

学校编码: 10384

分类号_____ 密级_____

学 号: 19920131152931

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

与标准 Si 工艺兼容的集成传感芯片的研究

Research of Integrated Sensing Chips Compatible with
Standard Si Process

徐 攀

指导教师姓名: 程 翔 副教授

专 业 名 称: 机 械 工 程

论文提交日期: 2016 年 5 月

论文答辩时间: 2016 年 5 月

学位授予日期: 2016 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2016 年 5 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）：

年 月 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）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

随着现代科技水平的飞速发展，人民的生活水平大大提高，传感器技术越来越受到重视，它的应用领域已经渗透到了各方各面。传感器以它技术含量高、经济效益好、市场前景广等优点已经被国内外公认为是具有发展前途的高技术产业。而其中的集成传感器是用集成电路工艺和技术制造的微型、集成、智能化传感器，它具有体积小、重量轻、使用方便、可靠性高、接口灵活、微功耗等优势，是传感器的发展方向。近年来，各类新颖集成传感器不断涌现，应用广泛。其中欧美等国展现出了明显的领先优势，国内的一些研究机构也已着手开发和研究，但在产品灵敏度、可靠性及成本上与国外相比还存在较大差距。基于此，本文提出采用标准 Si 工艺进行研制以集成光电三极管和集成压力传感器两个为代表的集成传感芯片，就芯片设计、流片加工、封装以及测试开展了大量的研究工作。

本文主要研究工作与成果包括以下方面：

(1) 分析了光电三极管的工作原理和性能优势，并对其制作标准 Si 工艺进行了介绍。

(2) 对集成光电三极管进行了结构分析和仿真。从低成本角度出发，设计并采用 CSMC0.25 μm BCD 工艺研制了面积分别为 40 \times 40 μm^2 、50 \times 100 μm^2 、80 \times 100 μm^2 、100 \times 100 μm^2 光电三极管的芯片并流片。测试结果表明响应度最高可以达到约 2.02A/W，电流放大倍数 β 可以达到 60 左右，并且频率特性较好。

(3) 利用 MOSFET 管沟道区域作为集成压力传感器的等效压敏电阻方式，使用 COMSOL 软件对其进行了仿真分析，结果显示所设计的压力传感器灵敏度较好。给出了一种 CMOS 工艺与 MEMS 工艺相结合的制造方式，并对一种制作集成压力传感器的工艺进行了探讨。

本文的创新点如下：

从低成本角度出发，采用标准 Si 工艺成功研制集成光电三极管；提出了一种将 MOSFET 管设计成方环形，利用其沟道区设计了一种 CMOS 工艺与 MEMS 工艺相结合的集成压力传感器，在工业计量和医疗仪器等领域有一定的应用前景。

关键词：集成传感；集成光电三极管；集成压力传感器

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

With the rapid development of modern science and technology, people's living standard has been greatly improved. Sensor technology has been paid more and more attentions, which has a great effect on our life. With its advantages of high technology content, good economic benefit and wide market prospect, the sensor has been recognized as a promising high-tech industry at home and abroad. And the integrated sensor is a miniature, integrated and intelligent sensor, which is made by integrated circuit technology. With its advantages of small size, light weight, high reliability, flexible interface and micro power consumption, the integrated sensor is the development direction of the sensor. In recent years, all kinds of new integrated sensors are emerging, which are widely used. Europe and the United States and other countries show a clear lead, and some of the domestic research institutions have also started to do some research. But there is still a big gap in the product sensitivity, reliability and cost. This paper proposes to make the integrated photoelectric transistor and the integrated pressure sensor made in standard Si process. Here a lot of research have been done in the design, processing, packaging and testing of the chips.

In this paper, the main work are as follows:

(1) The working principle and performance advantages of the photoelectric transistor are analyzed, and it is introduced how to make it in the standard Si process.

(2) The structure analysis and simulation of the photoelectric transistor are carried out. From the economic point of view, the photoelectric transistor with the area of $40 \times 40 \mu\text{m}^2$, $50 \times 100 \mu\text{m}^2$, $80 \times 100 \mu\text{m}^2$, $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ are developed in $0.25 \mu\text{m}$ BCD process by CSMC. The test results show that the maximum response can reach 2.02A/W , the current amplification factor beta can be about 60 and the frequency characteristic is good.

(3) Using the MOSFET channel region as the equivalent pressure sensitive resistance of the integrated pressure sensor, the simulation analysis is carried out by COMSOL. The results show that the designed pressure sensor has a good sensitivity. A

combined regimen of CMOS technology and MEMS technology as the manufacturing method is presented, and the reasons for the failure are discussed.

The innovation point of this paper is as follows:

The integrated photoelectric transistor is successfully developed in 0.25 μ m BCD process by CSMC. A design of the MOSFET designed into square ring is proposed. Its channel region is used to make the integrated pressure sensor by a combined regimen of CMOS technology and MEMS technology, which has a certain application prospect in the field of industrial measurement and medical instrument.

Key words: integrated sensing; integrated photoelectric transistor; integrated pressure sensor

目 录

中文摘要	I
英文摘要	III
第一章 绪论	1
1.1 集成传感器及其性能	1
1.2 集成传感器的研究现状与发展趋势	2
1.3 采用标准 Si 工艺制作集成传感芯片的意义	4
1.4 本文结构与内容安排	6
第二章 硅基标准工艺下光电三极管的研究基础	7
2.1 PN 结光电探测器工作原理	7
2.2 光电三极管的基本原理	9
2.2.1 光电三极管放大原理	9
2.2.2 光电三极管的光电转换原理	10
2.3 光电三极管比其它光敏器件的优点	11
2.4 光电三极管的性能参数	12
2.5 特征波长和双层抗反射膜	13
2.5.1 特征波长的选择	13
2.5.2 双层抗反射膜	14
2.6 硅基光电探测器的工艺	15
2.6.1 CMOS 工艺简介	15
2.6.2 BCD 工艺简介	17
2.7 本章小结	17
第三章 硅基标准工艺下光电三极管的结构仿真与版图设计	19
3.1 光电三极管的结构设计	19
3.2 光电三极管的工艺仿真	20

3.3 光电三极管的器件仿真	22
3.4 光电三极管的版图设计规则	23
3.4.1 集成电路版图设计概述	24
3.4.2 版图工艺设计规则	25
3.4.3 版图验证	26
3.5 芯片版图的实现	27
3.5.1 光电三极管版图	27
3.5.2 焊盘的版图	28
3.6 本章小结	28
第四章 硅基标准工艺下光电三极管的封装和测试分析	30
4.1 芯片的封装介绍及流程	30
4.2 光电三极管的测试及分析	34
4.2.1 暗电流和响应度测试	35
4.2.2 光谱响应测试	39
4.2.3 测试时长对光电流的影响	40
4.2.4 电流增益的测试	41
4.2.5 频率特性的测试	42
4.3 本章小结	45
第五章 硅基标准工艺下集成压力传感器的研究基础	47
5.1 使用 CMOS 和 MEMS 工艺结合的方式制作集成压力传感器	47
5.2 CMOS 工艺下集成压力传感器的原理分析	48
5.2.1 MOSFET 管的理论分析	48
5.2.2 应力	49
5.2.3 压阻效应	50
5.3 本章小结	52
第六章 硅基标准工艺下集成压力传感器的设计与加工工艺	53
6.1 集成压力传感器电路原理分析与结构设计	53
6.2 集成压力传感器的建模与分析	54
6.3 集成压力传感器的加工制作工艺	58

6.4 制作工艺的探讨	61
6.5 本章小结	65
第七章 工作总结与展望	66
7.1 工作总结	66
7.2 展望	67
参考文献	68
硕士期间发表论文及申请专利	71
致谢	72

Table of Contents

Abstract in Chinese	I
Abstract in English	III
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Integrated sensor and its properties	1
1.2 Research status and development trend of integrated sensor	2
1.3 The significance of making integrated sensing chip in standard Si process.	4
1.4 Contents and structures of this thesis.....	6
Chapter 2 Research foundation of photoelectric transistor based on standard silicon process	7
2.1 Working principle of PN junction photodetector.....	7
2.2 Basic principle of the photoelectric transistor	9
2.2.1 Amplifier principle of photoelectric transistor	9
2.2.2 Photoelectric conversion principle of photoelectric transistor	10
2.3 The advantages of photoelectric transistor	11
2.4 Performance parameters of photoelectric transistor	12
2.5 Characteristic wavelength and double layer anti reflection film.....	13
2.5.1 Characteristic wavelength.....	13
2.5.2 Double layer anti reflection film	14
2.6 The standard silicon process of photoelectric detector.....	15
2.6.1 Introduction of CMOS process.....	15
2.6.2 Introduction of BCD process.....	17
2.7 Conclusion.....	17
Chapter 3 Structure simulation and layout design of photoelectric transistor based on standard silicon process	19

3.1 Structure design of photoelectric transistor	19
3.2 Process simulation of photoelectric transistor	20
3.3 Device simulation of photoelectric transistor	22
3.4 Layout design rules of photoelectric transistor	23
3.4.1 Overview of integrated circuit layout design	24
3.4.2 Layout design rules.....	25
3.4.3 Layout verification rules.....	26
3.5 Layout realization of chips	27
3.5.1 Layout of photoelectric transistor.....	27
3.5.2 Layout of Pad.....	28
3.6 Conclusion.....	28
Chapter 4 Package and test analysis of photoelectric transistor based on standard silicon process	30
4.1 Introduction of chip package	30
4.2 Test and analysis of photoelectric transistor	34
4.2.1 Test of dark current and responsibility	35
4.2.2 Test of spectral response.....	39
4.2.3 Effect of test time on light current.....	40
4.2.4 Test of current gain.....	41
4.2.5 Test of Frequency characteristic.....	42
4.3 Conclusion.....	45
Chapter 5 Research foundation of integrated pressure sensor based on standard silicon process	47
5.1 CMOS-MEMS technology.....	47
5.2 Principle analysis of integrated pressure sensor in CMOS process	48
5.2.1 Theoretical analysis of MOSFET	48
5.2.2 Stress.....	49
5.2.3 Piezoresistive effect.....	50
5.3 Conclusion.....	52

Chapter 6 Design and processing technology of integrated pressure sensor based on standard silicon process.....	53
6.1 Principle analysis and structure design of integrated pressure sensor	53
6.2 Modeling and analysis of integrated pressure sensor	54
6.3 Processing and manufacturing process of integrated pressure sensor.....	58
6.4 Discussion on the process.....	61
6.5 Conclusion.....	65
Chapter 7 Conclusion and prospect	66
7.1 Conclusion.....	66
7.2 Prospect.....	67
References	68
Publications	71
Acknowledgement.....	72

第一章 绪论

随着新技术革命的到来，世界开始进入信息时代。在利用信息的过程中，首先要解决的就是要获取准确可靠的信息，而传感器是获取自然和生产领域中信息的主要途径与手段^{[1][2]}。目前，传统传感器的研究和应用已经趋近完善，新型智能化的传感器已经成为国际上的研究热点和发展方向。而随着集成电路工艺技术日新月异的发展，传感器集成化所带来的精度高、尺寸小、价格便宜等优势使得集成传感芯片在各个方面都有很广泛的应用前景^[3]。

本章从传感器开始介绍，论述了集成传感器及其性能，综述了国内外研究现状和趋势，阐述了采用标准 Si 工艺的意义，最后介绍了本文的主要结构及内容安排。

1.1 集成传感器及其性能

传感器一般是指把光、磁、力、热或化学信息转换成电学信号的器件。这些元件的输出电信号要送到信息处理器作进一步的加工处理。传感器的类型很全面，如表 1-1 所示^[4]，应用范围广泛，在宏观上可以观察上千光年的浩瀚宇宙；微观上能够深入到纳米级的粒子世界；时间上可以测知长达数十亿年的天体演化或是短到 10^{-20} 秒的瞬态反应；并且在超温超压、强电磁场、核辐射等恶劣环境中起到人类不能直接反映的作用。然而为了能够与信息时代信息量激增、要求捕获和处理信息的能力日益增强的技术发展趋势保持一致，对于传感器性能指标的要求越来越严格；与此同时，传感器系统的操作友好性亦被提上了议事日程，因此还要求传感器必须配有标准的输出模式；而传统的大体积弱功能传感器往往很难满足上述要求。

随着集成电路技术的发展，用集成电路工艺和技术将传感器和越来越多的信号处理电路制作在同一芯片上或封装在同一管壳内，形成了微型、集成、智能化传感器，这就是集成传感器（Integrated sensor）。集成传感器的微型化已有苍蝇携带的窃听器；集成化已有把敏感元件、放大调制电路放在一起作为整体接口；智能化则是把传感器（五官）、计算机（大脑）、执行部件（手）作为一个完整的

自动测控系统。感知、运控和执行部件将代替人类五官、大脑和双手。集成电路技术的持续高速发展在人类科学技术发展史上是空前的，将传感器技术带至了全新的高度。

表 1-1 传感器的类型

按传感器的用途分类	按传感器的工作原理分类
位移传感器	电阻式传感器
力传感器	电感式传感器
荷重传感器	电容式传感器
速度传感器	电涡流式传感器
振动传感器	磁电式传感器
温度传感器	压电式传感器
湿度传感器	光电式传感器
密度传感器	磁弹性式传感器
可燃气体传感器	谐振梁式传感器
.....

1.2 集成传感器的研究现状与发展趋势

国内外对集成传感器的研究已经有几十年的历史，就当前技术发展现状来看，集成传感器已经对大量不同应用领域，如航空、远距离探测、医疗及工业自动化等领域的信号探测系统产生了深远影响，目前开发并进入实用阶段的集成传感器已可以用来测量各种物理量、化学量和生物量，如位移、速度、加速度、压力、应力、应变、声、光、电、磁、热、PH 值、离子浓度及生物分子浓度等。

瑞士联邦技术研究所的 T.Kinkeldei 等学者使用了含金电阻的温度传感器和导电聚合物湿度传感器在聚酰亚胺基片上开发了一种集成传感芯片^[5]，如图 1.1 (a) 所示，该传感器主要被用于纺织用的纺织机的室内监测上。被测电阻随温度的线性变化系数为 $0.0028^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，湿度的非线性分布在 30%到 80%RH 范围内。英国皇家化学协会制作了如图的生物传感芯片用于血型检定，一滴血液被分至微混合器、反应室和检测区三个区域，直接通过肉眼便可以判断血型^[6]，如图 1.1

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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.