专栏：〈微光与紫外〉

专家推介：本文推导出了铝镓氮光电阴极日盲紫外像增强器辐射增益的表达式，计算出了日盲紫外像增强器的辐射增益，计算值与实际测量值进行比较，两者误差在10%之内，验证了数学模型和测试系统的正确性。

铝镓氮光电阴极日盲紫外像增强器辐射增益研究

程宏昌[1,2]，石 峰[1,2]，姚 泽[1,2]，闫 磊[1,2]，杨书宁[1,2]
（1. 微光夜视技术重点实验室，陕西 西安 710065；2. 昆明物理研究所，云南 昆明 651505）

摘要：铝镓氮光电阴极日盲紫外像增强器以日盲特性优、探测灵敏度高等特点，已被广泛应用于日盲紫外探测系统中，辐射增益是表征其增强功能的重要指标之一。本文针对铝镓氮光电阴极日盲紫外像增强器辐射增益数学模型及测试方法缺乏问题，采用在微光像增强器亮度增益数学模型基础上，对光电阴极引入入射辐射照度，对荧光屏引入视见函数这两个量值，推导出了有效直径为ϕ18 mm 的双近贴聚焦铝镓氮光电阴极紫外像增强器辐射增益（λ=254 nm）的数学模型，采用实验室标准设备对数学模型中光电阴极量子效率、微通道板电流增益、荧光屏发光效率等参数进行了有效测量，将诸参数的测量值带入了辐射增益数学表达式中，计算出了 10 支铝镓氮光电阴极日盲紫外像增强器样品的辐射增益理论值；同时改造完成了一套紫外像增强器辐射增益测试系统，利用该系统测试了上述 10 支样品的辐射增益，并对数学理论值与实际测量值进行比较，两者偏差在10%之内，验证了数学模型和测试系统的正确性。本文研究的辐射增益数学模型可指导高辐射增益紫外像增强器技术相关研究。

关键词：铝镓氮光电阴极；紫外像增强器；辐射增益；辐射照度；辐射出射度
中图分类号：O462.3 **文献标志码：**A **文章编号：**1001-8891(2020)08-0709-06

Radiation Gain of AlGaN Photocathode Solar Blind UV Image Intensifier

CHENG Hongchang[1,2]，SHI Feng[1,2]，YAO Ze[1,2]，YAN Lei[1,2]，YANG Shuning[1,2]
(1. *Science and Technology on Low-Light-Level Night Vision Laboratory*, *Xi'an* 710065, *China*;
2. *Kunming Institute of Physics*, *Kunming* 650223, *China*)

Abstract：Few studies have presented mathematical models and test methods for determining the radiation gain of AlGaN photocathode solar blind ultraviolet image intensifiers; thus, in this study, a mathematical model of radiation gain of a dual close-focused AlGaN photocathode ultraviolet image intensifier, with an effective diameter of ϕ18 mm, is deduced. The mathematical model is based on the brightness gain of low-light-level image intensifiers; two values of incident irradiance are introduced to the photocathode and a visual function to the phosphor screen. The quantum efficiency of the photocathode, MCP(microchannel plate) current gain, and luminous efficiency of the phosphor screen are measured using standard laboratory equipment. The measured values of the parameters are substituted into the mathematical equation of the radiation gain, and the theoretical values of radiation gains of 10 samples are calculated. Additionally, a set of UV radiation gain test systems is modified; the systems are used to test the radiant gain of the aforementioned 10 samples and compare the mathematical theory and the actual measured values. The deviation between the two values is within 10%, and the validity of the mathematical model and test system are proven. The results of this study may serve as a reference for studies regarding high-radiation gain UV

收稿日期：2020-06-15；**修订日期：**2020-06-24.
作者简介：程宏昌（1974-），男，研究员级高工，博士，主要从事微光夜视器件、紫外成像器件等研究。E-mail：chh600@163.com

image intensifier technology.

Key words： AlGaN photocathode, UV image intensifier, radiation gain, irradiance, radiation emission

0 引言

日盲型紫外像增强器由于具有良好的日盲特性、高紫外灵敏度、高紫外辐射增益、可大面积凝视成像、暗背景噪声小等优点，已经在军民两用市场上得到了广泛的应用。与微光像增强器类似，紫外像增强器是一种光谱转换和能量增强器件，据此，其增益特性就显得十分重要，辐射增益被国外列为评价紫外像增强器增益特性的指标，在表征其性能时被广泛引用，如 Hamamatsu 公司的双近贴聚焦型 V4170U-23 的辐射增益典型值为 1×10^6 $(W\cdot m^{-2})/(W\cdot m^{-2})$。

紫外像增强器是微光像增强器的同一类光电器件，有关微光像增强器的亮度增益、等效背景照度、信噪比、输出信噪比等方面开展了大量研究[1-5]。然而，国内紫外像增强器研制成功的时间相对较短，虽然程宏昌等[6]人在光谱响应测试方面开展了相关研究，但仍存在着研究单位很少、其性能测试标准还未统一、辐射增益测试方法及指标还没有明确、辐射增益对紫外像增强器应用效果的影响程度还不清楚等问题。鉴于此，为了更加准确评价紫外像增强器，开展辐射增益研究显得十分迫切及重要。

基于此，本文借鉴微光像增强器亮度增益的定义，结合紫外像增强器工作原理，推导出了紫外像增强器的辐射增益的数学模型，在数学模型指导下建立了辐射增益测试系统，采用该系统对 10 支自研的样品进行了测试，最后对测试结果和数学计算理论值进行了比较。

1 工作原理

1.1 紫外像增强器工作原理

紫外像增强器能够将外界目标中的紫外图像转换成人眼可见或其他可见光传感器可接收的可见图像的光电器件。由紫外光电阴极、微通道板（micro-channel-plate, MCP）、荧光屏等部件构成。其中，光电阴极与 MCP 之间、MCP 与荧光屏之间都是真空密封区域。双近贴聚焦型紫外像增强器结构如图 1 所示，其工作原理为：光电阴极将入射的紫外光子转换为电子后，电子的密度分布与目标图像的紫外辐射强度成正比，电子进入有一定倾角的 MCP，通过 MCP 放大后形成大量次级电子，然后在高压加速作用下轰击荧光粉将电信号转换为可见光信号，在荧光屏上形成二位图像，图像的亮度与光电阴极上对应的紫外辐射强度成正比，最后可见光信号通过荧光屏的输出光窗直接输出或者与 CCD 等其他可见光传感器耦合成 ICCD 后进行后续信息处理，在紫外像增强器工作时，各功能部件都要加上高压电源。

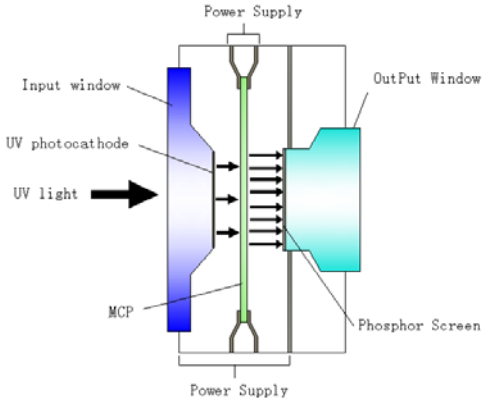

图 1 紫外像增强器原理图

Fig.1 The principles of ultraviolet image intensifier

1.2 日盲紫外工作原理

太阳是自然界中最强烈的紫外辐射源，紫外波段的辐射能量占据了太阳辐射总量的 70%。在电磁波谱中，紫外波段的范围是 10～400 nm，虽然紫外波段的波长范围比较窄，但是不同波段的紫外光在地球大气中的传输特性却相差很大。波长小于 200 nm 的紫外光会被大气中的氧气吸收，所以该波段的光只存在于真空中，被称为真空紫外或超紫外（vacuum ultraviolet，VUV）；波长 200～280 nm 的紫外光被大气层中的臭氧层吸收，无法达到地球表面，该波段的紫外光称为短波紫外或日盲紫外（ultraviolet C，UVC）；虽然波长 280～315 nm 的紫外光能够被臭氧层吸收，但是该波段内仍有约 10%的紫外光可以到达地球表面，该波段的紫外光被称为中紫外（ultraviolet B，UVB）；波长 315～400 nm 之间的紫外光可以透过云层，照射到地球表面，这部分波段的紫外光被称为近紫外（ultraviolet A, UVA）。由此可知，由于臭氧层对日盲波段紫外辐射具有强烈的吸收作用，使波长小于 280 nm 的太阳辐射光无法到达地球表面，这种自然条件为响应波段小于 280 nm 的紫外探测器提供了良好的探测背景条件。因此，日盲紫外探测器可忽略太阳辐射对目标信号的影响，具有全方位探测能力，从探测目标选择与识别等方面优于可见光和红外探测，同时，在大气层内部也存在较多的日盲波段的紫外辐射源，如超音速飞行物体、闪电、高压电晕放

电、火灾和紫外通信设备等，同时这些辐射源与人们日常生活有着密切的联系，也需要通过日盲紫外探测技术进行研究。

1.3 铝镓氮紫外像增强器基本概念

紫外像增强器与其他可见类型的微光像增强器比较，两者区别在于采用不同输入窗口和光电阴极类型。紫外输入窗口主要包含以下两种：①石英玻璃窗口，短波透过率极限波长在 190 nm 以下，满足日盲波段透过的要求，易于从市场采购，加工较普通光学玻璃稍难，成本与普通光学玻璃相当，硬度、强度、气密性等方面也满足作为日盲型紫外像增强器的光电阴极输入窗口的要求。但是选用铝镓氮作为紫外光电阴极需要在单晶衬底上生长，石英玻璃是多晶不满足要求。②蓝宝石窗口，具有一定的机械性能，在紫外波段有良好的透射率（T＝80%），易于从市场采购，加工较石英玻璃难，成本有所增加，同时蓝宝石玻璃是单晶结构。因此，选用它作为日盲型（200～280 nm）紫外铝镓氮光电阴极像增强器的输入窗口。

紫外光电阴极类型主要有以下几种：①碲化铯（石英输入窗口）光电阴极，光谱响应为 200～350 nm，长波阈值随光电阴极制备时 Cs 量的不同，在 320～350 nm 之间变化，在波长 254 nm 处量子效率为 7%，由于其长波阈值随 Cs 量的不同而不同，导致 Cs 量控制方法是制备该光电阴极的技术难点，正是由于此原因，也限制了该光电阴极在日盲紫外像增强器中的应用。②氮化镓（蓝宝石衬底）光电阴极，氮化镓材料为Ⅲ～Ⅴ族宽带隙化合物半导体材料，具有内、外量子效率高、高发光效率、高热导率、耐高温、抗辐射、耐酸碱、高强度和高硬度等特性，是目前世界上公认的第三代半导体材料；由该材料制备的紫外光电阴极，光谱响应可达到 200～365 nm，在波长 254 nm 处量子效率最高达到 30%左右；在日盲区紫外探测成像中需要附加低紫外透过率的窄带滤光片，限制其 280～365 nm 之间的响应，同时也降低了 200～280 nm 的高量子效率优势，也限制了其在日盲紫外像增强器中的应用。碲化铯光电阴极和氮化镓光谱响应曲线如图 2 和图 3 所示。③负电子亲和势铝镓氮光电阴极，其禁带宽度为 3.4～6.2 eV 可调，该材料制成的像增强器可根据实际需要而调整截止波长范围（200～365 nm），实现对近紫外光的屏蔽作用，体现高的紫外可见光抑制比。通过超高真空技术，实现外延层原子级表面的洁净、铯氧处理，形成负电子亲和势，大大提高铝镓氮光电阴极的量子效率，显示出了良好的光电发射性能，是日盲紫外像增强器的最佳选择。铝镓氮光电阴极日盲紫外像增强器光谱响应曲线如图 4 所示。

2 辐射增益理论推导

2.1 紫外像增强器辐射增益理论推导

根据紫外像增强器工作原理可知，辐射增益等于辐射出射度除以入射辐射照度，但是微弱的辐射出射度和入射照度直接准确测量都是十分困难，需要进行量值转换。

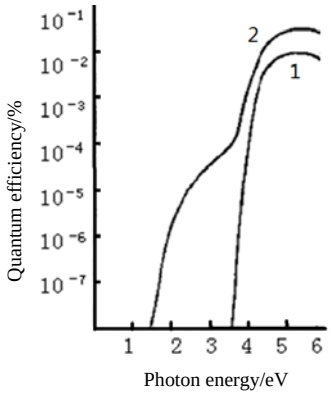

图 2 Cs_2Te 光电阴极光谱响应曲线

Fig.2 Spectral response of Cs_2Te photocathode

注：1.Cs 不过量；2.Cs 过量；Note: 1.Cs Good; 2.Cs too much

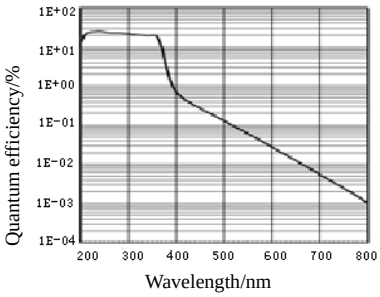

图 3 GaN 光电阴极光谱响应曲线

Fig.3 Spectral response of GaN photocathode

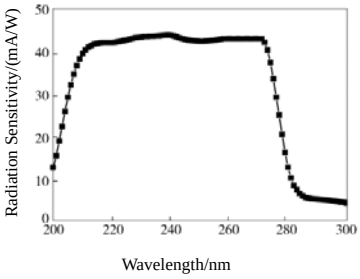

图 4 铝镓氮光电阴极光谱响应曲线

Fig.4 Spectral response of AlGaN photocathode

本文用现有实验室条件，测量得到的紫外光电阴极量子效率、荧光屏发光效率 η_s、MCP 电流增益 G_M、MCP 输出面到荧光屏的加速电压 U 等参数作自变量，推导出了光电阴极输入波长为 254 nm、荧光屏输出主

波长为 555 nm 的辐射增益表达式。推导过程如下：

设入射到紫外像增强器光电阴极面上的辐射照度为 E_{λ_1}，光电阴极在波长 λ_1 处的辐射灵敏度为 R_{λ_1}，此时可求出光电阴极有效面积 A_c 上产生的光电流为 I_c[7-8]：

$$I_c = E_{\lambda_1} \times A_c \times R_{\lambda_1} \tag{1}$$

式中：E_{λ_1} 的单位为 W/m^2；A_c 单位为 m^2；R_{λ_1} 单位为 A/W。

根据阴极量子效率和辐射灵敏度的关系式[7-8]：

$$\eta_{\lambda_1} = \frac{1.239 \times R_{\lambda_1}}{\lambda_1} \tag{2}$$

式中：λ_1 单位为 m；

由式(2)可得：

$$R_{\lambda_1} = \frac{\eta_{\lambda_1} \times \lambda_1}{1.239} \tag{3}$$

将式(3)代入式(1)中有：

$$I_c = E_{\lambda_1} \times A_c \times R_{\lambda_1} = E_{\lambda_1} \times A_c \times \frac{\eta_{\lambda_1} \times \lambda_1}{1.239} \tag{4}$$

MCP 的电流增益 G_M 为：

$$G_M = I_{out}/I_{in} \tag{5}$$

式中：I_{in} 和 I_{out} 分别为 MCP 输入和输出端电流，单位均为 A。

由式(5)可得 MCP 输出面电流：$I_{out} = G_M \times I_c$。

MCP 输出面到达荧光屏的加速电压为 U，像管中电子光学的透射比为 τ，则到达荧光屏的功率为 P：

$$P = \tau \times I_{out} \times U = \tau \times G_M \times I_c \times U = \tau \times G_M \times U \times E_{\lambda_1} \times A_c \times \frac{\eta_{\lambda_1} \times \lambda_1}{1.239} \tag{6}$$

荧光屏转换效率为 η_s，定义为：$\eta_s = \Phi_s/P$，单位为 lm/w。可根据式(6)计算出荧光屏发出的光通量为：

$$\Phi_s = \eta_s \times P = \eta_s \times \tau \times G_M \times U \times E_\lambda \times A_c \times \frac{\eta_{\lambda_1} \times \lambda_1}{1.239} \tag{7}$$

对应于波长 λ_2，引入视见函数，可得到荧光屏的辐射通量为 W_{λ_1}：

$$W_{\lambda_2} = \frac{\Phi_s}{683 \times V_{(\lambda_2)}} = \eta_s \times \tau \times G_M \times U \times E_{\lambda_1} \times A_c \times \frac{\eta_{\lambda_1} \times \lambda_1}{1.239 \times 683 \times V_{(\lambda_1)}} \tag{8}$$

式中：W_{λ_2} 单位为 W；

设荧光屏面积为 A_s，荧光屏的辐射出射度 M_{λ_2}：

$$M_{\lambda_2} = W_{\lambda_2} / A_s = [\eta_s \times \tau \times G_M \times U \times E_{\lambda_1} \times A_c \times \frac{\eta_{\lambda_1} \times \lambda_1}{1.239 \times 683 \times V_{(\lambda_2)}}] / A_s \tag{9}$$

式中：M_{λ_2} 单位为 W/m^2。

这样，辐射增益定义为：在紫外像增强器工作时，用波长为 λ 的辐射源照射光电阴极，并使辐射源的辐射功率能使光电阴极达到饱和工作状态，此时得到的紫外像增强器辐射增益 G 为荧光屏的辐射出射度与光电阴极辐射照度的比，表示为式(10)所示[7-8]：

$$G = \frac{M_{\lambda_2}}{E_{\lambda_1}} = \{[\eta_s \times \tau \times G_M \times U \times E_{\lambda_1} \times A_c \times \frac{\eta_{\lambda_1} \times \lambda_1}{1.239 \times 683 \times V_{(\lambda_2)}}] / A_s\} / E_{\lambda_1} = [\eta_s \times \tau \times G_M \times U \times A_c \times \frac{\eta_{\lambda_1} \times \lambda_1}{1.239 \times 683 \times V_{(\lambda_2)}}] / A_s \tag{10}$$

式(10)中：G 单位为(W·m^{-2})/(W·m^{-2})。

式(10)为辐射增益的数学表达式，对于双近贴聚焦铝镓氮光电阴极紫外管辐射增益数学表达式可根据式(10)进行参数的具体化推导。

2.2 双近贴聚焦紫外像增强器辐射增益推导

双近贴聚焦铝镓氮光电阴极紫外像增强器光电阴极有效直径为 ϕ18 mm，MCP 开口面积比为 65%，荧光屏采用 P20 粉，因此式(10)中，λ_1＝254 nm，λ_2＝555 nm，$V(\lambda_2)$＝1，$A_c = A_s = 2.54 \times 10^{-2}$ m^2；于是有：

$$G = \frac{M_{\lambda_2}}{E_{\lambda_1}} = \eta_s \times \tau \times G_M \times U \times \frac{\eta_{\lambda_1} \times \lambda_1}{1.239 \times 683 \times V_{(\lambda_2)}} = 3 \times 10^{-4} \times \eta_s \times G_M \times U \times \eta_{254\,nm} \tag{11}$$

从式(11)可见，对这种紫外像增强器来讲，其辐射增益与荧光屏发光效率 η_s、MCP 电流增益 G_M、MCP 输出面到荧光屏的加速电压 U、紫外光电阴极在波长 λ_1＝254 nm 处的量子效率成正比。

3 理论计算与测试值比对

3.1 辐射增益理论计算值

采用实验室标准的有效的“荧光屏发光效率测试仪”、“紫外光电阴极量子效率测试系统、MCP 电子增益测试装置和高压电源”对自研的 10 支铝镓氮日盲型紫外像增强器的荧光屏发光效率、光电阴极量子效率和 MCP 电子增益参数分别进行了测量，使用

高压电源给 MCP 输出面与荧光屏端提供加速电压 U＝5000 V，并利用式(11)对 10 支铝镓氮日盲型紫外像管辐射增益进行了理论计算，理论值见表 1。

3.2 辐射增益测试

根据辐射增益定义为：辐射出射度除以入射辐射照度。采用高精度亮度计和辐射功率计，分别直接测量紫外像增强器正常工作时荧光屏输出亮度和紫外光电阴极输入辐射照度，然后将亮度值换算成光通量，引入视见函数，计算出荧光屏辐射出射度。然后用辐射出射度除以辐射照度，10 支铝镓氮日盲型紫外像管辐射增益测量值见表 2。

表 1 辐射增益理论计算值（U=4000 V）

Table 1 The theoretical value of radiation gain(U=4000 V)

No.	Luminous efficiency of phosphor screen η_s /(lm·W^{-1})	MCP gain G_M	Quantum efficiency@ λ_1=254 nm/%	Theoretical value /((W·m^{-2})/(W·m^{-2}))
1#	9.86	466664	26.76	1.85×10^6
2#	9.56	449168	24.50	1.58×10^6
3#	10.12	443671	26.73	1.80×10^6
4#	10.69	454685	32.40	2.36×10^6
5#	10.35	485271	30.34	2.26×10^6
6#	9.79	458827	30.01	2.05×10^6
7#	9.98	475350	32.02	2.32×10^6
8#	10.28	443245	32.60	2.14×10^6
9#	10.48	433089	31.27	1.99×10^6
10#	10.29	459521	33.65	2.25×10^6

表 2 辐射增益实际测量值及与理论值比对

Table 2 Comparison of theoretical and test value

No.	Input radiation illuminance/(W·m^{-2})	Output brightness/(cd·m^{-2})	Radiation luminous existance/(W·m^{-2})	Test value/ ((W·m^{-2})/(W·m^{-2}))	Deviation/%
1#	9.1×10^{-9}	3.77	1.73×10^{-2}	1.90×10^6	3.07
2#	9.1×10^{-9}	3.29	1.51×10^{-2}	1.66×10^6	5.27
3#	9.1×10^{-9}	3.68	1.69×10^{-2}	1.86×10^6	3.22
4#	9.1×10^{-9}	4.87	2.24×10^{-2}	2.46×10^6	4.10
5#	9.1×10^{-9}	4.67	2.15×10^{-2}	2.36×10^6	4.30
6#	9.1×10^{-9}	4.17	1.92×10^{-2}	2.11×10^6	3.00
7#	9.1×10^{-9}	4.78	2.20×10^{-2}	2.41×10^6	4.05
8#	9.1×10^{-9}	4.37	2.01×10^{-2}	2.21×10^6	3.25
9#	9.1×10^{-9}	4.11	1.89×10^{-2}	2.08×10^6	4.25
10#	9.1×10^{-9}	4.56	2.10×10^{-2}	2.30×10^6	2.57

3.3 测试结果分析

通过对数学理论值与实际测量值进行比较，两者偏差最小为 2.57%，最大为 5.27%，在 10%之内，验证了数学理论推导是正确的，测试系统的设计是合理的，测试结果是可信的。针对实际测试值均高于理论值，经梳理分析，紫外光电阴极量子效率测试系统是通过光栅单色仪获取 254 nm 单色光，而改造的紫外辐射增益测试系统是通过滤光片获取 254 nm 单色光，相比较两种方法，滤光片获取的 254 nm 单色光半峰宽略高于光栅单色仪，导致实际测试过程中光电阴极转化的光电子量子效率高于理论计算值，使得辐射增益实际测试值稍高于理论计算值。

4 结论

本文推导出了以光电阴极量子效率、MCP 电流增益、荧光屏发光效率等参数为自变量的光电阴极输入波长为 254 nm，荧光屏输出主波长为 555 nm 的辐射增益表达式，并用实验室标准设备对数学模型中这几个参数进行了有效测量，将诸参数的测量值带入了辐射增益的数学表达式中，计算出了 10 支样品的辐

射增益理论值；同时改造成了一套紫外管辐射增益测试系统，利用该系统测试了上述 10 支样品辐射增益，并对数学理论值与实际测量值进行比较，两者误差在 10%之内，验证了数学模型和测试系统的正确性。本文研究的辐射增益数学模型可指导高辐射增益紫外管技术相关研究。

参考文献：

[1] 邱亚峰，钱芸生，常本康. 像增强器亮度增益和等效背景噪度测试仪的研制[J]. **红外技术**, 2003, **25**(3): 76-79.
QIU Yafeng, QIAN Yunsheng, GHANG Benkang. Research and development of luminance gain and equivalent background input test set for low-light-level image intensifier[J]. *Infrared Technology*, 2003, **25**(3): 76-79.

[2] 钱芸生，常本康，邱亚峰，等. 微光像增强器亮度增益和等效背景照度测试技术[J]. **真空电子技术**, 2004(2): 34-37.
QIAN Yunsheng, CHANG Benkang, QIU Yafeng, et al. Measurement of luminance gain and equivalent background input in low-light-level image intensifiers[J]. *Vacuum Electric Technology*, 2004(2) : 34-37.

[3] 赵清波. 宽光谱像增强器辐射增益及视场缺陷测试技术研究[D]. 南京：南京理工大学, 2008.
ZHAO Qingbo. Research on Radiation Gain Test and Flaw of View Examination of Wide Spectral Image Intensifier Tube[D]. Nanjing: Nanjing Institute of Technology, 2008.

[4] 高岳，王仲春，高雅允，等. 像管亮度增益与背景测试仪[J]. **应用光学**, 2004, **24**(5): 14-15.
GAO Yue, WANG Zhongchun, GAO Yayun, et al. Test instrument for brightness gain and background of image tube[J]. *Journal of Applied Optics*, 2004, **24**(5): 14-15.

[5] 刘秉琦，周斌，高雅允，等. 像增强器增益对输出信噪比影响的分析[J]. **光学技术**, 2005, **31**(1): 120-124.
LIU Bingqi, ZHOU Bin, GAO Yayun, et al. Analysis of the gain’s effect on output signal-to-noise ratio of image intensifier[J]. *Optical Technique*, 2005, **31**(1): 120-124.

[6] 程宏昌，盛亮，石峰，等. 紫外像增强器光谱响应测量的简便方法研究[J]. **应用光学**, 2007, **28**(3): 305-308.
CHENG Honghang, SHENG Liang, SHI Feng, et al. Spectral response measurement of UV image intensifier[J]. *Journal of Applied Optics*, 2007, **28**(3): 305-308.

[7] 邹异松，刘玉凤，白廷柱. **光电成像原理**[M]. 北京：北京理工大学出版社, 1997.
ZOU Yisong, LIU Yufeng, BAI Tingzhu. *The Principle of Photoelectric Imaging*[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1997.

[8] 张敬贤，李玉丹，金伟其. **微光与红外成像技术**[M]. 北京：北京理工大学出版社, 1995.
ZHANG Jingxian, LI Yudan, JIN Weiqi. *Low-light-level and Infrared Imaging Technology*[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1995.