

关于热电子发射理论的评述 (II) ——单原子层和偶极子理论*

张 恩 虬

提 要

本文对热电子发射中应用单原子层和偶极子理论作了分析和批判。我们认为:1. 单原子层的存在不是无条件的,它与基底的温度、结构、纯度和外界真空度都有关系;2. 关于时而能、时而又不能观察到的电子发射峰值,是一个有待于进一步明确的现象,不能简单地用单原子层和偶极子理论来解释;3. 吸附了外界原子或分子使电子发射增加的事实,并不是由于偶极矩降低了基底的逸出功,发射的电子来源于被吸附物质的价电子;4. 实验证明“L”阴极是 Ba-O-W 系统,它既不是单原子层,也不是单分子层,也不适用偶极子理论。

一、引 言

在热电子发射理论的发展初期,为了解释为什么敷钍钨阴极会比纯钨有高得多的电子发射,Langmuir 提出了单原子层和偶极子理论。就是说:一种原子或分子吸附在其它金属的基底上,所形成的偶极子使金属的逸出功下降。当吸附满一单原子层时,逸出功下降最多,即此时电子发射最大。这理论简单而明确,曾被大量文献所引用,在国际上广泛地流传^[1]。

然而随着热阴极实验的不断深入,暴露出单原子层和偶极子理论的许多矛盾。1957 年 Nergaard 提出单原子层并不存在的说法^[2]。1967 年 Dore 等人对偶极子理论作了批判^[3]。但是他们最后都用半导体模型来解释薄层发射现象。我们认为:半导体模型不适用于氧化物阴极^[4]。这就使问题变得更加尖锐了。究竟是单原子层偶极子理论呢?抑或是半导体理论呢?抑或是什么别的观点呢?这个问题需要进一步弄清楚。因为几十年来,人们对阴极研究得比较多,但用阴极的现有理论去指导实践,则未能得到预期的效果。为了使热阴极研究深入地发展下去,有必要对现有的理论来一个彻底的、全面的检讨。

单原子层和偶极子理论,二者是既有联系又有区别的。为了讨论方便起见,先分析偶极子理论。

二、关于偶极子理论

偶极子理论的一个基本要点,就是被吸附在基底的原子或分子本身并不参加电子发

* 1973 年 9 月 24 日收到。

射,只是它们所形成的偶极矩降低了基金属的逸出功,帮助电子从基金属逸出.因此,吸附后的逸出功改变 $\Delta\phi$

$$\Delta\phi = 4\pi nP, \quad (1)$$

其中 n 为每单位面积所吸附的原子数; P 为偶极矩. 所有数值,都采用 C. G. S. 静电单位. 由于实验所得的 $\Delta\phi$ 与 n 的对划线并不是直线,而呈现出一最低值,因而又提出偶极子之间互相去极化的观点. 就是说,当 n 增加时,偶极矩 P 有所下降. 当到达一个单层,或接近一个单层时,逸出功的下降最大.

首先从不同基金属上沉积 BaO, 看偶极子理论的基本观点是否与事实相符. 根据偶极子理论,在不同基底上沉积同一物质时,其逸出功应下降一固定的数值. 但从表 1 可以看出:不同的工作者,在几种基金属上沉积 BaO 之后,所得到的最低逸出功都比较相近. 它更依赖于被吸附物质的性质,而与基金属逸出功的关系却很少. 其次,沉积到约为一个单层时,逸出功并不是最低,它约为 1.9 eV, 而逸出功的最低值却在多层时出现. 这就和偶极子的理论有矛盾.

表 1 在不同基底上沉积 BaO 后的逸出功
(热电法测量)

基底材料	逸出功最低值 (eV)	BaO 的层数
Mo	1.0	10~30 ^[5]
Mo	1.0	8~9 ^[6]
Ta	1.0	10~30 ^[5]
Ta	1.2	8~9 ^[6]
W	1.1	10~30 ^[5]
Ni	1.27	27 ^[7]

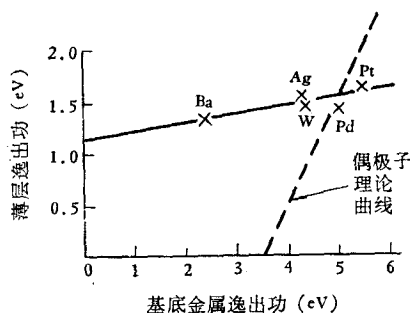


图 1 不同基底上沉积 BaO 后的光电逸出功

为了进一步验证上述结果, Dore 等人选择了五种逸出功相差较远的基金属, 沉积上 BaO 用光电法测量它们的逸出功. 结果如图 1 所示^[3]. 图中还给出 $\Delta\phi = 3.5$ eV 的理论曲线, 以资比较. 当基底的逸出功很小时, 与理论的差异就更明显. 这充分说明电子发射更强烈地依赖于沉积上的物质.

现在我们看看在不同材料, 不同晶面上沉积钡的情况. 沉积钡前后的逸出功和钡的吸附热见表 2. 从表中可以看出: 虽然不同晶面的 ϕ 相差很大, 但沉积钡之后, ϕ 的最低

表 2 不同材料和晶面沉积钡后的逸出功变化和吸附热

材 料	晶 面	基 底		沉 积 钡 后		吸 附 热 (eV)
		ϕ (eV)	A (A/cm ² K ²)	ϕ (eV)	A (A/cm ² K ²)	
钨(W) ^[8]	110	5.40±0.05	200	2.3±0.1	12~14	2.33±0.05
	112	4.80±0.05	70			4.72±0.05
	100	4.55±0.05	127			5.28±0.05
	111	4.42±0.03	130			4.49±0.05
钼(Mo) ^[9]	110	5.10±0.05	270	2.3±0.1	60	3.9~4.0
	100	4.40±0.05	230			
	111	4.15±0.05	140			

值都下降到 2.3 eV. 从吸附的角度来看, 钡在各晶面上的吸附热相差也很大, 说明吸附的情况并不一样. 如果是偶极子吸附的话, 则偶极矩应该不一样. 可是从表 2 中计算出的 $\Delta\phi$, 却与吸附热毫无联系. 实验结果表明, 偶极子理论本身也不能自圆其说.

Дикова 等人在不同的钨晶面上沉积钍^[10]. 在沉积前, $\phi_w(110) = 5.30 \pm 0.06$ eV, $\phi_w(111) = 4.40 \pm 0.02$ eV, 沉积钍之后, 两个晶面的最低逸出功都是 3.4 eV, 和纯钍的 3.3 eV 极近. 这再一次说明, 对于原子量较重的钍的情况, 电子发射能力更强烈地依赖于被吸附物质的性质.

从热电子发射的更广泛的实践来考虑, 实用热阴极有碱土的、镧系的和含钍的. 这几种类型的热阴极都有一个共同的特点, 就是都有具有高能价电子的元素, 即电离能比较低的. 由此可以推断, 高能价电子是提供热电子发射的源泉. 镧系元素的价电子的情况相似, 所不同的在于内层电子. 因此无论它们的氧化物、硼化物、难溶盐等, 电子发射能力都是差不多的^[11]. 这证明价电子的确起着主要作用. 这些事实都和偶极子理论的基本观点不符.

三、关于单原子层

单原子或单分子层的基本观点有二: (1) 被吸附的原子在基底上是按单个均匀地排列的; (2) 当吸附至一单层时电子发射最大, 或逸出功最小 (以下简称峰值). 从被吸附原子的大小与基底晶面的合理排列, 算出每单位面积的原子数; 以及用热电子发射达到最大值时所测得的每单位面积的原子数, 均列于表 3 中. 这些数据符合不算太好, 但总算是支持了单原子层的观点. 还要声明: 对于符合得比较好的铯的情况, 没有出现峰值. 虽然原子的数目是差不多了, 但是否都按单层排列, 仍然没有得到证实.

表 3 各种元素在钨基底上的吸附密度

元 素	按 几 何 尺 寸 计 算		按 热 电 发 射 达 到 峰 值 时 测 得	
	密度(个/cm ²)	方 法	密度(个/cm ²)	方 法
Th	7.1×10^{14}	吸附在(110)面上 ^[13]	4.2×10^{14}	600 层, 高灵敏度天秤, 多晶基底 ^[13]
Ba	4.9×10^{14}	按晶格常数计算 ^[12]	3.31×10^{14}	化学定量, 极谱法多晶基底 ^[14]
Sr	5.04×10^{14}	吸附在(100)晶面 ^[15]	4.89×10^{14}	压延带, 基本上是(100), 放射性同位素法 ^[14]

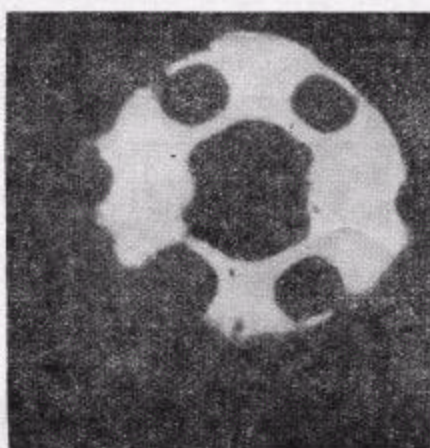
关于峰值, 凡是用 Becker 法^[16]测量蒸钡有经验的人, 都可能遇到不出现峰值的情况. 在我们的实验室中, 也不只一次地遇到过不出现峰值. Дюбуа 和 Попов 在钨上沉积钡, 发现当真空度高于 5×10^{-9} 托, 就不出现峰值, 他们的基底温度为 1150 K^[17]. Зингерман 和 Ищук 曾将钨基彻底清淨, 并将钡的沉积源加强老练去气, 则在基底为室温或高温时沉积钡, 都不出现峰值^[18]. 王宁和陈其略则发现, 当真空度低于 5×10^{-6} 托或高于 1×10^{-7} 托时都不出现峰值, 只有真空度在 $5 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$ 托之间时才可能出现峰值^[14]. 以上结果给人这样的印象: 氧气在峰值中起着作用. 但 Тишин 和 Царев 将钨基底加温至接近熔点去气, 用质谱仪监视钡源的清洁度, 使其 BaO 含量小于 0.1%, 发现在真空度为 2×10^{-9} 托时, 仍屡次出现峰值. 但在钨带上烧结上钨粉, 或将钨带短期加热至熔点, 使其

表面粗糙,就观察不到峰值.他们认为:不出现峰值是表面粗糙不能形成单层的结果^[19]. Schmidt 以场发射的方法来研究在钨尖上沉积钼的峰值曲线,他用磁场将不同晶面的发射电流偏转到一个固定的收集极上,用电子计算机来求不同覆盖度和逸出功下降的关系.发现在(110)面上有明显的峰值,在(211)也有峰值,而在(111)则峰值不明显,但(100), (221)两晶面则未能观察到峰值^[20].此外,文献[14,17]都曾观察到出现双峰.这里暂且不去深追峰值的根源.仅从上面实验结果的混乱情况看,至少不能认为:到达单原子层时发射最大的观点,在科学上已经普遍地确立了.

Becker 用场发射显微镜在钨尖上沉积钼至 $\phi = 2.1$ eV 时为一单层,再沉积钼则 ϕ 又回到 2.5 eV.当小于一个单层时,电子发射主要来自钼的原子团,原子团约为圆形,直径在 40—200 Å,如图 2(d), (e) 所示.在 600—1000 K 之间,原子团有热骚动,其骚动距离可达一个半径的大小.有时一原子团消失,而附近另一原子团产生.在 600—700 K 之间,徙动(migration)只限于从(211)晶面到(111)晶面,当温度为 800 K 以上,钼在钨尖上的晶面都可以徙动.当钼量大于一个单层时,原子团的直径增大到 200—600 Å, [参看图 2(f)]. 当温度为 1050—1600 K,钼开始蒸发而最后回到纯钨的图象.徙动和蒸发过程如图 3 和图 4 所示^[21]. Макуха 和 Царев 对吸附原子和基底材料作了更广泛的研究.他们用场发射的方法测量逸出功随沉积时间变化的曲线.钼、铌、钽在钨上,钼、钽在铌上,钼在钽上, $\phi = \phi(t)$ 均未见有峰值.从所发表的沉积 1/30—1 单层的图象看,电子发射肯定是不均匀的^[22].以上的实验结果,都不支持吸附原子是单层均匀排列的观点.

关于 BaO 的排列, Кирсанова 等人提出两相吸附的观点.在结构松弛的(100)和(113)钨晶面上, BaO 不单只在表面的钨原子上吸附,当温度 > 800 K 时,氧可以深入到第二层钨原子的表面^[23].如果这个观点是正确的话,那就不是单分子排列了. Russel 和 Eisenstein 用电子衍射法来观察 BaO 沉积在镍基底上的结构,得到如图 5 的照片.图 5 中 I 型为镍的劳厄斑.当沉积 BaO 又加热至 800 K 以后,就出现 BaO 的微晶结构,如图 5 中 II 型所示.但 BaO 在含钨的镍基底上,则出现比较明显的图象(见图 5 中 III 型),说明晶粒大于 100 Å.当 BaO 沉积时基底温度 < 450 K,或者加温至 > 1070 K, BaO 的微晶消失而呈无定形态(见图 5 中 IV 型). BaO 多到 20—50 层之间时,阴极的发射能力可与工业上的氧化物阴极相当^[7]. Городецкий 和 Мельник 用低能电子衍射研究 BaO 在钨(110)晶面上的图象.发现蒸上一单层后于室温时为无定形态,加热至 850 K 后,转化为有秩序的排列,8 个钨原子占有一个 BaO,继续加热至 > 1300 K,又转化为无定形态.当厚度为 5—20 层时,加热至 1000—1100 K,形成面心正方形的 BaO 晶体.加热至 1200 K,出现新的结构,其晶格常数为 8.6 Å,判定为 Ba_3WO_6 ^[24].从上面的结果看, BaO 因温度而成无定形态、微晶、甚至与基底起化学作用,情况是复杂的,不能简单地用单分子来说明.

根据上述实验数据加以分析:在高覆盖度和基底温度处于热阴极的工作温度范围内,被吸附的原子或分子都不是均匀排列,而是聚结成原子团或微晶粒.关于沉积活性物质时所出现的电子发射峰值,一些工作者观察到,而另一些工作者则未观察到;在同一实验中,在某些真空度范围内观察到,而在另一些真空条件下又观察不到;同一实验中,在一些晶面上沉积钼能出现峰值,而在另一些晶面上则不出现峰值,看来氧气的存在,基底的性质,都在起作用;不像单原子层和偶极子理论所预料的,沉积靠近一单层时则电子发射达



(a) 未沉积银, 钨尖在 1430 K 清淨三分钟
 $V = 8500V, i = 30\mu A$



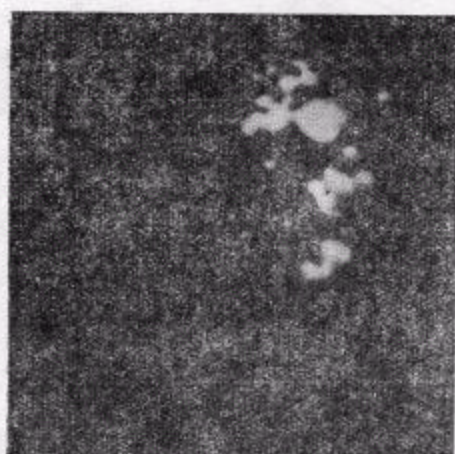
(b) 银源通电流 2.4 A 加热 1 分钟
 $V = 5000V, i = 70\mu A$



(c) 银源通电流 2.4 A 加热 2 分钟
 $V = 3370V, i = 50\mu A$



(d) 银源通电流 2.4 A 加热 3 分钟
 $V = 3150V, i = 50\mu A$



(e) 银源通电流 2.4 A 加热 5 分钟
 $V = 3000V, i = 50\mu A$



(f) 银源通电流 2.4 A 加热 7 分钟
 $V = 3100V, i = 50\mu A$

图 2 在钨尖上沉积银时的图象
 图例中横线上是看图象前的处理条件, 横线下是照象时的场发射条件



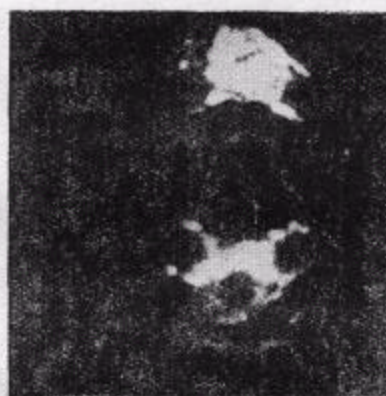
(a) 钨尖 800K, 6.5 分钟, $V = 2400V$
 $V = 2800V, i = 50\mu A$



(b) 钨尖 940K, 5 分钟, $V = 0$
 $V = 2650V, i = 50\mu A$



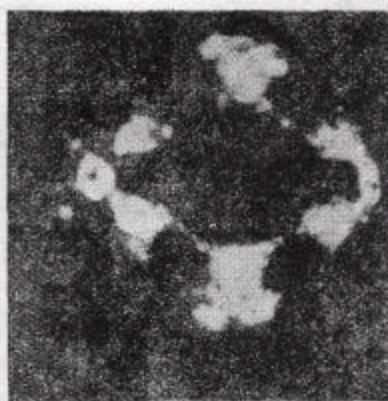
(c) 钨尖 1045K, 5 分钟, $V = 0$
 $V = 2800V, i = 50\mu A$



(d) 钨尖 1130K, 5 分钟, V 变化的
 $V = 2850V, i = 50\mu A$

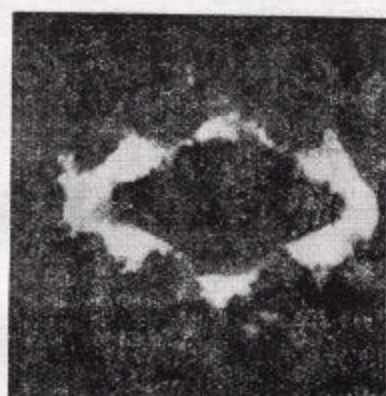


(e) 钨尖 1210K, 5 分钟, $V = 0$
 $V = 3250V, i = 50\mu A$

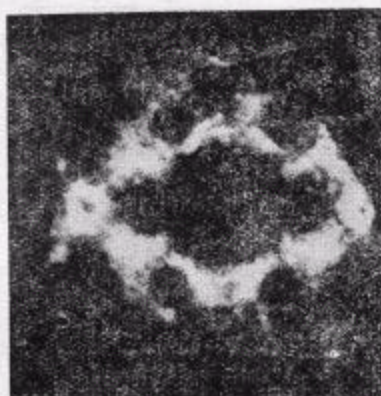


(f) 钨尖 1275K, 6 分钟, $V = 0$
 $V = 4400V, i = 50\mu A$

图3 (a), (b), (c) 是钡在钨上的蒸发情况; (d), (e), (f) 是钡在钨上的蒸发情况
 图例中横线上是看图象前的处理条件, 横线下是照象时的场发射条件



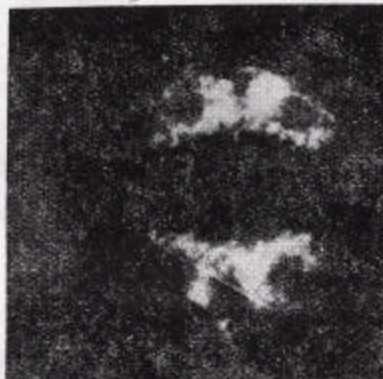
(a) 钨尖 1330K, 5 分钟, $V = 0$
 $V = 5000V$, $i = 50\mu A$



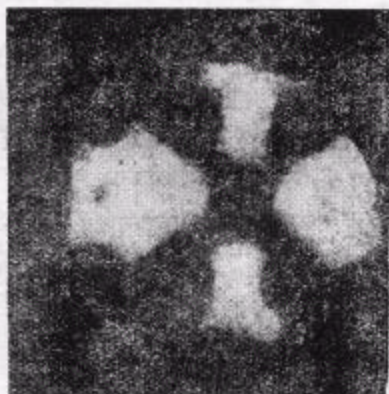
(b) 钨尖 1380K, 5 分钟, $V = 0$
 $V = 6000V$, $i = 50\mu A$



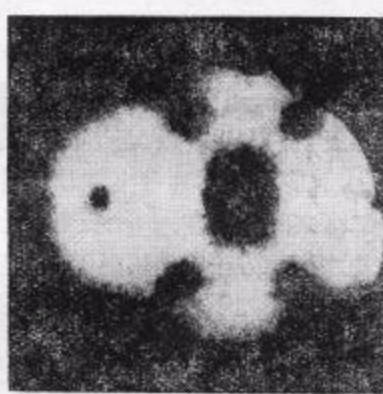
(c) 钨尖 1430K, 5 分钟,
 $V = 7130V$, $i = 70\mu A$
 曝光时间为其它照片的 1/2,



(d) 钨尖 1515K, 5 分钟, $V = 0$
 $V = 8350V$, $i = 70\mu A$
 曝光时间为其它照片的 1/2



(e) 钨尖 1670K, 3 分钟, $V = 0$
 $V = 9250V$, $i = 27\mu A$



(f) 钨尖 2200K, 1 分钟, $V = 0$
 $V = 9000V$, $i = 30\mu A$

图 4 (a), (b), (c), (d), (e) 是钨在钨上的蒸发, (f) 是钨尖加高温洁净复原
 黑线上是看图象前的处理条件, 黑线下是照象时的场发射条件

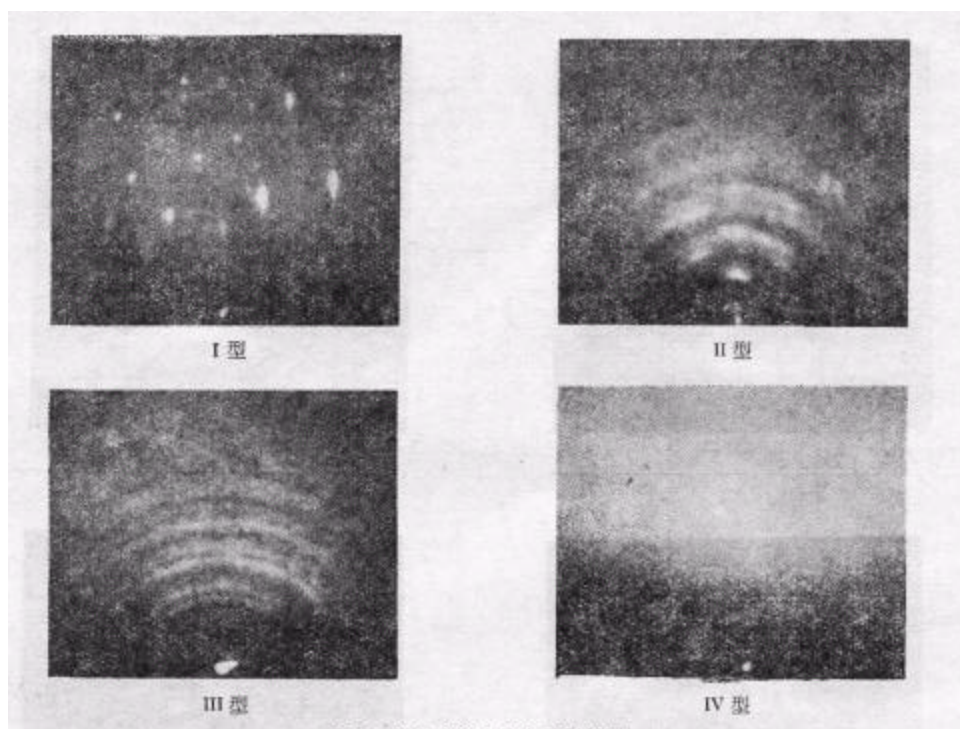


图5 BaO 在镍上的电子衍射图

到最大那样简单。再从实用热阴极的广泛实践看,经过活化的表面所到达的最低逸出功,强烈地依赖被吸附物质的性质;而原来基底的逸出功,则退居于极其次要的地位。由此可以推断,并不是吸附物质形成偶极子,因而使表面位垒下降;而是被吸附物质中的高能价电子,直接参加了电子发射。这样的观点与较多的实验数据相符合。

四、“L” 阴 极

我们讨论单原子层和偶极子理论的目的,是为了改进实用阴极的性能。因此在经过上面的讨论之后,还要结合实用阴极来加以考察,才能使结论完整。“L”阴极曾被认为是单原子层发射的实用阴极,是 Ba-W 系统^[25]。现将它的逸出功列于表 4 中。比较表 1, 2, 4 中逸出功的数值,不难看出,“L”阴极既不是 Ba-W 系统,也不是 BaO-W 系统,而是处于介乎二者之间的状态。Rittner 等人在“L”阴极的蒸发物中发现有大量的 BaO。他们是用先放进水汽的办法定出超额钡,然后用酸滴定法和极谱法定总的钡量,从而计算 BaO 的含量。其结果列于表 5。表中给人以印象:孔度小的阴极, BaO 的百分比反而高些^[27]。

表 4 “L” 阴极的里查孙逸出功

逸 出 功 (eV)	A 常 数 (A/cm ² K ²)	1000°C 时的电流密度 (A/cm ²)
1.5	2.3	4.4 ^[26]
1.65	12	5.8 ^[26]
1.67	2.5	0.94 ^[27]

表5 “L” 阴极蒸发物的测定

海绵钨孔度	超额钡含量 (mg)	总的钡含量 (mg)		BaO 含量分子 %
		极谱法	酸滴定法	
28%	0.62	0.95	0.93	34
	0.24	0.36	0.36	33
	0.30	0.52	0.55	44
	0.37	0.67	0.64	44
17%	0.46	0.91	1.00	52

表6 用叠氮化钡填充的“L” 阴极的蒸发, 海绵钨重量 75mg, 工作温度 1010°C

放入的 BaN ₃	其中的钡量 (mg)	蒸发物的钡量 (mg)		其中的超额钡 (mg)	蒸发物 BaO 中的钡 (mg)
		酸滴定法	极谱法		
9.9	6.1	6.0	6.1	5.2	1.0
3.6	2.2	2.12	2.18	1.32	0.9

为了找出 BaO 的来源, Rutledge 等人用叠氮化钡放入小室中, 先不覆盖海绵钨而测量其蒸发物, 证明此时蒸出来的完全是钡。然后再盖上海绵钨再测蒸发物, 其结果列于表 6。从表中可以看出: 不管放进小室中的 BaN₃ 多少, 蒸发物中 BaO 里的钡量都是差不多的, 说明氧是由海绵钨中而来。因为在海绵钨的工艺制备中, 没有经过高温真空去气^[28]。

为了进一步探讨“L” 阴极表面的性质, Rittner 等人又回到钨丝上沉积钡的实验^[27]。经过彻底清浄的钨丝, 其逸出功为 4.55 eV, 并且可以维持一天以上。三种发射体的里查孙直线示如图 6。从图中可以看出: 先经氧化而后沉积钡的钨丝, 其发射水平和逸出功都和“L” 阴极相差不远, 而清浄的钨基上沉积钡的发射水平则差得多。说明“L” 阴极的表面是 Ba-O-W 系统。Зингерман 和 Солтык 研究过氧气对“L” 阴极的中毒。发现氧的作用除一般地使发射下降以外, 在个别情况下, 将氧抽走后, “L” 阴极的发射竟超过放氧前的水平。另外还遇到, 当放氧进入系统后, 发射先有微小的上升, 然后再下降。他们认为, 上述现象都是“L” 阴极的表面应为 Ba-O-W 系统的表现^[29]。Марчук 从蒸发的角度考察“L” 阴极发射面的性质, 发现钡从清浄的钨基上的蒸发速度比从“L” 阴极面的大得多, 因而也推断“L” 阴极可能是 Ba-O-W 系统^[30]。

Ba-O-W 系统和 BaO-W 系统是不同的。后者是 BaO 作为整个分子而吸附在钨上, 但在 Ba-O-W 中, 钡和氧在数量上不必完全相等, 而在化学上, 钡和氧也不必都成为离子键。两者之间的逸出功, 也有明显的差别(见表 1 和表 4)。既然上面的实验都证明“L”

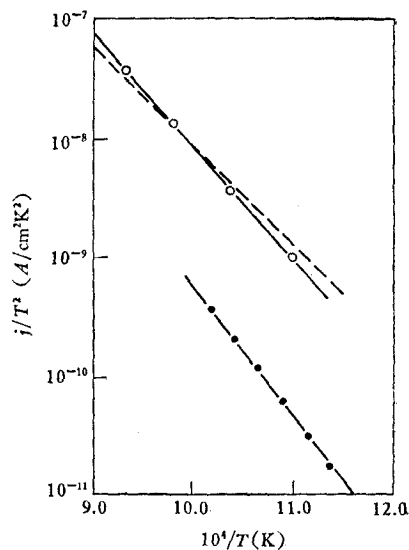


图6 里查孙直线的比较
 “---”代表“L” 阴极 $\phi = 1.67\text{eV}$ 。
 “○”代表氧化钨上沉积钡 $\phi = 1.91\text{eV}$ 。
 “●”代表清浄钨上沉积钡 $\phi = 2.18\text{eV}$

阴极是 Ba-O-W 系统,那么它既不是单原子,也不是单分子,更不适用单层偶极子的理论.

五、小 结

现将对单原子层和偶极子理论的看法小结如下: 1. 单原子层的存在是有条件的; 2. 在热阴极工作的范围内,即高温、高覆盖度时,吸附原子的排列依赖于基底温度、基底结构、基底纯度、真空度等,需要作细致的分析,不能简单地使用单原子层的概念; 3. 对于时而能、时而又不能观察到的电子发射峰值,这样的实验结果不能用单原子层和偶极子理论来解释; 4. 并不是偶极矩降低了表面位垒而提高电子发射,发射的电子来源于吸附物质中的高能价电子.

我们曾提出表面发射中心的观点^[4]. 这个观点和单原子层偶极子理论是不同的. 前者认为吸附的原子团提供发射的电子,而基底的作用不过是补充已发射的电子;后者认为是吸附的原子或分子降低了基底的逸出功. 前者要求比较复杂的原子集团,例如包括有钡,氧,以及其它一些辅助性的原子,在合适的结构中使集体动态场的分布有利于电子的逸出;后者则是单原子或分子在起作用. 前者认为发射中心的形成需要多方面的条件,因而发射的不均匀性在数微米甚至数十微米;后者则认为发射是比较均匀的、其不均匀性只有埃的数量级.

研究这个发射中心的性质和它的形成条件正在进行中.

参 考 文 献

- [1] Л. Н. Добрецов, М. В. Гомоюнова, Эмиссионная электроника, Изд. «Наука» (1966), 178.
- [2] L. S. Nergaard, *ECA Rev.*, **18** (1957), 486.
- [3] B. V. Dore, D. V. Geppert, R. S. Muller, W. E. Spicer, *J. Appl. Phys.*, **38** (1967), 3351.
- [4] 张恩虬, 物理学报, 本期 (1974), 341.
- [5] G. E. Moore, H. W. Allison, *Phys. Rev.*, **77** (1950), 246.
- [6] S. Narita, *J. Phys. Soc. Japan*, **9** (1954), 23.
- [7] P. N. Russel, A. Eisenstein, *J. Appl. Phys.*, **25** (1954), 954.
- [8] У. В. Азизов, Г. Н. Шуппе, *Физ. тверд. тел.*, **7** (1965), 1970.
- [9] У. В. Азизов, У. В. Вахидов, В. М. Султанов, Б. Н. Шейнберг, Г. Н. Шуппе, *Физ. тверд. тел.*, **7** (1965), 2759.
- [10] Л. К. Дикова, Е. П. Сытая, Г. Н. Шуппе, *Физ. тверд. тел.*, **8** (1966), 936.
- [11] 李小琼, 廖显恒, 刘桂全, 电子学报, No. 1 (1965), 48.
- [12] Б. Я. Мойжес, физические процессы в оксидном катоде, Изд. «Наука» (1968), 25.
- [13] W. E. Danforth, D. L. Goldwater, *J. Appl. Phys.*, **31** (1960), 1715.
- [14] 王 宁, 陈其略, 对量测阴极蒸发速率的 Becker 法的研究报告 (1963).
- [15] G. E. Moore, H. W. Allison, *J. Chem. Phys.*, **23** (1955), 1609.
- [16] J. A. Becker, *Phys. Rev.*, **34** (1929), 1323.
- [17] Б. Ч. Дюбуа, Б. Н. Попов, *Радиотех. и электрон.*, **5** (1960), 1233.
- [18] Я. П. Зингерман, В. А. Ишук, *Физ. тверд. тел.*, **4** (1962), 2212.
- [19] Е. А. Тишин, Б. М. Царев, *Физ. тверд. тел.*, **8** (1966), 3181.
- [20] L. D. Schmidt, *J. Chem. Phys.*, **46** (1967), 3830.
- [21] J. A. Becker, *B.S.T.J.*, **30** (1951), 907.
- [22] В. И. Макуха, Б. М. Царев, *Физ. тверд. тел.*, **8** (1966), 1417.
- [23] Т. С. Кирсанова, А. Р. Шульман, А. В. Дементьева, *Физ. тверд. тел.*, **4** (1962), 2615.
- [24] Д. А. Городецкий, Ю. П. Мельник, *Физ. тверд. тел.*, **7** (1965), 2780.

- [25] D. L. Schaefer, J. E. While, *J. Appl. Phys.*, **23** (1952), 669.
- [26] Н. Д. Моргулис, *Радиотех. и электрон.*, **2** (1957), 1471.
- [27] E. S. Rittner, R. H. Ahlert, W. C. Rutledge, *J. Appl. Phys.*, **28** (1957), 156.
- [28] W. C. Rutledge, E. S. Rittner, *J. Appl. Phys.*, **28** (1957), 167.
- [29] Я. П. Зингерман, В. Я. Солтык, *Радиотех. и электрон.*, **2** (1957), 1512.
- [30] И. М. Марчук, *Радиотех. и электрон.*, **2** (1957), 1479.

THEORY OF THERMIONIC EMISSION (II)—ON THE MONOATOMIC LAYER AND DIPOLE THEORY

CHANG EN-CHIU

ABSTRACT

The present paper is a criticism of the application of the monoatomic layer and simple dipole theory to thermionic emission. We have come to the following conclusions: (1) the existence of the monoatomic layer is conditional, it depends upon the temperature, surface structure and purity of the substrate as well as upon the vacuum environment; (2) the appearance, and sometimes disappearance, of the emission peaks is a problem for further study, and it can not be explained simply by the monoatomic layer and dipole theory; (3) the enhanced emission after adsorption of foreign atoms or molecules is not due to the formation of dipoles which lower the work function of the substrate, but comes from the valence electrons of the adsorbate, and (4) the "L" cathode is a Ba-O-W system, neither monoatomic nor monomolecular, and the dipole theory is not applicable here.