

BCD 工艺概述

陈志勇¹, 黄其煜², 龚大卫²

(1. 上海交通大学 微电子学院, 上海 200030;

2. 上海先进半导体制造股份有限公司, 上海 200233)

摘要: 介绍了BCD (bipolar CMOS DMOS)的工艺原理、特点和发展前景。对BCD工艺兼容性进行了说明,着重阐述了LDMOS的工艺原理和关键工艺设计考虑。文章结合应用,指出BCD工艺朝着高压、高功率、高密度三个主要方向分化发展,并对BCD工艺的最新进展作了概述。对电源管理和显示驱动这两大市场驱动进行了分析,并对国内企业进入该领域所面临的机会与挑战作了阐述与展望。

关键词: BCD工艺;双扩散金属氧化物半导体管;模块化;高压;高密度

中图分类号:TN305.7 文献标识码:A 文章编号:1003-353X(2006)09-0641-04

Overview of BCD Process

CHEN Zhi-yong¹, HUANG Qi-yu², GONG Da-wei²

(1. School of Microelectronics Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Advanced Semiconductor Manufacturing Corp. of Shanghai, Shanghai 200233, China)

Abstract: The principle, characteristics and the prospect of the BCD process were represented. The compatibility of BCD process integration was discussed. We focused on the principle and concerns on LDMOS technology. The splitting of BCD technology into three main directions of high voltage, high power and high density combining with the applications were introduced. The update developments of the BCD process was also presented. The two marketing trends of the power management and the display driver IC were introduced. The chance and the challenges to Chinese company going into this hopeful field were also discussed.

Key words: BCD process; DMOS; modularization; high voltage; high density

1 引言

BCD是一种单片集成工艺技术。1986年由意法半导体(ST)公司率先研制成功,这种技术能够在同一芯片上制作双极管bipolar, CMOS和DMOS器件,称为BCD工艺。

了解BCD工艺的特点,需要先了解双极管bipolar, CMOS和DMOS器件这三种器件的特点,详见表1。

BCD工艺把双极器件和CMOS器件同时制作在同一芯片上。它综合了双极器件高跨导、强负载驱动能力和CMOS集成度高、低功耗的优点,使其

表1 双极管Bipolar, CMOS和DMOS器件的特点

| 器件类别 | 器件特点 | 应用 |
|--------|---|-----------------------------|
| 双极器件 | 两种载流子都参加导电,驱动能力强,工作频率高,集成度低 | 模拟电路对性能要求较高部分(高速、强驱动、高精度) |
| CMOS器件 | 集成度高,功耗低 | 适合做逻辑处理,一些输入,也可做输出驱动 |
| DMOS器件 | 高压大电流驱动(器件结构决定漏端能承受高压,高集成度可在小面积内做超大W/L) | 模拟电路和驱动,尤其是高压功率部分,不适合做逻辑处理。 |

互相取长补短,发挥各自的优点。更为重要的是,它集成了DMOS功率器件,DMOS可以在开关模式下工作,功耗极低。不需要昂贵的封装和冷却系统就可以将大功率传递给负载。低功耗是BCD工艺的一个主要优点之一。整合过的BCD工艺制程,可大幅降低功率耗损,提高系统性能,节省电路的封装费用,并具有更好的可靠性。

2 BCD工艺关键技术简介

2.1 BCD工艺的基本要求

首先,BCD工艺必须把双极器件、CMOS器件和DMOS器件同时制作在同一芯片上,而且这三种器件在集成后应基本上能具有各自分立时所具有的良好性能;其次,BCD工艺制造出来的芯片应具有更好的综合性能;此外,相对于其中最复杂的工艺(如双阱、多层布线、多层多晶硅的CMOS工艺)不应增加太多的工艺步骤。

2.2 BCD工艺兼容性考虑^[1]

BCD工艺典型器件包括低压CMOS管、高压MOS管、各种击穿电压的LDMOS、垂直NPN管、垂直PNP管、横向PNP管、肖特基二极管、阱电阻、多晶电阻、金属电阻等;有些工艺甚至还集成了EEPROM、结型场效应管JFET等器件。由于集成了如此丰富的器件,这就给电路设计者带来极大的灵活性,可以根据应用的需要来选择最合适的器件,从而提高整个电路的性能。

由于BCD工艺中器件种类多,必须做到高压器件和低压器件的兼容;双极工艺和CMOS工艺的相兼容,尤其是要选择合适的隔离技术;为控制制造成本,必须考虑光刻版的兼容性。考虑到器件各区的特殊要求,为减少工艺制造用的光刻版,应尽量使同种掺杂能兼容进行。因此,需要精确的工艺模拟和巧妙的工艺设计,有时必须在性能与集成兼容性上作折中选择。通常BCD采用双阱工艺,有的工艺会采用三阱甚至四阱工艺来制作不同击穿电压的高压器件。

2.3 DMOS器件的结构、工作原理与特点^[2-5]

功率输出级DMOS管是此类电路的核心,往往占据整个芯片面积的1/2~2/3,它是整个集成电路的关键。DMOS与CMOS器件结构类似,也

有源、漏、栅等电极,但是漏端击穿电压高。DMOS主要有两种类型,垂直双扩散金属氧化物半导体场效应管VDMOSFET(vertical double-diffused MOSFET)和横向双扩散金属氧化物半导体场效应管LDMOSFET(lateral double-diffused MOSFET)。

LDMOS由于更容易与CMOS工艺兼容而被广泛采用。LDMOS器件结构如图1所示,LDMOS是一种双扩散结构的功率器件。这项技术是在相同的源/漏区域注入两次,一次注入浓度较大(典型注入剂量 10^{15}cm^{-2})的砷(As),另一次注入浓度较小(典型剂量 10^{13}cm^{-2})的硼(B)。注

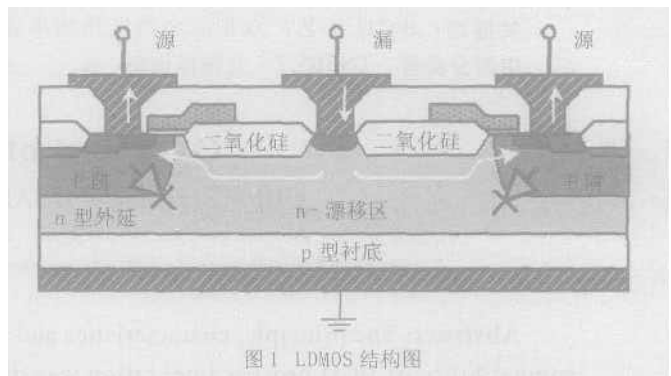


图1 LDMOS结构图

入之后再进行一次高温推进过程,由于硼扩散比砷快,所以在栅极边界下会沿着横向扩散更远(图中P阱),形成一个有浓度梯度的沟道,它的沟道长度由这两次横向扩散的距离之差决定。为了增加击穿电压,在有源区和漏区之间有一个漂移区。LDMOS中的漂移区是该类器件设计的关键,漂移区的杂质浓度比较低,因此,当LDMOS接高压时,漂移区由于是高阻,能够承受更高的电压。图1所示LDMOS的多晶扩展到漂移区的场氧上面,充当场极板,会弱化漂移区的表面电场,有利于提高击穿电压。场极板的作用大小与场极板的长度密切相关^[6]。要使场极板能充分发挥作用,一要设计好 SiO_2 层的厚度,二要设计好场极板的长度。

DMOS器件是由成百上千的单一结构的DMOS单元所组成的。这些单元的数目是根据一个芯片所需要的驱动能力所决定的,DMOS的性能直接决定了芯片的驱动能力和芯片面积。对于一个由多个基本单元结构组成的LDMOS器件,其中一个最主要

的考察参数是导通电阻,用 $R_{ds(on)}$ 表示。导通电阻是指在器件工作时,从漏到源的电阻。对于LDMOS器件应尽可能减小导通电阻,就是BCD工艺流程所追求的目标。当导通电阻很小时,器件就会提供一个很好的开关特性,因为漏源之间小的导通电阻,会有较大的输出电流,从而可以具有更强的驱动能力。DMOS的主要技术指标有:导通电阻、阈值电压、击穿电压等。

对LDMOS而言,外延层的厚度、掺杂浓度、漂移区的长度是其最重要的特性参数。我们可以通过增加漂移区的长度以提高击穿电压,但是这会增加芯片面积和导通电阻。高压DMOS器件耐压和导通电阻取决于外延层的浓度、厚度及漂移区长度的折中选择。因为耐压和导通电阻对于外延层的浓度和厚度的要求是矛盾的。高的击穿电压要求厚的轻掺杂外延层和长的漂移区,而低的导通电阻则要求薄的重掺杂外延层和短的漂移区,因此必须选择最佳外延参数和漂移区长度,以便在满足一定的源漏击穿电压的前提下,得到最小的导通电阻。另外,由于DMOS芯片面积大,对缺陷密度较敏感。

3 BCD 工艺发展趋势

3.1 BCD工艺发展方向^[7-8]

BCD工艺技术的发展不像标准CMOS工艺那样,一直遵循Moore定律向更小线宽、更快的速度方向发展。BCD工艺朝着三个方向分化发展:高压、高功率、高密度。

高压BCD

主要的电压范围是500~700V,目前用来制造LDMOS的唯一方法为RESURF技术,原意为降低表面电场(reduced surface field)^[9-10],在1979年由J.A.Appels等人提出。它是利用轻掺杂的外延层制作器件,使表面电场分布更加平坦从而改善表面击穿的特性,使击穿发生在体内而非表面,从而提高器件的击穿电压。高压BCD主要的应用领域是电子照明(electronic lamp ballasts)和工业应用的功率控制。

高功率BCD

主要的电压范围是40~90V,主要的应用为汽车电子。它的需求特点是大电流驱动能力、中等电压,而控制电路往往比较简单。因此主要发展趋势

侧重于提高产品的鲁棒性(robustness),以保证在恶劣的环境下应用能够具备良好的性能和可靠性;另一个方面是如何降低成本。

高密度BCD

主要的电压范围是5~50V,一些汽车电子应用会到70V。在此应用领域,BCD技术将集成越来越复杂的功能,今天,有的产品甚至集成了非挥发性存储器。许多电路集成密度如此之高,以致于需要采用数字设计的方法(如集成微控制器)来实现最佳驱动以提高性能。这代表了持续增长的市场需求,即将信号处理器和功率激励部分同时集成在同一块芯片上。它不仅仅是缩小了系统体积和重量,更带来了高可靠性,减少了各种电磁接口。由于有着非常广阔的市场应用前景,代表了BCD工艺的主流方向,也是最大的应用领域。

最新的BCD工艺趋向于采用先进的CMOS工艺平台,根据不同的应用场合呈现模块化和多样性的特点。高密度BCD工艺发展的一个显著趋势是模块化的工艺开发策略被普遍采用。所谓模块化,是指将一些可选用的器件做成标准模块,根据应用需要选用或省略该模块。模块化代表了BCD工艺发展的一个显著特征,采用模块化的开发方法,可以开发出多种不同类型的IC,在性能、功能和成本上达到最佳折中,从而方便地实现产品的多样化,快速满足持续增长的市场需求。自0.6 μm 线宽以下BCD工艺普遍采用双栅氧,薄栅氧实现低压CMOS,厚栅氧用于制造高压DMOS。此外,一种新型的大斜角注入工艺正被采用以减少热过程。

3.2 BCD工艺新兴技术发展趋势^[7,11]

未来电子系统的主要市场是多媒体应用、便携性及互连性。这些系统中会包含越来越复杂的高速IC,加上专用的多功能芯片来管理外围的显示、灯光、照相、音频、射频通信等。为实现低功耗和高效率功率模块,需要混合技术来提供高压能力和超低漏电以保证足够的待机时间,同时在电池较低的电压供电下也能保持良好的性能,目前一些新兴BCD技术正在形成。

HVCMOS-BCD主要用于彩色显示驱动(LCD和OLED驱动);RF-BCD主要用于实现

手机RF功率放大器输出级；BCD-SOI主要用于无线通信的XDSL驱动。SOI的方法有利于减少各种寄生效应。很早就有相关研究，但是由于以前SOI材料很贵，没有得到广泛应用，只有最近几年SOI才正逐渐成为主流的方法，SOI是许多特定应用的上佳选择。

4 BCD工艺应用的国内外市场现状

BCD工艺的主要应用领域为电源管理（电源和电池控制）、显示驱动、汽车电子、工业控制等领域。近年来，在显示驱动和电源管理两大市场驱动下，BCD工艺备受关注，越来越多的公司进入该领域，进行相关工艺和产品的开发。

4.1 电源管理市场稳定增长^[12-13]

电源管理IC属于模拟IC，市场成长性稳定。模拟技术的建立需要长时间累积，再加上模拟IC无法像数字IC一样有大量的电子设计自动化（EDA）工具和IP可重复使用，所以模拟IC的设计相当需要经验的累积，新兴厂商不易在短期跨入造成杀价竞争，因而模拟IC价格不易大起大落。

随着终端产品朝着轻薄短小、数字化和整合多功能三大趋势发展，电源管理IC的地位越来越重要。近年来，在高度数字化趋势下，数字IC技术在工艺按比例缩小后对于电压的变化、电流容忍和保护日益重要，不同的IC需要不同的供应电压，因而促成更多电源管理IC需求的兴起。便携式产品一直都是电源管理IC主要的应用领域之一，近几年，该类产品如手机、数码相机、笔记本电脑、MP3等发展非常迅速。在产量提高的同时，便携式产品的性能也不断得到改进，功能不断增加。便携式电子产品的升级，必然使其对电源管理IC提出更高的要求。电源管理类产品即使在半导体市场不景气的情况下，仍然保持了稳定的增长。

然而，模拟IC设计相当需要经验的累积，技术门槛高。“后进”的模拟IC设计厂商切入此市场就得面临好手如云的情况，包括TI，Linear，Fairchild和Intersil等老牌半导体公司都已在模拟领域耕耘多年，因此模拟IC设计厂商仍面临不小

的挑战。尽管有技术和人才方面的挑战，但整体而言，国内半导体厂商在电源管理IC市场应有不错的发展机会。国内模拟IC设计公司因为靠近信息、通信和消费性电子制造和代工系统厂商，通过完善的技术支持和厂商在产品设计和系统端频繁互动等方式，在成本、功能和稳定性已达到水准的情况下，有取代进口IC的趋势，未来市场发展潜力相当看好。再者，国内专业晶圆代工厂对模拟制程技术和资源投入逐渐增加，对国内模拟IC设计业者无疑是一大帮助，现阶段国内电源管理IC占全球市场比重虽不及1%，但未来将有不少的成长空间。

4.2 显示驱动市场需求强劲^[14]

显示驱动器是向LCD、等离子面板和OLED等平板显示器的行和列提供电压和/或电流的IC。大尺寸LCD面板广泛使用这类IC，预计未来五年LCD电视机的出货量将迅速增长。

ISuppli公司预测，由于LCD电视机、台式PC显示器和移动电脑市场的需求增长，预计2009年大尺寸LCD面板的驱动IC市场几乎比2004年翻一倍。2009年全球大尺寸LCD驱动IC的出货量将从2004年的23亿美元增长至42亿美元，年复合增长率为12.6%。2009年这类驱动IC的单位出货量将从2004年的17亿只增长至42亿只，年复合增长率为19.8%。

4.3 BCD工艺是制造电源管理、显示驱动等IC的上佳选择

显示驱动和电源管理IC一般使用BiCMOS或BCD工艺，由于工艺比标准CMOS工艺复杂，并且千差万别，许多设计公司（如Fabless）由于没有相应的工艺被迫退出。因此，能否掌握BCD工艺技术，是许多设计公司在市场竞争中成败的关键因素之一。BCD工艺技术对代工企业（Foundry）同样意义重大，掌握BCD工艺技术可以使代工企业获得大笔的订单。国内外的许多公司都加大投入力度，争相开发富有竞争力的BCD工艺。

5 小结

总之，BCD工艺是一种先进的单片集成工艺技

（下转第659页）

区内没有形成大的涡流,符合层流流场的要求。

4 结论

本文依据洁净室的设计标准,结合该工程的要求,对硅片传输单元的洁净系统进行了结构和参数的设计,给出了设计方案,并用CFD的方法对传输机器人区域的气流组织进行了模拟验证,研发了一套洁净等级高,制造简单,成本低,且具有很高的实用价值的硅片传输单元的洁净系统。其各项技术指标都已达到设计要求。

参考文献:

[1] HU S C, CHUAH Y K, YEN M C. Design and evaluation of a mini-environment for semiconductor manufacture processes[J]. Building and

Environment, 2002, 37: 201-208.

- [2] CONG M, ZHOU Y M, JIANG Y. An automated wafer-handling system based on the integrated circuit equipments[C]// IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Hong Kong and Macau, China, 2005: 240-245.
- [3] 许钟麟. 空气洁净技术原理[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [4] 许钟麟. 洁净室设计[M]. 北京: 地震出版社, 1998.
- [5] 徐文华, 胡雨燕. SMIF/微环境中数值模拟气流的研究[J]. 建筑热能通风空调, 2002(1): 2-6.
- [6] SHIU H R, HUANG H Y, CHEN S L, et al. Numerical simulation for air flow in the mini-environment and SMIF enclosure[J]. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 2003, 16(1): 60-67.

(收稿日期: 2006-04-26)

作者简介:

丛明(1963-), 男, 辽宁大连人, 大连理工大学机械工程学院, 教授, 博士, 目前主要从事半导体设备的研究与应用。

(上接第644页)

术,是电源管理、显示驱动、汽车电子等IC制造工艺的上佳选择,具有广阔的市场前景。今后,BCD工艺仍将朝着高压、高功率、高密度三个方向分化发展。其中BCD技术与SOI技术相结合,是一个非常重要的技术趋势。

近年来,在市场的强劲驱动下,BCD技术倍受国内外业界所关注。尽管BCD工艺复杂,技术门槛较高,但是,随着国内微电子产业链的日臻完善,国内微电子企业在此领域加大投入、增强合作,一定会大有作为。

参考文献:

[1] 谢世健. 集成电路兼容技术[M]. 江苏: 东南大学出版社, 1994: 101-108.

[2] HASTINGS A. The Art of Analog Layout[M]. USA: Prentice Hall, 2001: 72-116.

[3] BALLAN H, DECLERCQ M. High Voltage Devices and Circuit in Standard CMOS Technologies[M]. Netherland, Kluwer Academic Publisher, 1999: 52-75.

[4] 谢世健. 集成电路兼容技术[M]. 江苏: 东南大学出版社, 1994: 125-128.

[5] 杨晶琦. 电力电子器件原理与设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000. 82-84.

[6] PAUCHARD A, BESS P A, POPVIC R S. Simulations of a new CMOS compatible method to enhance the breakdown voltage of highly-doped shallow PN junctions [C]// Proc of MSM98. EPFL, Switzerland: 420-425.

[7] CONTIERO C, ANDREINI A, GALBIATI P. Roadmap differentiation and emerging trends in BCD tech-

nology [C]// Proc of ESSDERC 2002. Firenze, Italy, 2002: 275-282.

- [8] FUJISHIMA N, IWAYA M, SAWADA M, et al. A low on-resistance trench lateral power MOSFET in a 0.6um smart power technology for 20~30V applications[C]// IEDM. San Francisco, CA, 2002: 455-458.
- [9] APPELS J A, VAES H M J. High voltage thin layer devices (RESURF devices) [C]// IEEE Int Electron Devices Meeting. Washington, DC, 1979: 238-241.
- [10] APPELS J A, COLLIER M, HART P, et al. Thin-layer HV devices[R]. Philips J Res, 1980: 35.
- [11] PARTHASARATHY V, ZHU R, KHEMKA V, et al. A 0.25 um CMOS based 70V smart power technology with deep trench for high-voltage isolation [C]// IEDM. San Francisco, CA, 2002: 75-78.
- [12] 俞忠钰. 新市场成为产业增长新契机[N]. 中国电子报, 2004: 1-6.
- [13] 凌特公司. 便携设备的电源管理技术展望[J]. 电子设计应用, 2005(11): 644.
- [14] KIMBERLY A. 新兴显示技术异军突起[J]. 世界电子元器件, 2005(1): 51-53.

(收稿日期: 2006-04-10)

作者简介:

陈志勇(1971-), 男, 江苏如皋人, 1995年6月, 获合肥工业大学微电子技术学士学位, 至今已有十余年集成电路研制经验, 2004年3月进入上海交通大学微电子学院攻读工程硕士学位, 现为上海先进半导体制造股份有限公司资深工艺集成工程师, 从事BCD工艺、EEPROM工艺研制及相关产品的良率提升;

黄其煜, 男, 1997年本科毕业于北京大学物理学系, 随后在美国弗吉尼亚大学取得硕士和博士学位, 现在在上海交通大学微电子学院担任讲师, 主要研究方向为半导体器件、纳米材料与器件、微加工工艺等。