

# 新型贮存式氧化物阴极寿命机理的初步探讨<sup>\*</sup>

王小霞<sup>†</sup> 廖显恒 罗积润 赵青兰 张晓伟

(中国科学院电子学研究所中国科学院高功率微波源与技术重点实验室,北京 100190)

(2008 年 3 月 26 日收到,2008 年 8 月 27 日收到修改稿)

对一种新型贮存式氧化物阴极及一种普通氧化物阴极进行了寿命实验,采用 XPS 分析技术对这两种阴极寿命中不同涂层深度的 Ba 浓度进行对比分析,结合新型贮存式阴极结构及贮存发射材料的性质对这种阴极的寿命机理进行了探讨.结果表明,新型贮存式氧化物阴极的寿命是普通氧化物阴极的 7 倍,同时发现新型贮存式氧化物阴极涂层深处保持稳定 Ba 浓度是其具有长寿命的关键.

关键词:氧化物阴极,寿命,盈余 Ba,贮存发射材料

PACC:7940,6630H,8200

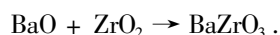
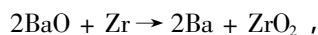
## 1. 引 言

随着空间技术的发展、雷达技术的革新及国民经济的发展,对电真空微波器件不断提出高可靠、长寿命的要求,而微波器件的可靠性、长寿命在很大程度上依赖于阴极的可靠性、寿命,所以一直以来研制高可靠长寿命阴极、确立阴极寿命的实验方法及探讨阴极寿命机理对微波器件的研究与发展意义重大<sup>[1,2]</sup>.

氧化物阴极是最早应用于电真空器件的热阴极,它是由基金属和涂敷在基金属表面的碳酸盐组成.一般来说,阴极的发射电流主要由表面碳酸盐的性质决定,而阴极的寿命在很大程度上依赖于基金属的成分.早在 20 世纪 60 年代,Bell 实验室<sup>[3]</sup>就对氧化物阴极基金属成分对阴极寿命的影响做了大量的研究工作,并发展了一系列性能优良的合金基底氧化物阴极,如 Ni-Zr(0.1% Zr),Ni-W-Zr(0.1% Zr, 2% W)和 Ni-W-Mg(0.2—0.4% Mg, 2% W),制备的氧化物阴极在超高真空和一系列严格卫生技术的条件下,在通讯卫星中,支取 0.1 A/cm<sup>2</sup> 的电流密度,寿命 50000 h<sup>[4]</sup>.

一般认为,在正常的工作温度范围内及不考虑外界环境因素影响的条件下,普通氧化物阴极的寿命主要取决于活性 Ba(单原子 Ba,也叫盈余 Ba)的

蒸发.在寿命前期,阴极表面蒸发的 Ba 主要由涂层中的活性 Ba 补充,而涂层中的活性 Ba 则来源于涂层与基金属界面 BaO 与基金属中激活剂的反应



反应生成的 BaZrO<sub>3</sub> 等物质在基金属表面形成了中间界面层,它逐渐阻止了 BaO 生成活性 Ba 的反应,故而造成涂层中活性物质的衰竭,导致阴极寿命结束.中间层的另外一个坏作用是当氧化物阴极支取大的发射电流密度时,大量电子通过中间层,中间层电阻与涂层电阻造成阴极过热,从而损坏阴极,所以普通氧化物阴极只能在支取 0.6 A/cm<sup>2</sup> 以下的连续波电流时使用<sup>[5]</sup>.

贮存式氧化物阴极是一种无中间层电阻、涂层电阻又小的氧化物阴极,它的活性 Ba 来源于镍网后面的贮存小室,阴极镍网表面只有极薄的一层氧化物就可以有正常普通氧化物阴极的发射电流.在 20 世纪 70 年代,文献<sup>[6]</sup>进行这种贮存式氧化物阴极的研究,通过对这种阴极结构及贮存发射材料的改进,研制出一种高可靠、长寿命贮存式氧化物阴极,应用于通讯卫星行波管中,支取 0.4 A/cm<sup>2</sup> 的电流密度,寿命长于 70000 h.到了 20 世纪末,这种阴极经过进一步的研究发展,阴极发射电流密度得到大大提高,阴极工作温度 800 °C,直流发射电流密度 2.5 A/cm<sup>2</sup> 以上,在高工作比行波管(工作比 4.2%)

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(批准号 50702059)资助的课题.

<sup>†</sup> E-mail: wangcx-798@sohu.com

及宽脉冲(脉冲宽度  $52 \mu\text{s}$ )大功率速调管中应用,使用寿命达到  $3000\text{—}6000 \text{ h}^{[7,8]}$ 。

贮存式氧化物阴极突出的特点是在支取大发射电流密度时比普通氧化物阴极具有更长的寿命,而贮存式氧化物阴极寿命机理很少得到实验方面的论证研究。既然阴极的寿命与涂层中 Ba 的浓度密切相关,研究寿命中不同涂层深处 Ba 的浓度分布是研究的重点。本文首先在相同的实验条件下,对普通氧化物阴极与一种新型贮存式氧化物阴极进行寿命实验。然后采用 XPS 分析技术对寿命后期普通氧化物阴极及寿命中期新型贮存式氧化物阴极不同涂层深度 Ba 的浓度分别进行对比分析。根据分析结果结合贮存式氧化物阴极结构及普通氧化物阴极寿命机理对新型贮存式氧化物寿命机理进行初步探讨。

## 2. 阴极寿命实验

### 2.1. 阴极制备

图 1 是新型贮存式氧化物阴极与普通氧化物阴极的结构示意图,其中图 1(a)为新型贮存式氧化物阴极结构示意图,实验采用阴极直径均为  $3 \text{ mm}$ ,在阴极贮存小室中填入铝酸盐与激活剂的混合物后点焊上阴极 Ni 网帽,Ni 网纯度  $99.9\%$ ,孔度  $0.06\text{—}0.08 \text{ mm}$ ,孔密度  $15.5 \text{ 目}/\text{mm}^2$ ,在 Ni 网表面喷涂一层厚约  $30 \mu\text{m}$  的三元碳酸盐(Ba: Sr: Ca 摩尔比为  $58:38:4$ ),完成新型贮存式氧化物阴极的制备。图 1(b)为普通氧化物阴极结构示意图,阴极直径  $3 \text{ mm}$ ,在普通氧化物阴极 Ni-W-Zr-Mg 基底表面喷涂与新型贮存式氧化物阴极相同厚度及型号的碳酸盐,完成普通氧化物阴极的制备。

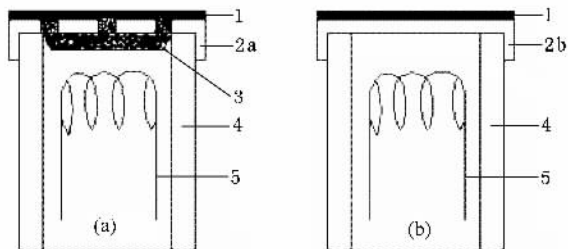


图 1 阴极结构示意图 1 为碳酸盐 2a 为镍网 2b 为镍基底 3 为铝酸盐 4 为镍筒 5 为热子。(a)新型贮存式氧化物阴极 (b)普通氧化物阴极

### 2.2. 寿命实验方法

将制备好的新型贮存式氧化物阴极与普通氧化物阴极装入相同的普通实验二极管,阳极采用厚  $0.3 \text{ mm}$  直径  $30 \text{ mm}$  的 Mo 片,阴极、阳极之间距离  $0.9\text{—}1.1 \text{ mm}$ 。阴极在分解过程中真空度不低于  $2 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ ,在激活过程中真空度不低于  $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ ,阴极经分解、激活(激活温度  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ )后将二极管封离排气台,  $850 \text{ }^\circ\text{C}$  老炼  $30 \text{ h}$  后进行寿命测试。在实验过程中采用 UJ36a 型电位差计(精确度  $0.1 \text{ mV}$ )直径  $0.08 \text{ mm}$  Ni-Mo 热电偶测量阴极温度,采用 DHY-12 型寿命测试台( $0.1 \text{ V}$ ,  $0.1 \text{ mA}$ )进行阴极寿命测试。

### 2.3. 寿命实验条件的确定

一般采用阴极加速实验来评估阴极的寿命。阴极加速寿命实验方法有两种,一种以阴极温度为加速变量,另一种以阴极负荷为加速变量。我们采用后者即在一定温度下提高阴极发射电流密度,加速阴极物理化学反应,从而达到加速寿命实验的目的。图 2 是实验新型贮存式氧化物阴极的伏安特性曲线,从图 2 中可以看出该阴极在不同温度下的偏离点电流。阴极温度  $850 \text{ }^\circ\text{C}$ ,偏离点发射电流密度  $2.50 \text{ A}/\text{cm}^2$ ;阴极温度  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ ,偏离点发射电流密度  $1.87 \text{ A}/\text{cm}^2$ ;阴极温度  $750 \text{ }^\circ\text{C}$ ,偏离点发射电流密度  $1.65 \text{ A}/\text{cm}^2$ 。由于阴极在空间电荷区工作时,发射电流稳定,所以在寿命实验选择阴极发射电流时不得高于该温度下阴极的偏离点发射电流。阴极温度过高,发射电流太大会引起阴极涂层的恶性热循环而烧坏阴极,所以我们选择阴极温度  $780 \text{ }^\circ\text{C}$ ,阴极初始发射电流密度  $1.50 \text{ A}/\text{cm}^2$  进行阴极寿命实验。为了便于比较,普通氧化物阴极也选择同样条件进行阴极寿命实验。

### 2.4. 寿命实验结果

图 3 是新型贮存式阴极与普通氧化物阴极在  $780 \text{ }^\circ\text{C}$  时,支取初始直流发射电流密度为  $1.5 \text{ A}/\text{cm}^2$  时的归一化发射电流随时间的变化曲线,其中曲线 a 为新型贮存式氧化物阴极,曲线 b 为普通氧化物阴极。从图中我们可以看出,随时间增加,普通氧化物阴极的发射电流剧烈下降,在  $500 \text{ h}$  时已降至初始发射电流的  $80\%$ 。而新型贮存式氧化物阴极在  $2000 \text{ h}$  以内阴极发射电流稳定,  $2000 \text{ h}$  以后,发射电流缓慢下降,直到  $3500 \text{ h}$  以后,发射电流才降至初

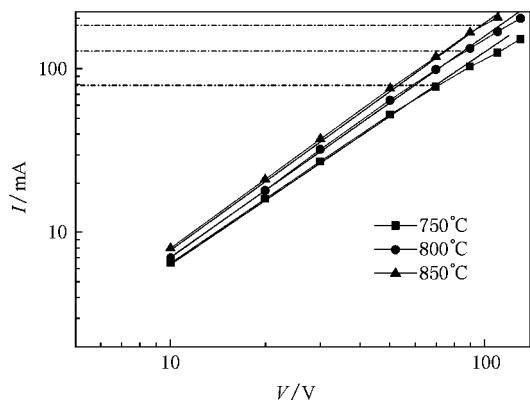


图2 新型贮存式氧化物阴极的  $I$ - $V$  曲线

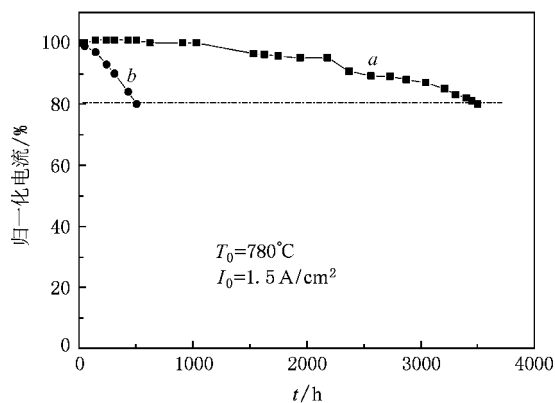


图3 阴极的寿命曲线 曲线  $a$  为新型贮存式阴极, 曲线  $b$  为普通氧化物阴极

始电流的80%。上述实验结果说明贮存式氧化物阴极在780℃低温支取 $1.5\text{ A/cm}^2$ 电流密度时,具有普通氧化物阴极7倍的使用寿命。

### 3. 新型贮存式氧化物阴极不同涂层深度 XPS 分析

#### 3.1. 实验分析方法

本文采用英国VG公司MKII X射线光电子能谱仪( $\text{Mg}_{K\alpha} = 1253.6\text{ eV}$ ,  $\text{Al}_{K\alpha} = 1486.6\text{ eV}$ )进行阴极发射表面各元素化合态及相对浓度变化的分析。测量电子结合能误差为 $\pm 0.15\text{ eV}$ ,测量深度小于 $30\text{ \AA}$ ,测量真空度不低于 $10^{-8}\text{ Pa}$ 。

分析过程 寿命实验结果说明普通氧化物阴极的寿命只有500 h,而新型贮存式氧化物阴极工作500 h后发射稳定,所以本文对寿命500 h后的新型贮存式氧化物阴极与普通氧化物阴极分别进行涂层

剥离分析。将寿命500 h后的新型贮存式氧化物阴极放入X射线光电子能谱仪分析室( $10^{-8}\text{ Pa}$ )进行表面分析。分析后,将阴极传入样品制备室内(真空度不低于 $10^{-6}\text{ Pa}$ ),用3 kV氩离子轰击阴极发射表面(剥离涂层),10 min后,停止轰击,将阴极传入分析室进行表面分析。分析后,将阴极传入样品制备室再轰击10 min,再分析。再重复上述过程1次。对寿命500 h后的普通氧化物阴极也进行上述相同的分析过程。

#### 3.2. 结果与分析

图4(a)(b)分别是新型贮存式氧化物阴极及普通氧化物阴极寿命500 h后的XPS分析图谱,曲线 $a, b, c, d$ 分别为涂层剥离前、剥离1次(每次剥落约 $3\text{ }\mu\text{m}$ 的涂层)、剥离2次、剥离3次后的图谱。图4中Ba, Sr, Ca, O为阴极涂层的成分, Ni为阴极基底的成分, Mo为样品架的成分。根据XPS半定量分析原理,样品中任一组分相对原子浓度 $C_x$ 可根据该元素特征峰的强度及元素灵敏度计算出。样品中任一组分相对原子浓度 $C_x$ 的表示式为

$$C_x = \frac{I_x/S_x}{\sum_j I_j/S_j} \quad (1)$$

式中 $x$ 代表被测原子, $I$ 为被测原子的特征峰值强度, $j$ 代表被测样品中所有组成原子, $S_j$ 为相对应原子灵敏度因子。

从图4(a)中,分别量取Ba, Sr, Ca三种元素在不同涂层深度的特征峰强度值。根据Ba, Sr, Ca的灵敏度(如表1所示)利用(1)式计算在涂层不同深度Ba: Sr: Ca体积浓度(按Ba, Sr, Ca, O四种元素计算),算出涂层没剥离前,阴极表面的元素体积百分比Ba: Sr: Ca为21:20:6。剥离1次(离发射表面约 $3\text{ }\mu\text{m}$ 处)后,阴极涂层中Ba: Sr: Ca为19:23:4。剥离2次(离发射表面约 $6\text{ }\mu\text{m}$ 处)后,阴极涂层中Ba: Sr: Ca为18:20:6。剥离3次(离发射表面约 $9\text{ }\mu\text{m}$ 处)后,阴极涂层中Ba: Sr: Ca为18:21:7。

分析计算结果表明新型贮存式氧化物阴极低温大电流寿命500 h后,在阴极发射表面Ba的浓度较高,说明阴极表面存在Ba的富集,而离发射表面 $3\text{ }\mu\text{m}$ 的涂层处,Ba的浓度降低,在离发射表面 $6\text{ }\mu\text{m}$ 处,Ba的浓度进一步降低,但在离发射表面 $9\text{ }\mu\text{m}$ 涂层处,Ba的浓度与 $6\text{ }\mu\text{m}$ 处相同,也就是说在涂层深处Ba的浓度不再下降趋于平衡状态。

从图4(b)采用相同的计算方式(按Ba, Sr, Ca,

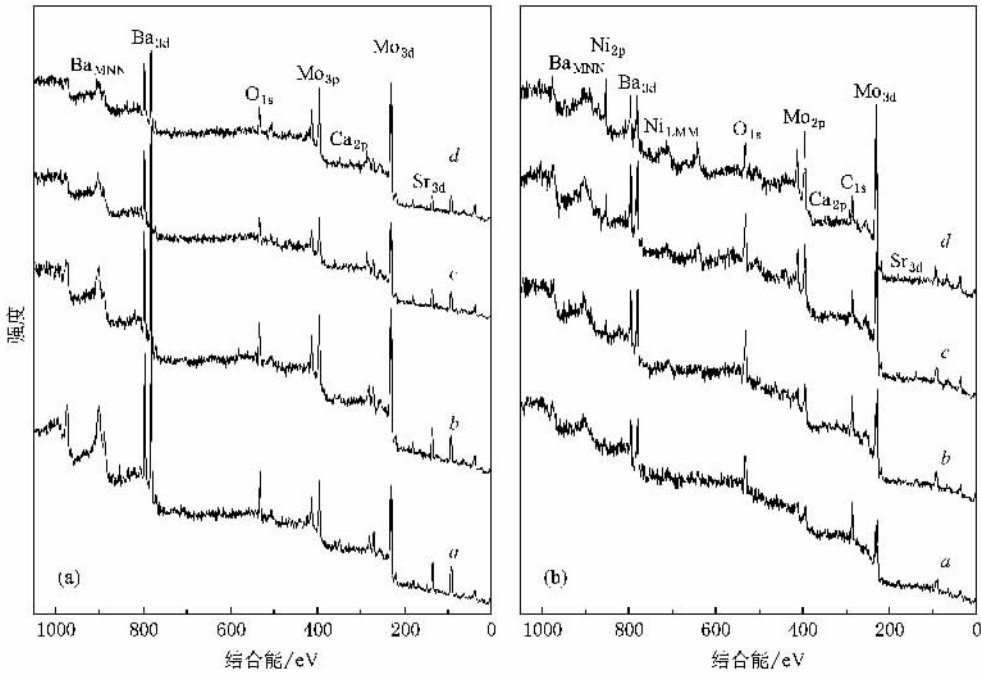


图4 阴极剥离涂层 XPS 分析图谱 曲线 a , b , c , d 分别为剥主前 , 剥主 1 次 , 剥主 2 次 , 剥主 3 次。(a)新型贮存式氧化物阴极 (b)普通氧化物阴极

Ni , O 五种元素计算),算出普通氧化物阴极涂层没剥离前,阴极表面的元素体积百分比 Ba: Sr: Ca 为 11:6:10.剥离 1 次(离发射表面约 3 μm 处)后,阴极涂层中 Ba: Sr: Ca 为 11:6:8.剥离 2 次(离发射表面约 6 μm 处)后,阴极涂层中 Ba: Sr: Ca 为 10:7:7.剥离 3 次(离发射表面约 9 μm 处)后,阴极涂层中 Ba: Sr: Ca 为 9:7:6.

分析计算结果表明普通氧化物阴极寿命后期,在阴极涂层表面及涂层中 Ba 的浓度显著降低,这与文献[9]中指出普通氧化物阴极 500 h 寿命后涂层表面 Ba 的浓度下降到原来浓度的 1/3 以下相似.而且随着涂层的深入,Ba 的浓度也在逐渐降低.

表 1 Ba , Sr , Ca , Ni , O 元素的原子灵敏度<sup>[10]</sup>

元素	Ba	Sr	Ca	Ni	O
特征峰	3d	3d	2p	2p	1s
原子灵敏度/VG	5.83	1.03	1.01	3.68	0.61

图 5 是新型贮存式氧化物阴极寿命 500 h 后在 4 种不同涂层深度 Ba 的 XPS 分析图谱,从图 5 中很明显看出在涂层深处(离发射表面 3.6 和 9 μm 处) Ba 的特征峰微向左移,由于 Ba 原子的电子结合能大于 Ba<sup>2+</sup> 离子的电子结合能(采用 Mo 元素进行内标校准),所以上述现象说明在涂层深处盈余 Ba 的

相对含量大于阴极表面盈余 Ba 的相对含量.这与 Shafer 等<sup>[11]</sup>采用 AES 进行涂层剥离分析结果普通氧化物阴极在寿命期间涂层深处盈余 Ba 的相对含量大于涂层表面盈余 Ba 的相对含量相一致.

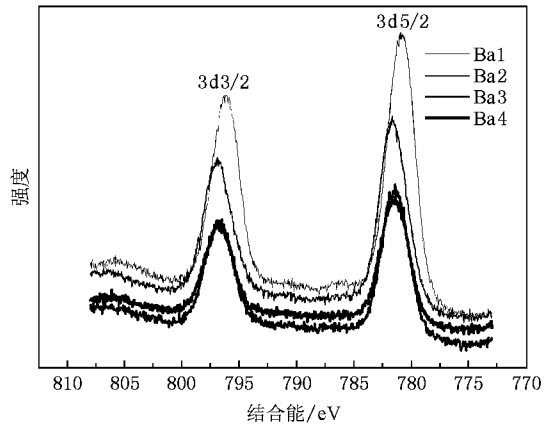


图 5 新型贮存式阴极涂层深度 Ba 的 XPS 分析图 Ba 1 为阴极剥离前 , Ba 2 为剥离 1 次 , Ba 3 为剥离 2 次 , Ba 4 为剥离 3 次

### 4. 讨 论

氧化物阴极正常工作时是一种动态平衡,其中的条件之一是从阴极表面消耗的活性物质要与阴极

内部产生并扩散(迁移)到阴极表面的活性物质达到平衡,也就是说氧化物阴极能支取的发射电流与阴极涂层中 Ba 的浓度密切相关.文献 [12] 指出,普通氧化物阴极可利用最大 Ba 的深度计算公式为

$$d_1 = \ln \left\{ \frac{n_0 + \frac{kT\sigma J\rho}{4Dq}}{n_1 + \frac{kT\sigma J\rho}{4Dq}} \right\} \frac{kT\sigma}{qJ}, \quad (2)$$

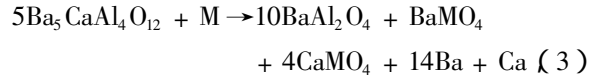
式中  $D$  为表面扩散系数,  $J$  为电流密度,  $\rho$  为涂层的电导率,  $\rho$  为 Ba 在涂层中的迁移率,  $q$  是一个单位正电荷,  $n_0$  和  $n_1$  分别为 Ba 的初始浓度和最终浓度.从(2)式中可以看出在大电流区域,式中对数项接近常数时,可利用 Ba 的深度与电流密度成反比,即阴极支取的电流密度越大则可利用 Ba 深度越小.这种相互关系导致 Ba 储量的降低.也就是说普通氧化物阴极不能支取大电流的原因就在于涂层深处 Ba 的贮存量太少.本文 XPS 分析结果也说明普通氧化物阴极在大电流 500 h 寿命结束后涂层中 Ba 的浓度显著降低.

而由新型贮存式氧化物阴极寿命 500 h 后的剥离涂层 XPS 分析表明:新型贮存式氧化物阴极涂层深入 Ba 元素的浓度趋于稳定,也就是说新型贮存式氧化物阴极涂层深处可利用 Ba 的浓度并没有降低,有足够的贮存量,所以它在 500 h 寿命后能持续支取大的电流密度.新型贮存式氧化物阴极涂层中 Ba 的浓度主要由贮存小室中贮存发射材料产生来维持.在阴极工作过程中,贮存小室中铝酸盐与激活剂反应产生盈余 Ba,由于小室中盈余 Ba 浓度升高,盈余 Ba 通过镍网孔向镍网表面扩散.盈余 Ba 在镍网表面与  $Ba^{2+}$  交换电子或直接沿氧化物晶粒表面向阴极发射表面扩散,在阴极表面发射两个电子后变成  $Ba^{2+}$ ,部分  $Ba^{2+}$  与  $O^{2-}$  结合形成 BaO 从阴极表面蒸发,部分  $Ba^{2+}$  在浓度和电场作用下从氧化物晶粒内部向镍网表面扩散<sup>[13]</sup>.新型贮存式阴极中盈余 Ba 产生及 Ba,  $Ba^{2+}$  在阴极中的传输模拟示意图由图 6 所示.

上述 Ba,  $Ba^{2+}$  产生、传输状态在阴极工作一段时间后达到平衡, XPS 分析表明阴极正常工作时发射表面存在 Ba 元素富集,此时在阴极发射表面 Ba 元素实际上是盈余 Ba,  $Ba^{2+}$  及 BaO 的总和,盈余 Ba 是与其他氧化物(BaO, SrO, CaO)形成恰当原子配比进行电子发射的<sup>[14]</sup>,维持电子发射和寿命的实际上是盈余 Ba.图 5 的分析结论说明在涂层深处盈余 Ba 的相对含量大于涂层表面盈余 Ba 的相对含量,涂层

中有足够的盈余 Ba,这是维持阴极寿命的根源.

本文新型贮存式氧化物阴极采用了新型配方特殊方法合成的铝酸盐与激活剂( $Ti, M_2, M_3$ , 金属活性  $Ti > M_2 > M_3$ )混合作为贮存发射材料,铝酸盐中  $Ba_5CaAl_4O_{12}$  含量约占 90%.在阴极寿命初期,  $Ba_5CaAl_4O_{12}$  与活性较强的激活剂 T(电负性 1.6 eV)发生反应,在寿命中期铝酸盐与活性居中的激活剂发生反应,在寿命后期铝酸盐与活性较弱的激活剂发生反应,这样保证在寿命期间源源不断缓慢产生盈余 Ba.铝酸盐与激活剂反应式如下式所示:



上式中 M 表示激活剂,从(3)式我们可以看出在铝酸盐与激活剂反应产生盈余 Ba 的同时也有  $BaAl_2O_4, BaMO_4, CaMO_4$  等副产物产生,这些副产物覆盖在铝酸盐周围形成所谓的界面层逐渐会阻止铝酸盐与激活剂的进一步反应,降低这种界面层的方法是铝酸盐与激活剂混合均匀并研磨至颗粒尽可能小.图 7 是本文采用铝酸盐与激活剂混合后的形貌图,图 7 中较大且不规则形状的物质为铝酸盐,小且呈球状或椭球状的为金属粉末,从图 7 中可以看出实验阴极用的铝酸盐与激活剂混合基本均匀,且铝酸盐直径都在  $5 \mu m$  以下.这种主要相为  $Ba_5CaAl_4O_{12}$  的铝酸盐与激活剂混合均匀且颗粒又小,作为贮存发射材料致密的填入贮存小室中,保证了铝酸盐与激活剂的充分反应,在阴极寿命不同时期源源不断地产生盈余 Ba 并向镍网表面扩散,维持涂层中 Ba 的含量,保证阴极在支取大电流时的寿命.

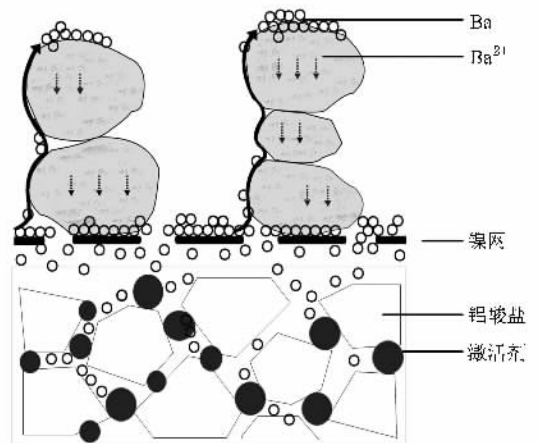


图 6 新型贮存式氧化物阴极盈余 Ba 从贮存小室、镍网表面到阴极发射表面的传输示意图

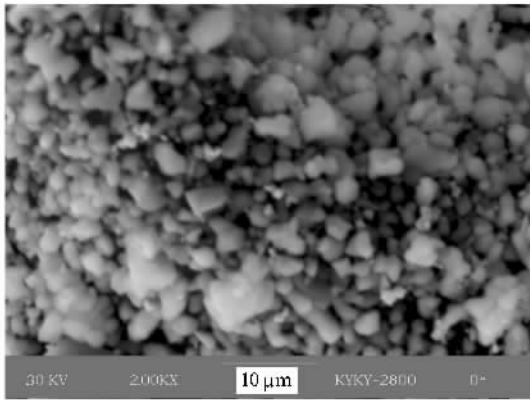


图7 铝酸盐与激活剂混合后的SEM(2000X)形貌图

## 5. 结 论

本文首先对普通氧化物阴极与一种新型贮存式氧化物阴极在相同的实验条件及相同的阴极负荷条件阴极温度 780 ℃, 初始发射电流密度 1.50 A/cm<sup>2</sup>

进行寿命实验, 结果表明新型贮存式氧化物阴极的寿命是 3500 h, 而普通氧化物阴极的寿命只有 500 h. 阴极表面涂层剥离实验分析表明: 普通氧化物阴极 500 h 寿命后涂层表面及涂层中 Ba 的浓度显著降低, 而新型贮存式氧化物阴极 500 h 后阴极表面存在 Ba 富集, Ba 的浓度在涂层深处趋于平衡, 涂层中盈余 Ba 的相对浓度大于阴极发射表面盈余 Ba 的相对浓度. 由于新型贮存式氧化物阴极贮存小室中特殊结构的铝酸盐与不同活性激活剂配比恰当、混合均匀, 保证阴极在寿命期间源源不断地产生盈余 Ba, 盈余 Ba 通过 Ni 网扩散到阴极涂层维持涂层中 Ba 的浓度, 所以新型贮存式氧化物阴极可支取相对大的发射电流时具有较长的寿命.

感谢中国科学院物理研究所谢侃老师及王文新老师在本文阴极表面 XPS 分析中提供的帮助. 感谢中国科学院电子学研究所微波器件中心朱虹工程师在本文形貌分析中提供的帮助.

- [ 1 ] Gong Y B, Zhang Z, Wei Y Y, Meng F B, Fan Z K, Wang W X 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 3990 ( in Chinese ) [ 宫玉彬、张章、魏彦玉、孟凡宝、范植开、王文祥 2004 物理学报 **53** 3990 ]
- [ 2 ] Wang X X, Liao X H, Luo J R, Zhao Q L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 1924 ( in Chinese ) [ 王小霞、廖显恒、罗积润、赵庆兰 2008 物理学报 **57** 1924 ]
- [ 3 ] Kren H E 1960 *Bell Lab. Rec.* **38** 451
- [ 4 ] Frost H B 1961 *Bell Lab. Rec.* **39** 18
- [ 5 ] Liu X Q 1980 *Cathode Electronics* ( Beijing : Science Press ) ( in Chinese ) [ 刘学恂 1980 阴极电子学( 北京 科学出版社 ) ]
- [ 6 ] Liao X H, Huang H F, Tang B Y, Wan X W 1984 *J. Electron.* **1** 205
- [ 7 ] Wang X X, Liao X H, Luo J R, Zhao Q L 2005 *Appl. Sur. Sci.* **251** 69
- [ 8 ] Liao X H, Wang X X, Zhao Q L, Meng M F 2005 *Appl. Sur. Sci.* **251** 64
- [ 9 ] Haas G A, Shih A D, Thomas R E 1979 *Appl. Sur. Sci.* **2** 293
- [ 10 ] Moudle J F, Stickle S F, Sobol P E, Bomben K D 1992 *Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy* ( Minnesota : Perkin-Elmer Corp. )
- [ 11 ] Shafer D, Turnbull J 1981 *Appl. Sur. Sci.* **8** 225
- [ 12 ] Масникоб О Ю, Ущакoб А Б 2003 *Availability Thermionic Cathodes*( Moscow : Moscow College of Technology Physics ) ( in Russian )
- [ 13 ] Weon B M, Dam A van, Park G S, Kim I W, Seol S K, Kwon Y B, Hwu Y, Tsai W L, Ruterana P 2003 *J. Vac. Sci. Tech.* **B 5** 21
- [ 14 ] Zhang E Q 1976 *Acta Phys. Sin.* **25** 23 ( in Chinese ) [ 张恩虬 1976 物理学报 **25** 23 ]

# Lifetime of a new type of reservoir oxide cathode<sup>\*</sup>

Wang Xiao-Xia<sup>†</sup> Liao Xian-Heng Luo Ji-Run Zhao Qing-Lan Zhang Xiao-Wei

(*Key Laboratory of High Power Microwave Sources and Technologies, Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China*)

(Received 26 March 2008; revised manuscript received 27 August 2008)

## Abstract

The lifetime of a new type of reservoir oxide cathode and a conventional oxide cathode was experimentally studied. Concentrations of Ba in different coating depths of the cathodes were analysed by XPS during the lifetime testing process. The mechanism of the reservoir oxide cathode lifetime was discussed according to the analysis results, the cathode structures and the characteristics of the reservoir emission materials. The results show that the lifetime of the reservoir oxide cathode is about seven times that of the conventional oxide cathode. Ba concentration keeps steady in the depth of cathode coating, which plays an important role in the long lifetime of the reservoir oxide cathode.

**Keywords** : oxide cathode, lifetime, excess Ba, reservoir emission material

**PACC** : 7940, 6630H, 8200

---

<sup>\*</sup> Project Supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 50702059).

<sup>†</sup> E-mail : wangxx-798@sohu.com