

# 团体标准《高纯四氯化锆》

## 编制说明

(送审稿)

国核维科锆铪有限公司

2026年3月

## 一、工作简况

### 1 任务来源

本标准的制定任务来源于中国有色金属工业协会，由全国有色金属标准化技术委员会 (SAC/TC 243) 归口。项目计划周期为 18 个月，旨在建立规范高纯四氯化钪技术要求和质量控制体系的团体标准。项目于 2024 年 9 月启动，主编单位为国核维科钪钪有限公司。

### 2 标准制定的必要性

随着经济的快速发展和产业结构的持续升级，半导体技术的不断进步和电子信息产业的蓬勃发展，钪在电子工业中的应用领域还在不断拓展和深化，而作为钪基材料的高纯四氯化钪原料，其在提升半导体器件性能、促进芯片小型化及提高制造工艺效率方面发挥着重要作用，是当前全球半导体材料产业的前沿。

半导体级四氯化钪具有较高的光学性能、机械性能、抗辐射性能、热稳定性能等，主要用于化学气相沉积 (CVD) 或原子层沉积 (ALD) 工艺的含钪前驱体，如四(乙基甲基胺基)钪、钪醇盐等材料生产场景。高纯度的四氯化钪能够满足集成电路 14nm 以下制程工艺要求。

《“十四五”原材料工业发展规划》中提出：“开展宽禁带半导体及显示材料、集成电路关键材料、生物基材料、碳基材料、生物医用材料等协同攻关”，强调了对半导体及相关材料的协同攻关，加强在宽禁带半导体、集成电路关键材料等领域的研发，突破技术瓶颈，提高我国在半导体材料领域的自主创新能力和核心竞争力，满足我国电子信息产业等对高端半导体材料的需求。《重点新材料首批次应用示范指导目录(2024 年版)》中提出：“聚焦新型显示、半导体与集成电路等重点领域，征集电子特种气体、集成电路光刻胶、湿电子化学品(蚀刻液、电子级氢氟酸等)、芯片先进封装基板、高纯金属靶材、芯片衬底 / 外延材料、光掩膜版等电子新材料”。该目录明确了半导体与集成电路领域的重点新材料，这些材料是半导体制造过程中的关键原材料和零部件，对于提高半导体芯片的性能、质量和可靠性至关重要。

国际上对高纯四氯化钪材料有着迫切的需求，是制约半导体产业发展的关键基础材料。国内生产的高纯四氯化钪在整个半导体材料产业链中还处于原材料供应商的地位，随着科学技术的进步，我国半导体行业在追赶国际先进水平的同时，对高纯原材料的需求也将逐步放大。开展半导体级四氯化钪制备研究和产业化，对推动我国高端

微电子产业发展具有重要意义。通过近几年的快速崛起，高纯四氯化锆的制备已逐步建立起完整的产业链。国核维科锆钼有限公司作为高纯四氯化锆的主要制造企业，不仅供应国内下游厂家用于制备有机锆钼前驱体，还大量出口至欧美、日本、韩国等国家和地区，成为我国少数能够批量稳定向国外先进半导体企业供应高技术产品的企业之一。

国内相关加工制造企业不断创新，从技术革新、经济效益提升、环境效益优化等方面，通过精细化分工、上下游密切配合，实现了高纯四氯化锆的产业升级。技术革新方面，优化锆钼分离技术，实现了钼中锆低于  $200\text{ppm}$  的稳定制备工艺，再采用专用氯化、提纯设备，降低了杂质元素引入污染风险，确保了高纯四氯化锆的纯度。高纯四氯化锆产品的加工工艺如图 1 所示：

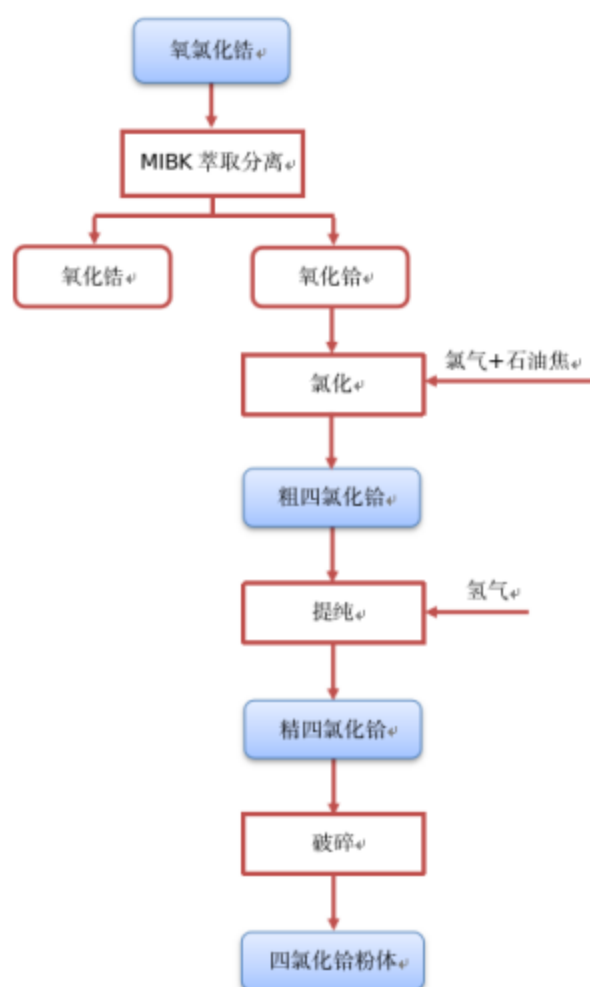


图 1 四氯化锆粉体制备工艺流程图

高纯氧化锆制备使用的原料是氧化锆钼，在锆钼分离阶段，通过优化锆钼分离技术，制备得到钼含量低于  $200\text{ppm}$  的氧化锆产品，再氯化制备得到粗四氯化锆，将粗四氯化锆进行氢气提纯制备得到精四氯化锆，实现杂质元素含量的有效去除。再破碎制备得到高纯四氯化锆粉体。

经济效益提升方面，扩大高纯四氯化锆应用场景，推动核能、航空航天领域关键材料国产替代，采用 CVD 气相沉积，已成功应用于航空航天超高温耐热涂层，减少了相关产品的进口依赖度。环境效益优化方面，引入微波干燥，代替原有天然气和电炉加热高能耗设备，能耗降低 40%。随着高纯四氯化锆需求的不断扩大，在经济效益提升、产业协同融合方面，还有进一步提升空间。经济效益提升方面，通过规模化生产（年产 100 吨以上），进一步降低生产成本；产业协同融合方面，加强新技术研发及应用，如加强镀膜技术，开发四氯化锆基高端光学涂层产品，通过研发四氯化锆衍生新材料（如锆基 MOFs），拓展其在新能源电池应用场景。

制定此标准，是为了规范用于半导体前驱体的高纯四氯化锆产品要求，强化产品质量标准，强化生产企业的质量控制管理，为高纯四氯化锆的生产、检验和使用提供了统一的依据。有助于推动其在国内的研发、生产和应用，加速半导体材料的国产化替代进程，降低我国半导体产业对国外进口材料的依赖程度。

### 3 项目编制组单位情况

#### 3.1 编制组成员情况

国核维科锆钎有限公司、国核宝钛锆业股份公司、厦门恒坤新材料科技股份有限公司、有研资源环境技术研究院（北京）有限公司。

#### 3.2 主编单位简介

国核维科锆钎有限公司（简称“国核维科”）成立于 2009 年 6 月 30 日，注册地址位于江苏省南通经济技术开发区通达路 88 号，注册资本 24000 万元，由国核宝钛锆业股份公司全资控股，隶属国家电力投资集团有限公司，属于国有企业，行业为制造业。公司主要从事核级海绵锆、工业级海绵锆、氧化锆及海绵锆等产品的研发、生产与销售，并开展相关技术进出口业务。通过引进美国西屋电气公司的核级海绵锆技术，公司建成了 2000 吨核级海绵锆生产基地，2014 年成为西屋电气合格供应商，产品应用于核电燃料组件包壳制造。

在技术能力方面，公司年产能达核级海绵锆 2000 吨、海绵锆 30 吨，技术涵盖溶剂萃取法分离工艺，实现了锆钎分离产业化。2022 年获批国家级高新技术企业，2023 年获评省级专精特新中小企业，并拥有 ISO9001 质量管理体系、环境管理体系等多项认证。公司累计授权发明专利 4 项，实用新型专利 40 余项。

#### 3.3 参编单位简介

### 3.3.1 国核宝钛锆业股份公司

国核宝钛锆业股份公司（简称“国核锆业”）成立于2007年11月26日，注册资本26亿元人民币，总部位于陕西省宝鸡市。公司由国家核电技术公司、宝钛集团有限公司和百瑞信托有限责任公司共同持股，归口国家电力投资集团公司管理，是中央直属重点骨干企业。

**产业链与产能：** 国核锆业拥有国内首条完整的核级锆材产业链，涵盖海绵锆生产、锆合金熔炼、坯料制备及管棒板带材成品制造等环节。设计产能包括年2000吨海绵锆、2000吨锆合金铸锭、40吨板带材和150吨管棒材，可满足100台百万千瓦级核电机组的需求；实际产能方面，海绵锆和锆合金锭目前各达1000吨/年。

**研发能力与技术成果：** 公司于2009年设立国家能源核级锆材研发中心，拥有CNAS和CMA认证检测资质，引进并消化AP1000核级锆材技术，形成自主知识产权。截至2023年，公司拥有专利166项，主导制定ISO国际标准1项、国家标准和行业标准42项，科技创新能力位居行业前3%。产品已应用于山东海阳核电站等机组，运行稳定。

**产品应用与市场拓展：** 核级锆材产品覆盖AP、CAP、CPR等多种堆型，同时推出“优和”“臻和”系列工业级锆材，拓展至医疗、化工等领域。2023年1月订单额达2.55亿元，同比增长24倍，通过国产化和海外市场推动增长。

**资质荣誉与团队：** 公司获评国家级专精特新“小巨人”企业，获得国家能源科技进步三等奖、中国电力科技一等奖等荣誉。拥有近800名员工，其中本科及以上学历占比50%，并设有博士后科研工作站和院士专家工作站，强化人才支撑。

### 3.3.2 厦门恒坤新材料科技股份有限公司

厦门恒坤新材料科技股份有限公司（简称“恒坤新材”）成立于2004年12月10日，总部位于福建省厦门市海沧区，是一家专注于半导体先进材料研发、生产和销售的国家高新技术企业，于2025年11月18日在上海证券交易所科创板上市，股票代码为688727。

**公司主营业务与产品：** 公司主营业务涵盖光刻材料和前驱体材料的研发、生产和销售，产品包括高端光刻胶、超高纯前驱体、配方化学品等，主要应用于集成电路芯片制造的先进制程（如45nm-7nm技术节点），为客户提供半导体材料整体解决方案。

**发展历程与资质荣誉：** 公司前身为1996年创立的厦门恒坤精密工业有限公司，2015年在新三板挂牌（股票代码832456），2024年科创板IPO获受理，

2025年完成上市。公司获评国家级专精特新“小巨人”企业、福建省集成电路光刻胶工程研究中心，并通过国家集成电路企业认定。截至2025年，公司累计获专利授权89项（其中发明专利36项），产品已覆盖境内主流12英寸晶圆厂，并实现ArF浸没式光刻胶等关键材料的客户验证和小规模销售。

公司设有总部研发中心及多个生产基地，并与厦门大学共建先进半导体材料联合创新中心。战略上，公司自2025年起终止部分引进光刻材料合作，集中资源推进国产化替代。

### 3.3.3 有研资源环境技术研究院(北京)有限公司

有研资源环境技术研究院(北京)有限公司成立于2019年6月，是中国有研科技集团有限公司全资控股的国有创新平台，注册资本1.1亿元，总部位于北京市怀柔区。公司聚焦绿色选冶、功能新材料、生态环保三大核心领域，承继了集团六十余年的有色金属技术积累，运营高品质有色金属绿色特种冶金国家工程研究中心等研发平台，累计承担国家级科研项目630余项，获授权发明专利200余项。其研发的镀膜材料、靶材等产品已出口至东亚、北美等地区，并为国内外150余家大型矿业公司提供工程技术解决方案。公司获评“国家高新技术企业”“专精特新小巨人”等资质，截至2023年员工人数约135人，拥有正高级、高级工程师62人，并具备环保工程专业承包二级资质。

## 4 编制组工作过程

### 4.1 起草阶段

起草组系统调研了国内外高纯四氯化锆的产业现状、技术指标及市场需求，结合国内企业的生产工艺和质量控制经验，拟定标准草案。重点围绕化学成分、粒度分布、外观质量等核心指标展开研究。

### 4.2 征求意见阶段

标准草案通过行业协会及参编单位渠道广泛征求意见，并针对技术内容组织多轮专家研讨，确保科学性和适用性。

### 4.3 审定阶段

计划在2026年7月完成标准送审稿的审定工作，由全国有色金属标准化技术委员会组织最终审查。

## 二、标准编制原则和确定标准主要内容的论据

### 1 标准编制原则

技术先进性：对标国际半导体材料要求，设定严于常规水平的锆含量限值 ( $ZrCl_4/(ZrCl_4+HfCl_4) \leq 0.02\%$ ) 和多项痕量杂质控制指标。

产业适用性：结合国内规模化生产（年产 100 吨以上）的实际情况，明确检测方法 与验收规则。

自主可控性：推动半导体关键材料国产化，降低对进口材料的依赖。

### 2 主要技术内容的论据

#### 2.1 化学成分的规定

国际上半导体行业相关企业采购超高纯四氯化锆用于制备 14nm 以下制程芯片，核心需求为“超纯、可控、稳定”。通过极限纯度控制、精确的物理特性及严格封装，确保其在纳米级薄膜沉积中的可靠性。任何细微的杂质或工艺波动都可能导致芯片良率下降，如关键金属杂质（如 Fe、Cu、Cr、Ni 等），会导致电学缺陷。过渡金属（如 Ti、Zr）需严格分离，因化学性质相似，残留会导致介电性能偏移。

本标准 为下游企业进一步纯化处理奠定基础，降低杂质元素含量纯化难度，以下游企业高纯四氯化锆原料采购要求为基础，结合国内现有锆钪分离技术、氧化锆氯化、粗四氯化锆提纯等高纯四氯化锆制备工艺，高纯四氯化锆的化学成分要求，具体见表 1。

表1 化学成分

产品名称		HfCl <sub>4</sub>
HfCl <sub>4</sub> 含量, 不小于		99.97
ZrCl <sub>4</sub> /(ZrCl <sub>4</sub> +HfCl <sub>4</sub> ), 不大于		0.02
杂质元素含量, 不大于	Al	0.002
	Ca	0.001
	Cu	0.001
	Fe	0.005
	Cr	0.002
	Mg	0.001
	Mn	0.001

% (质量分数)

	Mo	0.001
	Nb	0.001
	Si	0.003
	Ti	0.001
	V	0.001
	Ni	0.001
	Sn	0.001
	Na	0.001
	Zn	0.001
	Pb	0.001
注： $HfCl_4$ 含量为100%减去表中所列杂质元素质量分数实测值总和的余量。		

表 1 中规定  $HfCl_4$  含量 $\geq 99.97\%$ ，重点控制 Zr、Al、Fe、Si 等 18 种杂质元素，确保材料满足下游企业进一步纯化工艺要求。

## 2.2 物理性能

本标准中规定了粒度控制要求 $\leq 0.2mm$ 的颗粒占比 $\geq 95\%$ ，便于后续原料分散纯化处理。

## 2.2 外观与包装

明确淡黄色粉末的视觉标准，并规定密封包装与防潮运输要求，保障产品稳定性。

## 3 主要实验（或验证）情况分析

起草单位通过优化锆铪分离技术（ $ZrCl_4/(ZrCl_4+HfCl_4)\leq 200ppmm$ ）、氧化铪氯化、粗四氯化铪提纯等工序，实现了杂质元素总量 $< 300ppm$ 的稳定制备。为下游企业多级吸附-精馏纯化工艺、微波干燥等进一步纯化处理奠定了基础，降低了纯化处理工艺循环次数，节约了物料消耗，降低了纯化处理成本，经下游企业验证，经纯化处理后的产品在 CVD 镀膜工艺中表现出良好的成膜均匀性与介电性能。

针对高纯四氯化铪产品，起草单位按本标准规定的化学成分要求，检测得到高纯四氯化铪的 Hf 中 Zr、Fe、Cr、Cu、Si 等杂质元素含量，从而计算得到  $ZrCl_4/(ZrCl_4+HfCl_4)$  含量以及四氯化铪中 Fe、Cr、Cu、Si 等其他杂质元素含量，检测结果如表 2 所示。

表 2 高纯四氯化铪化学成分要求及检测结果

质量分数 (%)

		标准要求	实测
HfCl <sub>4</sub> 含量, 不小于		99.97	99.98
ZrCl <sub>4</sub> /(ZrCl <sub>4</sub> +HfCl <sub>4</sub> ), 不大于		0.02	0.01
杂质元素 含量, 不 大于	Al	0.002	<0.001
	Ca	0.001	<0.001
	Cu	0.001	<0.001
	Fe	0.005	0.003
	Cr	0.002	<0.001
	Mg	0.001	<0.001
	Mn	0.001	<0.001
	Mo	0.001	<0.001
	Nb	0.001	<0.001
	Si	0.003	0.002
	Ti	0.001	<0.001
	V	0.001	<0.001
	Ni	0.001	<0.001
	Sn	0.001	<0.001
	Na	0.001	<0.001
Zn	0.001	<0.001	
Pb	0.001	<0.001	
注: HfCl <sub>4</sub> 含量为100%减去表中所列杂质元素质量分数实测值总和的余量。			

为确保化学检测结果的准确性, 编制组共同编制了“高纯四氯化铪化学分析方法 杂质元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法”, 通过实验室间对同批次四氯化铪产品的杂质元素含量进行了检测, 为产品检测结果的准确性奠定了基础。相关检测结果见附件。

本标准不仅对产品化学成分及检测方法做了要求, 还规范了粒径、外观质量等检测要求, 针对高纯四氯化铪易潮解特性, 还规范了包装、运输、贮存等要求, 确保其产品质量的稳定性, 满足半导体前驱体材料标准要求, 促进我国高端半导体行业自主化供应。

### 三、标准水平分析

#### 1 采用国际标准和国外先进标准的程度

未直接采用国际标准，但参考了 *Orano*（法国）、*ATI*（美国）等国际企业的内控标准，在  $ZrCl_4$  含量、杂质控制等方面达到同等技术水平。

## 2 国家同类标准水平的对比分析

目前国内尚无高纯四氯化锆的国家或行业标准。本标准首次系统规定其技术要求和检测方法，填补了半导体前驱体材料标准空白。

## 四、与现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准符合《“十四五”原材料工业发展规划》《重点新材料首批次应用示范指导目录（2024年版）》等政策方向，与 *GB/T 1.1-2020*、*GB/T 19077*（粒度分析 激光衍射法）等基础标准协调一致。

## 五、重大分歧意见的处理经过和依据

编制过程中未出现重大技术分歧。针对粒度分布和取样规则等细节问题，通过多轮协商达成一致，确保标准可操作性强。

## 六、标准作为强制性或推荐性的建议

建议作为推荐性团体标准发布，为行业提供技术依据，同时保留企业根据市场需求灵活调整的空间。

## 七、贯彻标准的要求和措施建议

- (1) 组织标准宣贯会，面向生产企业、用户单位及检测机构推广实施。
- (2) 建议下游半导体企业优先采购符合本标准的产品，推动产业链协同升级。

## 八、废止现有有关标准的建议

无对应现行标准，无需废止。

## 九、其他应予说明的事项

- (1) 专利声明：本文件不涉及已知专利。
- (2) 产业协同：通过标准实施，可促进四氯化锆在航空航天耐热涂层、新能源电池、光学涂层等新兴领域的应用拓展。

## 十、预期成果

- (1) 技术提升：推动国内高纯四氯化锆纯度稳定性与一致性达到国际水平。
- (2) 国产替代：助力半导体前驱体材料实现自主供应，预计国产化率提升至70%以上。

(3) 经济效益：通过规模化生产及成本优化，预计三年内带动产业链产值增长超10亿元。

(4) 国际竞争力：支持国产材料进入全球高端半导体供应链。

十一、附件

正常的四氯化锆样品实验室间的化学成分检测结果

		国核维科	国核锆业	有研资环
HfCl <sub>4</sub> 含量		98.65	98.74	
ZrCl <sub>4</sub> /(ZrCl <sub>4</sub> +HfCl <sub>4</sub> )		1.34	1.25	
杂质元素含量	Al	<0.001	<0.001	
	Ca	<0.001	<0.001	
	Cu	<0.001	<0.001	
	Fe	<0.002	<0.002	
	Cr	<0.001	<0.001	
	Mg	<0.001	<0.001	
	Mn	<0.001	<0.001	
	Mo	<0.001	<0.001	
	Nb	<0.001	<0.001	
	Si	<0.001	<0.001	
	Ti	<0.001	<0.001	
	V	<0.001	<0.001	
	Ni	<0.001	<0.001	
	Sn	<0.001	<0.001	
	Na	<0.001	<0.001	
	Zn	<0.001	<0.001	
Pb	<0.001	<0.001		