2021 年 8 月 August 2021

DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-39778

非蒸散型吸气材料研究现状及进展



宋 伊,冯 焱,成永军,裴晓强,冯天佑,郭美如,董 猛,魏宁斐

(兰州空间技术物理研究所 真空技术与物理重点实验室, 兰州 730000)

摘 要: 阐述了非蒸散型吸气材料的工作机理,从压制型、多孔烧结型和薄膜型三大类介绍了非蒸散型吸 气材料的发展历程,并对各类吸气材料存在的问题进行了分析,压制型合金的机械强度较低、多孔烧结型 合金的激活温度较高以及薄膜型合金的吸气容量较低。然后对非蒸散型吸气材料的改性研究进行了概述, 改性方法主要有合金化法、表面镀层法以及活性表面最大化法。最后,对非蒸散型吸气材料的研究趋势进 行了展望,并指出非蒸散型吸气材料仍需解决的问题。

关键词: 非蒸散型吸气材料; 工作机理; 激活温度; 吸气性能

文章编号: 1004-0609(2021)-08-2160-11 中图分类号: TB741 文献标志码: A

引文格式: 宋 伊, 冯 焱, 成永军, 等. 非蒸散型吸气材料研究现状及进展[J]. 中国有色金属学报, 2021, 31(8): 2160-2170. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-39778

SONG Yi, FENG Yan, CHENG Yong-jun, et al. Research status and progress of non-evaporable getter for electronic vacuum devices[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2021, 31(8): 2160–2170. DOI: 10.11817/j.ysxb.1004.0609.2021-39778

随着真空技术和电子技术的快速发展,电真空 器件对真空条件、寿命及稳定性提出更高的要求。 而电真空器件排气封离之后的残余气体、器件在工 作时放出的活性气体和通过器件管壳渗透的 H₂等 气体都会严重影响电真空器件的真空度。吸气材料 可以吸收电真空器件中的活性气体,提供器件封离 后所需的真空度,而且可以对真空度进行长时间的 维持,保证器件的寿命及稳定性和可靠性,所以对 吸气材料的研究与发展直接影响电真空器件的性 能。

吸气材料可分为蒸散型吸气材料和非蒸散型 吸气材料,蒸散型吸气材料是通过加热蒸散后形成 膜进行吸气,而非蒸散型吸气材料是激活后形状不 变,常温下即可与活性气体形成稳定化合物进行吸 气。蒸散型吸气材料工作时会带来蒸散的金属原 子,造成极间漏电等影响电真空器件的正常工作, 使其应用范围变窄^[1]。而非蒸散型吸气材料不需要 把吸气金属蒸散出来,不会使器件受到污染,且具 有体积小,抽速大的特点,所以被广泛应用于电真 空器件领域^[2]。非蒸散型吸气材料在发展历程中主 要形成了压制型、多孔烧结型和薄膜型三大类^[3]。 压制型非蒸散型吸气材料主要有 Zr-Al、Zr-V-Fe 合 金^[4-5],多孔烧结型非蒸散型吸气材料主要有 Zr-C(石墨)、Zr-ZrVFe、Ti-Mo 合金^[6-7],薄膜型非 蒸散型吸气材料主要有 TiZrV 合金薄膜^[2]。

非蒸散型吸气材料的激活温度与吸气特性是 当前学者关注和研究的重要方向,却忽视了非蒸散 型吸气材料的一些其他特性。压制型非蒸散型吸气 材料的机械强度差,多孔烧结型非蒸散型吸气材料 较压制型合金具有机械强度高,吸气性能更优异的 特点,但激活温度较高,工艺复杂^[6,8],以及由于 薄膜型非蒸散型吸气材料受到吸气容量的限制,一

收稿日期: 2020-09-24; 修订日期: 2021-06-21

通信作者: 冯 焱, 研究员, 博士; 电话: 0931-4585003; E-mail: 13893672696@139.com

般仅限于在微小电真空器件中应用,且在国内的研 究起步较晚,吸气容量、沉积精度等技术难题有待 解决^[9],这都是当前存在的问题,未来的研究重点 应集中解决这些难题。

1 吸气材料的工作机理

一些过渡族金属如IVB 族金属(钛、锆、铪)及 其与铝、铁、钴、锰、稀土元素等组成的合金,在 激活时不需要蒸散或改变形状,常温下就有很好的 吸气性能,被定义为非蒸散型吸气材料。非蒸散型 吸气材料对 CO、O₂、N₂等大部分气体的吸附以化 学吸附为主^[10],气体分子撞击到吸气材料活性表面 以稳定化合物形式被捕获。而对 H₂ 主要是物理吸 附^[11-12],H₂ 在吸气材料内的吸收过程可逆。H₂ 平 衡压力取决于温度,室温下的平衡压力(<1×10⁻¹³ Pa)可忽略。所以,非蒸散型吸气材料对 H₂的吸附 容量明显大于其他活性气体。

由吸气机理获得清洁的活性表面是材料进行 吸气前的关键一步,所以非蒸散型吸气材料必须在 真空条件下进行加热以去除表面吸附气体及表面 钝化膜(氧化物膜),该过程被称为激活过程^[13-14]。 以 Zr-V-Fe 合金为例,暴露于大气环境下,其合金 表面覆盖着一层 Zr 和 V 的氧化物及表面吸附气体 CO₂、H₂O、碳氢化合物等^[15]。在加热激活非蒸散 型吸气材料时,表面吸附气体逐渐脱附,而对于吸 气材料表面 Zr 和 V 的氧化物,假定发生分解反应 (以 Zr 氧化物为例): ZrO₂(s)==Zr(s)+O₂(g),并对该 反应的热力学进行可行性分析。计算不同温度下 ZrO₂分解反应的吉布斯自由能变Δ_rG 的热力学方程 可表示为^[16-17]:

$$\Delta_{\rm r}G = \Delta G_T^{\Theta} + RT \ln \frac{p}{p^{\Theta}} \tag{1}$$

式中: ΔG_T^{Θ} 是同一温度、标准压强下的吉布斯自由 能; *R* 是摩尔气体常数, *R*=8.314 J/(K·mol); *T* 是温 度; *p* 是压强; *p*^{Θ} 是标准压强, *p*^{Θ} =101 kPa。 ΔG_T^{Θ} 可由式(2)、(3)和(4)计算:

$$\Delta G_{\tau}^{\Theta} = \Delta H_{\tau}^{\Theta} - T \Delta S_{\tau}^{\Theta} \tag{2}$$

$$\Delta H_T^{\Theta} = \Delta H_{298}^{\Theta} + \int_{298}^T \Delta c_p \mathrm{d}T$$
(3)

$$\Delta S_T^{\Theta} = \Delta S_{298}^{\Theta} + \int_{298}^T \frac{\Delta c_p}{T} dT$$
(4)

式中: ΔH_T^{Θ} 是温度 *T*下的标准摩尔焓变, $\Delta H_{298}^{\Theta} = 1.1$ MJ/mol; ΔS_T^{Θ} 是温度 *T*下的标准摩尔熵变, $\Delta S_{298}^{\Theta} = 193.8$ MJ/(K·mol); 定压比热容 $c_p = a + bT + cT^2$, 经验 参数 *a*、*b*、*c*见表 1。

表 1 ZrO₂、Zr 和 O₂ 定压比热容 c_p 的经验参数^[14, 16] Table 1 Empirical constants of heat capacity of ZrO₂, Zr and O₂^[14, 16]

Material	a/ (J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹)	b/ (J·mol ⁻¹ ·K ⁻²)	c/ (J·mol ⁻¹ ·K ⁻³)
ZrO ₂	42.30	6.9000×10^{-2}	-3.750×10^{-5}
Zr	24.00	3.2500×10^{-3}	3.750×10^{-6}
O ₂	25.16	1.4025×10^{-2}	-4.125×10^{-6}

电真空器件一般具有较高的真空度,假定 $p=1\times10^{-6}$ Pa^[14],则计算可得 $\Delta_r G=1099925-$ 372.289*T*+0.0258625*T*²-6.1875×10⁻⁶*T*³-6.86*T*ln*T*。 当 $\Delta_r G<0$ 时,*T*>2735 K(2462 °C),即在此温度以 上,ZrO₂的分解反应才能进行,而Zr-V-Fe 合金的 激活温度一般低于 450 °C^[18],所以不会发生 ZrO₂ 分解生成 O₂ 的反应。实验发现激活过程中吸气材 料表面会出现Zr和ZrO^[19],则由元素守恒定律, 金属氧化物中的O元素在激活过程中主要通过向 材料体内扩散而离开吸气材料表面,如图1所示^[11]。 因此,在非蒸散型吸气材料的激活过程中,表面氧 化物的氧原子逐渐向合金内部扩散,氧原子的扩散 速度决定了激活速度的快慢。



图1 非蒸散型吸气材料激活原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of thermal activation in vacuum of non-evaporable getter

2 国内外研究现状

2.1 压制型非蒸散型吸气材料

在非蒸散型吸气材料研究领域,意大利 SAES 公司的研究生产开始较早、规模最大、成果最多。 SAES 公司在 1962 年研发出 Zr-Al16 非蒸散型吸气 材料,它是由质量比分别为 84%、16%的 Zr、Al 经高温熔炼制成,被称为 St101 合金。该非蒸散型 吸气材料在 900 ℃下加热 30 s 可激活,在高温条件 下(200~400 ℃)对各类活性气体都具有良好的吸气 特性^[20]。由于 Zr-Al 合金比较脆,所以将其制成粉 末状,使用时可压制成所需形状的块体吸气材料^[5]。 St101 合金常温下性能稳定,对氢气的平衡压强低 (可达 1×10⁻¹⁰ Pa 的本底真空),且在较低真空状态 下使用性能良好^[21],因此该非蒸散型吸气材料被广 泛应用于诸如大功率、高电压、超高频管以及气体 激光器等需要保证高可靠、长寿命的电真空器件 中^[22]。另外,同时期还研发了 Zr-Ti、Zr-Ni 等 Zr 系二元吸氢合金,Zr-Ti 合金塑性较好,但仅在 350~400 ℃下可进行应用^[23];Zr-Ni 合金在氮气环境 下具有良好的吸氢特性,但由于较高的气体平衡压 力使其应用受到了限制^[24]。

1983年,KNIZE 等^[25]研究了 Zr-Al16 吸气材料 的吸氢动力学,在理论模型中将表面吸附与体内扩 散耦合,忽略了表面势垒对氢气从表面扩散至体内 的阻碍作用。2004 年复旦大学刘超卓等^[26]在吸氢模 型中考虑了表面势垒的作用,综合描述了表面吸 附、表层渗透和体内扩散三个动力学过程对整个吸 氢过程中氢的体分布、吸气总量、吸气速率的影响, 建立了较完整的吸气理论,且该理论对材料的表面 改性研究提供了理论支持。实验发现^[24, 27],在 Zr-Al16 合金表面镀一层 Ni 薄膜, Ni 膜起到催化作 用,降低氢分子在吸气材料表面的解离能,使氢分 子很容易离解为氢原子,则吸氢动力学增强,合金 对氢气的吸附能力显著提升。

SAES 公司在 1981 年基于以往的吸气材料研发 出了 Zr-V-Fe 非蒸散型吸气材料,将其命名为 St707 合金,该合金由质量分数分别为 70%、24.6%、5.4%

的 Zr、V、Fe 经高温真空熔炼制成。并根据实际应 用的需求,高温熔炼制成的 St707 合金经过粉碎被 压制成不同形状和尺寸的商用吸气材料。该吸气材 料在 450 ℃的真空条件下加热 45 min 就可完全激 活,一定程度上解决了低温激活的问题。暴露于大 气的 St707 合金表面除了覆盖一层表面吸附气体 CO_2 、 O_2 、碳氢化合物等,还有 Zr 和 V 的氧化物 膜。在加热激活过程中,V的氧化物能够在较低温 度下被还原,并且还原比例远高于 Zr 的氧化物, 所以该元素的存在是 St707 合金具有较低激活温度 的主要原因^[19]。Zr-V-Fe 合金的微观组织如图 2 所 示,合金由板条状的颗粒类和层片状组织组成,板 条状的晶粒为初生的 $Zr(V_aFe_{1-a})_2$ 金属间化合物, 类层片状组织为 α -Zr 和 Zr(V_a Fe_{1-a})₂的不规则共晶 组织。研究表明^[12, 28], α-Zr 相对活性气体有很强的 化学吸附和溶解能力,而 Zr(V_aFe_{1-a})₂相的作用是 降低激活温度。相比于 Zr-Al16 非蒸散型吸气材料, Zr-V-Fe 吸气材料不仅具有低的激活温度,而且吸 气性能更加优异。如表2所示, SAES 公司 BOFFITO 等将 Zr-Al16 合金在标准激活条件下(900 ℃、30 s) 吸气量的值假定为 100, 并在此基础上对该合金与 Zr-V-Fe 合金在不同激活条件下的吸气量进行了对 比。

西北工业大学杨晓伟等^[29]研究了 Zr-V-Fe 合金 的吸氢性能,图 3 所示为合金试样在 623~823 K 下 的吸氢 p-c-T 曲线,曲线存在 α 相、 $(\alpha+\beta)$ 相和 β 相三个明显的区域,其中 α 相为含氢固溶体相, β 相为氢化物相。 α 相区域主要是合金的表面吸附过 程; $(\alpha+\beta)$ 区域中两相达到互溶共存的动态平衡, 呈现较宽且平坦的吸氢平台,此阶段合金开始粉 化,粉化过程中新鲜吸气表面的暴露有利于氢气的



图 2 Zr-V-Fe 合金的微观组织^[29] Fig. 2 SEM microstructure of Zr-V-Fe alloy^[29]

 Table 2
 Comparison of absorption capacity of Zr-Al16

 and Zr-V-Fe getters under different activation conditions at room temperature^[30]

	Adsorption capacity				
Getter material	H_2		СО		
	Standard	Low	Standard	Low	
	30 s	10 min	30 s	10 min	
Zr-Al16	100	3	100	25	
Zr-V-Fe	300	67	179	125	



图 3 Zr-V-Fe 合金吸氢 *p*−*c*−*T* 曲线

Fig. 3 Pressure composition isotherms of Zr-V-Fe alloy for hydrogen absorption

进一步吸收;随着吸氢量增大,更多的氢化物 β 相形成,氢原子在氢化物晶胞内进行内扩散。通过范特霍夫方程进行外推法计算,Zr-V-Fe 合金的室温吸氢平衡压可达到 10^{-8} Pa 量级。

2.2 多孔烧结型非蒸散型吸气材料

非蒸散型吸气材料在电真空器件封离后通过 吸附活性气体提高真空度并进行维持,吸气材料的 吸气性能主要取决于表面吸附和体扩散。为了避免 器件的损坏和过度脱气,吸气材料必须在相对较低 的温度下工作。吸附气体在低温下的体扩散通常非 常小,因此活性表面积必须最大化,则对合金的吸 附表面积和孔隙度有更高的要求。研究发现^[31],比 表面积越大则材料与活性气体分子的有效作用面 积越大,吸附几率越高,孔隙度越高越有利于被吸 附气体在吸气材料体内的快速扩散。相比与压制型 合金,多孔烧结体是将压制成型的坯体继续进行烧 结处理,所以烧结型合金不仅具有高的比表面积和 孔隙度,而且还具有优秀的机械特性,如低密度和 高强度。

多孔结构的 Zr-C(石墨)非蒸散型吸气材料是由 质量分数分别为 83%、17%的单质锆、石墨混合物 烧结制成,1973 年被 SAES 公司研发出,并被命名 为 St171 合金。由于粉末烧结多孔体具有较高的孔 隙度和比表面积,该吸气材料在室温下表现出优越 的吸气性能,其激活温度约为 850 ℃。相比更早时 期的压制型 Zr-Al16 合金,该吸气材料的激活温度 有所降低,且吸气性能有所提高,如表 3 所示。这 种粉末烧结体的绝大部分表面是以微孔内表面存 在,气体分子在吸气材料内部的传输途径有两 种^[22]:一是表面扩散,物理吸附气体分子表面扩散 系数为1×10⁻⁵ cm²/s,化学吸附分子表面扩散系数 更小;二是气体分子在微孔中的分子流扩散,室温 下的扩散系数约为 10 cm²/s。

表 3 Zr-Al16 和 Zr-C(石墨)吸气材料室温吸气量的比较^[2]

 Table 3
 Comparison of absorption capacity of Zr-Al16

 and Zr-C getters at room temperature^[2]

Getter	Adsorption capacity (Pa·mL·cm ⁻²)			
material	H_2	СО	N_2	
Zr-Al16	10000	130	50	
Zr-C(graphite)	10000	500	200	

尉秀英等^[32]研究了多孔烧结体 Zr-C(石墨)在室 温下的吸气动力学模型。从微孔中气体分子流扩散 及表面化学吸附出发,研究发现当孔壁吸气速率远 高于气体分子在微孔中的扩散速率时,吸气材料的 吸气速率会受到微孔内气体传质过程的制约。要使 多孔吸气材料的吸气速率高,必须保证吸气材料有 高的孔隙度和大的比表面积,且粉层不宜太厚。对 于 Zr-C(石墨)吸气材料,粉层厚为1 mm 时,吸气 速率不受气体分子传输限制的微孔临界尺寸约为 10 μm。

Zr-C(石墨)吸气材料的激活温度较高,较高的激活温度会使一些电真空器件材料受损和过度脱 气。1984 年 SAES 公司研发出了另一多孔烧结体 Zr-ZrVFe 非蒸散型吸气材料,将其命名为 St172 合 金,该吸气材料由 60%的 ZrVFe 合金粉末与 40%的 Zr 粉进行真空烧结制成,具有如图 4 所示的多孔结 构。ZrVFe 吸气材料具有高的扩散性和低温激活性



图 4 多孔烧结体 Zr-ZrVFe 吸气材料的 SEM 像^[33] Fig. 4 SEM image of Zr-ZrVFe porous getter surface^[33]

能,所以成功将多孔烧结型吸气材料的激活温度降低至 450~550 ℃左右。St172 合金中组成物 ZrVFe的存在使该合金具有多孔结构,而 Zr 的存在使其更易烧结,烧结性能得以提高。则 St172 合金不仅具有良好的吸气性能,牢固度也有所提高。

1984年, FERRARIO 等^[33]研究关于 Zr-ZrVFe 非蒸散型吸气材料对于 H₂、CO、H₂O 的吸气特性 并进行了讨论。Zr-ZrVFe 和 Zr-C(石墨)两吸气材料 在同一激活条件下激活,并测得吸H₂、CO特性曲 线,如图 5(a)和(b)所示。高温激活条件下(900 ℃、 10 min),两种吸气材料的吸H2特性曲线基本相同, 而 Zr-ZrVFe 的吸 CO 特性曲线明显高于 Zr-C(石墨) 吸气材料的。对曲线分析计算得出,室温下吸 CO 气体量仅有几个分子层,认为 CO 没有发生体扩散, 吸气量主要依靠有效表面的扩散;而对于H2,室温 下就有很高的体扩散。降低激活温度(450 ℃、10 min), Zr-C(石墨)吸气材料的吸气特性很低, 而 Zr-ZrVFe 吸气材料依然保持相当高的吸气水平,这 是由于 ZrVFe 是吸气材料,而石墨无活性。另外, Zr-ZrVFe 吸气材料对 H₂O 有优良的吸气特性,可 认为吸气材料表面的水蒸气将会产生离解, 而吸氧 的 ZrVFe 合金表面仍具有吸氢的本领,因此 Zr-ZrVFe 吸气材料吸附离解氢的能力是很强的。

Ti-Mo 非蒸散型吸气材料是 SASE 公司于 1990 年研发出的新型多孔烧结型合金,它是以 Ti 为基 体,加入蒸汽压低、熔点高、自身结合强度高的抗 烧结元素 Mo 进行烧结制成,Ti 与 Mo 的质量比为



图 5 Zr-ZrVFe 合金室温下吸 H₂、CO 特性曲线 Fig. 5 Absorption characteristics of Zr-ZrVFe alloy for H₂ and CO at room temperature and different activation conditions: (a) 900 \degree , 10 min; (b) 450 \degree , 10 min

9:1。其中, Ti 作为活性元素,合金激活后对活性气体进行吸附,激活温度一般在 550~750 ℃左右; Mo 作为抗烧结元素及 Ti 的强 β 相稳定元素,不仅可抑制活性元素在烧结过程中的团聚长大,使吸气材料具有多孔结构和大的比表面积,而且使 Ti 的 $\alpha \rightarrow \beta$ 相变温度大幅度降低,大大提高了 β 相的含量。 Ti-Mo 合金由 HCP(密排六方)- α 相和 BCC(体心立方)- β 相组成, β 相相比 α 相具有更高的吸氢比和更低的氢解离平衡压。

ZHOU 等^[34]研究发现, Mo 可以延长 Ti-Mo 合

金的致密化过程,使孔隙率提高。随着 Mo 含量的 增加,Ti-Mo 合金的孔隙率呈先增加后降低的趋势, 当孔隙率最高时,合金的吸氢能力最强。赵越等^[35] 对 Ti-Mo 合金吸放氢的性能进行了研究,Mo 的加 入会使体系与氢的结合稳定性降低,氢的平衡分压 提高,同时会使 Ti(Mo)-H 单胞的体模量增大,体 系强度提高。当 Mo 含量不超过 10%时,合金氢化 物的室温平衡压增加不大,超过 10%后增加较快。 王伟伟等^[36-37]对 Ti-Mo 合金中氢化物热解析的动 力学进行了研究,发现 Mo 含量的增加会降低氢化 物的稳定性,使得氢化物热解析的速率加快。

2.3 薄膜型非蒸散型吸气材料

吸气剂薄膜是真空系统获得和维持超高真空 的另一重要材料, 它于 1995 年出现在欧洲核子中 心(CERN)的大型强子对撞机上,应用于真空管道形 成吸气泵。由于越来越多的电真空器件对吸气材料 低的激活温度有更高的需求, SAES 公司生产的 St707、St172 型吸气材料的激活温度约为 450~ 550℃,一些结构材料依然无法承受如此高的温度, 如铜合金和铝合金发生放气反应的最低温度分别 为 250 和 200 ℃,放出的气体(H₂、CO₂、CH₄等) 不仅会影响器件的稳定性,还会对吸气材料产生一 定的毒化作用,导致吸气速率的快速衰减^[38]。1997 年,欧洲核子中心(CERN)的研究人员 BENVENUTI 等^[39]对 Ti、Zr、Hf、Nb、V 及其二元合金进行了研 究,发现其激活温度都低于 400 ℃, Ti 和 Zr 合金 的最低激活温度为 200~250 ℃。1999 年, 他们研究 发现 Ti-Zr-V 合金薄膜在 180 ℃下加热 24 h 即可激 活,这个激活温度是迄今为止非蒸散型吸气材料中 最低的,可用于不锈钢、铜和铝等常用材料制造的 真空室,大大扩大了非蒸散型吸气材料的应用范围 ^[40]。Ti-Zr-V 薄膜的激活温度与 Ti、Zr、V 的含量 比例密切相关,如图6所示为合金薄膜激活温度与 成分的关系。由图可知, Ti-Zr-V 薄膜存在低温激活 区,且减小薄膜晶粒尺寸有利于激活温度的降低, 低温激活区对应晶粒尺寸为 3~5 nm 的纳米晶薄膜 结构^[41]。另外,为使吸气材料薄膜能适用于铜、铝 合金等管道, SAES 公司也致力于研究并寻找激活 温度更低的吸气剂薄膜,包括 Zr、Ti-Zr-V、Ti-ZrVFe 合金薄膜等。



Fig. 6 Relation between activation temperature and composition of TiZrV film^[11]: (a) Low temperature activated region; (b) Crystalline structure

LI 等^[42]研究了致密型和多孔型 Ti-Zr-V 薄膜的 性能差异,当二者具有相同的组分和厚度时,多孔 Ti-Zr-V 薄膜的比表面积是致密 Ti-Zr-V 薄膜的 6 倍 以上,且相较于致密 Ti-Zr-V 薄膜,多孔 Ti-Zr-V 薄 膜的激活温度更低,吸氧能力更强。SHARMA 等^[43] 在内径 100 mm、长度 300 mm 的真空管内壁制备了 1 μ m 厚的 Ti-Zr-V 薄膜,并在 180 ℃下加热 24 h 进 行激活,获得了 6×10⁻¹⁰ Pa 的极限压力, H₂ 的分 压从 1×10⁻⁷ 降低至 1×10⁻¹² Pa。

近年来,薄膜型非蒸散型吸气剂广泛应用于 MEMS(Micro-electro-mechanical system,微机电系 统)真空封装领域。ZrCoRE(RE 为稀土)被认为是一 种很有前景的新型非蒸散型吸气材料,将其广泛应 用于密封电子器件中。北京有色金属研究总院毛昌 辉等^[44]对 ZrCoRE 吸气薄膜进行了研究,ZrCoRE 薄膜在 300 ℃保温 30 min 即可激活。ZrCoRE 薄膜 表面粗糙度越大,越有利于获得较高气体吸附几 率,而薄膜的表面粗糙度和结构无序度随衬底粗糙 度增加而增大。

3 非蒸散型吸气材料的改性研究

表征吸气材料性能优劣的特征参数主要有激

活温度和吸气性能,为了使非蒸散型吸气材料具有 更加优异的性能,国内外学者在已有吸气材料的基 础上进行了改性,目前的改性方法主要有合金化法 (合金中掺入稀土元素、其他金属元素或金属间化合 物)、表面镀层法以及活性表面最大化法,通过改性 研究使非蒸散型吸气材料的激活温度降低及吸气 性能提高。

非蒸散型吸气材料中添加稀土元素可以加速 吸气材料表面金属氧化物的分解,使合金在激活过 程中快速呈现出新鲜的金属态表面,有利于激活温 度的降低。MOGHADAM等^[45-46]在 Zr 基吸气材料 中添加了适量的稀土元素 Ce 和 La,研究发现稀土 元素在吸气材料激活过程中可以从 Zr 附近的间隙 位置消耗 O,由式(5)和(6)生成稀土氧化物,促进 ZrO₂的分解,有利于吸气材料的激活。另外,稀土 元素的添加也可有效减小合金中的晶粒尺寸,使得 晶界增多,材料孔隙度增高,从而为吸气材料中气 体原子的扩散创造了更有利的条件,材料吸气性能 得到提高^[3,47]。

 $3ZrO_2 + 4Ce \longrightarrow 3Zr + 2Ce_2O_3 \tag{5}$

 $3ZrO_2 + 4La \longrightarrow 3Zr + 2La_2O_3$ (6)

研究者还尝试将其他金属元素或金属间化合 物掺杂进非蒸散型吸气材料中以提高吸气材料性 能。英国 ASTeC 真空科学实验室 MALYSHEV 等^[48-49]在 Ti-Zr-V 三元合金的基础上,制备出新型 的 Ti-Zr-Hf-V 四元合金薄膜,研究发现四元合金型 薄膜的激活温度可降低 20 ℃,为 150~160 ℃,且 吸气容量更高。崔航等^[12]研究了 Zr_xV_vFe_z吸气材料 的吸 CO 特性,结果表明掺入 50% Fe 的 Zr-V-Fe 合金的吸 CO 性能最优,这是由于 Zr_rV_vFe_z合金由 α -Zr 相和 Zr(V_aFe_{1-a})₂相组成,而 Fe 含量的增大会 减弱 Zr(V_aFe_{1-a}),相与 C、O 之间的相互作用,使 C、 O在吸气材料中的扩散速率得到提高。XIONG等^[50] 在 Zr-C 吸气材料中掺入 LaNis, 研究发现由于 Ni 的催化作用,改性的 Zr-C 合金在 700 ℃下加热 30 min 进行激活,其吸氢性能明显优于传统 Zr-C 吸气 材料在 850 ℃下加热 10 min 激活的。

非蒸散型吸气材料表面制备不同的薄膜镀层 会对吸气材料的吸气性能起到改善作用。CUI 等^[51-52]通过化学镀的方法制备出镀 Ni 的 Zr-V-Fe

合金,研究发现 Ni 层可使 H₂分子在吸气材料表面 的解离能降低,提高吸气材料表面的化学吸附率, 从而提高了吸气材料的吸气性能,镀 Ni 的 Zr-V-Fe 合金相比原始合金,吸氢速率从1060 增加到1431 cm³/(s·g)。同时,Ni 层可有效阻止 O₂ 等活性气体 对合金的氧化,从而降低了吸气材料的激活温度。 此外, 镀 Ni 的 Zr-V-Fe 合金经烘烤之后, 吸氢速率 只下降了 5.658%, 而原始合金下降了 17.857%, 这 说明 Ni 层能加强 Zr-V-Fe 合金的抗氧化能力。LIU 等^[24]使用离子束溅射技术将Ni层沉积在Zr-Al合金 表面上,研究发现 Ni 层能够显著提升合金对氢气 的吸附能力。ZHANG 等^[53-54]通过化学电镀法将 Pd、Pd-Ag 涂层沉积在 Zr-V-Fe 合金上,研究发现 Pd、Pd-Ag 涂层可使合金的吸氢速率显著提高,氢 气动力学提高, 且几乎不会损失储氢容量, 同时, Pd、Pd-Ag 涂层还能够显著提升 Zr-V-Fe 合金对气 体杂质的抗毒化作用。

非蒸散型吸气材料中活性区域的增大会使材 料与活性气体分子的有效作用面积增大,则吸附几 率提高,吸气性能得到改善。DAESUP 等^[55]通过激 光脉冲消融技术获得了纳米尺寸的 Zr-V-Fe 合金, PARK 等^[56]通过转移直流热等离子体技术获得了纳 米复合粒子的 Zr-V-Fe 合金,这些学者发现纳米尺 寸法可大幅度增大材料晶界数量和晶粒表面, 而晶 界和晶粒表面被认为是吸气材料的活性区域,所以 纳米尺寸法可显著提高吸气材料的吸气性能。对于 多孔烧结型非蒸散型吸气材料,徐大磊等^[57]采用金 属粉末注射成形工艺制备获得 ZrVMnCe-Zr 吸气材 料并对其性能进行了研究,发现减小原料粉体的粒 度可有效提高烧结体的孔隙度和比表面积,材料吸 气性能提高,但随着粒度的进一步减小,烧结致密 化程度提高,材料吸气性能降低,机械强度提高。 实验得出, 由粉体粒度为 75~150 um 的 ZrVMnCe 制备得到的 ZrVMnCe-Zr 吸气材料在 1020 ℃下烧 结 20 min 可获得吸气性能和机械强度最佳的综合 特性。徐晓强等^[31]通过添加造孔剂 NH4HCO3制备 出孔隙度可控的多孔 Ti 吸气材料,材料的吸氢性能 随着 NH₄HCO₃ 添加量的增多呈现出先升高后降低 的特点,这是由于孔隙度过高使材料内部热传导变 慢,激活效率降低,而吸气速率受激活程度的影响 也呈降低趋势。

4 结语

随着科学技术和制备工艺的发展,主要形成了 压制型、多孔烧结型及薄膜型非蒸散型吸气材料。 压制型非蒸散型吸气材料 Zr-V-Fe 具有较低的激活 温度和良好的吸气性能,但机械强度较差;多孔烧 结型非蒸散型吸气材料解决了压制型吸气材料机 械强度差的问题,且通过提高合金的孔隙度和比表 面积使材料吸气性能也有所提升,但激活温度与制 备成本较高,代表性的有 Zr-ZrVFe 和 Ti-Mo 合金; 薄膜型非蒸散型吸气材料中典型的有 Ti-Zr-V 薄膜, 具有很低的激活温度,但受到吸气容量的限制,一 般仅用在微小电真空器件中。电真空器件中排气封 离后使用最多的非蒸散型吸气材料为压制型和多 孔烧结型块体合金,代表性的有 Zr-V-Fe、Zr-ZrVFe 和 Ti-Mo 合金,且根据各自的特性应用于不同的工 作条件下。

目前非蒸散型吸气材料的改性方法主要有:1) 合金中添加稀土元素及其他金属元素或金属间化 合物;2)合金表面制备不同的薄膜镀层;3)使合 金中活性表面最大化。这些改性方法都是基于非蒸 散型吸气材料的吸气机理产生,通过实验研究有效 提高了吸气材料的性能,但实验成本较高,且难以 得到最佳的实验参数。未来的实验研究可结合吸气 材料的理论模型,通过对材料微观结构及宏观性能 的模拟与分析指导实验以获得最优的改性参数。另 外,可通过新型制备方法(如激光脉冲消融技术、转 移直流热等离子体技术和金属粉末注射成形等工 艺)的研究,新结构吸气材料(如添加稀土元素和粉 末合金晶粒尺寸纳米化)的研制,以及多种改性相结 合的方法不断开发具有优异特性的新型非蒸散型 吸气材料。

值得关注的是,当前学者对于非蒸散型吸气材 料的研究重点主要集中在降低激活温度与提高吸 气性能,却忽视了非蒸散型吸气材料的其他特性。 块体吸气材料的机械强度低,存在掉粉现象,会极 大地降低电真空器件的高压性能,致使器件的可靠 性和环境适应能力变差。而且随着电真空器件在尖 端技术领域的应用,对真空度的要求越来越高,吸 气材料需要更低的吸氢平台压,吸气剂薄膜需要更 高的沉积精度和更大的吸气容量。因此在今后的研 究中有必要利用各种改性方法进一步提高块体合 金的机械特性、提高合金薄膜的沉积精度和吸气容 量以及降低合金的吸氢平台压。

REFERENCES

- 李 洋. Ti-Mo 吸气材料注射成形脱脂及烧结工艺的研究[D]. 北京: 北京有色金属研究总院, 2014.
 LI Yang. The study of debinding and sintering process in metal powder injection molding of Ti-Mo getter material[D].
 Beijing: General Research Institute for Nonferrous Metals, 2014
- [2] 颜 攀, 韩兴博, 冷海燕, 等. 非蒸散型吸气剂的研究进展[J].真空科学与技术学报, 2018(8), 38: 650-656.
 YAN Pan, HAN Xing-bo, LENG Hai-yan, et al. Latest development of non-evaporable getter materials[J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2018,38(8): 650-656.
- [3] 崔 航. ZrV 系合金吸气特性和应用研究[D]. 北京: 北京 有色金属研究总院, 2015.
 CUI Hang. Investigation on gas absorption characteristic and application of ZrV based alloy[D]. Beijing: General Research Institute for Nonferrous Metals, 2015.
- [4] 丁朝龙. 锆钒铁吸气剂[J]. 真空电子技术, 1994, 6: 56-60.
 DING Chao-long. The getter of zirconium-vanadium-ferrum[J]. Vacuum Electronics, 1994, 6: 56-60.
- [5] 薛钟杰. 国外消气剂及其在电真空器件方面的应用[J]. 上 海钢研, 1979(S1): 4–12.
 XUE Zhong-jie. Foreign getter and its application in electric vacuum devices[J]. Shanghai Steel & Iron Research, 1979(S1): 4–12.
- [6] FERRARIO B, FIGINI A, BORGHI M. A new generation of porous non-evaporable getters[J]. Vacuum, 1985, 35(1): 13–17.
- [7] ZHOU H G, WEI X Y, MAO C H, et al. Effects of Mo on the microstructure and hydrogen sorption properties of Ti-Mo getters[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2007, 20(2): 172–176.
- [8] 李建林,李惟夏,徐世春. 非蒸散型吸气剂维持红外焦平 面探测器杜瓦组件工作真空度的性能与应用[J]. 红外与 激光工程, 2018, 47(10): 119-127.
 LI Jian-lin, LI Wei-xia, XU Shi-chun. Performance of non-evaporable getter to maintain vacuum of Dewar module

of infrared focal plane detector and its application[J]. Infrared and Laser Engineering, 2018,47(10): 119–127.

- [9] 继 国, 毛昌辉, 张 艳, 等. 非蒸散型薄膜吸气材料研 究进展[J]. 真空科学与技术学报, 2012, 32(4): 341-346.
 BU Ji-guo, MAO Chang-hui, ZHANG Yan, et al. Latest development of non-evaporable getter film materials[J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2012, 32(4): 341-346.
- [10] MACCALLINI E, SIVIERO F, BONUCCI A, et al. New approach to meet vacuum requirements in UHV/XHV systems by non evaporable getter technology[J]. Journal of Physics Conference, 2012, 1451(1): 24–27.
- [11] 周 超, 李得天, 周 晖, 等. MEMS 器件真空封装用非 蒸散型吸气剂薄膜研究概述[J]. 材料导报, 2019, 33(2): 438-443.
 ZHOU Chao, LI De-tian, ZHOU Hui, et al. Non-evaporable getter films for vacuum packaging of MEMS devices: An
- overview[J]. Materials Reports, 2019, 33(2): 438-443. [12] 崔 航, 崔建东, 徐瑶华, 等. Zr_xV_yFe_z 低温激活吸气剂的 CO 吸气动力学研究[J]. 真空科学与技术学报, 2016, 36(3): 278-283. CUI Hang, CUI Jian-dong, XU Yao-hua, et al. Synthesis and CO absorption behavior of Zr_xV_yFe_z getter alloys[J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2016, 36(3): 278-283.
- [13] LI C C, HUANG J L, LIN R J, et al. Characterization of activated non-evaporable porous Ti and Ti-Zr-V getter films by synchrotron radiation photoemission spectroscopy[J]. Thin Solid Films, 2006, 515(3): 1121–1125.
- [14] 熊玉华,顾 为,尉秀英,等. ZrVFe 吸气剂激活过程及其机理[J]. 中国有色金属学报, 2008, 18(7): 1358-1363.
 XIONG Yu-hua, GU Wei, YU Xiu-ying, et al. Activation process and mechanism of ZrVFe getter[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2008,18(7): 1358-1363.
- [15] 单 睿,齐通通,黎秉哲,等. 非蒸散型薄膜吸气剂的研究现状及应用进展[J]. 功能材料, 2018, 49(5): 5049-5055.
 SHAN Rui, QI Tong-tong, LI Bing-zhe, et al. Research status and application progress of non-evaporable film getter[J]. Journal of Functional Materials, 2018, 49(5): 5049-5055.
- [16] 迪安 J A. 兰氏化学手册[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
 DEAN J A. Lange's handbook of chemistry[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [17] 朱传征, 褚 莹, 许海涵. 物理化学[M]. 2 版. 北京: 科学 出版社, 2008.

ZHU Chuan-zheng, CHU Ying, XU Hai-han. Physical chemistry[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2008.

- [18] BENVENUTI C, CHIGGIATO P. Pumping characteristics of the St707 nonevaporable getter (Zr 70-V 24.6-Fe 5.4 wt%)[J]. Journal of Vacuum science & Technology A Vacuum Surfaces and Films, 1996, 14(6): 3278–3282.
- [19] 顾 为, 熊玉华, 杜 军, 等. ZrVFe 吸气剂激活过程研究
 [J]. 稀有金属, 2007, 31(4): 501-505.
 GU Wei, XIONG Yu-hua, DU Jun, et al. Investigation of activation process on ZrVFe getter[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2007, 31(4): 501-505.
- [20] 袁希平. Zr-Al16 吸气剂在低真空的应用[J]. 真空电子技术, 1992, 3(4): 14-16.
 YUAN X P. Application of an absorbent Zr-Al under a low vacuum[J]. Vacuum Electronics, 1992, 3(4): 14-16.
- [21] 刘超卓. 锆铝吸气剂的吸氢动力学特性研究[D]. 上海: 复旦大学, 2004.
 LIU Chao-zhuo. The study on kinetic characteristic of hydrogen absorption for ZrAl getter[D]. Shanghai: Fudan University, 2004.
- [22] 迟煜頔,谈 萍,荆 鹏,等.吸气材料的研究现状及进展[J].材料导报,2009,23(5):48-54.
 CHI Yu-di, TAN Ping, JING Peng, et al. Research status and development of getter materials[J]. Materials Reports, 2009, 23(5):48-54.
- [23] GIORGI T A. Getters and gettering[J]. Japanese Journal of Applied Physics, 1974, 13: 53-60.
- [24] LIU Chao-zhuo, SHI Li-qun. Effect of nickel alloying layer on hydrogen absorption ability of Zr-Al getter material[J]. Chinese Physics Letters, 2004, 21(6): 1035–1038.
- [25] KNIZE R J, CECCHI J L. Theory of bulk gettering[J]. Journal of Applied Physics, 1983, 54(6): 3183–3189.
- [26] LIU C Z, SHI L Q, XU S L, et al. Kinetics of hydrogen uptake for getter materials[J]. Vacuum, 2004, 75(1): 71–78.
- [27] LEE S M, PARK Y J, LEE H Y, et al. Hydrogen absorption properties of a Zr-Al alloy ball-milled with Ni powder[J]. Intermetallics, 2000, 8(7): 781–784.
- [28] YOON J H. An In-situ XPS study of non-evaporable ZrVFe getter material[J]. Journal of Analytical Science and Technology, 2010, 1(1): 61–65.
- [29] 杨晓伟,李金山,王旭峰,等. Zr₅₇V₃₆Fe₇ 合金的微结构及 活化与吸氢性能[J]. 稀有金属材料与工程, 2010, 39(11): 83-86.

YANG Xiao-wei, LI Jin-shan, WANG Xu-feng, et al. Microstructure and activation and hydrogenation properties of Zr₅₇V₃₆Fe₇ alloy[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2010, 39(11): 83–86.

- [30] BOFFITO C, FERRARIO B, DELLA P P, et al. A nonevaporable low temperature activatable getter material[J]. Journal of Vacuum Science and Technology, 1981, 18(3): 1117–1120.
- [31] 徐晓强,崔建东,张 艳,等. 多孔 Ti 吸气材料的制备及 吸氢性能研究[J]. 稀有金属, 2017, 41(10): 1125-1129.
 XU Xiao-qiang, CUI Jian-dong, ZHANG Yan, et al. Preparation and hydrogen sorption performance of porous titanium getter[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2017, 41(10): 1125-1129.
- [32] 尉秀英,秦光荣,王志刚,等. 多孔烧结体室温吸气剂吸 气动力学模型[J]. 稀有金属, 2003, 27(5): 73-75.
 YU Xiu-ying, QING Guang-rong, WANG Zhi-gang, et al. Gas absorption dynamic model of porous sinter room temperature getter[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2003, 27(5): 73-75.
- [33] FERRARIO B, FIGINI A, BORGHI M. A new generation of porous non-evaporable getters[J]. Vacuum, 1985, 35(1): 13–17.
- [34] ZHOU Hong-guo, WEI Xiu-ying, MAO Chang-hui, et al. Effects of Mo on the microstructure and hydrogen sorption properties of Ti-Mo getters[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2007, 20(2): 172–176.
- [35] 赵越,郑华,刘实,等. Ti-Mo 合金的结构及吸放氢性能研 究[J]. 金属学报, 2003, 39(1): 89-93.
 ZHAO Yue, ZHENG Hua, LIU Shi, et al. Investigation of the structure and the property of hydrogen storage Ti-Mo alloys[J]. Acta metallurgica sinica, 2003, 39(1): 89-93.
- [36] 王伟伟,龙兴贵. Ti-Mo 合金的吸放氢动力学[J]. 核化学 与放射化学, 2007, 29(2): 80-84.
 WANG Wei-wei, LONG Xing-gui. Study on the kinetics for thermal desorption of Ti-Mo Alloy Hydrides[J]. Journal of Nuclear and Radiochemistry, 2007, 29(2): 80-84.
- [37] 王伟伟,龙兴贵. Ti-Mo 合金的氢化物热解析动力学研究
 [J]. 材料科学与工程学报, 2007, 25(3): 402-405.
 WANG Wei-wei, LONG Xing-gui. Hydrogen sorption kinetics of Ti-Mo alloys[J]. Journal of Materials Science and Engineering, 2007, 25(3): 402-405.
- [38] CHIGGIATO P, PINTO P C. Ti-Zr-V non-evaporable getter films: From development to large scale production for the large hadron collider[J]. Thin Solid Films, 2006, 515(2): 382–388.
- [39] BENVENUTI C, CHIGGIATO P, CICOIRA F, et al.

Nonevaporable getter films for ultrahigh vacuum applications[J]. Journal of Vacuum Science & Technology A Vacuum Surfaces & Films, 1998, 16(1): 148–154.

- [40] BENVENUTI C, CHIGGIATO P, PINTO P C, et al. Vacuum properties of TiZrV non-evaporable getter films[J]. 2001, 60(1/2): 57–65.
- [41] PRODROMIDES A E, SCHEUERLEIN C, TABORELLI M. Lowering the activation temperature of TiZrV non-evaporable getter films[J]. Vacuum, 2001, 60(1/2): 35–41.
- [42] LI C C, HUANG J L, LIN R J, et al. Preparation and characterization of non-evaporable porous Ti-Zr-V getter films[J]. Surface and Coatings Technology, 2006, 201(7): 3977–3981.
- [43] SHARMA R K, SINHA A K, JAGANNATH, et al. Surface studies and measurement of pumping characteristic of NEG coating (Ti-V-Zr)[C]// Proceedings International Symposium on Discharges & Electrical Insulation in Vacuum. ISDEIV, 2014, 30: 529–532.
- [44] 卜继国, 毛昌辉, 张 艳, 等. ZrCoRE 薄膜的结构调控与吸气性能研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2013, 42(9):
 1889-1892.

BU Ji-guo, MAO Chang-hui, ZHANG Yan, et al. Structure modification and sorption characteristics of ZrCoRE Getter Films[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2013, 42(9): 1889–1892.

- [45] MOGHADAM A H, DASHTIZAD V, KAFLOU A, et al. Effect of rare earth elements on sorption characteristics of nanostructured Zr-Co sintered porous getters[J]. Vacuum, 2015, 111: 9–14
- [46] MOGHADAM A H, DASHTIZAD V, KAFLOU A, et al. Development of a nanostructured Zr₃Co intermetallic getter powder with enhanced pumping characteristics[J]. Intermetallics, 2015, 57: 51–59.
- [47] XU Cong, XIAO Wei-long, ZHAO Wei-tao, et al. Microstructure and formation mechanism of grain-refining particles in Al-Ti-C-RE grain refiners[J]. Journal of Rare Earths, 2015, 33(5): 553–560.
- [48] MALYSHEV O B, VALIZADEH R, HANNAH A N. Pumping properties of Ti-Zr-Hf-V non-evaporable getter coating[J]. Vacuum, 2014, 100(2): 26–28.
- [49] MALYSHEV O B, VALIZADEH R, JONES R M A, et al. Effect of coating morphology on the electron stimulated desorption from Ti-Zr-Hf-V nonevaporable-getter-coated stainless steel[J]. Vacuum, 2012, 86(12): 2035–2039.

- [50] XIONG Y H, WEI X Y, QIN G R, et al. Preparation and hydrogen sorption performance of a modified Zr-C getter[J]. Vacuum, 2008, 82(8): 737–741.
- [51] CUI H, ZHANG X Q, ZHU J, et al. Effects of electroless nickel on H₂, CO, CH₄ absorption properties of Zr-V-Fe powder[J]. Vacuum, 2014, 108: 56–60.
- [52] CUI H, CUI J D, XU Y H, et al. Effects of electroless nickel on hydrogen absorption properties of Zr-V-Fe powders[J]. Materials Science Forum, 2015, 815: 268–275.
- [53] ZHANG T, ZHANG M, HU R, et al. Hydrogen absorption behavior of a Pd-coated Zr₇₀Fe_{5.4}V_{24.6} getter material against gaseous impurities[J]. Vacuum, 2015, 122: 222–229.
- [54] ZHANG T, ZHANG Y, ZHANG M, et al. Hydrogen absorption behavior of Zr-based getter materials with Pd Ag coating against gaseous impurities[J]. International Journal

of Hydrogen Energy, 2016, 41(33): 14778-14787.

- [55] DAESUP K, YONGJAE S, HEEDONG J, et al. Preparation of ZrVFe nano powders by laser ablation[J]. Korean Journal of Materials Research, 2005, 15(4): 257–262.
- [56] PARK S K, PARK K W, KIM H C. Synthesis of nano composite particles by a transferred direct current thermal plasma: Effects of plasma input current[J]. Asian Journal of Chemistry, 2012, 24(9): 4141–4144.
- [57] 徐大磊,崔建东,徐瑶华,等.粉末注射成形法制备 ZrVMnCe-Zr 吸气剂性能研究[J].稀有金属, 2018, 42(7): 730-734.

XU Da-lei, CUI Jian-dong, XU Yao-hua, et al. Properties of ZrVMnCe-Zr getters prepared by metal powder injection molding technique[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2018, 42(7): 730–734.

Research status and progress of non-evaporable getter for electronic vacuum devices

SONG Yi, FENG Yan, CHENG Yong-jun, PEI Xiao-qiang, FENG Tian-you, GUO Mei-ru, DONG Meng, WEI Ning-fei

(Science and Technology on Vacuum Technology and Physics Laboratory, Lanzhou Institute of Physics, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Non-evaporable getter extracts active gases to obtain and maintain high vacuum degree after sealing off the electric-vacuum devices, so its gettering characteristics directly affect the performance of devices even determine whether the device can work properly. First, the mechanism of non-evaporable getter was briefly introduced, and the latest advance in non-evaporable getter, comprising powder-pressed, porous sintered and film types, was reviewed. Besides, problems with various getters were analyzed, it is found that the mechanical strength of powder-pressed alloy is low, the activation temperature of porous sintered alloy is high, and the absorption capacity of film alloy is low. Then, modification techniques of non-evaporable getter, including alloying, surface coating and active surface maximization method, were summarized. Finally, the development trends and the unresolved technical problems of non-evaporable getter materials were pointed out as well, in a thought provoking way.

Keywords: Non-evaporable getter, working mechanism, activation temperature, properties of getter

Received date: 2020-09-24; Accepted date: 2021-06-21

Corresponding author: FENG Yan; Tel: +86-931-4585003; E-mail: 13893672696@139.com

(编辑 龙怀中)