆片	0.79	0.82	2.9	0.78
5*硅圆片	1.07	0.89	1.24	0.41
6*硅圆片	1.10	1.8	1.02	1.02

产生速度平均值的变化情形。

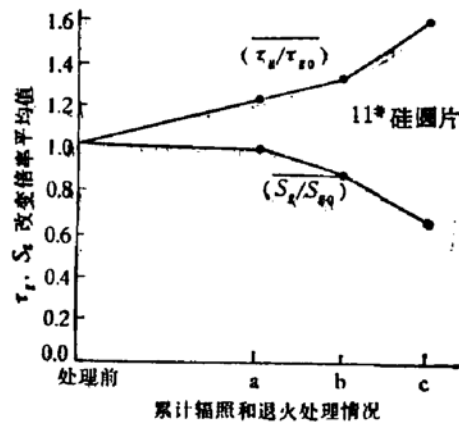


图3 一个硅圆片上的6个MOS结构样品在多次辐照加退火处理中 τ_g 和 S_g 改变倍率平均值的变化
 a. $2.1 \times 10^{14} \text{e/cm}^2$ 辐照再加干氮 300°C , 10分钟退火;
 b. 对“a”样品再以 $3.1 \times 10^{14} \text{e/cm}^2$ 辐照, 而后在 300°C 湿氮中退火 10分钟, c. 再作 $4.1 \times 10^{14} \text{e/cm}^2$ 辐照, 并在 300°C 湿氮中退火 10分钟

4. 体内少子复合寿命

为了检验不同处理对体内少子复合寿命的影响, 用表面光电压法^[9]分别测定了不同处理的 1/4 圆片的扩散长度, 然后换算成少子复合寿命(取扩散系数 $D = 10 \text{cm}^2/\text{sec}$), 其结果如表 3 所示。

表3 经不同处理后体内少子复合寿命的比较

体内少子复合寿命 (μs) 样品编号	处理情况	a	b	c	d
	未处理	辐照 $3.0 \times 10^{14} \text{e/cm}^2$	湿氮 300°C 退火 10 分钟	辐照 $3.0 \times 10^{14} \text{e/cm}^2$	湿氮 300°C 退火 10 分钟
1#硅圆片		2.7×10^2	1.6	1.9×10^2	0.78
2#硅圆片		70	2.0	81	1.4
3#硅圆片		81	1.1	81	1.4
4#硅圆片		1.3×10^2	0.84	71	1.3
5#硅圆片		3.7	0.73	1.9	0.73
6#硅圆片		29	0.90	29	0.40

由表 3 可见, 辐照确实使体内少子复合寿命显著地降低, 而且经本文选定条件下的退火, 并未见有明显的回升现象。

四、讨论和结论

通过在 MOS 结构上进行的初步试验, 证明了在本工作选定条件下的退火不会使电子辐照所显著降低了的体内复合寿命明显回升, 而辐照引起的表面效应则能被充分消除。

令人感兴趣的是, 实验中观察到了在栅浮置情况下的辐照加退火处理可使样品的平带电压、界面态密度和表面产生速度比辐照前有所降低, 表面附近 $1\sim 2\mu\text{m}$ 区域内的产生寿命有所增加. 显然, 界面态密度的降低与表面产生速度的降低两者是相一致的. 如果注意到对于电子辐照, 由于辐照时大量电子在浮置的金属栅上的积累, 辐照实际上是在负栅偏下进行的, 则界面态密度的这一降低与杜瑞瑞用真空紫外光辐照 $\text{Al-SiO}_2\text{-Si(n)}$ 系统所观察到的有关实验现象^[10]相类似. K. L. Wang 等^[11]曾经发现电子辐照在体内引起的各类缺陷, 其浓度在距表面 $3\mu\text{m}$ 以内时均突然显著下降, 这也许有助于理解本文实验中观察到的表层 $1\sim 2\mu\text{m}$ 内的产生寿命在电子辐照加退火处理中的行为.

本工作的结果使我们相信: 辐照只要伴以适当的退火处理, 则在硅体内引入有效复合中心的同时, 将不会对平面双极型器件和 MOS 器件造成诸如表面漏电流增加、开启电压漂移等问题而使其参数劣化或失效.

上海元件五厂黄惠玲、许寿祥同志为本工作提供 MOS 样品, 上海化工研究院王德仁、刘玉铭同志协助进行电子辐照, 界面态密度测试得到复旦大学杜瑞瑞同志的帮助, 谨此致谢.

参 考 文 献

- [1] B. Jayant Baliga, *Solid-St. Electron.*, **21**, 1033 (1978).
- [2] E. H. Snow, A. S. Grove and D. J. Fitzgerald, *Proc. IEEE*, **55**, 1168 (1967).
- [3] C. T. Sah, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-23**, 1563 (1976).
- [4] J. M. Aitken, *Journal of Electronic Material*, **9**, 639 (1980).
- [5] 张增光, 电子辐照控制少子寿命及其缺陷研究 (未发表).
- [6] D. K. Schroder and J. Guldborg, *Solid-St. Electron.*, **14**, 1285 (1971).
- [7] K. Taniguchi, *Solid-St. Electron.*, **21**, 1057 (1978).
- [8] 张秀森, MOS 电容法快速测定体产生寿命和表面产生速度, 复旦大学第十五届科学报告讨论会 (1981).
- [9] 包宗明、杨恒青、黄淑蓉, 太阳能学报, **2**, 81 (1981).
- [10] 杜瑞瑞, 真空紫外光辐照下 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 界面态的演变, 复旦大学第十五届科学报告讨论会 (1981).
- [11] K. L. Wang, Y. H. Lee and J. W. Corbett, *Appl. Phys. Lett.*, **33**, 547 (1978).

Effect of 1.3 MeV Electron Radiation on $\text{Al-SiO}_2\text{-Si(n)}$ System

Bao Zongming, Zhang Xiumiao, Yang Hengqing

(Department of Physics, Fudan University)

and Zhang Zengguang

(Research Department, Shanghai Rectifier Factory)

Abstract

The effect of 1.3 MeV electron radiation on $\text{Al-SiO}_2\text{-Si(n)}$ system has been observed. The results show that, after electron irradiation and proper annealing, the bulk lifetime decreases significantly, while the generation lifetime near the surface increases and the flat band voltage, surface state density and surface generation velocity decrease.