

# 电子辐照减小硅外延平面大电流开关二极管的反向恢复时间

田汝超 王远志 郭义宁 岩 陆明惠 吴树芳

(黑龙江省科学院技术物理所, 哈尔滨)

(哈尔滨晶体管厂, 哈尔滨)

**摘要** 研究了用电子辐照减小硅外延平面大电流开关二极管反向恢复时间的工艺。将未封帽的硅外延平面大电流开关二极管 2CK 29 的阳极面用能量 1.2 MeV、注量为  $3\sim 5\times 10^{14}\text{e}/\text{cm}^2$  的电子束照射, 可以使 2CK 29 的反向恢复时间减至原来的  $1/4\sim 1/8$ , 而正向压降维持在正常范围之内。辐照器件具有良好的性能。

**关键词** 电子辐照; 硅外延开关二极管; 反向恢复时间; 正向压降。

## 前 言

用电子辐照控制硅中少子寿命以制造快速硅功率半导体器件, 得到了越来越多的应用, 很有发展前途<sup>[1]</sup>。

能量大于 300 KeV 的电子轰击硅器件的芯片可以产生“位移效应”。其过程是<sup>[2~3]</sup>, 入射电子与硅晶格点阵上的原子相碰撞, 其给予原子的能量大于原子发生位移的阈能, 而导致原子位移, 使原子移动到晶格的某间隙位置上, 并在原来的位置上留下一个空位。这种空位-间隙原子对通常称为弗仑科尔缺陷。其后, 空位又进行扩散。在硅中当空位和一个氧原子、磷原子或铝原子相互作用可以产生氧空位对、磷空位对或铝空位对等。空位也可以成对出现。这些缺陷都是有效的复合中心。

对一般厚度的硅芯片来说, 为在硅中产生均匀的复合中心, 电子的能量应大于 600 KeV<sup>[4]</sup>。

电子辐照产生的缺陷在硅的禁带中引入新的能级, 增加硅基质中少子的复合速率, 使少子寿命减小。而硅二极管高阻区中少子寿命的减小将减小二极管的反向恢复时间, 从而提高二极管的开关速度。

自 1982 年起, 我们着手研究用电子辐照减小硅外延平面大电流开关二极管的反向恢复时间以提高二极管的开关速度。研究了电子辐照的方法, 电子辐照器件的性能及可靠性等, 确立了制造 2CK 29 ( $I_F = 5\text{ A}$ ,  $V_R = 400\sim 1000\text{ V}$ ) 等的电子辐照工艺。经哈尔滨无线电五厂、石家庄无线电十厂等单位使用, 证明电子辐照器件具有良好的性能。

自 1984 年开始, 在哈尔滨晶体管厂的生产中已采用电子辐照工艺, 对 2CK 29, 2CK 27、2CK 36 等硅外延平面大电流开关二极管进行电子辐照、代替扩金工艺, 提高了产品的合格率, 取得了一定的经济效益。

## 辐 照 工 艺

研究了管芯烧架前后的辐照及辐照后的退火, 确定了在管芯烧架后但未封帽前进行辐照的工艺。

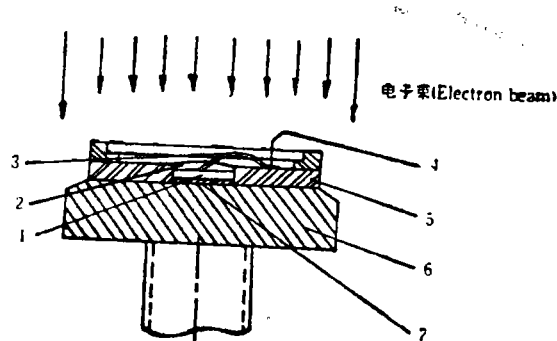


图1 辐照的二极管的结构

1. 管芯, 2. 有机硅凝胶, 3. 连接导线, 4. 阳极引出端, 5. 瓷绝缘子, 6. 阴极底座, 7. 金锡合金。

Fig. 1 The structure of a irradiated diode

- ① pellet, ② organosilicon gel, ③ connection wire, ④ anode terminal, ⑤ porcelain isolator, ⑥ cathode base, ⑦ Au-Sb alloy.

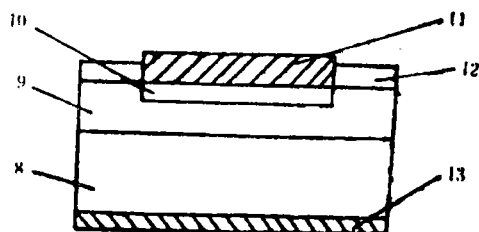


图2 管芯的断面

8. N<sup>+</sup>基片, 9. 高阻N型外延层, 10. P<sup>+</sup>扩散层, 11. 阳极, 12. 二氧化硅层, 13. 阴极。

Fig. 2 The section of the diode pellet

- ⑧ N<sup>+</sup>base, ⑨ N-epitaxial layer, ⑩ P<sup>+</sup>diffusion layer, ⑪ anode, ⑫ SiO<sub>2</sub>layer, ⑬ cathode.

## 1. 辐照方法

先将二极管摆放在一上方开口的金属盒内, 再将金属盒置于 JJ 1.2 型电子静电加速器扫描盒下面的铝托板上, 在大气、室温环境中, 使二极管的阳极面受电子束照射。二极管距扫描盒约 28 cm。辐照的二极管的结构及管芯的纵断面分别如图 1 和图 2 所示。

## 2. 电子能量和电子注量

电子能量为 1.2 MeV, 能量的不稳定性为  $\pm 5\%$ 。电子注量以  $\text{e}/\text{cm}^2$  表示, 可以由束流积分仪测得铝托板上的电子电荷数和托板面积求得。托板上的电流密度  $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  左右, 托板边缘与中心的电子注量不均匀度小于  $\pm 15\%$ 。

为了确定最佳电子注量, 试验研究了不同电子注量对二极管反向恢复时间和正向压降的影响, 参见图 3。

由图中曲线可见, 随着电子注量  $\phi$  的增加, 反向恢复时间  $T_{RR}$  显著减小, 而正向压降  $V_F$  缓慢地增加: 电子注量过大时, 正向压降将超过额定值, 因此反向恢复时间的减小就受到一个限制。

由于上述原因及每次可辐照的一百支二极管正向压降的差异, 辐照 2CK 29 的电子注量范围最好为  $3 \sim 5 \times 10^{14} \text{e}/\text{cm}^2$ 。

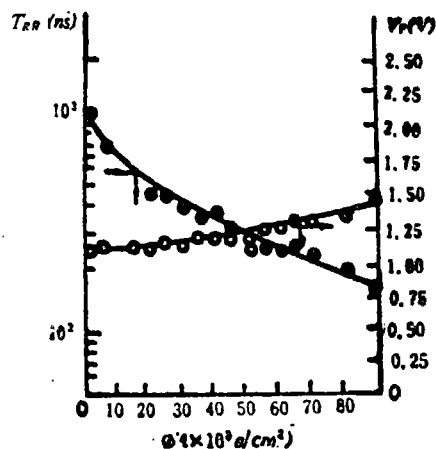


图3 电子注量对 2CK 29 的反应恢复时间和正向压降的影响

Fig. 3 The influence of the electron flux upon the reverse recovery time and the forward voltage drop

## 电子辐照器件的性能

### 1. 反向恢复时间和正向压降

表 1 辐照前100支二极管的反向恢复时间

Table.1 Reverse recovery time of one hundred diodes before irradiation:  $T_{RR}(ns)$

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1700 | 2700 | 1600 | 1500 | 1200 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1600 | 1600 | 1500 | 1700 | 1500 | 1700 | 1500 | 1500 | 2500 |
| 1500 | 1700 | 1700 | 1700 | 1300 | 1300 | 1500 | 1500 | 2200 | 2000 | 1700 | 1600 | 1300 | 1500 | 1500 | 2000 | 1700 | 2000 | 1500 |
| 1500 | 2700 | 2600 | 1500 | 1500 | 2500 | 1700 | 1500 | 1500 | 1500 | 2000 | 1700 |      |      |      |      |      |      |      |
| 1800 | 2000 | 2000 | 2200 | 1900 | 2200 | 2200 | 2000 | 1600 | 2200 | 1500 | 1600 | 1500 | 1700 | 2000 | 2100 | 2000 | 1500 | 1800 |
| 2500 | 1700 | 1700 | 1700 | 2200 | 1900 | 1800 | 1200 | 2000 | 1700 | 2300 | 1800 | 1700 | 1700 | 1700 | 1700 | 2800 | 1600 | 1600 |
| 2100 | 1700 | 1800 | 1700 | 2600 | 1500 | 1400 | 3200 | 1400 | 1600 | 2000 | 2400 |      |      |      |      |      |      |      |

表 2 辐照后 100 支二极管的反向恢复时间

Table. 2 Reverse recovery time of one hundred diodes after irradiation:  $T_{RR}(ns)$

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 480 | 310 | 410 | 330 | 400 | 380 | 430 | 400 | 400 | 400 | 400 | 320 | 410 | 380 | 310 | 350 | 300 | 390 | 310 |
| 240 | 400 | 400 | 310 | 400 | 400 | 320 | 300 | 310 | 380 | 400 | 460 | 360 | 380 | 350 | 380 | 400 | 380 | 380 |
| 400 | 300 | 460 | 450 | 410 | 320 | 410 | 300 | 400 | 400 | 400 | 330 |     |     |     |     |     |     |     |
| 400 | 420 | 420 | 440 | 440 | 440 | 440 | 400 | 450 | 500 | 400 | 420 | 340 | 450 | 400 | 400 | 400 | 400 | 420 |
| 420 | 410 | 400 | 420 | 400 | 400 | 440 | 400 | 360 | 500 | 420 | 400 | 420 | 420 | 400 | 300 | 300 | 400 | 400 |
| 410 | 360 | 400 | 450 | 360 | 420 | 410 | 400 | 400 | 420 | 400 | 350 |     |     |     |     |     |     |     |

表 3 辐照后封帽的二极管可靠性试验结果

Table. 3 The reliability test for irradiated diodes sealed with the cap

| 2 CK<br>29<br>编号<br>No | 辐照前<br>before<br>irradia-tion | 辐照并封帽后<br>after irradiated and<br>packed with caps |              | 150℃240 h 存储<br>stored at 150℃for<br>240hr |              | 2.3.4.项研究结果<br>the testresult of<br>2、3、4 batches |              | 6 A, 240 hr 功率老化<br>6 A, 240 h<br>Power aging |              |
|------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------|--------------|
|                        | $T_{RR}(ns)$                  | $V_F(V)$                                           | $T_{RR}(ns)$ | $V_F(V)$                                   | $T_{RR}(ns)$ | $V_F(V)$                                          | $T_{RR}(ns)$ | $V_F(V)$                                      | $T_{RR}(ns)$ |
| 1                      | 800~2000                      | 1.10                                               | 200          | 1.10                                       | 200          | 1.10                                              | 175          | 1.10                                          | 180          |
| 2                      |                               | 1.10                                               | 400          | 1.12                                       | 430          | 1.10                                              | 400          | 1.10                                          | 400          |
| 3                      |                               | 1.10                                               | 480          | 1.10                                       | 500          | 1.08                                              | 470          | 1.10                                          | 480          |
| 4                      |                               | 1.10                                               | 440          | 1.10                                       | 480          | 1.10                                              | 440          | 1.10                                          | 460          |
| 5                      |                               | 1.13                                               | 400          | 1.08                                       | 410          | 1.06                                              | 380          | 1.06                                          | 400          |
| 6                      |                               | 1.10                                               | 420          | 1.10                                       | 420          | 1.10                                              | 380          | 1.10                                          | 400          |
| 7                      |                               | 1.10                                               | 400          | 1.10                                       | 400          | 1.08                                              | 370          | 1.08                                          | 400          |
| 8                      |                               | 1.08                                               | 300          | 1.05                                       | 310          | 1.05                                              | 320          | 1.06                                          | 300          |
| 9                      |                               | 1.10                                               | 380          | 1.05                                       | 360          | 1.05                                              | 350          | 1.06                                          | 350          |

辐照前各个二极管的反同恢复时间  $T_{RR}$  相差很大, 对 2 CK 29, 数值范围 可以从 1500 ns 到 2500 ns 以上, 正向压降  $V_F$  在 1.1 V 以内。辐照后  $T_{RR}$  都在 500 ns 以下并且比较接近, 而  $V_F$

一般小于 1.2 V。表 1 和表 2 分别给出了辐照前后 100 只 2 CK 29 的反向恢复时间。辐照是一次完成的, 辐照后二极管的  $V_F$  在 1.08~1.18 V 范围内。

辐照一般可使二极管的反向恢复时间降至原来的 1/4, 有的可降至 1/8, 辐照的合格率可达 100%。

如果在辐照前对二极管进行检测并且分组, 结果会更好。

## 2. 电子辐照器件的可靠性试验

对电子辐照器件做了以下可靠性考核和短期寿命试验(见表 3):

(1) 150℃、240 小时恒温存储; (2) 按占空比 1:1、额定电流的 1.2 倍进行 12 小时电流老化; (3) -55℃~+125℃高低温冲击循环五次; (4) 120℃恒温并加反压 200 V 存储二小时; (5) 加正向电流 6 A 老化 240 小时。

由表 3 可见, 在试验中  $T_{RR}$  和  $V_F$  都保持了辐照后的数据, 辐照器件有良好的可靠性。

## 结 论

(1) 将未封帽的硅外延平面大电流开关二极管 2 CK 29 的阳极面用能量为 1.2 MeV、注量为  $3\sim5\times10^{14}e/cm^2$  的电子束照射, 可以使 2 CK 29 的反向恢复时间减至原来的 1/4~1/8, 而正向压降维持在正常范围之内。(2) 电子辐照具有工艺简单, 处理速度快、成品率高的优点, 可以在硅外延平面大电流开关二极管的制造中应用。

## 参 考 文 献

- [1] Sorab K. Ghandhi 著, 张光华, 钟士谦译, 功率半导体器件工作原理和制造工艺, 机械工业出版社, 241~242, 北京, (1982)。
- [2] J. Bourgoin M. Lannoo, Point Defects in Semiconductors II, Experimental Aspects. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York, 216-232. (1983)。
- [3] W. E. Horne 著, 微观译, 辐射对电子元件的影响, 国防工业出版社, 9-11, 北京, (1974)。
- [4] Y. E. Sun. 上海半导体, 1, 74(1980)。

(稿件收到日期: 1986 年 11 月 17 日)

## DECREASING REVERSE RECOVERY TIME OF A SILICON EPITAXIAL HIGH CURRENT SWITCHING DIODE BY ELECTRON IRRADIATION

Tian Ruchao Wang Yuanzhi Guo Yi Ning Yan

(Technical Physics Institute of Heilongjiang Province Academy. Harbin)

Lu Minghui Wu Shufang

(Harbin Transistor Factory)

**ABSTRACT** The reverse recovery time of a silicon epitaxial high current diode with  $p^+nn^+$  type is substantially reduced by irradiation with 1.2 MeV electrons, while the forward voltage drop of the device is maintained within nominal ranges. The pre-

(下转第61页)

- [10] 徐永高等, 原子能科学技术, 8, 967 (1964)。  
[11] 方杰, 核技术, 2, 53~56 (1981)。  
[12] F. H. 阿蒂克斯, 辐射剂量学, 第1卷, 133~140, 原子能出版社, (1981)。  
[13] 中国科学院工程力学所,  $\gamma$ 射线屏蔽参数手册, 88~94, 原子能出版社 (1976)。

(稿件收到日期: 1987年1月20日)

## ESTIMATION OF ABSORBED DOSE IN RADIATION RESEARCH

Zheng Zheng Fang Jie\* Dai Honggui Tang Zhangxiong\*\* Xia Zhongchuan

(Institute of Atomic Energy, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014)

**ABSTRACT** Several questions concerning absorbed dose have been studied. The mass energy-absorption coefficients  $U_{en}/\rho$  for some traditional mixtures are reported, the linear relations between the H percent of animals, plants and other organic materials and their  $U_{en}/\rho$  values are found out, it's correlation coefficient  $r$  is 0.9999, for the above materials, the element composition of ash are analyzed and their  $U_{en}/\rho$  are tabulated, their equivalent has been studied, finally, the restriction on  $\frac{D_1}{D_2} = \frac{(\mu_{en}/\rho)_1}{(\mu_{en}/\rho)_2}$  are discussed.

**KEYWORDS** Radiati; Absorbed Dose; H Percent; Mass Energy-absorption coefficient ( $\mu_{en}/\rho$ ).

(上接第56页)

sent process technology is provided by positioning the diode semiconductor having soldered joint to the holder but still unsealed with the cap with the major surface adjoining the anode region of the device for exposure to a radiation source, and thereafter the device is irradiated by electrons at room temprature. The electron flux is about  $5 \times 10^{13}$  to  $9 \times 10^{14} e^-/cm^2$  and most desirably about  $3 \sim 5 \times 10^{14} e^-/cm^2$ . The electrical characteristics of the device were measured before and after irradiation. The irradiated devices sealed with the cap were stored at  $150^\circ C$  and were tested electrically for a period of 240 hours. The irradiated devices have good characteristics. Now the present process technology have introduced into production.

**KEY WORDS** Electron irradiation; Sillicon epitaxial switching diode; Reverse Recovery time; Forward voltage drop.

\*Nanjing University

\*\*Institute of Atomic Energy, Chinese Academy of Agricultural Sciences