

(京)新登字054号

本书是论述多碱光电阴极的专著。全书共分九章,阐述了多碱光电阴极的结构、浅氧敏化、光学性质以及光谱响应,介绍了杂质与残余气体对光谱响应特性的影响,并对“超Ⅰ代”象增强器光电阴极的工艺理论、场助光电发射多碱光电阴极的理论进行了研究。

本书可供从事光电阴极研究的科研人员和工程技术人员、教师阅读,可作为大专院校研究生、本科生的专业参考书,也可作为从事光电阴极生产以及使用光电器件的有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

多碱光电阴极 机理、特性与应用/常本康著. —北京:机械工业出版社, 1995
ISBN 7-111-04663-3

I. 多… I. 常… Ⅲ. 多碱光电阴极-概论 W. TN103

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第00669号

出版人: 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑: 赵爱宁、贡克勤 版式设计: 冉晓华
封面设计: 郭景云 责任校对: 肖新民
责任印制: 王国光
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1995年6月第1版·1995年6月第1次印刷
787mm×1092mm¹/₃₂·7.5印张·163千字
001—500册
定价: 12.50元

目 录

前言

摘要

第一章	绪言	1
第一节	多碱光电阴极简介	2
第二节	多碱光电阴极研究现状	9
第三节	本书探讨的问题	15
第二章	多碱光电阴极结构的研究	18
第一节	碱金属前处理阴极基底作用的研究	18
第二节	多碱光电阴极的结构模型	27
第三章	多碱光电阴极浅氧敏化的研究	33
第一节	碱金属铋化物光电阴极浅氧敏化机理	33
第二节	多碱光电阴极浅氧敏化的初步研究	40
第三节	多碱光电阴极浅氧敏化的研究结果	44
第四节	P-NNa ₂ KSb-Cs ₂ O光电阴极	52
第四章	多碱光电阴极光学性质的研究	59
第一节	多碱光电阴极光学常数简介	59
第二节	多碱光电阴极的光学性质	61
第三节	多碱光电阴极光吸收系数的研究	65
第四节	用微弱信号检测技术研究多碱光电阴极	71
第五章	多碱光电阴极光谱响应特性理论的研究	82
第一节	多碱光电阴极光谱响应特性已有的理论研究成果	82
第二节	多碱光电阴极量子产额和光谱响应公式的理论推 导	89

VII

第三节	实用多碱光电阴极的光谱响应特性	93
第四节	S_{20} 光电阴极光谱响应特性的理论研究	97
第五节	S_{25} 与New S_{25} 光电阴极光谱响应特性的研究	104
第六节	New S_{25} 与LEP光电阴极光谱响应特性的研究	109
第七节	实用多碱光电阴极量子产额的数值计算	115
第八节	光电发射材料动态自动光谱测试仪的研究与应用	120
第六章	杂质与残余气体对光电阴极光谱响应特性的影响的研究	125
第一节	光电阴极与气氛的作用	125
第二节	杂质对光电发射的影响	132
第三节	残气成分的检测方法及结果	140
第七章	超Ⅱ代象增强器光电阴极工艺理论的研究	157
第一节	多碱光电阴极光学信息监控原理的研究	157
第二节	超Ⅰ代象增强器光电阴极成分控制原理的研究	170
第三节	用“四温三源技术”制备双碱光电阴极	178
第八章	场助光电发射多碱光电阴极的理论研究	188
第一节	场助光电发射多碱光电阴极的物理模型	188
第二节	场助光电发射多碱光电阴极的量子产额公式	195
第三节	多碱光电阴极光电发射入射光子能量、场强与量子产额的关系的研究	200
第四节	多碱光电阴极场助光电发射的试验研究	206
第九章	多碱光电阴极的应用	210
第一节	引言	210
第二节	多碱光电阴极在军用微光夜视器材中的应用	213
第三节	多碱光电阴极在摄影技术中的应用	219
第四节	多碱光电阴极在辐射探测中的应用	222
第五节	多碱光电阴极尚待开发的应用研究	222
参考文献		224

第一章 绪 言

1887年,当H.Hertz发现光电发射现象以来,光电发射取得了长足的进步。在光电成象领域,L.R.Koller和N.R.Campbell发现了Ag-O-Cs组合对可见和近红外范围具有很高的灵敏度,他们的发现导致了第一只红外变象管的问世^[1]。由入射光子照在光敏感的光电发射材料上,该材料吸收光子后把大部分电子激发到固体中远在真空能级以上的能级上,受激电子以最小的能量损失扩散到真空表面,越过势垒逸入真空,在电场作用下轰击荧光屏而发光,这种光子-电子相互转换的原理构成了现代夜视仪的理论基础。从30年代起,人们一直遵循这一理论从事光电成象领域的研究工作。

1955年,A.H.Sommer发现^[1],Cs-K-Na-Sb组合在整个可见光谱内具有比任何光电阴极材料都高的量子产额,并以此完成了第Ⅰ代和第Ⅱ代象增强器的研制,解决了1km以内从近紫外到1 μ m范围的被动微光观察问题。近年来,利用高灵敏度多碱光电阴极制备的“超Ⅱ代”象增强器^[2],在性能上接近以负电子亲和势光电阴极为光电面的第三代器件,在价格上优于第三代器件,因而极大地鼓舞了人们对多碱光电阴极的研究的兴趣。人们期待对多碱光电阴极进一步研究,使光电阴极光谱响应突破1 μ m,从而使仪器视距突破1km。

本章首先简单介绍多碱光电阴极,然后对多碱光电阴极的研究现状作一综合论述,最后概要介绍本书探讨的问题。

9510155

第一节 多碱光电阴极简介

一、多碱光电阴极的成分及标准工艺

多碱光电阴极本质上是由 Na_2KSb 构成基底层,然后在上表面覆盖铯和锑,可以使其在近紫外到近红外范围具有很高的光谱响应。目前,多碱光电阴极的标准工艺仍沿用A.H. Sommer给出的下述多步过程或其变种^[1]:

① 蒸锑,就像在单碱锑化物中一样,直到光的透射降到初值的70%左右,表明锑膜已具有所要求的厚度为止。

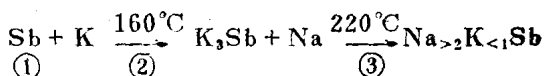
② 把锑膜在 160°C 左右暴露于钾蒸气中,形成 K_3Sb 阴极。

③ 在 220°C 左右把 K_3Sb 暴露于钠蒸气中。在这一步中, K_3Sb 中的钾逐步被钠所取代,但至今还不可能把这个取代过程停止在所要求的钠对钾的2:1比率上。因此,通常的做法是继续引入钠,直到光电灵敏度剧烈下降,表明钠过剩为止。在这个阶段,化合物可以用公式 $\text{Na}_{x>2}\text{K}_{<1}\text{Sb}$ 表示。

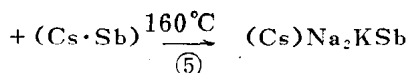
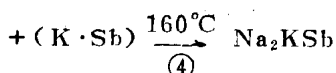
④ 为了恢复正确的钠、钾比率,在 160°C 左右交替地加少量锑和钾,直到恢复峰值灵敏度为止。依在第三步引入的过剩钠量的不同,可能需要多达50次或者更多次的锑-钾交替。这就完成了形成双碱化合物 Na_2KSb 的过程。

⑤ 如果要形成多碱光电阴极,则必须交替地加锑和铯,类似于第四步的锑-钾过程。锑-铯过程也在 160°C 左右进行,并且一直继续到达到峰值灵敏度为止。

整个过程可用下图以符号表示出来:



3010138



其中，②～⑤表示工艺步骤；①(K·Sb)表示钾和锑交替蒸发；(Cs·Sb)表示铯和锑交替蒸发。

Sommer指出，这些工艺程序存在许多变更，并且认为表浅氧化对多碱光电阴极是有害的。

二、评价光电阴极特性的参量描述^[3]

常用的光电阴极的光电参数，由光电阴极光谱响应曲线求得的有峰值波长 (nm)、峰值处最大量子产额 (%) 和红阈 (nm)(峰值的1%)，关于积分灵敏度 (μA/lm) 和热电子发射 (A/cm²)，可以由实验给出。下面我们对光电阴极特性参数作一简单描述。

1. 光谱响应特性

光电阴极的光谱响应特性是用来说明阴极响应的波长范围以及在该波长范围内阴极响应敏感度的变化。光谱响应特性决定着变象管的应用范围，对所传输图象的亮度以及对比度起决定的作用。通常，阴极的光谱响应曲线由所谓的“光谱灵敏度”来定义。

光电阴极的“光谱灵敏度”也叫“单色灵敏度”。阴极对某波长辐射的光谱灵敏度，用阴极对该波长的单色辐射通量所产生的光电流来表示。如在单色辐射通量 dP 的作用下，光电阴极给出的光电流为 dI ，则光谱灵敏度 ϵ_λ (mA/W)

$$\epsilon_\lambda = \frac{dI}{dP} \quad (1-1)$$

如果 ϵ_m 表示 ϵ_λ 的峰值，并使 ϵ_λ 对 ϵ_m 归一，则得到“相对光谱

灵敏度”。相对光谱灵敏度最大值为1，是一个无量纲的相对量。

有时也用“量子产额” Y_λ 来表征光电阴极的光谱灵敏度。它说明该光电阴极每接受一个波长的辐射量子所发射的光电子数目（电子/光子）

$$Y_\lambda = \frac{dI/e}{dP/(h\nu)} = \frac{h\nu}{e} \epsilon_\lambda = \frac{hc}{e\lambda} \epsilon_\lambda \quad (1-2)$$

式中， e 是电子电荷； h 为普朗克常数； c 为光速； λ 为入射光子波长。

图1-1给出了典型的多碱光电阴极光谱响应曲线。图中光电流标在纵轴上，对应于横轴上的辐射波长，可以一目了然地反映光电阴极的发射本领，比较实用。但在理论分析中常以量子产额曲线表示，这样在阈区能看到更多的细节。

2. 峰值波长

峰值波长（nm）是指在光电阴极光谱响应曲线中光谱灵敏度最大值所对应的波长。如图1-1所示，标准的多碱光电阴极的峰值波长在400nm左右。

3. 峰值处最大量子产额

峰值处最大量子产额（%）是指在峰值波长处，光电阴极每吸收一个光子所具有的发射电子的本领。以标准的多碱光电阴极为例，在400nm处，峰值最大量子产额为40%。

需要说明的是，影响多碱光电阴极峰值波长和峰值处最大量子产额最主要的因素是光电阴极制备工艺和光电阴极衬底材料的选择，并且峰值波长的位置可以通过理论研究和实验人为设计。

4. 红阈

光电阴极红阈（nm）是指光谱灵敏度曲线下降到峰值

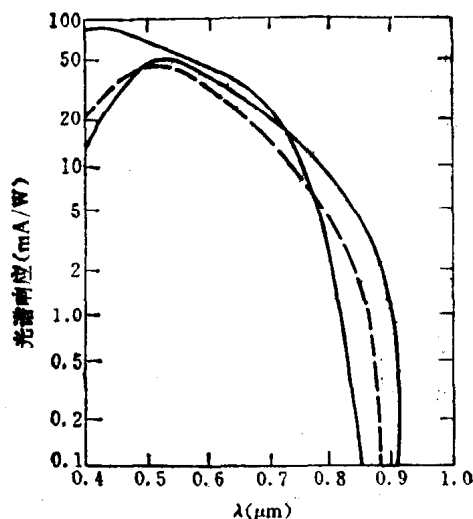


图1-1 多碱光电阴极典型的光谱响应曲线^[1]

灵敏度的1%时所对应的波长。对于标准的多碱光电阴极,红阈在850nm左右。

实用光电阴极红阈是表征光电阴极发射本领的一个重要参量。如能将多碱光电阴极的红阈移到 $1.0\mu\text{m}$ 以上,并能达 $1.24\mu\text{m}$,将可解决微光夜视仪的主被合一、微光与红外兼容问题。

5. 积分灵敏度

通常,辐射是由多种波长组成的,如果以 P_λ 表示在 λ 到 $\lambda + d\lambda$ 的微小波长间隔内单位波长的辐射通量,称为“辐射通量的谱密度”,显然在 $(\lambda, \lambda + d\lambda)$ 波长间隔中的辐射通量(即所谓的单色辐射通量)是 $P_\lambda d\lambda$,而包括所有波长的全部辐射通量

$$P = \int_0^{\infty} P_{\lambda} d\lambda = \int_0^{\infty} P_{\lambda} P(\lambda) d\lambda \quad (1-3)$$

式中, P_{λ} 是 P_{λ} 的峰值; $P(\lambda)$ 是 P_{λ} 对峰值 P_{λ} 归一的相对分布, 常用单位为 $W/\mu m$ 。

在该辐射通量下阴极给出的全部光电流

$$I = \int_0^{\infty} P_{\lambda} P(\lambda) \varepsilon_{\lambda} \varepsilon(\lambda) d\lambda \quad (1-4)$$

式中, ε_{λ} 是 ε_{λ} 的峰值; $\varepsilon(\lambda)$ 是 ε_{λ} 对峰值 ε_{λ} 归一的相对分布, 称为“相对光谱灵敏度”。

单位辐射通量所产生的光电流, 称为光电阴极对该种辐射的积分灵敏度 (mA/W)

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{\infty} P_{\lambda} P(\lambda) \varepsilon_{\lambda} \varepsilon(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} P_{\lambda} P(\lambda) d\lambda} = \frac{\varepsilon_{\lambda} \int_0^{\infty} P(\lambda) \varepsilon(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} P(\lambda) d\lambda} \quad (1-5)$$

需要注意的是, ε 除了取决于它本身的光谱灵敏度以外, 还与入射辐射的光谱分布密切相关, 同样一个光电阴极, 对于光谱组成的不同入射, 有着不同的积分灵敏度。

积分灵敏度的测试有两种表达结果, 一种是 mA/W , 另一种是 $\mu A/lm$ 。后一种被广泛沿用, 但它很容易引起误解和混乱, 不如前者直接和确切。但光度量容易测量, 所以通常以 $\mu A/lm$ 测量, 但可以同时与 mA/W 换算。

(1) 白光灵敏度

白光灵敏度是指光电阴极在 2856 K 色温钨丝灯的直接照射下, 单位辐射通量所产生的光电流的大小, 用式 (1-5) 表示, 单位是 mA/W , 它也可以转换成以 $\mu A/lm$ 表示的公式

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon_m \int_0^{\infty} P(\lambda) \varepsilon(\lambda) d\lambda}{680 \int_0^{\infty} P(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (1-6)$$

式中, $V(\lambda)$ 是人眼的视见函数。

多碱光电阴极白光灵敏度的典型数据是 $2 \sim 5 \text{ mA/W}$, 即 $100 \sim 250 \mu\text{A/lm}$ 。

(2) 红外灵敏度

早期的红外灵敏度, 是指光电阴极在加盖有标准透红外滤光片的2856 K色温钨丝灯的作用之下, 单位辐射通量所产生的光电流; 现在的红外灵敏度, 是指在单色辐射通量下所产生的光电流。

在红外延伸的多碱光电阴极测试中, 这种红外灵敏度的测试在实际器件中具有重要价值[2, 4]。

6. 热电子发射

热电子发射 (A/cm^2) 是指室温下在光电阴极处于工作状态而光电阴极面无辐射通量照射时的暗发射。对于标准的多碱光电阴极, 约在 10^{-18} A/cm^2 量级。

三、多碱光电阴极在信息科学中的地位与作用[5]

多碱光电阴极在信息科学中的地位和作用, 主要表现在夜视技术领域的地位和作用。夜视技术是研究在夜间低照度条件下, 用扩展观察者视力的方法实现夜间隐蔽观察的一种技术。它试图采用光电子成象的方法来缓和、克服上述的限制, 特别是克服人眼在低照度下以及在有限光谱响应下的限制, 以开拓人眼的视觉。

1934年, 在 L. R. Koller 和 N. R. Campbell 发明了 Ag-O-Cs 光电阴极后, 成功地制造了第一只主动红外变象管, 并

在第二次世界大战和朝鲜战争中获得应用。人们从主动红外夜视自然联想到，夜视技术可以从被动微光技术和被动红外技术两个方面发展。

被动红外技术非本书讨论的内容。被动微光技术包括直视微光象增强技术和微光摄像两个方面，其原理都是将在夜间或低照度下摄取的微弱光学图象通过象增强器或摄像器件转换成增强的光学图象或电子图象，以实现直接观察或间接观察。被动微光技术是1955年A. H. Sommer发明 Na_2KSb (Cs) 多碱光电阴极后，在60年代中期第一代象增强管问世才成为现实。70年代初，微通道板的出现，导致第二代象增强器问世，它在性能上比起第一极管有了长足的进步。

1965年，J. J. Scheer和Van Laar发表了“GaAs-Cs: 一个新型光电发射体”的著名论文^[6]，由于这种材料的电子亲和势为零或负值，从而造成量子效率高、暗发射小、电子能量分布和角分布集中、扩展长波阈潜力大等优点，致使Ⅲ-V族负电子亲和势光电阴极成为光电发射材料的主攻方向，并使具有负电子亲和势阴极的光电倍增管、光电管于1971年就已经商品化。

尽管从60年代后期起，光电阴极研究的重点是Ⅲ-V族化合物负电子亲和势光电发射材料，但制作第三极管涉及超高真空技术、表面物理技术、大面积高质量的单晶和复杂的外延生长技术，其难度大、造价高。与此同时，夜视工作者并未因为Ⅲ-V族阴极的出现而放弃了多碱光电阴极的研究，特别是近年来“超Ⅱ代”或“Ⅱ+”象增强器的出现，将提高光电阴极灵敏度作为提高第二极管性能的主要因素，已成为夜视技术研究人员的共识，在我国发展新一代的具有高灵敏度、高信噪比、高调制传递函数特性的第二代薄片管具有

现实意义，也是我国发展微光夜视值得重视的途径。

第二节 多碱光电阴极研究现状

多碱光电阴极研究，一般可分为两个方面，即基底研究和表面研究。所谓基底研究，是确定多碱光电阴极成分和晶格结构；所谓表面研究，即分析铯在多碱光电阴极中的作用。

一、基底研究

一般认为，性能良好的多碱光电阴极的主要成分是由 Na_2KSb 构成的 P 型半导体^[1]，并不排除阴极内存在少量的其它化合物，例如 Na_3Sb 、 K_3Sb 或 NaK_2Sb 等，Downman^[7] 等人的工作证实了这一点。

多碱光电阴极的第一个化学分析^[1]指出，在灵敏度最大的阴极中钠对钾的比率接近于 2，并且多碱光电阴极含有极少量的铯。Sheer 和 Zafm 及 Mc Carroll 的 X 射线衍射研究，无可争辩地证明了制成粉状的对应于化学计量公式 Na_2KSb 的 Na-K-Sb 化合物是一种结晶学上十分确定的材料，它具有立方晶格结构 (DO_3)。Mc Carroll 也研究了钠钾比率不同的材料，并发现立方相局限于很接近 2:1 的钠钾比。增加钾的含量时，得到 Na_2KSb 立方结构和 K_3Sb 的六角形结构；而增加钠的含量时，得到立方 Na_2KSb 与六角 Na_3Sb 的混合物。

为了验证用粉状材料求得的晶体结构是否也适用于薄膜光电阴极，Mc Carroll 和 Simon 用透射式电子衍射研究了光电阴极的晶体结构，该方法允许在光电阴极制备期间连续观察衍射图案，并证实了光电灵敏度最高的阴极由立方 Na_2KSb 构成。

关于多碱光电阴极膜层结构问题,一般认为是多晶结构。Mc Carroll研究了 $\text{Na}_2\text{KSb}(\text{Cs})$ 的晶粒大小,约为 $15\sim 17.5\text{nm}$,北京大学刘力滨等人所得结果为 $5\sim 35\text{nm}$,晶粒的排列方式,一般认为由 Na_2KSb 构成基底层,其中掺有其他碱锑化合物。Dolizy认为[8],阴极生长期间膜体内仅包含 Na_3Sb 、 Na_2KSb 和 K_3Sb 、 NaK_2Sb 晶粒的一种或两种相近的化合物,并认为 Na_2KSb 相在 Na_3Sb 相上外延生长, NaK_2Sb 相在 Na_2KSb 相上外延生长[9]。为了强调晶界的存在,薛增泉提出了多晶模型[10],其晶粒排布方式为“砖墙结构”,如图1-2所示。他们认为晶粒尺寸相等,并作规则排列,而在另外一篇文章中[11],他们又将砖墙模型简化为图1-3的形式。然而,Dolizy强调多碱光电阴极多晶特性时,又提到碱金属锑化物光电阴极的一个重要特性是晶体性质。为了获得高灵敏度,微晶必须大于膜内受激电子的逸出深度。阴极材料对光电子表现为单晶性质[8]。吴全德教授也多次提出“准单晶”结构,认为具有“准单晶”结构的多碱光电阴极,其积分灵敏度和长波阈均会得到改善。

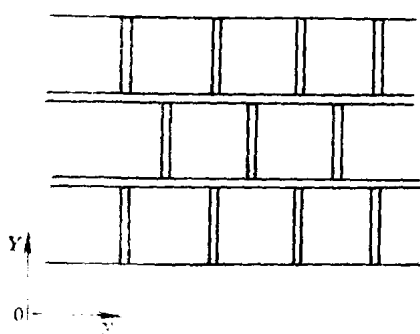


图1-2 多碱光电阴极晶粒排布模型^[10] (坐标是笔者加的)

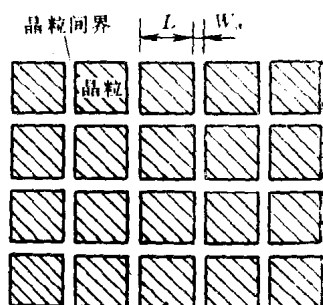


图1-3 多碱光电阴极多晶方砖模型^[11]

二、表面研究

Sommer指出^[1], Na_2KSb 的最大积分灵敏度为 $60\mu\text{A}/\text{lm}$, $\text{Na}_2\text{KSb}(\text{Cs})$ 阴极的最大积分灵敏度为 $300\mu\text{A}/\text{lm}$ 。众所周知, Na_2KSb 用铯、铽处理可得到 $\text{Na}_2\text{KSb}(\text{Cs})$ 。因此, 从多碱光电阴极发明以来, 铯在多碱光电阴极中的作用一直是人们关注的课题。

在长时间里, 都假定铯只有减少表面势垒的作用^[1], 这主要因为多碱光电阴极的光吸收及晶格结构似乎与 Na_2KSb 的相同。与此相反, Ninomiya^[12]认为铯与双碱阴极结合成体内化合物。

Kansky^[12]认为只要存在富铽化合物, 表面铯决不存在, 并且他假设合并成 Cs_3Sb 表面相。与此相反, Lindfors^[12]用俄歇能谱仪证明了表面铯和钠的存在。

Jones^[12]提出了不同范围具有不同化学成分的多碱光电阴极的概念, 并假设表面是 K_2CsSb 。Dolizy等人1977年报道了类似的模型, 认为多碱光电阴极是层状化合物, 基底是 Na_3Sb , Na_2KSb 覆盖在 Na_3Sb 上, 最外层是最后外延生长的 K_2CsSb 覆盖层^[8]。1980年, Dolizy^[9]修改了层状模型, 并用光学方法测量, 认为多碱光电阴极表面是薄于 0.8nm 的铯覆盖层。与此相反, Fischer测量了 Na_2KSb 与 K_2CsSb 的光谱响应后证明, K_2CsSb 与 Na_2KSb 相比具有一较短的截止波长。接近于截止波长, 多碱光电阴极的量子效率介于 $10^{-3}\sim 10^{-4}$ 电子/光子之间, 而单分子层的量子效率估计为 10^{-4} 电子/光子 (Allinson)^[12]。这意味着任何 K_2CsSb 表面膜必须是许多层单分子。如果存在这一尺度的单层, 是容易检测的, 但是Jones和Dowman提供的资料没有证明这一点。实际上已发现, 在研究中制备的最高灵敏度样品与劣等样品相比,

前者的 K_2CsSb 衍射更弱。

Mc Carroll等人^[12]用X射线衍射估计了铯含量接近于1%的碱金属含量，结论是建立在 Na_2KSb 和 $Na_2KSb(Cs)$ 晶格常数上存在差别（前者 $0.7727nm$ ，后者 $0.7747nm$ ）。后来他们为了获得这一结果，将样品在烘箱内退火，退火温度超过了进铯温度。再者，他们的制备工艺是引进铯再引进钾、钠，而不是按正常状态在工艺过程末引进铯。因此，所制备的不是典型的多碱光电阴极，且灵敏度和光谱响应方面没有报道，因而铯的体积效应是值得商榷的。

经典的化学分析（Hoene）^[12]给出了铯浓度是光电阴极全部重量的3%~7%，Garfield^[12]的微量天平工作给出了铯的含量超过阴极总重量的10%，并且他们所使用的仪器对于一个铯单层是灵敏的。

Holtom等人^[12]用俄歇能谱仪，采用氩离子蚀刻技术分析了 S_{20}/S_{25} 光电阴极表面，认为多碱光电阴极表面是一层铯偶极层。Galan和Bates^[13]使用X射线光电子能谱研究了 S_{20} 光电阴极，认为 S_{20} 阴极是 Na_2KSb 基底上覆有近 $3nm$ 厚的 K_2CsSb 和 NaK_2Sb 层，在其上存在铯。

薛增泉^[14]等人从多晶结构出发，猜测铯原子会沿晶界向体内扩散，因此铯不仅有表面作用，还有体积作用。

综上所述，关于多碱光电阴极表面模型，存在各种各样的说法，主要可归结为以下9个模型：

- 〔a〕 表面是几个分子层厚的 Ca_3Sb 层；
- 〔b〕 表面是 K_2CsSb 层^[15]；
- 〔c〕 表面是本征 K_2CsSb + 本征 Cs_3Sb + 表面铯^[16]；
- 〔d〕 表面仅是单原子铯层^[1, 12]；
- 〔e〕 表面是 $Sb \cdot Cs$ 偶极层^[12]；

- [f] 表面是薄于0.8nm的铯覆盖层^[9];
- [g] 表面是3nm厚的 K_2CsSb 和 NaK_2Sb 层^[12];
- [h] 表面是本征 K_2CsSb + 本征 Cs_3Sb ^[17];
- [i] 表面是 K_2CsSb + $Sb \cdot Cs$ 偶极层^[18]。

多碱光电阴极的表面电子亲和势也是目前的热门研究课题之一,一般认为它在0.25~0.55eV之间变化^[19],但也有人认为在其表面可获得零电子亲和势甚至负电子亲和势^[12]。

三、结构模型

所谓多碱光电阴极的结构模型,说穿了是阴极基底经铯、铋敏化形成的结构所遵循的模型。利用它可以解释一些工艺现象,还能讨论多碱光电阴极的主要性质。到目前为止,各国学者已经提出了各种各样的模型。由二可知,除[f]外,将[a]~[i]的表面模型覆盖在基底 Na_2KSb 上,就可以得到8种结构模型,而Dolizy提出的模型则是 $Na_3Sb + Na_2KSb + Cs$ 。经简单分析,这9种模型可以分成两类,即多晶结构模型和层状模型。

对多晶结构模型阐述比较清楚的是薛增泉^[20],他认为铯原子会沿晶界向体内扩散,具有体积效应,但图1-2沿x方向的扩散可能容易些,沿y方向就不那么容易了。图1-3对铯的扩散就相对容易了。

层状模型一般可解释为异质结结构,即由基底层 Na_2KSb 与表面层构成异质结。如前所述,基底层主要是 Na_2KSb ,且为P型,并且一致认为 Na_2KSb 是多晶结构,表面层则有多种模型。

四、多碱光电阴极的改进

从多碱光电阴极发明到现在,由于理论自身的不完善以

及相互矛盾,极大地阻碍了多碱光电阴极的发展。但由于多碱光电阴极是一种性能优良并具有发展潜力的光电阴极,所以使阴极研究更多地靠经验和机遇,具有很大的盲目性^[21]。

早期的对多碱光电阴极的改进是基于Spicer^[22, 23]提出的光电发射的三阶模型,降低每一阶段的能量损失。这必然引导人们考虑增加光吸收,例如适当增加阴极厚度,利用反射光的相消干涉和多次全反射,改善光电阴极的能带结构,降低光电阴极的表面势垒等^[24]。

在工艺研究中,一些新的改进的多碱光电阴极不断出现。例如 S_{20R} 、 S_{25} 、 $NewS_{25}$ 、 $Varo$ ^[25]和 LEP ^[8, 9]等。这些光电阴极在可见光和近红外范围有较高的量子产额,因而在光电成象器件中有其特殊的地位^[2]。从理论上研究并用适当的模型解释这些阴极,找出它们与 S_{20} 之间的内在联系,无疑有助于光电阴极的发展。

五、光电阴极的信息监控

光电阴极信息监控,主要指光电阴极生长过程中为获得最佳的光电发射所采用的监控方法。目前采用的主要方法有光电流监控法和研究与制备光电阴极的光学方法^[8, 9, 26, 27]。对于前者是简单易行的方法,技术熟练的操作者可以根据光电流和光电阴极薄膜颜色的变化来控制光电阴极膜层的生长,获得高量子效率的光电发射体。后者在光电阴极制备和研究中可得到更多的信息,如透射率 T 、前反射率 R_F 和背反射率 R_B ,可以求得折射率 n 、衰减系数 k 和膜层厚度 D 。由透射光和反射光测得的光电发射量子效率 Y_F 和 Y_B ,可确定光电子逸出深度 L 和逸出概率 P 。

光电流监控和光学方法结合起来,可以得到更多的信息,这对研究多碱光电阴极是有利的。Dolizy利用该方法制备的