

关于热电子发射理论的评述 (III) ——动态表面发射中心*

张 恩 虬

提 要

本文提出能解释热阴极中各种现象的动态表面发射中心模型。电子发射来源于一个原子集团。在这原子集团中,当运动着的电子具有瞬时的最高能量,或集团的原子核吸引力达到最小时,便产生电子发射。超额钡是提供高能电子的根源。氧则按其集团在集团中的相对数量和相对位置而分别起有益或有害的作用。虽然锶、钙、钼酸盐、钨酸盐等对发射只起次要的作用,但它们对蒸发、徙动、传递电子等却有影响。实用热阴极的发射不均匀性证明发射中心的存在,而发射的不稳定性,例如闪变噪声,显示出发射中心的动态特性。

关于热电子发射的理论,我们曾经作了评述^[1,2]。在这个基础上,提出了动态表面发射中心模型。下面将对此模型作进一步的阐明。

一、电子发射的基本现象

原子核对外围电子的吸力和电子运动能态之间的矛盾,是原子结构的基础,也是电子发射中的主要矛盾。为了认识电子发射的复杂现象,可以先从简单的情况谈起。从孤立的原子中取走一个电子所需的能量叫做电离能,从固体金属表面取走一个电子所需的功叫做逸出功。几种元素的电离能和逸出功列于表 1。从表中可以看出:第一,在同一族元素中,随着原子序数的增加,核的吸引力,价电子的运动能态,都同时增加。但无论电离能或逸出功,都随原子序数的增加而下降。这说明价电子的能态起着更大的作用。第二,在同一元素中,逸出功总是小于电离能。这就是说,当元素结成金属键后,由于 Pauli 的不相容原理,共有化的电子能量展宽为能带。虽然原子核的吸力增大了,但其中某些电子可

表 1 几种元素的电离能和逸出功

元 素	IA 族				IIA 族		
	Li	Na	K	Cs	Ca	Sr	Ba
原子序数	3	11	19	55	20	38	56
第一电离能 (eV)	5.39	5.14	4.34	3.89	6.11	5.96	5.21
逸出功 (eV)	2.28	2.06	2.0	1.9	3.21	2.74	2.52

* 1974 年 7 月 30 日收到。

能处在较高的能量,反而使逸出功变低.由此可以得出结论:价电子所处的能态的高低,是电子发射矛盾中的主要方面,而原子核的吸引力则是次要的方面.

然而,原子核对逸出电子的吸引力,并不是可以忽略不计的.最近用新方法对不同元素和不同晶面测量所得的逸出功列于表 2^[3].从表中可以看出:在同一元素的不同晶面,原子排列的密度不同,逸出功也有区别.而且原子密度大的,逸出功一般也大.说明原子核的吸力对电子发射起着一定的作用.这观点给予我们以启示:轻元素有可能对电子发射作出贡献.下面将以氧为例加以讨论.

表 2 不同元素和不同晶面的逸出功的比较

元素和晶面	原子密度 10^{14} 个/cm ²	逸 出 功 (eV)		
		拒斥电位场发射法	热 电 法	场发射法 (发射体上的数值)
W (110)	14.1	5.25 ± 0.02	5.35 ± 0.05	5.9 ± 0.1
W (100)	10.0	4.63 ± 0.02	4.60 ± 0.05	4.70 ± 0.05
W (111)	5.77	4.47 ± 0.02	4.40 ± 0.02	4.45 ± 0.03
Ir (111)	15.8	5.76 ± 0.04	5.79 ± 0.03	
Ir (110)	9.7	5.42 ± 0.02		

许多工作者曾用量子力学来计算纯金属的逸出功.例如,Lang 和 Kohn 用均匀正电荷背景模型,先算出一个均匀的逸出功,然后加上离子晶格模型,以计算不同晶面的修正项.他们得出 Al, Pb, Zn, Mg, Li, Na, K, Rb, Cs 九种元素的逸出功,与多晶的实验结果比较,误差在 5—10%.但对 Cu, Ag, Au 三种元素,则理论值比实测的低、约为 15—30%.他们认为 Cu, Ag, Au 的实验数据是可靠的,差异的原因是模型还不够完善之故^[4].由此可见,即使是纯金属的电子发射,定量计算还未完善.对于实用的复杂阴极,则定量计算更为困难.我们的目的在于改进阴极的性能.因此暂时不追求定量计算,而先弄清各元素对阴极性能的影响.

二、氧的一分为二的性质

凡是有经验的阴极工作者,都曾和氧气作过不少的斗争,因而对氧的毒害作用印象比较深刻.1957 年 Nergaard 提出:每个阴极都是还原剂,因为它丢失了电子^[5].这样就从理论上肯定了氧的有害作用.但明显的事实是:许多电子发射能力高的光电阴极、次级发射体、热阴极都是含有氧的.由此可见,氧对电子发射起着有益的作用.但国际间对氧的有益作用则研究得很少,在热阴极中更是如此.由于氧在自然界中普遍存在,而且化学性又极其活泼,因此掌握氧的一分为二的性质,是改进阴极性能的重要环节.

Hopkins 和 Ibrahim 曾测量了氧气作用于 W, Mo, Ta, Nb 四种金属的(110)晶面时逸出功的变化.他们的真空度为 10^{-10} 托,用银管放氧,得出金属表面的曝氧量和逸出功变化的关系,如图 1 所示.从图中可以看出:随着表面曝氧量的增加, W 和 Mo 的逸出功都增大,但经过两个步骤,说明是两相吸附.而且 W 和 Mo 的逸出功变化,只与曝氧量有关,而与曝氧时的压强无关. Ta 和 Nb 有类似的性质,但与 W 和 Mo 不同.随着曝氧量

的增加,逸出功先升后降,出现一极大值。也就是说,起初氧气对电子发射有不利的作用,随后转化为有益的作用。这可能是氧气深入到 Ta 和 Nb 体内的结果。此外,曲线的右半部还与曝氧时的压强有关^[6]。由此可见,氧气对电子发射并不是单纯地起有害作用的。掌握氧的一分为二的性质,关键在于转化的条件。而此条件则强烈地依赖于金属的性质,金属和氧的相对数量,以及二者的相对位置,需要作细致的观察和分析。

关于氧气对电子发射的有益作用,可以从实验中得到证明。Зингерман 和 Солтык 在放进氧气使“L”阴极中毒时,发现有些阴极经过中毒,而把氧气完全抽走之后,其发射水平竟超过未放氧前的。还有个别的阴极,当氧放进系统后,电子发射先有微小的上升,然后再下降^[7]。这些现象在我们实验室中也曾多次观察到。我们所加的阳极电压,超过了氧的电离电位。如果每次放氧时都出现电流微升,然后下降,就有可能用氧气电离、因而中和了空间电荷来解释。但实验结果并不是每次都出现微升,有时放进氧的压强高时,反而不出现这种微升。这样就不能用电离来解释了。只有承认在超额钡过多的条件下,氧进入系统能使发射有所提高的观点才能解释得通。但当氧过多了,又转化为中毒。以上的实验数据,都说明氧对电子发射有着—分为二的性质。

氧对电子发射的有益作用,从理论上讲,也是有根据的。氧的外层电子结构缺少两个 $2p$ 电子,因此氧原子对电子有亲和力。当接受第一个电子时,其亲和力为 1.47 eV ,而接受第二个电子时,则转化为 $(-7.8 \text{ eV})^{[8]}$ 。换句话说,在接受第一个电子时,是放出能量,即整个氧原子对这个电子有吸引力。但在再接受第二个电子时,外界就要做功,即带一电荷的氧负离子对第二个要进来的电子已经转化为拒斥力了。由此可以认为:从外层结构的量子数看,氧有接受电子的倾向;但从核吸引力的角度看,在中性氧时已经大致平衡,而接受了两个电子之后,其保持电子的能力则很差。这样就对电子发射有利。

当钡和氧结合而成 BaO 分子,钡的高能价电子进入氧的低能态而成为离子键。根据化学键的量子论,电子的波函数仍有处在高能态的几率。不过这个几率很小,不足以形成可观的电子发射。从另一方面看,虽然氧的保持电子的能力很差,但在氧中的电子的轨道函数,其能量又比较低,也不足以形成可观的电子发射。此时电子运动能态和核吸引力这一对矛盾处在暂时平衡的状态。但当有超额钡存在时,情况就发生了变化,电子处于高能态的几率大大增加了。由于这些电子有进入氧中的几率,而已经接受了两个电子的氧离子又有丢失电子的几率,两个矛盾着的方面推动着电子向真空发射。 Ba_2O 分子中的高能电子的能量,不一定比孤立钡原子的高。但它对 BaO 而言有了超额钡,电离能低至 4 eV ,比钡原子的或 BaO 分子的都小,就是上述矛盾斗争的结果^[9]。

所以,说每个阴极都是还原剂是片面的。应该说:阴极是以还原为主的氧化和还原

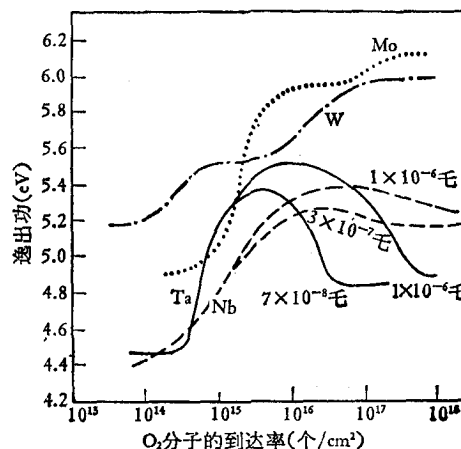


图1 300 K 下四种金属 (110) 晶面的逸出功与氧剂量的关系

的辩证统一体。由于氧化和还原的斗争,而当还原处于主导地位时,便推动着电子向真空发射。这样的认识才是符合客观事实的。掌握这个基本观点,是正确处理阴极问题的关键。

三、锶和钙的作用

上面已经讨论了钡和氧对电子发射所起的主要作用。锶和钙对电子发射只起次要的作用,但是要全面地改进热阴极的性能,锶和钙的作用也是不可忽视的。下面将从导电、发射和蒸发三个方面来说明。

表3 不同供应源和涂层成分的导电性

供应源成分	导电涂层成分	低温导电的激活能 (eV)	高温导电的激活能 (eV)
BaO + 3% Ti	BaO	0.19	—
Ba _{0.5} Sr _{0.5} O + 3% Ti	Ca _{0.2} Sr _{0.8} O	0.13	0.79
Ba _{0.5} Sr _{0.5} O + 3% Ti	SrO	0.061	0.92
Ba _{0.5} Sr _{0.5} O + 3% Ti	Ba _{0.5} Sr _{0.5} O	0.064	0.69
Ba _{0.5} Sr _{0.5} O + 3% Ti	Ca _{0.9} Sr _{0.1} O	0.27	0.91
BaO + 3% Ti	CaO	0.28	0.72
SrO + 3% Ti	SrO	—	1.85
SrO	SrO (铯激活)	0.31	1.56

Zalm 采用两个贮存式的阴极相对,来测量涂层的导电率。使用这种结构的优点在于:活性物质的供应源放在小室之中,而被研究的涂层则在外表,二者可以完全分开,并且可以随意改变其成份。实验结果示于表3。表中的低温导电激活能,表示涂层的晶粒吸附

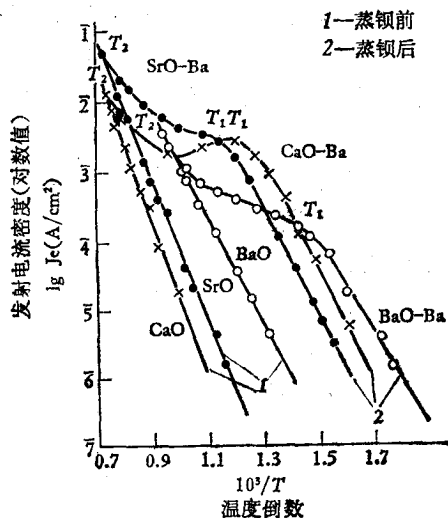


图2 在蒸钡流为 3.3×10^{11} atom/sec · cm² 的条件下,发射密度和温度倒数的关系

图2. 图中 T_1 表示在钡流为 3.3×10^{11} atom/sec · cm² 的条件下,蒸发明显地超过沉积的温

度。根据微孔导电的观点,高温导电的激活能相当于电子发射的能力^[10]。从表中可以看出:钡吸附在含有多量SrO的晶粒,其低温激活能较低,有利于电子的传递。而钡吸附在CaO较多的晶粒,则传递电子的能力较差一些。在供应源中只放SrO,则虽然涂层中全部都是SrO,其低温传递电子的能力也很差,实验中测不出来。只有用铯蒸汽激活,才能测出低温导电率。铯激活后的高温激活能仍然很高,是因为在这样的温度下,铯极易蒸发的原故。因此铯并不适合于作为实用热阴极的材料。

关于锶和钙对电子发射和蒸发的影响,Бейнар 和 Никонов 分别在BaO, SrO 和 CaO 上沉积钡,其发射与温度倒数的关系曲线示于

度. T_2 表示在同样条件下, 钡基本上蒸发光的温度. 各种系统的逸出功、蒸发能、钡的最佳覆盖密度和最佳覆盖度列于表 4^[11]. 从图 2 和表 4 的数据加以分析: BaO-Ba 虽然逸出功低, 在低温时能得到较高的发射, 但由于蒸发能小, 覆盖度很小, 在高温时发射中心少, 并不是好的阴极. SrO-Ba 和 CaO-Ba 虽然发射电子的能力差一些, 但由于蒸发能比较大, 能吸附更多的钡, 在高温时发射中心多, 可以弥补逸出功大的缺点. 实用氧化物阴极采用三元碳酸盐, 就是综合了发射、电子传递和蒸发三方面因素的结果. 此外, 三种系统的覆盖度都低, 说明发射中心是稀少的.

表 4 各种系统的逸出功、蒸发能、钡的最佳覆盖密度和覆盖度

系 统	逸出功和温度系数 $\phi = \phi_0 + \alpha T$	蒸 发 能 (eV)	最佳覆盖密度 (atom/cm ²)	最佳覆盖度
BaO-Ba	$(1.2 \pm 0.06) + (5.2 \pm 1)10^{-4}T$	2.26 ± 0.04	1.14×10^{13}	0.01
SrO-Ba	$(1.37 \pm 0.03) + (4.5 \pm 1)10^{-4}T$	2.7 ± 0.05	1.8×10^{14}	0.12
CaO-Ba	$(1.32 \pm 0.07) + (4.5 \pm 1)10^{-4}T$	2.6 ± 0.04	1.8×10^{14}	0.10

四、难 溶 盐 阴 极

难溶盐阴极, 亦称钨钨阴极, 在近代微波管中有着广泛的应用. 难溶盐的分子结构复杂, 其中各种元素对阴极性能都有明显的影响. 图 3 表示在硅酸盐中加 SrO 和 CaO 对发射的影响. 从发射的角度看, 加 CaO 的比加 SrO 的发射略高一点; 但从寿命的角度看, 加 CaO 的寿命, 比加 SrO 的长多了. 在铝酸盐的情况下, 则加进 CaO 的发射, 比加 SrO 的有明显的提高, 见图 4. 而同时钡的蒸发明显地减少, 寿命大为增长^[12]. 将图 3 和图 4 相比, 同样加 $\frac{1}{2}$ CaO, 在铝酸盐中的发射就比在硅酸盐中的高得多; 而同样加 $\frac{1}{2}$ SrO, 则在铝酸盐中的发射却比在硅酸盐中的小得多. 此外, 在不同温度范围内, 它们影响的大小也不一

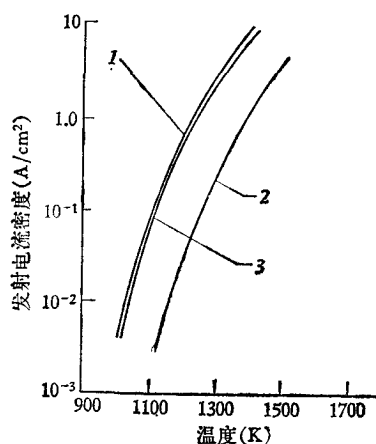


图 3 硅酸盐渍制阴极的直流发射

- 1— $3\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2 + \frac{1}{2} \text{CaO}$;
2— $3\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$;
3— $3\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2 + \frac{1}{2} \text{SrO}$

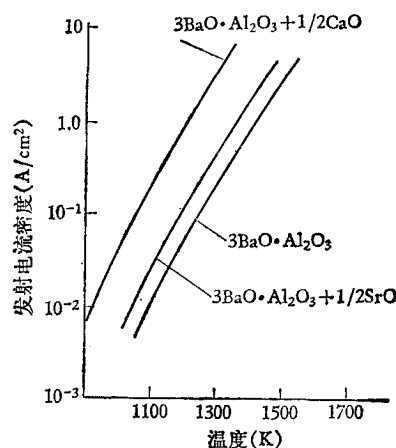


图 4 铝酸盐渍制阴极的直流发射

致.可是在钨酸盐阴极中,情况又有不同,钨酸钡铯的发射,比钨酸钡钙的高得多.拿钨酸钡铯阴极和标准的钨酸盐相比,在同一温度下,前者的发射高得多,蒸发也比较大.可是,在支取同样电流密度下来看蒸发,则前者比后者约低两个数量级^[3].由此可见,即使难溶盐中的酸根,如硅酸根、铝酸根、钨酸根等,都对阴极的性能有影响,不可忽视.

关于难溶盐阴极的发射机理,国际间开始时曾用单原子层的理论来解释.如果难溶盐阴极确实是单原子层的发射,那么这些阴极的性能只与钡和钨有关,应该基本上是一样的.但是,上面的事实证明:铯、钙,甚至其中的各种酸根,对发射和蒸发都有影响;而其影响的程度,又因具体条件而有所不同,这是单原子层理论所无法解释的.随后,由于从电子显微镜中看到电子是从难溶盐中出来的,又认为难溶盐阴极是半导体的发射机理.然而,这仅是一种设想,缺乏科学根据.由于尚未见到有关难溶盐的导电型式、内逸出功、禁带宽等参数的报导,目前难以对这个设想加以评论.不过有一点值得注意:即用钨酸钡铯作原料,仿照氧化物阴极的工艺,涂覆在钨带上而成涂层式的阴极.这种阴极的发射和一般与钨粉混合压制烧结的实用阴极的比较,列于表5.从表中可以看出,四种阴极之间的逸出功相差不远,但烧结式在1100 K的发射电流密度在1.1—1.3 A/cm²之内,比涂层式的高出两个多数量级.然而烧结式有大量钨粉存在,其真实发射面积肯定不会比涂层式的大,可是平均电流密度却大如此之多,这是用半导体模型所不能解释的.

表5 涂层式和混合压制烧结的钨酸钡铯阴极的发射参数的比较

阴 极			温 度 (K)	电 流 密 度 (A/cm ²)	逸 出 功 ϕ_0 (eV)
Ba ₂ ,Sr _{0.5} WO ₆ 涂 层 式			1100	2.5×10^{-4}	1.11 ^[24]
钨 粉 (重量百分比)	盐 (重量百分比)	ZrH ₂ (重量百分比)			
90.2	9.19	0.6	$\begin{Bmatrix} 1023 \\ 1073 \\ 1123 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 0.43 \\ 0.90 \\ 1.63 \end{Bmatrix}$	1.15
88.46	10.82	0.72	$\begin{Bmatrix} 1023 \\ 1123 \\ 1173 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 0.49 \\ 1.70 \\ 3.36 \end{Bmatrix}$	1.14
89.64	9.14	1.22	$\begin{Bmatrix} 1123 \\ 1173 \\ 1223 \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} 1.45 \\ 3.12 \\ 5.35 \end{Bmatrix}$	1.18 ^[15]

矛盾的特殊性中存在着普遍性.动态发射中心的观点,本来是从分析氧化物阴极得出来的.如果它是普遍规律的话,它应该能解释其它类型阴极的现象.动态发射中心的观点认为:电子发射的能力,取决于许多元素在相对数量和相对位置上都要适当的配合,以使共有化了的电子的能态最高,而综合的核力场则最低.承认这个观点,则上面所说的难溶盐阴极中,从表面上看好象不可捉摸的现象,都可以理解了.由于难溶盐的结构复杂,因而加进去不同元素,便改变了共有化电子的能态的高低和综合核力场的大小.这是多数原子互相配合的问题,而不是加进去的元素孤立地起作用.由于难溶盐的结构复杂,

在不同温度下,原子振动的情况有所不同,因而对电子发射和蒸发,都表现出不同程度的影响。虽然动态发射中心的观点,强调各种元素在形成原子团中的相互配合,但并不忽视个别元素的特点。因为只有充分认识每个元素的特点之后,才能谈互相之间的适当配合。

关于涂层式钨酸钡锶比混合烧结式的发射密度小两个多数量级的事实,也可以用发射中心的观点来解释。一个良好的发射中心,不仅要有高的电子发射能力,还要有好的传递电子能力,以补充发射了的电子。在该涂层阴极中,涂层的厚度为 $25-30\ \mu\text{m}$,由于钨酸钡锶的导电能力不良,电子传递的途径又远,能获得不断补充电子的中心的数目便少了。而掺钨粉烧结的阴极,其颗粒大小在数微米,盐与钨粉的接触面积大得多;既能发射又能传递的中心的数目便大为增加,因此得到高得多的电流密度。

五、动态表面发射中心

上面已经分别讨论了某些元素对电子发射、中毒、蒸发等所起的作用。明确了这些作用,便有利于认识这些元素之间的相互配合,而形成一个原子集团。在这集团中各元素的相对数量和相对位置都要合适,以使得:(1)共有化了的电子在其间运动有达到高能几率;(2)集团中的总核力场分布有最低点,或在某一瞬间出现最低值。满足这两个条件,便可以形成一个电子发射中心。这个原子集团应有一定的厚度,足以屏蔽基金属所产生的核力场,但又不要太厚,以致电子从基金属过渡到发射中心发生困难。从文献[1, 2]所引的数据估计,约为数十个原子层。

这种发射中心之所以称为动态的,包括两种意思:从微观方面看,电子在这个集团中不断地运动,当某个电子的能量足够高,而总的核力场又被其它电子所屏蔽而减弱时,这个电子就可以发射到真空。从宏观方面看,阴极表面的发射中心并不是固定不变的。热阴极工作在高温下,各种元素都在剧烈地运动。它们在表面可能发生徙动和蒸发,改变着发射中心的成份。阴极虽然处在真空中,但还有一定数量的剩余气体。化学性活泼的,如氧、氯等,可以使阴极中毒;化学性较不活泼的,如氮、氩等,也可能形成正离子而轰击阴极,使其表面的物质溅散。这样使得发射中心时隐时现,成为长期以来观察到的闪变噪声的根源。

阴极面的电子发射能力是不均匀的。这从电子显微镜和移动小孔阳极试验,都得到了证实^[16]。这种不均匀性也可以从伏安特性的改变看出来。图5表示“L”阴极在不同氧压强下所测得的伏安特性。这些曲线表明:氧气使阴极中毒,并不是全面地使逸出功均匀地上升,而是使个别的发

射中心的逸出功先上升。这样阴极表面的逸出功更加不均匀,在某些地方先行饱和,因而改变了发射电流和特性曲线的斜率^[17]。以上的实验结果,都是支持发射中心的观点的。

动态发射中心的观点,是从实用热阴极的长期实践中总结出来的。它能解释比较多的现象,同时它也预料着热阴极的性能还有许多改进的余地。目前有人认为:国外对热阴

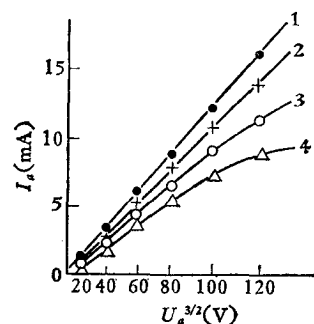


图5 不同氧压强下的“L”
阴极的伏安特性

- 1— 1.3×10^{-7} 托;
- 2— 1×10^{-6} 托;
- 3— 4×10^{-5} 托;
- 4— 1.8×10^{-4} 托

极的文章已大大减少,热阴极已经没有什么工作可做了。这是不对的。因为“在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。因此,人类总得不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。停止的论点,悲观的论点,无所作为和骄傲自满的论点,都是错误的。”

附记:文献[1,2]和本文,是国内许多单位、许多工作者,经过长期实践和讨论,参考了国外文献所得的结果。实质上是集体的工作。署名者仅对文中的观点负责而已。

参 考 文 献

- [1] 张恩虬, 物理学报, **23** (1974), 341.
- [2] 张恩虬, 物理学报, **23** (1974), 351.
- [3] R. W. Strayer, W. Mackie, L. W. Swanson, *Surface Science*, **34**, (1973), 225.
- [4] N. D. Lang, W. Kohn, *Phys. Rev.*, **B3** (1971), 1215.
- [5] L. S. Nergaard, *RCA Rev.*, **18** (1957), 486.
- [6] B. J. Hopkins, M. Ibrahim, *Vacuum*, **23** (1973), 135.
- [7] Я. П. Зингерман, В. Я. Солтык, *Радиотехн. и Электрон.*, **2** (1957), 1479.
- [8] Б. Я. Мойжес, Физические Процессы в Оксидном Катод, **25**, Изд. «Наука» (1968).
- [9] Б. П. Никонов, *Изв. АН. СССР. Сер. Физ.*, **35**(1971), 270.
- [10] P. Zalm, *Advances in Electronics and Electron Physics*, **211**, Vol. 25 Academic Press (1968).
- [11] К. С. Бейнар, Б. П. Никонов, *Радиотехн. и Электрон.*, **10** (1965), 476.
- [12] I. Brodie, R. O. Jenkins, *J. Appl. Phys.*, **27** (1956), 417.
- [13] R. J. Bondley, W. T. Boyd, R. G. Lock, T. J. Nall, M. J. Slivka, *AD850447* (1969).
- [14] Б. В. Бондаренко, Е. П. Остапченко, Б. М. Царев, *Радиотехн. и Электрон.*, **5** (1960), 1246.
- [15] M. J. Slivka, *IEEE Conference Record of 1968 9th Conference on Tube Technique*, 29.
- [16] C. G. Jansen, A. Venema, Th. H. Weekers, *J. Appl. Phys.*, **37** (1966), 2236.
- [17] А. В. Дружинин, Ю. А. Кондрашенков, В. И. Некрасов, *Изв. АН. СССР. Сер. Физ.* **33** (1969), 413.

ON THE THEORY OF THERMIONIC EMISSION (III) A MODEL OF DYNAMICAL SURFACE EMISSION CENTERS

ZHANG EN-QIU

ABSTRACT

A dynamical surface emission center model which can explain all observed phenomena in thermionic cathodes is proposed. The emission comes from such an aggregate of atoms that the moving electrons may have momentarily highest energy and/or the attraction from the nuclei to these electrons is momentarily least. Excess barium is the source for supplying high energy electrons, while the oxygen may play a favorable or unfavorable role to emission depending upon its relative quantity and relative position in the aggregate. Although strontium, calcium, aluminate, tungstate, etc. are minor factors to emission, yet they may have some effect on the evaporation, migration, and transition of electrons etc.. The non-uniformity of emission in practical cathodes proves the existence of such centers, while their dynamical character exhibits instability of emission e.g. flicker noise.