

# 军用电子元器件

JUNYONG DIANZI YUANQIJIAN

总装备部电子信息基础部 编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 军用电子元器件

JUNYONG DIANZI YUANQIJIAN

总装备部电子信息基础部 编



国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

当前,世界正在进行着一场新的军事变革。信息化是这场新军事变革的本质和核心。实现武器装备信息化的必要条件是高水平、高可靠的军用电子元器件。为加快我国军用电子元器件的发展,从而促进武器装备信息化的进程,特编写此书。

全书共分为9篇,按照大的军用电子元器件门类如微电子器件、微电子机械、光电子器件、真空电子器件、化学与物理电源、机电组件与通用元件、特种元件等各自作为一篇。对于每一门类的元器件,又划分成种类作为章节,对各种元器件的基本工作原理,主要技术参数及主要应用领域进行了描述;为加深读者对元器件的理解,对各类元器件的基本制造工艺也进行了专门介绍;与元器件相关的主要支撑技术材料、设备和封装外壳以及可靠性技术也作为独立的篇章进行了介绍;对军用电子元器件技术发展趋势及方向提出了预测。

本书可为从事武器装备发展的各级管理人员提供参考,有利于了解军用电子元器件及其应用;为武器装备系统的研制人员应用电子元器件提供技术参考,以利于更好的使用国产元器件。

### 图书在版编目(CIP)数据

军用电子元器件 / 总装备部电子信息基础部编. —北京:  
国防工业出版社, 2009. 4  
ISBN 978 - 7 - 118 - 06120 - 8

I. 军... II. 总... III. ①军用器材 - 电子元件②军用器  
材 - 电子器件 IV. TN6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 206146 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 880 × 1230 1/16 印张 57¼ 字数 1671 千字  
2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—6000 册 定价 288.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422  
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474  
发行业务:(010)68472764

# 《军用电子元器件》

## 编审委员会

顾 问	王阳元	刘盛刚	许居衍	周寿桓	沈绪榜
	苏君红				
主 任	张 弛				
常务副主任	李纪南				
副 主 任	汤小川	倪红星	郝 跃	韩建忠	廖复疆
	尤 政				
委 员	张蜀平	陈世杰	李佑斌	严晓浪	罗 辑
	杨崇峰	何卫东	单吉东	赵和义	刘莉萍
	王祖文	肖安倩	高俊华	耿学清	高祥珠
	朱利宏	唐正国	徐世六	杨乃彬	张文栋
	王群勇	王保平	郑 廷		

## 总 编 委

主 编	陈世杰	张蜀平			
副 主 编	王祖文	李佑斌			
委 员	胡先发	肖安倩	章锦泰	高俊华	高祥珠
	耿学清	杨中海	张 波	张 兴	蔡 毅
	何 力	沈能珏	黄庆安	何松波	蒋亚东
	杨邦朝	王怀毅	汪继强	刘俊刚	胡爱民
	许天奇	郑宏宇	钟荣焕	王 刚	恩云飞

# PREFACE

## 前言

当前,世界正在进行着一场新的军事变革。这场新军事变革的最主要特点是把机械化军事形态改造成信息化军事形态,其主要标志是信息化武器逐渐主宰战场,出现知识密集型的信息化军队,信息化是这场新军事变革的本质和核心。武器装备的信息化在美国进行的军事变革中已率先得到体现。近年来,在美国发动的多次局部战争中,均显示出美国的武器装备系统在信息化指挥控制、精确制导、隐身技术及电子对抗等方面的巨大优势。这种优势使得号称世界第四大军事强国的对手在战争过程中毫无还手之机就被击溃了。

实现武器装备信息化的必要条件是高水平、高可靠的军用电子元器件。军用电子元器件是构成现代化武器系统和电子信息装备的基本功能单元,在所有的现代化武器装备中起着不可替代的作用。核武器的引爆装置和控制系统由可靠性极高的元器件构成;现代化战争中起着重要作用的信息化指挥控制系统的性能取决于所使用的集成电路的处理能力和运算速度;雷达、电子对抗系统的作用距离、对抗能力取决于所使用的各种微波功率器件的输出功率、频率及变频能力;各种精确制导武器的打击精度主要取决于所使用的惯性器件的性能;卫星的工作寿命和工作效能也主要取决于所使用的电源系统和电子有效载荷;各类探测、侦察、夜视设备的性能主要由所用各种波段的电子元器件水平所决定;宇宙飞船中航天员生存环境的变化是由舱中多种传感器反映出来而得以及时调节等。纵观现有军事系统的发展,所有的空间、空中、地面和海洋领域的各种军事电子系统无不大量使用电子元器件,仅一架预警机的任务电子系统就要使用 4000 多种、140 万只,“神七”飞船使用近 2000 种近 10 万只各种电子元器件。

随着材料、工艺设备和计算机辅助设计技术的迅速发展,军用电子元器件在军事电子系统快速发展的需求牵引下,其发展速度非常快。以集成电路为代表的微电子器件,其主流产品按照摩尔定律进步,集成度已达到每只器件上集成数十亿只晶体管,把一个复杂的电子信息系统集成在一块芯片上的微电子产品已得到广泛应用;适用于耐高温(400℃以上)抗辐照条件下工作的宽禁带半导体功率器件已在军事装备中得到应用。微电子加工工艺和超精密机械加工工艺相结合,制造出的微电子机械系统,把可动的微型机械系统和集成电路做在同一芯片上,可形成微型传感器、执行器及信息器件,在武器系统的微型化、智能化方面发挥重要作用。以光电器件为核心的信息系统,其工作频段从红外、可见

光、紫外线,直至 X 光,在信息采集(激光雷达、微光夜视、红外成像)、信息传输(光纤通信、激光通信)、信息处理和显示等许多军事领域中应用。真空电子器件是理想的微波功率源,宽带(1.5 倍频程)行波管连续波功率已达 300W 以上,用于电子战装备中;机载 X 波段行波管,平均功率 2000W,用于机载雷达中;各种化学物理电源在武器装备中应用越来越广泛,正朝着长寿命、大功率、免维护及高比能量方向发展,空间电源系统太阳能电池阵的转换效率已达到 28% 以上;由各种物理、化学量传感器、磁性和声表元器件构成的特种元器件领域,虽然品种规格极其繁多,但基本上是利用越来越完备的微电子加工工艺技术,并与集成电路相结合,向着微型化、智能化方向发展,形成各具特点的微型功能模块,在武器装备中发挥着越来越大的作用;机电组件与通用军用电子元器件领域是应用面最广的基础产品,随着电子信息产品向数字化、网络化、集成化、便携式的方向发展,复合元器件和集成无源元件已成为电子元器件发展的重要方向。

世界各发达国家在加速发展武器装备信息化的同时,均把核心电子元器件作为影响国家安全的战略资源加以控制,把限制核心电子器件的出口作为一项基本国策。尤其是针对快速崛起的中国更是特别加强限制。即使对气象卫星上用的关键集成电路,也要美国总统特别批准才能限量出售给中国,并要定期派人对备用品进行检查以确定是否挪作他用;在“神舟”系列发射成功后,更是制定了一系列限制向中国出售的元器件清单以遏制我国航天事业的发展速度;对制造元器件关键设备的出售也必须限制在落后于国际先进水平三代以上。

我国军用电子器件技术就是在国外封锁、控制的条件下努力拼搏,不断进步,在许多领域打破了国外禁运,基本保障了武器装备和航天技术的发展。党和政府对军用电子元器件发展非常重视,多年来都把军用电子元器件发展列入武器装备研究计划中,给予重点支持,如军用微电子技术、光电子技术等元器件技术多次被列入国防关键技术计划,在最近启动的国家中长期发展计划中,又将其列入国家重大专项给予特别支持,确保不受制于人。

多年来,各方反映,为了更好地推动我国军用电子元器件的发展,尤其是推动国产元器件在武器装备中的应用,十分需要一部全面系统介绍军用电子元器件的专著,为此,我们组织了一百多位在科研生产一线工作多年、有着丰富实践经验的专家编写本书,并请军用电子元器件领域造诣很深的院士作为顾问,对各类军用电子元器件从基本概念和工作原理、主要技术参数、主要应用领域和技术发展趋势等方面作一较为全面的阐述,为从事相关管理工作的人员了解军用电子元器件及其应用提供帮助;为武器装备系统的研制人员应用电子元器件提供技术参考,以利于他们更好地使用国产元器件。为了便于读者对元器件加强了解,对制造元器件最为直接的材料,工艺设备及封装技术和可靠性技术也列为专门篇章进行了介绍。

参加编写的专家们力求为读者提供尽可能全面系统的资料。但由于元器件品种极其繁多,从原理和应用形式都存在很大差别,因而各篇章在阐述繁简程度上不尽相同,由于技术发展十分迅速,有些反映器件性能的技术参数不一定十分完全、准确。对文中存在的错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编写组

二〇〇八年十一月于北京

# CONTENTS

## 目录

### 第一篇 微电子器件

<b>第1章 硅数字集成电路</b>	3	1.5.3 应用范围	14
<b>1.1 概述</b>	3	1.5.4 技术发展趋势	14
1.1.1 定义与分类	3	<b>1.6 总线接口</b>	15
1.1.2 发展过程	3	1.6.1 概述	15
1.1.3 特点和需求	4	1.6.2 技术发展趋势	16
<b>1.2 微处理器</b>	4	<b>1.7 专用集成电路</b>	17
1.2.1 概述	4	1.7.1 概述	17
1.2.2 主要技术性能	7	1.7.2 主要技术性能	17
1.2.3 应用范围	7	1.7.3 应用范围	18
1.2.4 技术发展趋势	7	1.7.4 技术发展趋势	18
<b>1.3 数字信号处理器</b>	8	<b>1.8 可编程逻辑器件</b>	19
1.3.1 概述	8	1.8.1 概述	19
1.3.2 主要技术性能	8	1.8.2 主要技术性能	21
1.3.3 应用范围	10	1.8.3 应用范围	22
1.3.4 技术发展趋势	10	1.8.4 技术发展趋势	22
<b>1.4 微控制器</b>	10	<b>参考文献</b>	23
1.4.1 概述	10	<b>第2章 硅模拟/混合信号集成电路</b>	24
1.4.2 主要技术性能	11	<b>2.1 概述</b>	24
1.4.3 应用范围	12	2.1.1 定义和分类	24
1.4.4 技术发展趋势	12	2.1.2 技术发展趋势	25
<b>1.5 存储器</b>	13	2.1.3 应用范围	25
1.5.1 概述	13	<b>2.2 放大器</b>	27
1.5.2 主要技术性能	13	2.2.1 概述	27

2.2.2	集成运算放大器	28	3.3.3	应用范围	49
2.2.3	功率放大器	29	3.3.4	技术发展趋势	50
2.2.4	RF 放大器与低噪声放大器	29	<b>3.4 砷化镓低噪声场效应晶体管</b>		50
<b>2.3 A/D 转换器</b>		30	3.4.1	概述	50
2.3.1	概述	30	3.4.2	主要技术性能	50
2.3.2	主要技术性能	32	3.4.3	应用范围	50
2.3.3	应用范围	33	3.4.4	技术发展趋势	51
2.3.4	技术发展趋势	33	<b>3.5 磷化铟毫米波器件</b>		51
<b>2.4 D/A 转换器</b>		34	3.5.1	概述	51
2.4.1	概述	34	3.5.2	主要技术性能	51
2.4.2	主要技术性能	35	3.5.3	应用范围	51
2.4.3	应用范围	36	3.5.4	技术发展趋势	52
2.4.4	技术发展趋势	36	<b>3.6 微波毫米波二极管</b>		52
<b>2.5 射频集成电路</b>		36	3.6.1	概述	52
2.5.1	概述	36	3.6.2	主要技术性能	52
2.5.2	主要技术性能	37	3.6.3	应用范围	53
2.5.3	应用范围	38	3.6.4	技术发展趋势	53
2.5.4	技术发展趋势	39	<b>3.7 单片功率放大器</b>		53
<b>2.6 电源及电源管理电路</b>		39	3.7.1	概述	53
2.6.1	概述	39	3.7.2	主要技术性能	54
2.6.2	主要技术性能	40	3.7.3	应用范围	54
2.6.3	应用范围	40	3.7.4	技术发展趋势	55
2.6.4	技术发展趋势	41	<b>3.8 单片低噪声放大器</b>		55
<b>2.7 其他类型的模拟/混合信号集成电路</b>		41	3.8.1	概述	55
2.7.1	模拟专用集成电路	41	3.8.2	主要技术性能	55
2.7.2	其他类型的数据转换器	41	3.8.3	应用范围	56
2.7.3	接口集成电路	42	3.8.4	技术发展趋势	56
2.7.4	模拟开关和多路选择器	42	<b>3.9 单片振荡器和单片混频器</b>		56
<b>参考文献</b>		43	3.9.1	概述	56
<b>第3章 微波毫米波器件与电路</b>		44	3.9.2	主要技术性能	57
<b>3.1 概述</b>		44	3.9.3	应用范围	58
3.1.1	基本分类	44	3.9.4	技术发展趋势	58
3.1.2	发展概况	45	<b>3.10 单片开关和单片衰减器</b>		58
3.1.3	应用范围	46	3.10.1	概述	58
<b>3.2 硅微波功率器件</b>		46	3.10.2	主要技术性能	59
3.2.1	概述	46	3.10.3	应用范围	60
3.2.2	主要技术性能	47	3.10.4	技术发展趋势	60
3.2.3	应用范围	47	<b>3.11 单片移相器</b>		60
3.2.4	技术发展趋势	48	3.11.1	概述	60
<b>3.3 砷化镓微波功率器件</b>		48	3.11.2	主要技术性能	61
3.3.1	概述	48	3.11.3	应用范围	61
3.3.2	主要技术性能	49			



3.11.4	技术发展趋势	61
<b>3.12</b>	<b>多功能单片微波集成电路</b>	<b>61</b>
3.12.1	概述	61
3.12.2	主要技术性能	62
3.12.3	应用范围	62
3.12.4	技术发展趋势	62
<b>参考文献</b>		<b>63</b>
<b>第4章</b>	<b>砷化镓超高速集成电路</b>	<b>64</b>
<b>4.1</b>	<b>概述</b>	<b>64</b>
4.1.1	砷化镓超高速集成电路中的高速器件	65
4.1.2	砷化镓超高速集成电路的单元逻辑电路结构	65
<b>4.2</b>	<b>砷化镓高速分频器</b>	<b>66</b>
4.2.1	概述	66
4.2.2	主要技术性能	66
4.2.3	产品应用范围	67
4.2.4	技术发展趋势	67
<b>4.3</b>	<b>砷化镓模/数转换器与数/模转换器</b>	<b>67</b>
4.3.1	概述	67
4.3.2	砷化镓模/数转换器和数/模转换器的 主要技术性能	68
4.3.3	应用范围	69
4.3.4	技术发展趋势	69
<b>4.4</b>	<b>砷化镓多路选择器与多路分配器</b>	<b>69</b>
4.4.1	概述	69
4.4.2	砷化镓多路选择器和多路分配器 主要技术性能	71
4.4.3	应用范围	71
4.4.4	技术发展趋势	71
<b>4.5</b>	<b>砷化镓门阵列</b>	<b>72</b>
4.5.1	概述	72
4.5.2	主要技术性能	72
4.5.3	应用范围	73
4.5.4	技术发展趋势	73
<b>4.6</b>	<b>直接数字频率合成器</b>	<b>73</b>
4.6.1	概述	73
4.6.2	砷化镓直接数字频率合成器主要技术性能	73
4.6.3	应用范围	74
4.6.4	技术发展趋势	74
<b>4.7</b>	<b>数字射频存储器</b>	<b>74</b>
4.7.1	概述	74
4.7.2	主要技术性能	75
4.7.3	产品应用范围	76

4.7.4	技术发展趋势	76
<b>4.8</b>	<b>新型超高速器件</b>	<b>76</b>
<b>参考文献</b>		<b>77</b>
<b>第5章</b>	<b>宽禁带半导体器件与电路</b>	<b>78</b>
<b>5.1</b>	<b>概述</b>	<b>78</b>
5.1.1	宽禁带半导体的基本概念	78
5.1.2	宽禁带半导体器件分类	79
5.1.3	宽禁带半导体技术现状	79
5.1.4	应用范围	82
<b>5.2</b>	<b>宽禁带半导体器件</b>	<b>82</b>
5.2.1	GaN 基 HEMT 微波器件	82
5.2.2	其他 GaN 基电子器件	85
5.2.3	碳化硅微波功率器件	86
5.2.4	碳化硅功率器件	88
<b>5.3</b>	<b>宽禁带半导体光电器件</b>	<b>89</b>
5.3.1	GaN 基光电器件	89
5.3.2	碳化硅探测器	90
<b>5.4</b>	<b>其他宽禁带半导体器件</b>	<b>92</b>
5.4.1	氧化锌器件	92
5.4.2	单光子器件	93
5.4.3	宽禁带半导体纳米结构器件	93
5.4.4	基于 GaN 的子带间跃迁光开关	93
5.4.5	氮化物光催化剂	93
<b>参考文献</b>		<b>94</b>
<b>第6章</b>	<b>功率半导体器件与功率集成电路</b>	<b>95</b>
<b>6.1</b>	<b>概述</b>	<b>95</b>
6.1.1	功率半导体器件定义与分类	95
6.1.2	功率半导体器件的发展	96
<b>6.2</b>	<b>功率二极管</b>	<b>96</b>
6.2.1	概述	96
6.2.2	主要技术性能	97
6.2.3	应用范围	97
6.2.4	技术发展趋势	98
<b>6.3</b>	<b>功率双极型晶体管</b>	<b>98</b>
6.3.1	概述	98
6.3.2	主要技术性能	99
6.3.3	应用范围	99
6.3.4	技术发展趋势	100
<b>6.4</b>	<b>晶闸管类器件</b>	<b>100</b>
6.4.1	概述	100

6.4.2	主要技术性能	101	7.3.2	主要性能	118
6.4.3	应用范围	101	7.3.3	应用范围	119
6.4.4	技术发展趋势	101	7.3.4	技术发展趋势	119
<b>6.5</b>	<b>功率 MOSFET</b>	102	<b>7.4</b>	<b>脉宽调制放大器电路</b>	119
6.5.1	概述	102	7.4.1	概述	119
6.5.2	主要技术性能	103	7.4.2	主要技术性能	120
6.5.3	应用范围	104	7.4.3	应用范围	120
6.5.4	技术发展趋势	104	7.4.4	技术发展趋势	121
<b>6.6</b>	<b>绝缘栅双极型晶体管</b>	104	<b>7.5</b>	<b>轴角转换器</b>	121
6.6.1	概述	104	7.5.1	概述	121
6.6.2	主要技术性能	105	7.5.2	主要技术性能	122
6.6.3	应用范围	106	7.5.3	应用范围	123
6.6.4	技术发展趋势	106	7.5.4	技术发展趋势	123
<b>6.7</b>	<b>静电感应器件</b>	107	<b>7.6</b>	<b>电压/电流基准源</b>	123
6.7.1	概述	107	7.6.1	概述	123
6.7.2	主要技术性能	107	7.6.2	主要技术性能	124
6.7.3	应用范围	108	7.6.3	应用范围	125
6.7.4	技术发展趋势	108	7.6.4	技术发展趋势	125
<b>6.8</b>	<b>智能功率集成电路</b>	108	<b>7.7</b>	<b>中/低频放大器</b>	125
6.8.1	概述	108	7.7.1	概述	125
6.8.2	主要技术性能	109	7.7.2	主要技术性能	127
6.8.3	应用范围	110	7.7.3	应用范围	127
6.8.4	技术发展趋势	110	7.7.4	技术发展趋势	127
<b>6.9</b>	<b>SOI 高压集成电路</b>	111	<b>7.8</b>	<b>微波功率放大器</b>	127
6.9.1	概述	111	7.8.1	概述	127
6.9.2	主要技术性能	111	7.8.2	主要技术性能	128
6.9.3	应用范围	112	7.8.3	应用范围	128
6.9.4	技术发展趋势	112	7.8.4	技术发展趋势	128
<b>参考文献</b>		112	<b>7.9</b>	<b>微波低噪声放大器</b>	129
<b>第 7 章 混合集成电路与多芯片组件</b>		113	7.9.1	概述	129
<b>7.1</b>	<b>概述</b>	113	7.9.2	主要技术性能	129
7.1.1	混合集成电路	113	7.9.3	应用范围	130
7.1.2	多芯片组件	114	7.9.4	技术发展趋势	130
<b>7.2</b>	<b>DC/DC 变换器和 EMI 电源滤波器</b>	115	<b>7.10</b>	<b>微波频率源</b>	130
7.2.1	概述	115	7.10.1	概述	130
7.2.2	主要技术性能	116	7.10.2	主要技术性能	130
7.2.3	应用范围	117	7.10.3	应用范围	131
7.2.4	技术发展趋势	117	7.10.4	技术发展趋势	131
<b>7.3</b>	<b>交流功率放大器</b>	118	<b>7.11</b>	<b>微波 T/R 组件</b>	131
7.3.1	概述	118	7.11.1	概述	131
			7.11.2	主要技术性能	132
			7.11.3	应用范围	132
			7.11.4	技术发展趋势	132

参考文献	133
<b>第 8 章 抗辐射器件与电路</b>	134
8.1 概述	134
8.1.1 辐射效应	135
8.1.2 辐射试验	137
8.2 抗辐射 CMOS 集成电路	138
8.2.1 概述	138
8.2.2 抗辐射微处理器系列电路	138
8.2.3 抗辐射 4000 系列和 54 系列电路	140
8.2.4 抗辐射专用集成电路	141
8.2.5 抗辐射现场可编程门阵列电路	142
8.3 抗辐射加固双极型集成电路	142
8.3.1 概述	142
8.3.2 抗辐射 TTL、ECL 电路和模拟电路	143
8.3.3 抗辐射 A/D 和 D/A 转换器	143
8.3.4 抗辐射 DC/DC 电源	145
8.4 抗辐射 CMOS/SOI 器件	146
8.4.1 概述	146
8.4.2 CMOS/SOI/SOS 电路	147
8.5 其他抗辐射器件	148
8.5.1 抗辐射半导体发光二极管	148
8.5.2 抗辐射砷化镓器件	148
8.5.3 抗辐射电荷耦合器件	149
8.5.4 抗辐射太阳能电池	150
8.5.5 抗辐射固体继电器	151
8.5.6 其他抗辐射器件性能	152
8.6 抗辐射加固电路发展动态	153
8.6.1 国外抗辐射加固电路性能	153
8.6.2 抗辐射加固电路发展趋势	154
参考文献	156
<b>第 9 章 片上系统</b>	157
9.1 概述	157
9.2 SoC 设计方法学及关键技术	158
9.2.1 集成电路 DSM 工艺技术	159
9.2.2 IP 设计和复用技术	159
9.2.3 软、硬件协同设计技术	160
9.3 IP 核	160
9.3.1 微处理器	161
9.3.2 存储器	161
9.3.3 片上总线	162

9.3.4 输入/输出接口	163
9.4 数字图像处理 SoC	163
9.4.1 设计简介	163
9.4.2 TE 的系统构成	163
9.4.3 TE 中的 IP 模块	164
9.4.4 TE 中的软件	164
9.4.5 TE 的设计实现	164
9.5 通信 SoC 芯片	165
9.5.1 设计简介	165
9.5.2 FC 中的主要 IP 模块	165
9.5.3 FC 中的软件	166
9.6 混合信号 SoC 芯片	166
9.6.1 混合信号 SoC 芯片发展的基础	167
9.6.2 混合信号 SoC 的关键技术	167
9.7 弹上嵌入式 C*SoC 芯片	168
9.7.1 设计简介	168
9.7.2 系统构成	168
9.7.3 系统内部的 IP 模块	169
9.7.4 软件开发	170
9.7.5 应用范围	170
9.8 SoC 的发展趋势	170
9.8.1 SoC 的产业化潜力	170
9.8.2 SoC 的集成度越来越高	171
9.8.3 SoC 的设计愈加复杂	172
9.8.4 SoC 的跨学科拓展	172
参考文献	173
<b>第 10 章 微电子工艺</b>	174
10.1 概述	174
10.2 单片集成电路基本工艺	175
10.2.1 扩散/氧化工艺	175
10.2.2 薄膜工艺	176
10.2.3 光刻工艺	180
10.2.4 离子注入工艺	183
10.2.5 平坦化工艺	184
10.2.6 背面工艺	185
10.3 单片集成工艺	185
10.3.1 硅双极集成工艺	185
10.3.2 硅 CMOS 集成工艺	186
10.3.3 硅 BiCMOS 及 SiGe 集成工艺	187
10.3.4 SoI 集成工艺	188
10.3.5 砷化镓集成工艺	188

10.4	混合集成电路及多芯片组件制作工艺	191
10.4.1	混合集成电路制作工艺	192

10.4.2	多芯片组件制作工艺	192
10.5	微电子工艺发展趋势	194

## 第二篇 微电子机械系统

第1章	MEMS 惯性器件	197
1.1	概述	197
1.2	MEMS 加速度计	198
1.2.1	基本概念与工作原理	198
1.2.2	主要技术性能	199
1.2.3	产品应用范围	199
1.2.4	技术发展趋势	200
1.3	MEMS 陀螺仪	200
1.3.1	基本概念与工作原理	200
1.3.2	主要技术性能	201
1.3.3	产品应用范围	202
1.3.4	技术发展趋势	202
1.4	微惯性测量组合	202
1.4.1	基本概念与工作原理	202
1.4.2	主要技术性能	203
1.4.3	产品应用范围	204
1.4.4	技术发展趋势	204
	参考文献	204
第2章	RF MEMS 器件	206
2.1	概述	206
2.2	RF MEMS 开关	207
2.2.1	基本概念与工作原理	207
2.2.2	主要技术性能	207
2.2.3	产品应用范围	208
2.2.4	技术发展趋势	208
2.3	RF MEMS 移相器	208
2.3.1	基本概念与工作原理	208
2.3.2	主要技术性能	210
2.3.3	产品应用范围	210
2.3.4	技术发展趋势	210
2.4	RF MEMS 滤波器	211
2.4.1	基本概念与工作原理	211
2.4.2	主要技术性能	212
2.4.3	产品应用范围	213
2.4.4	技术发展趋势	213

2.5	其他 RF MEMS 器件	213
2.5.1	基本概念与工作原理	213
2.5.2	主要技术性能	215
2.5.3	产品应用范围	215
2.5.4	技术发展趋势	215
	参考文献	215
第3章	MEMS 传感器	217
3.1	概述	217
3.2	MEMS 磁通门磁强计	217
3.2.1	基本概念与工作原理	217
3.2.2	主要技术性能	218
3.2.3	产品应用范围	219
3.2.4	技术发展趋势	219
3.3	MEMS 生化传感器	219
3.3.1	基本概念与工作原理	219
3.3.2	主要技术性能	220
3.3.3	产品应用范围	221
3.3.4	技术发展趋势	221
3.4	MEMS 集成传感器	221
3.4.1	基本概念与工作原理	221
3.4.2	主要技术性能	222
3.4.3	产品应用范围	222
3.4.4	技术发展趋势	223
	参考文献	223
第4章	MEMS 集成应用系统	224
4.1	概述	224
4.2	微型飞行器	225
4.2.1	基本概念与工作原理	225
4.2.2	主要技术性能	226
4.2.3	产品应用范围	226
4.2.4	技术发展趋势	226
4.3	空间微系统	227
4.3.1	基本概念与工作原理	227
4.3.2	主要技术性能	228
4.3.3	产品应用范围	229

4.3.4	技术发展趋势	229
<b>4.4</b>	<b>MEMS 传感器网络</b>	230
4.4.1	基本概念与工作原理	230
4.4.2	主要技术性能	230
4.4.3	产品应用范围	231
4.4.4	技术发展趋势	231
<b>第5章</b>	<b>MEMS 与 NEMS 的发展趋势</b>	232
<b>5.1</b>	<b>概述</b>	232
<b>5.2</b>	<b>微机电系统发展趋势</b>	232
<b>5.3</b>	<b>纳机电系统发展趋势</b>	234
<b>第6章</b>	<b>MEMS 工艺技术</b>	237
<b>6.1</b>	<b>概述</b>	237
<b>6.2</b>	<b>表面微机械工艺</b>	238
6.2.1	基本概念	238
6.2.2	典型工艺与技术指标	238
6.2.3	技术应用范围	240
6.2.4	技术发展趋势	240
<b>6.3</b>	<b>体硅微机械加工工艺</b>	240

6.3.1	基本概念	240
6.3.2	关键工艺及技术指标	240
6.3.3	典型工艺流程	241
6.3.4	技术应用范围	242
6.3.5	技术发展趋势	242
<b>6.4</b>	<b>LIGA 和 UV-LIGA 工艺</b>	242
6.4.1	基本概念	242
6.4.2	典型工艺与技术指标	243
6.4.3	技术应用范围	244
<b>6.5</b>	<b>MEMS 封装工艺</b>	244
6.5.1	基本概念	244
6.5.2	典型工艺与技术指标	245
6.5.3	技术应用范围	246
6.5.4	技术发展趋势	246
<b>6.6</b>	<b>纳机电系统加工工艺</b>	246
6.6.1	基本概念	246
6.6.2	典型工艺与技术指标	247
6.6.3	技术应用范围	248
6.6.4	技术发展趋势	248

## 第三篇 光电子元器件

<b>第1章</b>	<b>激光器</b>	250
<b>1.1</b>	<b>概述</b>	250
<b>1.2</b>	<b>固体激光器</b>	250
1.2.1	基本概念与工作原理	250
1.2.2	主要产品技术性能	251
1.2.3	产品应用范围	254
1.2.4	技术发展趋势	254
<b>1.3</b>	<b>半导体激光器</b>	254
1.3.1	基本概念与工作原理	254
1.3.2	主要产品技术性能	255
1.3.3	产品应用范围	255
1.3.4	技术发展趋势	255
<b>1.4</b>	<b>泵浦用半导体激光器</b>	255
1.4.1	基本概念与工作原理	255
1.4.2	主要产品及技术性能	256
1.4.3	产品应用范围	256
1.4.4	技术发展趋势	256

<b>1.5</b>	<b>气体激光器</b>	257
1.5.1	基本概念与工作原理	257
1.5.2	主要产品技术性能	257
1.5.3	产品应用范围	257
1.5.4	技术发展趋势	257
<b>第2章</b>	<b>红外光电及焦平面探测器组件</b>	258
<b>2.1</b>	<b>概述</b>	258
<b>2.2</b>	<b>光电导型红外探测器</b>	259
2.2.1	基本概念与工作原理	259
2.2.2	产品主要技术性能	260
2.2.3	产品应用范围	260
2.2.4	技术发展趋势	260
<b>2.3</b>	<b>线列 HgCdTe 焦平面探测器组件</b>	261
2.3.1	带延时积分型线列 HgCdTe 焦平面 探测器组件	261
2.3.2	不带延时积分的单线列焦平面探测器组件	263
<b>2.4</b>	<b>凝视型 HgCdTe 焦平面探测器组件</b>	265
2.4.1	基本概念与工作原理	265

2.4.2	产品主要技术性能	266	3.4.3	产品应用范围	286
2.4.3	产品应用范围	267	3.4.4	技术发展趋势	286
2.4.4	技术发展趋势	267	<b>参考文献</b>		286
<b>2.5</b>	<b>InSb 光伏型红外焦平面探测器</b>	267	<b>第4章 电荷耦合器件</b>		287
2.5.1	基本概念与工作原理	267	<b>4.1 概述</b>		287
2.5.2	产品主要技术性能	268	<b>4.2 线阵 CCD 图像传感器</b>		288
2.5.3	产品应用范围	269	4.2.1	基本概念与工作原理	288
2.5.4	技术发展趋势	269	4.2.2	产品主要技术性能	288
<b>2.6</b>	<b>InGaAs 短波红外焦平面组件</b>	269	4.2.3	产品应用范围	289
2.6.1	基本概念与工作原理	269	4.2.4	技术发展趋势	289
2.6.2	产品主要技术性能	270	<b>4.3 TDI 可见光 CCD 图像传感器</b>		290
2.6.3	产品应用范围	271	4.3.1	基本概念与工作原理	290
<b>2.7</b>	<b>PtSi 焦平面探测器</b>	271	4.3.2	产品主要技术性能	290
2.7.1	基本概念与工作原理	271	4.3.3	产品应用范围	291
2.7.2	产品主要技术性能	272	4.3.4	技术发展趋势	291
2.7.3	产品应用范围	272	<b>4.4 面阵 CCD 图像传感器</b>		291
2.7.4	技术发展趋势	273	4.4.1	基本概念及工作原理	291
<b>2.8</b>	<b>非制冷红外焦平面探测器</b>	273	4.4.2	产品主要技术性能	292
2.8.1	基本概念和基本原理	273	4.4.3	产品应用范围	294
2.8.2	产品主要技术性能	274	4.4.4	技术发展趋势	294
2.8.3	产品应用范围	274	<b>4.5 CCD 信号处理器件</b>		294
2.8.4	技术发展趋势	274	4.5.1	基本概念与工作原理	294
<b>2.9</b>	<b>量子阱红外焦平面探测器</b>	274	4.5.2	产品主要技术性能	295
2.9.1	基本概念和工作原理	274	4.5.3	产品应用范围	296
2.9.2	产品主要技术性能	274	4.5.4	技术发展趋势	296
2.9.3	产品应用范围	275	<b>第5章 红外探测器用杜瓦与制冷机/器</b>		297
2.9.4	技术发展趋势	275	<b>5.1 概述</b>		297
<b>参考文献</b>		276	<b>5.2 红外探测器用微型杜瓦</b>		298
<b>第3章 半导体光电探测器</b>		277	5.2.1	基本概念与工作原理	298
<b>3.1 概述</b>		277	5.2.2	产品主要技术性能	299
<b>3.2 硅光电探测器</b>		278	5.2.3	产品应用范围	299
3.2.1	概述	278	5.2.4	技术发展趋势	299
3.2.2	主要产品技术性能	278	<b>5.3 红外探测器用微型制冷机</b>		300
3.2.3	产品应用范围	281	5.3.1	基本概念与工作原理	300
3.2.4	技术发展趋势	281	5.3.2	产品主要技术性能	301
<b>3.3 InGaAs 光电探测器</b>		281	5.3.3	产品应用范围	302
3.3.1	InGaAs PIN 光电探测器	281	5.3.4	技术发展趋势	302
3.3.2	InGaAs 雪崩光电二极管	283	<b>5.4 节流制冷器</b>		302
<b>3.4 紫外探测器</b>		284	5.4.1	基本概念与工作原理	302
3.4.1	基本概念与工作原理	284			
3.4.2	产品主要技术性能	285			

5.4.2	产品主要技术性能	304
5.4.3	产品应用范围	304
5.4.4	技术发展趋势	304
<b>5.5</b>	<b>辐射制冷器</b>	<b>304</b>
5.5.1	基本概念与工作原理	305
5.5.2	产品主要技术性能	305
5.5.3	产品应用范围	306
5.5.4	技术发展趋势	306
<b>5.6</b>	<b>半导体制冷器</b>	<b>306</b>
5.6.1	基本概念和工作原理	306
5.6.2	产品主要技术性能	307
5.6.3	产品应用范围	308
<b>第6章</b>	<b>微光夜视器件</b>	<b>309</b>
<b>6.1</b>	<b>概述</b>	<b>309</b>
<b>6.2</b>	<b>像增强器</b>	<b>309</b>
6.2.1	像增强器的基本概念与工作原理	309
6.2.2	主要产品技术性能	313
6.2.3	像增强器的应用范围	317
6.2.4	像增强器的发展趋势	318
<b>6.3</b>	<b>微光摄像器件</b>	<b>318</b>
6.3.1	基本概念与工作原理	318
6.3.2	微光摄像器件的结构类型和性能参数	318
6.3.3	微光摄像器件的应用范围	320
6.3.4	微光摄像器件的发展趋势	321
<b>参考文献</b>		<b>321</b>
<b>第7章</b>	<b>平板显示器</b>	<b>322</b>
<b>7.1</b>	<b>概述</b>	<b>322</b>
<b>7.2</b>	<b>液晶显示器</b>	<b>323</b>
7.2.1	液晶显示器件工作原理	323
7.2.2	产品主要技术性能	324
7.2.3	产品应用范围	325
7.2.4	技术发展趋势	325
<b>7.3</b>	<b>等离子体显示屏</b>	<b>325</b>
7.3.1	等离子体显示工作原理	325
7.3.2	产品主要技术性能	326
7.3.3	产品应用范围	326
7.3.4	技术发展趋势	326
<b>7.4</b>	<b>电致发光显示器</b>	<b>327</b>
7.4.1	电致发光显示基本原理	327

7.4.2	产品主要技术性能	327
7.4.3	产品应用范围	328
7.4.4	技术发展趋势	328
<b>7.5</b>	<b>场致发光显示器</b>	<b>328</b>
7.5.1	场致发射显示基本原理	328
7.5.2	产品主要技术性能	329
7.5.3	产品应用范围	329
7.5.4	技术发展趋势	329
<b>第8章</b>	<b>光电信息处理器件</b>	<b>330</b>
<b>8.1</b>	<b>概述</b>	<b>330</b>
<b>8.2</b>	<b>光电集成和光子集成器件</b>	<b>330</b>
8.2.1	基本概念与工作原理	330
8.2.2	产品主要技术性能	331
8.2.3	产品应用范围	332
8.2.4	技术发展趋势	332
<b>8.3</b>	<b>光电传输组件</b>	<b>332</b>
8.3.1	基本概念与工作原理	332
8.3.2	产品主要技术性能	332
8.3.3	产品应用范围	336
8.3.4	技术发展趋势	336
<b>8.4</b>	<b>光电耦合器</b>	<b>336</b>
8.4.1	基本概念及工作原理	337
8.4.2	产品主要技术性能	338
8.4.3	产品应用范围	340
8.4.4	技术发展趋势	341
<b>第9章</b>	<b>光纤光缆</b>	<b>342</b>
<b>9.1</b>	<b>概述</b>	<b>342</b>
<b>9.2</b>	<b>高强度耐疲劳光纤</b>	<b>343</b>
9.2.1	基本概念与工作原理	343
9.2.2	主要技术性能	343
9.2.3	产品应用范围	344
9.2.4	技术发展趋势	344
<b>9.3</b>	<b>偏振保持光纤</b>	<b>344</b>
9.3.1	基本概念与工作原理	344
9.3.2	产品主要技术性能	346
9.3.3	产品应用范围	346
9.3.4	技术发展趋势	346
<b>9.4</b>	<b>耐辐照光纤</b>	<b>346</b>
9.4.1	基本概念与工作原理	346
9.4.2	产品主要技术性能	347

9.4.3	产品应用范围	347
9.4.4	技术发展趋势	347
<b>9.5</b>	<b>掺稀土光纤</b>	348
9.5.1	基本概念与工作原理	348
9.5.2	产品主要技术性能	348
9.5.3	产品应用范围	349
9.5.4	技术发展趋势	349
<b>9.6</b>	<b>传能光纤</b>	350
9.6.1	基本概念与工作原理	350
9.6.2	产品主要技术性能	350
9.6.3	产品应用范围	351
9.6.4	技术发展趋势	351
<b>9.7</b>	<b>野战光缆</b>	351
9.7.1	基本概念与工作原理	351
9.7.2	产品主要技术性能	351
9.7.3	产品应用范围	352
9.7.4	技术发展趋势	353
<b>9.8</b>	<b>海底光缆</b>	353
9.8.1	基本概念与工作原理	353
9.8.2	产品主要技术性能	354
9.8.3	产品应用范围	355
9.8.4	技术发展趋势	355
<b>9.9</b>	<b>系留和拖曳光电复合缆</b>	355
9.9.1	基本概念与工作原理	355
9.9.2	产品主要技术性能	356
9.9.3	产品应用范围	357
9.9.4	技术发展趋势	357
<b>9.10</b>	<b>舰载光缆及机载光缆</b>	357
9.10.1	基本概念与工作原理	357
9.10.2	产品主要技术性能	358
9.10.3	产品应用范围	358
9.10.4	技术发展趋势	358
<b>参考文献</b>		358
<b>第10章</b>	<b>光纤器件</b>	359
<b>10.1</b>	<b>概述</b>	359
<b>10.2</b>	<b>光纤光缆连接器</b>	359
10.2.1	基本概念与工作原理	359
10.2.2	产品主要技术性能	360
10.2.3	产品应用范围	361
10.2.4	技术发展趋势	362

<b>10.3</b>	<b>光纤耦合器</b>	362
10.3.1	基本概念与工作原理	362
10.3.2	产品主要技术性能	362
10.3.3	产品应用范围	363
10.3.4	技术发展趋势	364
<b>10.4</b>	<b>波分复用器</b>	365
10.4.1	基本概念与工作原理	365
10.4.2	产品主要技术性能	365
10.4.3	产品应用范围	365
10.4.4	技术发展趋势	366
<b>10.5</b>	<b>光隔离器</b>	366
10.5.1	基本概念与工作原理	366
10.5.2	产品主要技术性能	367
10.5.3	产品应用范围	368
10.5.4	技术发展趋势	368
<b>10.6</b>	<b>光开关</b>	368
10.6.1	基本概念和工作原理	368
10.6.2	产品主要技术性能	370
10.6.3	产品应用范围	370
10.6.4	技术发展趋势	370
<b>10.7</b>	<b>光纤光栅</b>	371
10.7.1	基本概念及工作原理	371
10.7.2	产品主要技术性能	372
10.7.3	产品应用范围	373
10.7.4	技术发展趋势	373
<b>10.8</b>	<b>光纤放大器</b>	373
10.8.1	基本概念与工作原理	373
10.8.2	产品主要技术性能	374
10.8.3	应用范围	375
10.8.4	技术发展趋势	375
<b>参考文献</b>		376
<b>第11章</b>	<b>光纤传感器</b>	377
<b>11.1</b>	<b>概述</b>	377
<b>11.2</b>	<b>光纤水听器</b>	377
11.2.1	基本概念与工作原理	377
11.2.2	产品主要技术性能	378
11.2.3	产品应用范围	378
11.2.4	技术发展趋势	379
<b>11.3</b>	<b>光纤陀螺</b>	379
11.3.1	基本概念与工作原理	379
11.3.2	产品主要技术性能	380



11.3.3	产品应用范围	381
11.3.4	技术发展趋势	381
<b>11.4</b>	<b>光纤加速度计</b>	<b>381</b>
11.4.1	基本概念与工作原理	381
11.4.2	产品主要技术性能	382
11.4.3	产品应用范围	383
11.4.4	技术发展趋势	383
<b>11.5</b>	<b>光纤温度与应变传感器</b>	<b>383</b>
11.5.1	基本概念与工作原理	383
11.5.2	产品主要技术性能	384
11.5.3	产品的应用范围	385
11.5.4	技术发展趋势	385
<b>11.6</b>	<b>其他光纤传感器</b>	<b>385</b>
11.6.1	基本概念与工作原理	385
11.6.2	产品主要技术性能	386
11.6.3	产品应用范围	387
11.6.4	技术发展趋势	387
<b>参考文献</b>		<b>387</b>
<b>第12章</b>	<b>集成光学器件</b>	<b>388</b>
<b>12.1</b>	<b>概述</b>	<b>388</b>
<b>12.2</b>	<b>集成光学分(合)路器</b>	<b>388</b>
12.2.1	基本概念与工作原理	388
12.2.2	产品主要技术性能	389
12.2.3	产品应用范围	390
12.2.4	技术发展趋势	390
<b>12.3</b>	<b>集成光学强度调制器</b>	<b>390</b>
12.3.1	基本概念与工作原理	390

12.3.2	产品主要技术性能	390
12.3.3	产品应用范围	391
12.3.4	技术发展趋势	391
<b>12.4</b>	<b>集成光学相位调制器</b>	<b>391</b>
12.4.1	基本概念与工作原理	391
12.4.2	产品主要技术性能	391
12.4.3	产品应用范围	392
12.4.4	技术发展趋势	392
<b>12.5</b>	<b>集成光开关</b>	<b>392</b>
12.5.1	基本概念与工作原理	392
12.5.2	产品主要技术性能	392
12.5.3	产品应用范围	392
12.5.4	技术发展趋势	393
<b>参考文献</b>		<b>393</b>

<b>第13章</b>	<b>光电子元器件工艺</b>	<b>394</b>
<b>13.1</b>	<b>概述</b>	<b>394</b>
<b>13.2</b>	<b>半导体激光器工艺</b>	<b>394</b>
<b>13.3</b>	<b>半导体探测器工艺</b>	<b>394</b>
<b>13.4</b>	<b>红外焦平面探测器组件工艺</b>	<b>395</b>
<b>13.5</b>	<b>CCD器件工艺</b>	<b>396</b>
<b>13.6</b>	<b>夜视器件的制造工艺</b>	<b>396</b>
13.6.1	像管的制造工艺	396
13.6.2	光纤耦合的ICCD制造工艺	397
<b>13.7</b>	<b>平板显示器件工艺</b>	<b>397</b>
<b>13.8</b>	<b>光纤器件制造工艺</b>	<b>399</b>
<b>13.9</b>	<b>光纤工艺</b>	<b>399</b>

## 第四篇 军用真空电子器件

<b>第1章</b>	<b>速调管</b>	<b>404</b>
<b>1.1</b>	<b>概述</b>	<b>404</b>
1.1.1	发展概况	404
1.1.2	分类	404
<b>1.2</b>	<b>单注速调管</b>	<b>405</b>
1.2.1	基本概念和工作原理	405
1.2.2	主要技术性能	406
1.2.3	产品应用范围	407
1.2.4	技术发展趋势	407
<b>1.3</b>	<b>多注速调管</b>	<b>407</b>

1.3.1	基本概念和工作原理	407
1.3.2	主要技术性能	408
1.3.3	产品应用范围	409
1.3.4	技术发展趋势	410
<b>参考文献</b>		<b>410</b>

<b>第2章</b>	<b>行波管</b>	<b>411</b>
<b>2.1</b>	<b>概述</b>	<b>411</b>
2.1.1	发展概况	411
2.1.2	分类	411
<b>2.2</b>	<b>螺旋线行波管</b>	<b>412</b>