

学校编码: 10384

学号: 23120111152980

分类号 _____ 密级 _____

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

开关电源电路设计及其高压功率器件研制

Circuit Design for Switch Power Supply and its High-Voltage

Power Devices Development

江 凌 峰


指 导 教 师: 郭 东 辉 教 授

专 业 名 称: 微 电 子 学 与 固 体 电 子 学

论 文 提 交 日 期: 2 0 1 4 年 月

论 文 答 辩 日 期: 2 0 1 4 年 月

学 位 授 予 日 期: 2 0 1 4 年 月

答 辩 委 员 会 主 席: 

评 阅 人: _____

2014 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（）课题（组）的研究成果，获得（）课题（组）经费或实验室的资助，在（）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：江凌峰

2014年 5月 18日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：江彦峰

2014年5月18日

摘要

开关电源作为电子设备的动力之源，向着高效率、高功率因数、低成本的方向发展；核心元件高压功率开关器件是影响开关电源的效率与可靠性的主要因素。因此对开关电源电路设计及其高压功率器件的研究具有现实意义。

本文首先针对 LED 的工作特性，创建驱动 IC、变压器的 PSpice 模型和建立电路仿真系统，采用原边控制原理来实现恒流、恒压输出，完成反激式 LED 驱动开关电源。其次针对高压功率开关器件进行研究：基于 RESURF 原理设计了一款能够满足耐压大于 600V 的 LDMOS，应用到 LED 驱动芯片的高低压集成电路的制备中；为了提高开关电源系统工作频率与效率，设计完成了一款开关速度快的 VDMOS；对传统的 Trench-NPT-IGBT 器件设计进行优化改进，设计一款具有高可靠性的 1200V IGBT。

论文工作的创新点体现在：

(1) 在 LDMOS 设计中，加入 p-top 降场层、P 埋层、N-buffer 层，提高了漂移区参杂浓度，降低了比导通电阻，对影响器件特性的参数 L_d 、 L_f 、 L_p 、 L_{PBL} 进行优化，结合现有 BCD 工艺给出一套 LDMOS 器件研制的工艺方案。

(2) 在 VDMOS 设计中，采用高能离子注入方法降低横向扩散程度，获得更短有效栅长，减小反向传输电容，提高开关速度；同时利用 JFET 注入来解决导通电阻增加的矛盾，实现 VDMOS 的 X_{jp} 、 D_{cs} 、 L_w 、 L_p 参数的优化设计。

(3) 在 Trench-NPT-IGBT 设计中，引入沟槽侧边多晶硅电极，获得逆向电场的方法来改善沟槽栅底部电场累积的缺点，并对沟槽侧边多晶硅电极的宽度、深度、电压参数优化设计，获得具有击穿电压高和通态压降低的器件结构。

另外，还针对开关电源及高压功率器件的具体应用，设计一套分布式 LED 智能照明控制系统方案，并完成相应的硬件电路及电路模块开发。

关键词：智能照明；开关电源；LDMOS；VDMOS；IGBT

ABSTRACT

The switch power supply as the source of electronic equipments, toward the trend of high efficiency, high power factor and low cost. The high voltage switching devices are very critical and thus become the priorities of today's research.

Firstly, a novel PSpice model of drive IC and transformer is set up on the analysis of the LED. The primary side control is used to realize a flyback LED circuit. Secondly, using the RESURF technology in the simulation and optimization of a LDMOS with more than 600V breakdown voltage is designed and applied to the high and low voltage IC of the .driving chip. In order to raise the working frequency and the efficiency, a fast switching VDMOS is designed. Improvement is made to the traditional Trench-NPT-IGBT, obtain a IGBT with a breakdown voltage of 1200V.

The innovativeness of the thesis is as follows:

(1) In the design of the LDMOS, the p-top layer, P buried layer and N-buffer layer are added to increase the doping concentration of drift region and reduce the specific on-resistance. Meanwhile, the optimization of L_d , L_f , L_p , L_{BPL} is made and a LDMOS process program is proposed in combination of the BCD technology.

(2) In the VDMOS design, the high energy ion implantation is used to reduce the lateral degree of diffusion, the effective length of the gate and the reverse transfer capacitance and to raise switching speed; JFET junction is used to solve the conflict caused by the increment of the turn-on resistance and optimize the X_{jp} , D_{CS} , L_w , L_p .

(3) A side-poly is introduced to form a reversal field and to solve the shortcomings of the gathered electric fields in the bottom of the trench gate; software is used to optimize the D_{SP} , W_{SP} , V_{SP} and the results have shown a improved breakdown voltage strength and threshold voltage compared with the traditional.

Besides, a distributed LED intelligent lighting system is designed and the hardware design of the terminal nodes and coordinators is implemented.

Keyword: Intelligent Lighting; Switch Power Supply; LDMOS; VDMOS;IGBT

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.2 相关技术发展现状	1
1.3 关键技术及其研究进展	3
1.3.1 高频变压技术.....	3
1.3.2 功效提升技术.....	5
1.3.3 器件耐压技术.....	6
1.4 论文工作和章节安排	8
1.4.1 主要研究内容.....	8
1.4.2 章节安排.....	9
第二章 开关电源基本原理与电路结构	11
2.1 开关电源原理	11
2.2 基本电路结构	12
2.2.1 Buck 电路	12
2.2.2 Boost 电路	13
2.2.3 Buck-boost 电路	14
2.3 开关调制方式	14
2.3.1 PWM 脉冲宽度调制	14
2.3.2 PFM 脉冲频率调制.....	16
2.3.3 PWM-PFM 综合调制.....	16
2.3.4 PSM 调制.....	17
2.4 高压器件耐压工艺	18
2.4.1 隔离技术.....	18
2.4.2 终端技术.....	21
2.4.3 RESUFR 技术	18
2.5 本章小结	25

第三章 LED 驱动电源的开关电路设计	27
3.1 LED 驱动电路类型与性能要求	27
3.1.1 驱动电路类型	27
3.1.2 驱动电源性能要求	28
3.2 电路设计与仿真建模	29
3.2.1 驱动电路设计	30
3.2.2 控制电路建模	41
3.3 电路仿真与结果分析	44
3.4.1 电路 PSpice 仿真	44
3.4.2 样品制作与性能测试	47
3.4 本章小结	51
第四章 功率 MOSFET 器件的设计与仿真	53
4.1 功率 MOSFET 结构与原理	53
4.1.1 功率 MOSFET 介绍与分类	53
4.1.2 功率 MOSFET 结构与工作原理	54
4.2 LDMOS 器件设计与仿真	56
4.2.1 LDMOS 结构与工艺设计	56
4.2.2 LDMOS 仿真结果分析	64
4.3 VDMOS 器件设计与仿真	69
4.3.1 VDMOS 结构与工艺设计	69
4.3.2 VDMOS 仿真结果分析	76
4.4 本章小结	80
第五章 高压 IGBT 器件的设计与仿真	81
5.1 IGBT 结构与原理	81
5.1.1 IGBT 器件结构	81
5.1.2 IGBT 器件原理	82
5.2 IGBT 器件设计与工艺设计	83

5.2.1 IGBT 结构设计	85
5.2.3 IGBT 工艺参数设计	87
5.3 IGBT 器件与工艺仿真结果	90
5.3.1 器件与工艺仿真.....	90
5.3.2 仿真结果分析.....	91
5.4 本章小结	93
第六章 智能 LED 照明系统应用电路模块设计.....	95
6.1 系统设计要求	95
6.1.1 系统需求分析.....	95
6.1.2 系统总体结构.....	96
6.2 硬件电路方案设计	96
6.2.1 LED 终端节点硬件设计.....	97
6.2.2 协调器硬件设计.....	102
6.3 产品原型开发与验证	104
6.4 本章小结	107
第七章 总结与展望.....	109
7.1 工作总结	109
7.2 工作展望	111
参考文献.....	113
硕士期间取得的成果	120
致谢	121
附录.....	122

CONTENTS

Chapter I	Introduction	1
1.1	Research background	1
1.2	Current situation of related technology	1
1.3	The key technology and its research progress	3
1.3.1	The high frequency transformer technology	3
1.3.2	Efficacy lifting technology	5
1.3.3	Device compression technology	6
1.4	Main research work and chapter arrangement	8
1.4.1	Main research work.....	8
1.4.2	Chapter arrangement.....	9
Chapter II	Basic principle and circuit structure	11
2.1	Principle of switch power supply	11
2.2	Basic circuit structure.....	12
2.2.1	Buck circuit.....	12
2.2.2	Boost circuit.....	13
2.2.3	Buck-boost circuit.....	14
2.3	Switch modulation method.....	14
2.3.1	PWM pulse width modulation	14
2.3.2	PFM pulse frequency modulation	16
2.3.3	PWM-PFM mixture modulation	16
2.3.4	PSM modulation	17
2.4	High-voltage devices compression process	18
2.4.1	RESUFR technology.....	18
2.4.2	Isolation technology.....	21
2.4.3	Terminal technology	18
2.5	Chapter summary	25
Chapter III	The design of LED drive switching circuit	27

3.1 Principle and performance requirements	27
3.1.1 Drive circuit type and principle	27
3.1.2 Drive circuit performance requirements	28
3.2 Circuit design and simulation modeling	29
3.2.1 Power for supply LED designing.....	30
3.2.2 Control circuit modeling.....	41
3.3 Circuit simulation and the result analysis	44
3.4.1 The PSpice circuit simulation	44
3.4.2 The demo and performance test	47
3.4 Chapter summary	51
Chapter IV Design and simulation for power MOSFET	53
4.1 Structures and principle of power MOSFET device	53
4.1.1 Introduce and classify of power MOSFET	53
4.1.2 Structure and principle of power MOSFET	54
4.2 Design and simulation of LDMOS	56
4.2.1 Structure and process design of LDMOS	56
4.2.2 Analysis of simulation result of LDMOS	64
4.3 Design and simulation of VDMOS	69
4.3.1 Structure and process design of VDMOS	69
4.3.2 Analysis of simulation result of VDMOS	76
4.4 Chapter summary	80
Chapter V Design and simulation for IGBT	81
5.1 Structures and principle of IGBT	81
5.1.1 Device structure of IGBT.....	81
5.1.2 Device principle of IGBT	82
5.2 Device design and process design of IGBT	83
5.2.1 Structure design of IGBT	85
5.2.3 Parameter optimization of IGBT	87

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库