

# 12MeV 电子辐照技术在半导体器件中的应用\*

杭德生

(南京大学物理系 南京 210008)

**摘要** 本文较全面地介绍了高能 12MeV 电子辐照技术的原理、方法、特点以及在快速二极管、开关晶体管、快速可控硅中成功的应用。

**关键词** 高能电子, 快速二极管, 开关晶体管, 快速可控硅, 少子寿命。

## 1 引言

采用电子辐照技术控制半导体器件少子寿命的研究,在国外颇为活跃<sup>[1]</sup>。我国自 80 年代初开展对半导体器件研究以来,取得了一些进展。由于辐照能量低,辐照后在器件中形成的电子能级尚不够稳定,影响了器件参数的稳定性<sup>[2]</sup>,严重地阻碍了这一高新技术的推广和应用。

我们采用南大加速器研究所高能 12MeV 电子对快速二极管、开关晶体管、快速可控硅等器件辐照以来,取得了令人满意的结果<sup>[3~6]</sup>。研究应用结果表明:12MeV 电子辐照器件取代掺金工艺是成功的,优于低能(5MeV 以下)电子辐照,这一高新技术的推广与应用无疑是器件寿命控制和器件性能改性上的一大突破。为提高器件性能、提高经济效益开辟了可喜的途径。高能 12MeV 电子辐照器件是一项极有发展前途的工艺。它与掺金工艺与低能电子辐照器件相比有如下特点:(1)工艺可控性好,少子寿命可得到精确控制,器件参数的一致性及重复性好,成品率高,这是掺金工艺无法比拟的。特别是超快速器件采用掺金工艺是无法达到的。(2)加工简便、灵活性大。由于 12MeV 电子能量高、穿透力强可直接用于封装成形的器件,这大大简化了工艺和设计,避免了掺质工艺中的沾污,避免了低能电子辐照形成的电子能级不够稳定现象,提高了器件的稳定性。(3)辐照后器

件  $t_{rr}-V_F$ 、 $t_q-V_T$ 、 $t_s-V_{ces}$  折衷关系好,辐照效率高,这是低能辐照难以达到的。(4)器件高温性能好,克服了掺金工艺的致命弱点。(5)对掺金器件参数不合格品还可补照。同时还解决了人们最关心的辐照器件的稳定性问题<sup>[7]</sup>。

## 2 电子辐照的机理

高能电子轰击半导体器件时,可穿透管壳或芯片进入硅体内,即能产生电离效应,又能产生位移效应。由于辐照电子与物质晶格相互作用,从而形成了空穴间隙原子对,破坏了晶格的位置,这些空位将进一步与杂质或其它空位作用而形成更复杂的缺陷,如氧空位对、磷空位对等。因而在禁带中形成了新的电子能级,不同的能级将根据其在禁带中的位置,对电子空穴俘获截面的大小和能级密度的大小均对非平衡载流子的复合有贡献,从而引起少子寿命和载流子浓度的降低,结果使得快速二极管  $t_{rr}$ 、 $V_{FM}$ , 晶体管  $t_s$ 、 $V_{ces}$ , 可控硅  $t_q$ 、 $V_T$  等参数发生了变化。

## 3 半导体器件的辐照效应

对各种不同类型的二极管、晶体管、可控硅,辐照都可以引起不同的效果。

对快速(开关)二极管、开关三极管、快速可控硅等器件而言,其反向恢复时间或开关时间都随着剂量的增大而下降,正向压降、饱

\* 本文是“工业加速器及其辐照应用”国家产、学、研重点工程项目的内容之一  
本文 1994 年 2 月 15 日收到。

和压降和通态压降有所上升.

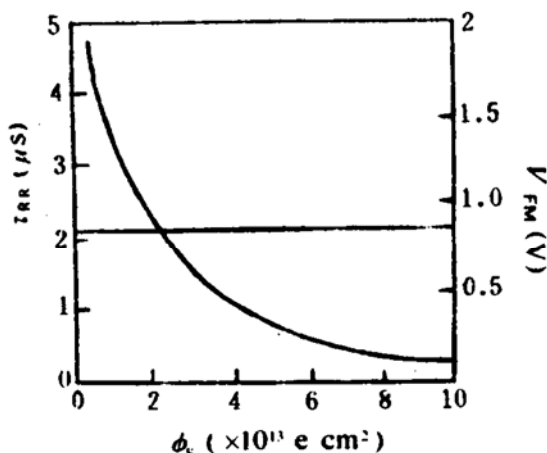


图 1 快速二极管  $t_{rr}-\phi_e$  和  $V_{FM}-\phi_e$  曲线

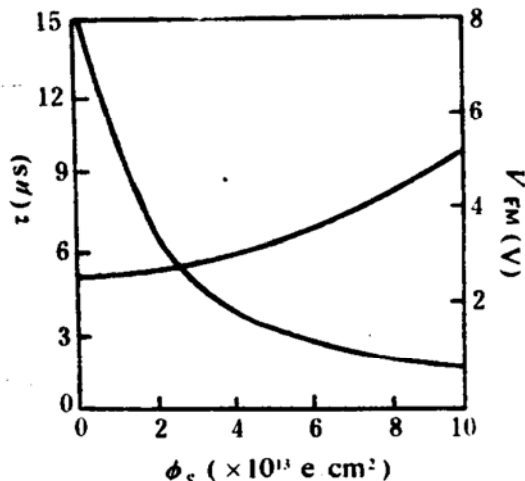


图 2 KK500A 快速可控硅  $\tau-\phi_e$  和  $V_{TM}-\phi_e$  曲线

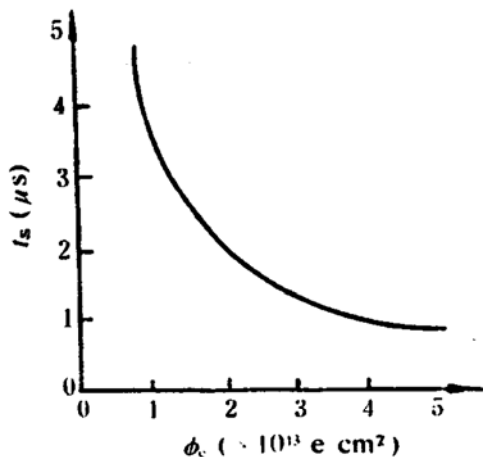


图 3 开关大功率晶体管  $t_s-\phi_e$  曲线

我们用高能 12MeV 电子束对快速二极管进行辐照研究,如图 1 所示.快速可控硅少子寿命  $\tau$ 、通态压降  $V_T$  随剂量  $\phi_e$  关系如图 2 所示.开关大功率晶体管辐照  $t_s-\phi_e$  关系曲线如图 3 所示.

### 4 半导体器件的高能电子辐照应用实例

#### 4.1 快速(高频)二极管的制造和补救

制造品种:高频整流二极管 2DG 系列、阻尼二极管 2CN 系列、提升二极管 2CS 系列、大功率快速二极管 ZK 系列、及进出口产品 FR 系列等相应的快速整流二极管.

待制品来源:除  $t_{rr}$  参数不要求外,其它相应电参数应满足快速二极管的设计要求,即采用快速二极管结构设计的普通二极管(或芯片),通过辐照,取代传统掺金、掺铂工艺来制造快速二极管,辐照后的  $t_{rr}$  可达到 ns 级.

补照产品为扩金、扩铂后  $t_{rr}$  过大的不合格品.通过补照后  $t_{rr}$  可达到合格要求.

#### 4.2 快速可控硅的制造和性能改善

制造品种:快速大中小功率可控硅,如 K K (或 3CK) 系列或双向可控硅 Ks 系列.

待制品来源:相应参数要求的普通可控硅芯片或成品管.

可控硅特性调整:(1)维持或掣住电流太小,易连通的不合格品;(2)触发电流太小,易误触发的不合格品.

#### 4.3 开关晶体管的制造和性能改善

制造品种:各类开关(高频)晶体管如 3CG、3CK、3DG、3DK 等系列.

待制品来源:符合开关管相应参数的普通晶体管或芯片.

性能改善的种类:(1)各种 HFe 超标不合格品;(2)贮存时间  $T_s$  等参数超过不合格品;

待制品来源:上述成品管或芯片.

#### 4.4 高频高压硅堆的制造

制造品种:各种高频高压硅堆,高频单粒子.待制品来源:成品普通硅堆、单粒子、硅柱.

(下转 40 页)

重碎裂的断点时差随温度增加而变短以及三二比增加的现象,可能由于液气相变或者泡利阻挡效应变弱造成的.这时核内核子更自由便于产生异形形变.

作者在此对参加本工作的贺智勇、段利敏、张保国、文万信和漆玉金等同志表示感谢.

### 参 考 文 献

- 1 Perelygin V P, et al. Nucl. Phys., 1969, A127 : 577
- 2 Guerreau D. AIP Conf. Proc. 250 Towards a Unified

- Picture of Nucl. Dynamics, Nikko Japan, 1991, 347
- 3 Bizard G, et al. Preprint, LPCC 91-10
- 4 Louvel M, et al. Preprint, LPCC 93-05
- 5 Diehl A, Greiner W. Nucl. Phys., 1974, A229 : 29
- 6 Hilscher D, et al. Phys. Rev. Lett., 1989, 62 : 1099
- 7 Hinde D J, et al. Nuclear Dynamics and Nuclear Dis-  
semble, J. B. Natowitz editor, World Scientific 1989
- 8 Haddad F, Royer G. J. Phys. G; Nucl. Part. Phys.,  
1992, 18 : L153
- 9 Dai G X. AIP Conf. Proc. 250 Towards a Unified Pic-  
ture of Nucl. Dynamics, Nikko Japan, 1991, 383
- 10 Dai G X, et al. Nucl. Phys., 1994, A568 : 601
- 11 Wu Heyu, et al. Chinese J. of Nucl. Phys., 1993,  
5 : 185

(下转 31 页)

(上接 68 页)

#### 4.5 特殊要求的快速器件的制造

对于非标准,用户特殊要求的高速、超高速器件,扩金工艺无法达到的.对于超高速二极管  $t_{rr} \leq 100ns$ ,开关晶体管  $t_s \leq 5ns$  的器件,通过辐照可达到上述要求.

综上所述,电子辐照半导体器件与传统掺金、掺铂工艺相比具有独特的优点和诱人的应用价值,而高能 12MeV 电子辐照器件与低能 ( $E \leq 5MeV$ ) 辐照相比,  $t_{rr}-V_F$ 、 $t_q-V_T$  及  $t_s-V_{ces}$  折衷关系好,特别是辐照后性能稳定.可望这一高新技术在我国半导体行业将产生巨大的经济价值.

本工作是在赖启基教授指导和支持下完成的,特此致谢.

### 参 考 文 献

- 1 Ewvaraye A O. J. Appl. Phys., 1976, 47
- 2 许志详. 全国加速器工业辐照技术与应用交流会议文集, 1990
- 3 杭德生. 电子产品可靠性与环境试验, 1988, 2
- 4 赖启基, 吴风美等. 核技术, 1986, 6
- 5 杭德生. 电子科学技术, 1988, 6
- 6 杭德生. 电子产品可靠性与环境试验, 1988, 4
- 7 杭德生. 半导体杂志, 1994, 2

## An Application of 12MeV Electron Irradiation in Semiconductor Devices

Hang Desheng

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210008)

**Abstrat** This article gives complete introduction to the principles, method and traits of the technology of the high-energy 12MeV electron irradiation. It also describes a successful application in fast diode, switch transistor and fast SCR.

**Key Words** high-energy electron, fast diode, switch transistor, fast SCR, the lifetime of minority.