

12 MeV 电子束辐照改善双向晶 闸管特性参数的研究

赵善麒 李天望 贾 林

(吉林大学电子工程系, 长春 130061)

郑景春 夏吉夫 宋泽令

(国营七七七厂, 锦州 121001)

摘要 用 12 MeV 电子束对 200 A 双向晶闸管进行三种不同方式辐照, 并对辐照前后双向晶闸管的主要参数进行了测试。实验结果表明, 12 MeV 电子束辐照可以明显改善双向晶闸管的换向能力, 而且根据对器件参数的不同要求, 可以选择不同辐照方式, 使器件各电学参数达到最佳。为了保证器件能够长期稳定工作, 辐照后在 200℃ 下进行 2—4 h 退火。

关键词 电子束辐照, 双向晶闸管, 换向能力, 电学参数

近几年来, 电子束辐照在电力电子器件中作为利用重金属杂质高温扩散控制少子寿命的替代技术已变得越来越重要了。用 1—12 MeV 能量的高速电子束轰击硅单晶, 可以成功地引入复合中心, 有效并精确地控制硅器件的少子寿命, 因此被广泛应用于快速开关型电力电子器件的生产中^[1-4]。Schafer^[5]首先将这一技术用于双向晶闸管, 用 1.0 MeV 电子束对器件的隔离区进行辐照, 改善了器件的换向能力, 但所用能量较低, 轰击形成的缺陷不能作为永久性的复合中心, 器件长期工作稳定性差。Carlson 等人^[6]对扩金, 扩铂, 不同能量电子束辐照和 γ 辐照的器件的性能进行比较后指出, 经过 12 MeV 电子束辐照的器件各电学参数最佳, 并具有很好的稳定性。本文用 12 MeV 电子束对 200 A 双向晶闸管进行了不同方式辐照以期改善双向晶闸管的电学性能。

1 实 验 方 法

1.1 辐照装置

利用中国原子能研究院 42 室于 1988 年研制成功的 12 MeV 电子束加速器作为辐照装置。

1.2 辐照方法

采用 12 MeV 电子束对 200 A 双向晶闸管(如图 1 所示)进行三种不同方式的辐照, 即全域辐照(Whole Region Irradiation), 隔离区辐照(Intermediate Strip Irradiation), 门极区辐照(Gate Region Irradiation)。全域辐照是将器件完全暴露在电子束之下, 使电子束能够照射到器件的每一部分; 隔离区照射是将器件的其它部分掩蔽, 只对隔离区照射; 门极区辐照是仅对门极区进行照

射。所用掩蔽物是 10 mm 厚的铅压块。

1.3 参数测量

参数测试在辽宁电力电子产品检测中心进行。首先测试辐照前和辐照后器件的正、反向不重复峰值电压 V_{DSM} , V_{RSM} 和漏电流 I_{DS} , I_{RS} , 触发电流, 通态压降 V_{Tm} 及换向 dV/dt , di/dt 的值等各参数。

2 结 果 与 讨 论

2.1 辐照对少子寿命的影响

高能电子束辐照硅单晶后, 使硅原子离开正常的晶格位置, 形成空位和间隙, 当这些缺陷的能级位于禁带中时, 就形成复合中心。一般来说, 辐照剂量越大, 产生的缺陷越多, 形成的复合中心也就越多, 从而少子寿命越低。少子寿命与辐照剂量之间有以下关系式^[7]:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_0} + K\phi_n \tag{1}$$

式中 τ_0 、 τ 分别为辐照前后的少子寿命, K 为辐照损伤系数, ϕ_n 为辐照剂量。图 2 给出了双向晶闸管经过全域照射后, 其长基区(n_b 区)内少子寿命 τ_p 与辐照剂量 ϕ_n 的关系曲线。随着辐照剂量的增加, 少子寿命不断缩短, 但当辐照剂量增大到一定值后, 少子寿命变化很小, 并趋于平缓。

2.2 三种辐照方式的比较

表 1 列出了以三种不同的照射方式辐照前后主要电学参数的平均变化值。从表中可以看出, 辐照后各参数的变化趋势都相同, 即阻断电压升高。通态峰值压降和触发电流增大, 漏电流减小, 换向能力明显提高, 这三种照射方式中, 以全域照射的变化值最大, 隔离区照射次之, 门极区照射最小。

对双向晶闸管, 换向 dV/dt 是一个重要的参数, 其表达式^[8]如下:

$$(dV/dt)_c = (dV/dt)_s - \frac{\tau_p(-di/dt)_c e^{-d/L_{p,d}}}{C_j \times 10^6} \tag{2}$$

式中 $(dV/dt)_s$ 为断态临界电压上升率, τ_p 为长基区少子寿命, C_j 为中心结电容, $(di/dt)_c$ 为换向临界电流上升率, d 为隔离区宽度, $L_{p,d}$ 为隔离区内少子扩散长度, 其值为 $L_{p,d} = \sqrt{D_{p,d} \tau_{p,d}}$, $D_{p,d}$ 为隔离区内的少子扩散系数, $\tau_{p,d}$ 为隔离区内少子寿命。可见, 辐照后少子寿命减小, 而导致换向能力提高。图 3 给出了三种不同的辐照方式下 $(dV/dt)_c$ 随辐照剂量 ϕ_n 的变化曲线, 随着

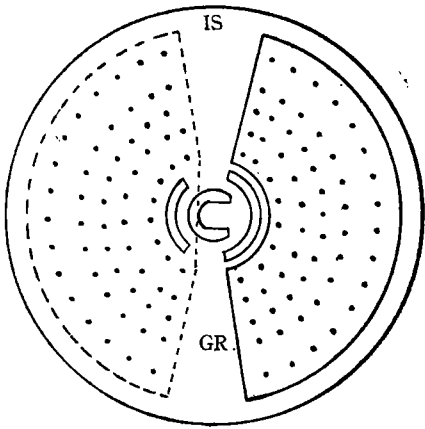


Fig 1. Top view of a 200 A triac

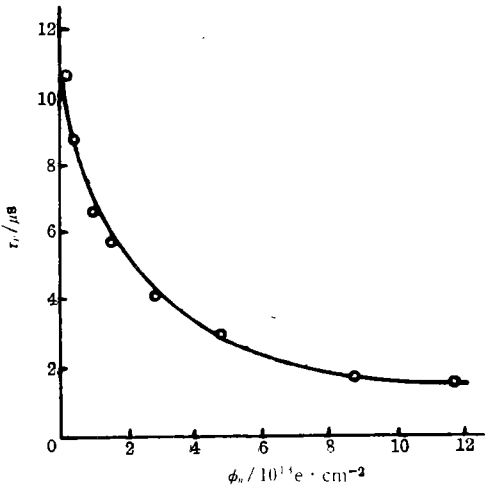


Fig 2. Minority lifetime τ_p changes with irradiation dose ϕ_n of electron beam

Tab 1. Average values of difference of some major parameters of 200 A triacs before and after irradiation

Parameters	Irradiation ways		
	Whole region	Intermediate strip	Gate region
$(V_{DSM}/I_{DS})/V \cdot mA^{-1}$	150/ 0.125	120/ 0.01	60/ 0.028
$(V_{RSM}/I_{RS})/V \cdot mA^{-1}$	105/ 0.178	90/ 0.039	60/ 0.019
I_G/mA I +	11.3	3.5	2.8
I -	14.3	12.6	5.8
III -	194.5	136.4	117.2
V_{Tm}/V I	0.278	0.074	0.0095
III	0.297	0.109	0.0083
$(dV/dt)/V \cdot \mu s^{-1}$	131.3	87.4	81.2
$(di/dt)/A \cdot \mu s^{-1}$	14.2	6.4	4.9

I_{SD} , I_{RS} are average values, “-” means decrease

ϕ_n 的增加, $(dV/dt)_c$ 不断提高, 当 ϕ_n 增大到一定值后, $(dV/dt)_c$ 变化趋于平缓, 这是因为此时辐射区域长基区少子寿命随着 ϕ_n 的增加而趋于平缓。

以上实验结果说明, 电子束辐照技术能够改善双向晶闸管的换向能力, 而且就其效果而言,

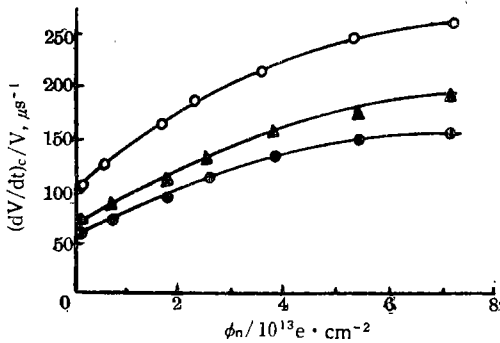


Fig 3. Commutating dV/dt versus irradiation dose ϕ_n of electron beam
(○) Whole region irradiation
(▲) Intermediate strip irradiation
(●) Gate region irradiation

全域照射最好, 隔离区照射次之, 门极区照射略差于隔离区照射, 但全域照射使Ⅲ-触发电流和峰值压降的增加较其它两种方式显著。对于那些辐照前触发电流较大, 通态压降较高的器件, 全域照射后这两项参数容易超标。隔离区和门极区照射虽然对换向能力的改善程度不及前者, 但它们对Ⅲ-触发电流和 V_{Tm} 的影响要好于前者。因此, 将电子束辐照工艺用于双向晶闸管的生产中, 要全面考虑选择最佳的照射方式和照射剂量。

2.3 退火

为了使辐照后的器件能够长期稳定工作, 并使触发电流和通态压降有所恢复, 在辐照后, 对器件进行 200℃ 下 2—4 h 退火处理, 退

火前后器件的各项参数如表 2。从表中可以看出, 经过 200℃ 退火, 器件的阻断电压及漏电流基本不变, $(dV/dt)_c$ 和 $(di/dt)_c$ 略有下降, 但Ⅲ-触发电流却有大幅度的减小, 通态压降也有所降低, 这是因为退火使器件中的有效复合中心浓度有所降低, 导致少子寿命稍有增大, 从而引起器件参数的变化。因此辐照后经过退火, 能够保证器件工作稳定和各参数的改善。

Tab 2. Parameters of the devices before and after annealing

Device number	Annealing	V_{DSM}/I_{DS}	V_{RSM}/I_{RS}	I_g/mA			V_{TM}/V (dV/dt) _o (di/dt) _o			
		/V·mA ⁻¹	/V·mA ⁻¹	I +	I -	Ⅲ -	I	Ⅲ	/V·μs ⁻¹	/A·μs ⁻¹
9-11-1	before annealing	1500/ 0.02	1680/ 0.01	68	65	173	1.272	1.282	125	38.2
	after annealing	1500/ 0.02	1680/ 0.01	66	61	155	1.211	1.275	136.4	33.6
9-11-9	before annealing	1620/ 0.02	1620/ 0.03	57	63	320	1.161	1.168	136.4	35
	after annealing	1620/ 0.02	1620/ 0.02	54	57	275	1.122	1.146	125	28
9-11-25	before annealing	1620/ 0.02	1440/ 0.13	56	46	107	1.458	1.503	125	15.3
	after annealing	1620/ 0.02	1440/ 0.13	50	45	99	1.263	1.490	115.4	15.3
9-11-20	before annealing	1680/ 0.03	1680/ 0.22	56	79	231	1.242	1.242	150	32.3
	after annealing	1680/ 0.03	1680/ 0.22	57	74	206	1.211	1.244	136.4	30.2
3-1-8	before annealing	1620/ 0.03	1740/ 0.01	53	45	293	1.515	1.631	187.5	15.3
	after annealing	1680/ 0.03	1740/ 0.01	57	45	233	1.448	1.599	187.5	11.2
3-1-11	before annealing	1620/ 0.04	1740/ 0.01	54	43	281	1.573	1.852	166.7	12.9
	after annealing	1620/ 0.05	1740/ 0.01	53	46	221	1.525	1.818	187.5	11.2

综上所述，用 12 MeV 电子束辐照 200A 双向晶闸管，根据器件的参数，选择适当的辐照方式和辐照剂量，并在辐照后进行退火处理，可以得到性能优越的双向晶闸管。

致谢：中国原子能科学研究院的陈桂成、徐芬娟、屈宝明、陈金康和王福义同志在辐射实验中给予了热情的帮助，在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

1 Baliga B J, Sun H. IEEE Trans. Electron Dev., 1977, 24,685
2 Hallen A, Bakowshi M. Solid State Electron. 1989, 32(11):1033
3 Fuochi P G et al. 19 th European State Devices Research Conference(ESSDERC), Berlin, West Germany, 1989,539
4 Chu C K et al. IAS Annual Meeting, 1978,1000
5 Schafer H. IAS Annual Meeting, 1978,1019
6 Calson R O et al. IEEE Trans. Electron Dev., 1977, 24(8):1103
7 Hum R H, Barry A L. IEEE Trans. Nucl. Sci, 1975, 22(6):2482
8 赵善麒.吉林大学博士学位论文, 1991,11

STUDIES ON CHARACTERISTICS OF A TRIAC IRRADIATED BY 12 MeV ELECTRON BEAM

Zhao Shanqi Li Tianwang Jia Lin

(*Department of Electronic Engineering, Jilin
University, Changchun 130061*)

Zheng Jingchun Xia Jifu Song Zeling

(*State-Run No. 777 Factory, Jinzhou 121001*)

ABSTRACT A 200 A triac was irradiated by electrons beams with 12 MeV in three different ways, and the major parameters of the triac were measured before and after irradiation. The experimental results show that the commutating capability of the triac can be effectively improved by the method. Further more, we can make the electronic parameters of the triac more perfect by using different ways of irradiation. In order to ensure working steadiness of the triac for a long time, an annealing time should be prolonged for 2 to 4 hours at 200°C after irradiation.

KEYWORDS Electron beam irradiation, Triac, Commutating capability,
Electronic parameter