

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: B200424013

UDC_____

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

分离吸收层与倍增层结构的低压 4H-SiC 雪崩
光电探测器及其 p 型欧姆接触的研究

Research and Fabrication of UV SAM 4H-SiC APDs with Low
Breakdown Voltage and Its p-type Ohmic Contacts

朱 会 丽

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

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

摘 要

紫外微弱光信号和单光子信号的探测主要应用于激光诱导荧光性生物报警系统、非线性光线隐蔽通讯、非破坏性物质分析、高能物理、光时域反射和空气污染超高灵敏度探测等领域，它要求探测器具有高量子效率、低暗电流、低的过剩噪声和可见盲等特性，4H-SiC雪崩光电探测器（APD）是惟一能够满足这些要求的器件。

近年来，国际上已有研究小组对4H-SiC APDs进行制备和研究，但所设计的APD结构较为简单，一般由PN结或者PIN结构成，不能有效地解决吸收层厚度对高量子效率、快响应速率和低击穿电压之间相互限制的矛盾；而已报道的分离吸收层与倍增层（SAM）结构4H-SiC APDs的击穿电压过大；另外，对于金属与p型4H-SiC接触，其一般形成大的势垒高度，因此制备具有低欧姆接触电阻率的4H-SiC p型欧姆接触比较困难。据了解，目前国内还未发现4H-SiC APDs的相关报道。针对以上问题，本文主要开展了以下几方面的工作，并取得了较好的结果。

1. 根据 APD 的结构特性和 4H-SiC 的材料特性设计了高响应度、低击穿电压的 SAM 结构 4H-SiC APD。从理论上分析了 p^+ 层和耗尽区的不同厚度对器件光谱响应和时间响应的的影响，综合考虑光谱响应、时间响应和击穿电压等因素对 4H-SiC APD 外延片参数进行优化设计。

2. 成功制备了工作在低击穿电压下的 SAM 结构 4H-SiC APDs，并采用自行设计的紫外光电测试系统对所制备器件的光电流、暗电流和光谱响应等进行测试与分析。从 APDs 的反向 I-V 特性可以看出，器件的击穿电压 (V_b) 和穿通电压分别为 -55 V 和 -27.5 V。在穿通电压前，器件的暗电流基本保持在十几 pA，当反向偏压增大到 50 V（约 90% V_b ）时，其暗电流约为 60 nA，此时器件的倍增因子达到 1.8×10^4 。对器件在 0~-35 V 偏压下的光谱响应和量子效率的测试结果分析表明，在零偏压下，在 270 nm 峰值波长下获得最大光谱响应度约为 0.070 A/W，相应的量子效率为 32.6%，据我们所知，此结果是目前所报道的 4H-SiC APDs 低压下获得的最大量子效率。并且，在零偏压下器件的紫外可见比约为三个数量级，其归一化探测率最大值约为 $6.0 \times 10^{13} \text{ cmHz}^{1/2} \text{ W}^{-1}$ ，相应的噪声等效功率约为 $3.75 \times 10^{-16} \text{ W}$ 。当反向偏压从 0 V 增大到 35 V 时，器件光谱响应的峰值波长由 270 nm 移动到 280 nm，且响应度增强为 0.077 A/W，对应的外量子效率为 35%，同时在短波长处（220~260 nm）器件的响应度增强比较明显，出现该现象的原因可能

是在 p^+ 层吸收短波长产生的光生载流子复合减小所致。总之，本文制备的 SAM 结构 4H-SiC APDs 在较低的击穿电压下获得了较好的紫外光探测性能。

3. 为了提高4H-SiC p型欧姆接触的性能，对一组Al基多层金属制备的4H-SiC p型欧姆接触进行了系统地研究。采用标准的半导体工艺制备完成了四种Al基4H-SiC p型欧姆接触，分别为：Ti(1200 Å)/Al(600 Å)/Au(850 Å)、Al(1200 Å)/Ti(600 Å)/Au(850 Å)、Ti(600 Å)/Al(1200 Å)/Au(850 Å)和Al(600 Å)/Ni(600 Å)/Al(400 Å)/Au(850 Å)，并通过线性传输线方法（LTLM）对其比接触电阻进行测量。结果发现，金属构成和厚度分别为Ti(600 Å)/Al(1200 Å)/Au(850 Å)的最佳条件下，获得最低的比接触电阻率约为 $3.6 \times 10^{-5} \Omega\text{cm}^2$ ，同时测得4H-SiC/Ti(1200 Å)/Al(600 Å)/Au(850 Å)经930 °C退火后形成欧姆接触的比接触电阻率约为 $4.2 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}^2$ 。为了更好地了解欧姆接触形成的机理，找出影响欧姆接触性能的主要因素，选择了Ti(1200 Å)/Al(600 Å)/Au(850 Å)结构的欧姆接触，分别采用扫描电子显微镜（SEM）、俄歇电子能谱（AES）、X射线光电子能谱（XPS）和X射线衍射谱（XRD）等进行测试分析。结果表明，在高温退火过程中金属之间以及金属/4H-SiC之间反应生成的TiC、TiAl₃和Au(35 at%)+Ti(42 at%)等物质对提高4H-SiC p型欧姆接触的性能有重要作用。

关键词：4H-SiC；雪崩光电探测器；p型欧姆接触

ABSTRACT

Low-level and single photon ultraviolet (UV) signal detections are mainly used in laser-induced fluorescence biological-agent detection, non-line-of-sight covert communications, non-destructive material analysis, high energy physics, optical time domain reflectometer, ultra-high sensitivity for air contamination detection, and so on. 4H-SiC APD is the only promising UV detector that satisfies low-level and single photon detection requirements, e.g. high quantum efficiency, low dark current, low excess noise, high speed and visible-blind operation.

By far, 4H-SiC APDs based on PN or PIN structure have been reported, which can not effectively resolve the trade-off in the maximum achievable photoresponse, the faster response time and the operating voltage. The separated absorption and multiplication (SAM) 4H-SiC APDs have been reported, which showed a relative high breakdown voltage. In addition, on p-type 4H-SiC, metals usually form a Schottky contact with a large barrier height. Therefore, it's difficult to attain 4H-SiC p-type Ohmic contacts with low contact resistivity. Up to now, the relevant reports on 4H-SiC APDs have not been found in China. The purposes of this work are to fabricate a high-performance 4H-SiC APD and to achieve a good 4H-SiC p-type Ohmic contact. The achieved results are as follows:

Firstly, according to the structure properties of APD and the 4H-SiC material properties, a SAM 4H-SiC APD with high spectral responsivity and low breakdown voltage was designed. The influences of various thicknesses of p^+ epilayer and the depletion region on spectral response and time response have been theoretically analysed. Considering the factors of spectral response, time response, and breakdown voltage, the optimal parameters of SAM 4H-SiC APDs were determined.

Secondly, the SAM 4H-SiC UV APDs with low breakdown voltage were fabricated and characterized successfully. The low breakdown voltage (V_b) of -55 V and the reach through voltage of -27.5 V were obtained from the reverse I-V characteristic. The dark current kept at 10 pA level from 0 V to the reach through voltage. At -50 V (90% V_b), the dark current was 60 nA and a high gain about 1.8×10^4 was achieved. The typical spectral responsivities and quantum efficiencies of APDs were measured at different reverse bias voltages ranging from 0 V to -35 V. At 0 V, the peak responsivity was calculated to be about 0.070 A/W at 270 nm, corresponding to a peak external quantum efficiency of 32.6%. To the best of our knowledge, it was the highest quantum efficiency achieved at low reverse bias at present. The

UV-to-visible rejection ratio around three orders of magnitude was also extracted from the spectral response. Furthermore, at 0 V, the maximum spectral detectivity about 6.0×10^{13} cm Hz^{1/2}W⁻¹ and the corresponding noise equivalent power 3.75×10^{-16} W were obtained. With the increasing reverse bias, the peaks of response wavelength shifted from 270 nm to 280 nm and the peak responsivity increased to 0.077 A/W, corresponding to the maximum external quantum efficiency of 35%. The results of spectral response also showed the spectral responsivities were enhanced within the whole UV range, especially in the range of 220 nm to 260 nm which might be due to the decrease of photogenerated carrier recombination in the p⁺ layer. In conclusion, the fabricated 4H-SiC APDs with low breakdown voltage have excellent performance for UV signal detection.

Thirdly, in order to improve the performance of 4H-SiC p-type Ohmic contacts, four kinds of 4H-SiC p-type Ohmic contacts used Al-based multiple metals, including Ti(1200 Å)/Al(600 Å)/Au(850 Å), Al(1200 Å)/Ti (600 Å)/Au(850 Å), Ti(600 Å)/Al(1200 Å)/Au(850 Å) and Al(600 Å)/Ni(600 Å) /Al(400 Å)/Au(850 Å), were fabricated and characterized. The lowest specific contact resistance of 3.6×10^{-5} Ωcm² was achieved by the linear transmission line method (LTLM) after Ti(600 Å)/Al(1200 Å)/Au(850 Å) annealed at 930 °C for 12 minutes, and the specific contact resistance of 4H-SiC/Ti(1200 Å)/Al(600 Å)/Au(850 Å) Ohmic contact was about 4.2×10^{-4} Ωcm². Furthermore, in order to reveal the mechanism of Ohmic behavior, the scanning electron microscope (SEM), Auger electron spectroscopy (AES), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and Panalytical X'pert PRO x-ray diffraction (XRD) were used to analyse Ohmic contact morphology, chemical composition and the phase formation of 4H-SiC/Ti(1200 Å)/Al(600 Å)/Au(850 Å) sample before and after annealing. The results showed that the formation of TiC、TiAl₃ and Au(35 at%)+Ti(42 at%) occurred by annealing at 930 °C improved the Ohmic behavior of the contacts.

Key words: 4H-SiC; Avalanche photodetector; p-type Ohmic contact

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 紫外 APD 概述.....	1
§ 1.2 4H-SiC 材料性质.....	4
§ 1.3 4H-SiC APD 的研究现状.....	12
§ 1.4 4H-SiC p 型欧姆接触的研究现状.....	15
§ 1.5 本文的研究目的.....	16
§ 1.6 本文的工作及组织结构.....	16
参考文献.....	18
第二章 4H-SiC APD 的工作原理及结构设计	22
§ 2.1 APD 的工作原理.....	22
§ 2.1.1 PN 结的电击穿.....	22
§ 2.1.2 雪崩光电探测器的工作原理.....	23
§ 2.2 APD 的性能参数.....	24
§ 2.3 APD 的结构及材料设计.....	33
§ 2.3.1 器件结构设计.....	33
§ 2.3.2 材料结构设计.....	35
§ 2.3.3 光谱响应的理论分析.....	39
§ 2.3.4 时间响应的理论分析.....	47
§ 2.3.5 小电压下 4H-SiC APD 的光谱响应分析.....	50
§ 2.4 本章结论.....	52
参考文献.....	53
第三章 低击穿电压的 SAM 结构 4H-SiC APD	55
§ 3.1 材料结构参数.....	55
§ 3.2 工艺流程及版图设计.....	56
§ 3.2.1 器件工艺流程.....	56
§ 3.2.2 版图设计.....	56
§ 3.3 器件制备工艺.....	58

§ 3.3.1 外延片的标准清洗	58
§ 3.3.2 台面制备	59
§ 3.3.3 钝化层和减反射膜的制备	61
§ 3.3.4 电极及焊盘的制备	64
§ 3.4 测试系统简介	66
§ 3.4.1 测试仪器	67
§ 3.4.2 测量方法	68
§ 3.4.3 光源校准及绝对光谱响应的测量	69
§ 3.5 测试结果与讨论	70
§ 3.5.1 反向 I-V 特性及倍增因子	70
§ 3.5.2 线性特性	72
§ 3.5.3 正向 I-V 特性及理想因子	73
§ 3.5.4 光谱响应特性和量子效率	74
§ 3.5.5 探测率与噪声等效功率	76
§ 3.6 本章结论	78
参考文献	79
第四章 4H-SiC p 型欧姆接触的研究	82
§ 4.1 4H-SiC 欧姆接触概述	82
§ 4.2 欧姆接触的形成机理	85
§ 4.2.1 金属-半导体接触	85
§ 4.2.2 欧姆接触形成机理	86
§ 4.3 比接触电阻 ρ_c 及其测量	88
§ 4.3.1 比接触电阻 ρ_c 的定义	88
§ 4.3.2 比接触电阻 ρ_c 的测量	89
§ 4.4 p 型欧姆接触的制备	91
§ 4.4.1 外延片的选择	91
§ 4.4.2 金属的选择	91
§ 4.4.3 版图设计	92
§ 4.4.4 工艺流程	93
§ 4.5 测试结果与分析	94

§ 4.5.1 四种欧姆接触的性能比较·····	94
§ 4.5.2 Ti(1200 Å)/Al(600 Å)/Au(850 Å) 4H-SiC p型欧姆接触的研究·····	99
§ 4.6 本章结论·····	108
参考文献·····	109
第五章 工作总结与展望·····	113
§ 5.1 工作总结·····	113
§ 5.2 今后的工作计划·····	115
附录·····	117
致谢·····	118

Contents

Chapter1 Introudction	1
§1.1 An Overview of Ultraviolet Avalanche Photodetectors.....	1
§1.2 4H-SiC Material Properties.....	4
§1.3 Research Progress of 4H-SiC Avalanche Photodetectors	12
§1.4 Research Progress of 4H-SiC p-type Ohmic Contacts.....	15
§1.5 Motivation for This Dissertation.....	16
§1.6 Dissertation Organization.....	16
References	18
Chapter2 The Fundamentals and Structure Design	22
§2.1 Fundamentals of Avalanche Photodetectors.....	22
§2.1.1 Electrical Breakdown of PN Junction	22
§2.1.2 Fundamentals of Avalanche Photodetectors	23
§2.2 Performance Parameters of Avalanche Photodetectors.....	24
§2.3 Design of Avalanche Photodetectors.....	33
§2.3.1 Device Structure Design	33
§2.3.2 Material Structure Design	35
§2.3.3 Theoretical Analysis of Spectral Response	39
§2.3.4 Theoretical Analysis of Time Response	47
§2.3.5 Theoretical Analysis of Spectral Response at Low Reverse Bias.....	50
§2.4 Summary	52
References	53
Chapter3 SAM 4H-SiC APDs with Low Breakdown Voltage	55
§3.1 Material Structure Parameters	55
§3.2 Process Flow and Mask Design	56
§3.2.1 Process Flow.....	56
§3.2.2 Mask Design	56
§3.3 Device Fabrication.....	58

§3.3.1 Standard RCA Cleaning	58
§3.3.2 Mesa Formation	59
§3.3.3 Device Passivation and Anti-Reflection Film	61
§3.3.4 Electrodes and Bonding Pad Formation	64
§3.4 Measurement System Introduction	66
§3.4.1 Measurement Instruments	67
§3.4.2 Measurement Techniques	68
§3.4.3 Light Power Calibration and the Absolute Responsivity Measurement	69
§3.5 Resultes and Discussion	70
§3.5.1 Reverse Current-Voltage Characterizatic and Multiplication Factor	70
§3.5.2 Linear Behavior	72
§3.5.2 Forward Current-Voltage and Ideality Factor	73
§3.5.3 Spectral Responsivity and Quantum Efficiency	74
§3.5.4 Detectivity and Noise Equivalent Power	76
§3.6 Summary	78
References	79
Chapter4 Study of 4H-SiC p-type Ohmic Contact	82
§4.1 Overview of 4H-SiC Ohmic Contact	82
§4.2 The Mechanism of Ohmic Cotact	85
§4.2.1 Metal-Semiconductor Contact	85
§4.2.2 The Mechanism of Ohmic Cotact	86
§4.3 The Specific Contact Resistance ρ_C and Its Measurement	88
§4.3.1 The Specific Contact Resistance ρ_C	88
§4.3.2 ρ_C Measurement	89
§4.4 4H-SiC p-type Ohmic Contact Fabrication	91
§4.4.1 Sample Parameters	91
§4.4.2 Metal Selection	91
§4.4.3 Mask Design	92
§4.4.4 Process Flow	93
§4.5 Resultes and Discussion	94

§4.5.1 Characterization Comparison of Four Kinds of Samples	94
§4.5.2 Research of Ti(1200Å)/Al(600Å)/Au(850Å) Ohmic Contacts.....	99
§4.6 Summary	108
References	109
Chapter5 Conclusions	113
§5.1 Summary of Work Completed	113
§5.2 Future Work	115
Appendix	117
Acknowledgements	118

第一章 绪论

紫外光电探测器是继红外和激光探测技术之后发展起来的又一重要的光电探测技术，其在医学、生物学和军事等领域都具有非常广阔的应用前景，对一个国家的国防和国民经济建设均具有很重要的意义。由于 4H-SiC 等宽带隙半导体材料制备的紫外光电探测器具有固有的可见盲特性，并且在紫外光探测方面具有高灵敏度、低噪声、低暗电流等优点，成为目前紫外光电探测器研究的热点。其中雪崩光电探测器(APD)与其它光电探测器相比具有量子效率高、响应时间快、具有内部增益等优点，在微弱信号的探测和单光子检测技术中具有非常大的应用潜力。本文主要对 4H-SiC 雪崩光电探测器进行理论设计、器件制备以及性能测试与分析，并对 4H-SiC 器件的重点工艺—p 型欧姆接触进行研究。

§ 1.1 紫外 APD 概述

1. 紫外 APD 的应用

紫外光电探测器是指探测波长在 10~400 nm 范围内的光电探测器，它具有非常重要应用价值。如在军事上可用于导弹跟踪、火箭发射、飞行器制导以及生化武器的探测等；在现实生活中可用于火灾监测、汽车尾气监测、细胞癌变分析、紫外通信以及紫外辐射测量等，在环保、医学、通信等领域也有着广泛的应用前景^[1]。

以 SiC、GaN 为代表的宽带隙(WBS)半导体材料，因其禁带宽度大(GaN~3.4 eV, SiC~3.23 eV)，对可见及红外线辐射无响应，可以在很强的可见及红外线背景下检测紫外光，所以由其制备的紫外光电探测器也越来越受到人们关注。目前半导体紫外光电探测器一般有四种结构：MSM 结构、PIN 结构、光电导结构和 APD 结构。表 1-1 是三种结构半导体光电探测器的性能比较。APD 因其具有灵敏度高、增益带宽大和响应速度快而备受人们关注，其主要应用于微弱信号和单光子信号的检测。微弱信号的检测在生物技术、医学和光通讯方面都有非常重要的作用。例如：激光诱导荧光性生物报警系统^[2]和非线性光线隐蔽通讯^[3]。激光诱导衰变中产生的紫外荧光的光强在 pW 量级，相当于每秒几百万个光子，而非线性光线隐蔽通讯中要求探测器的响应速率大于 1Mbs。单光子探测技术在高分辨率的光谱测量、非破坏性物质分析、高速现象检测、精密分析、大

气测污、生物发光、放射探测、高能物理、天文测光、光时域反射、量子密钥分发系统等领域有广泛的应用。由于单光子探测器在高技术领域的重要地位，它已经成为各发达国家光电子学界重点研究的课题之一。

表 1-1 三种结构半导体光电探测器的性能比较

器件结构	APD	PIN	MSM
器件工艺	复杂	较简单	简单
工作偏压	高	低	低
响应度	高	低	低
倍增噪声	有	无	无
内部增益	有	无	无
带宽	高增益带宽积	高带宽	固有内在带宽
灵敏度	高	低	低

2. 4H-SiC APD 与其它材料 APD

制备小信号（微弱信号）和单光子检测紫外光电探测器，需要考虑以下几点：（1）尽量增大信号幅度，这可以通过增加信号强度，提高器件量子效率，或者增加倍增级数实现；（2）尽量减小暗电流；（3）减小APD的过剩噪声。总之，微弱信号的探测要求探测器具有高量子效率、高倍增因子、低过剩噪声因子和低暗电流。

目前，主要有以下四种探测器可用于微弱紫外光的探测：紫外增强Si基APD^[4]，GaP APD，GaN APD和SiC APD。紫外增强Si基APD具有材料成熟、易集成和大的电子与空穴离子化系数比等优点，最后一点可以使Si基APD具有较低的过剩噪声因子。但是Si基APD在一些应用上暗电流比较大，在高温下工作时需要昂贵的制冷系统，另外，由于其带隙宽度比较窄，对可见光和红外光也有很强的光谱响应，所以对紫外光探测时需要一个复杂的滤波系统。GaP在紫外光探测中一直被人们所忽略，其主要原因在于它的间接带隙宽度为2.26 eV(~550 nm)，不属于可见盲波长范围。Beck等报道了低暗电流和高倍增因子(10^3)的GaP基APD^[5]。GaP APD的优点是可以比GaN基APD获得更高的倍增因子，而其成本又远远低于SiC。但是，GaP APD也存在两个缺点：（1）需要贵重的滤波器削弱对可见光区域强烈的光谱响应；（2）大的过剩噪声。文献报道^[6]，本体GaP的电子与空穴离子化系数比接近于1。

宽带隙材料GaN/AlGaN ($E_g=3.44\text{ eV}\sim 6.2\text{ eV}$) 和SiC ($E_g=2.4\text{ eV}\sim 3.23\text{ eV}$) 是半导体紫外光电探测器两个最有力的竞争者。AlGaN的优点之一是其带隙宽度可以通过Al含量的改变从 $3.4\text{ eV}\sim 6.2\text{ eV}$ 进行调节, 其中包括日盲区范围($245\sim 280\text{ nm}$), 这使其成为制备日盲光电探测器最有前途的材料。目前GaN和AlGaN APD都已经报道^[7-10], 但是GaN/AlGaN一般生长在蓝宝石衬底上, 而GaN和蓝宝石之间的晶格失配和热膨胀系数不匹配度分别为16%和39%^[11], 随着Al掺杂的增加, 高导电性很难实现, 而且由于GaN材料高的位错密度, 使GaN APD的产率很低。GaN的另一个缺点是理论计算得出其电子和空穴的离化系数比约等于1^[12], 所以由其制备的雪崩光电探测器具有较高的过剩噪声因子。

SiC材料生长比GaN/AlGaN成熟, 随着材料生长的逐渐成熟与稳定, SiC成为目前紫外光电探测器研究最为广泛的材料^[13-14]。在SiC的众多的同质多型体中, 4H-SiC因为具有大的带隙宽度成为最有前途的SiC材料。Konstantinov等已经报道了4H-SiC的电子和空穴的离化系数之比约为0.02^[15], 这说明由其制备的APD具有较低的过剩噪声因子。F.Yan等已经报道了具有低的倍增噪声可以取代光电倍增管(PMT)的可见盲4H-SiC APD^[16-17]。

由上面的分析可知, 在上面四种制备紫外APD的材料中, 4H-SiC是唯一能够满足微弱信号探测的要求, 例如高量子效率、低暗电流、低的过剩噪声和可见盲特性。

3. 4H-SiC APD 与 PMT 对比

4H-SiC与目前微弱信号探测技术中常用的光电倍增管(PMT)相比也具有很大的优势。PMT是当前紫外光检测的主流技术, 它具有非常高的灵敏度, 其响应度在 275 nm 大于 600 A/W ^[18]; 具有非常小的暗电流, 一个典型的PMT当倍增因子大于 10^5 时, 其暗电流仅为 1.5 pA/cm^2 , 另外, PMT还具有较低的过剩噪声因子。尽管PMT可以对紫外光进行有效的探测, 但是它也具有以下缺点: (1) 体积大、价格昂贵、需要在高压下工作(一般大于 1 KV); (2) PMT比较易碎, 所以可靠性成为其需要解决的难题; (3) PMT在紫外光波段具有负的温度系数, 在此区域其灵敏度随温度的升高而下降; (4) PMT不是日盲探测器或可见盲探测器, 因此如果要消弱可见光和红外光对探测紫外光信号的影响, 必须要加一个昂贵的滤波器; (5) PMT很容易被强的环境光线所破坏; (6) 其量子效率较低($\leq 25\%$)。

总之, 4H-SiC APDs与PMT及其它宽禁带材料制备的紫外雪崩光电探测器相比, 因为具有尺寸小、灵敏度高、可靠性好、响应速度快和暗电流比较低的优点, 最适合进行

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