

IGCT 阴极图形排布的优化设计

程银华, 陈芳林, 彭文华

(株洲南车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘要: 简单分析了集成门极换流晶闸管 (IGCT) 门-阴极结构和工作原理, 并在原有均匀矩形排布和均匀圆周排布的阴极图形基础上提出了一种新的排布方式——梳条分区复合排布。它不仅增加了 IGCT 阴极的有效面积, 增大了电流容量, 而且减小了热阻, 改善了门极电流通道。

关键词: IGCT; 梳条排布; 分区复合排布

中图分类号: TN303

文献标识码: A

文章编号: 1671-8410(2010)04-0005-04

Optimum Design for Cathode Layout Arrangement of IGCT

CHENG Yin-hua, CHEN Fang-lin, PENG Wen-hua

(Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: The gate-cathode structure and operation principle of IGCT are analyzed simply. Then a novel finger arrangement manner for cathode layout, finger partition composite arrangement, is supplied based on the original uniform rectangle arrangement and uniform circle arrangement. In this way, IGCT cathode effective area is expanded and current capacity is enhanced; furthermore, thermal resistance can be decreased while gate current channel is improved.

Key words: IGCT; finger arrangement; partition composite arrangement

0 引言

集成门极换流晶闸管 (IGCT) 是在门极可关断晶闸管 (GTO) 的基础上研制出来的新型器件, GCT (门极换流晶闸管) 由成百甚至几千个小的 GCT 元胞组成, 它们的阳极共用, 而阴极、门极分别并联在一起。IGCT 门-阴极通常采用矩形指条状阴极单元按同心环径向排列的结构, 这种排布能保证器件在开关过程中电流不会过于集中, 增加开通时的 di/dt 耐量。但是其阴极区有效面积较小, 从而导致器件的热阻较大, 电流容量受到限制。本文在均匀矩形排布和均匀圆周排布的基础上, 提出了一种新的阴极梳条排布方法——分区复合排布。这种新的图形排布既保证器件开关特性不受影响, 又

能提高阴极的有效面积和器件的电流容量, 并且增宽了扇区之间的门极通道, 减小了横向电阻, 改善了门极电流通道, 更有利于器件迅速关断。另外, 从应用方面也相应改善了梳条的可维护性。

1 IGCT 结构及工作原理

IGCT 主要由主开关器件 GCT 和集成门极驱动电路组成。GCT 是 IGCT 的核心部分, 由 GTO 演变而来, 它在 GTO 的基础上引入了缓冲层、透明发射极等。GCT 的特殊结构决定了 IGCT 具有通态压降低、开关速度快、开关频率高、电流大、电压高、结构紧凑等优点。GCT 剖面结构如图 1 所示。由图 1 可知, GCT 是 N^+PNP^+ 非对称结构, 其中 P^+ 区为透明阳极, N 区为缓冲层, 它的门-阴极采用了分立的阴极台面结构, 门-阴极图形交叉排列。

收稿日期: 2010-06-03

作者简介: 程银华 (1985-), 女, 助理工程师, 现从事可关断电力半导体器件光刻工艺的研究和开发工作。

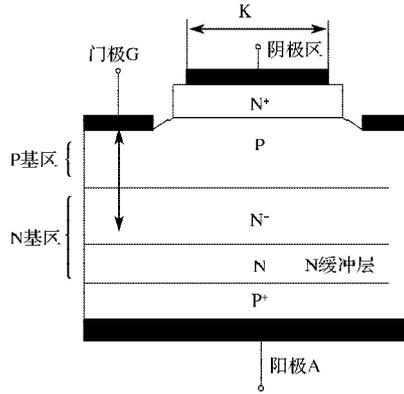


图1 GCT截面结构示意图

Fig.1 The structure profile of GCT

IGCT是GCT和集成门极驱动电路的合称。GCT工作在导通状态时,是一个像晶闸管一样的正反馈开关。其特点是,携带电流能力强和通态压降低。在关断状态下,GCT门-阴极PN结提前进入反向偏置,并有效地退出工作,整个器件呈晶体管方式工作,在导通和阻断两种情况下的等效电路如图2所示。

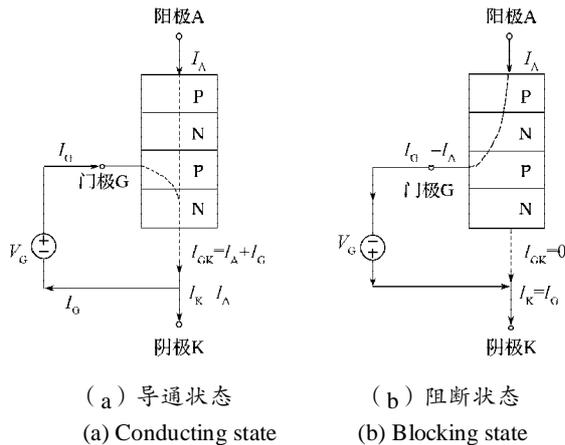


图2 GCT导通态和阻断态的等效电路

Fig.2 The equivalent circuit of GCT under conducting state and blocking state

当门极电压正偏时,GCT器件导通,导通机理与GTO完全一样,由于在两个晶体管中,一个晶体管的集电极电流同时又是另一管的基极电流,故形成强烈正反馈,使两者饱和导通,因而具有通态压降低和通流能力强的特点。

当门极电压反偏时,阻止阴极注入电流,全部阳极电流瞬间($1\mu\text{s}$)强制转化为门极电流,像一个失去阴极正反馈作用的pnp晶体管,阳极电流从门极均匀流出,即瞬间从导通状态转变为阻断状态。这样IGCT可具有承受很大的 dV/dt 冲击的能力。

从以上GCT结构和工作原理可以看出,GCT器件的导通和关断都与器件的门-阴极电流通道有关,门-阴极电流通道的大小将影响器件开通和关断的均匀性和

时效性,也就是说门-阴极横向电阻的大小将对器件的开关特性产生影响。

2 原有GCT门-阴极图形

门-阴极图形是各类大功率器件设计中一个极其重要的环节,即通过对光刻掩模版的设计,再通过光刻工艺将图形复制到器件表面。GCT采用了门-阴极交叉分布的台面结构,在门-阴极之间通过挖槽将阴极单元从门极区分离出来,其阴极图形通常由许多细小的梳条按一定规律排布而成,而梳条周围则由整体连通的门极区环绕,这种典型结构是为了满足器件静态和动态特性的基本要求。

其中门-阴极图形排布按门极区位置可分为3种方式:

(1)中心门极。门极位于芯片中心位置,呈圆形,其接触面积较小,适用于电流容量较小的器件。

(2)环形门极。门极位于器件中部,呈环形。其接触面积中等,一般适用于中高等级电流容量的器件。

(3)边缘门极。门极位于芯片边缘,呈圆环形。其接触面积较大,但是门极机械结构比较复杂,很少用于全控型器件中。

而门-阴极图形按阴极梳条排布方式可分成两类,即均匀矩形排布和均匀圆周排布。

(1)均匀矩形排布。即指相同大小的梳条依次排布成矩形队列,从而形成阴极面图形(图3)。这种梳条排布方法结构简洁、制作方便,阴极梳条所占面积(即阴极有效面积)较大。这种结构早期常用于电流容量较小的器件中,但是由于其分布不呈圆对称,在与圆形门极交汇处排布不好处理,也就不能方便地实现阴极梳条与上述环形门极或者边缘门极的良好交接相配。

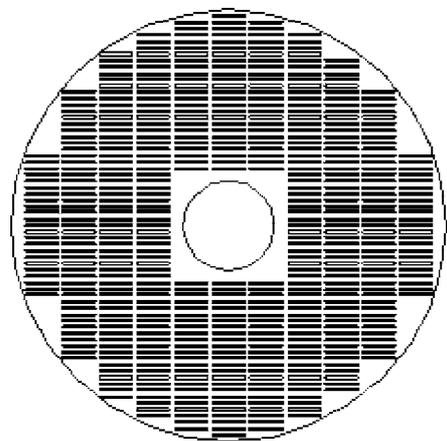


图3 均匀矩形排布

Fig.3 Equal rectangle arrangement

在应用方面,常用的单条梳条检测工具(图4)在

保证门极探针不动的前提下,旋转芯片,可测试每个梳条的门-阴极电压 V_{GK} 或触发性能。而均匀矩形排布很难用这种简便的方法自动检测梳条,也不便于梳条修复。



图4 GCT单条梳条测试台
Fig.4 The single finger test platform for GCT

另外,在这种均匀矩形排布下,只有少数梳条的走向与门-阴极电流方向一致,这种排布不利于器件的开通和关断。器件工作时会产生沿管芯径向辐射的交变热应力,均匀矩形排布会影响器件承受应力的能力。因此,这种均匀矩形排布形式在现行的器件中已经很少使用。

(2) 均匀圆周排布。即指相同大小的矩形指条状梳条按同心环均匀地排列,从而构成芯片阴极面(图5)。

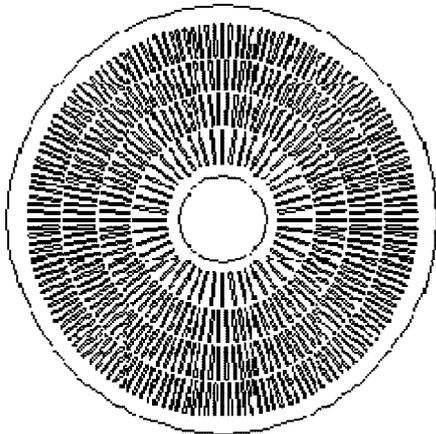


图5 均匀圆周排布
Fig.5 Equal circle arrangement

这种梳条排布方法结构简单、分布呈圆对称,便于与各种门极区相交,有利于梳条的自动检测,应用较广;但是由于梳条呈扇形分布,单个梳条之间的门极只在于同一圆周上是一致的,每圈梳条的门极是变化的,而且是由内往外逐渐变窄,即靠近圆心的第一圈梳条之间的门极最宽,最外圈梳条之间的门极最窄,这个可以由图5直观体现,这样的门极不利于器件开通。另外,均匀圆周排布使得阴极有效面积相对较小,芯片利用率低,从而限制了器件的电流容量。

3 GCT 阴极梳条排布方法的改进

由以上分析可知,原有的均匀矩形排布和均匀圆周排布虽然都有自身的优点,但是也存在一些不足。因此,本文在两种排布方法的基础上提出了一种分区复合排布方式。它结合两者优点,重组成为一种新颖、灵活的梳条排布方式,既保持了较高的芯片利用率,也保证了分区之间的圆对称分布,进一步完善了梳条排布设计和器件性能。

3.1 分区复合排布的概念

分区复合排布是指,分区由扇区和环道两重分割形成,分区内部梳条采用均匀矩形排布,分区间采用均匀圆周排布,而扇区交接处通常可均匀地补加1~2个梳条。具体排布形式如图6、图7所示。

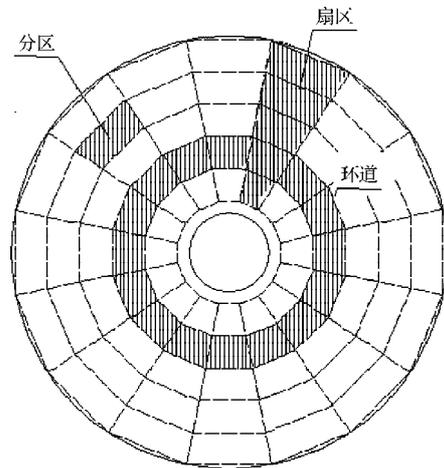


图6 分区复合排布示意图
Fig.6 Schematic of partition composite arrangement

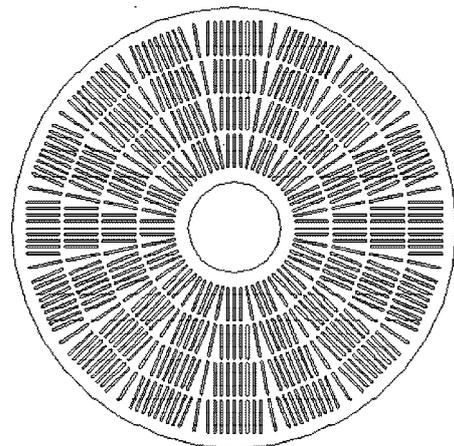


图7 分区复合排布实例
Fig.7 The example of partition composite arrangement

扇区是将芯片沿径向等分为 m 个相同面积的扇形区,扇区数 m 的取值范围为1~128,当 m 较低时,接近于矩形排布;当 m 较高时,接近于圆周分布。

环道是将圆面按正多边形划分为 n 个不同面积的

同心环型区,环道数 n 取值范围为1~16。这个值与芯片直径和梳条长度的选取有关, n 越大,梳条总数越多,越有利于加大电流容量。

分区是扇区和环道交叉形成的等腰梯形区,它是梳条的基本排布单元。同一环道上分区的面积相等,而远离圆心的分区面积较大,能安排较多的梳条。各分区中梳条的形状和大小相同,并按均匀矩形排布。

由于在扇区交界处梳条不能重叠,将留出较宽的区域,形成了径向门极通道,这对门极电流导通有利。通常可在交界处补1~2个梳条。

3.2 分区复合排布的性能评价与分析

3.2.1 芯片有效利用率 η

分别以均匀圆周排布和分区复合排布的 $\Phi 51$ 芯片和 $\Phi 67$ 芯片为例进行比较(表1)。

表1 两种排布方式梳条总数的比较

Tab.1 Comparison of the number of fingers for the two finger arrangements

	$\Phi 51$ 芯片	$\Phi 67$ 芯片
均匀圆周排布	424 条	790 条
分区复合排布	448 条	864 条
梳条增加比例	5.7%	9.4%

由以上数据可知,分区复合排布比均匀圆周排布的有效阴极面积大,这不仅提高了芯片利用率,还改善了器件通流能力。

3.2.2 门极区特性的分析

由图5均匀圆周排布图形可知,阴极梳条按同心环径向排列,其中梳条周围门极区面积由中心向外逐渐减小。而分区复合排布结构的所有扇形都是完全一样的,每个扇形区域中梳条周围的门极区面积也完全一致,这样可以保证开通时触发的均匀性。另外,扇区交界处的门极通道相对较宽,形成了径向门极通道。保证开通时触发电流从触发源开始均匀快速无阻挡地发散到每个扇区周围。无论从整体还是从局部来看,器件的开通均匀性均得到改善。

从GCT结构可知,门极通道横向电阻的大小将影响门极电流到达阴极梳条的均匀性和时效性。扇区交界处留出的较宽区域,即所谓的径向门极通道将有利于门极电流的导通和梳条的均匀关断。

另外,分区复合排布保留了均匀圆周排布的圆对

称性,这将有利的梳条排布和上述3种门极区的相互交接。

总之,GCT梳条分区复合排布方式结合了均匀矩形排布和均匀圆周排布的优点,提高了芯片利用率,同时也改善了器件的通流能力。并且,由于分区之间呈圆对称分布,它还有利于梳条的自动监测和维护,便于与门极区的良好交接相配。GCT工作时会产生沿管芯径向辐射的交变热应力,采用顺着热应力辐射方向的阴极图形排列,不仅可以提高单元承受应力的能力,而且可改善单元均匀性。

4 结语

本文在原有梳条均匀矩形排布和均匀圆周排布的基础上,提出了一种新型的阴极梳条排布方式——分区复合排布。它在分区内部采用均匀矩形排布,分区之间则按均匀圆周排布。这种排布方式具有以下几种优点:

- (1)梳条有效面积增加,提高了芯片利用率;
- (2)梳条数量增加,改善了芯片通流能力;
- (3)门极通道增宽,有利于GCT器件的开通与关断;
- (4)分区内梳条按均匀矩形排布,有利于梳条触发均匀性;
- (5)分区间按均匀圆周排布,有利于梳条的自动检测和修复。

新的分区复合排布方式是一种新颖、灵活的排布方式,已取得发明专利授权。它适用于各种全控型的半导体器件,已成功应用于逆导型GCT,并在一定程度上改善了器件性能。

参考文献:

- [1] 张明.集成门极换流晶闸管(IGCT)中阴极图形的新排布方法:中国,200610032312.6[P].2006.
- [2] 张明.IGCT器件制造中的阴极梳条成型技术[J].变流技术与电力牵引,2006(6):15-18.
- [3] 王彩琳,高勇.一种新的GCT门-阴极图形的设计方法[J].半导体学报,2006,27(7):1-5.
- [4] 王彩琳.门极换流晶闸管(GCT)关键技术的研究[D].西安:西安理工大学,2007.
- [5] 赵双元.集成门极换流晶闸管(IGCT)[J].本溪冶金高等专科学校学报,2002,5(1):1-3.