

不同结构的二极管电子辐照效应

李泉凤 王甲绪*

(清华大学, 北京 100084)

摘要 叙述了不同结构二极管对电子辐照产生的效应和不同辐照方法产生的结果。据此可考虑选择相应的加工工艺。

关键词 反向恢复时间, 辐射损伤系数, 正向压降, 最高反向工作电压

目前工业生产的二极管, 一种是用硅胶做绝缘膜, 一种是玻璃钝化的二极管。实验研究表明, 经电子辐照后玻璃钝化二极管具有较大的辐射损伤系数, 反向恢复时间下降很快, 但正向压降变化不大, 说明利用电子辐照减小反向恢复时间很有效。本文研究了玻璃钝化二极管的反向工作电压随着电子辐照剂量的增加不是单调的下降这种特有的现象, 以便综合考虑几种参数的最佳指标, 提供了可以加大辐照剂量的可能性。同时研究了大剂量和小剂量连续辐照对二极管参数不同的影响, 论证了在小面积托盘上连续进行电子辐照, 二极管发热, 具有边退火边辐照的作用, 说明加温辐照的二极管性能较好。

1. 两种结构二极管的电子辐照实验结果对比

样品 H 表示 PN 结外用硅胶做绝缘膜的二极管样品, G 表示用 SiO_2 (玻璃钝化) 做绝缘膜的二极管, 玻璃钝化的绝缘膜大大地降低了二极管的表面漏电流, 提高了二极管的击穿电压。

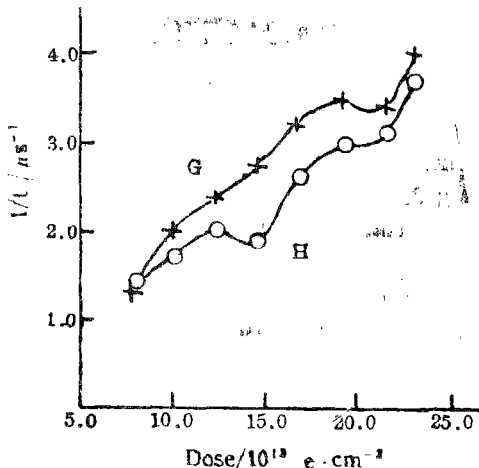


Fig 1. Relation of Reverse recovery time versus irradiated dose for blunted diodes (G) by glass (H) by non-glass

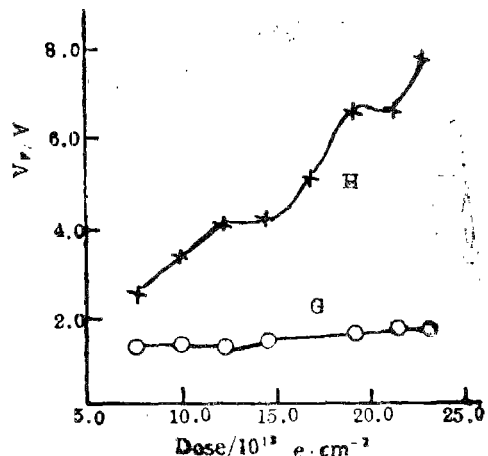


Fig 2. Relation of forward voltage drop versus irradiated dose for blunted diodes (G) by glass (H) by non-glass

* 现在太原剂量防护研究院工作

收稿日期: 1992-05-15

利用电子直线加速器,同时对H和G类型的二极管样品进行电子辐照实验各类型,分五组,每组五支辐照电子能量 $E = 9.7 \text{ MeV}$,束流强度 $I = 30 \mu\text{A}$,剂量率 $R = 3.63 \times 10^{11} \text{ e/cm}^2 \cdot \text{s}$,辐照 10 min 。分别测试二极管的反向恢复时间 t_{rr} ,正向压降 U_F 与电子辐照剂量的关系,两种结构二极管各组的测试数据关系一致,图1和图2是其中所测试的部分数据所作的曲线。

由图1可以看出玻璃钝化二极管具有较大的辐射损伤系数,在同样的电子辐照剂量下,其反向恢复时间下降得比非钝化二极管的快;从图2可以看出玻璃钝化二极管在辐照过程随着剂量加大,正向压降仅有很小的上升,说明该管抗辐照能力强,而非玻璃钝化的二极管的正向压降随剂量加大明显上升,所以一般不宜进行辐照改性的工艺加工过程。

2. 电子辐照对二极管最高反向工作电压的影响

最高反向工作电压是指在一定反向电流条件下,二极管可能承受的最大工作电压。二极管进行电子辐照主要是为了减少二极管的反向恢复时间,但必须保证辐照后具有足够高的反向工作电压,因此在辐照过程中首先要测试最高反向工作电压与电子辐照剂量的关系,选择合适剂量,使辐照后的各项技术性能指标符合规定要求。

利用工厂提供的RGP 25二极管做样品。同样以五支一组,分五组在上述电子辐照的条件下进行实验。辐照后,在反向漏电流 $I_r = 0.1 \mu\text{A}$ 条件下,对所有样品进行测试,发现部分样品在电子辐照过程最高反向电压基本不变,而有一部分二极管在辐照剂量不大时,反向电压已下降,但再继续辐照,反向工作电压又可恢复到要求值。

反向工作电压下降与电子辐照剂量关系并不是单调的直线下降,它存在几个峰值。图3中,辐照剂量为 $12.31 \times 10^{15} \text{ e/cm}^2$ 时,反向工作电压为 1017 V 。而 $15.38 \times 10^{15} \text{ e/cm}^2$ 时,反向工作电压回升到 1200 V 。这种现象正好满足工作需要,辐照剂量大,反向恢复时间更小,反向工作电压又满足要求,这样就提高了二极管的工作性能。

从简单分析知道,玻璃钝化二极管与普通二极管的不同之处在于玻璃钝化二极管内存在着Si/SiO₂界面态,在里面存在着许多晶体缺陷和未饱和的硅悬键,辐照后会产生大量的界面态,这些界面态起着复合中心的作用,因此器件总的缺陷产生率高。所以,在电子辐照时,反向恢复时间随剂量增加而减少,采用SiO₂绝缘膜大大降低了表面漏电流,所以,正向压降随电子辐照剂量增加变化不大,反向工作电压又可以找到一个最佳的折衷参数,因此,利用电子辐照工艺提高二极管的特性是一种简便有效的途径。

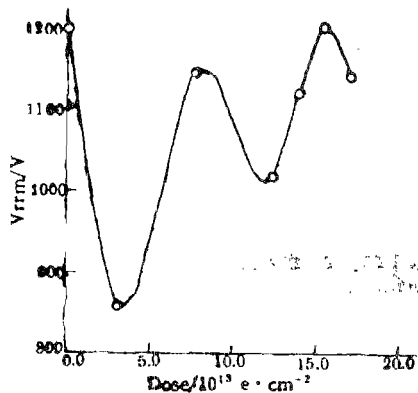


Fig 3. Relation of maximum reverse operating voltage versus irradiated dose for RGP 25 k diodes

3. 集中剂量与小剂量连续照射

把二极管RGP 25 K分两批,一小部分放在托盘($60 \times 16 \text{ cm}^2$)上,大批的放在滚筒上($R = 50 \text{ cm}$,宽度 60 cm ,慢速转动,辐照面积为 $314 \times 60 \text{ cm}^2$)按同样方式均匀厚度排开,进行电子辐照,托盘上的二极管辐照 12 min ,绝大部分二极管性能经测试合格,反向恢复时间由 $9 \mu\text{s}$ 下降到 $0.35 \sim 0.42 \mu\text{s}$ 。反向工作电压保持在 1200 V 左右,满足要求,二极管刚照完时测试温度达 $70 \sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

在滚筒的二极管辐照的电子流密度是在托

盘上辐照时的电子密度的 $1/19.6$ ，在辐照 1 h 后，二极管的反向恢复时间由 $0.9 \mu\text{s}$ 降到 $0.7 \mu\text{s}$ 左右，反向电压降到了 $500\text{--}600 \text{ V}$ ，辐照后温度与室温差不多。再继续进行辐照，直到反向恢复时间降到 $0.40 \mu\text{s}$ 以下，温度比室温略高，大部分二极管的反向工作电压有所回升，但仍不满足要求。辐照后的二极管放入烘箱中 10 min，在 120°C 温度下进行退火处理，大部分二极管性能恢复到所要求的指标，随机取出辐照后的二极管做为样品进行测试，退火前后的最高反向工作电压列于表 1。

Tab 1. Annealing property of the diodes on roller after irradiation

$t_{rr}/\mu\text{s}$	Before annealing		After annealing	
	V_{rrm}/V		$t_{rr}/\mu\text{s}$	V_{rrm}/V
0.32	1100		0.35	1200
0.38	600		0.42	1200
0.40	500		0.41	900
0.39	800		0.43	1100
0.41	800		0.41	1200

由两种辐照方式表明，集中剂量连续辐照下，具有退火作用，二极管处在边辐照边进行退火状态，不必专门进行退火工艺，二极管的各项指标在辐照后即可满足要求。而大面积照射下，则需经过专门退火处理，才能在满足反向恢复时间下使反向工作电压恢复到所要求的指标。

参 考 文 献

- 1 Cralson R O, Sun Y S. IEEE Trans. Electron Devices, 8, August 1977, ED-24: 1103
- 2 唐方元等. 二极管电子辐照及其开关速度的控制, 全国加速器工业辐照技术与应用交流会文集 (下册), 1986, 2

THE ELECTRON IRRADIATION EFFECTS IN DIFFERENT STRUCTURES OF DIODES

Li Quanfen, Wang Jiayu
(Tsinghua University, Beijing 100084)

ABSTRACT This paper describes the different electron irradiation effects in different structures of diodes and the different results produced by different irradiation ways. From this work, we can know how to choose proper manufacture arts and comprehensive factors according to the structures of diodes and the irradiation conditions.

KEYWORDS Reverse recovery time, Radiation damage coefficient, Forward voltage drop, Maximum reverse operating voltage