

制定《高纯工业品四氯化钛》化工行业标准编制说明

1 任务来源及简要编制过程

1.1 任务来源

根据国家工业和信息化部文件“工信厅科函[2022]312号《关于印发2022年第三批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》”的要求，于2023年12月31日前完成《高纯工业品四氯化钛》化工行业标准的制定工作，计划编号为：2022-1635T-HG，本标准由全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会（SAC/TC63/SC1）归口。

主要起草单位有：贵阳精一科技有限公司、贵州理工学院、中海油天津化工研究设计院有限公司等。

1.2 简要编制过程

1.2.1 调研阶段

全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会（SAC/TC63/SC1）接到国家工业和信息化部文件“工信厅科函[2022]312号《关于印发2022年第三批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》”后，全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会（SAC/TC63/SC1）即展开了《高纯工业品四氯化钛》化工行业标准制定的前期准备工作，向各有关生产企业发制标调查函，广泛征求行业内企业、用户对标准修订的意见，查阅相关资料，整理归纳分析总结回函意见，组建成立标准起草工作组，编制完成标准修订文献小结。

1.2.2 工作方案会阶段

2023年3月10日至3月13日在云南昆明召开了《高纯工业品四氯化钛》化工行业标准标准制定工作方案会。在会上标准起草工作组对《高纯工业品四氯化钛》化工行业标准的制定进行了认真仔细的讨论，提出修标意见和建议。主要内容包括：

（1）确定标准范围为：“本文件规定了高纯工业品四氯化钛的要求、试验方法、检验规则、标志、标签及随行文件、包装、运输、贮存。本文件适用于半导体集成储存器的生产与制造过程中作为氮化钛、二氧化钛和钛金属化学气相薄膜沉积（CVD）的液相钛源材料的高纯工业品四氯化钛。注：用作光伏、半导体材料的制备”；

（2）要求中设置了四氯化钛、杂质元素含量（Li、Na、K、Mg、Ca、Al、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Zr、Mo、Pb、Ag、Sn、W、Th、U、Si、B等）、尘埃粒子数（个/mL）等项目、指标及试验方法；

（3）规定检验规则、包装等内容，批量由为“不大于500 kg”，包装采用高纯石英瓶包装，每瓶净含量为1 L、5 L，也可根据用户要求的规格进行包装。

具体工作安排为：2023年4月底前，生产企业提供高纯工业品四氯化钛连续两年的质量月报数据；2023年5月底前，中海油天津化工研究设计院有限公司负责完成标准征求意见稿及编制说明；2023年5月底前，生产企业按照确定的试验方法进行累积试验，并提供15批实验数据。

1.2.3 上网征求意见阶段

2023年6月由中海油天津化工研究设计院有限公司负责将标准征求意见稿（草案）和编制说明（草案），寄给全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会各位委员、生产厂及用户，并在 www.trici.com.cn

网上公开，广泛征求行业内意见，整理汇总回函意见。

1.2.4 预审会阶段

1.2.5 审查报批阶段

2 目的意义

高纯工业品四氯化钛主要应用于半导体集成储存器等高新材料领域，属于六大产业链中的“集成电路产业链产业链框架”中“宽禁带半导体材料及外延、高纯化学品”，项目符合工信部原材料领域六大产业链重点要求，也符合工信部、科技部、商务部、市场监管总局四部门联合发布的“《原材料工业质量提升三年工信部行动方案》”的通知中“第一章…提高产品的可靠性、稳定性、一致性水平，……带动原材料工业质量品牌整体提升”的要求。

四氯化钛，或氯化钛(IV)，化学式为 TiCl_4 ，分子量 189.71，熔点 -25°C ，相对密度 1.73，沸点 136.4°C ，饱和蒸气压 1.33 kPa (21.3°C)，临界温度 358°C ，室温下，外观与性状为无色液体或微黄色液体，有刺激性酸味，并在空气中发烟，生成二氧化钛固体和盐酸液滴的混合，溶于冷水、乙醇、稀盐酸。

四氯化钛是生产金属钛及其化合物的重要中间体。高纯工业品四氯化钛主要应用于半导体集成储存器的生产与制造过程中，作为氮化钛、二氧化钛和钛金属化学气相薄膜沉积 (CVD) 的液相钛源材料。随着集成电路产业的发展，化学气相沉积法制备氮化钛等技术的不断发展和完善，超高纯度和低金属含量的 TiCl_4 需求剧增，其中对于四氯化钛的纯度要求高达 99.9999 % 以上。随着我国半导体产业的发展，高纯四氯化钛的需求日益增加，年需求增长在 20 % 以上，目前年需求量在 120 吨左右。国内需求该产品的厂家主要有：武汉长江存储、合肥睿力、晋江晋华、西安三星、无锡海力士等存储芯片制造厂商。目前国内主要依靠进口，进口价格在 80 万元/吨~100 万元/吨，国外供货商主要有：美国 Air Product、Entegris、日本 Tri Chemical、韩国 Soul Brain、UP Chemical 等。贵阳精一科技有限公司与贵州理工学院通过联合攻关已突破该产品的制备技术，已开始在国内销售。

目前使用于半导体行业的核心原料高纯工业品四氯化钛尚无国际、国家、行业及地方标准，国外也对我国进行技术封锁，未公开相关检测方法。为了统一技术要求，促进我国高纯四氯化钛产品对进口产品的替代，制订一个适用于半导体行业的高纯四氯化钛的国家标准对整个行业形成技术规范，淘汰低质原料，提升产品品质及稳定性有重大作用，同时制定该标准将意味中国在该产品的生产上实现自主替代，有助于实现关键原材料的供给安全。

本次制定化工行业标准《高纯工业品四氯化钛》，从产品生产和使用的实际情况出发，设置四氯化钛含量、杂质元素含量 (Li、Na、K、Mg、Ca、Al、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Zr、Mo、Pb、Ag、Sn、W、Th、U、Si、B 等)、尘埃粒子数 (个/mL) 等技术指标。使标准的技术指标更趋合理、测试方法更加科学、产品生产更加节能环保，产品的适用性更广泛，真正起到引领和促进行业进步的作用，达到统一和规范市场的目的。标准的修订，并发布实施，对国内高纯工业品四氯化钛生产企业推动技术创新和规范市场有着十分重要的指导意义。

3 产品概况

3.1 产品名称：高纯工业品四氯化钛 英文名：High purity titanium tetrachloride for industrial use

3.2 分子式： TiCl_4 相对分子质量：189.67 (按 2022 年国际相对原子质量)

3.3 产品性质

四氯化钛，或氯化钛(IV)，化学式为 TiCl_4 ，分子量 189.67，熔点 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对密度 1.73，沸点 $136.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，饱和蒸气压 1.33 kPa (21.3 $^{\circ}\text{C}$)，临界温度 $358\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，室温下，外观与性状为无色液体或微黄色液体，有刺激性酸味，并在空气中发烟，生成二氧化钛固体和盐酸液滴的混合，溶于冷水、乙醇、稀盐酸。

3.4 产品用途

高纯工业品四氯化钛主要用于半导体集成储存器的生产与制造过程中，作为氮化钛、二氧化钛和钛金属化学气相薄膜沉积 (CVD) 的液相钛源材料。

3.5 生产工艺

以工业级四氯化钛为原料，采用精馏、亚沸精馏方式提纯，得到高纯工业品四氯化钛。

3.6 生产厂、产量

目前国内高纯工业品四氯化钛生产的厂家主要有贵阳精一科技有限公司，年生产能力 100 吨的高纯四氯化钛。

4 修标原则

- 4.1 积极采用国际标准和国外先进标准的原则；
- 4.2 有利于促进技术进步，提高产品质量的原则；
- 4.3 有利于合理利用资源，提高经济效益的原则；
- 4.4 符合用户要求，保护消费者利益、促进对外贸易的原则；
- 4.5 遵循科学性、先进性、统一性的原则。

5 国内外标准概况

到目前为止，未查阅到相关的国外标准。以前高纯四氯化钛生产技术仅有德、日、美等国家的少数企业掌握，直到近两年，国内才有企业生产用于半导体行业的高纯工业品四氯化钛，高纯工业品四氯化钛产品质量及应用结果得到市场认可，产量随着市场需求量的增加逐年上升。

6 修标依据

- 6.1 高纯工业品四氯化钛产品实际情况；
- 6.2 用户要求；
- 6.3 生产厂家质量月报（见附表 1）；
- 6.4 生产厂家试验累积数据（见附表 2）。

7 标准内容说明

7.1 范围

本文件规定了高纯工业品四氯化钛的分类、要求、试验方法、检验规则、标志、标签及随行文件、包装、运输、贮存。

本文件适用于半导体集成储存器的生产与制造过程中作为氮化钛、二氧化钛和钛金属化学气相薄膜沉积 (CVD) 的液相钛源材料的高纯工业品四氯化钛。

注：用作光伏、半导体材料的制备。

7.3 项目及指标的确定

本标准的制定，结合行业的发展趋势，及国内高纯工业品四氯化钛生产和使用的实际情况，进行分类、设置项目、指标及试验方法等。

高纯工业品四氯化钛分为两钟类别， I 类：半导体材料用； II 类：光伏材料用。其技术要求及试验方法见表 1。

表1

项 目		指标		试验方法
		I类	II类	
四氯化钛 w/%	≥	99.99999	99.9999	100 减去杂质总量
锂（Li） w/（μg/kg）	≤	2	10	电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）
钠（Na） w/（μg/kg）	≤	5	30	
钾（K） w/（μg/kg）	≤	5	30	
镁（Mg） w/（μg/kg）	≤	2	10	
钙（Ca） w/（μg/kg）	≤	5	30	
铝（Al） w/（μg/kg）	≤	2	10	
钒（V） w/（μg/kg）	≤	5	30	
铬（Cr） w/（μg/kg）	≤	2	10	
锰（Mn） w/（μg/kg）	≤	2	10	
铁（Fe） w/（μg/kg）	≤	2	20	
钴（Co） w/（μg/kg）	≤	2	10	
镍（Ni） w/（μg/kg）	≤	2	10	
铜（Cu） w/（μg/kg）	≤	5	30	
锌（Zn） w/（μg/kg）	≤	5	30	
锆（Zr） w/（μg/kg）	≤	2	10	
钼（Mo） w/（μg/kg）	≤	2	10	
铅（Pb） w/（μg/kg）	≤	2	10	
银（Ag） w/（μg/kg）	≤	2	10	
锡（Sn） w/（μg/kg）	≤	2	10	
钨（W） w/（μg/kg）	≤	2	10	
钍（Th） w/（μg/kg）	≤	2	10	
铀（U） w/（μg/kg）	≤	2	10	
硅（Si） w/（μg/kg）	≤	5	30	
硼（B） w/（μg/kg）	≤	2	10	
尘埃粒子数（≥0.3μm） /（个/mL）	≤	30	50	液体粒子计数器

7.4 项目试验方法的确定

7.4.1 产品外观

在自然光下，将样品置于比色管中，于黑色衬底下垂直观察判定外观。

7.4.2 四氯化钛含量的测定

100 %减去待测杂质元素含量。

7.4.3 杂质元素含量（Li、Na、K、Mg、Ca、Al、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Zr、Mo、Pb、Ag、Sn、W、Th、U、Si、B 等）的测定

电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）。

7.4.4 尘埃粒子数的测定

试样中的尘埃粒子（又称悬浮微粒），通过液体粒子计数仪的光敏感区时，会产生光的散射现象，其散射光的强度与微粒粒径成一定比例关系，经分析、计算、比较后显示不同粒径和粒子的数量。

8 标准属性

本标准为你推荐性化工行业标准。

9 标准水平分析

本标准的制定，根据国内高纯工业品四氯化钛的生产和使用的实际情况，从规范行业行为、促进行业发展角度出发，充分考虑高纯工业品四氯化钛生产企业实际情况及用户要求，进行制定，指标设置合理，试验方法均采用经典、科学、先进的方法，可操作性强，结果稳定、精确、可靠。

综合分析，本标准达到国内先进水平。

附表 1 生产厂家质量月报

企业 1 II类产品

项目 \ 日期	202101	202102	202103	202104	202105	202106	202107	202108	202109	202110	202111	202112
四氯化钛 w/%	99.9999	99.9999	99.9999	99.99999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999
锂 w/ (μg/kg)	9.54	—	9.24	9.59	—	8.11	8.89	8.87	8.52	—	8.59	8.36
钠 w/ (μg/kg)	25.36	27.89	16.33	—	9.98	—	18.37	—	21.27	20.25	16.94	—
钾 w/ (μg/kg)	28.27	15.39	—	16.25	—	23.92	15.42	—	—	21.11	19.52	14.47
镁 w/ (μg/kg)	7.12	6.59	8.29	6.39	8.28	—	6.99	7.13	8.14	—	9.26	8.52
钙 w/ (μg/kg)	—	25.17	19.58	19.22	—	—	19.53	19.37	—	—	18.15	17.26
铝 w/ (μg/kg)	8.13	—	8.35	8.86	9.02	8.76	9.24	8.38	9.01	8.75	9.23	8.01
钒 w/ (μg/kg)	26.77	28.2	15.99	26.99	25.49	28.15	26.22	19.35	—	17.89	—	18.92
铬 w/ (μg/kg)	—	7.92	—	9.10	—	8.76	7.98	8.87	8.87	9.23	9.41	8.86
锰 w/ (μg/kg)	8.67	—	8.37	8.83	8.57	—	8.29	9.75	—	8.59	8.37	—
铁 w/ (μg/kg)	19.29	—	17.14	15.28	16.24	15.14	—	23.24	17.99	—	16.94	15.14
钴 w/ (μg/kg)	8.68	9.21	9.01	8.87	8.87	9.23	8.59	8.37	8.83	8.57	—	8.26
镍 w/ (μg/kg)	—	8.42	8.05	8.54	—	8.88	—	8.85	8.71	8.59	—	8.82
铜 w/ (μg/kg)	—	18.89	19.23	21.37	18.82	19.98	23.74	—	20.28	—	20.21	14.79
锌 w/ (μg/kg)	24.21	26.79	—	25.28	20.14	23.25	18.17	—	23.42	29.18	25.47	23.62
镓 w/ (μg/kg)	9.23	—	8.83	8.57	—	8.29	8.87	9.23	9.41	8.86	8.87	8.52
铈 w/ (μg/kg)	8.87	8.87	9.23	—	8.75	—	—	8.59	8.37	—	9.26	8.87
铅 w/ (μg/kg)	8.54	—	8.87	8.87	9.23	8.59	8.94	—	8.84	8.49	8.49	8.27
银 w/ (μg/kg)	8.68	9.21	8.54	—	8.88	—	8.83	8.57	—	8.26	9.02	8.98
锡 w/ (μg/kg)	7.59	—	8.88	8.69	9.27	9.83	8.71	8.59	—	8.82	9.31	—
钨 w/ (μg/kg)	8.59	8.94	8.47	8.84	9.23	—	8.83	8.57	8.29	9.75	—	8.59
钼 w/ (μg/kg)	—	8.35	8.86	9.02	8.76	7.13	8.14	—	9.26	8.83	8.57	8.34
铀 w/ (μg/kg)	8.83	8.57	—	8.29	9.75	8.92	9.21	8.99	8.87	8.87	9.12	8.77
硅 w/ (μg/kg)	16.24	11.99	25.82	—	17.74	19.87	20.24	18.95	17.25	15.88	17.98	—
硼 w/ (μg/kg)	8.83	8.57	—	8.26	9.02	8.98	8.87	8.87	9.23	—	8.75	9.29
尘埃粒子数 (≥0.3μm) / (个/mL)	35	28	33	43	19	29	30	28	27	32	36	46

项目 \ 日期	202201	202202	202203	202204	202205	202206	202207	202208	202209	202210	202211	202212
四氯化钛 w/%	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999
锂 w/ (μg/kg)	—	7.89	—	8.85	9.23	8.59	8.75	—	—	8.94	—	8.36
钠 w/ (μg/kg)	23.12	27.89	28.54	—	16.79	15.94	18.37	20.29	23.32	20.25	19.94	20.14
钾 w/ (μg/kg)	27.85	26.01	—	16.25	25.54	—	—	24.26	—	21.11	19.52	16.32
镁 w/ (μg/kg)	8.75	—	—	8.59	8.37	—	9.26	8.87	8.14	—	9.26	8.98
钙 w/ (μg/kg)	—	25.17	16.77	19.22	—	23.21	19.53	19.37	16.54	27.16	18.15	16.89
铝 w/ (μg/kg)	8.13	—	9.23	—	8.83	8.57	8.29	9.60	—	8.59	9.23	8.54
钒 w/ (μg/kg)	26.77	28.2	—	19.22	—	18.47	25.33	19.35	23.15	17.89	—	18.92
铬 w/ (μg/kg)	—	7.92	—	9.10	—	8.76	7.98	8.87	8.87	9.23	9.41	8.68
锰 w/ (μg/kg)	8.67	—	8.37	8.83	8.57	—	8.29	9.75	—	8.59	8.37	—
铁 w/ (μg/kg)	15.22	—	18.17	11.13	—	8.75	—	12.23	10.89	—	10.54	15.23
钴 w/ (μg/kg)	8.57	8.18	8.26	—	8.98	8.87	8.87	9.23	—	8.75	—	8.26
镍 w/ (μg/kg)	8.54	—	8.87	8.87	9.23	8.59	8.94	—	8.71	8.59	—	9.02
铜 w/ (μg/kg)	—	18.89	27.74	21.37	18.82	19.98	23.74	—	22.25	—	20.21	—
锌 w/ (μg/kg)	24.21	26.79	—	25.28	20.14	26.30	18.17	—	23.42	29.18	25.47	23.62
镉 w/ (μg/kg)	—	—	8.83	8.57	—	8.29	8.87	9.23	9.41	8.86	8.87	8.52
钼 w/ (μg/kg)	8.87	8.87	9.23	—	8.75	—	—	8.59	8.37	—	9.26	8.87
铅 w/ (μg/kg)	8.54	—	8.87	8.87	9.23	8.54	8.94	—	8.84	8.49	8.49	—
银 w/ (μg/kg)	8.68	8.11	8.54	—	8.88	—	8.83	8.57	—	8.26	9.02	8.98
锡 w/ (μg/kg)	7.59	—	8.88	8.69	9.27	9.83	8.71	8.59	—	8.82	—	—
钨 w/ (μg/kg)	8.59	8.94	—	8.84	9.23	—	8.83	8.57	8.29	9.75	—	8.59
钍 w/ (μg/kg)	—	8.35	8.86	9.02	8.76	8.68	8.14	—	9.26	8.83	8.57	—
铀 w/ (μg/kg)	7.49	8.57	—	8.29	9.75	8.92	9.21	7.98	8.87	8.87	9.12	8.77
硅 w/ (μg/kg)	17.43	16.28	25.59	—	17.74	23.28	20.24	18.95	20.82	15.88	17.98	20.45
硼 w/ (μg/kg)	—	8.83	8.57	8.29	9.75	—	8.59	—	9.23	—	8.75	—
尘埃粒子数 (≥0.3μm) / (个/mL)	45	30	31	42	30	34	38	41	36	32	28	37

企业1 I类产品

项目 \ 日期	202101	202102	202103	202104	202105	202106	202107	202108	202109	202110	202111	202112
四氯化钛 w/%	99.99999	99.99999	99.99999	99.999999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999
锂 w/ (μg/kg)	0.02	—	—	0.04	—	—	—	0.03	—	—	—	—
钠 w/ (μg/kg)	—	—	—	0.12	—	—	—	0.13	—	—	—	—
钾 w/ (μg/kg)	3.87	—	—	2.16	—	—	—	2.21	3.63	—	—	—
镁 w/ (μg/kg)	—	—	—	0.01	—	—	—	—	0.02	—	—	—
钙 w/ (μg/kg)	—	—	—	1.85	—	—	—	1.86	—	—	—	—
铝 w/ (μg/kg)	0.02	—	—	—	—	—	—	0.39	—	—	—	—
钒 w/ (μg/kg)	—	—	—	3.88	—	—	—	3.69	3.45	—	—	—
铬 w/ (μg/kg)	0.14	—	—	—	—	—	—	0.03	—	—	—	—
锰 w/ (μg/kg)	0.11	—	—	0.72	—	—	—	0.64	0.42	—	—	—
铁 w/ (μg/kg)	—	—	—	0.12	—	—	—	—	0.19	—	—	—
钴 w/ (μg/kg)	0.01	—	—	0.05	—	—	—	0.14	0.03	—	—	—
镍 w/ (μg/kg)	0.19	—	—	—	—	—	—	0.18	0.19	—	—	—
铜 w/ (μg/kg)	3.89	—	—	4.55	—	—	—	3.51	3.89	—	—	—
锌 w/ (μg/kg)	3.58	—	—	2.39	—	—	—	2.43	3.28	—	—	—
镉 w/ (μg/kg)	0.05	—	—	0.07	—	—	—	0.06	0.07	—	—	—
钼 w/ (μg/kg)	0.05	—	—	0.10	—	—	—	0.10	0.06	—	—	—
铅 w/ (μg/kg)	0.19	—	—	—	—	—	—	0.01	0.09	—	—	—
银 w/ (μg/kg)	0.12	—	—	0.07	—	—	—	0.07	0.12	—	—	—
锡 w/ (μg/kg)	0.59	—	—	1.28	—	—	—	1.28	0.59	—	—	—
钨 w/ (μg/kg)	0.02	—	—	0.04	—	—	—	0.04	0.02	—	—	—
钍 w/ (μg/kg)	—	—	—	0.01	—	—	—	—	0.34	—	—	—
铀 w/ (μg/kg)	—	—	—	0.09	—	—	—	0.12	—	—	—	—
硅 w/ (μg/kg)	1.38	—	—	2.45	—	—	—	1.59	1.36	—	—	—
硼 w/ (μg/kg)	0.08	—	—	0.01	—	—	—	0.04	0.06	—	—	—
尘埃粒子数 (≥0.3μm) / (个/mL)	15	—	—	22	—	—	—	20	19	—	—	—

项目 \ 日期	202201	202202	202203	202204	202205	202206	202207	202208	202209	202210	202211	202212
四氯化钛 w/%	99.99999	99.99999	99.99999	99.999999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999
锂 w/ (μg/kg)	0.05	—	—	0.07	—	—	—	0.05	—	0.04	—	—
钠 w/ (μg/kg)	0.16	—	—	0.12	0.18	—	—	—	—	0.12	0.09	—
钾 w/ (μg/kg)	3.87	—	—	2.64	3.68	—	—	3.88	—	2.59	3.65	—
镁 w/ (μg/kg)	—	—	—	0.01	—	—	—	—	—	0.12	0.01	—
钙 w/ (μg/kg)	1.65	—	—	1.85	1.71	—	—	—	—	1.85	—	—
铝 w/ (μg/kg)	1.01	—	—	—	—	—	—	0.9	—	—	0.73	—
钒 w/ (μg/kg)	2.89	—	—	3.42	3.65	—	—	2.87	—	3.68	—	—
铬 w/ (μg/kg)	0.33	—	—	0.12	—	—	—	—	—	—	0.01	—
锰 w/ (μg/kg)	0.11	—	—	0.72	0.52	—	—	0.65	—	0.72	0.49	—
铁 w/ (μg/kg)	—	—	—	0.23	—	—	—	0.18	—	0.01	—	—
钴 w/ (μg/kg)	0.01	—	—	0.09	—	—	—	0.09	—	0.08	0.03	—
镍 w/ (μg/kg)	0.19	—	—	—	0.22	—	—	0.28	—	—	0.19	—
铜 w/ (μg/kg)	3.89	—	—	4.55	4.55	—	—	3.89	—	4.55	3.89	—
锌 w/ (μg/kg)	3.58	—	—	2.39	2.39	—	—	3.58	—	2.39	3.58	—
锆 w/ (μg/kg)	0.08	—	—	0.09	0.07	—	—	0.08	—	0.09	0.08	—
钼 w/ (μg/kg)	0.09	—	—	0.10	0.10	—	—	0.05	—	0.10	0.05	—
铅 w/ (μg/kg)	0.80	—	—	—	0.69	—	—	0.61	—	0.66	0.58	—
银 w/ (μg/kg)	0.12	—	—	0.07	0.07	—	—	0.12	—	0.07	0.12	—
锡 w/ (μg/kg)	0.59	—	—	1.28	1.28	—	—	0.59	—	1.28	0.59	—
钨 w/ (μg/kg)	0.02	—	—	0.04	0.04	—	—	0.02	—	0.04	0.02	—
钍 w/ (μg/kg)	0.04	—	—	0.01	—	—	—	0.02	—	—	—	—
铀 w/ (μg/kg)	0.06	—	—	0.09	0.09	—	—	—	—	0.09	—	—
硅 w/ (μg/kg)	1.38	—	—	2.54	1.69	—	—	1.72	—	2.16	1.28	—
硼 w/ (μg/kg)	0.07	—	—	0.06	0.01	—	—	0.08	—	0.09	0.08	—
尘埃粒子数 (≥0.3μm) / (个/mL)	15	—	—	19	21	—	—	18	—	17	15	—

附表 2 生产厂家试验累积数据

II类产品

项目 \ 日期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
四氯化钛 w/%	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999	99.9999
锂 w/%	8.33	8.01	—	9.01	8.82	8.65	8.83	9.42	—	8.17
钠 w/%	25.67	23.32	—	—	16.32	15.28	17.92	26.12	23.32	19.45
钾 w/%	25.37	21.18	19.32	16.25	—	15.79	—	24.26	16.49	22.24
镁 w/%	9.23	—	8.16	8.59	7.98	—	8.59	8.87	8.94	7.95
钙 w/%	18.88	25.17	16.77	20.27	25.14	23.21	16.32	—	21.27	25.21
铝 w/%	8.47	—	9.35	—	8.74	8.57	8.29	9.60	—	8.59
钒 w/%	20.76	19.98	—	19.22	—	25.47	25.33	19.35	23.15	—
铬 w/%	9.27	8.15	8.72	9.10	8.99	8.76	—	8.03	8.87	8.91
锰 w/%	8.67	—	8.37	8.83	8.57	—	8.29	9.16	—	8.74
铁 w/%	15.22	—	18.17	13.99	—	15.18	13.94	12.57	12.59	11.78
钴 w/%	—	8.87	8.87	9.23	8.54	8.54	—	8.87	8.87	—
镍 w/%	8.11	8.54	—	8.88	—	8.68	8.11	8.54	—	8.59
铜 w/%	21.14	19.24	25.67	21.37	—	19.98	15.88	—	19.92	—
锌 w/%	19.93	26.79	19.93	25.28	20.14	26.30	18.17	—	23.42	29.18
锆 w/%	7.69	—	8.54	8.57	8.26	8.29	8.87	9.64	8.54	8.88
钼 w/%	8.26	—	8.22	9.14	8.75	—	8.87	8.87	7.99	9.32
铅 w/%	8.36	—	8.87	8.87	9.23	8.59	8.54	—	8.87	8.13
银 w/%	8.68	9.14	—	—	8.88	9.28	8.68	8.11	—	8.59
锡 w/%	8.05	—	8.88	8.69	9.27	9.83	8.47	—	8.88	8.69
钨 w/%	8.59	8.94	—	8.84	9.23	—	8.88	8.54	—	8.84
钽 w/%	—	8.35	8.86	9.02	8.76	8.24	—	8.35	8.86	8.87
铀 w/%	8.37	8.57	—	8.29	9.75	8.92	7.49	8.57	—	—
硅 w/%	16.24	14.77	25.82	—	17.74	19.87	19.98	17.29	25.59	—
硼 w/%	8.42	8.57	—	9.39	9.02	8.98	—	8.83	8.57	8.57
尘埃粒子数 (≥0.3μm) / (个/mL)	47	39	29	42	30	37	38	41	28	35

I类产品

项目 \ 日期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
四氯化钛 w/%	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999	99.99999
锂 w/%	0.03	0.04	0.05	—	0.04	—	0.07	0.04	—	0.06
钠 w/%	0.24	0.12	0.15	—	0.12	0.09	—	0.15	—	0.16
钾 w/%	0.29	3.68	—	3.23	—	3.65	2.64	3.68	2.23	3.87
镁 w/%	—	0.01	0.01	0.01	0.12	0.01	0.01	—	0.02	—
钙 w/%	1.65	1.75	—	1.85	1.71	2.15	2.33	—	2.67	1.85
铝 w/%	0.02	—	0.01	—	—	0.73	—	0.25	—	0.09
钒 w/%	—	3.88	3.88	3.88	3.68	—	3.42	3.65	—	2.89
铬 w/%	0.09	—	0.01	—	—	0.26	0.12	—	—	0.25
锰 w/%	0.11	—	0.28	0.36	0.45	0.49	—	0.52	0.42	—
铁 w/%	—	0.12	—	0.12	0.01	—	0.23	—	0.19	—
钴 w/%	0.01	0.07	0.04	0.05	—	0.03	—	—	0.03	0.01
镍 w/%	—	0.01	0.19	—	0.15	0.19	—	0.22	0.21	0.13
铜 w/%	3.89	2.27	2.94	—	4.55	3.77	—	4.55	3.89	3.58
锌 w/%	—	2.39	2.14	—	2.01	3.58	2.39	1.99	3.28	3.26
锆 w/%	0.08	0.07	0.05	0.07	0.09	0.08	0.09	0.06	0.07	0.08
钼 w/%	0.05	0.12	—	0.23	0.12	—	0.09	—	0.08	0.09
铅 w/%	0.19	—	—	—	0.66	0.58	—	0.69	0.09	0.18
银 w/%	0.12	0.35	0.07	0.17	0.33	0.12	—	0.24	0.12	0.19
锡 w/%	0.59	1.28	—	1.28	0.94	0.59	0.05	1.28	0.59	0.59
钨 w/%	0.04	0.08	0.29	0.74	—	0.17	0.04	—	0.19	0.35
钍 w/%	—	0.24	—	0.46	—	0.39	0.48	0.64	0.34	—
铀 w/%	—	0.09	0.09	0.09	0.09	—	0.09	—	—	0.06
硅 w/%	1.38	2.45	2.45	—	2.16	1.28	2.54	1.69	1.36	1.38
硼 w/%	0.08	0.02	—	0.09	0.09	0.12	0.06	—	0.06	0.07
尘埃粒子数 (≥0.3μm) / (个/mL)	11	15	17	16	18	15	19	21	16	22