

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: B200424023

UDC _____

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

**p-i-n 结构 4H-SiC 紫外光电二极管单管及
一维阵列的研制**

**Research and Fabrication of 4H-SiC Ultraviolet p-i-n
Photodiodes and Linear Array**

陈 厦 平

指导教师姓名: 吴正云 教授

专业名称: 凝聚态物理

论文提交日期: 2007 年 11 月

论文答辩时间: 2007 年 11 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2007 年 11 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

碳化硅 (SiC) 材料作为高温、高频以及大功率电子器件制备的理想半导体材料, 近年来越来越受到世界各国的广泛关注。由于 4H-SiC 材料的宽带隙 (~ 3.26 eV), 用其制备的紫外光电探测器将具有可见盲/日盲特性, 并且在高温条件下 4H-SiC 光电探测器的暗电流也比传统硅基探测器要低几个数量级。因此, 4H-SiC 材料被认为是制备紫外光电探测器的首选材料, 所制备的紫外光电探测器可在极端条件下应用于生化检测、可燃性气体尾焰探测、臭氧层监测、短波通讯以及导弹羽烟的紫外辐射探测等领域。对于 p-i-n 结构 4H-SiC 紫外光电二极管, 由于其较小的结电容和较大的并联电阻, 使得器件在低电压工作时具有较低的噪声、较快的响应速度和较高的光电响应度, 并且可在很强的可见及红外光背景下实现对紫外光的探测。近年来, 已有一些关于 4H-SiC 紫外光电二极管的报道, 包括肖特基、金属-半导体-金属 (MSM)、p-i-n 以及雪崩结构, 并且 6H-SiC 紫外光电二极管已成功制备并实现商业化, 但到目前为止关于高性能 4H-SiC p-i-n 紫外光电二极管的报道却很少。基于上述讨论, 本文通过对 p-i-n 结构 4H-SiC 紫外光电二极管的研制, 取得了以下重要结果:

1. 为了获得高性能的 p-i-n 结构 4H-SiC 紫外光电二极管, 对器件结构进行了优化设计。首先, 考虑到 p-i-n 光电二极管的结构特性, 对 4H-SiC 基片各外延层的掺杂浓度进行设定。由于不同结深对器件光谱响应有较大影响, 运用光生少数载流子的连续性方程对本征 I 层和 p^+ 层的宽度进行理论分析, 计算结果表明, 对于 $p^+ - n^-(i) - n^+$ 结构光电二极管, 在 I 层和 p^+ 层的宽度分别为 $0.5 \mu\text{m}$ 和 $0.2 \mu\text{m}$ 以及掺杂浓度分别为 $\sim 1.0 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 和 $> 1.0 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 的条件下, 所设计 4H-SiC p-i-n 紫外光电二极管的峰值响应波长位于 260 nm , 最大响应度可达到 0.16 A/W 。

2. 制备出高性能的 4H-SiC p-i-n 紫外光电二极管, 其光学窗口面积为 $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ 。在室温下对器件的光电特性进行测试, 结果显示, 在 -5 V 反向偏压下, 该光电二极管的平均暗电流密度为 2.5 pA/mm^2 , 在 270 nm 波长的紫外光照射情况下, 其产生的平均光电流与暗电流的比值大于四个数量级。通过电容-电压测试方法, 得到该光电二极管的开启电压 ($\sim 2.97 \text{ V}$) 以及本征 I 层的掺杂浓度 ($\sim 4.5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$)。光谱测试显示, 在 $200 - 400 \text{ nm}$ 波段该光电二极管的峰值响应波长位于 270 nm , 响应度为 0.13 A/W , 对应外量子效率约为 61% , 并且器件的紫外可见比大于 10^3 。在 270 nm 处, 该光电二极管

的光谱探测率 D^* 最大值为 $3.6 \times 10^{14} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} / \text{W}$, 对应噪声等效功率 NEP 大小为 $5.5 \times 10^{-17} \text{ W}$, 并且器件在 $240 - 320 \text{ nm}$ 波长范围内的光谱探测率 D^* 均保持在高于 $1.0 \times 10^{14} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} / \text{W}$ 。光电特性测试结果表明, 该光电二极管具有良好的可见盲特性, 因此, 其可在强的可见光背景下有效地进行紫外光探测。

3. 制备出 δ 掺杂结构 4H-SiC p-i-n 紫外光电二极管并进行性能测试, 器件的光学窗口面积为 $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ 。电学特性显示, 在 -5 V 反向偏压下, 该光电二极管的平均暗电流密度为 $12.5 \text{ pA}/\text{mm}^2$ 。该紫外光电二极管在 $250 - 320 \text{ nm}$ 波段呈现较为平坦的光谱响应。在 $0 \text{ V} \sim -5 \text{ V}$ 范围内, 该光电管的峰值响应波长位于 270 nm , 响应度为 $0.1 \text{ A}/\text{W}$, 对应外量子效率约为 49.7% , 此时, 器件的光谱探测率 D^* 峰值为 $1.75 \times 10^{14} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} / \text{W}$, 对应噪声等效功率 NEP 大小为 $1.15 \times 10^{-16} \text{ W}$, 并且器件在 $260 - 310 \text{ nm}$ 波长范围内的光谱探测率 D^* 均保持在高于 $1.0 \times 10^{14} \text{ cm} \cdot \text{Hz}^{1/2} / \text{W}$ 。在 $-10 \text{ V} \sim -30 \text{ V}$ 偏压下, 器件的峰值响应波长位于 280 nm , 响应度为 $0.12 \text{ A}/\text{W}$, 对应外量子效率约为 52% 。可以看出, 随着反向偏压的增大该光电二极管的峰值响应波长略有红移, 并且器件的紫外可见比接近三个数量级, 具备了良好的可见盲特性。

4. 设计版图并制备完成 p-i-n 结构 4H-SiC 紫外光电二极管一维阵列。电学测试结果显示, 构成该阵列的各单管 (单元) 的暗电流一致性较好, 但其值普遍偏大, 分析其原因可能是由于钻蚀造成器件钝化层的破坏所致。但从制备结果上看, 该一维阵列具备了较高的产率, 构成该阵列的 30 个单管中仅有 1 个单元为不良点。针对器件性能出现的问题, 将进行总结和制备工艺改进, 以期制备出高性能的 4H-SiC p-i-n 紫外光电二极管一维阵列。

关键词: 4H-SiC; p-i-n 紫外光电二极管; δ 掺杂; 一维阵列

ABSTRACT

As a promising semiconductor material for high temperature, high frequency, and high power devices, silicon carbide (SiC) has received more remarkable attentions now. Due to the wide bandgap of 4H-SiC (~ 3.26 eV), photodetectors utilising this material should have the advantage of a good visible-blind/solar-blind performance and a very low dark current which can be many orders of magnitude lower than that of conventional Si detectors even at high temperature (theoretically up to 600°C). Moreover, the 4H-SiC ultraviolet (UV) detectors have many applications in chemical sensing, flame detection, ozone-hole sensing, short-range communication, and missile plume sensing in harsh and severe radiation environment. The p-i-n photodiode fabricated with 4H-SiC material delivers low noise, high-speed response and high photosensitivity at low reverse bias due to a low terminal capacitance and a large shunt resistance. It can work insensibly to visible/IR backgrounds without visible-blind interference filter. Recently several research groups have demonstrated high-performance UV photodetectors using 4H-SiC material system, such as Schottky, MSM, p-i-n, and avalanche photodiodes. The 6H-SiC UV p-i-n photodiodes have already been fabricated and are commercially available. But up to now there are few reports on the fabrication of 4H-SiC p-i-n photodiodes. Based on the above statements, the following results were obtained:

1. In order to obtain a high-performance 4H-SiC UV p-i-n photodiode, the structure of device was designed. Considering the structure properties of p-i-n photodiode, the impurity concentration of each epilayer was discussed at first. Considering the effect of different junction-depth on the spectral responsivity, the continuity equations of photo-generated minority carriers were then used to determine the widths of intrinsic layer (I-layer) and p^+ -layer. As a result, the peak responsivity of a $p^+-n^-(i)-n^+$ detector, as high as 0.16 A/W, was achieved at 260-nm wavelength when the widths of I-layer and p^+ -layer were 0.5 μm and 0.2 μm , simultaneously the impurity concentrations for I-layer and p^+ -layer were $\sim 1.0 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ and $> 1.0 \times 10^{19}/\text{cm}^3$, respectively.

2. A high-performance 4H-SiC p-i-n photodiode with the photoactive window area of $\sim 200 \times 200$ μm^2 has been fabricated. The electrical and optical characteristics were measured at room temperature. The photodiode suffered from significant dark current density of 2.5 pA/ mm^2 at the reverse bias of 5 V, and the ratio of the UV (@ 270 nm) photocurrent to the dark current was $> 10^4$. The built-in potential (~ 2.97 V) and the unintentional i-layer doping

concentration ($\sim 4.5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$) were obtained from capacitance-voltage (C-V) measurement. The spectral peak responsivity of the detector reached 0.13 A/W at the wavelength of 270 nm, corresponding to a maximum external quantum efficiency of $\sim 61\%$. And the ratio of responsivity at 270 nm to that at 380 nm was $>10^3$. The peak of the spectral detectivity D^* was $3.6 \times 10^{14} \text{ cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}/\text{W}$, and the corresponding noise equivalent power (NEP) was $5.5 \times 10^{-17} \text{ W}$. D^* over the wavelength range from 240 nm to 320 nm was above $10^{14} \text{ cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}/\text{W}$. The characteristics imply that the photodiode has a great improved ultraviolet-visible rejection ratio which is needed for ultraviolet signal detection.

3. A δ -doping 4H-SiC UV p-i-n photodiode with the photoactive window area of $\sim 200 \times 200 \mu\text{m}^2$ was fabricated. The I-V characteristic results revealed that the detector suffered from low dark current density of $12.5 \text{ pA}/\text{mm}^2$ at a low reverse bias of 5 V. The photodiode exhibited a broad spectral response of wavelengths from 250 nm to 320 nm. At the reverse bias range from 0 V to 5 V, the peak responsivity of detector reached 0.1 A/W at the wavelength of 270 nm, corresponding to a maximum external quantum efficiency of $\sim 49.7\%$. The peak of D^* was found to be $1.75 \times 10^{14} \text{ cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ at 270 nm, and the corresponding NEP was $1.15 \times 10^{-16} \text{ W}$. D^* over the wavelength range from 260 nm to 310 nm was above $10^{14} \text{ cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}/\text{W}$. At the reverse bias range of 10 V \sim 30 V, the peak responsivity of detector reached 0.12 A/W at the wavelength of 280 nm, with a maximum external quantum efficiency of $\sim 52\%$. The measured wavelengths of peak responsivity showed a slight red-shift with the increasing reverse bias. Furthermore, the UV-visible rejection ratio of detector was nearly 10^3 , which indicated an improved visible-blind performance.

4. 4H-SiC UV p-i-n photodiode linear arrays have been designed and fabricated. A 30-pixel 4H-SiC p-i-n photodiode linear array containing only one bad pixel has been achieved. The linear arrays showed good integrality and uniform dark current characteristic, but the average value of the dark current was abnormally high. The reason was found out to be the destruction of the passivation layer during the wet etching, and the suggestions for further improvement and potential applications were also presented.

Key Words: 4H-SiC; p-i-n Ultraviolet (UV) Photodiode; δ -doping; Linear Array.

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 紫外光电探测器综述	1
§ 1.2 p-i-n 结构紫外光电二极管的发展现状	3
§ 1.3 本文工作及组织结构	6
参考文献	8
第二章 4H-SiC 材料性质	11
§ 2.1 引言	11
§ 2.2 SiC 材料的基本性质	12
§ 2.3 4H-SiC 材料电学性质	17
§ 2.3.1 载流子浓度.....	17
§ 2.3.2 迁移率及漂移速度.....	19
§ 2.3.3 电阻率.....	22
§ 2.4 4H-SiC 材料光学性质	23
参考文献	25
第三章 p-i-n 结构紫外光电二极管的基本原理及特性参数	28
§ 3.1 p-i-n 结构紫外光电二极管介绍	28
§ 3.1.1 pn 紫外光电二极管描述.....	28
§ 3.1.2 p-i-n 紫外光电二极管的器件结构与工作原理	29
§ 3.1.3 本征 I 层特性.....	31
§ 3.2 p-i-n 结构紫外光电二极管的性能参数及指标	32
§ 3.3 p-i-n 结构紫外光电二极管的小信号模型	41
参考文献	44
第四章 p-i-n 结构 4H-SiC 紫外光电二极管理论分析及设计	45
§ 4.1 4H-SiC 材料结构设计	45
§ 4.2 p-i-n 结构 4H-SiC 紫外光电二极管管芯结构设计	46
§ 4.2.1 相关参数分析.....	47
§ 4.2.2 光谱响应的理论计算.....	48

§ 4.2.3 结果与分析.....	52
§ 4.3 4H-SiC p-i-n 紫外光电二极管芯片结构的确定	56
参考文献	59
第五章 4H-SiC p-i-n 紫外光电二极管单管的制备及关键工艺研究	60
§ 5.1 4H-SiC p-i-n 紫外光电二极管单管的制备	60
§ 5.1.1 版图设计与制版.....	60
§ 5.1.2 单管制备工艺流程图.....	61
§ 5.1.3 光刻和剥离.....	62
§ 5.1.4 ICP 刻蚀及器件隔离	63
§ 5.1.5 热氧化.....	66
§ 5.1.6 p 型和 n 型电极制备	67
§ 5.1.7 封装压焊.....	68
§ 5.1.8 石英玻璃窗口透过率测试.....	69
§ 5.2 关键工艺研究	70
§ 5.2.1 4H-SiC 材料电学参数的测量	70
§ 5.2.2 SiO _x 钝化层及 SiC/SiO _x 界面性质的研究	71
§ 5.3 所制备的探测器单管管芯及封装管实物图.....	78
参考文献	80
第六章 p-i-n 结构 4H-SiC 紫外光电二极管单管测试	83
§ 6.1 测试系统介绍	83
§ 6.2 紫外光源校准	84
§ 6.3 电流—电压特性	86
§ 6.3.1 暗电流和光电流.....	86
§ 6.3.2 正向电流—电压特性.....	89
§ 6.4 电容—电压特性	91
§ 6.5 光谱响应特性	93
§ 6.5.1 响应度及量子效率.....	94
§ 6.5.2 I _光 —W 线性关系	99
§ 6.6 时间响应特性	101

§ 6.7 噪声等效功率	103
§ 6.8 探测率 D^*	104
参考文献	107
第七章 p-i-n 结构 4H-SiC 紫外光电二极管一维阵列的研制	109
§ 7.1 紫外光电二极管阵列的发展现状	109
§ 7.2 版图设计与制版	111
§ 7.3 制备工艺流程	111
§ 7.4 光电测试结果	113
§ 7.5 结论	114
参考文献	116
第八章 工作总结和展望	117
§ 8.1 工作总结	117
§ 8.2 今后研究工作计划	119
附录 博士期间发表论文及申请专利	121
致 谢	122

TABLE OF CONTENTS

Chapter 1 INTRODUCTION	1
§1.1 Summary of Ultraviolet (UV) Photodiodes.....	1
§1.2 An Overview of p-i-n UV Photodiodes	3
§1.3 Motivation and Dissertation Organization	6
References.....	8
Chapter 2 4H-SiC MATERIAL PROPERTIES	11
§2.1 Introduction.....	11
§2.2 Basic Properties	12
§2.3 Electrical Properties.....	17
§2.3.1 Carrier Concentration	17
§2.3.2 Mobility and Drift Velocity.....	19
§2.3.3 Electrical Resistivity	22
§2.4 Optical Properties.....	23
References.....	25
Chapter 3 FUNDAMENTALS AND CHARACTERISTICS OF p-i-n UV PHOTODIODES	28
§3.1 Introduction of p-i-n UV Photodiodes	28
§3.1.1 pn Junction UV Photodiodes	28
§3.1.2 Device Structure and Fundamentals of p-i-n UV Photodiodes	29
§3.1.3 Intrinsic Layer Properties.....	31
§3.2 Performance Parameters and Indices of p-i-n UV Photodiodes	32
§3.3 Small-signal Model of p-i-n UV Photodiodes	41
References.....	44
Chapter 4 THEORETICAL ANALYSIS AND DESIGN OF 4H-SiC p-i-n UV PHOTODIODES	45
§4.1 Structure Design of 4H-SiC Material	45

§4.2 Design of Chip Structure	46
§4.2.1 Analysis of Relative Parameters.....	47
§4.2.2 Theoretical Calculation of Spectral Response	48
§4.2.3 Results and Analysis	52
§4.3 Determination of Chip Structure	56
References.....	59
Chapter 5 FABRICATION OF 4H-SiC p-i-n UV PHOTODIODES AND KEY PROCESSES RESEARCH.....	60
§5.1 Fabrication of 4H-SiC p-i-n UV Photodiodes	60
§5.1.1 Design and Process of Masks.....	60
§5.1.2 Process Flow of Device Fabrication	61
§5.1.3 Photolithography and Lift-off	62
§5.1.4 ICP Etching and Device Isolation	63
§5.1.5 Thermal Oxidation.....	66
§5.1.6 Fabrication of p- and n-type Electrodes.....	67
§5.1.7 Chip Bonding and Package.....	68
§5.1.8 UV Transmittance of Quartz Glass	69
§5.2 Key Processes Research	70
§5.2.1 Electrical Parameters of 4H-SiC Material	70
§5.2.2 Properties of Passivation Layer and SiC/SiO _x Interface.....	71
§5.3 Demonstration of Fabricated Chips and Packaged Photodiodes.....	78
References.....	80
Chapter 6 TEST AND MEASUREMENT OF 4H-SiC p-i-n UV PHOTO- DIODES.....	83
§6.1 Introduction of Measurement System	83
§6.2 Calibration of UV Light Source	84
§6.3 Current—Voltage Characteristics	86
§6.3.1 Dark Current and Photocurrent.....	86

§6.3.2 Forward I-V Characteristics	89
§6.4 Capacitance—Voltage Characteristics	91
§6.5 Photoresponse Characteristics.....	93
§6.5.1 Responsivity and Quantum Efficiency	94
§6.5.2 Relationship of Photocurrent and UV Light Power.....	99
§6.6 Time Response Characteristics.....	101
§6.7 Noise Equivalent Power	103
§6.8 Specific Detectivity D^*	104
References.....	107
 Chapter 7 FABRICATION AND TEST OF 4H-SiC p-i-n PHOTODIODES	
LINEAR ARRAY	109
§7.1 An Overview of UV Photodiodes Array.....	109
§7.2 Design and Process of Masks.....	111
§7.3 Process Flow of Linear Array Fabrication.....	111
§7.4 Electrical and Optical Characteristics	113
§7.5 Conclusions	114
References.....	116
 Chapter 8 SUMMARY AND FUTURE WORK.....	
§8.1 Summary of Work Completed.....	117
§8.2 Future Work.....	119
APPENDIX RECENT PUBLICATIONS.....	121
ACKNOWLEDGMENTS.....	122

第一章 绪论

§ 1.1 紫外光电探测器综述

紫外光电探测器/光电二极管用于400 nm以下波段紫外线的探测，在军事（如导弹和飞机等飞行物的探测）、紫外天文学、火灾报警、环境监测、可燃气体成分分析和生物细胞癌变检测等方面都有着广阔的应用前景^[1,2]，具有极高的军事和民用价值，是近年来国际上光电探测领域的热点。特别是近年来，基于导弹紫外辐射探测的紫外报警技术发展极为迅猛，成为光电对抗领域的一个重要研究课题^[3]。为此，国际上纷纷研究采用宽带隙半导体光电材料，如碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、氧化锌（ZnO）和金刚石（C）等，研制工作在200—380 nm波段的半导体探测器^[4,5]，以取代目前广泛使用的紫外光电倍增管，实现在高温条件下高效及高可靠性的半导体紫外光电探测。

半导体紫外光电二极管是将紫外光信号转换为电信号的半导体器件。在光电检测系统中，高灵敏度、低噪声的光电二极管可以准确地恢复并再现光源发出的信息。与红外、可见光波段探测相比，半导体紫外光电探测器具有三个主要优点^[4]：（1）对可见及红外波段是“可见盲”或“日盲”，这样可以防止太阳光及其它可见光、红外光等自然光源的干扰；（2）可在室温下工作，无需制冷，不必如红外光电探测器那样必须在液氮（77 K）甚至在液氦环境（4.2 K）下工作；（3）结构简单、响应速度快、可靠性高、体积小等。同红外辐射相比，火箭羽烟产生的紫外辐射和遥远星空传来的等紫外线信号都是比较微弱的，这就要求紫外信号探测器必须具有灵敏度高、噪声低的特点，以检测极其微弱的紫外信号。早期紫外探测多采用光电倍增管（PMT）和紫外增强型硅探测器^[6,7]，与笨重、易损坏且成本较高的光电倍增管相比，半导体光电探测器具有体积小、结构简单、可以在室温下工作、易于制备焦平面阵列、成本低等优点，因此，各国学者正为解决这些问题而努力。

由于近年来宽带隙半导体材料生长技术的突破，世界各国都开始采用宽带隙的第三代半导体材料（主要是GaN基材料、SiC和金刚石）来研制具有紫外敏感的光电探测器，这三种宽带隙材料禁带宽度略有差异，它们的响应峰值分别为350 nm、300 nm和250 nm，都是理想的紫外光电探测器材料。金刚石膜价格低，但目前还很难实现n型材料，因而限制了其应用^[8]，而GaN和SiC是目前比较成熟的两种紫外光电探测器材料。GaN作为直

接带隙半导体材料，不仅在发光器件应用方面有其独特的优势，而且作为探测器可以实现窄的波长响应和较高的光谱响应度^[5]。SiC材料是间接带隙半导体材料，不适合于发光器件的制备，然而，在紫外光电探测器的制备方面，SiC材料在目前却更具优势。首先，目前生长的SiC材料质量比GaN要高，SiC材料的缺陷密度约在 $10^3-10^4/\text{cm}^2$ 之间^[9]，低于GaN材料的缺陷密度 $10^6-10^8/\text{cm}^2$ ，因此，采用SiC材料可以制备更大光敏面积的探测器、器件的产出率更高，也更有利于商业化生产；其次，由于SiC材料有自身的衬底，而GaN目前尚无衬底，而且可以在SiC上直接高温生长高质量的 SiO_2 层^[10]，使得SiC光电探测器的制备工艺也较GaN材料成熟，制备难度相对较低，并且与GaN相比，采用SiC材料制备的光电探测器具有宽的紫外波段响应；另外，由于SiC材料生长过程的固有特性，它本身具有相当于超晶格的结构，其电子和空穴的离化率之比小于0.1^[12]，而GaN以及其它III-V族材料的电子和空穴离化率之比约为1，因此，可以预期以SiC材料制备的雪崩光电探测器将具有较低的噪声和较高的探测灵敏度。表1-1^[11]给出目前市场上已有的紫外光电探测器产品的材料、性能及价格。

表1-1 商业化的紫外光电探测器材料、性能及价格^[11]

	Si	GaP	SiC	II/VI	金刚石	AlGaN	光电发射型
截止波长 (nm)	1100	525	300-400	350-450	225	200-365	120-900
探测率	中	中	中	中	中	中	高
紫外选择性	差	差	中	好	好	好	中
电压	低	低	低	低	低	低	高
可靠性	好	好	中	中	中	中	差
实用性	高	中	中	低	低	中	高
价格 (\$)	<100		100-200		500	200	300

目前，紫外光电探测器主要结构有光电导、肖特基 (Schottky)、金属-半导体-金属 (MSM)、p-i-n光电二极管和雪崩光电二极管 (APD) 等类型^[4,13]，如图1-1所示^[4]。由于前三种器件都是表面型结构，它们的有源区都在表面或与表面的介质接触，虽然它们的短波方向响应比较好，但存在暗电流大，探测灵敏度不够高，光电导型尤其响应速度慢等特点。p-i-n结构光电二极管的有源区设计成与表面分离，可以做得较厚，有利于提高器件的量子效率。由于p-i-n结构的pn结在体材料中，使得其暗电流较低，并且器件的结电容也是较小，响应速度较快，因此光电探测器的三个主要参数（暗电流、响应度和响应速度）p-i-n结构都是上述几种结构中较好的，它是目前光电探测器最优化的结构，

也是紫外探测灵敏度较高的紫外光电探测器的主要结构形式。APD结构由于具有内部增益，它不仅要求材料电子和空穴的离化率相差大，而且对器件结构要求苛刻，否则会引起雪崩噪声，同时，APD结构紫外光电二极管的制备工艺也较其它结构来得复杂。

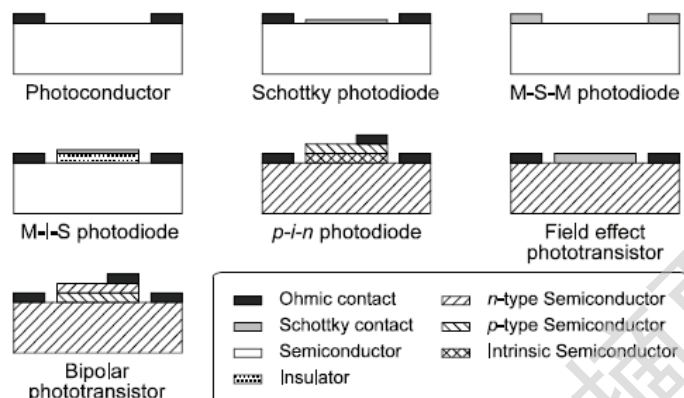


图1-1 不同类型半导体光电探测器示意图

光电二极管按工作原理可分为耗尽型和雪崩型；按制备工艺可分为生长型、合金型、平面型和台面型等；光电二极管的光学窗口通常有聚光透镜和平板玻璃两种。耗尽型光电二极管是指在耗尽区内实现光电转换功能，而光电流主要由漂移电流构成的器件^[14]，这类管的结构包括pn结、p-i-n结和肖特基结等。pn和p-i-n结构光电二极管的探测原理依据是光伏效应，工作时通常加反向偏压。对于雪崩型光电二极管，其工作原理是利用光生载流子在结区高电场作用下产生雪崩效应，具有较高的内部增益和响应速度。

§ 1.2 p-i-n 结构紫外光电二极管的发展现状

紫外光电探测器，其探测波长范围为 200—380 nm 的紫外波段。近年来，由于半导体紫外光电探测技术成为国际上光电探测领域的热点，而 SiC 和 GaN 基材料作为目前公认的制备紫外光电探测器比较成熟的半导体材料^[4,5]，其在紫外光电探测器的研究及制备领域都经历了一段发展过程。

1992年，M. Khan小组报道了第一支GaN光电导型紫外光电探测器；1993年，在p型GaN薄膜上研制出肖特基紫外光电探测器；1997年，研制出的GaN基紫外光电探测器样管在零偏压下约360 nm处的响应度为0.18 A/W，其量子效率超过65%^[5]。2001年，Peter Sandvik等人研制出AlGaIn p-i-n结构日盲型紫外光电探测器，其响应峰值波长在227—364 nm之间可调。2002年，APA光学公司已经向市场推出商品化的GaInN基紫外光电探测

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