

## 银氧铯光电阴极中银胶粒的作用\*

吴 全 德  
(北 京 大 学)

### 提 要

银氧铯阴极中银胶粒的作用是讨论此种阴极长波光电发射机理的关键。本文对文献中出现的对这种阴极中银胶粒的性质和作用的观点进行了分析和评述。评述是在“它的长波光电发射来自固溶小银胶粒”的观点上进行的,并认为这个观点是合理的。

本文对 Пахомов 等人的实验<sup>[10]</sup>作了介绍,并指出烘烤后红外灵敏度的增加是由于该阴极中因加热扩散而增加了小银胶粒,因为在固溶胶体系中用扩散办法来增加杂质原子浓度并不能使施主原子浓度增加(假定激活烘烤温度不变)。

本文还对这种阴极的红外光吸收和红外光电发射之间的关系进行了讨论。

### 一、引 言

文献[1]讨论了利用电子显微镜的覆型法和直接透射法可以研究银氧铯光电阴极的表面和内部的银胶粒和银颗粒的结构和分布。从照片可以看出,在这种阴极中存在大量的胶粒和一些颗粒,而且它们的结构和分布是变化多端的。在此基础上本文将进一步讨论这种光电阴极中银胶粒的作用。因为我认为:长期以来这种阴极的发射机理被认为是一个谜<sup>[2,3]</sup>,关键在于对胶粒作用的认识。

国内外文献中对银胶粒作用的想法大体可以分成如下三类:

(1) 认为这种阴极的光电发射在  $4000 \text{ \AA}$  以上的波长范围主要来自氧化铯层中的小银粒子<sup>[5-9]</sup>。这种看法与我们于 1963 年提出的“阴极的固溶胶理论”<sup>[6]</sup>的看法是一致的,但没有进一步展开分析讨论。后来 Uebbing 等人认为这种阴极的长波灵敏度高是由于银胶粒的多重反射和散射<sup>[7]</sup>。

(2) 认为这种阴极中的银胶粒只与  $4000 \text{ \AA}$  到  $5300 \text{ \AA}$  波长范围的光电发射有关,而与长波长区的光电发射无关<sup>[8]</sup>。

(3) 认为这种阴极中的银胶粒与长波光电发射无关,它具有高的红光及红外灵敏度是由于其它原因。例如半导体铯含氧银酸(oxoargentate)  $(\text{CsAgO})_2$  起重要作用<sup>[2]</sup>; Гурель 等人认为氧化铯层中含有化合物  $\text{Cs}_2\text{Ag}_2\text{O}_3$  并起重要作用<sup>[9]</sup>。

对于这些有争论的看法应该作进一步的分析和讨论。本文拟从“长波光电发射主要来自氧化铯层中的银胶粒”的角度出发,对以上文献进行评述。

\* 1978 年 6 月 23 日收到。

进入七十年代以后,由于制备方法的改进和实验室工作的进展,它的灵敏度有较大的提高,在美国杂志上已有报道,将 S-I 阴极的长波灵敏度提高三倍<sup>[2]</sup>,但没有透露它的制备工艺;在苏联杂志上,Пахомов 等人报道,它的长波灵敏度的提高超过五倍<sup>[10]</sup>,并简单报道了实验装置和实验过程. 本文将从发射机理的角度对 Пахомов 等人的实验进行讨论.

本文还对其他有关问题,例如氧化铯层的作用,进行了讨论.

## 二、银胶粒的作用

在过去的文献中,对银胶粒作用的看法,存在着明显的分歧. 前面已经提到这种阴极的发射机理被认为是一个谜,关键在于对胶粒作用的认识. 这里首先对胶粒的作用问题进行讨论.

### 1. 在离子晶体中金属胶粒的电学性质

1954 年 Ortusi 曾提出在热电子发射的氧化物阴极中,当激活之后能够形成金属胶粒<sup>[11]</sup>. 他假定这些钡胶粒像照像乳胶,是引力中心,可以吸引钡原子成团,这样电子从原子团离开的离化能减小. 他认为胶粒很小,起施主作用,它们的能级离导带底较近.

金属胶粒的固溶胶体系如图 1 所示,它们可以处于寄主媒质晶粒内部、晶粒表面或晶粒界面上<sup>[6,15]</sup>. 这种系统可以看成是金属粒子与半导体相接触的体系.

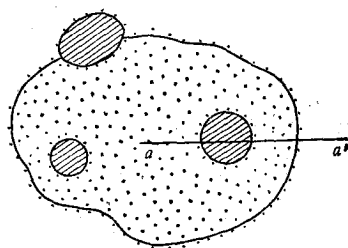


图 1 晶粒内部和表面存在胶粒的示意图  
带斜线的粒子是胶粒,黑点表示杂质

银粒与氧化铯半导体接触前的能带图如图 2(a) 所示. 当接触之后,半导体中的自由电子进入胶粒,而在胶粒周围形成正空间电荷层(也称耗尽层),如图 2(b) 所示. 达到平衡后的条件是两边的费密能级  $E_{FM}$  与  $E_{FS}$  一样高. 半导体的费密能级的位置是温度的函数,因此当温度改变时,进入胶粒的电子数也略有改变.

我们认为在银氧铯阴极中,银胶粒被  $n$  型氧化铯半导体所包围,在氧化铯层内胶粒周围的施主原子电离而带正电荷,胶粒本身带负电荷. 胶粒对周围的导带电子来说应是电子陷阱,而不应是 Ortusi 所说的施主.

对外来电子和氧化铯层中的导带电子来说,胶粒周围的正空间电荷层起阻滞场的作用,使这些电子减速或偏转(见图 2(b)).

必须区分杂质原子和施主原子这两个不同的概念. 杂质原子包括形成胶粒的原子、胶粒周围正空间电荷层的杂质原子、晶体中能起施主作用的原子、表面吸附原子和晶粒界面上的杂质原子等;而施主原子只指晶粒内能起施主作用的原子. 这样,杂质原子的浓度可以比施主原子的浓度大几个数量级.

如果在阴极中存在胶粒,则对导带电子有贡献的施主原子密度必然减少;这样,对热电子发射不利. 胶粒的存在对光电发射和二次发射有利. 因为金属胶粒中的自由电子经光子或初电子激发后,就容易穿过胶粒周围的位垒而进入氧化铯半导体层,再从表面逸出. 氧化铯层和 Cs 起到降低界面位垒和表面位垒的作用.

## 2. 银氧铯阴极的长波光谱响应

人们往往利用银氧铯阴极的红光和红外光谱响应, 因此它的长波光谱响应始终受到重视。有人把银氧铯阴极看成是一种杂质半导体<sup>[12-14]</sup>。他们认为这种阴极的长波光电发射来自氧化铯层中的铯杂质原子, 而表面铯吸附层的作用是降低了阴极的逸出功, 但这种看法与实验结果有矛盾。这个问题下面就要讨论。前一节已经提到文献中对银胶粒作用的想法大体可以分成三类, 现在对这三类观点进行评述。

### 1) 承认银胶粒对长波光电发射起作用

Борзяк 等人<sup>[5]</sup>发现在氧化铯薄膜上蒸银再加热处理可使长波灵敏度提高 30—100 倍, 它的长波响应也与平常的银氧铯阴极的响应差不多。如果认为长波灵敏度决定于氧化铯层中的铯杂质原子, 那么对氧化铯膜蒸银就不会增加它的长波灵敏度, 但事实并非如此。另一方面, 如果在液体空气温度下在氧化铯膜上蒸积银, 不仅不能增大灵敏度, 反而完全丧失灵敏度; 只有经过适当的热处理, 才能大大提高长波灵敏度。因此他们认为氧化铯覆盖的银粒子决定长波灵敏度。在文献 [1] 中, 已经讨论了在烘烤温度下银胶粒可以移入氧化铯层中, 因此热处理才能使灵敏度大大提高。Пахомов 等人说, 经过加最佳银量的氧化铯层与银氧铯阴极在性能(光电、电导、光学)上没有不同。它们的差别仅在于制备工艺<sup>[10]</sup>。

Sommer 重复了这些实验<sup>[3]</sup>, 他用蓝光和红外滤光片监视灵敏度的变化, 发现红外响应在超过某一最小银量后相当突然地出现, 而蓝光随银含量近似线性地增长。Sommer 在他的文章<sup>[4]</sup>和书<sup>[3]</sup>中经过仔细分析讨论之后, 也认为这种阴极的长波光电发射是由氧化铯覆盖的银小粒子贡献的。不过他称“胶粒”为小粒子。从他的书<sup>[3]</sup>中图 56 可以看到, 银量不足时就失去红光和红外光谱响应, 这也说明银量是关键, 而铯杂质原子并不决定长波灵敏度。

以上这些论点与我们在 1963 年提出的“阴极的固溶胶理论”<sup>[6]</sup>是一致的。

至于银胶粒怎样对长波光电发射起作用, Sommer 和 Борзяк 等人都没有进一步讨论。Uebbing 等人认为这种阴极的长波灵敏度高是由于银胶粒的多重反射和散射<sup>[7]</sup>。我

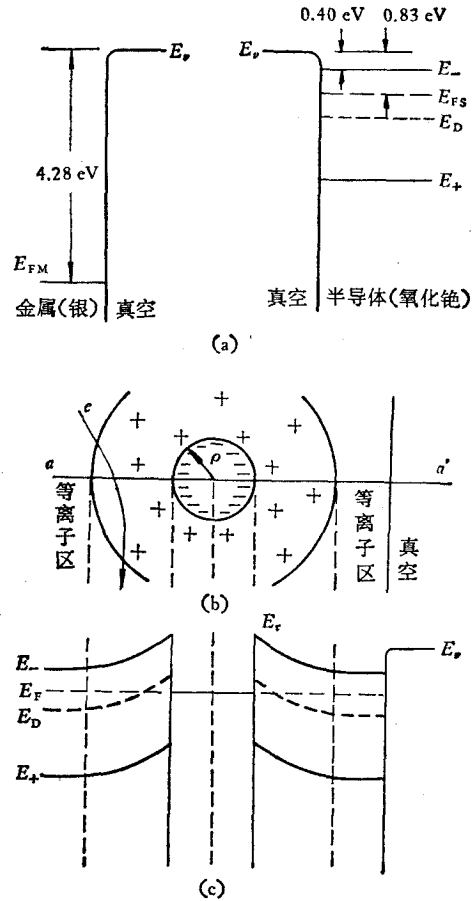


图 2

- (a) 金属银和半导体氧化铯能级图;  
 (b) 胶粒系统电荷分布的情况;  
 (c) 胶粒系统沿  $aa'$  线(见图 1)的位-能图

们认为银氧铯阴极比较薄而且是半透明的,加上胶粒又小,入射光一经散射就容易离开阴极,多重散射实际的可能性很小;因此用“多重反射”来解释为什么长波灵敏度高和有长波峰是有困难的。

2) 认为银胶粒只与 4000 Å 到 5300 Å 波长范围的光电发射有关 Пахомов 等人虽然也认为有银胶粒,但认为对波长  $\lambda$  在 4000 Å 到 5300 Å 范围内银胶粒才是光电发射源;而对波长  $\lambda$  在 0.6  $\mu\text{m}$  到 1.04  $\mu\text{m}$  之间光电发射来源于氧化铯层中的银施主杂质<sup>[9]</sup>。他们是从氧和增补银对银氧铯阴极特性的作用机理的研究得出这些结论的。但他们的论点仍然存在矛盾。例如,他们既认为表面层存在银胶粒(它们是波长  $\lambda$  在 4000 Å 到 5300 Å 范围的光电发射源),又假定在氧化铯层中存在宽度为 0.72eV 的银杂质能带(它提供波长  $\lambda$  在 0.6  $\mu\text{m}$  到 1.04  $\mu\text{m}$  范围的光电子)。从固溶胶粒的形成和生长规律<sup>[15]</sup>知道,如果氧化铯层中存在胶粒,则应有一个杂质原子的临界浓度,超过此值的杂质原子凝聚成胶粒。在胶粒生长后期,施主原子浓度可以近似地用杂质临界浓度表示。因此,当存在胶粒时就不能假定银杂质原子可以任意增加而产生杂质能带。又例如,他们在研究氧对银氧铯阴极的作用时认为,在 0.6  $\mu\text{m}$  到 1.04  $\mu\text{m}$  波长范围内的光电发射不能用氧化铯层中有银胶粒来解释,而可用银杂质带来解释<sup>[8]</sup>,认为是逸出功的减小和施主杂质浓度的下降这两种相反因素的影响所产生的。我们认为氧化铯层是  $n$  型半导体,在它的表面区内不会出现能带向下弯曲;在这种半导体内,首先与氧起作用的是铯杂质原子而不是银杂质原子。因此用氧与银杂质原子的作用和逸出功的减小来解释光谱发射特性的变化,这是值得商榷的。我们认为氧既可能与表面上的铯杂质原子起作用,使电子亲和势下降或上升(讨论见文献[22]);也可与银胶粒和氧化铯层界面上的铯杂质原子起作用,使界面位垒增大;也可与氧化铯层中的铯施主原子起作用,使铯施主浓度减小和费密能级相对于导带底能级的位置改变。这样,氧对光谱发射特性的影响是比较复杂的,但没有理由得出“不能用氧化铯层中有银胶粒来解释(长波光电发射)”。相反,我们已经从理论上计算了氧化铯层中等效银胶粒长波光谱发射特性<sup>[16]</sup>。因此可以认为这个光谱范围的光电发射不是来自分散相的银杂质带,而是来自凝聚相的小银胶粒。

3) 认为银胶粒与长波光电发射无关 据 Stahl 推测<sup>[2]</sup>,在这种阴极的发射中,半导体铯含氧银酸(oxoargentate)  $(\text{CsAgO})_2$  (即  $\text{Cs}_2\text{O} \cdot \text{Ag}_2\text{O}$ ) 起重要作用。但它与光电发射效应的关系还没有研究过,在这种阴极中是否存在这种物质也没有研究过。从氧化铯层加银可获得长波光谱响应来看,阴极中存在  $\text{Cs}_2\text{O} \cdot \text{Ag}_2\text{O}$  是没有根据的,因为 Ag 要夺取氧化铯中的氧才能形成  $\text{Ag}_2\text{O}$  和  $\text{Cs}_2\text{O} \cdot \text{Ag}_2\text{O}$ 。

Гурель 等人<sup>[9]</sup>不同意氧化铯层中有银原子杂质能带,并且认为铯杂质原子的浓度应该是非常小的;他们认为氧化铯层中含有化合物  $\text{Cs}_2\text{Ag}_2\text{O}_3$ , 这样在氧化铯层中出现  $\text{Ag}^+$  杂质能级和  $\text{O}_2^-$  杂质能带。他们是从化学热力学的分析提出这些看法的。

在电子显微镜的实验中已经看到,氧化银经铯还原后就出现银胶粒和银颗粒。因此  $(\text{CsAgO})_2$  或  $\text{Cs}_2\text{Ag}_2\text{O}_3$  会在银氧铯阴极中存在(以及它们的含量)还应有更直接的实验根据。

至于铯的各种氧化物问题, Sommer 的书<sup>[3]</sup>中已有讨论。此外, Weber<sup>[27]</sup> 报道了这种阴极中铯和氧的比例为 1.7 比 1; 而 Prescott 和 Kelly<sup>[28]</sup> 报道了比值为 2.1:1。在 Uebbing 等人的文章[7]中还介绍了 Heiman 的报告,该报告指出这种阴极层只有比 50 Å 还要薄

时才有好的化学比,更厚时找到氧化铯以外的氧化物。由此可见,这种阴极层的寄主材料应是以氧化铯层为主,但也可能含有其他铯的氧化物。

### 三、关于 Пахомов 等人的实验

由于红外技术的需要,人们总希望提高银氧铯阴极的红外灵敏度。Пахомов 等人的实验使长波灵敏度得到提高<sup>[10]</sup>,例如把波长  $\lambda$  为  $0.80\mu\text{m}$  的量子产额提高 5.4 倍。当波长  $\lambda$  为  $1.06\mu\text{m}$  时,灵敏度略小于目前红外灵敏度的 InGaAs-Cs-O 阴极;但当波长  $\lambda$  大于  $1.1\mu\text{m}$  时,它的灵敏度明显地高于 InGaAs-Cs-O 阴极和 InAsP-Cs-O 阴极的灵敏度,仍然是目前最灵敏的光电阴极(见图 4)。

下面对 Пахомов 等人的实验作简单介绍,并进行讨论。前面已经讨论过,Пахомов 等人认为银胶粒仅对  $0.4\text{--}0.53\mu\text{m}$  范围的光电发射有贡献。他们认为银氧铯阴极高的红外吸收是由于胶体银,因此降低光阴极的吸收而不降低红外灵敏度的可能方法是减少其中的胶体银。在此基础上能够提高光学加强的有效性,使红外灵敏度得到提高。光学加强是基于光波的多次内反射现象。对通常的银氧铯阴极,用此方法灵敏度提高不超过 1.5—2.5 倍。为了不降低红外灵敏度,不仅在氧化铯层中获得最佳的 Cs 和 Ag 杂质浓度,而且还要使氧化铯层达到最佳厚度。具体来说,他们采用胶体银含量比普通光电阴极少 10 倍的阴极,它的光吸收曲线如图 3 中曲线 3 所示。如果对这种阴极采用蒸银敏化的办法,那么光谱灵敏度可以提高,热发射也可以降低,但红外光吸收也增大到 50—60%,在阴极内形成新的胶核。这样也就达不到提高光学加强有效性的目的。他们采用另一种方法,即在含少量胶体银的光电阴极上蒸出具有  $2.5 \times 20\text{ mm}$  的阴极工作区的银边框,在阴极工作区内不能蒸上银。再用加热扩散的办法使银从边框进入阴极工作区。他们认为,

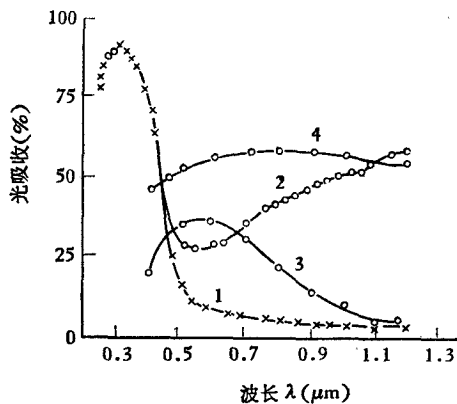


图 3 光吸收与波长  $\lambda$  的关系(引自文献 [10])

- 1——初始 Cs<sub>2</sub>O + Cs 膜;
- 2——加入银后;
- 3——带少量胶体银的 Ag-O-Cs 阴极;
- 4——通常的 Ag-O-Cs 阴极

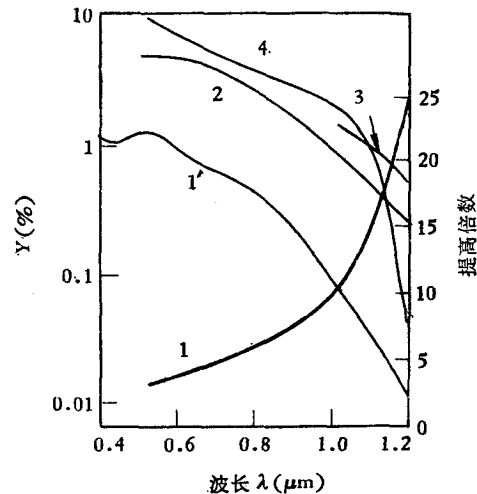


图 4

- 1——光学提高灵敏度倍数;
  - 1'——初始含少量胶体银阴极的量子逸出;
  - 2——前者带光学加强;
  - 3——同 2 但性能更好;
  - 4——InGaAs-Cs-O 阴极的量子逸出
- (引自文献 [10])

烘烤之后工作区的银杂质浓度增大,红外光谱灵敏度增大,但它的红外光吸收只增加2—3%。由于低的光吸收,能够有效地利用光学加强的方法来提高灵敏度。随着波长的增大,灵敏度(相对于S-I)提高得更多,例如波长 $\lambda$ 从 $0.8\mu\text{m}$ 改变到 $1.2\mu\text{m}$ ,灵敏度的提高从5.4倍增加到25倍,如图4中曲线1所示。

我们认为银氧铯阴极高的红外吸收是由于大银胶粒和银颗粒,它们对红外光电发射是没有贡献的。Пахомов等人所说的降低胶体银含量实际上是减少其中的大银胶粒和银颗粒。这样可以使红外光吸收大大下降,而不降低红外灵敏度。

Пахомов等人企图用扩散的办法来提高施主原子浓度,如果不提高烘烤温度,实际上是不可能的。因为阴极已是带少量胶体银的,那么扩散进来的银原子将脱溶而形成新的胶粒和使原来胶粒长大<sup>[15]</sup>。Пахомов等人的实验实际上是在阴极工作区增加小银胶粒,使红外灵敏度得到提高。

#### 四、银氧铯阴极的光吸收

由于银氧铯阴极的光吸收和光电发射之间缺乏明确的对应关系,这也是使它的发射机理引起争论的原因之一。不少例子说明它的长波光吸收没有明显的峰值,而它的光谱响应在 $8000\text{Å}$ 左右出现峰值。但也有实验发现这种阴极的吸收峰在波长 $\lambda$ 为 $1\mu\text{m}$ 左右<sup>[19]</sup>。造成这个现象的主要原因是在这种阴极中,小银胶粒、大银胶粒、银颗粒、银施主原子和铯杂质原子都产生光吸收,但只有小银胶粒对长波光电发射有贡献。胶粒是有选择性光吸收的,而且可以用Mie的理论来描述<sup>[16]</sup>。由于小银胶粒的银含量只占阴极中银含量的一小部分,因此光吸收和光电发射之间必然缺乏明确的联系。1976年Timan曾对

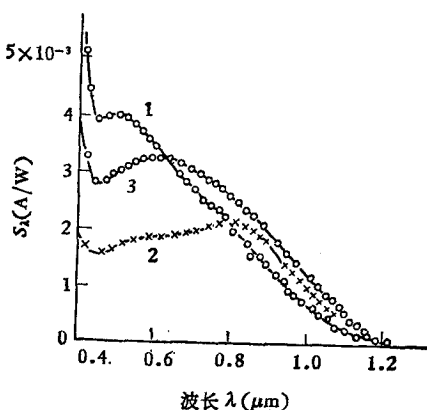


图5 Ag-O-Cs 阴极的光谱特性

- 1——初始带少量胶体银;
  - 2——通常 Ag-O-Cs 阴极;
  - 3——前者加入银后
- (引自文献 [10])

实用光电阴极的光学特性和光学常数进行测量<sup>[20]</sup>,其中包括银氧铯阴极。他假定阴极是均匀和各向同性薄膜,并认为即使对银氧铯阴极他所采用的计算公式仍然有效。他将测试结果用电子计算机处理,得出它的光吸收系数在 $8000\text{Å}$ 左右有明显的峰值。他的另一例,吸收峰在 $6000\text{Å}$ 左右。显然,银氧铯阴极不是均匀膜,因此对他的计算结果的有效性还须进一步研究。

上节介绍了 Пахомов 等人的实验,他们采用带少量胶体银的 Ag-O-Cs 阴极,他的光吸收曲线见图3曲线3。经过烘烤之后,光吸收曲线改变很少(只增加2—3%),但红外光谱灵敏度(见图5曲线3)基本上与S-I阴极差不多。将图3曲线3红外光吸收部份与图5曲线3的

红外光谱灵敏度部份加以比较,可以看出曲线基本上相似,可见它们有较好的对应关系;但在可见光部份这种对应关系差些。从这里可以看出:(1)降低胶体银含量,实际上是

尽量去掉大银胶粒和银颗粒; 这样对红外光电发射没有影响, 但红外光吸收却大为减小。(2) 比较图 5 中曲线 1 和 3 可以看出, 用扩散法使光吸收仅增加 2—3%, 但红外灵敏度增加较多。从光吸收的增加和相应红外灵敏度的增加来看, 小胶粒的光电发射效率还是比较高的。如果能够改进工艺, 使阴极中不形成大的胶粒, 那么它的灵敏度还有可能提高。

## 五、氧化铯层的作用

前面已经提到, 在银氧铯阴极中, 银胶粒的寄主媒质氧化铯层和铯杂质起到降低界面位垒和表面位垒的作用, 即既降低银胶粒与氧化铯层界面上的位垒, 而且氧化铯层的表面电子亲和势也较低 (约 0.4—0.5 eV), 有利于光电子逸出。根据 Uebbing 等人的实验结果<sup>[7]</sup>, 他们在金属银基底上制备不同厚度的氧化铯层再进行光电发射测量, 得出界面位垒为  $1.00 \pm 0.05 \text{ eV}$ 。他们是从量子产额的  $1/2$  次方对  $h\nu$  画曲线, 再将直线部分延长到量子产额而得出的。他们所用的最低量子产额数值约为  $10^{-6}$ 。在银氧铯阴极中, 量子产额的光电阈值约为  $10^{-4}$ 。如果在 Uebbing 等人的实验中也采用此值, 则界面位垒应为 1.4eV。如果是银胶粒, 则界面位垒应低于此值。

既然认为银氧铯阴极长波的光电发射来自银胶粒, 那么光电阈将受胶粒界面位垒所限制。按 Davey 的结果<sup>[21]</sup>, 这种阴极的光电逸出功为 1.06—1.08eV。这样, 将此值看成是小胶粒的界面位垒高度 ( $E_c - E_F$ ) 可以认为是合理的。而这种阴极的热逸出功为 0.85 eV<sup>[21]</sup>。

氧化铯层是  $n$  型半导体, 在室温下它的禁带宽度  $E_g$  为 2.0eV。因此它的价带电子对波长  $\lambda$  在 5000 Å 以上范围的光电发射是没有贡献的<sup>[3]</sup>。氧化铯层的铯杂质能级和表面吸附铯对长波光电发射是有贡献的, 但它们对光电流的贡献是比较小的。因此可以说此种阴极的长波光电发射主要来自氧化铯层中的银胶粒。小银胶粒对波长  $\lambda$  在 1.1  $\mu\text{m}$  以上的区域是没有贡献的, 但表面吸附铯和铯杂质对这个区域的光电发射还会有贡献。在银粒周围的正空间电荷层内, 杂质能级向上弯曲 (见图 2(c)), 在这些能级上的电子吸收较长波长的光子后仍可能产生光电发射, 但这些发射中心的浓度很小, 而且能级向上弯曲愈高, 电子存在于这个能级的几率愈小; 因此所发射的光电流也是很微弱的, 而且随波长的增大而减小。如果假定表面吸附铯上的电子存在于费密能级附近, 那么它们对波长  $\lambda$  在 1.5  $\mu\text{m}$  左右的光子仍可产生光电发射。总之, 对波长  $\lambda$  在 1.1  $\mu\text{m}$  至 1.8  $\mu\text{m}$  范围的光电发射可用氧化铯层中铯杂质和表面吸附铯对光电发射的贡献来解释。

## 六、结 束 语

本文主要讨论银氧铯光电阴极中银胶粒的作用, 因为讨论这种阴极的发射机理, 关键在于对银胶粒作用的认识。首先, 对离子晶体中金属胶粒的电学性质进行了分析, 认为金属胶粒是电子陷阱而不是施主。固溶胶粒的存在对热电子发射不利, 但对光电发射和次级发射有利。其次, 对文献中出现的对这种阴极中银胶粒作用的三种看法进行了评述。

这种评述是在“它的长波光电发射来自固溶小银胶粒”的观点上进行的。

在此基础上,对 Пахомов 等人的实验<sup>[10]</sup>作了介绍并进行评述。本文指出烘烤扩散银后红外灵敏度的增加是由于该阴极中增加了小银胶粒。

一般银氧铯阴极的光吸收和光电发射之间缺乏明确的对应关系是由于在这种阴极中,小银胶粒,大银胶粒、银颗粒、银施主原子和铯杂质原子都产生光吸收,但只有小银胶粒对长波光电发射有贡献。本文指出降低胶体银含量,实际上是尽量去掉大银胶粒和银颗粒,这样红外光吸收和红外光电发射之间就会出现较好的对应关系。

最后,对氧化铯层的作用作了简单的讨论。它的作用,一方面是降低界面位垒和表面位垒;另一方面是对 1.1 $\mu\text{m}$  到 1.8 $\mu\text{m}$  范围的光电发射有贡献。

以上这些分析和讨论为这种阴极系统的理论计算<sup>[16,22]</sup>奠定了基础。

### 参 考 文 献

- [1] 吴全德, 物理学报, **28**(1979), 553.
- [2] H. A. Stahl, *J. Appl. Phys.*, **43** (1972), 2002.
- [3] A. H. Sommer, *Photoemissive Materials* (1968).
- [4] A. H. Sommer, *VCA Rev.*, **28** (1967), 543.
- [5] П. Г. Борзяк, и др., *Изв. АН СССР, сер. физ.*, **20**(1956), 1039.
- [6] 吴全德, 第一次全国电真空器件专业学术会议文集(1964), 376.
- [7] J. I. Uebbing, et al., *J. Appl. Phys.*, **41** (1970), 4505.
- [8] М. Т. Пахомов, и др., *Изв. АН СССР, сер. физ.*, **35** (1971), 307; 612.
- [9] Б. М. Гугель, и др., *Рад. и элек.*, **22** (1977), 1466.
- [10] М. Т. Пахомов и др., *Рад. и элек.*, **20**(1975), 1985.
- [11] J. Ortusi, *Le Vide*, **52—53** (1954), 100.
- [12] S. Asao, *Proc. Phys. Math. Soc. Japan*, **22** (1940), 448.
- [13] Н. С. Хлебников, *Жур. тех. физ.*, **16** (1946), 745.
- [14] V. K. Zworykin and E. G. Ramberg, *Photoelectricity and Its Application* (1951).
- [15] 吴全德, 物理学报, **22** (1966), 1; 17.
- [16] 吴全德, 科学通报, **23** (1978), 410.
- [17] S. Weber, *Z. Angew. Phys.*, **19** (1965), 193.
- [18] C. H. Prescott et al., *Bell System Tech. J.*, **11** (1932), 334.
- [19] Н. С. Меламид и др., *Рад. и элек.*, **9**(1964), 1009.
- [20] Н. Тиман, *Revue Technique Thomson-CSF*, **8** (1976), 49.
- [21] J. E. Davey, *J. Appl. Phys.*, **28** (1957), 1031.
- [22] 吴全德, 本刊本期, 608.

## ROLE OF SILVER COLLOIDAL PARTICLES IN Ag-O-Cs PHOTOCATHODE

WU QUAN-DE

(*Peking University*)

### ABSTRACT

Since the discovery of Ag-O-Cs photocathode, its mechanism of photoemission has remained enigmatic. The role of silver colloidal particles is important for the explanation of photoemission in long wavelength region. This paper presents a general review of the role of silver colloidal particles in the literatures, such as experiments by ПЛОХОМОВ et al. We come to a conclusion that the photoelectric emission of Ag-O-Cs photocathode above 4000Å comes from small silver colloidal particles in the film of Cs<sub>2</sub>O.