

S-25 与 New S-25 光阴极光谱 响应特性的研究

常 本 康

(华东工学院光电技术系, 南京 210014)

提 要

本文研究了 S-25 与 New S-25 光阴极的光谱响应特性。在 850~1000 nm 范围光谱响应的提高主要归因于阴极层较厚, 具有较大的阴极结构参量和截止波长。这既体现了 New S-25 光阴极的优越性, 也代表了多碱阴极的发展方向。

关键词: 光电阴极, 夜视仪, 电子亲和势。

一、引 言

关于 S-25 与 New S-25 光电阴极的报道, 至今仅限于两根特性曲线, 很少提及制备工艺^[1]。深入研究 S-25 与 New S-25 的响应特性, 对研制既具有高量子效率, 又具有典型的 S-1 阴极那样作红光-红外光谱响应延伸的光电发射材料具有指导意义。

本文利用笔者推导的多碱阴极的光谱响应公式^[2~4], 根据 S-25 与 New S-25 的主要差别, 分析了阴极参数对阴极性能的影响, 阐述了 New S-25 阴极新在何处。

二、S-25 与 New S-25 光阴极的主要差别

S-25 是 JEDEC 命名的, 而 New S-25 是美国夜视实验室所发表的, 这两种多碱阴极的性能参数见表 1。二者的量子产额谱和光谱响应见图 1 和图 2。综上所述, S-25 与 New S-25 是两类完全不同的光阴极, 其主要差别为:

1. 需用不同的量子产额公式表征

对于 S-25 光阴极, 其量子产额公式可表示为^[3]:

Table 1. Characterization parameters of S-25 and New S-25 photocathodes

	peak value sensitivity (mA/W)	peak value position (nm)	maximum sensitivity ($\mu\text{A}/\text{Lm}$)	long wavelength threshold (μm)	$E_A + E_G$ (eV)	electron affinity (eV)
S-25	40	410	310	0.95	1.30	0.30
New S-25	60	670	530	1.00	1.24	0.24

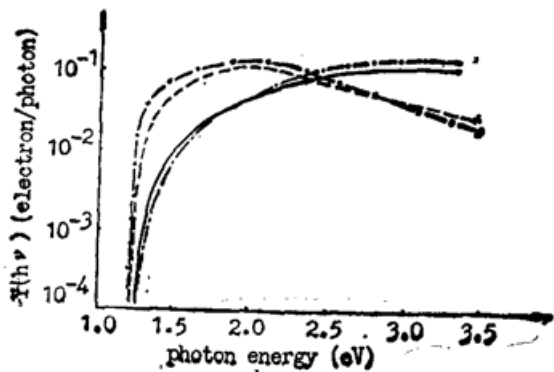


Fig. 1 Plots of $Y(h\nu)$ as a function of photon energy for S-25 and New S-25 photocathodes.

New S-25: -x-x-Calculated; —Experimental;
S-25: - - - -Calculated; —Experimental

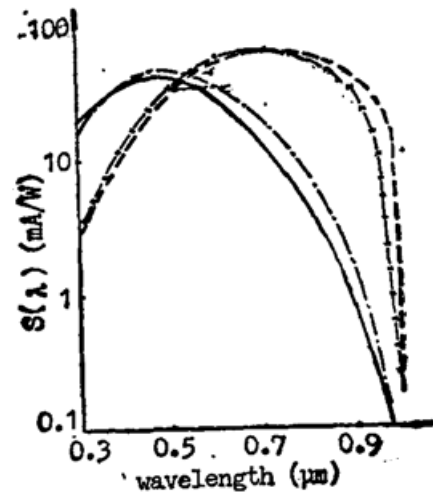


Fig. 2 Spectral response of S-25 and New S-25 photocathodes.

New S-25: —Calculated; -x-x-Experimental;
S-25: - - - -Calculated; —Experimental

$$Y(h\nu) = \frac{B(h\nu - E_j)^{3/2}}{\alpha_T(h\nu) - \beta} e^{P \cdot h\nu} [e^{-\beta \cdot D} - e^{-\alpha_T(h\nu) \cdot D}] \quad (\text{电子/光子}). \quad (1)$$

式中 B 为常数; E_j 为光电阴极光谱响应截止波长对应的能量; $\alpha_T(h\nu)$ 为光电阴极总的光吸收系数; $1/\beta = L$ 光电子逸出深度; D 为半透明多碱阴极的厚度; P 为阴极结构参量, 是表征光电阴极光电发射性能的物理量, 综合反映了光电阴极的宏观性能和微观结构。从宏观考虑, P 与阴极厚度 D ; 光电阴极光谱响应截止波长 λ_j ; 峰值响应波长 λ_{\max} 以及光电阴极积分灵敏度 S 有关, 一般 D 、 λ_j 、 λ_{\max} 和 S 增加, P 增加; 反之则 P 减少。从微观考虑, P 应与光电阴极层内的晶粒尺寸统计分布有关。在阴极膜层中, 如果大晶粒占主导地位, 则具有较大的光电子平均逸出深度, P 大; 反之则 P 小。因此对多晶膜, 取 $P < 1$; 对单晶或“准单晶”膜, $P > 1$ 。

对于 New S-25 光电阴极, 公式(1)不能精确反映实验结果, 需用

$$Y(h\nu) = \frac{B(h\nu - E_j)^{1/2}}{h\nu [\alpha_T(h\nu) - \beta]} e^{P \cdot h\nu} [e^{-\beta \cdot D} - e^{-\alpha_T(h\nu) \cdot D}] \quad (\text{电子/光子}) \quad (2)$$

表征其量子产额谱。式中符号同(1)式。

公式(1)和(2)说明, a. S-25 与 New S-25 光电阴极在有效吸收系数上存在差别, 前者正比于 $(h\nu - E_j)^{3/2}$, 后者正比于 $(h\nu - E_j)^{1/2}$; b. 在逸出几率上存在差别, 前者正比于 $e^{P \cdot h\nu} e^{-\beta(D-a)}$, 后者正比于 $\frac{1}{h\nu} e^{P \cdot h\nu} e^{-\beta \cdot (D-a)}$ 。

2. 需用不同的光谱响应公式表征

对于 S-25 光阴极, 其光谱响应公式可表为

$$S(\lambda) = \frac{C\lambda^{-0.5} \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_j}\right)^{1.5}}{\alpha_T(\lambda) - \beta} e^{1.4P \cdot \lambda^{-1}} [e^{-\beta \cdot D} - e^{-\alpha_T(\lambda) \cdot D}] \quad (\text{mA/W}), \quad (3)$$

式中 C ——常数; λ ——入射光波长; λ_j ——光阴极光谱响应截止波长, 其它符号同(1)式。对于 New S-25 阴极, 公式可表为:

$$S(\lambda) = \frac{\lambda^{1.5} \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_j}\right)^{0.5}}{\alpha_T(\lambda) - \beta} e^{1.24P \cdot \lambda^{-1}} [e^{-\beta \cdot D} - e^{-\alpha_T(\lambda) \cdot D}] \quad (\text{mA/W}) \quad (4)$$

Table 2 Parameters used to calculate spectral response of S-25 and New S-25 photocathodes

	$D(\text{nm})$	$L(\text{nm})$	β ($1/\text{cm} \times 10^5$)	E_j (eV)	P	β	$\lambda_j(\text{nm})$
S-25	50	50.6	1.98	1.26	0.81	6.83×10^3	984
NewS-25	120	51.8	1.93	1.24	1.00	1.30×10^4	1000

采用表 2 参数, 计算了 S-25 与 New S-25 光阴极的量子产额谱和光谱响应, 结果示于图 1 和图 2, 可见, 理论曲线与实验得到很好吻合。

分析表 2, 可知阴极厚度 D , 阴极结构参量 P 和截止波长 λ_j 是影响阴极光谱响应特性的主要参数。

三、阴极参数对光谱响应的影响

在光阴极研究中, 为了分析光电发射体性能, 应用最多的是以 $\text{mA/W} \sim \lambda$ 表示的阴极光谱响应曲线。这里采用表 2 所列参数, 利用公式 (3) 和 (4) 分析阴极厚度 D , 阴极结构参量 P 和光谱响应截止波长 λ_j 对光谱响应曲线的影响。通过计算分析, 揭示 NewS-25 阴极究竟新在何处。

1. 阴极厚度 D

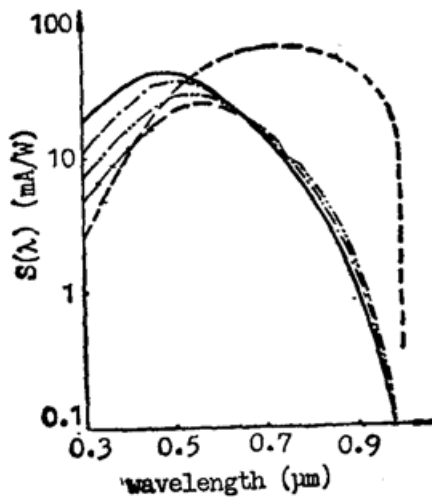


Fig. 3 The influence of photocathode thickness D on spectral response $S(\lambda)$

---New S-25; —S-25; -·-·- $D=80 \text{ nm}$;
 ····· $D=100 \text{ nm}$; -x-x- $D=120 \text{ nm}$.

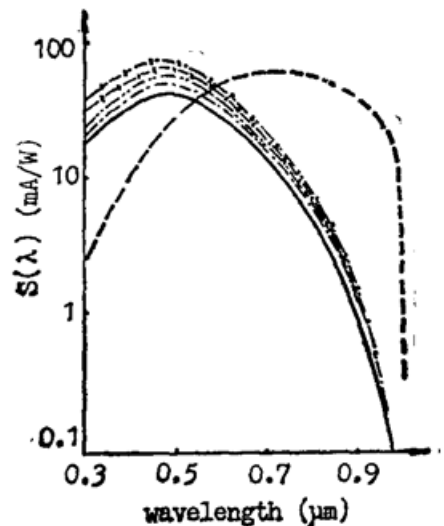


Fig. 4 The influence of photocathode structure parameter P on spectral response $S(\lambda)$

---New S-25; —S-25; -·-·- $P=0.85$;
 ····· $P=0.90$; -x-x- $P=0.95$; -·-·- $P=1.00$

如图 3 所示, 对 S-25 光阴极, 随着厚度 D 的增加, 短波响应下降, 光谱响应峰值向长波移动, 二者分别趋向 New S-25 光阴极。但当 D 超过 100 nm 时, 长波响应反而下降。这说明对 S-25 阴极, 仅凭增加阴极厚度 D 不能期待光谱响应有明显改善。但短波响应下降,

峰值移向长波又说明增加厚度是改善阴极性能的一个关键措施。在文献[5]中,笔者讨论了阴极厚度 D 增加,导致长波光吸收增加,结果使阴极峰值响应移向长波,客观造成电子亲和势下降。改善了阴极的光电发射性能。Sommer^[6]早期的实验也为理论计算提供了证明。Sommer 指出,随着阴极厚度增加,蓝光响应下降,红光响应增加,而红光的增加是以牺牲短波响应为前提的。与 S-25 阴极相比,New S-25 光阴极正是通过增加阴极层厚度,才能在红光-红外范围使光谱响应获得明显改善。

2. 结构参量 P

如图 4 所示,随着结构参量 P 的增加,整个响应曲线得到明显改善。与 S-25 阴极相比,New-25 光阴极在红光-红外范围具有很高响应与增加阴极结构参量 P 有直接关系。

3. 截止波长 λ_j

截止波长 λ_j 对光谱响应的影响如图 5 所示。随着 λ_j 向长波延伸,红光-红外光谱响应明显增加,而短波部分基本不变。因此,New S-25 阴极有可能采用了新的表面处理方法,降低了电子亲和势 E_A ,从而导致在红光-红外光谱响应明显改善。

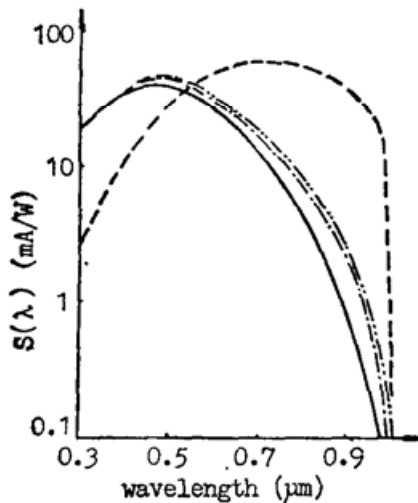


Fig. 5 The influence of cut-off wavelength λ_j on spectral response $S(\lambda)$

---New S-25; —S-25;
-·-·- $\lambda_j=990\text{nm}$; - - - $\lambda_j=1000\text{nm}$.

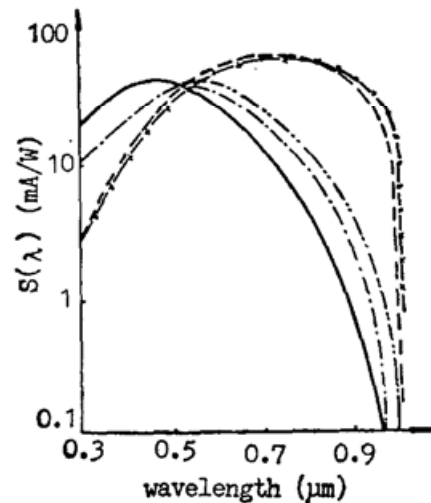


Fig. 6 The influence of D , λ_j and P on spectral response.

---New S-25; —S-25; -·-·- $D=100\text{nm}$,
 $\lambda_j=975\text{nm}$, $P=0.90$; - - - $D=120\text{nm}$,
 $\lambda_j=1\mu\text{m}$, $P=1.00$; -·-·- $D=120\text{nm}$, $\lambda_j=1\mu\text{m}$, $P=1.10$

4. D 、 P 和 λ_j 对光谱响应的综合影响

图 6 给出了 D 、 P 和 λ_j 对光谱响应的综合影响。由图 6 可知,似乎仅凭增加 D 、 P 和 λ_j ,对阴极红光-红外响应虽有改善,如曲线 $D=120\text{nm}$, $\lambda_j=1\mu\text{m}$, $P=1.00$, 计算结果在 $0.5\sim 1.0\mu\text{m}$ 虽高于 S-25,但仍低于 New S-25,这是否说明 New S-25 并不仅是通过单纯增加 D 、 P 和 λ_j 而提高了红光-红外响应性能的。结论是否定的,这里忽略了一个重要的事实,即在光电阴极厚度 D 增加时,阴极结构参量 P 将增加^[5], λ_j 向长波移动,短波灵敏度将下降。这样的厚阴极应由式(4)描述。采用 $D=120\text{nm}$, $\lambda_j=1\mu\text{m}$, $P=1.1$, 其它参数同 S-25。如图 6 所示,计算结果与 New S-25 基本吻合。从而说明,New S-25 与 S-25 相比,在红光-红外光谱响应得到明显改善的主要原因是它具有较大的阴极厚度 D , 较大的阴极结构参量 P 和较大的阴极截止波长 λ_j , 这些就是 New S-25 阴极的创新之处。

参 考 文 献

- [1] H Adrian Stahl; *J., A. P.*, 1972, **43**, 4.
- [2] 常本康:《华东工学院学位论文》, (南京, 1989)。
- [3] 常本康, 刘元震等; 全国光学和光学测试发展学术研讨会论文集(南京, 1989)。
- [4] 常本康, 刘元震;《真空科学与技术》, 1990, **10**, No. 3 (Mar) 175。
- [5] 常本康;《真空科学与技术》, 1990, **10**, No. 5 (May), 326。
- [6] A. H. Sommer;《Photoemissive Materials》, (John Wiley and Sons. Inc., 1968)。

A study of spectral response characterization on S-25 and New S-25 photocathodes

CHANG BENKANG

(Department of Optical and Electronic, East China Institute of Technology, Nanjing, 210014)

(Received 5 April 1991; revised 19 June 1991)

Abstract

In this paper, spectral response characterization on S-25 and New S-25 photocathodes are studied. Since photocathode has thicker photocathode thickness, higher photocathode structure parameter and spectral response cut-off wavelength, photocathode sensitivity between 850 and 1000 nm is improved. The improvements represent the superiority of New S-25 photocathode as well as a new direction of multialkali photocathodes.

Key words: photocathode; night visionmeter; Electron affinity.