

文章编号:1002-2082(2006)04-0303-05

# 微光夜视技术的进展与展望

艾克聪

(西安应用光学研究所,西安 710065)

**摘要:** 微光夜视技术作为主要为夜战服务的军用光电子高新技术,其在现代高新技术局部战争和夜战中的作用和地位变得更加突出和重要。随着微光夜视技术的快速发展和器件、系统性能水平的不断提高,微光夜视技术在未来高新技术战争和信息化战争中将具有巨大的发展潜力和广阔的应用前景。在对国外超二代、三代和四代微光像增强器技术发展思路、管型特点和关键技术进行深入分析的基础上,介绍了国内外微光夜视技术的发展现状和最新进展。结合我国目前的设备条件、元器件性能和技术水平的现状,对我国微光夜视技术的发展和重要的关键技术进行了阐述,提出了自己的一些建议和展望。

**关键词:** 微光夜视技术;超二代微光;三代微光;四代微光;微光像增强器

中图分类号:TN22-1

文献标志码:A

## Development and prospect of low-light-level (LLL) night vision technology

AI Ke-cong

(Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** Low-light-level (LLL) night vision technology, as one of main high military optoelectronic technologies, will become more and more outstanding and important, and will possess enormous potential and wide application in the modern or future high technology war and night fighting along with the technologies fast developing and the performances continuous improving for LLL night vision devices and systems. Based on the detailed analyses of the tube characteristics, main ideas and key technologies of the Super Gen. II, Gen. III and Gen. IV image intensifiers, the development status and up-to-date progress are introduced and expatiated in this paper. Simultaneously, some prospects and suggestions about developing direction and main research work for domestic LLL night vision technology are put forward according to the internal situation such as the condition of equipments, the performance of devices and the level of technologies.

**Key words:** LLL night vision technology; Super Gen. II LLL night vision device; Gen. III LLL night vision device; Gen. IV LLL night vision device; LLL image intensifier

## 引言

微光夜视技术是研究微弱光照条件下,光-电子图像信息之间相互转换、增强、处理、显示等物理

过程及其实现方法的一门高新技术,它是近代光电子技术的重要组成部分。利用这一高新技术,能将人眼不能或不易看见的X光、UV光、极微弱星

收稿日期:2006-01-16; 修回日期:2006-03-01

作者简介:艾克聪(1950—),男,陕西米脂人,西安应用光学研究所副总工程师、微光国防科技重点实验室主任,博士,研究员,主要从事微光夜视技术、光电成像器件和系统的研究工作。E-mail:aikc@sina.com

光、近红外辐射和几千亿分之一秒内瞬变的景物图像,通过各类微光像增强器和微光 CCD 成像器件进行光谱和光电转换、图像增强、处理、显示,进而逼真地再现或记录下来,变成人眼易看的、亮度被增强的可见光图像。从而弥补人眼在空间、时间、能量、光谱和分辨能力等方面的局限性,极大地扩展了人的视野和功能。利用这一高新技术研制的各种微光器件、仪器和系统应用前景非常广阔,在军事、公安、天文、航天、航海、生物、医学、核物理、卫星监测、高速摄影等许多领域,特别在军事领域中的夜间作战、侦察、指挥、火控、炮瞄、精确制导、远距离预警、光电对抗等方面发挥了巨大作用。因此,大力发展先进的微光夜视技术,特别是发展先进的微光夜视器件制造技术,研制高性能的新型微光夜视器件和微光夜视系统对提高我国武器装备的夜视化和信息化水平具有非常重要的意义。

对近十几年发生的局部战争和未来战争的研究表明:高新技术局部战争已成为现代和未来战争的主要模式,这种战争是在核、生、化威慑条件下,实施陆、海、空、天、全天候、远距离、大纵深、全方位、多波段、高速、高效的立体战争,是体系与体系的全面对抗。而在现代和未来高新技术局部战争中,夜战已成为高新局部战争的主要作战模式。微光夜视技术作为夜战服务的主要军用光电子高新技术,其在现代高新技术局部战争和夜战中的作用和地位变得更加突出和重要。高性能的微光夜视装备是夜战的眼睛,是取得夜战和信息战优势的重要基础和保证,是打赢一场高新技术局部战争的有力手段。

当前,军用光电系统以其抗电磁干扰和高分辨力 2 大突出特点而愈来愈受到世界各国的重视,已成为当今世界高技术军事装备大力发展的重点,有着强烈的军事需求。微光夜视系统和红外、激光等光电系统以其极高的时域、空域、频域分辨力,特强的抗电磁干扰能力,独有的夜间观察功能和良好的战场适应性等特点而倍受瞩目和重视,使其在现代高新技术局部战争和夜战中的夜视驾驶观瞄、高分辨远距离探测识别、超光谱成像和图像融合、高精度火控、跟踪、制导、预警,防电子侦察与电磁干扰和压制,抗反辐射导弹,打低空突防和具有隐身功能的巡航导弹、武装直升机、隐身机以及战场态势感知,野战防空反导、机动突击、精确打击、远程压制等方面将发挥极其重要的作用。

由于微光夜视器件和系统具有发展历史长、装备规模大、技术成熟、图像清晰、体积小、重量轻、价格低、使用维修方便、后勤保证容易等优点,因此微光夜视仪器,包括各种微光直视和微光电视系统,目前仍是国内外装备量最多、生产规模最大、应用范围最广的夜视器材。虽然热成像技术,特别是非制冷热成像技术的飞速发展对微光夜视技术的传统领域构成了激烈的竞争,但随着微光夜视技术的快速发展和器件、系统性能水平的不断提高,其在未来信息化战争中仍将具有巨大的发展潜力和广阔的应用前景。本文对国内外微光夜视技术的发展现状和最新进展予以介绍,对我国微光夜视技术的发展方向和重要的关键技术进行阐述、展望,并提出自己的一些建议。

## 1 国内外发展状况

国外微光夜视技术从 20 世纪 40 年代开始研究以来得到了非常迅猛的发展,20 世纪 60~80 年代先后有一代、二代和三代微光像增强器产品问世。20 世纪 90 年代以来,国外微光夜视技术主要有 2 种发展方向和趋势<sup>[1-2]</sup>:一种以法国 PHOTONIS 公司(原法国 PHILIPS 公司)和荷兰 DEP 公司为代表(现在这 2 个公司已联合组成了 PHOTONIS/DEP 公司),主要发展超二代微光技术,先后研制出 SHD-3、XD-4、XR-5 等多种超二代、高性能超二代微光像增强器;一种以美国 ITT 公司和诺斯罗普·格鲁曼公司下属的利顿电光系统分部(Leosd)为代表,主要发展三代微光技术,先后研制出 OMNI II~OMN IIV 等多种三代、高性能三代微光像增强器,并在此基础上发展了先进的超三代微光像增强器和无膜四代微光像增强器(OMNI V 和 OMI VI)<sup>[3]</sup>。无膜四代微光像增强器采用的第 1 项关键技术是去除镀制在微通道板上的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  或  $\text{SiO}_2$  离子阻挡膜,采用无膜小丝径新材料微通道板构成了“无膜”像管结构,克服了有膜三代微光管由于离子阻挡膜层对电子的吸收和散射而造成的信噪比和分辨力的降低以及伴随的光晕缺陷。第 2 项关键技术是采用自动脉冲门控电源,通过控制光阴极的电压开关来改进在强光和亮光环境下的观察效果,使四代微光管的寿命和性能有了大幅度提高。第 3 项关键技术是采用低光晕技术,通过将像管的前近贴间距由  $150\ \mu\text{m}$  缩短至  $20\sim 50\ \mu\text{m}$ ,配

合自动门控电源技术有效地减小了像管的光晕。缩短前近贴间距更主要的作用在于提高像管的分辨力,但对装配工艺的要求将更为严格。目前,四代微光管的阴极灵敏度已提高到 $2\ 000\sim 2\ 900\ \mu\text{A}/\text{lm}$ ,分辨力达到 $64\ \text{lp}/\text{mm}$ ,最高可达到 $90\ \text{lp}/\text{mm}$ 。在 $1\times 10^{-1}\text{lx}$ 情况下,信噪比可达到 $25\sim 30$ ,寿命最高可达到 $15\ 000\ \text{h}$ ,显示了四代微光夜视技术巨大的发展潜力。

在微光夜视系统研制方面,诺斯罗普·格鲁曼公司的利顿电光系统分部正根据“Omnibus V”夜视合同向用户提供 AN/PVS-7E 无膜四代微光夜视眼镜、AN/PVS-14 单(双)目微光夜视眼镜、AN/AVS-6 飞行员夜视眼镜和 AN/PVS-17 微光夜瞄镜等夜视产品。ITT 公司的夜视分部也已获准提供无膜四代微光管,并正在根据“Omnibus V”和“Omnibus VI”合同向军方提供各种夜视系统,如向美国海军提供的 AN/AVS-9 航空夜视眼镜和向陆军提供的各种 PVS-7/14 夜视镜。预计未来 10 年内 PVS-7/14 夜视镜的总产量将达到 162500 具,产值将超过 7 亿美元。ITT 公司还研制出利用“Pinnacle(顶尖)”技术的增强三代微光管和新型 16 mm 微光管,“顶尖”是有膜并采用自动门控电源技术的像管,由于这种像管仍采用有膜微通道板技术,所以称为增强三代微光管或超三代微光管。新型 16 mm 微光管既可制作成无膜四代微光管,也可制作成“顶尖”增强三代微光管,性能与 18 mm 微光管相当,但长度更短,重量更轻。美国利用新型 16 mm 微光管研制出型号为 AN/PVS-21 的小突出量双目夜视眼镜和大视场全景夜视眼镜。AN/PVS-21 夜视眼镜不仅突出量小、重心低、佩戴者颈部负担轻,而且能提供独特的昼夜通用观察能力,观察人员在观看微光夜视眼镜提供的增强场景的同时,还可以通过光学系统直接观察前方的目标和景物。为了获得宽视场,大视场全景夜视眼镜采用了 4 个 16 mm 微光管和双目目镜,使夜视眼镜的视场达到 $80^\circ\sim 100^\circ$ ,为飞行员观察目标提供了极大的方便。

高性能微光像增强器的迅速发展,也带动和促进了微通道板(MCP)和光纤面板(FOP)等元器件性能的提高和发展。对于四代微光像增强器,国外还有不同的看法和定义;文献[4-6]将 GaP/GaInAs ( $0.9\sim 1.65\ \mu\text{m}$ )微光管、红外转换微光像增强器、

复合热红外像增强器、EBCCD 即电子轰击微光 CCD 也称为四代微光像增强器。与此同时,国外还发展了微光光子计数器、紫外通讯、紫外与红外双色制导、远距离预警、红外与微光图像融合、彩色夜视和多传感器综合系统等新技术。现在微光夜视器件和武器装备部队的产品型号已超过 500 种。

我国微光夜视技术经过 30 多年的发展,目前一代和二代微光管、微通道板和光纤面板都已形成批量生产能力,一代和二代微光管已可大量装备部队。三代微光器件研究已获重大技术突破,实验室样管可以达到美国标准三代管水平。此外,北方夜视技术股份有限公司现已能进行多种超二代像管的批量生产,性能也有较大幅度的提高。

## 2 发展方向及其展望

针对我军未来军事装备信息化、网络化和我军对提高战场态势感知、野战防空反导、机动突击、精确高效打击能力等方面的迫切需求,在对国外超二代、三代和四代微光技术发展思路、管型特点、技术途径、关键技术进行深入分析的基础上,结合我国目前的设备条件、元器件性能、技术水平的现实情况,突出技术创新和跨越式发展的思路,对我国微光夜视技术的发展和重点进行阐述和展望,提出自己的一些建议:

### 2.1 发展方向

通过对国外微光夜视技术发展状况的分析和研究,笔者认为我国微光夜视技术未来的发展方向主要表现在以下几个方面。

#### 2.1.1 微光夜视器件

1) 三代微光技术在目前基础上继续提高性能,解决关键技术,实现三代微光近贴像管的实用化和工程化。

2) 进一步提高超二代微光技术,尽快进行和完成超二代倒像管与超二代管型系列化、工程化的研究。

3) 进行高性能三代和四代微光技术的研究,特别应尽快进行新型高性能三代和四代平面倒像管的研制。

4) 开展红外转换微光像增强器的研究,使微光夜视技术的应用领域扩大到近红外( $0.8\sim 1.7\ \mu\text{m}$ )和中红外( $3\sim 5\ \mu\text{m}$ )波段。

5) 进行电子轰击 CCD(EBCCD)微光像管器

件和微光电视系统的研制。

6) 开展紫外像增强器,特别是高性能紫外倒像管的研制和应用研究,为研制新型的紫外制导、紫外预警、紫外通讯系统提供技术保障和技术支撑。

7) 进行高性能微通道板(MCP)和光纤面板(FOP)的研究。

8) 进行高性能微光光子计数器的研究。

## 2.1.2 微光夜视技术和系统的研究

重点研究和发下微光夜视技术和系统:

1) 微光昼夜通用观察技术。

2) 激光/微光脉冲选通观察技术。

3) 多光谱图像(光学、数字)融合技术。

4) 多传感器综合系统技术。

5) 微光彩色显示技术等新技术。

6) 巩固和扩大现有微光应用领域,研制机载、舰载、车载、炮载以及单兵等作战平台用的高性能、远距离昼夜通用微光观瞄火控系统。

7) 将微光夜视技术扩展到精确制导领域,研制图像制导的微光电视系统和末敏弹、微光/紫外双色导引头和末敏弹。

8) 将微光夜视技术扩展到防空反导领域,研制星载、飞艇、机载远距离微光预警系统;无人值守微光探测告警系统。

9) 进行微光夜视系统总体理论和性能模型及人眼视觉性能模型的研究和相应的建模仿真。

## 2.2 发展重点

近期我国微光夜视技术的发展重点应集中在以下几个方面。

### 2.2.1 重视军用微光关键材料的探索和创新

军事发展史表明:武器装备和光电系统性能的改进和提高在很大程度上依赖于新材料的探索、研究和应用,因此要重视我国军用微光关键材料的探索和创新,特别要重视发展军用微光的关键新材料,进行 $3\sim 4\ \mu\text{m}$ 的高性能光纤面板(OFP)、 $4\sim 6\ \mu\text{m}$ 小孔径、高分辨力、高增益、低噪声微通道板、大、薄、匀半导体镱单电子亲和势阴极材料、高性能CCD组件、不同用途的各种荧光粉和显示器件的探索、创新和研制。

### 2.2.2 尽快进行和完成超二代倒像管与超二代管型系列化、工程化的研究

由于我国目前已装备部队的微光夜视系统80%采用的是倒像管,而国产二代倒像管的性能和

数量都远不能满足部队武器装备的需求,同时针对目前国际上只有欧洲研制生产超二代微光近贴管,还没有研制超二代倒像管的情况,建议尽快进行和完成超二代倒像管与超二代管型系列化、工程化的研究。采用新技术途径研制的超二代倒像管,将具有信噪比高、像质好、图像清晰、观察距离远、良品率高等优点且适合超二代像管系列化、工程化和大批量生产,可在一台多工位设备上进行一次、二代、超二代近贴管和倒像管等多种管型的研制和生产。有关超二代倒像管及其研制新技术和新工艺目前尚未见报导。如果研制成功,不仅能提高我国微光夜视技术的研究水平和部队夜视武器装备的性能,而且有助于微光技术的进一步发展。

### 2.2.3 尽快进行新型高性能三代和四代平面倒像管的研制

针对国外超二代和四代微光管的发展非常迅速这一实际情况,作者提出了跨越式发展我国四代微光平面倒像管、相应技术途径和方案。采用新技术途径,如用不镀 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜的微通道板研制四代微光倒像管可尽快解决像管的寿命、实用化和工程化问题。另外,像管自动门控电源的研制较近贴管容易,同时还具有传函好、增益高、工艺简单、研制周期短、良品率高、适合工程化和大批量生产等诸多优点。

### 2.3.4 进行红外转换微光像增强器的研究

针对微光夜视系统探测地面目标距离受气候影响等方面与热像仪的差距,特别是受非制冷热像仪强烈冲击这一现象,建议尽快研制红外转换微光像增强器。红外转换微光像增强器综合了红外和微光2大学科的优势,不仅有热成像系统探测距离远和大气传输特性好的特点,而且可利用微光夜视技术的电子聚焦和倍增等功能,实现光谱响应宽(可至近红外、中红外),具有平面列阵凝视、无扫描机构、不需制冷、空间分辨力高、体积小、重量轻、成本低、效费比高、操作方便、后勤保障容易等优点,还可与 $1.06\ \mu\text{m}$ 和 $1.54\ \mu\text{m}$ 的激光测距、目标指示、辅助照明系统相配合,解决主、被动合一,微光与红外兼容的重要技术途径。

### 2.2.5 加快高性能紫外像增强器的研制和应用

紫外探测是利用“太阳光谱盲区”的紫外波段( $220\sim 280\ \text{nm}$ )探测飞机、导弹的火焰与羽烟的。由于紫外探测器对太阳光和普通灯光均不敏感,因

而背景噪声非常小,虚警率很低;而且具有体积小、重量轻、不需要低温冷却和扫描等诸多优点。加快进行高性能紫外倒像管、紫外变换像增强器以及其他高分辨力、高灵敏度紫外像增强器的研制,使其在光电对抗、红外-紫外双色制导、紫外告警和紫外通信等领域得到更加广泛的应用。未来紫外技术将有可能像现在的红外技术一样得到非常广泛的应用和飞速发展。

#### 2.2.6 研制图像制导的微光电视导引头和末敏弹

针对我国对精确制导武器的迫切需求和红外/毫米波导引头的造价高,大量装备困难的现状,作者建议研制用于精确制导导弹和末敏弹的昼夜通用微光电视导引头。微光包括紫外器件配合激光照明,完全能够满足大多数精确制导导弹和末敏弹的要求,在精确制导领域将会有广阔的应用前景。加之精确制导导弹和末敏弹均是一次性使用,需求量亦很大。

#### 2.2.7 进行远距离微光预警系统的研发

针对防空反导武器系统的迫切需求,作者建议研制飞艇、机载用远距离微光预警系统、天基轨道武器装备用多光谱微光/紫外/红外探测预警系统、无人值守多传感器微光探测系统。鉴于上述微光夜视系统在成本、体积、重量等方面的优势,研制成功不仅会进一步扩大微光夜视系统的应用领域,而且对用高新技术改造常规兵器具有重要意义。

#### 2.2.8 人眼视觉性能模型与光电系统性能模型的研究

人眼视觉性能模型的研究和各种条件下的实验数据是所有光电系统性能模型研究的基础。以前虽进行过大量有关人眼的实验,获得了大量数据,但还不充分,有待进一步深入研究。光电系统性能模型不仅可以用于预测各种微光和热成像系统的极限探测距离,而且可用于评价有争议的设计,使

所设计的系统满足特定的用途,或者直接指导研究,使系统性能达到最佳状态,这对提高系统性能、降低成本和缩短研制周期等都具有重要意义,并将在建模仿真、优化设计、性能评估等方面具有广泛应用。

### 3 结束语

在介绍国内外微光夜视技术的发展历史、现状和最新进展的基础上,针对我军未来装备信息化、网络化和对提高战场态势感知、机动突击、精确高效打击能力等方面的需求,对我国微光夜视技术的发展方向和重要的关键技术进行了阐述和展望,提出自己的一些建议,指出我国应大力发展的微光夜视器件和微光夜视系统技术主要包括:微光关键新材料、超二代像管、新型高性能三代和四代平面倒像管、红外转换微光像增强器、高性能紫外像增强器、微光电视导引头、远距离微光预警系统、人眼和光电系统性能模型的理论研究等方面的内容。

#### 参考文献:

- [1] 周立伟. 夜视像增强器的近期进展[M]. 北京:北京理工大学,1996.
- [2] 周立伟. 微光成像技术的进展与展望[C]// 母国光. 现代光学与光子学进展——庆祝王大珩院士从事科学活动65周年专集. 天津:天津科学技术出版社,2003,316-339.
- [3] BIASS E H, GOURLEY S. Night vision technology update [J]. Armada International, 2001, 25 (5): 27-37.
- [4] 艾克聪. 微光夜视技术的现状和发展设想[J]. 应用光学,1995,16(3):11-22.
- [5] 向世明,倪国强. 光电子成像器件原理[M]. 北京:国防工业出版社,1999.
- [6] 艾克聪. 目标探测与识别[M]//周立伟,刘玉岩. 微光夜视技术. 北京:北京理工大学出版社,2002.