

doi: 10.3788/gzxb20124110.1171

Na₂K₂Sb 膜层组份均匀性对多碱阴极灵敏度的影响研究

李晓峰^{1,2}, 陆胜林², 杨文波², 赵学峰²

(1 微光夜视技术重点实验室, 西安 710065)

(2 北方夜视技术股份有限公司, 昆明 650114)

摘 要:介绍了多碱光电阴极 Na₂K₂Sb 膜层荧光光谱的测量原理, 测量了两个 Na₂K₂Sb 膜层样品在不同半径位置的荧光光谱. 测量数据表明, Na₂K₂Sb 膜层荧光光谱的峰值波长从阴极面的中心到边缘逐步增大, 同时峰值荧光强度也逐步增强. 原因是阴极窗表面的铯原子密度从中心向边缘逐步减小. 当 Na₂K₂Sb 膜层中的铯超过 Na₂K₂Sb 所需的化学计量比时, 荧光峰值波长向短波方向移动, 同时荧光强度减弱; 当 Na₂K₂Sb 膜层中的铯达到 Na₂K₂Sb 所需的化学计量比时, 荧光峰值波长达到最大, 同时荧光强度也达到最强. 通过荧光测试, 可以判断 Na₂K₂Sb 膜层的化学计量比是否达到 2:1:1 或膜层中的铯是否过量. 同时通过测量阴极面上不同位置的荧光光谱, 可以测量 Na₂K₂Sb 膜层在阴极面上的组份均匀性. 铯在阴极面上的原子密度越均匀, 利用整个阴极面上的光电流变化来监控阴极膜层生长的方法就更准确, 组份均匀性也更好, Na₂K₂Sb 膜层的厚度可以更厚, 对长波可见光的吸收更多, 阴极的灵敏度也更高. 因此在像增强器多碱阴极的制造过程中, 要尽量使蒸发在阴极窗表面的铯原子密度均匀, 这样才能获得更高的阴极灵敏度.

关键词:光致荧光; 多碱阴极; 荧光光谱; 光电发射

中图分类号: O462.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2012)10-1171-5

0 引言

多碱光电阴极(简称多碱阴极)由 Na₂K₂Sb 光吸收层和 Cs₃Sb 表面层构成. Na₂K₂Sb 层起到吸收光子并产生跃迁电子的作用, Cs₃Sb 层起到降低表面电子亲和势的作用. 多碱阴极在可见光范围内有很高的灵敏度, 长波阈值可延伸至 960 nm, 且热发射小于 10⁻¹⁶ A/cm². 多碱光电阴极在微光像增强器中应用广泛, 在问世之初就应用在一代微光像增强器上, 以后随着技术的发展, 多碱阴极又进一步在二代微光像增强器和超二代微光像增强器上获得应用, 并且阴极灵敏度仍在不断提高^[1]. 目前对多碱阴极的结构、成份等已有较充分的认识, 但如何在微光像增强器中制造出更高灵敏度的多碱阴极, 一直是从事多碱阴极制造人员所关心的问题. 近 10 年来各个微光像增强器生产厂家为了提高多碱阴极的灵敏度, 一直在改进多碱阴极制造工艺, 使超二代微光像增强器多碱阴极的灵敏度逐年提高. 目前在国外, 超二代微光像增强器中多碱阴极的灵敏度的典型值已

达 850 μA/lm 之上, 高于国内 700 μA/lm 的制造水平. 由于国内目前装备的微光夜视仪主要使用超二代微光像增强器, 因此进一步对多碱阴极进行研究, 提高其阴极灵敏度具有极其重要的意义^[2].

多碱阴极制造的典型工艺为: 1) 蒸钾和铯. 在 200℃ 温度下, 同时蒸发钾和铯, 使钾与铯发生化学反应生成 K₃Sb. 2) 蒸钠. 在 200℃ 温度下, 将 K₃Sb 暴露于钠蒸汽中, 使钾逐渐被钠置换, 观察其光电流的变化, 当光电流上升到极大值并下降到极大值一定百分比时, 停止蒸钠. 3) 铯、钾共蒸. 在温度 200℃, 反复交替蒸铯和钾, 直到获得光电流的极大值. 铯钾共蒸这一过程结束后, 一般认为形成了 Na₂K₂Sb 膜层. 4) 不断重复过程 2) 和过程 3) 直到生成的 Na₂K₂Sb 膜层的厚度达到所需要的厚度为止. 5) 铯、铯共蒸. 温度保持到 160℃, 反复交替蒸铯和铯, 直到获得最大的光电流. 此时认为 Na₂K₂Sb(Cs) 多碱阴极制作完成. 实践中发现, 对不同结构的微光像增强器, 采用上述的制作工艺, 所获得的阴极灵敏度却大不相同, 特别是对转移阴极结构的近贴式微

基金项目: 微光夜视技术重点实验室基金(No. 2011-16)资助

第一作者: 李晓峰(1963-), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为真空光电器件. Email: lxf@nvt.com.cn

收稿日期: 2012-04-17; 修回日期: 2012-06-13

光像增强器,所获得的阴极灵敏度最高,因此分析出不同 Na_2KSb 膜层性能导致阴极灵敏度高低的原因,将有助于进一步改进 Na_2KSb 膜层的制作工艺,从而进一步提高阴极的灵敏度。

1 Na_2KSb 膜层组份均匀性测量原理

Na_2KSb 膜层组份均匀性是指多碱阴极表面不同位置处钠、钾、铯三种元素化学计量比的一致性。用于微光像增强器中的 $\text{Na}_2\text{KSb}(\text{Cs})$ 多碱阴极一般制作在玻璃窗或纤维面板窗之上。多碱阴极一旦暴露空气,会很快损坏,因此不能在空气中对其组份进行测量。而如果在真空中对其进行测量,如采用俄歇电子能谱仪或 X 射线光电子能谱仪进行分析,那么需要将分析设备与多碱阴极膜层制造设备连接起来,这样一来过程十分复杂,费用也相当昂贵,因此有必要找到一种简单易行的方法来对多碱阴极 Na_2KSb 膜层的组份均匀性进行测量。

众所周知,当物质受到光的激发后,只要激发光的光子能量大于其禁带宽度,价带电子就会被激发到导带,导带电子必然要以某种方式返回到价带,其中必然有以辐射跃迁回到价带的方式,这就必然伴随有发光过程,即有荧光发射。不同的物质,所发出荧光的峰值强度、峰值波长、半峰宽等参量均不同,因此可以根据物质发出荧光的特性来分析其性能^[3-4]。又由于无论是激发光还是荧光,均能穿透玻璃,这样对于必须储存在真空中的多碱阴极 Na_2KSb 膜层而言,荧光分析便是一种方便快捷的方法。当用同样功率和同样波长的激光激发位于真空中的多碱阴极 Na_2KSb 膜层的不同位置时,如果其荧光谱的峰值波长、荧光峰值强度存在区别,那么说明 Na_2KSb 膜层的组份是不一样的,即组份不均匀^[5-6]。

图 1 是被测样品及荧光测试原理的示意图。被测样品玻璃窗的材料为硼硅酸盐玻璃,有效直径为 $\Phi 25$ mm。制作 Na_2KSb 膜层时所用的钾源和钠源安装在样品的外部,通过通电加热的方式蒸入,铯通过采用通电加热铯球的方式进行蒸发。铯球安装在铯滑杆中,制作 Na_2KSb 膜层时,利用磁铁将铯滑杆导入。铯球的半径约为 $\Phi 1.2$ mm,距阴极面中心的距离为 7.9 mm。整个光电阴极的制作工艺与现行二代微光像增强器光电阴极的制作工艺一样,不同的是为了测量 Na_2KSb 膜层的均匀性,光电阴极只制作了 Na_2KSb 光吸收层,而没有制作铯-铯表面层。测量仪器采用英国雷尼绍公司(Renishaw)inVia 型号的显微喇曼光谱仪,激发光为激光,功率为 3 mW,波长为 785 nm,激光的斑点尺寸为 0.25 mm。

测量仪器所用探测器为 CCD,曝光时间为 30 s,累加次数为 1 次,测量范围为 600 nm 至 1 000 nm,环境温度为 $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。测量时激光从 Na_2KSb 膜层样品的玻璃窗外表面入射,穿透玻璃后对 Na_2KSb 膜层进行激发,而 Na_2KSb 膜层发出的荧光穿透玻璃出射后被信号探测器所接受,这样就实现了测量处于真空中的 Na_2KSb 膜层荧光的目的。

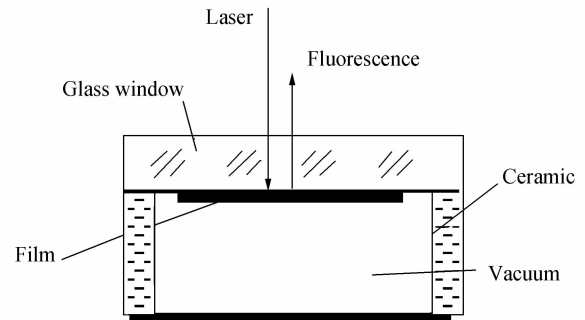


图 1 样品及测量原理

Fig. 1 Sample and measurement schematic diagram

图 2 是典型的 Na_2KSb 膜层的荧光谱,荧光谱的峰值波长和峰值强度与膜层的性能密切相关。因为荧光谱的强度大小反映 Na_2KSb 膜层在吸收光能之后电子跃迁的几率,而峰值波长反映了膜层材料的特性,如组份、结构等。

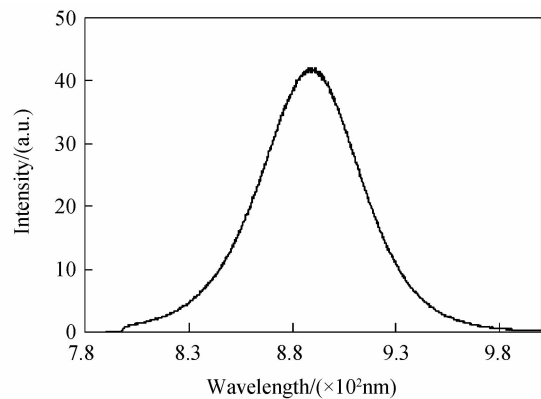


图 2 Na_2KSb 膜层的荧光谱

Fig. 2 Fluorescence spectrum of the Na_2KSb film

2 Na_2KSb 膜层组份均匀性测量结果分析

对编号为 21150465# 和 211446470# 两个样品进行了荧光测试。两个样品是在相同条件下采用传统的多碱阴极工艺制作。测量时先对样品的中心位置进行测量,然后再移动测试仪器的样品台,分别对不同半径上的多个位置进行测量。测量的半径为 2、4、6、8、9、10、11 和 12 mm。每一半径上又测量四个点,四个点分别位于相互垂直的四个方向。为了使测量数据更具有代表性,将边缘四个方向在同一半径处的四组测试数据进行平均,以其代表该半径处的测量数据。测量数据见表 1。

表 1 不同半径处荧光测量结果

Table 1 Fluorescence spectrum in different radii

r/mm	21150465		21146470	
	λ/nm	I/(a. u)	λ/nm	I/(a. u)
0	850	16 916	843	3 692
2	851	19 412	847	4 170
4	853	42 699	851	5 906
6	858	51 662	857	7 692
8	868	65 097	869	18 468
9	879	78 509	877	28 410
10	886	88 075	882	33 710
11	889	89 967	885	45 106
12	889	89 790	888	57 422

从表 1 看出,对 21150465 # 样品,当阴极面的测量位置从中心向边缘移动时,其荧光谱峰值波长从小变大,达到 11 mm 以后,峰值波长达到 889 nm,同时,峰值荧光强度也由弱变强,在 11 mm 半径处时也达到最大. 21146470 # 样品也遵循这一变化规律. 在阴极中心位置,荧光谱的峰值波长为 843 nm,强度为 3 692. 当半径逐步增大时,荧光谱峰值波长和强度也随之增大,当半径增大到 12 mm 时,荧光谱峰值波长达到最大 888 nm,同时强度也达到最大 57 422. 所以对所测试的两个样品,其不同半径处的荧光光谱测量值不一样,且荧光峰值波长从中心到边缘逐步增大,荧光强度也逐步增大,说明整个 Na₂K₂Sb 膜层在整个阴极面不同半径处的材料特性是不相同的. 为了更直观的观察样品的荧光谱峰值波长和峰值强度随半径变化的规律,将表 1 中 21150465 # 样品荧光谱峰值波长随半径变化规律表示在图 3 中,荧光谱峰值强度随半径方向的变化规律表示在图 4 中,其中图 4 中样品荧光谱峰值强度的最大值归化为 100.

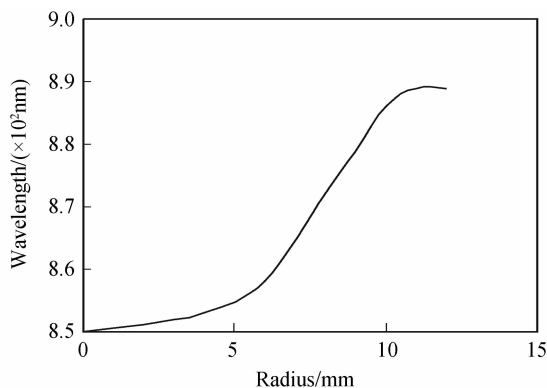


图 3 峰值波长随半径的变化

Fig. 3 Variation of peak wavelength with radius

因为 Na₂K₂Sb 膜层由钠、钾、铯三种元素组成,因此阴极面上 Na₂K₂Sb 膜层在不同位置的差别主要就是其化学计量比的差别,造成这一差别的原因根据制造工艺来分析,就是铯原子在阴极玻璃面上的

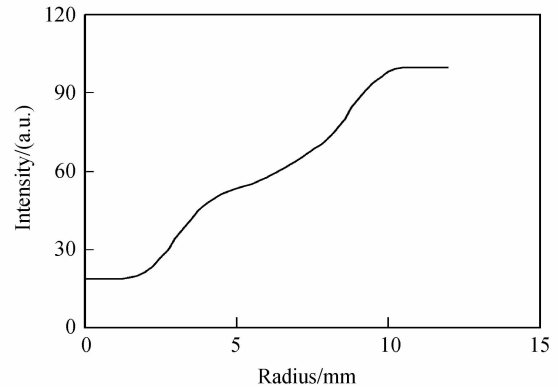


图 4 峰值强度随半径的变化

Fig. 4 Variation of peak intensity with radius

分布不均. 这是因为阴极玻璃窗为平面,而铯蒸发源可近似看作为点蒸发源,因此就蒸发在玻璃表面上的铯原子密度而言,原子密度从中心到边缘是逐步减小的,在玻璃窗中心的铯原子密度最大,边缘最小. 而碱金属蒸发时,作为一种金属蒸汽在阴极空间的分布是均匀的,即阴极表面不同位置处所获得的碱金属量相同. 这样当阴极玻璃表面的碱金属分布均匀而铯分布不均匀时,就会造成整个阴极面上 Na₂K₂Sb 膜层中的钠、钾、铯三种元素的化学计量比不均匀,即铯原子数量与碱金属原子数量之比(简称铯碱比)从中心到边缘逐步减小. 将 Na₂K₂Sb 膜层从中心到边缘铯碱比变化的规律与荧光峰值波长和峰值强度变化的规律结合起来分析,可以认为对 Na₂K₂Sb 膜层而言,当铯过量,即铯偏离 Na₂K₂Sb 膜层所要求的化学计量比时,铯碱比越大,荧光的峰值波长越短波方向移动,同时荧光强度越弱;当 Na₂K₂Sb 膜层中的铯达到其所需的化学计量比时,荧光的峰值波长达到其固有的荧光峰值波长,同时荧光强度达到最大.

由分析可知,对所测试的两个样品,由于均存在阴极面上 Na₂K₂Sb 膜层组份在半径方向不均匀的问题,即铯碱比在中心位置最大且铯过量,超过 Na₂K₂Sb 膜层所需的化学计量比,因此中心位置的荧光峰值波长最短,小于 Na₂K₂Sb 膜层固有的荧光峰值波长,同时其荧光强度也最弱. 而随着离开中心的半径越来越大,铯碱比逐步减小,逐步向 Na₂K₂Sb 膜层所需要的化学计量比逼近,因此荧光峰值波长逐步增大,同时荧光强度也逐步增强. 当离开中心的半径达到铯碱比为 Na₂K₂Sb 膜层所需的化学计量比时,荧光峰值波长达到 Na₂K₂Sb 膜层固有的 889 nm 的荧光峰值波长,同时荧光强度也达到最大. 对铯较均匀的转移式多碱阴极进行测量,结果表明 Na₂K₂Sb 膜层的荧光谱峰值波长在 889 nm 左右,因此认为所测量三个样品当边缘荧光峰值波长达到 889 nm 时,即可认为从该半径起到阴极面的最边缘

处, Na_2KSb 膜层的铯碱比达到所需的化学计量比, 即生成了 Na_2KSb 膜层.

两个样品相比较, 21150465# 样品和 21146470# 样品阴极面 9 个测量数据的平均荧光峰值波长分别为 869.6 nm 和 866.5 nm, 平均荧光峰值强度分别为 58 103 和 15 175. 说明 21150465# 样品阴极面的组份相对较均匀, 膜层中 Na_2KSb 成份的比例更高, 因此荧光强度也最强. 荧光强度越强, 电子跃迁的机率越大, 阴极灵敏度越高, 所以光电阴极面的组份均匀性对阴极的灵敏度影响很大, 而阴极面的组份均匀性又主要决定于阴极面的铯原子密度的均匀性. 对两个样品的阴极灵敏度测量也证明 21150465# 样品的阴极灵敏度最高.

3 讨论

多碱阴极制造的目的就是要获得一定厚度的 Na_2KSb 膜层. 理论和实践证明只有获得具有精确化学计量比的 Na_2KSb 膜层, 才有可能在其表面进行 Cs 激活之后获得更高的阴极灵敏度. 多碱阴极在制造过程中, 采用光电流监控的方法, 而所监控的光电流是整个阴极面上的光电流, 因此光电流最大并不一定意味着阴极面上每一个位置上的光电流均达到最大. 在制造过程中, 什么时候开始蒸发何种碱金属源, 往往是依靠光电流变化的情况来判断. 如对整个制造过程中的每一次铯-钾共蒸过程, 每一次过程结束, 均是以光电流达到极大时为止, 此时认为钠、钾、铯的比例达到了 2 : 1 : 1. 但如果在整个阴极面上铯原子密度分布不均匀, 那么光电流达到最大并不一定意味着整个阴极面上每一个位置处的钠、钾、铯三种元素的化学计量比达到了 2 : 1 : 1. 实际上随着铯-钾交替过程的进行和阴极膜层厚度的增加, 一方面膜层对长波光子的吸收增加, 导致膜层的阴极光电流有所增加, 但另一方面这将导致阴极膜层中铯过量的面积不断增大, 即整个阴极面上的钠、钾、铯三种元素的平均化学计量比更加偏离 2 : 1 : 1. 因此当膜层达到一定的厚度时, 阴极光电流达到最高, 再增加厚度, 阴极光电流不增反降. 此时阴极膜层所达到的厚度为“最佳厚度”^[7]. 在这一膜层厚度, 膜厚增加导致长波光吸收增加的因素与膜层中的钠、钾、铯三种元素的平均化学计量比偏离 2 : 1 : 1 的因素达到了一个“平衡”. 如果阴极膜层小于该厚度, 那么尽管膜层中钠、钾、铯三种元素的平均化学计量比更加接近 2 : 1 : 1, 但因膜层对长波光的吸收还不充分, 因此阴极灵敏度还达不到最大. 但如果阴极膜层过厚, 超过其最佳厚度, 那么尽管对长波光的吸收增加, 但膜层中的钠、钾、铯三种

元素的平均化学计量比更加偏离 2 : 1 : 1, 又会导致阴极灵敏度降低. 所以在多碱阴极的制造过程中, 铯-钾交替的次数以使膜层达到最佳厚度为止. 因此最佳厚度与整个阴极膜层上的铯均匀性有关, 铯越均匀, 最佳膜层厚度越厚. 正因如此, 对采用同样的制作工艺制作的转移式阴极, 其最佳膜层厚度比采用非转移式阴极膜层的最佳厚度要厚, 因此转移式阴极可以获得更高的阴极灵敏度. 这说明多碱阴极 Na_2KSb 膜层的最佳厚度对不同结构的微光像增强器而言是不同的, 厚度越厚的阴极, 其阴极灵敏度越高. 而转移阴极与非转移阴极相比, 转移阴极的铯源与阴极面的距离更大, 铯原子密度在阴极玻璃表面的分布更均匀, 整个阴极面的光电流更能反映整个阴极面上 Na_2KSb 膜层的形成情况, 利用光电流控制碱金属蒸发的控制准确度更高, 阴极膜层中的钠、钾、铯三种元素的平均化学计量比更能接近 2 : 1 : 1, 因此最佳膜层厚度也能更厚. 对转移式阴极, 其最佳膜层厚度主要由光电子的逸出深度所决定. 所以阴极玻璃表面铯原子密度的均匀性直接影响到阴极 Na_2KSb 膜层的组份均匀性, 也影响到制作过程中利用光电流变化规律来控制蒸发源蒸发的准确度. 只有阴极玻璃窗表面上的铯原子密度分布均匀, 才有可能获得组份均匀的 Na_2KSb 膜层, 膜层中钠、钾、铯三种元素的平均化学计量比才能更能接近 2 : 1 : 1, 厚度才能更厚, 对长波光子的吸收才能更充分, 也才有可能获得较高的阴极灵敏度. 正因如此, 超二代像增强器均采用转移式阴极制造技术^[8-10].

4 结论

1) 对 Na_2KSb 膜层而言, 当其化学计量比达到 2 : 1 : 1 时, 其荧光强度最强, 同时荧光峰值波长也达到最大约 898 nm 左右. 当 Na_2KSb 膜层铯过量使化学计量比偏离 2 : 1 : 1 时, 其荧光峰值波长向短波方向移动, 同时荧光强度减弱. 因此通过荧光的测量, 可以判断 Na_2KSb 膜层的化学计量比是否达到 2 : 1 : 1 以及膜层中的铯是否过量, 另外通过测量阴极面上不同位置的荧光谱, 就可以测量 Na_2KSb 膜层在阴极面上的组份均匀性. 对非转移式阴极制作的像增强器, 其所达到的最佳膜层厚度取决于铯的均匀性, 而对转移式阴极制作的像增强器, 其所达到的最佳膜层厚度取决于光电子的逸出深度.

2) 在同样工艺条下, 铯在 Na_2KSb 膜层中的分布越均匀, 利用整个阴极面光电流变化来监控阴极膜层生长的方法对膜层中组份的控制也越准确, 同时整个阴极面上的钠、钾、铯三种元素的平均化学计

量比更加接近 2 : 1 : 1, 这样 Na₂KSb 膜层可以做得更厚, 对长波入射光的吸收更多, 阴极灵敏度也更高. 当铟在 Na₂KSb 膜层中的分布不均匀时, 不可能获得组份均匀的 Na₂KSb 膜层, 所以膜层不能做得厚, 对长波光子的吸收系数低, 也就不可能获得更高的阴极灵敏度. 转移阴极的阴极, 由于铟的均匀性较好, 阴极膜层可以做得更厚, 因此利用同样光电流监控的方法比在倒像式像增强器中能获得更高的阴极灵敏度.

3) 由于 Na₂KSb 膜层的组份均匀性对多碱阴极的灵敏度影响很大, 因此在微光像增强器的制造过程中, 要尽量使蒸发在阴极窗表面的铟原子密度均匀. 制作微光像增强器一般采用铟球作为蒸发源, 因此提高铟球的圆度、表面粗糙度、增大铟球距阴极窗表面的距离以及将阴极表面设计为球形将有利于提高多碱阴极的灵敏度.

参考文献

- [1] 常本康. 多碱阴极机理、特性与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [2] 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.
- [3] 叶宪曾, 张新祥. 仪器分析教程[M]. 2 版. 北京: 北京大学出版社, 2007.
- [4] 刘光华. 稀土固体材料学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1974.
- [5] LI Xiao-feng, LIU Ru-biao, ZHAO Xue-feng. Photoemission mechanism of multi-alkali cathode[J]. *Acta Photonica Sinica*,

2011, **40**(9): 1438-1441.

李晓峰, 刘如彪, 赵学峰. 多碱阴极光电发射机理研究[J]. 光子学报, 2011, **40**(9): 1438-1441.

- [6] GUO Hu. Cathode test application of integrated fluorescence in the third image intensify[J]. *Journal of Applied Optics*, 2000, **21**(6): 10-12.
郭晖. 积分荧光光测试在三代微光像增强器光阴极制作中的应用[J]. 应用光学, 2000, **21**(6): 10-12.
- [7] ZHOU Ji-jun, GAO Ping, YANG Zhi, et al. Influence of active-layer thickness on reflection-mode GaAs photocathode [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(6): 11112-11115.
邹继军, 高频, 杨智, 等. 发射层厚度对反射式 GaAs 光电阴极性能的影响[J]. 光子学报, 2008, **37**(6): 1112-1115.
- [8] LU Wen-feng, ZHOU Bin, LUO Jin-dong, et al. Fabrication of silicon-based micro pore array with large-area and high aspect-ratio by photo-electrochemical etching [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(2): 228-231.
吕文峰, 周彬, 罗建东, 等. 大面积高深宽比硅微通道板阵列制作[J]. 光子学报, 2012, **41**(2): 228-231.
- [9] YANG Wen-zheng, TIAN Jin-shou. Spatially resolved research of picosecond X-ray multiframes camera with gated microchannel plate[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(12): 2201-2214.
杨文正, 田进寿. 微通道板行波选通 X 射线皮分幅相机动态空间分辨率的优化[J]. 光子学报, 2007, **36**(12): 2201-2214.
- [10] XIA Zheng-rong, LI Rong-qing. Fluorescence enhancement of CdTe nanocrystals induced by Ag/TiO₂ core-shell nanoparticles[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(2): 166-169.
夏峥嵘, 李荣青. 银/二氧化钛核壳纳米颗粒对碲化镉纳米晶的荧光增强研究[J]. 光子学报, 2012, **41**(2): 166-169.

Component Uniformity Study on Na₂KSb Film of Multi-alkali Photocathode

LI Xiao-feng^{1,2}, LU Shing-lin², YANG Wen-bo², ZHAO Xue-feng²

(1 The Key Laboratory on Night Vision Technology, Xi'an 710065, China)

(2 North Night Vision Technology Co., Ltd, Kunming 650114, China)

Abstract: The measurement principle of fluorescence spectrum on Na₂KSb film of multi-alkali photocathode was described and three samples were measured in the position of different radius. The data result shows that the peak wavelength of fluorescence spectrum on Na₂KSb film from center to edge of the cathode surface gradually increases, and the peak fluorescence intensity gradually increased as well. The reason is that the antimony atom density of cathode surface from the center to the edge gradually reduces. When the antimony in Na₂KSb film exceeds stoichiometry required, the fluorescence peak wavelength shifts towards the short-wave direction, while the fluorescence intensity decreased at the same time. When the antimony in Na₂KSb film achieves stoichiometry required, the fluorescence peak wavelength reaches the maximum value, while the fluorescence intensity reaches the strongest at the same time. By fluorescence test one can judge whether the stoichiometry of Na₂KSb film reaches to the ratio 2:1:1 or not, in another words whether antimony in Na₂KSb film is overdose or not. In addition by measuring the fluorescence spectra at different positions of the cathode surface, we can measure component uniformity in the Na₂KSb cathode film. The more uniform antimony atom density is in the cathode surface, the more accurate the monitor method of film growth by measuring changes of the cathode photocurrent is, thus component uniform can be better, Na₂KSb film thickness can be thicker, long-wave absorption of visible light is more, the sensitivity of the cathode is higher. Therefore, during the manufacturing process of multi-alkali cathode of image intensifier, one has to make the uniform antimony atoms density on cathode window surface in order to achieve higher sensitivity.

Key words: Photoluminescence; Multi-alkali photocathode; Spectra; Photoemission