

电子束对半导体器件的辐照

王 德 仁

(上海化学工业研究院)

摘要 用电子束辐照半导体器件使器件内产生复合中心,从而达到控制器件的某些参数。本文就辐照技术,辐照产生缺陷的性质,对器件辐照效果,辐照能力和成本予以叙述。与扩金工艺比较,电子辐照是一种产率高,成本低,控制性好的新工艺。

关键词 电子辐照; 缺陷; 器件参数; 辐照能力; 成本。

辐照装置及流程

辐照半导体器件的装置如图1。多数用扫描束移动辐照。也可静止辐照和局部屏蔽辐照,如对KS器件的辐照。电子束能量为1.3 (MeV),流强40~80 μA 。辐照流程如图2。辐照过程由工业电视机监视。并有束流和移动速度监测。辐照电子注量的公式为:

$$\phi = \frac{6.25 It \times 10^{12}}{bl} = \frac{6.25 Q \times 10^{12}}{bl} = \frac{6.25 ln \times 10^{12}}{bv} \quad (1)$$

式中 I 为束流(μA); t 为辐照时间(s); b 为扫描宽度(cm); l 为(py)装置行程(cm); Q 为束流积分仪读数(μC); n 为移动次数; v 为移动速度(cm/s)。公式(1)表明电子注量的三种控制方法。当公式含有 t 时,是计时控制,有 Q 时为积分控制,有 n 时为计数控制。

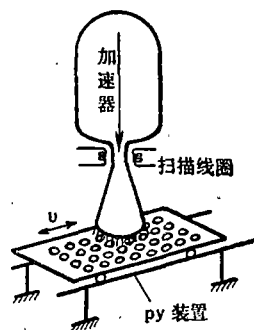


图1 辐照半导体器件装置

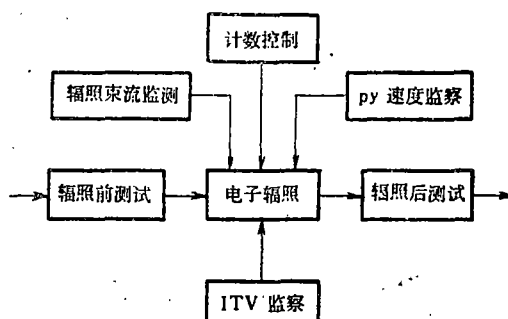


图2 电子辐照半导体器件流程

辐照结果及讨论

1. 辐照注量对少子寿命的影响

由 n 型区熔硅(电阻率 $50 \Omega \cdot \text{cm}$)制成的两极管,经电子辐照后其少子寿命(反向恢复法测量)与注量的关系如图3。 τ - ϕ 曲线表明寿命 τ 随注量 ϕ 的增加而减小,开始变化快,以后变化缓慢

曲线会聚说明 τ_0 不同的器件辐照后趋向一致；且用不同束流辐照、只要总注量相同，少子寿命

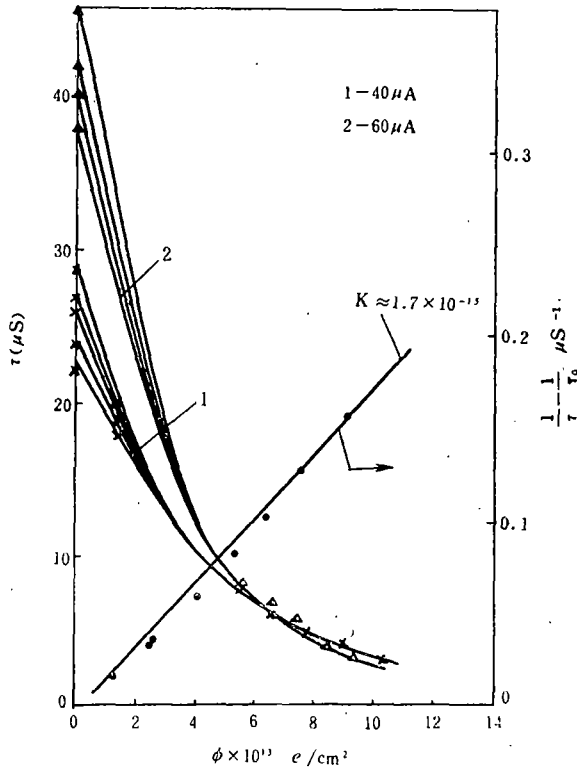


图 3 $\left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_0}\right) \sim \phi$ 曲线

亦相同。由 $\left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_0}\right) \sim \phi$ 关系为直线得：

$$\frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_0} = k\phi \quad (2)$$

式(2)称为少子寿命方程， K 为辐射损伤系数， $\text{cm}^2\mu\text{s}^{-1}$ 。与材料，工艺，温度，能量等因素有关^[2]。当 ϕ 相当大时， τ_0 的贡献小，方程可简化为：

$$\frac{1}{\tau} = k\phi \quad (3)$$

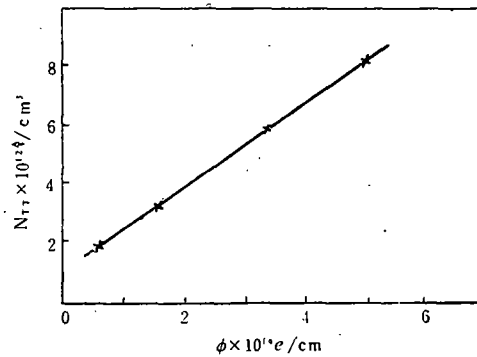


图 4 双空位浓度与剂量的关系

2. 电子辐照缺陷的性质^[3~6]

电子辐照在硅中产生的缺陷与材料的杂质密切相关。我们对直拉单晶的辐照，产生的缺陷有氧空位，双空位等。该两种缺陷都对少子寿命起作用。但双空位浓度很低，氧空位浓度高起主要作用。由于氧空位在 200°C 发生退火，因此电子辐照直拉单晶的器件参数不稳定。区熔单晶含氧量低，电子辐照产生的缺陷主要是双空，其能级为 $\text{Ec}-0.43\text{ eV}$ ，在长时间 200°C 下不发生退火。因而器件性能稳定。试验表明双空位浓度与电子注量成线性关系，见图(4)。随着电子注量的增加，双空位浓度增加，少子寿命降低。这就是说，电子辐照区熔硅，产生双空位复合中心，使器件少子寿命降低。由于能级 $\text{Ec}-0.43\text{ eV}$ 比杂质金能级 $\text{Ec}-0.54\text{ eV}$ 离禁带中心远，使辐照器件漏电流比扩金器件小。而正向压降略高。

3. 对 ZK 器件的辐照

ZK 器件又称快速二极管，电子辐照可控制其反向恢复时间(见表 1)。用电子辐照制得的两极管高温漏电流小。温度特性比扩金器件提高 40°C ^[6]。见图 5。

表 1 ZK-200 辐照前后反向恢复时间 t_{rr} 的变化

编 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{rr0}, (\mu\text{s})$	47	38	43	40	57	45	58	25	53	41
$t_{rr\phi} (\mu\text{s})$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

表 2 KK-200 辐照前后关断时间的变化

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{g0}(\mu s)$	58	52	41	51	51	54	49	60	40	54
$t_{g\phi}(\mu s)$	21	21	18	19	17	17	17	21	21	19

表 3 电子辐照与扩金工艺比较

名 称	电 子 辐 照	扩 金 工 艺
工 序	放硅芯—辐照—取出	喷砂—超声洗—王水煮—去离子水煮—超声 去离子水洗—烘干—滴金—扩散—聚冷
分 布	均 匀	自然分布
控 制	可用仪表精确控制	控制困难
工艺卫生	在制成器件后辐照不会沾污	要有特别清洁措施
漏 电 流	0.1~1.6 mA	2—3 mA
局部控制	可局部辐照	局部扩金困难
成 品 率	>105%	以扩金工艺成品率为 100%
单机处理能力 个/年	10^6	10^4
能 耗	<7wH/个	>50wH/个
成 本	大生产时 0.033 元/个	>0.7 元/个
周 期	1 天	10 天
三 废	无	有废砂废液
投 资	30 万元	10 万元

4. 对 KK-200 快速晶闸管的批量辐照

晶闸管的关断时间与少子寿命的关系为:

$$tg = \tau \ln \frac{I_T}{I_H}$$

式中 τ 为少子寿命(μs); I_T 为通态电流(A); I_H 为维持电流(A)。由公式可知, 电子辐照能控制关断时间(见表 2)。电子辐照与扩金工艺比较(见表 3)。

5. 对 KS 器件的辐照

KS 器件是一种双间晶闸管, 常规生产的 KS 器件换向能力低。在两反并联晶闸管的分界区, 进行高注量辐照, 形成捕获载流子隔离区(图

6), 防止载流子相互扩散, 提高了换向的可靠性。换向能力 $\left(\frac{dv}{dt}\right)$ 与注量的关系见图(7)。

6. 对 KG 器件的辐照

KG 器件又称控制极可关断晶闸管。这类器件对门极电流要求精确和一致, 因为它是由几十个

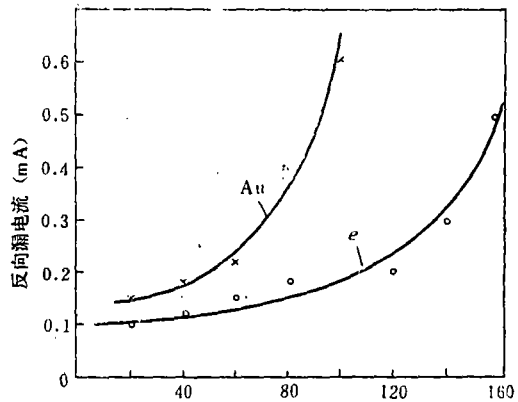


图 5 扩金和电子辐照 ZK 器件漏电温度曲线

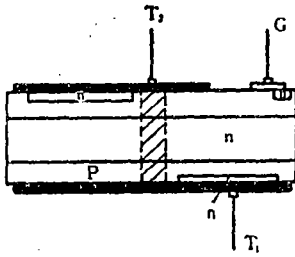


图6 具有陷阱的双向晶闸管

小的可控硅并联组成。电子辐照能控制其所需的门极电流。门极电流与电子注量的关系见图(8)。

7. 对CMOS集成电路的辐照

CMOS电路是一种表面器件，电路中许多pn结形成纵向，横向寄生晶体，当 $\beta_{npn} \cdot \beta_{pnp} > 1$ 时，电路不能正常工作。电子辐照形成复合中心，使这些晶体管的 β 值降低见表2。扩金也能降低 β ，但只对横向晶体管有效，因扩金只能在浅表层，且漏电流大。用电子束辐照由于电子束能量高，能在深部形成复合中心，因而对两种晶体管都有效。且高温漏电流小。经辐照的CMOS器件通过85℃1000小时满功率试验和175℃500小时贮存试验证明性能稳定。

表4 CMOS电路辐照前后寄生晶体管 β 值的变化

β_0/β_ϕ (e/cm^2)	纵向晶体管(npn)				横向晶体管(pnp)				
	$\bar{\beta}_5$	$\bar{\beta}_8$	$\bar{\beta}_9$	$\bar{\beta}_{12}$	$\bar{\beta}_1$	$\bar{\beta}_2$	$\bar{\beta}_{11}$	$\bar{\beta}_{12}$	$\bar{\beta}_{13}$
1×10^{14}	106/105	14/15	—	107/107	0.084/0.027	0.16/0.055	0.083/0.041	0.077/0.038	0.054/0.027
3×10^{14}	123/66	19/14	34/18	87/52	0.10/0.013	0.17/0.028	0.10/0.022	0.092/0.024	0.061/0.018

电子束辐照半导体器件的能力及成本

以辐照KK-200为例，KK-200硅芯直径为29mm，在py装置100×30cm的均匀区内完全布满。一次可放330个。考虑一定安全因素，每次按250个计，用80μA辐照8min达到所需的注量， $7.5 \times 10^{13} e/cm^2$ 。按每小时进行4次辐照，则为1000个/小时，全年按1500小时计则为 1.5×10^6 个。这对辐照ZK，CMOS等器件都能达到这个水平。

辐照成本与加速器费用和辐照量有关。加速器全年费用5万元(包括折旧3万，维修费2万)。辐照成本与处理量的关系见表5。由表5知，电子辐照用于大生产时，成本很低。因此，加速器按装在器件制造的总厂专业公司或辐照中心，才有较高的经济效益。成本曲线如图9。

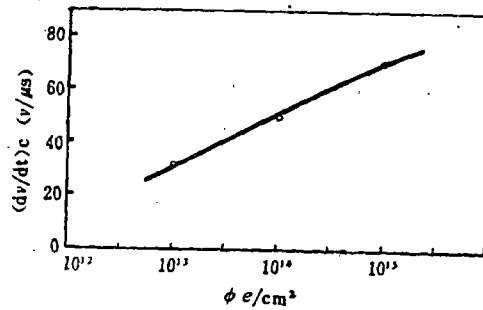
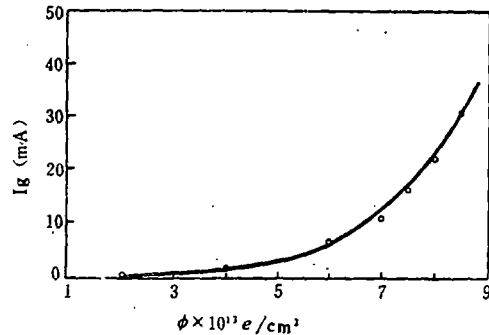
图7 KS器件 $\left(\frac{dv}{dt}\right)_c$ 与注量的关系

图8 KG器件门极电流与注量的关系

表 5 处理量与占加速器工作时间比及辐照成本关系

全年费用五万元	年处理量(个)	10^4	5×10^4	10^5	5×10^5	10^6	1.5×10^6
	占加速器工作时间比	1/150	1/30	1/15	1/3	2/3	1/1
	单件成本(元/个)	5	1	0.5	0.1	0.05	0.033

KK-200 扩金单件成本 0.7~1.0 元/个

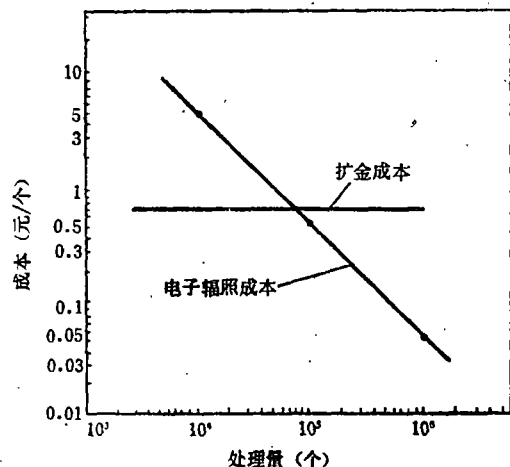


图 9 处理成本曲线

结 束 语

用加速电子辐照半导体器件, 是一种控制器件寿命参数的新工艺。是辐射加工的一个新的重要领域。其优点是效率高, 成本低, 控制精确。

参 考 文 献

- [1] U. S. P, 3809582.
- [2] Y. E. Sun, *Lifetime Control in Semiconductor Devices By Electron*, IAS 77 Annual 448~455, (1977).
- [3] 盛麓, 陈巧珍, 孙恒慧, 张增光, 电子辐照产生的缺陷及其退火特性, 电力电子技术, 3, 30(1983).
- [4] L. C. Kimerling, *Radiation Effects in Semiconductors*, Institute of physics, Conference series number 31, p 221~230, (1976),
- [5] A. O. Evwaraye, *Edmund Sun, Jaurnal of Applied physics*, 147(9), 3776(1976).
- [6] A. O. Evwaraye, B. J. Baliga, *J. Electrochem Soc.*, 124(6), 913(1977).
- [7] 戴云林, 金文娟, 电子辐照整流二极管的高温特性, 电力电子技术, 3, 26(1982).

(1983年1月31日收到)

ELECTRON BEAM IRRADIATION OF SEMICONDUCTOR DEVICES

Wang Deren

(Shanghai Research Institute of Chemical Industry)

ABSTRACT The electron beam irradiation produces recombined centers in semiconductor, which may control some parameters of the device. In this paper the irradiation technique, defect character and radiation effect in the devices, irradiation ability and cost were described. Compared with diffused gold, the electron beam irradiation possesses larger productivity, lower cost and controllability of device parameter.

KEY WORDS Electron beam irradiation; Defect; Device parameter; Irradiation ability; Cost.