



中华人民共和国国家标准

GB/T 14352.20—2021

钨矿石、钼矿石化学分析方法 第 20 部分：铌、钽、锆、 hafnium 及 15 个稀土元 素量的测定 电感耦合等离子体质谱法

Methods for chemical analysis of tungsten ores and molybdenum ores—
Part 20: Determination of niobium, tantalum, zirconium, hafnium and 15 rare
earth elements content—Inductively coupled plasma mass spectrometry

2021-03-09 发布

2021-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 原理 1

4 试剂 2

5 仪器和设备 2

6 样品 2

7 分析步骤 2

 7.1 样品量 2

 7.2 空白试验 2

 7.3 验证试验 3

 7.4 样品的分解 3

 7.5 校准溶液系列的配制 3

 7.6 测定 4

 7.7 校准曲线的绘制 4

8 结果计算 4

9 精密度和正确度 4

10 质量保证与控制 5

附录 A（资料性附录） 仪器参考工作条件 6

附录 B（资料性附录） 精密度和正确度汇总表 8

前 言

GB/T 14352《钨矿石、钼矿石化学分析方法》共有 22 个部分,包括 34 项元素的 25 个化学分析方法:

- 第 1 部分:钨量测定;
- 第 2 部分:钼量测定;
- 第 3 部分:铜量测定;
- 第 4 部分:铅量测定;
- 第 5 部分:锌量测定;
- 第 6 部分:镉量测定;
- 第 7 部分:钴量测定;
- 第 8 部分:镍量测定;
- 第 9 部分:硫量测定;
- 第 10 部分:砷量测定;
- 第 11 部分:铋量测定;
- 第 12 部分:银量测定;
- 第 13 部分:锡量测定;
- 第 14 部分:镓量测定;
- 第 15 部分:锗量测定;
- 第 16 部分:硒量测定;
- 第 17 部分:碲量测定;
- 第 18 部分:镱量测定;
- 第 19 部分:铋、镉、钴、铜、铁、锂、镍、磷、铅、锶、钒和锌量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法;
- 第 20 部分:铈、钽、锆、钪及 15 个稀土元素量的测定 电感耦合等离子体质谱法;
- 第 21 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法;
- 第 22 部分:铈量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法。

本部分为 GB/T 14352 的第 20 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由中华人民共和国自然资源部提出。

本部分由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会(SAC/TC 93)归口。

本部分起草单位:江苏省地质调查研究院、中国自然资源经济研究院。

本部分主要起草人:蔡玉曼、李明、申文金、肖玉芳、江冶、杨程、黄光明、张培新、常青、高翔云。



钨矿石、钼矿石化学分析方法
第 20 部分：铌、钽、锆、钪及 15 个稀土元
素量的测定 电感耦合等离子体质谱法

警告——使用本部分的人员应有正规实验室工作的实践经验。本部分并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的安全和健康措施，并保证符合国家有关法规规定的条件。

1 范围

GB/T 14352 的本部分规定了电感耦合等离子体质谱法测定钨矿石、钼矿石中铌、钽、锆、钪以及 15 个稀土元素（钇、镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铽、镱、镱、铟、铊、铋、铷、铯、钫）含量。

本部分适用于钨矿石、钼矿石中铌、钽、锆、钪以及 15 个稀土元素（钇、镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铽、镱、镱、铟、铊、铋、铷、铯、钫）含量电感耦合等离子体质谱法的测定。

本部分各元素方法检出限和测定范围见表 1。

表 1 各元素方法检出限和测定范围 单位为微克每克

分析元素	方法检出限	测定范围	分析元素	方法检出限	测定范围
铌	0.16	0.5~500	钪	0.04	0.1~500
钽	0.07	0.1~50	钇	0.03	0.1~100
锆	2.5	10~500	铈	0.01	0.05~100
钪	0.11	0.5~50	镧	0.03	0.1~100
钇	0.10	0.3~500	铈	0.008	0.05~100
镧	0.14	0.5~1 000	铈	0.02	0.1~100
铈	0.20	1~1 000	铈	0.005	0.05~100
镨	0.03	0.1~500	铈	0.03	0.1~100
钕	0.14	0.5~500	铈	0.01	0.05~100
钐	0.04	0.1~500			

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法
- GB/T 14505 岩石和矿石化学分析方法 总则及一般规定

3 原理

样品经氢氧化钠-过氧化钠熔融分解、水提取沉淀分离、酸化，制备成样品溶液。利用电感耦合等离

子体作为离子源,样品溶液由载气(氦气)带入雾化系统进行雾化后,以气溶胶形式进入等离子体中心区,在高温和惰性气体中被充分蒸发、解离、原子化和电离,转化成的带电荷的正离子经离子采集系统进入质谱仪,质谱仪根据离子的质荷比即元素的质量数进行分离并定性、定量分析。在一定浓度范围内,元素质量数上的响应值与其浓度成正比,采用校准曲线法定量测定样品溶液中的待测元素的量。

4 试剂

除非另有说明,在分析中均使用符合国家标准和分析纯化学试剂,所用纯水为符合 GB/T 6682 规定的二级水。

4.1 氢氧化钠(优级纯)。

4.2 过氧化钠(优级纯)。

4.3 盐酸溶液(1+1)。

4.4 氢氧化钠溶液:称取 1 g 氢氧化钠溶于 100 mL 水中。

4.5 酒石酸-盐酸溶液:称取 10 g 酒石酸溶于 100 mL 盐酸溶液(4.3)中。

4.6 铈、钽、钨、钼标准储备溶液[$\rho=1\,000\,\mu\text{g/mL}$]:购置有证的各单元素标准溶液,介质均为 1 mol/L 硝酸。

4.7 稀土元素标准储备溶液[$\rho=1\,000\,\mu\text{g/mL}$]:购置有证的稀土钪、镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铽、镱、铈、钕、钐、铕、钆、铽、镱各单元素标准储备溶液,介质均为 1 mol/L 硝酸。

4.8 铈、铈混合内标溶液[$\rho=5\,\text{ng/mL}$]:由购置有证的铈、铈各标准储备溶液逐级稀释混合,最终配制成(0.1+99.9)硝酸介质。

4.9 锂、钴、铜、铀混合质谱调谐液[$\rho=1\,\text{ng/mL}$]:由购置有证的锂、钴、铜、铀各标准储备溶液逐级稀释混合,最终配制成(2+98)硝酸介质。

5 仪器和设备

5.1 分析天平:感量 0.1 mg。

5.2 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)。

5.3 控温马弗炉:最高温度 1 300 °C,控温精度 $\pm 5\,^{\circ}\text{C}$ 。

5.4 控温鼓风干燥烘箱:常温 $\sim 300\,^{\circ}\text{C}$,控温精度 $\pm 1\,^{\circ}\text{C}$ 。

6 样品

6.1 按照 GB/T 14505 的相关规定,样品粒径应小于 0.097 mm。

6.2 样品应在 105 °C 烘箱中预干燥 2 h,含硫化物的样品在 60 °C \sim 80 °C 的鼓风干燥烘箱内干燥 2 h \sim 4 h,然后置于干燥器中,冷却至室温。

7 分析步骤

7.1 样品量

称取样品(第 6 章)0.5 g,精确至 0.1 mg。

7.2 空白试验

随同样品进行双份空白试验,所用试剂应取自同一试剂瓶,加入同等的量。

7.3 验证试验

随同样品分析同类型、含量相近的标准物质。

7.4 样品的分解

将样品置于银坩埚中,加入 3 g 氢氧化钠(4.1)和约 0.5 g 过氧化钠(4.2),将银坩埚置于已升温至 700 ℃ 的马弗炉中,到温后保持 20 min。取出,冷却,坩埚移入 250 mL 烧杯中,加入 100 mL 热水,盖上表面皿加热提取。用 2 滴至 3 滴盐酸溶液(4.3)和水冲洗出坩埚。用玻棒压住滤纸片将溶液煮沸 20 min。用中速定性滤纸过滤,用氢氧化钠溶液(4.4)冲洗烧杯及滤纸 4 次至 5 次,再用水冲洗 5 次至 6 次,弃去滤液。把滤纸连同沉淀转移入原烧杯中,加入 10 mL 酒石酸-盐酸溶液(4.5)和少量水,于电热板上煮沸,并将滤纸用玻璃棒捣碎,取下冷却,转入 100 mL 容量瓶中,用水稀释至刻度,摇匀,澄清。取上清液 10.00 mL,移入预先加入 5 mL 酒石酸-盐酸溶液(4.5)的 50 mL 容量瓶中,用水稀释至刻度,摇匀,待测。

7.5 校准溶液系列的配制

用铈、钽、锆、钪标准储备溶液(4.6)和稀土元素标准储备溶液(4.7)稀释成表 2~表 4 中的校准溶液系列,分别置于一组预先加入 10 mL 酒石酸-盐酸溶液(4.5)的 100 mL 容量瓶中,用水稀释至刻度,摇匀。

表 2 铈、钽、锆、钪校准溶液系列 单位为微克每升

元素	STD0	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5
铈	0	2	20	50	200	500
钽	0	0.4	4	20	40	100
锆	0	2	20	50	200	500
钪	0	0.4	4	20	40	100

表 3 轻稀土混合校准溶液系列 单位为微克每升

元素	STD0	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	STD6
钇	0	20	50	100	200	500	1 000
镧	0	20	50	100	200	500	1 000
铈	0	20	50	100	200	500	1 000
镨	0	20	50	100	200	500	1 000
钕	0	20	50	100	200	500	1 000
钐	0	20	50	100	200	500	1 000
铕	0	20	50	100	200	500	1 000

表 4 重稀土混合校准溶液系列 单位为微克每升

元素	STD0	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	STD6
钪	0	0.2	2	20	50	100	200
铈	0	0.2	2	20	50	100	200
镧	0	0.2	2	20	50	100	200
铈	0	0.2	2	20	50	100	200
铈	0	0.2	2	20	50	100	200
铈	0	0.2	2	20	50	100	200
铈	0	0.2	2	20	50	100	200
铈	0	0.2	2	20	50	100	200

7.6 测定

使用锂、钴、铟、铀混合质谱调谐液(4.9)调整仪器各项参数,使灵敏度、氧化物干扰、双电荷干扰、分辨率等各项指数达到测定要求后,参照附录 A 中的表 A.1、表 A.2、表 A.3 优化仪器工作条件后编辑测定方法、干扰校正方程、选择测定元素及内标元素,在线引入铈、铈混合内标溶液(4.8),观测内标灵敏度,分别测量校准溶液(7.5)和样品溶液(7.4)、验证试验溶液(7.3)及空白试验溶液(7.2)中各元素的计数值。

7.7 校准曲线的绘制

以校准溶液系列中各元素的质量浓度为横坐标,校准溶液系列测定计数值为纵坐标,绘制校准曲线。从校准曲线上查得样品溶液、验证试验溶液、空白试验溶液中相应的各元素质量浓度。

8 结果计算

计算结果以质量分数 w 计,数值以 $\mu\text{g/g}$ 表示,按式(1)计算各元素的含量:

$$w = \frac{(\rho_1 - \rho_0) \times V_2 \times 10^{-3}}{m \times V_1 / V} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- ρ_1 ——从校准曲线上查得样品溶液中各元素的质量浓度,单位为微克每升($\mu\text{g/L}$);
- ρ_0 ——从校准曲线上查得的空白样品溶液(7.2)中各元素的质量浓度,单位为微克每升($\mu\text{g/L}$);
- V_1 ——分取样品溶液体积,单位为毫升(mL);
- V_2 ——测定体积,单位为毫升(mL);
- V ——样品溶液总体积,单位为毫升(mL);
- m ——称取样品的量,单位为克(g)。

所得结果按 GB/T 14505 表示为: $\times\times\times\times\ \mu\text{g/g}$ 、 $\times\times\times\ \mu\text{g/g}$ 、 $\times\times.\times\ \mu\text{g/g}$ 、 $\times.\times\times\ \mu\text{g/g}$ 、 $0.\times\times\ \mu\text{g/g}$ 、 $0.0\times\times\ \mu\text{g/g}$ 。

9 精密度和正确度

8 个实验室对 8 个~10 个不同含量水平的钨矿石、钼矿石统一样品中铈、钽、铈、钆及铈、镧、铈、镨、

钹、钐、铈、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐 15 个稀土元素分别在重复性条件下进行测定 4 次, 结果统计得到的方法精密度数据参见附录 B 中的表 B.1。

6 个~8 个实验室对铈、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐 15 个稀土元素不同含量的钐矿石、钐矿石标准物质进行 4 次测定, 相对标准偏差计算结果参见表 B.2。

同一实验室对铈、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐、钐 15 个稀土元素不同含量的 2 个钐矿石、钐矿石有证标准物质加标回收, 加标回收率结果参见表 B.3。

10 质量保证与控制

10.1 通过对实验测试人员、样品、检测设备及耗材、检测方法以及实验记录等环节的质量控制加强实验室内部测试质量控制。

10.2 在测试过程中, 采用标准物质验证、空白试验、加标回收、方法比对和重复分析等方法进行质量保证与控制。

10.3 每批样品至少做两个空白试验, 结果不高于分析方法的最低检测质量浓度。

10.4 每次样品分析应绘制校准曲线, 校准曲线的相关系数应大于或等于 0.995。

10.5 仪器调谐时调节到氧化物产率在 1.5% 左右, 双电荷产率在 3.5% 左右方可进行样品测定。



附 录 A
(资料性附录)
仪器参考工作条件

A.1 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)参考工作条件如表 A.1,选用各分析元素及内标元素同位素见表 A.2。

表 A.1 仪器参考工作条件

工作参数		设定值
功率/W		1 200
冷却气流量/(L/min)		13.0
辅助气流量/(L/min)		0.70
雾化器压力/MPa		0.090
测量方式		跳峰
扫描次数		50
停留时间/ms		10
每个质量通道数		3
样品间隔冲洗时间/s		35
蠕动泵转速/(r/min)	分析	30
	冲洗	70

表 A.2 各分析元素及内标元素同位素

分析元素	同位素	内标元素	同位素	分析元素	同位素	内标元素	同位素
铈	93	Rh	103	铈	153	Rh	103
钽	181	Ir	193	钪	157	Ir	193
钆	91	Rh	103	铽	159	Ir	193
铈	178	Ir	193	镱	163	Ir	193
钇	89	Rh	103	铥	165	Ir	193
镧	139	Rh	103	铥	166	Ir	193
铈	140	Rh	103	铥	169	Ir	193
镨	141	Rh	103	镱	172	Ir	193
钆	146	Rh	103	镱	175	Ir	193
钐	175	Rh	103	铥	137	Rh	103

A.2 干扰校正方程见表 A.3。

表 A.3 元素的干扰系数及校正方程

元素	同位素	丰度/%	观测到的干扰	校正方程	干扰系数 K
Y	89	100	Er 二价离子	$-0.000\ 274 \times I(^{166}\text{Er})$	0.000 274
Eu	153	52.19	^{137}BaO	$-0.000\ 20 \times I(^{137}\text{Ba})$	0.000 20
Gd	157	15.65	$^{140}\text{Ce}^{17}\text{OH}$	$-0.001\ 94 \times I(^{140}\text{Ce})$	0.001 94
			$^{141}\text{Pr}^{16}\text{O}$	$-0.019\ 3 \times I(^{141}\text{Pr})$	0.019 3
Tb	159	100	$^{143}\text{Nd}^{16}\text{O}$	$-0.012\ 48 \times I(^{146}\text{Nd})$	0.012 48
Dy	163	24.90	$^{146}\text{NdOH}$	$-0.000\ 55 \times I(^{146}\text{Nd})$	0.000 55
			^{147}SmO	$-0.004\ 30 \times I(^{147}\text{Sm})$	0.004 30
Ho	165	100	^{146}NdO	$-0.000\ 16 \times I(^{146}\text{Nd})$	0.000 16
			^{149}SmO	$-0.004\ 32 \times I(^{147}\text{Sm})$	0.004 32
Er	166	33.50	^{150}NdO	$-0.007\ 19 \times I(^{146}\text{Nd})$	0.007 19
			^{150}SmO	$-0.003\ 81 \times I(^{147}\text{Sm})$	0.003 81
Tm	169	100	^{153}EuO	$-0.000\ 60 \times I(^{153}\text{Eu})$	0.000 60
			^{150}SmO	$-0.000\ 51 \times I(^{147}\text{Sm})$	0.000 51
Yb	172	21.83	^{156}GdO	$-0.014\ 27 \times I(^{157}\text{Gd})$	0.014 27
Lu	175	97.41	^{158}GdO	$-0.002\ 09 \times I(^{157}\text{Gd})$	0.002 09
			^{159}TbO	$-0.010\ 88 \times I(^{159}\text{Tb})$	0.010 88

注 1: I 表示元素的计数值,单位为强度每秒(cps)。

注 2: 由于仪器结构、工作条件、样品基体对氧化物的产率有较大影响,因此本表中的氧化物干扰系数仅供参考,用户可参照本部分求得实际干扰系数。

表 B.2 方法正确度(有证标准物质测试)

元素	标准物质 编号	标准值 $\mu\text{g/g}$	等精度测量次数 n	参加实验室数 p	测量平均值 $\mu\text{g/g}$	标准偏差 s $\mu\text{g/g}$	相对标准误差 RE %
铈	GBW07285	27.0 ± 3.5	4	8	26.3	2.6	-2.50
钇	GBW07238	11.4 ± 1.2	4	8	12.1	0.58	5.94
	GBW07239	34.2 ± 2.2	4	8	35.0	1.8	2.21
	GBW07240	2.8 ± 1.0	4	7	3.04	0.41	8.44
	GBW07241	128 ± 27	4	7	131	3	1.95
镧	GBW07238	7.1 ± 0.6	4	8	7.28	0.47	2.55
	GBW07239	37.4 ± 1.9	4	8	37.9	3.0	1.41
	GBW07240	5.0 ± 0.6	4	8	5.17	0.30	3.45
	GBW07241	23.7 ± 0.3	4	8	23.6	1.8	-0.29
铈	GBW07238	20.8 ± 1.8	4	7	21.5	1.14	3.26
	GBW07239	60.3 ± 3.3	4	7	61.5	1.91	1.92
	GBW07240	10.0 ± 1.0	4	7	10.6	0.49	5.54
	GBW07241	60.3 ± 2.4	4	7	59.1	2.5	-2.02
镨	GBW07238	3.0 ± 0.4	4	8	3.26	0.12	8.73
	GBW07239	7.4 ± 0.6	4	8	7.75	0.35	4.72
	GBW07240	1.1 ± 0.3	4	8	1.21	0.09	9.74
	GBW07241	7.90 ± 0.8	4	8	7.93	0.37	0.38
钕	GBW07238	11.3 ± 2.2	4	8	12.1	0.45	6.68
	GBW07239	29.8 ± 2.1	4	8	31.3	1.44	5.06
	GBW07240	4.0 ± 0.5	4	8	4.35	0.22	8.8
	GBW07241	32.9 ± 3.2	4	8	32.9	1.57	-0.09
钐	GBW07238	2.1 ± 0.4	4	8	2.24	0.15	6.5
	GBW07239	6.4 ± 0.5	4	8	6.71	0.33	4.84
	GBW07240	0.79 ± 0.14	4	8	0.86	0.05	8.49
	GBW07241	$12.5 \pm$	4	8	12.6	0.47	0.46
铕	GBW07238	0.59 ± 0.11	4	8	0.62	0.04	5.74
	GBW07239	1.5 ± 0.1	4	8	1.57	0.04	4.45
	GBW07240	0.15 ± 0.05	4	8	0.18	0.02	17.93
	GBW07241	0.17 ± 0.04	4	8	0.14	0.02	-16.32
钆	GBW07238	1.9 ± 0.3	4	8	2.11	0.15	11.31
	GBW07239	5.8 ± 0.4	4	8	6.26	0.39	7.91
	GBW07240	0.64 ± 0.15	4	8	0.68	0.08	5.93
	GBW07241	14.8 ± 0.3	4	8	14.4	0.85	-2.84

表 B.2 (续)

元素	标准物质 编号	标准值 $\mu\text{g/g}$	等精度测量次数 n	参加实验室数 p	测量平均值 $\mu\text{g/g}$	标准偏差 s $\mu\text{g/g}$	相对标准误差 RE %
铽	GBW07238	0.34 ± 0.05	4	8	0.36	0.05	5.03
	GBW07239	0.98 ± 0.08	4	8	1.03	0.06	5.43
	GBW07240	0.15 ± 0.09	4	8	0.13	0.03	-11.78
	GBW07241	3.3 ± 0.3	4	8	3.21	0.11	-2.87
镨	GBW07238	1.8 ± 0.3	4	8	1.99	0.12	10.73
	GBW07239	5.8 ± 0.4	4	8	6.06	0.30	4.52
	GBW07240	0.46 ± 0.14	4	8	0.52	0.09	13.30
	GBW07241	20.7 ± 1.3	4	8	21.1	0.7	1.75
钬	GBW07238	0.36 ± 0.06	4	8	0.41	0.04	13.08
	GBW07239	1.2 ± 0.1	4	8	1.20	0.07	0.27
	GBW07240	0.11 ± 0.03	4	8	0.12	0.02	9.53
	GBW07241	4.5 ± 0.2	4	8	4.36	0.16	-3.22
铒	GBW07238	1.0 ± 0.2	4	8	1.14	0.08	13.61
	GBW07239	3.2 ± 0.4	4	8	3.48	0.27	8.78
	GBW07240	0.23 ± 0.08	4	8	0.25	0.05	9.60
	GBW07241	13.1 ± 1.1	4	8	13.4	0.46	2.54
铥	GBW07238	0.14 ± 0.03	4	7	0.16	0.01	15.82
	GBW07239	0.44 ± 0.06	4	8	0.49	0.04	10.61
	GBW07240	0.04 ± 0.01	4	6	0.05	0.01	13.85
	GBW07241	2.2 ± 0.2	4	8	2.26	0.14	2.70
镱	GBW07238	1.0 ± 0.2	4	8	1.04	0.08	3.87
	GBW07239	2.8 ± 0.3	4	8	2.99	0.18	6.80
	GBW07240	0.28 ± 0.09	4	6	0.30	0.05	6.10
	GBW07241	14.9 ± 1.4	4	8	15.7	0.6	5.09
镱	GBW07238	0.16 ± 0.05	4	7	0.16	0.01	1.34
	GBW07239	0.41 ± 0.06	4	8	0.44	0.04	7.93
	GBW07240	0.06 ± 0.03	4	8	0.06	0.01	2.53
	GBW07241	2.4 ± 0.2	4	8	2.32	0.10	-3.45
注: RE=[(测量平均值-标准值)/标准值] $\times 100$ 。							

B.3 同一实验室对 2 个含铈、钽、锆、钨及钇、镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铽、镱、镱、镱、镱 15 个稀土元素量不同的有证标准物质加标回收试验,加标回收率结果见表 B.3。

表 B.3 加标回收率

%

元素	GBW07239	GBW07241
铌	92.6~101.7	96.7~100.4
钽	93.0~106.0	102.7~106.0
锆	101.7~103.7	95.4~95.7
钪	96.6~101.7	97.1~108.2
钇	90.2~108.2	96.7~101.7
镧	91.0~93.3	97.2~101.7
铈	90.2~93.0	90.9~93.8
镨	90.0~92.0	90.4~90.8
钕	104.0~108.1	102.5~104.2
钐	90.8~91.6	96.0~98.7
铕	99.5~109.5	90.0~95.0
钆	102.0~108.0	96.7~104.7
铽	98.0~104.0	90.7~101.0
镱	90.0~95.0	97.6~107.8
铥	105.0~109.0	92.3~94.6
钇	95.8~105.2	92.7~99.7
铈	94.0~108.0	95.5~97.2
镱	91.5~103.8	100.3~100.7
镱	95.0~106.0	90.6~109.2

