

提高紫外光通信系统灵敏度的新方法

New Method to Improve Sensitivity of Ultraviolet Communication System

王丽辉¹ 王孝坤²

¹ 中国移动通信集团吉林有限公司长春分公司 无线设备维护中心, 吉林 长春 130033

² 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033

Wang Lihui¹ Wang Xiaokun²

¹ China Mobile Communications Corporation—Changchun Branch Radio Equipment Maintenance Center of Jilin Ltd. Co., Changchun, Jilin 130033, China

² Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China

摘 要 介绍了紫外光通信系统的优点、原理及组成。为了提高探测器的量子效率和灵敏度,分析了几种典型的光阴极材料的光谱响应特性曲线,据此提出了改进探测器的设计方案,并找到了合适的改进材料。最后,通过实验验证了该方法的可行性。

关 键 词 光通信; 紫外光通信; 探测器; 量子效率; 灵敏度

Abstract The advantage, theory and composition of ultraviolet communication system are introduced. In order to enhance its quantum efficiency and sensitivity through analyzing the spectral response pattern of several optical cathode materials' spectrum, the advanced design for the detector and the proper improved materials are proposed. Finally, it is proved feasible for the method.

Key words optical communications; ultraviolet-communication; detector; quantum-efficiency; sensitivity

中图分类号: TN219 doi: 10.3788/LOP20094612.0120

1 引言

光通信一般分为光纤通信和大气激光通信两种。光纤通信传输信息量大、保密性好,有广阔发展前景,但也存在着和有线电通信一样机动性较差的缺点。激光空间通信与微波通信相比,波长比微波更短,具有高度的相干性和空间定向性,激光通信具有通信容量大、质量轻、功耗和体积小、保密性高、建造和维护经费低等优点,但激光由于具有高度的方向性而存在着相对运动光学收、发天线之间的瞄准、接收和跟踪等问题,从而影响了运动能力。为了克服现有各种通信方式的不足,各国正在寻求新的通信媒介,以应付信息安全和快捷的需要。以日盲紫外光为通信载体的新

一代通信系统正以其低窃听率、高抗干扰性和全天候工作等优点而倍受重视^[1]。

紫外光通信是利用大气的粒子、气凝胶、灰尘等微粒对日盲波段紫外光的散射作用进行信息传输的一种新型的通信模式。紫外光传输的优点之一是系统的辐射功率可以根据通信距离的要求而减至最小,常规无线电设备不能探测或干扰采用紫外光技术的远方台站的通信,甚至第三方在当地也很难截收紫外光通信信号。而且,紫外光具有优良的空中散射传播特性,可飞越人造和自然障碍物实现超视距通信,故可用于 1~2 km 的非视距通信,如果采用聚光方式,定向视距通信距离可达 5~10 km。

近年来,紫外光通信技术的研究倍受世界军事强国的重视。1990年,来自美国圣地亚哥 TITAN Systems 5910 Pacific Center 的 Jeffery J. Puschell 等^[1]提出了紫外光通信的关键器件的布置方法以及通信系统的工作原理。2000年美国 GTE 公司为美军研制了一种新型隐蔽式紫外光通信系统^[2],这种系统不易被探测和截收,适用于多种近距离抗干扰通信环境,尤其适用于特别行动和低裂度冲突,是满足战术通信要求的理想手段。

本文介绍了紫外光通信系统的特点、原理及组成,分析了几种常用的荧光物质。

2 紫外光通信系统的原理及组成

紫外光通信是以紫外日盲区的光谱为载波,信息电信号调制加载在紫外光上,通信系统的发射端和接收端通过初定位和调制,再经过光束的捕获、对准和跟踪建立起光通信链路,最后以自由大气为信道来传输信息。

紫外光通信系统由发射装置、传输信道和接收装置组成,如图1所示。发射系统将不同的信息调制成相应的紫外光学信号,接收系统则是将探测的紫外光学信号恢复为实际加载信息。

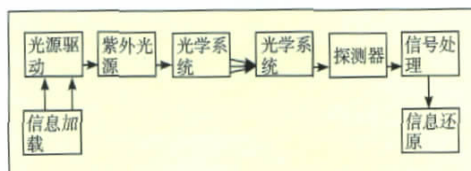


图1 紫外光通信系统框图

紫外光通信系统的主要部件有:紫外光源、调制和驱动电路、滤光片、探测器和解调电路。除光源、滤光片和探测器外,其他部件均可以利用现代通信系统中普遍采用的电子技术实现。目前,应用于紫外光通信系统中的紫外日盲光源主要有紫外气体灯、紫外激光器和紫外发光二极管3大类。探测器采用灵敏度极高的光电倍增管。为了得到窄脉宽的光源且使探测器免受太阳残余辐射的影响,需要在光源处和探测器前面加装“日盲”带通紫外滤光片。

3 光电倍增管

紫外光信号经过多次散射后非常微弱,为此,探测器采用灵敏度很高的光电倍增管。光电倍增管由光电发射阴极(光阴极)和聚焦电极、电子倍增极及电子收集极(阳极)等组成,是建立在光电发射效应、二次电子发射和电子光学理论基础上的,把微弱入射光信

号转换成光电子并获得倍增的真空光电发射器件^[3]。

3.1 光电倍增管的工作原理

光电倍增管的工作原理如下:当光照射到光阴极时,光阴极向真空中激发出光电子。这些光电子按聚焦电场进入倍增系统,并通过进一步的二次发射得到倍增放大。然后把放大后的电子用阳极收集作为信号输出,如图2所示。因为采用了二次发射倍增系统,所以光电倍增管在探测紫外、可见和近红外区的辐射能量的光电探测器中,具有极高的灵敏度和极低的噪声。

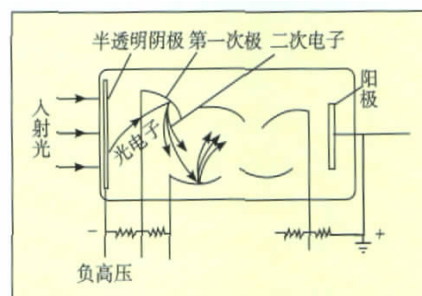


图2 光电倍增管的工作原理图

光电倍增管中很重要的组件是光阴极,光阴极接受入射辐射,产生初级光电子。因此,光阴极材料决定了光电倍增管的主要光谱特性。图3给出了几种典型的光阴极材料的光谱响应特性曲线和量子效率^[4],”S”为光阴极的代号。从图3可以看到,大部分光阴极材料在可见光区有很高的灵敏度和量子效率。为此,可以选用合适的荧光材料,并镀在光阴极上,使入射

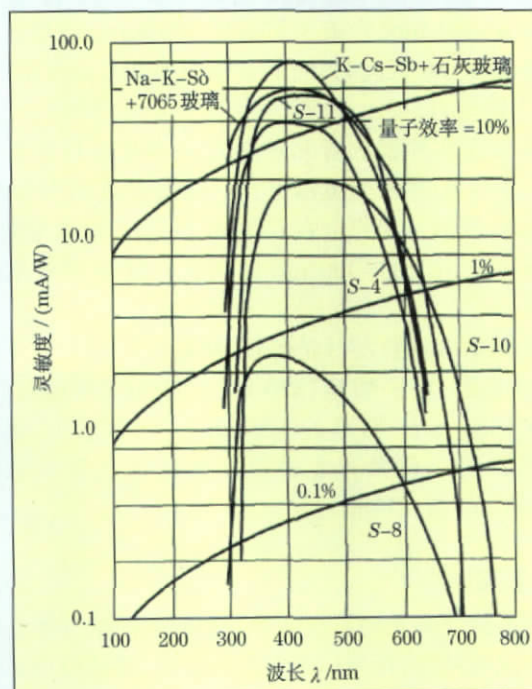


图3 几种实用光电阴极的光谱特性曲线

辐射的紫外光转换为光电倍增管灵敏的可见光,这样就大大提高了光电倍增管的灵敏度。

3.2 荧光物质的特性

把紫外光转换成可见光的物质需要满足一定的条件。首先,它的发射光谱必须与光电倍增管高灵敏度区对应的波段区域相匹配;其次,它必须在紫外到可见光的转换过程中具有很高的转换效率,且效率与光强无关;再次,它的化学性质比较稳定,辐射和放置中衰减比较慢。通过研究几种荧光物质,发现满足上述条件的荧光物质有水杨酸钠、四苯基-丁二烯(TPB)、六苯并苯和路马近。

1) 水杨酸钠

研究发现:水杨酸钠可将 60~360 nm 区间的紫外光有效地转换为 420 nm 附近的荧光,量子效率几乎与辐射波长无关,但是随着水杨酸钠薄膜厚度的变化,其量子效率可从 50%变化到 99%^[5]。

2) 四苯基-丁二烯

Burton W.M.等^[6]的测量结果显示:四苯基-丁二烯在 90~250 nm 区间,荧光效率几乎是水杨酸钠的 2 倍。TPB 的发射光谱从 390 nm 延伸到 530 nm,峰值发射在 428 nm,几乎与水杨酸钠一致,但是它的光谱带宽比水杨酸钠的光窄。

3) 六苯并苯

六苯并苯俗名晕苯,是以苯环为单位的一个七环多环芳烃碳氢化合物,呈粉末状,颜色微黄。它的吸收波长小于 380 nm,发射光谱在可见光的绿区,波长范围为 450~600 nm,峰值发射接近 500 nm。辐射波长在 140~330 nm 区间时,它的量子效率几乎是常量^[7]。

4) 路马近

路马近这种膜放置和使用过程中化学性质都很稳定,主要发射区为黄绿区,发射光谱范围为 400~1000 nm,峰值发射光谱在 525 nm^[8]。量子效率与激发波长无关,在 100~400 nm 区间,它的量子效率达到 10%。

从荧光物质的发射光谱看,峰值发射波长从小到大的顺序是:水杨酸钠(420 nm)、TPB(428 nm)、六苯并苯(500 nm)、路马近(525 nm)。可以看出,这几种物质都可以将紫外光转换成光电倍增管灵敏的 400~500 nm 波段的辐射。

4 验证实验

为了验证荧光物质能够将入射辐射的紫外光有效地转换成可见光,特做以下实验。首先,选择可以对可见光进行成像的 CCD 相机,且 CCD 相机的敏感波段

与光电倍增管一样,都在 400~500 nm 之间。然后,在 CCD 相机表面均匀地喷射水杨酸钠溶液,待水分蒸发后,薄薄的水杨酸钠颗粒就覆盖在相机探测表面。光源采用汞灯,在汞灯前加紫外滤光片使入射辐射波长为 253.7 nm,再分别用没有喷射水杨酸钠的 CCD 相机和喷射了水杨酸钠的 CCD 相机对针孔阵列成像。

结果表明,没有喷射水杨酸钠的相机不能对其成像,而喷射了水杨酸钠的相机可以对针孔成像,如图 4 所示。进而证明了水杨酸钠能够将紫外光转换成可见光波段,采用在光电倍增管表面镀荧光物质可以提高探测器的灵敏度。



图 4 涂有水杨酸钠的 CCD 相机对针孔阵列成像

但是,荧光薄膜量子效率的衰减是不可避免的问题。经研究发现,荧光薄膜的衰减会随着膜厚度增加而变得缓慢,但薄膜过厚又会产生散射,所以要用有效的方法控制薄膜的厚度。而且,薄膜分布的均匀性也会影响到量子效率。因此,应该改进制备薄膜的工艺,蒸镀合适厚度的薄膜,提高荧光物质的量子效率和在光阴极表面分布的均匀性。

5 总结

主要介绍了紫外光通信系统的特点、原理及组成,分析了几种常用的荧光物质。为了提高探测器的灵敏度,提出了在光阴极材料上再镀一层荧光物质,从而可以把紫外光辐射转换为可见光辐射,提高了探测器的灵敏度和量子效率。通过对满足条件的水杨酸钠、四苯基-丁二烯、六苯并苯和路马近等荧光物质进行实验,发现,用镀有水杨酸钠的 CCD 相机对紫外光成像具有可行性。

收稿日期:2009-05-20;收到修改稿日期:2009-06-21

作者简介:王丽辉(1979-)女,博士,通信工程师,主要从事无线通信工作。

E-mail:leaves_wang@tom.com

— | 参考文献 | —

- 1 Puschell J. J., Bayse R.. High data rate ultraviolet communication systems for the tactical battlefield [C]. California TITAN Systems 5910 Pacific Center Boulevard San Diego, 1990: 253~267
- 2 张建勇,钟生东. 紫外线技术在军事工程技术中的应用[J]. 光学技术. 2000, (4): 21~25
- 3 杨 承,曾钦勇,朱大勇 等. 日盲型紫外探测系统中目标定位的研究[J]. 激光与光电子学进展, 2008, **32**(2): 140~142
- 4 江月松 ,阎 平 ,刘振玉. 光电技术与实验[M].北京 :北京理工大学出版社 ,2000
- 5 Pritchard H. O., Nicholls R. W.. Ultraviolet sensitization of silicon detector for space astronomical application[J]. *Appl. Opt.*, 1979, **18**(13): 2085
- 6 Burton W. M., Powell B. A.. Fluorescence of tetraphenyl-butadiene in the vacuum ultraviolet [J]. *Appl. Opt.*, 1973, **12**(1): 87~89
- 7 Blouke M. M., Cowens M. W.. Ultraviolet downconverting phosphor for use with silicon CCD imagers[J]. *Appl. Opt.*, 1980, **19**(19) : 3318~3321
- 8 Catura R. C., Duncan D. W.. Efficiency loss of lunogen coated CCDs by exposure to ultraviolet and extreme ultraviolet photonics[C]. *SPIE*, 1998 , **3445** : 291~297

(上接第 114 页)

— | 参考文献 | —

- 1 David G. Streets, Nancy Y. Tsai, Hajime Akimoto *et al.*. Sulfur dioxide emissions in Asia in the period 1985~1997[J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**(26): 4413~4424
- 2 David G. Streets, Sarath K. Guttikunda, Gregory R. Carmichael. The growing contribution of sulfur emissions from ships in Asian waters, 1988~1995[J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**(26): 4425~4439
- 3 曾凡刚. 大气环境监测[M]. 北京:化学工业出版社, 2003: 100~106
- 4 何振江, 杨冠玲, 艾锦云 等. 低浓度氮氧化物的化学发光和检测[J]. 光电工程, 2004, **31**(8): 27~29
- 5 Dariusz Krochmal, Andrzej Kalina. A method of nitrogen dioxide and sulphur dioxide determination in ambient air by use of passive samplers and ion chromatography[J]. *Atmospheric Environment*, 1997, **31**(20): 3473~3479
- 6 熊建文, 杨初平, 何振江. 多波长紫外荧光二氧化硫检测实验研究[J]. 光电子·激光, 2002, **13**(8): 822~824
- 7 中华人民共和国国家计量技术规范, “测量不确定度评定与表示” (JJF 1059-1999) [S]. 北京: 国家质量技术监督局, 1999
- 8 邱 健, 杨冠玲, 何振江 等. 基于紫外荧光法的大气 SO₂ 气体浓度分析仪[J]. 仪器仪表学报, 2008, **29**(1): 174~178
- 9 邹芸芸, 蔡小舒, 赵 琴 等. 紫外吸收光谱法监测硫化氢浓度的实验研究[J]. 环境工程, 2009, **27**(1): 89~92.
- 10 周 洁, 张时良, 陈晓虎. 高温环境下 NO 气体紫外吸收截面的温变特性研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, **27**(7): 1259~1262
- 11 涂兴华, 刘文清, 张玉钧 等. CO 和 CO₂ 的 1.58 μm 波段可调谐二极管激光吸收光谱的二次谐波检测研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2006, **26**(7): 1190~1194