

光电倍增管

金 圣 经

(中国科学院长春物理研究所)

光电倍增管是利用光电子发射效应和倍增极的二次电子发射效应制成的光电器件。其主要优点是灵敏度高、稳定性好、响应速度快和噪音低;其主要缺点是结构复杂、工作电压高、体积大。光电倍增管是电流放大元件,具有很高的电流增益,因而最适合于微弱信号的检测,如探测微弱的发光和激光信息。

本文概述了光电倍增管的基本结构、工作原理、特性、工作电路和输出信号的观测方法,并给出光电倍增管的型号及使用注意事项。

一、基本结构和工作原理

光电倍增管(简写 GDB)的作用是将发光体或其他闪烁体发出的微弱光信号转变成电信号,然后经过多次倍增变成一个可记录的电信号。将微弱光信号变成电信号的部件是光电阴极。光电倍增管具有一系列的倍增级(即打拿极),将光电阴极发出的光电子进行多次倍增,最后达到非常高的倍增系数。打拿极也是由电子逸出功较低的材料构成的。当一个高能的高速电子打到这种电极上,会产生许多二次电子,形成一种倍增过程。图 1 是光电倍增管的结构原理和基本工作电路。图中 K 是光电阴极, D 是

打拿极, A 是阳极(亦称收集极)。每级之间的分压大约为百伏数量级,总电压为千伏数量级,这样从阴极到阳极形成逐级递增的加速电场。光阴极在光照下发射电子,这种光电子被极间电压加速,以产生足够高的速度轰击倍增极,倍增极在高速电子轰击下产生二次电子发射,并使电子数目大量增加,如此形成逐级递增的加速电子,最后到达阳极,形成阳极电流。光电倍增管的性能主要是由光阴极、倍增极和极间电压决定。由于倍增极之间的倍增因子基本上是常数,所以当光信号变化时,阴极发射的电子数目也随之变化,从而阳极电流也随着光信号的变化而变化。

二、光电倍增管的特性

1. 二次电子发射和倍增极

某些金属、金属氧化物及半导体材料,如铯化铯、银镁合金、氧化铍、磷化镓、砷化镓等,其表面受到高速电子轰击后,可重新发出更多的电子,这种现象叫二次电子发射。

设倍增极的二次电子发射系数为 σ , 则

$$\sigma = I_2/I_1 = en_2/en_1, \quad (1)$$

式中 $I_1 = en_1$, $I_2 = en_2$, 分别表示一次和二次发射电流。考虑到可能的电子损失,总的电流增益为

$$G = I_p/I_k = f(g\sigma)^n, \quad (2)$$

式中 I_p 为阳极电流, I_k 为阴极电流, f 为第一倍增极对阴极光电子的收集率, g 为各倍增极之间的传递效率, n 为倍增极的级数。电子光学的设计可使 $f \cdot g \approx 1$ (0.9 以上)。因此,可以认为 $f = g \approx 1$, 而 σ 值主要取决于倍增极的材料和极间电压。由此可见,倍增极的级数

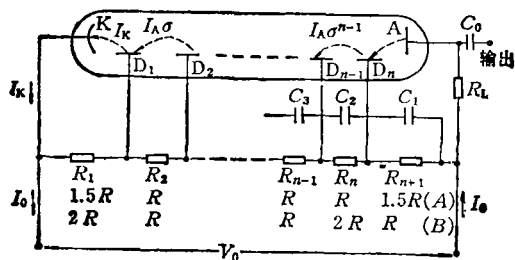


图 1 光电倍增管的结构原理和工作电路

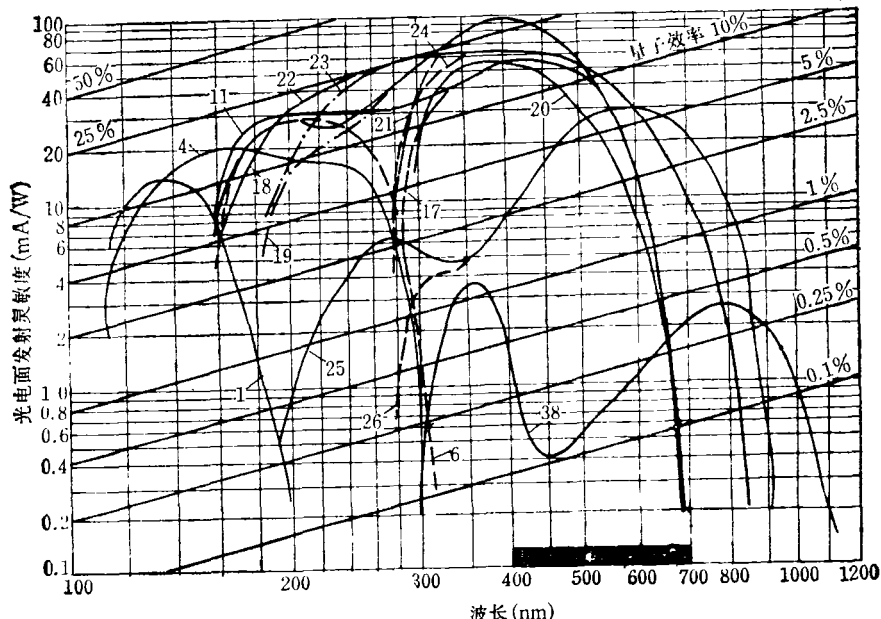
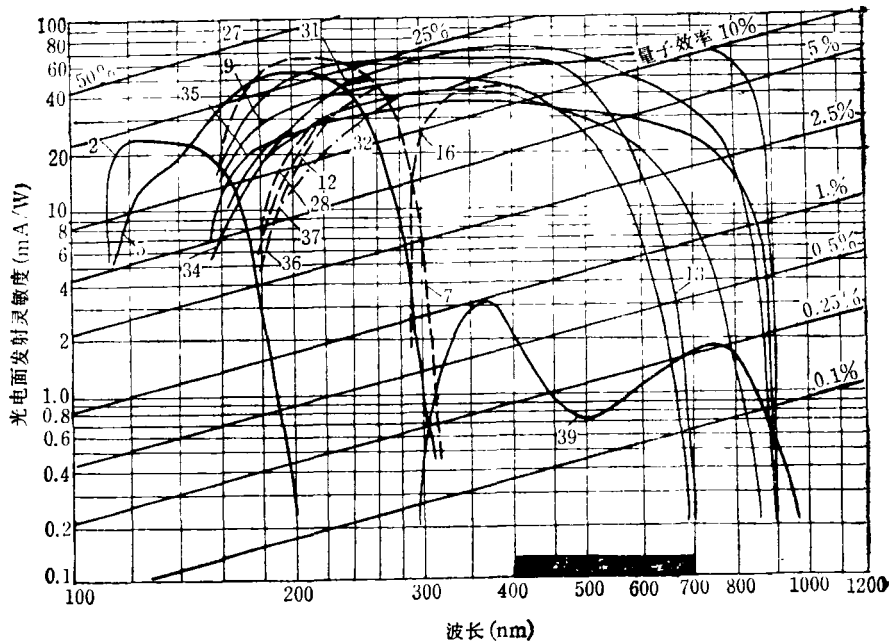


图2 光电面材料的分光灵敏度特性
(a) 侧面受光形; (b) 顶部受光形

越多,二次电子发射系数 σ 越大, G 值也就越高。但级数多,管子的尺寸变大,电子渡越时间加长,从而严重影响频率特性和噪音性能。为了获得较好的频率特性和噪音性能,并保持较高的 G 值(如 $10^3 \sim 10^7$),最好选择较大的 σ 值

和较少的级数。随着工作电压的增大, σ 值趋向饱和,甚至下降。通常 σ 为3—6, n 为9—14级。一些新型半导体倍增极材料, σ 可达20—25, n 大为减少,从而获得良好的频率特性。图2表示各种光电面材料的分光灵敏度特性。

2. 伏安特性

光电倍增管是个高内阻元件，可以等效成一个电流源，图 3 表示其等效电路。图 3 中 C

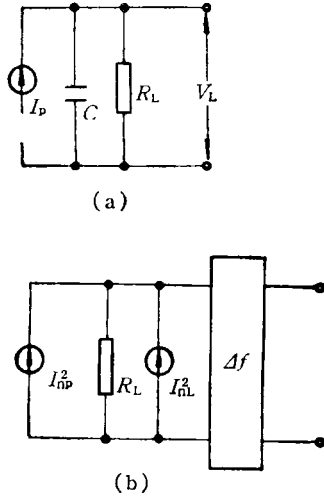


图 3 光电倍增管的等效电路

(a) 信号等效电路；(b) 噪音等效电路

为极间电容， R_L 为负载电阻。在线性工作范围内，光电倍增管的伏安特性可表示为

$$I_p = AV_0^\alpha \quad (3)$$

对一个性能未知的管子，可通过实验具体测定伏安特性。对 (3) 式取对数，得

$$\alpha = \frac{\lg I_p - \lg A}{\lg V_0} \quad (4)$$

当 $V_0 = 750V$ 时，测得 $I_p = 1\mu A$ ； $V_0 = 1000V$ 时，测得 $I_p = 10\mu A$ ，这时通过计算可得 $\alpha \approx 8$ ， $A \approx 10^{-23}$ 。伏安特性为

$$I_p = 10^{-23} V_0^8 \quad (5)$$

实际上，伏安特性表示的物理意义是阳极灵敏度（或电流内增益）随电源电压的变化情况。 A 和 α 值随管子而异。

3. 光信号特征——阳极电流随入射光功率的变化规律

在电源电压一定时，阴极电流 I_k 与入射光功率的关系是

$$I_k = S_d P_s \quad (6)$$

所以阳极电流

$$I_p = GS_d P_s \quad (7)$$

其中 G 为电流增益， S_d 为光阴极灵敏度 (A/W)， P_s 为信号光功率 (W)。由图 3 可知，输出电压为

$$V_L = GS_d P_s R_L \quad (8)$$

实际上 I_p 与 P_s 在一定范围内保持线性关系。图 4 表示当 P_s 大到一定程度时，由于光阴极的疲劳， I_p 反而下降，出现饱和现象，入射光通量小于 $10^{-4} lm$ 时， I_p 与 P_s 基本上呈线性关系。

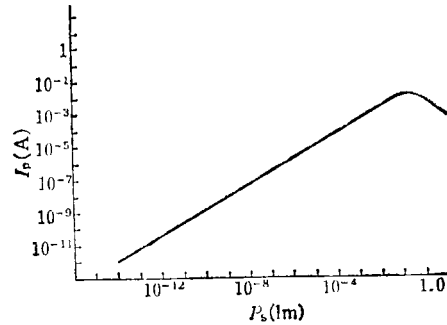


图 4 光电流与入射光通量关系

4. 暗电流和噪音

光电倍增管的暗电流，通常在 $10^{-7} \sim 10^{-11} A$ 数量级。暗电流的起伏，形成暗电流噪音。背景光也可能产生一定噪音，需要采取一些措施加以限制。管内绝缘材料、管壳和管座漏电引起的噪音较小。光阴极和第一倍增级发射的热电子是暗电流噪音的重要来源，其次是宇宙射线直接和间接打出的电子（切伦科夫效应）。因此，降低噪音的最根本办法是要冷却光电面，当

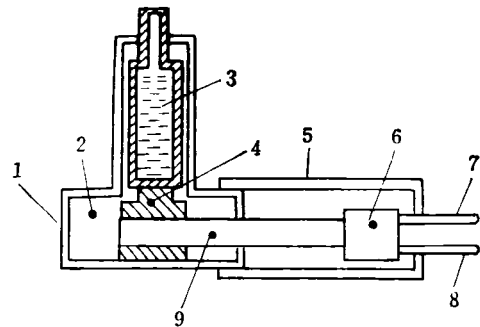


图 5 光电倍增管冷却装置

1. 玻璃窗；2. 真空；3. 液氮；4. 铜塞；5. 遮光套
6. 开关及分压电阻；7. 由高压电源来的电缆；8. 接放大器的电缆；9. 光电倍增管

冷却到 -40°C 时, 噪音电平降低 1—2 个数量级^[1]。低于 -40°C 时, 噪音与温度无关, 而宇宙射线等引起的噪音占主要地位。图 5 表示光电倍增管冷却装置简图。

5. 时间特性

光电子从阴极发射, 经过一系列倍增极到达阳极所需要的时间, 称为渡越时间 τ 。由于电子在倍增过程中的统计性和电子运动轨道的不同性以及它们的起始速度和方向的统计差别等原因, 将造成各个电子到达阳极的渡越时间有涨落 $\Delta\tau$ 。 τ 和 $\Delta\tau$ 取决于倍增极的数目、聚焦系统的结构和工作电压 (特别是前几级的电压)。一般情况下, 级数越少, 电压越高, 聚焦越好, τ 和 $\Delta\tau$ 越小。

渡越时间使光电倍增管输出脉冲相对于入射粒子有一段时间延迟, 而 $\Delta\tau$ 原则上限制了时间分辨本领, 它对时间测量的意义更大。一般管子, $\tau \approx 30-60\text{ns}$, $\Delta\tau \approx 10-30\text{ns}$ 。有的管子具有专门设计的聚焦系统, 它们的渡越时间涨落可降到 $1-2\text{ns}$ 以下^[2]

6. 稳定性和环境的影响

光电倍增管的时间稳定性与管子工作电压、阳极输出电流大小、工作时间、休息时间、倍增极材料以及制造工艺等因素有关。达到稳定状态的时间一般需要几十分钟到几小时 (要求

预先加电压半小时, 国产管子阳极电流在 8 小时内的变化小于 10%)。

外电磁场对光电倍增管的灵敏度、能量和时间分辨率的影响很大。外电磁场将改变管子中的电子运动轨道, 所以必须采取屏蔽措施。例如在管壳玻璃内层上涂有导电层, 与光阴极连上, 只要加正高压并将光阴极接地, 就有电屏蔽作用。把管子的外壳接地, 以屏蔽外磁场。

各种辐射效应会降低窗口材料的透过率和管子的灵敏度, 窗口玻璃产生的荧光并使暗电流增大, 必须采取屏蔽辐照的措施。

噪音随环境温度的升高而急剧增加。温度对灵敏度的影响与光阴极材料、大小、管子结构以及入射光波长有关。一般 $\text{S}_b\text{-C}_2$ 光阴极材料的工作温度是 $-30^{\circ}\text{C}-50^{\circ}\text{C}$, $\text{S}_b\text{-K-C}_2$ 为 $-20-60^{\circ}\text{C}$ 甚至到 100°C 。精确测量时必须尽可能保持环境温度不变。

三、工作电路

光电倍增管的工作特性与使用它的工作电路密切相关。最基本的工作电路如图 1 所示。图中总的工作电压 V_0 通过分压电阻网络 R_1-R_{n+1} 加到各相应的电极, C_0 是输出耦合电容, R_L 是负载电阻, C_1, C_2, C_3, \dots 是稳压电

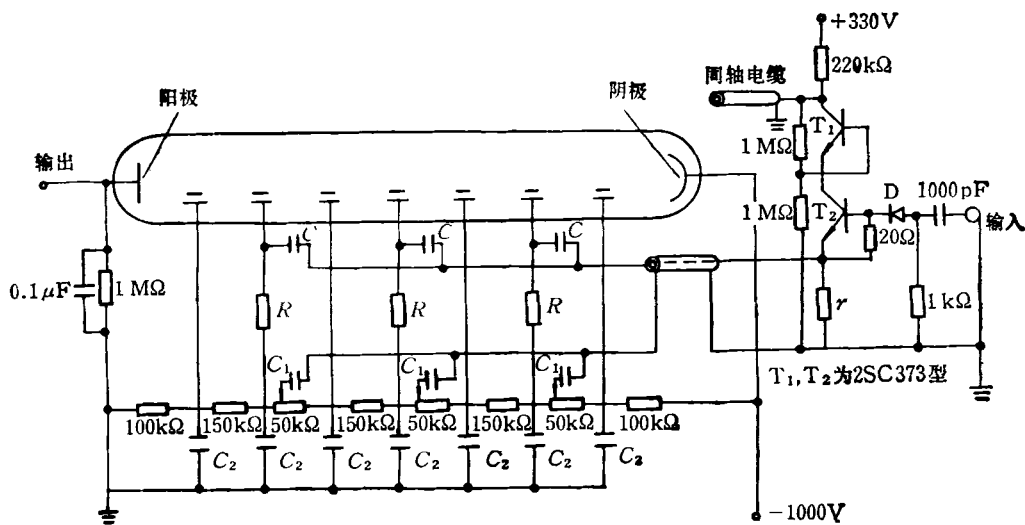


图 6

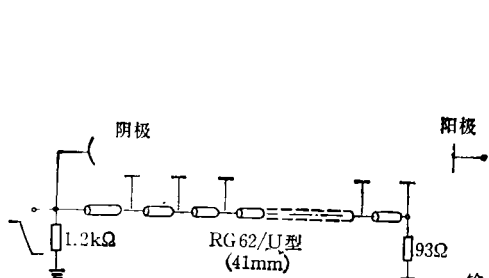


图 7

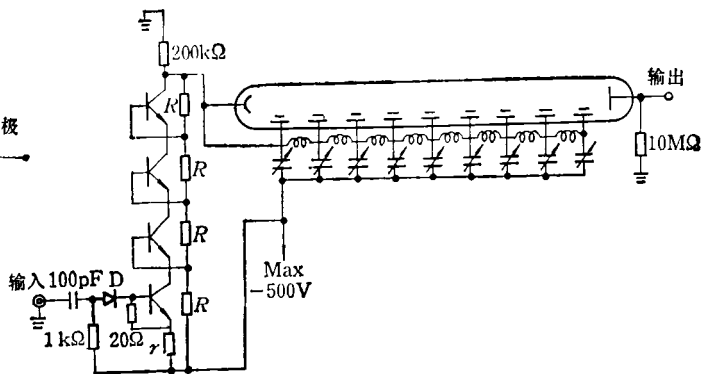


图 8

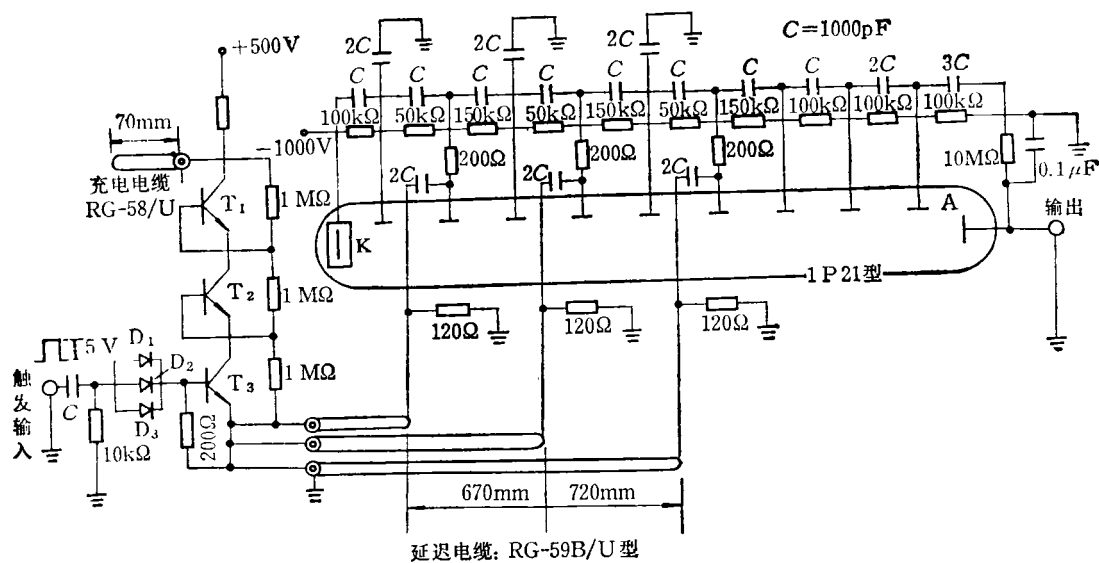


图 9

容,其值可以不同。

工作电路的设计,必须保证输出电流 I_p 与人射光通量之间呈线性关系变化。

1. 高压供电和分压网络

要保证工作的直线性,电源电压必须有较高的稳定性。由于工艺上不一致,即使同一型号管子,放大倍增也差别很大。因此,要求高压电源有较大的调节范围,通常为 600—1500V。在线性工作范围内,输出电流 I_p 与电源总电压 V_0 的关系为 $I_p = AV_0^\alpha$, 式中 A 为常数, α 是与倍增过程有关的常数,一般在 7—9 之间。因此,如果要求输出电流的直线性优于 1%, 则电源电压的稳定性应优于 0.1%。在要求较高的情况下,前级用小容量高压电源,后级(约后两

级)采用低压大容量电源。

分压网络的作用是按一定比例分割电源电压 V_0 , 提供各电极的工作电压 V_n 。静态下流过分压网络的电流 $I_R = V_0 / \Sigma R_n$, 各电极的工作电压 $V_n = I_R R_n$ 。通常 ΣR_n 为几个 $M\Omega$, R_n 为 100—500k Ω , 分压电阻分三段,中间各级电阻相等。倍增极电压由所需放大倍数决定,电压越高,二次发射系数越大,放大倍数也越大。

在微弱光的取样测光法中,为了充分发挥光电倍增管的性能,研究出各种类型的光电倍增管工作电路。图 6 表示倍增管电极并联同时控制法检出器周边电路^{[3],[4]}。这种控制法的时间分辨精度可达几十毫微秒。图 7 表示行走电

子同步形门法的电极连线示意图^[7]。这种电路可能的时间分辨为1—2ns。图8表示用集中参数延迟线路的行走电子同步形门法^[6]。图9表示电极并联延迟控制方式检出器周边电路^[7]，其分辨时间为1.8ns。图10表示取样用控制栅光电倍增管及其连线^[3,8]，它能得到1—2ns分辨时间。

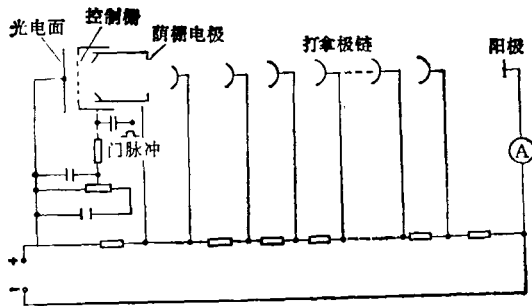


图 10

四、信号的观测方法

光电倍增管可能的测光范围约2000—8000 Å，其量子效率的峰值在4000—5000 Å之间。

输出信号的观测方法有三种：直流法、交流法及脉冲观测法(光子计数法)。

1. 直流法

输出电流为直流。与信噪比(S/N)决定于低通滤波器的带宽。光电倍增管放大器的噪音指数由下式给出：

$$(S/N)_{dc} = \frac{(em_s)^2}{2e^2b\mu(m_s + m_n)} \quad (9)$$

其中 m_s 为单位时间内射出的信号光电子数， m_n 为单位时间内射出的噪音“光”电子数 b 为低通滤波器带宽， μ 为噪音指数， e 为电子电荷。

由(9)式可知，当 $m_n = 0$ 时， $(S/N)_{dc} = m_s/2b\mu$ ， $(S/N)_{dc} \propto m_s$ 是这种方法的特点，读出直流分量就能测量出强度。

2. 交流法

当入射光弱到某一程度 ($\sim 10^{-14}W$ 以下)

时，读出交流分量更能提高信噪比。信噪比由下式给出：

$$(S/N)_{ac} = \frac{B}{2b} \cdot \frac{m_s^2}{(m_s + m_n)^2} \quad (10)$$

其中 B 为电气系统带宽。由(10)式可知，当 $m_n = 0$ 时， $(S/N)_{ac} = B/2b$ ， $(S/N)_{ac} \propto B/b$ 与 m_s 无关。读出输出的交流分量，便能测量出强度。

3. 脉冲法(光子计数法、信号光子计数法)

把输出作为每个光子所对应的脉冲，脉冲个数对应入射光的强度，与脉冲波形无关。信噪比由下式给出：

$$(S/N)_{spc} = (m_s^2/m_s + m_n) \cdot T \quad (11)$$

其中 T 为测量时间。由(11)式可知，把输出脉冲分离成单个脉冲的， $(S/N)_{spc} \propto T$ ，与电气系统带宽无关。

在上述三种方法中，如果采用同步检出法便可有效地消除电气系统的漂移和背景光的影响，能提高 S/N 。

在(9)—(11)式中，光电面射出的噪音电子数及放大器的噪音均换算为光电面的热噪音，其电子数包含在 m_n 中。

在光子计数法中，通过鉴频器把打拿极段噪音电子与光电面的光电子及热噪音电子脉冲，用数字锁相法分离，但是最根本的办法是要冷却光电面。

五、使用注意事项

1. 工作参数不能超过最大额定值。
2. 由于噪音随温度升高而急剧增加，所以在长时间工作时，一定要考虑降温措施，以控制暗电流的增长。
3. 工作环境为强辐射场时会产生各种辐射效应，使窗口材料的透过率下降，灵敏度降低，窗口玻璃产生荧光并使管子的暗电流计数显著增大，所以需要采取屏蔽辐射的措施，合理选择光电倍增管。

4. 入射光通量过大(大于 $10^{-1}lm$)时，光电流不再呈现直线性变化，而是有所下降。光阴

极受强光照后,发射电子的速度太高,阴极内部来不及重新补充电子,使灵敏度下降。轻度疲劳时,停止一段时间工作,可恢复正常。若光照太强,光阴极、倍增极以及阴极出现大电流,致使光阴极、倍增极发热,导致整个管子损坏,因此要求对背景严格遮光。

5. 防止机械振动。

本文附录中列出了表 1, 2, 3, 供实际使用时参考,其中表 1 给出国产光电倍增管参数,表 2 (a)—表 2 (g) 给出日本浜松公司光电倍增管特性,表 3 给出浜松公司产品与其他公司产品

的对比。[因附表篇幅过长,本期只刊出表 1 和表 2 (a), (b), (c), (d), 其他的表将在下两期的资料栏中刊出]。

参 考 文 献

- [1] 鹿兒島誠一, 大林康二, 田村正平, 生山島明, 固体物理, 6-7(1971), 420.
- [2] P. Görlich et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-13 (1966), 112.
- [3] S. Minami, K. Nishikawa, *Appl. Opt.*, 5(1966), 173.
- [4] W. Wieme, *J Phys (E)*, 6(1973), 203
- [5] R. G. Bennett, *Rev. Sci. Instr.*, 31(1960), 1275
- [6] T. U. Chida et al., *J. Appl. Phys.*, 10(1971), 1744
- [7] T. Araki, et al., *J Appl. Phys.*, 15(1976), 2421
- [8] T. E. Sisneros, *Appl. Opt.*, 6(1967), 417.

附 录

表 1 国产光电倍增管参数表

型 号	国外类似 型号	光窗材料	阴极材料	光谱范围 (nm)	峰值波长 (nm)	暗电流	主要用途
GDB-106	R300(日)	透紫玻璃	SbKCs	200-700	400±50	30A/lm 时 7nA	光度测量
GDB-110	R306(日)	石英	SbKCs	185-700	400±50	30A/lm 时 7nA	光度测量
GDB-126		透紫玻璃	SbKCs	200-700	400±20	10A/lm 时 30nA	传真机
GDB-142	931B(美)	硼硅玻璃	SbKCs	300-700	400±30	10A/lm 时 30nA	传真机
GDB-143		硼硅玻璃	SbNaKCs	300-850	400±20	1A/lm 时 20nA	光度测量
GDB-146	R37Z(日)	透紫玻璃	SbKCs	200-700	400±20	10A/lm 时 30nA	光度测量
GDB-147	9664B(英)	透紫玻璃	SbNaKCs	200-850	400±20	10A/lm 时 5nA	光度测量
GDB-151	R456(日)	石英	SbNaKCs	185-850	400±20	1A/lm 时 20nA	原子吸收谱仪
GDB-152	R166(日)	石英	TeCs	200-300	235±15	1000A/W 时 7nA	测汞仪
GDB-153		硼硅玻璃	GaAs	200-910	340±20	10A/lm 时 2nA	激光接收器
GDB-221		钠钙玻璃	SbKCs	300-700	420±20	10A/lm 时 30nA	传真机
GDB-235	Φ.1y-35(苏)	钠钙玻璃	SbCs	300-650	420±20	10A/lm 时 60nA	闪烁计数器
GDB-239	Φ.1y-28(苏)	钠钙玻璃	AgOCs	400-1200	800±100	1A/lm 时 1100nA	激光接收器
GDB-333	56TVP(荷)	硼硅玻璃	SbNaKCs	300-850	420±30	500A/lm 时 500nA	核物理研究
GDB-404	9698B(英)	硼硅玻璃	SbNaKCs	300-850	450±20	10A/lm 时 2nA	激光接收器
GDB-411		硼硅玻璃	AgOCs	400-1200	800±100	10A/lm 时 1000nA	激光接收器
GDB-413	9824(英)	硼硅玻璃	SbKCs	300-700	400±20	100A/Lm 时 10nA	分光光度计
GDB-415	9700B(英)	硼硅玻璃	SbNaK	300-650	420±20	10A/Lm 时 30nA	放射性探测

表 2(a) 日本浜松公司光电倍增管特性[专门用于紫外光 (Cs-I, Cs-Te 光电面)]

Cs-I 光电面型

型号	种类	分光灵敏度特性			互换性	外形尺寸		打拿极		光窗材料	最大允许值			阴极灵敏度			
		参考图 2	波长范围 (nm)	最高灵敏度波长 λ_p (nm)		外径 \times 全长 (mm)	材料	结构	阳极与阴极之间电压 (V_{dc})		阳极与最终段之间电压 (V_{dc})	平均阳极电流 (mA)	发射灵敏度 σ_k			量子效率 η_k (%)	
													122nm		峰值波长		
													最小 (mA/W)	标准 (mA/W)			标准 (mA/W)
R1081	顶部受光	1	115—200	140		$\phi 13 \times 82$	Cu-Be	线形	MgF ₂	2250	250	0.01		9.8	14	13	
R972	顶部受光	1	115—200	140		$\phi 19 \times 99$	Cu-Be	线形	MgF ₂	2250	250	0.01		9.8	14	13	
R1459	顶部受光	1	115—200	140		$\phi 28 \times 123$	Cu-Be	盒形	MgF ₂	2250	350	0.01		9.8	14	13	
R1259	侧面受光	2	115—195	120		$\phi 28 \times 90$	Sb-Cs	圆筒形	MgF ₂	1250	250	0.1		26	25	26	
R1199	侧面受光	3	153—195	165		$\phi 28 \times 90$	Sb-Cs	圆筒形	石英	1250	250	0.1		12	12	9	

Cs-Te 光电面型

型号	种类	分光灵敏度特性			互换性	外形尺寸		打拿极		光窗材料	最大允许值			阴极灵敏度			
		参考图 2	波长范围 (nm)	最高灵敏度波长 λ_p (nm)		外径 \times 全长 (mm)	材料	结构	阳极与阴极之间电压 V_{dc}		阳极与最终段之间电压 V_{dc}	平均阳极电流 (mA)	发射灵敏度 σ_k			量子效率 η_k (%)	
													254nm		峰值波长		
													最小 (mA/W)	标准 (mA/W)			标准 (mA/W)
R1080	顶部受光	4	115—320	170		$\phi 13 \times 82$	Sb-Cs	线形	MgF ₂	1250	250	0.01		14	20	15	
R976	顶部受光	4	115—320	170		$\phi 19 \times 99$	Sb-Cs	线形	MgF ₂		250	0.01		14	20	15	
R1460	顶部受光	4	115—320	170		$\phi 28 \times 123$	Sb-Cs	盒形	MgF ₂		250	0.01		14	20	15	
R1220	侧面受光	5	115—320	200		$\phi 28 \times 90$	Sb-Cs	圆筒形	MgF ₂		250	0.1		31	55	34	
R759	顶部受光	6	160—320	210		$\phi 13 \times 82$	Sb-Cs	线形	石英		250	0.01		20	28	17	
R821	顶部受光	6	160—320	210	RCA C3 1005*	$\phi 19 \times 99$	Sb-Cs	盒形	石英		250	0.01		20	28	17	
R431S	顶部受光	6	160—320	210		$\phi 28 \times 103$	Sb-Cs	圆筒形	石英		250	0.01		20	28	17	
R428	侧面受光	7	160—320	200		$\phi 13 \times 60$	Sb-Cs	圆筒形	石英		150	0.01		60	65	40	
R166	侧面受光	7	160—320	200		$\phi 28 \times 90$	Sb-Cs	圆筒形	石英		250	0.01		60	65	40	
R166UH	侧面受光	7	160—320	200		$\phi 28 \times 90$	Sb-Cs	圆筒形	石英		250	0.01		60	65	40	
R1356	侧面受光	8	185—300	220		$\phi 28 \times 90$	Cu-Be	圆筒形	透过 UV		250	0.01		14	20	11	

* 特性、外形尺寸类似,管座连接不同。

续表 2(a)
Gs-I 光电面型

标准电压 E_{bb} (V _{dc})	阳极灵敏度				暗电流			电极间静电电容		响应速度		主要用途
	发射灵敏度 σ_p			电流放大率 G	15 小时后 $I_{db}(A)$ 标准 (nA)	5 秒后 $I_{db}(B)$		阳极与最终段 间 C_{p-L} (pF)	阳极与其他全部电极 间 C_{p-A} (pF)	上升时间 $t_r(ns)$	行走时间 $t_t(ns)$	
	122nm		峰值波长			标准 (nA)	最大 (nA)					
	最小 (A/W)	标准 (A/W)	标准 (A/W)									
2000		9.8×10^2	1.4×10^3	1.0×10^3		0.03	0.05	1	2			专用于真空紫外区域
2000		9.8×10^2	1.4×10^3	1.0×10^3		0.02	0.05	1.5	3.5			专用于真空紫外区域
2000		9.8×10^2	1.4×10^3	1.0×10^3		0.03	0.05	3	3.5			专用于真空紫外区域
1000	1.0×10^3	3.0×10^3	3.0×10^4	1.2×10^4		2	10	4	6	2.2	22	专用于真空紫外区域
1000	4.0×10^3	7.2×10^4	7.5×10^4	6.3×10^4		2	10	4	6	2.2	22	专用于真空紫外区域

Gs-Te 光电面型

标准电压 E_{bb} (V _{dc})	阳极灵敏度				暗电流			电极间静电电容		响应速度		主要用途
	发射灵敏 σ_p			电流放大率 G	15 小时后 $I_{db}(A)$ 标准 (nA)	5 秒后 $I_{db}(B)$		阳极与最终段 间 C_{p-L} (pF)	阳极与其他全部电极 间 C_{p-A} (pF)	上升时间 $t_r(ns)$	行走时间 $t_t(ns)$	
	254nm		峰值波长			标准 (nA)	最大 (nA)					
	最小 (A/W)	标准 (A/W)	标准 (A/W)									
1000		1.4×10^4	2.0×10^4	1.0×10^5		0.5	2	1	2			专用于紫外区域
1000		1.4×10^4	2.0×10^4	1.0×10^5		0.3	0.5	1.5	3.5			专用于紫外区域
1000		1.4×10^4	2.0×10^4	1.0×10^5		0.3	0.5	3	3.5			专用于紫外区域
1000		5.7×10^4	1.0×10^5	1.8×10^5		5	50	4	6	2.2	22	专用于紫外区域
1000	1.0×10^3	4.0×10^3	5.6×10^3	2.0×10^3		0.5	2	1	2			专用于紫外区域
1000	1.0×10^3	4.0×10^3	5.6×10^3	2.0×10^3		0.1	0.5	1.5	3.5			专用于紫外区域
1000	1.0×10^3	4.0×10^3	5.6×10^3	2.0×10^3	0.05	0.1	0.5	3	3.5			专用于紫外区域,物理测光
1000	1.0×10^3	2.5×10^4	2.8×10^4	4.2×10^3		1	10	1.7	2	1.4	15	
1000	1.0×10^3	1.0×10^4	1.1×10^4	1.7×10^3	0.05	0.1	0.5	4	6	2.2	22	专用于紫外区域,物理测光
1000	1.0×10^3	3.0×10^3	3.3×10^3	5.0×10^3		5	50	4	6	2.2	22	R166 的高灵敏度品
1500		5.5×10^2	8.0×10^2	4.0×10^4		0.1	1	4	6	1.9		专用于紫外区域、可见光区域锐截止

表 2(b) 日本浜松公司光电倍增管特性
 [用于紫外—可见光区域 I(Sb-Cs 光电面及反射型双碱金属光电面)]

型 号	种 类	分光灵敏度特性			互 换 性	外形 尺寸		打 拿 极		光 窗 材 料	最大允许值			阴极灵敏度		
		参 考 图 2	波 长 范 围 (nm)	最 高 灵 敏 度 波 长 λ_p (nm)		外 径 \times 全 长 (mm)	材 料	结 构	阳 极 与 阴 极 间 电 压 V_{dc}		阳 极 与 最 终 段 间 电 压 V_{dc}	平 均 阳 极 电 流 (mA)	流明灵敏度 S_k		发 射 灵 敏 度 σ_k (mA/W)	量子效率 η_k (%)
													最 小 $(\frac{\mu A}{lm})$	标 准 $(\frac{\mu A}{lm})$		
R306	侧面 受光	9	160— 650	340	$\phi 13 \times$ 63	Sb-Cs	圆筒 蔽形	石英	1000	150	0.01	20	30	36	20	
R106	侧面 受光	9	160— 650	340	FMI* 978 4B $\phi 28 \times$ 90	Sb-Cs	圆筒 蔽形	石英	1250	250	0.1	20	40	48	26	
R106UH	侧面 受光	9	160— 650	340	$\phi 28 \times$ 90	Sb-Cs	圆筒 蔽形	石英	1000	250	0.1	30	50	60	33	
R919	侧面 受光	10	160— 700	400	RCA** 4837 $\phi 28 \times$ 90	双碱	圆筒 蔽形	石英	1250	250	0.1	60	80	83	20	
R208	顶部 受光	11	160— 650	440	Philips* XP1004 $\phi 51 \times$ 143	Sb-Cs	盒形	石英	1500	250	0.1	40	70	56	20	
R1414	侧面 受光	12	185— 650	340	$\phi 13 \times$ 48		圆筒 蔽形	透过 UV	1000	150	0.01	20	30	36	20	
R306	侧面 受光	12	185— 650	340	RCA*** 8571 $\phi 13 \times$ 63		圆筒 蔽形	透过 UV	1000	150	0.01	20	30	36	20	
R1413	侧面 受光	12	185— 650	340	$\phi 13 \times$ 48		圆筒 蔽形	透过 UV	1000	150	0.01	20	30	36	20	
R444	侧面 受光	12	185— 650	340	$\phi 13 \times$ 63		圆筒 蔽形	透过 UV	1000	150	0.01	20	30	36	20	
R212	侧面 受光	12	185— 650	340	RCA* 1P28/V1 $\phi 28 \times$ 90		圆筒 蔽形	透过 UV	1250	250	0.1	20	40	48	26	
R212UH	侧面 受光	12	185— 650	340	$\phi 28 \times$ 90		圆筒 蔽形	透过 UV	1000	250	0.1	30	50	60	33	
1P28	侧面 受光	12	185— 650	340	RCA* 1P28 $\phi 28 \times$ 90		圆筒 蔽形	透过 UV	1250	250	0.1	20	40	48	26	
1P28A	侧面 受光	13	185— 700	450	RCA* 1P28A $\phi 28 \times$ 90		圆筒 蔽形	透过 UV	1250	250	0.1	25	70	56	18	
R282	侧面 受光	13	185— 700	450	RCA*1P 28A/V1 $\phi 28 \times$ 90		圆筒 蔽形	透过 UV	1250	250	0.1	25	70	56	18	
R372	侧面 受光	14	185— 730	340	FMI** 978 1R $\phi 28 \times$ 90	双碱	圆筒 蔽形	透过 UV	1250	250	0.1	20	60	61	23	
R905	侧面 受光	15	185— 750	350	$\phi 28 \times$ 90	双碱	圆筒 蔽形	透过 UV	1050	250	0.1	50	80	79	30	
R869	侧面 受光	16	300— 650	400	RCA*** 8571 $\phi 13 \times$ 48	Sb-Cs	圆筒 蔽形	硼硅酸	1000	150	0.01	20	30	36	10	
R868	侧面 受光	16	300— 650	400	$\phi 13 \times$ 48	Sb-Cs	圆筒 蔽形	硼硅酸	1000	150	0.01	20	30	36	10	
1P21	侧面 受光	16	300— 650	400	RCA* 1P21 $\phi 28 \times$ 90	Sb-Cs	圆筒 蔽形	硼硅酸	1250	250	0.1	20	40	48	13	
R105	侧面 受光	16	300— 650	400	$\phi 28 \times$ 90	Sb-Cs	圆筒 蔽形	硼硅酸	1250	250	0.1	25	40	48	13	
R105UH	侧面 受光	16	300— 650	400	$\phi 28 \times$ 90	Sb-Cs	圆筒 蔽形	硼硅酸	1000	250	0.1	30	50	60	16	
931A	侧面 受光	16	300— 650	400	RCA* 931A $\phi 28 \times$ 90	Sb-Cs	圆筒 蔽形	硼硅酸	1250	250	0.1	20	40	48	13	
R906	侧面 受光	16	300— 650	400	RCA* 4552 $\phi 28 \times$ 70	Sb-Cs	圆筒 蔽形	钠钙 玻璃	1250	250	0.1	30	60	72	19	
6199	顶部 受光	17	300— 650	440	RCA* 6199 $\phi 38 \times$ 110	Sb-Cs	圆筒 蔽形	硼硅酸	1250	250	0.1	40	60	47	14	
7696	顶部 受光	17	300— 650	440	RCA* 7696 $\phi 51 \times$ 143	Sb-Cs	盒形	硼硅酸	1500	250	0.1	40	80	64	21	

* 外形尺寸、管座连接和特性均相同。 ** 外形尺寸和管座连接相同，特性类似。 *** 特性和外形尺寸类似，管座连接不同。

续表 2(b)

标准电压 V (V _{dc})	阳极灵敏度					暗电流			电极间静电电容		响应速度		主要用途
	流明灵敏度 S _p		发射灵敏度 σ _p (A/W)	ENI* ($\frac{W}{Hz^{1/2}}$)	电流放大率 G	15 小 时后 I _{db} (nA)	5 秒后 I _{db} (B)		阳极 与最终 段间 C _{p-L} (pF)	阳极 与其他 全部电 极间 C _{p-A} (pF)	上升 时间 t _r (ns)	行走 时间 t _t (ns)	
	最小 ($\frac{A}{lm}$)	标准 ($\frac{A}{lm}$)					标准	最大					
1000	30	60	7.2 × 10 ⁴	3.2 × 10 ⁻¹⁶	2.0 × 10 ⁶	0.8	1	7	1.7	2	1.4	15	R300 的石英玻璃窗
1000	50	200	2.4 × 10 ³	1.2 × 10 ⁻¹⁶	5.0 × 10 ⁶	1	2	10	4	6	2.2	22	1P21 的石英玻璃窗,紫外-可见光区域,物理测光
1000	1000	1500	1.8 × 10 ⁶	1.7 × 10 ⁻¹⁶	3.0 × 10 ⁷	10	20	100	4	6	2.2	22	R106 的高灵敏度品
1000	200	600	6.2 × 10 ³	2.8 × 10 ⁻¹⁶	7.5 × 10 ⁶	1	2	10	4	6	2.2	22	R106 的高阴极灵敏度形
1250	20	50	4.0 × 10 ⁴	3.2 × 10 ⁻¹⁶	7.1 × 10 ⁷	0.7	1	20	6	7	1.4	70	7096 的石英玻璃窗,物理测光
1000	30	150	1.8 × 10 ³		5.0 × 10 ⁶		1	7	1.7	2	1.4	15	超小型,物理测光
1000	30	150	1.8 × 10 ³	2.0 × 10 ⁻¹⁶	5.0 × 10 ⁶	0.6	1	7	2	2	1.4	15	超小型,紫外-可见光区域,物理测光
1000	30	100	1.2 × 10 ³		3.3 × 10 ⁶		75	200	2	2	1.4	15	超小型,一般应用
1000	30	100	1.2 × 10 ³		3.3 × 10 ⁶		75	200	2	2	1.4	15	小型,紫外-可见光区域,一般应用
1000	50	200	2.4 × 10 ³	1.6 × 10 ⁻¹⁶	5.0 × 10 ⁶	1	2	10	4	6	2.2	22	1P21 的透紫玻璃窗,紫外-可见光区,物理测光
1000	1000	1500	1.8 × 10 ⁶	1.7 × 10 ⁻¹⁶	3.0 × 10 ⁷	10	20	100	4	6	2.2	22	R121 的高灵敏度品
1000	20	100	1.2 × 10 ³	9.1 × 10 ⁻¹⁶	2.5 × 10 ⁶	15	30	100	4	6	2.2	22	紫外-可见光区域,物理测光
1000	50	300	2.4 × 10 ³		4.3 × 10 ⁶		2(40 A/lm)	10(40 A/lm)	4	6	2.2	22	1P28 的红色灵敏度增强品
1000	50	300	2.4 × 10 ³		4.3 × 10 ⁶		2(40 A/lm)	10(40 A/lm)	4	6	2.2	22	克服 1P28A 滞后现象的产品
1000	50	200	2.0 × 10 ³	1.6 × 10 ⁻¹⁶	3.3 × 10 ⁶	1	10	50	4	6	2.5	25	红色灵敏度增强品
750	300	500	5.0 × 10 ³		6.3 × 10 ⁶		60	300	4	6	1.4	15	超高灵敏度品
1000	30	150	1.8 × 10 ³		5.0 × 10 ⁶		1	7	1.7	2	1.4	15	超小型,物理测光
1000	30	100	1.2 × 10 ³		3.3 × 10 ⁶		75	200	1.7	2	2.2	22	超小型,一般应用
1000	50	150	1.8 × 10 ³	1.9 × 10 ⁻¹⁶	3.8 × 10 ⁶	1	2	10	1.7	6	2.2	22	紫外-可见光区域,物理测光
1000	50	400	4.8 × 10 ³	2.6 × 10 ⁻¹⁶	1.0 × 10 ⁷	5	10	50	4	6	2.2	22	可见光区域,物理测光
1000	1000	1500	1.8 × 10 ⁶	1.7 × 10 ⁻¹⁶	3.0 × 10 ⁷	10	20	100	4	6	2.2	22	931A 的高灵敏度品
1000	20	100	1.2 × 10 ³	1.1 × 10 ⁻¹⁵	2.5 × 10 ⁶	25	50	500	4	6	2.2	22	可见光,一般应用
1000	50	200	2.4 × 10 ³		3.3 × 10 ⁶		50	500	4	5	2.2	22	蓝色通道,飞点扫描
1000	20	100	8.0 × 10 ³	2.1 × 10 ⁻¹⁶	1.7 × 10 ⁶	0.5	3	30	3	4	4.1		可见光区,物理测光,一般应用
1250	20	50	4.0 × 10 ⁴	3.0 × 10 ⁻¹⁶	6.3 × 10 ⁷	0.7	1	20	6	7	14	70	可见光区,飞点扫描

* ENI(Equivalent Noise Input) 是当测量系统带宽为 1Hz 时,使 S/N = 1.0 的入射光量。

$$ENI = \frac{\sqrt{2q \cdot I_{db} \cdot G \cdot \Delta f}}{\sigma_p}$$

其中 q 为电子电荷 (1.6 × 10⁻¹⁹C) Δf 为系统带宽(这里是 1Hz), I_{db} 为阳极暗电流

(A 标准), σ_p 为阳极发射灵敏度(在最高灵敏度波长上的值),G 为电流放大率。

表 2(c) 日本浜松公司光电倍增管特性

[用于紫外-可见光区域 2(透过型双碱金属加紫外用玻璃)]

型号	种类	分光灵敏度特性			互换性	外形尺寸		打拿极		最大允许值			阴极灵敏度			
		参考图 2	波长范围 (nm)	最高灵敏度波长 λ_p (nm)		外径×全长 (mm)	材料	结构	光窗材料	阳极至阴极电压 V_{dc}	阳极至最终极间电压 V_{dc}	平均阳极电流 (mA)	流明灵敏度 S_k	量子效率 7% (7%)	由 C_{11-28} 的蓝色灵敏度 S_{kb}	
R760	顶部受光	18	160—650	420		$\phi 13 \times 82$	双碱	线形	石英	1250	250	0.1	40	60	15	8.0
R762	顶部受光	18	160—650	420	Philips 1118**	$\phi 19 \times 99$	双碱	线形	石英	1250	250	0.1	40	70	18	8.5
R298	顶部受光	18	160—650	420	EMT 98240B*	$\phi 28 \times 123$	双碱	盒形	石英	1500	250	0.01	40	95	28	11.5°
R189	顶部受光	18	160—650	420		$\phi 38 \times 112$	双碱	圆遮蔽形	石英	1250	250	0.1	70	95	28	11.5°
R331	顶部受光	18	160—650	420	RCA 4501/4*	$\phi 51 \times 138$	双碱	线形	石英	2500	500	0.2	80	90	28	11.5°
R654	顶部受光	19	185—650	420	RCA 7767*	$\phi 19 \times 99$	双碱	线形	透过 UV	1800	350	0.1	40	70	18	8.5
R750	顶部受光	19	185—650	420	Philips 85XP1110**	$\phi 19 \times 99$	双碱	线形	透过 UV	1250	250	0.1	40	70	18	8.5
R269	顶部受光	19	185—650	420		$\phi 28 \times 123$	双碱	盒形	透过 UV	1500	250	0.01	40	95	28	11.5
R1398	顶部受光	19	185—650	420	Philips PM1980**	$\phi 28 \times 109$	双碱	线形	透过 UV	1900	300	0.2	70	90	25	11.5

用于可见光区域(高温的重金属光电面)

型号	种类	分光灵敏度特性			互换性	外形尺寸		打拿极		最大允许值			阴极灵敏度					
		参考图 2	波长范围 (nm)	最高灵敏度波长 λ_p (nm)		外径×全长 (mm)	材料	结构	光窗材料	阳极至阴极间电压 V_{dc}	阳极至最终极间电压 V_{dc}	平均阳极电流 (mA)	周围温度 (°C)	流明灵敏度 S_k	由 C_{11-28} 的蓝色灵敏度 S_{kb}			
R1288	顶部受光	20	300—650	375	RCA*C31016G	$\phi 25 \times 54$	Cu-Be	圆遮蔽形	硼硅玻璃	1800	250	0.02	30	50	25	4	7	3.3
R1282	顶部受光	20	300—650	375	RCA*C31059A	$\phi 28 \times 108$	Cu-Be	盒形	硼硅玻璃	2500	500	0.1	30	45	25	4	6	3.3

* 外形尺寸、管座连接和特性均相同。 ** 外形尺寸和管座连接相同,特性类似。

续表 2(c)

[用于紫外—可见光区域 2(透过型双碱金属加紫外用玻璃)]

标准电压 E_{bb} V_{dc}	阳极灵敏度				暗电流 I_{db}		电极间静电电容		响应速度		主要用途	
	流明灵敏度 S_p		能分辨 率 PHR (%)	电流放大率 G	15 小时 后的 $I_{db}(A)$ 标准 (nA)	5 秒后 $I_{db}(B)$		电极间静电电容		响应速度		
	最小 (A/lm)	标准 (A/lm)				由 C_{p-L} 至 其他 电极间 S_{pL} (A/lm)	标准 (nA)	最大 (nA)	阳极至最 终段间 C_{p-L} (pF)	阳极至其 他全部电 极间 C_{p-A} (pF)		上升时间 t_r (ns)
1000	30	120	16	2.0×10^4	10.6	5	15	1	2	2.3	24	R647 的石英玻璃窗
1000	30	80	9.4	1.1×10^6	10.0	5	15	1.5	3.5	2.5		R750 的石英玻璃窗
1000	50	200	24	2.1×10^6		0.2	20	3	3.5	12	60	R268 的石英玻璃窗紫外至可见光区域, 物理测光
1000	10	35	4.3	3.7×10^5	7.8	1	3	3	4	4.1		R980 的石英玻璃窗
1500	15	100	11	1.1×10^5				2	2.5	3.8		用于液体内的闪烁计数器
1500	10	60	7.3	8.6×10^5	10.0	20	200	1.5	3.5	1.9		用于闪烁计数器
1000	10	70	8.5	1.0×10^6	10.0	5	30	1.5	3.5	2.5		小型, 紫外至可见光区域, 一般应用
1000	50	200	24	2.1×10^6		0.2	20	3	3.5	12	60	R268 的 UV 玻璃窗, 紫外至可见光区域, 物理测光
1500	100	500	60	5.6×10^6		30	200					用于正电子 CT

用于可见光区域(高温的重金属光电面)

标准电压 E_{bb} V_{dc}	阳极灵敏度			暗电流 I_{db} (5 秒以后)		电极间静电电容		响应速度		主要用途
	流明灵敏度 S_p			25°C 标准		阳极至最 终段间 C_{p-L} (pF)		阳极至其他 全部电极间 C_{p-A} (pF)		
	25°C 最小 A/lm	25°C 标准 A/lm	175°C 标准 A/lm	(nA)	25°C 最大 (nA)	175°C 标准 (nA)	上升时间 t_r (ns)	行走时间 t_f (ns)		
1500	4	10	5	0.1	10	400	1.2	1.8	14	用于高温
2000	50	300	160	5	50	400	3	3.5	60	用于高温

* PHR 是在射线源中 ^{137}Cs 闪烁计数器采用 NaI(Tl) 时, 由输出脉冲高度分布曲线的 $FWHM$ (半高宽度) 求得的分辨率。

表 2(d) 日本英松公司光电倍增管特性
 [用于可见光区域 2(透过型双碱金属,用于闪烁计数器及其他)]

型号	种类	分光灵敏度特性			互换性	外形尺寸	打拿极		最大允许值	阳极灵敏度						
		参考图 2	波长范围 (nm)	最高灵敏度波长 λ_p (nm)			材料	结构		光窗材料	阳极至阴极间电压 V_{ac}	阳极至最终段间电压 V_{ac}	平均阳极电流 (mA)	流明灵敏度 S_k	量子效率 %	由 C_{1000} 的蓝色灵敏度 S_{kb}
R647-01	顶部受光	21	300—650	420		$\phi 13 \times 82$	双碱	线形	1250	250	0.1	60	90	25	7.5	11.5
R647	顶部受光	21	300—650	420		$\phi 13 \times 82$	双碱	线形	1250	250	0.1	40	80	20	5.0	10.5
R1213	顶部受光	21	300—650	420	Philips XP1110*	$\phi 19 \times 99$	双碱	线形	1800	350	0.1	70	90	25	9.0	11.0
R1166	顶部受光	21	300—650	420	Philips XP1110**	$\phi 19 \times 99$	双碱	线形	1250	250	0.1	70	90	25	9.0	11.0
R1450	顶部受光	21	300—650	420	Philips PM1910*	$\phi 19 \times 99$	双碱	线形	1800	350	0.1	70	90	25	9.0	11.0
R268	顶部受光	21	300—650	420	EMI 9824B*	$\phi 28 \times 123$	双碱	盒形	1500	250	0.01	40	95	28		11.5
R1355	顶部受光	21	300—650	420	Philips PM1980*	$\phi 28 \times 109$	双碱	线形	1900	300	0.2	70	90	25		11.5
R434	顶部受光	21	300—650	420	EMI 9734B*	$\phi 28 \times 98$	双碱	盒形	1250	250	0.1	50	90	26	6.0	11.0
R546	顶部受光	21	300—650	420	Teletunken XP1080**	$\phi 28 \times 71$	双碱	盒形	1000	250	0.005	40	80	20		10.5
R980	顶部受光	21	300—650	420	RCA4517*	$\phi 38 \times 112$	双碱	圆筒形	1250	250	0.1	70	95	28	9.0	11.5

R580	顶部受光	21	300—650	420	Philips XP1010*	φ38×122	双碱	线形	硼硅酸	1600	350	0.1	70	90	28	11.0
R329	顶部受光	21	300—650	420	RCA 8575***	φ51×138	双碱	线形	硼硅酸	2700	500	0.2	60	80	25	10.5
R329-01	顶部受光	21	300—650	420	RCA 8575**	φ52×140	双碱	线形	硼硅酸	2700	500	0.2		90	28	11.5
R329-02	顶部受光	21	300—650	420	RCA 8575*	φ52×144	双碱	线形	硼硅酸	2700	500	0.2		90	28	11.5
R331-05	顶部受光	21	300—650	420	RCA 4501/P3*	φ52×138	双碱	线形	硼硅酸	2500	500	0.2	60	80	25	10.0
R878	顶部受光	21	300—650	420	RCA 4523**	φ51×143	双碱	盒形	硼硅酸	1500	250	0.1	60	95	28	11.5
R1507	顶部受光	21	300—650	420	RCA4523** Philips Xp2000**	φ51×143	双碱	条状形	硼硅酸	2000	3000	0.1	60	90	28	11.0
R1306	顶部受光	21	300—650	420		φ51×133	双碱	盒形	硼硅酸	1300	250	0.1	80	95	28	11.5
R1332	顶部受光	21	300—650	420	RCA8850*	φ52×143	双碱 D _{Y1} ,GaAsP	线形	硼硅酸	2700	500	0.1		70	19	
R1246	顶部受光	21	300—650	420	Philips 56DVP**	φ53×187	双碱	线形	硼硅酸	3000	500	0.1		80	22	7.0
R594	顶部受光	21	300—650	420	RCA4524**	φ76×156	双碱	盒形	硼硅酸	2000	300	0.1	70	90	28	11.0
R1511	顶部受光	21	300—560	420	RCA4524** Philips XP2030**	φ76×156	双碱	条状形	硼硅酸	2000	300	0.1	70	90	28	11.0
R1307	顶部受光	21	300—650	420		φ76×146	双碱	盒形	硼硅酸	1500	300	0.1	80	95	28	11.5
R877	顶部受光	21	300—650	420	RCA4525**	φ133×190	双碱	盒形	硼硅酸	1500	300	0.1	40	70	19	5.0
R1512	顶部受光	21	300—650	420	RCA4525**	φ133×190	双碱	条状形	硼硅酸	2000	300	0.1	70	90	28	11.0
R1250	顶部受光	21	300—650	420	Philips 58AVP**	φ133×276	双碱	线形	硼硅酸	3000	500	0.2		70	19	7.0

* 外形尺寸、管座连接、特性均相同。 ** 外形尺寸、管座连接相同,特性类似。 *** 特性和外形尺寸类似,管座连接不同。

表 2(d)

标准 电压 E_{bb} V_{d1}	阳极灵敏度				暗电流 I_{db}		电极间静 电电容		响应速度		主 要 用 途		
	流明灵敏度 S_p		由 C_{33-18} 的蓝色灵 敏度 S_{pb} $(\frac{A}{lm})$	电 流 放 大 率 G	能 量 分 解 能 力 P H R %	15 小时 后 $I_{db}(A)$ 标准 (nA)	5 秒后 $I_{db}(B)$		阳极至其 他全部电 极间 C_{p-A} (pF)	上升 时间 $t_r(ns)$		行走 时间 $t_t(ns)$	
	最小 $(\frac{A}{lm})$	标准 $(\frac{A}{lm})$					标准 (nA)	最大 (nA)					
						阳极至最 终段间 C_{p-L} (pF)							
1000	30	80	10.5	8.9×10^4	10.5		1	5	1	2	2.3	24	闪烁计数器
1000	30	80	9.4	1.0×10^6			5	15	1	2	2.3	24	超小型,可见光区域,一般性应用
1500	10	60	7.3	6.7×10^5	8.2		20	200	1.5	3.5	1.9		闪烁计数器
1000	10	70	8.6	7.8×10^5	8.2		5	30	1.5	3.5	2.5		小型,可见光区域,一般性应用
1500	50	200	25	2.2×10^4			10	100					用于正电子 CT
1000	50	200	24	2.1×10^4	7.8	0.2	2	20	3	3.5	12	60	可见光区域,物理测光,一般性应用
1500	100	500	60	5.6×10^5			30	200					用于正电子 CT
1000	10	60	74	6.7×10^5	7.8		2	15	3	3.6	12	76	用于闪烁计数器
750	0.025	0.08	0.011	1.0×10^5		0.05	0.1	1	3	3.5	8.7		4 段电极,可见光区域,一般性应用
1000	10	35	4.3	3.7×10^5	7.8		1	3	3	4	4.1		闪烁计数器

1250	10	35	4.3	3.9×10^9	7.7	1	3	20	3	2.7	闪烁计数器
1500	15	50	6.6	6.3×10^9	7.3	1(3小时后)	2	2	2.5	2.6	闪烁计数器
1500	15	50	6.4	5.6×10^9	7.3	0.6	2	2	2.5	2.6	闪烁计数器
1500	15	50	6.4	5.6×10^9	7.3	0.6	2	2	2.5	2.6	闪烁计数器
1500	30	120	16	1.5×10^9			2		2.5	3.8	液体闪烁计数器
1250	20	50	6.2	5.3×10^9	6.9	10	50	70	7	14	闪烁计数器
1250	20	30	3.7	3.3×10^9	7.5	10	50	60	4.7	14	闪烁计数器
1000	10	50	6	5.2×10^9	6.7	5	20		6	12	闪烁计数器
1500		70		1.0×10^9		5			5	3.8	光子计数器
2000	300	1000	140	1.3×10^9	8.0	50	100	41	5.8	1.9	用于高能物理
1500	10	30	3.6	3.3×10^9	7.0	0.2	70		6	11	闪烁计数器
1500		30	3.7	3.3×10^9	7.5		20	58	4.7	14	闪烁计数器
1000	3	20	2.4	2.1×10^9	6.7		5	64	6	11	闪烁计数器
1250	20	40	5.7	6.7×10^9	8.0		20	135	6	19	闪烁计数器
1500		30	3.7	3.3×10^9	7.5		20	82	6.3	15	闪烁计数器
2000	300	1000	120	1.4×10^9	8.3		100	54	5.4	3.4	用于高能物理