第17卷第9期　　半 导 体 学 报　　Vol. 17, No. 9
1996年9月　　CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS　　Sep., 1996

用全扩散法制作 MCT*

张发生　周如培　周宝霞　陈治明

（西安理工大学自动化工程系　西安　710048）

摘要　使用普通P型硅片，用全扩散工艺制作MCT. 除开通与关断MOS外，全部器件用常规晶闸管工艺制造. 试制品主要电特性达到设计要求，说明了利用全扩散工艺制造MCT的可行性. 文中讨论了适合于全扩散工艺的器件结构设计思路，报道了样品的测试结果，并对试制工作进行了简单分析.

EEACC：2560L，2560R

1　引言

MOS控制的晶闸管(MCT)是一种将MOSFET与晶闸管集成在一起、利用MOSFET控制晶闸管的开通与关断过程的新型自关断电力电子器件[1]. 由于这种器件的电导调制作用比IGBT(绝缘栅双极晶体管)强，是现代电力电子器件中开关损耗最小、功率处理能力最大的器件，在电力电子应用技术领域具有很大潜力，但因其制造技术较复杂，目前尚处于研究开发之中[2].

一般采用厚外延硅片或直接键合硅片(SBD)来制造MCT[3,4]，其生产成本较高，且与我国电力电子器件制造业的当前技术水平和设备能力相去甚远. 为了尽可能利用现有的生产装备和技术能力，有必要从我国国情出发，探索使用普通硅片、且与晶闸管工艺基本兼容的MCT制作方法，以适应行业现状.

本文报道国内首次使用普通硅片、靠全扩散工艺成功制作MCT的工作. 试制样品的关断电流密度达到30A/cm^2，开通时间为200ns，关断时间为4μs，反向阻断电压为500V(受国内市场P型硅电阻率的限制，对试制品反向耐压额定只设计了500V). 样品电特性基本达到设计要求，表明使用全扩散工艺制造MCT的方案是可行的.

* 国家"八五"重大攻关项目"新型电力电子器件"的一部分，并得到国家计委的资助
张发生　男，工学硕士，现在铁道部株州电力机车研究所从事电力电子器件研究与开发
周如培　男，副教授，从事半导体器件模拟和设计工作
周宝霞　女，讲师，博士生，从事半导体器件模拟和研制工作
陈治明　男，教授，从事半导体材料和器件的研究工作
1995年4月25日收到初稿，1995年12月19日收到修改稿

2 器件结构与工艺的设计

MCT 有多种结构，通常按开通 MOS 管(On-FET)的沟道极性分为两类，即 P-MCT 和 N-MCT. P-MCT 的开通 MOS 管为 P-MOS，关断 MOS 管(Off-FET)为 N-MOS. N-MCT 的情况正好相反. 从优先考虑器件的关断特性出发，我们采用易于获得最大关断电流和最短关断时间的 P-MCT结构. 图 1 是这种结构设计的原胞断面示意图.

按全扩散工艺的要求，P-MCT 的基片必须是 P 型硅. 由于国内目前高阻 P 型硅片用户极少，几乎没有生产，寻找适合于制作耐压 1000V 以上器件的 P 型硅片非常困难. 根据现有资源，我们只能使用电阻率为 30Ω·cm 的 P 型硅片，因而反向阻断电压的额定值设计为 500V.

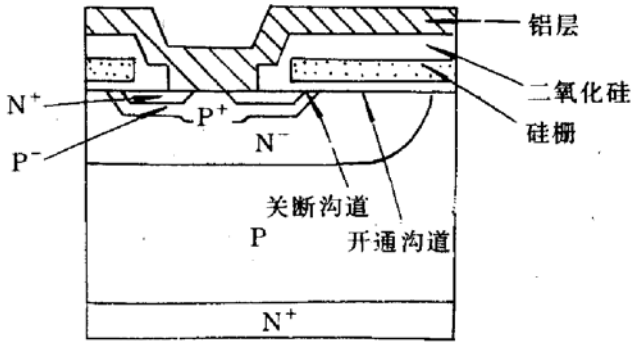

图 1　P-MCT 原胞示意图

对试制样品利用台面磨角造型技术克服 PN 结表面击穿对器件阻断能力的影响，以暂时避免使用较为复杂的平面结终端技术，因而采用圆形芯片. 在直径为 11mm 的圆片上设计了若干个相互隔离的子芯片. 这些子芯片的原胞尺寸各不相同，以检验不同的设计效果.

对于横向尺寸较小的原胞，由于对光刻精度的要求较高，其 N^+ 短路接触的形成，在国内电力电子器件制造业的目前设备条件下，一般难以用常规选择扩散法来实现. 于是，我们采用挖槽工艺来形成 N^+ 短路接触. 这也是晶闸管及其他大功率器件制造工艺中常用的方法，当然精度远没有这里要求的高.

3 结果与分析

试制样品的特性测试结果如图 2～5 所示(见图版 I). 图 2 和图 3 分别是样品在室温下的正向和反向阻断特性的示波器照片，表明其正向阻断电压为 80V，反向阻断电压为 500V. 这种非对称阻断特性是 P-MCT 的一个一般性特点. 同时，由于我们采用台面磨角造型终端技术，当器件处于反向阻断状态时，承受电压的 J_3 结为正斜角，其 P^- 空间电荷区被展宽，电压承受能力增强，可阻断较高电压；但当器件处于正向阻断状态时，承受电压的 J_2 结为负斜角，其 P^- 空间电荷区被压缩，电压承受能力被削弱，阻断电压降低. 值得申明一下的是，本工作的初衷主要在于试验全扩散工艺对 MCT 的适用性，暂未涉及终端技术问题. 不过，目前已至少可以说，当芯片较小时，磨角造型对高压器件是不适合的，因为斜角的角度受到有效面积的限制，不能太小.

图 4 和图 5 分别是试制样品在室温下的开通特性和关断特性的示波器照片，表明其开通时间约为 200ns，关断时间约为 4μs. 可关断电流及通态压降的大小显然与原胞尺寸及形状有关，图示曲线对应于边长 45μm 的方形原胞，其关断电流为 27A，相应的关断电流密度约为 30A/cm².

试制样品的通态压降较高，达 1.6V. 造成这个缺陷的主要原因是两个非器质性的工艺

问题.其一,按照硅材料电阻率大小对器件电压额定值的最佳设计,其长基区(P^-区)的宽度只需160μm左右,但这样薄的硅片在工艺过程中很容易变形或破碎,因而实际对长基区取了230μm,这将增大通态电阻;其二,也是最主要的一个原因,是因为未对试制样品进行严格的封装,其欧姆电极的制作也比较粗糙.这两个问题在实际工作中并不难解决.

4 结论

综上所述,利用普通硅片和国内电力电子器件制造业目前的工艺设备和条件,用全扩散法制造MCT是完全可能的.不过,必要的技术改造和设备更新对器件性能的改善和实用化仍然十分重要.这主要包括提高光刻精度,采用等离子体干法刻蚀,采用先进的平面结终端技术等等.由于晶闸管等常见的高压大电流器件一般都是用N型高阻硅片制造的,P型高阻硅片在一般半导体器件制造技术中的使用也很不普遍,很少生产,因此,用全扩散法制造高耐压MCT,还有赖于P型高阻硅单晶的生产.

致谢 本课题在试制过程中得到877厂王东涛高工、西安电力整流器厂李梦禄高工、余高祥工程师、以及691厂贾秉义和邓周虎两位工程师的大力帮助,谨此一并致谢.

参 考 文 献

[1] V. A. K. Temple, IEDM Tech. Dig., 1984: 282.
[2] F. Goodenough, Electronic Design, 1988, **10**(11):57.
[3] F. Bauer *et al.*, IEDM Tech. Dig., 1990: 297.
[4] M. Stoisiek *et al.*, IEEE Trans. Electron Devices, 1992,**39**(6):1521.

Complete Diffusion Technology for MCT Fabrication

Zhang Fasheng, Zhou Rupei, Zhou Baoxia and Chen Zhiming

(*Xi'an University of Technology, Xi'an* 710048)

Received 25 April 1995, revised manuscript received 19 December 1995

Abstract MCT device samples have been successfully fablicated by a complete diffusion technology in P—type silicon wafers. The main part of the fabrication process is compatible with the commonly used technology for thyristor manufactures. The feasibility of the complete diffusion technology is demonstrated by the samples' main characteristics which meets the device ratings designed. Considerations in design of the MCT device structure is discussed in accordance with the complete diffusion technology. A brief analysis on the testing work is reported as well as the measured sample's properties.

EEACC: 2560L, 2560R