

多碱光电阴极光谱响应峰值 位置移动技术研究

常本康 徐登高 钱芸生 富容国

(南京理工大学电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

田金生 李晓峰

(云南光学仪器厂, 昆明 650114)

摘 要 研究了多碱光电阴极光谱响应峰值位置移动技术。利用多碱光电阴极多信息量测控技术, 可以控制光电阴极光谱响应峰值位置, 以满足不同性能光电管光谱匹配的需要。对夜天光辐射以及一些材料的光谱反射, 利用多信息量测控技术, 可以将多碱光电阴极的光谱响应峰值移至 $0.8 \mu\text{m}$ 处。

关键词 多碱光电阴极, 光谱响应, 测试, 夜视仪器。

1 引 言

就光电探测器而言, 如果光谱响应峰值位于被探测物体的辐射主峰范围, 则能取得最佳的探测效果。以夜视仪器为例, 夜天光反射, 簇叶、绿色服装、泥土以及湿的沙子的光谱反射, 均在 $0.8 \mu\text{m}$ 以后具有较高的反射系数。以多碱光电阴极为光电探测面的一代、二代以及超二代成像器件, 如要获得最佳探测效果, 其光谱响应峰值需移至 $0.8 \mu\text{m}$ 左右, 低于此值必然造成噪声严重, 像质恶化, 视距降低。

自光电器件问世以来, 为了满足夜间观察的需要, 研制了不同观察面的成像器件, 对其光谱响应及控制方法做了大量研究和有益探讨^[1-7]。本文研究了多碱光电阴极光谱响应峰值位置移动技术。利用多碱光电阴极多信息量测控技术, 可以控制光电阴极光谱响应峰值位置, 以满足不同光电管光谱匹配的需要。并利用该技术, 使一代像增强器的光谱响应的峰值移至 $0.8 \mu\text{m}$ 处。

2 多碱光电阴极光谱响应峰值位置移动技术

多碱光电阴极光谱响应峰值位置移动技术是利用作者研究的多信息量测试技术。在光电阴极制备过程中, 随着膜层的加厚, 可以检测光电阴极的白光光电流, 单色光光电流和反射率、光谱响应、量子产额、阴极面电阻。通过这些参量的测试, 可以实时获得阴极厚度、光谱

响应峰值波长、截止波长、光谱响应曲线形状等信息。分析这些信息，可知光谱响应峰值位置的移动主要取决于光电阴极的厚度 D 以及光电阴极光谱响应曲线的形状。

2.1 光电阴极的厚度测试技术

现将问题集中在一代、二代以及超二代倒像管的阴极制作。众所周知，在像管光电阴极厚度测试中，目前除从光电阴极反射率测试曲线可以推出光电阴极厚度外，尚不能找到其它可行的方法，因此仍采用光电阴极反射率测试，并在测试过程中，监测了光电阴极单色光电流的变化。

测试借助于自行研制的光学信息和单色光电流监控系统原理样机。该仪器共测试两路信号：一路是测试硅光探测器接收来自多碱光电阴极表面的反射光而产生的反射率信号；另一路是测试多碱阴极接收单色光后产生的单色光电流信号。原理样机的光源为卤钨灯，通过单色滤光片产生 554 nm 的单色光，经光纤将单色光引到现场。系统的核心是一台 386/DX 微机，完成对数据的采集，显示及对电路的控制。

图 1 给出了理论计算的 Na_2KSb 的前反射率曲线 $R(554 \text{ nm})$ ，图中纵坐标是以百分数表示的反射率，横坐标以 nm 表示厚度。图 2 给出了在实验室测得的 Na_2KSb 的前反射率 $R(554 \text{ nm})$ 和单色光光电流 $I(554 \text{ nm})$ ，图中横坐标以时间为单位，含有厚度信息。由图 2 可知，该测试仪获得的前反射率曲线与图 1 形似，由此可以决定阴极厚度。同时给出的单色光光电流曲线也与阴极厚度有直接关系，曲线包络线还可给出光电子逸出深度的信息。

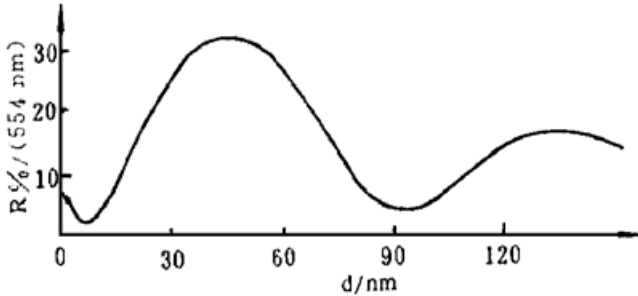


Fig. 1 Theoretical calculated Na_2KSb reflectance curve

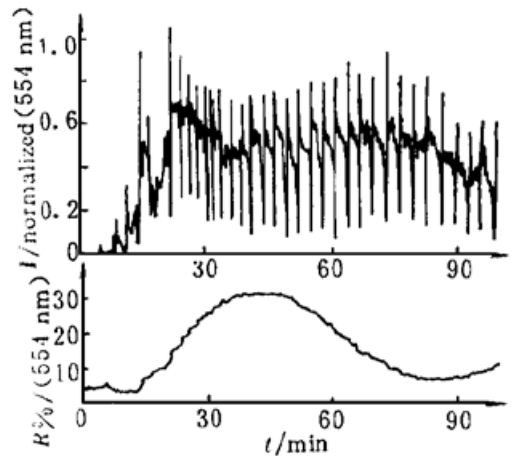


Fig. 2 Measured Na_2KSb reflectance (R) and photocurrent (I)

2.2 光电阴极的自动光谱测试技术^[6]

借助于自行研制的光电材料自动光谱响应测试仪测试了光电阴极的光谱响应。测试是在原位进行，即在阴极制备过程中可方便地测试阴极的光谱响应。图 3 给出了多碱光电阴极制备过程中的光谱响应曲线 $S(\text{mA/W})$ 和量子产额曲线 $Y(\text{electron/photon})$ ，它反映了阴极制备过程中光谱响应曲线的形状的变化。

2.3 多碱光电阴极光谱响应峰值位置移动技术

多碱光电阴极光谱响应 $S(\lambda)$ 为^[8]

$$S(\lambda) = \frac{B\lambda^{1.5} \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_j}\right)^{1/2}}{\alpha_r(\lambda) - \beta} \exp(1.24p\lambda^{-1}) \{ \exp(-\beta D) - \exp[-\alpha_r(\lambda)D] \} \quad (1)$$

式中： B 为常数； λ 为入射光波长； λ_j 为光电阴极光谱响应截止波长； P 为光电阴极的结构参

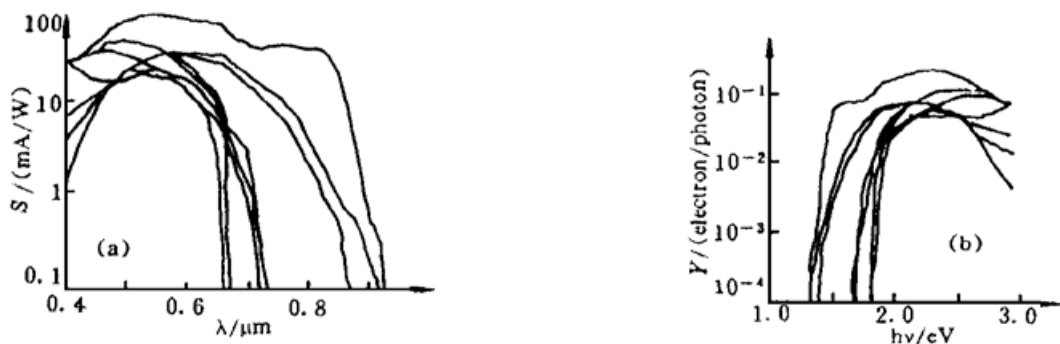


Fig. 3 Spectral response curve for developing multialkali photocathodes. (a) spectral response, (b) quantum yield

量; β 为光电子逸出深度的倒数; D 为光电阴极厚度; $\alpha_r(\lambda)$ 为多碱阴极的吸收系数, 可表示为:

$$\alpha_r(\lambda) = [3.7503 - 1.3328 \times 10^5 \lambda^{-1} + 1.7181 \times 10^9 \lambda^{-2} - 9.3539 \times 10^{12} \lambda^{-3} + 1.9230 \times 10^{16} \lambda^{-4}] \times 10^5 \quad (2)$$

式中 λ 以 0.1 nm 为单位。

由(1)式和(2)式可知, 对应于某一入射波长和确定的吸收系数, 则多碱光电阴极的光谱响应取决于 β 以及 D 。其中 β 是与光电阴极结构有关的参量。如果假设在阴极制备过程中光电阴极结构参量不变, 即保持同一结构, 则 β 为一常量, 这时 $S(\lambda)$ 仅与 D 有关。图 4 给出了 D 对 $S(\lambda)$ 的影响。由图 4 可知, 当入射波长为 0.8 μm 时, 阴极厚度应在 100 nm 以上。

根据上述讨论可知, 如果在阴极制备过程中能保证阴极结构一致, 则光电子逸出深度也将没有变化。这时 $S(\lambda)$ 只与 D 有关。如果在阴极制备过程中有效地控制阴极结构参量, 即保证在阴极加厚过程中成份一致, 并根据阴极厚度的变化来控制阴极的光谱响应曲线, 就能控制好光电阴极光谱响应峰值位置的移动。该项技术已在实验室研究成功, 并在工厂得到了应用。其基本做法是在阴极制备过程中利用多信息量测控技术, 即利用光电阴极厚度测试技术控制光电阴极的折射率 n 、消光系数 k 和厚度 D , 利用光电材料自动光谱测试技术监测光电阴极的光谱响应^[9]。

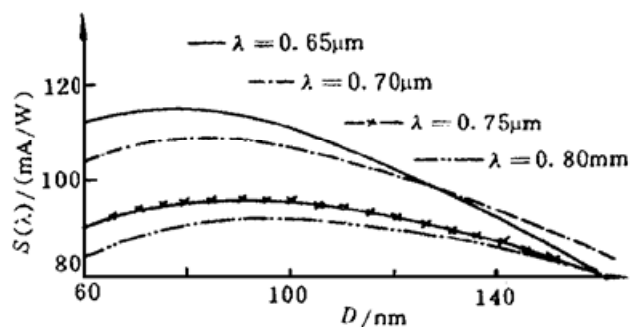


Fig. 4 Influence of thickness D on spectral response $S(\lambda)$ on multialkali photocathodes

3 结果与讨论

3.1 光电阴极厚度及光谱响应峰值控制范围

由图 1 可知, 假设光电阴极的折射率和消光系数是常量, 即在阴极制备中保证阴极生长均匀, 可用计算机模拟反射率曲线随厚度变化。由图 4 可知, 入射光波长固定, 其光谱响应峰值位置对应于一确定厚度。如果光阴极在入射光波长为 0.8 μm 以上时仍有较高响应, 其厚度应在 100 nm 以上。对照图 1, 当反射率曲线第二个谷值所对应的厚度在 90 nm 以上, 向右偏离第二谷值, 曲线有所上扬时, 应为 100 nm 左右。由图 2 可知, 在实验室制备光电阴极时, 为了保证阴极均匀, 约经过 29 次 Na 过量和 Sb-K 交替, 在反射率曲线上出现谷值, 后经

4 次 Na 过量和 Sb-K 交替, 反射率曲线明显上扬。对照理论曲线, 可知厚度在 100 nm 以上。经 Cs 与 Sb-Cs 敏化后, 其光谱响应曲线与超二代形似(见图 3)。结合在工厂实践的结果, 通过反射率曲线的测量, 将阴极厚度控制在 100~ 120 nm 的范围, 保证阴极在 0.6~ 0.8 μm 具有平坦响应, 光谱响应峰值出现在 0.8 μm 附近是完全可能的。

3.2 测试结果

1995 年 12 月, 在云南光学仪器厂对光电阴极光谱响应曲线形状进行了初步研究。试验是在荷兰 OLD DELFT 光学公司引进的阴极制备台上进行。图 5 给出了 12 月 24 日测试的 18/7 一代像增强器的光谱响应 $S(\lambda)$, 单色光电流 $I(t)$ 与反射率 R_t 。t 是时间, 隐含阴极厚度信息。图 6 给出了 12 月 25 日的测试结果。在制备过程中利用单色光电流和反射率曲线形状进行了厚度干预。由图 5 可知, 其光谱响应峰值在 600~ 700 nm 之间, 白光灵敏度 329 μA/Lm, 0.8 μm 处的光谱响应为 23.7 mA/W。而图 6 的响应峰值在 700~ 800 nm 之间, 在 900 nm 仍有很好的响应, 白光灵敏度为 352 μA/Lm, 0.8 μm 的光谱响应为 33.9 mA/W, 是前者的 1.43 倍。

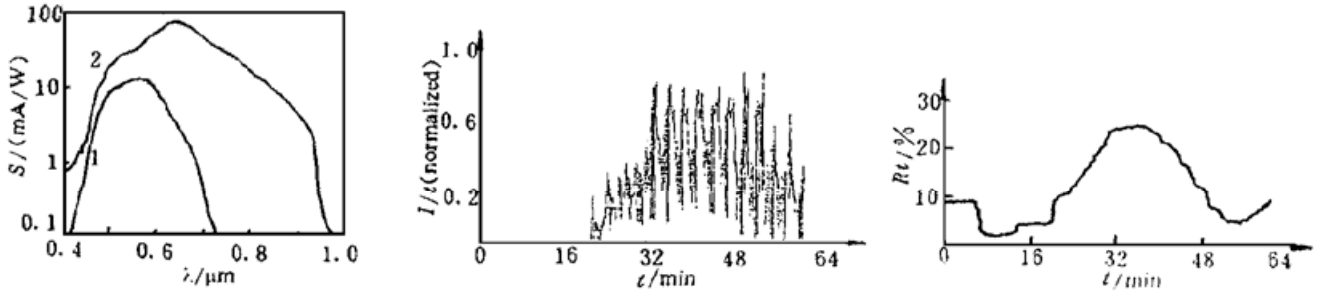


Fig. 5 Measuring spectral response $S(\lambda)$ (1. Na₂K₂Sb, 2. Na₂K₂Sb (Cs)). Photocurrent $I(t)$ and reflectance R_t for developing multialkali photocathodes of first generation intensifier at Yunnan Optical Instrument Factory in 1995-12-24

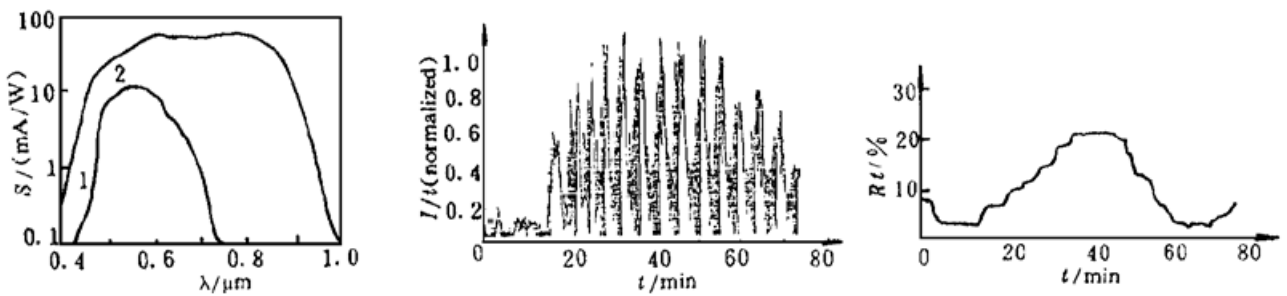


Fig. 6 Measuring spectral response $S(\lambda)$ (1. Na₂K₂Sb, 2. Na₂K₂Sb (Cs)). Photocurrent $I(t)$ and reflectance R_t for developing multialkali photocathodes of first intensifier at Yunnan Optical Instrument Factory in 1995-12-25

3.3 讨 论

1) 图 5 的测试结果是云南光学仪器厂阴极制备工艺过程的原始记录, 图 6 是在阴极工艺过程中根据反射率和单色光电流曲线形状进行了必要的工艺干预, 而且仅仅表现在厚度干预上, 多进行了 3 次 Na 过量和 Sb-K 交替。图 5 与图 6 的结果清楚表明, 采用多信息量测试技术可以在阴极制备中控制光电阴极光谱响应峰值位置, 以满足不同性能光电管光谱匹配的需要。

2) 将图 5 与图 6 的反射率曲线与图 1 和图 2 相比, 在阴极制备过程中, Na_2KSb 的反射率曲线偏离理论曲线。这说明工业生产制备的光电阴极的折射率和消光系数随着阴极加厚而变化, 这不利于获得高的积分灵敏度。

参 考 文 献

- [1] 薛增泉, 吴金德, 用量子产额谱分析铯在多碱光电阴极中的作用. 电子学报, 1988, **16**(2): 23~ 28
- [2] 常本康, 刘元震, 改进型多碱阴极量子产额谱的研究. 真空科学与技术, 1990, **10**(3): 175~ 178
- [3] 常本康, 三碱光电阴极 S_{20} 与 LEP 主要差别的研究. 真空科学与技术, 1990, **10**(5): 326~ 330
- [4] 常本康, S_{25} 与 New S_{25} 光阴极光谱响应的特性研究. 光学学报, 1992, **12**(3): 279~ 282
- [5] 常本康, 刘元震, S_{20} 光电阴极的光谱响应特性的理论研究. 真空科学与技术, 1992, **12**(2~ 3): 235~ 238
- [6] 常本康, 房红兵, 刘元震, 光电材料自动光谱测试仪. 专利号: 94112317.0, 1996 年 11 月 25 日
- [7] 常本康, 超 II 代像增强器光电阴极成份控制原理研究. 光学学报, 1994, **14**(2): 193~ 197
- [8] 常本康著, 多碱光电阴极机理, 特性与应用. 北京: 机械工业出版社, 1995
- [9] 常本康, 房红兵, 刘元震, 光电材料动态自动光谱测试仪的研究与应用. 真空科学与技术, 1996, **16**(5): 364~ 366

Peak Value Position Shifting of Spectral Response of Multialkali Photocathodes

Chang Benkang Xu Denggao Qian Yunsheng Fu Rongguo

(School of Electronic Engineering and Opto-Electric Technique,
Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Tian Jinsheng Li Xiaofeng

(Yunnan Optical Instrument Factory, Kunming 650114)

(Received 5 December 1996; revised 11 April 1997)

Abstract The peak value position shifting technology for spectral response of multialkali photocathodes is studied. The peak value position of spectral response of multialkali photocathodes can be controlled to meet the needs of different spectral response characteristics of various photoemissive devices. For sounding reflectance of night sky and spectral reflection on some materials, the peak value position of spectral response of multialkali photocathodes can be moved to $0.8 \mu\text{m}$ by multi-information measuring techniques.

Key words multialkali photocathodes, spectral response, measure, night devices.