

ICP-MS 法测定纯铑中 16 个杂质元素

任传婷¹, 方卫², 冯璐¹, 徐光², 汪原伊¹, 李秋莹², 马媛¹, 甘建壮², 俞建树¹

(1. 贵研铂业股份有限公司 稀贵金属综合利用新技术国家重点实验室, 昆明 650106;

2. 贵研检测科技(云南)有限公司, 昆明 650106)

摘要: 采用盐酸-过氧化氢微波消解铑粉样品, 动态反应池(DRC)技术消除复合离子对 Fe、Si 的干扰, 以内标校正法克服基体效应, 建立了电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定纯铑中 Mg、Al、Si、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Ru、Ag、Pd、Sn、Ir、Pt、Au 和 Pb 共 16 个杂质元素含量的方法。以 Y、Re、Sc 和 In 为内标元素, 测定加标回收率为 88.5%~116.2%, 精密度(RSD)为 0.63%~13.44%; 方法测定下限低, 除 Fe(0.0001%)和 Si(0.0005%)外, 其余元素测定下限均不高于 0.00005%, 在无高纯铑基体匹配的条件下, 可满足 99.99%的高纯铑测定要求。

关键词: 分析化学; 纯铑; 杂质元素; 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法; 动态反应池 (DRC)

中图分类号: O657.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2017)03-0066-06

Determination of 16 Impurities in Pure Rhodium by ICP-MS

REN Chuanting¹, FANG Wei², FENG Lu¹, XU Guang², WANG Yuanyi¹,

LI Qiuying², MA Yuan¹, GAN Jianzhuang², YU Jianshu¹

(1. State Key Laboratory of Advanced Technologies for Comprehensive Utilization of Platinum Metals, Sino-Platinum Metals Co. Ltd., Kunming 650106, China; 2. GuiYan Detection Technology (Yunnan) Co. Ltd., Kunming 650106, China)

Abstract: An analytical method was proposed for the determination of 16 impurities in pure rhodium by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). These impurities include Mg, Al, Si, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ru, Ag, Pd, Sn, Ir, Pt, Au and Pb. Rhodium samples to be tested was digested by a mixture of HCl and H₂O₂ in microwave oven. The interference of multifunctional ions to Fe and Si was eliminated by the dynamic reaction cell technology (DRC). Y, Re, Sc and In were used as internal elements for the 16 impurities. The recoveries and precision (RSD) were measured to be 88.5%~116.2% and 0.63%~13.44%, respectively. Detection limit was 0.0001% for Fe, 0.0005% for Si and 0.00005% for other elements. The method can be applied to the analysis of 99.99% high-purity rhodium, in case of no rhodium matrix matching available.

Key words: analytical chemistry; pure rhodium; impurities; inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS); dynamic reaction cell (DRC)

含铑系列合金和铑化合物, 在电子工业、国防军工、催化及首饰行业中具有不可替代的重要应用。这些产品大多以纯铑为原料, 铑的纯度会影响产品性能及加工工艺, 因此对铑纯度测定有很高的要求。

纯铑通常以铑粉为原料提供, 其中的杂质元素现有标准测定方法为电弧发射光谱法^[1]。该法直接测定粉末固体, 不需溶解铑粉。但这一方法必须使用高纯铑基体配制的粉末标样, 单次测定成本高; 采

收稿日期: 2016-10-31

基金项目: 国家标准制定任务(20140931-T-610)。

第一作者: 任传婷, 女, 硕士, 工程师, 研究方向: 贵金属分析化学。E-mail: flytosky1023@163.com

用平面光栅光谱(PGS)译谱, 受谱线灵敏度影响, 部分元素(如 Na、K)检出限高; 由于直接暴露在空气中, Si、Ca 等元素受污染而影响测定结果; 受粉末装样量、激发电流稳定性等影响, 测定偏差较大(<50%)。

为减少对高纯铈基体的依赖, 李光俐等^[2]采用电感耦合等离子体发射光谱(ICP-AES)法测定铈粉中杂质元素。该方法采用微波消解技术溶解样品, 用高纯基体溶液建立基体干扰校正模型进行测定, 因此不需每次测定都使用高纯铈基体溶液。但由于样品不经分离, 溶液中大量存在的铈对杂质元素的光谱干扰, 使得 ICP-AES 法难于满足铈纯度 99.95% 以上的样品中杂质元素的测定要求。

ICP-MS 法具有元素检出限低, 干扰小, 可通过内标法校正由于样品中基体组成类型浓度变化引起的分析物灵敏度的变化等特点。通过选取合适的条件, 可以减少基体对杂质元素的干扰, 在测定高纯金属中杂质元素有较多研究^[3-7], 但尚无用于纯铈中杂质元素测定的报道。铈高纯基体难于获取, 样品中的铈难于分离, 如果采用 ICP-MS 进行测定, 采用适当的手段消除基体效应及测定干扰, 可以提高杂质元素检测灵敏度, 满足高纯铈测定的要求。基于此, 本文采用微波消解溶样, 在不使用铈高纯基体的情况下, 通过选取合适的条件进行铈粉中的杂质元素测定。

1 实验

1.1 仪器及工作条件

电感耦合等离子体质谱仪(Perkin Elmer NexION™ 300D): 旋流雾化器; 石英炬管; 铂采样锥; 铂截取锥。其工作参数为: ICP RF 功率 1300 W; 等离子体气流量 18 L/min; 辅助气流量 1.2 L/min; 雾化气流量 0.78 L/min。

美国 CEM 公司 MARS-5 微波消解仪, 最高工作温度 240℃, 配套聚四氟乙烯消解罐容积为 90 mL。

1.2 试剂和样品

1.2.1 主要试剂

盐酸和硝酸均为 MOS 级试剂; 过氧化氢为优级纯试剂; 实验室用水为电阻率 18.2 MΩ/cm 的超纯水。

1.2.2 标准储备溶液

Pt、Ru、Ir、Pd、Au、Ag、Cu、Fe、Ni、Al、Pb、Mn、Mg、Sn、Zn、Si、Sc、Y、In、Re、Cs、

Bi 标准储备溶液(1.00 mg/mL): 采用纯金属(质量分数 ≥99.99%)或基准物质分别配制。工作溶液由标准储备溶液逐级稀释制备。

1.2.3 混合标准溶液

混合标准溶液 A(500 ng/mL): 分别移取 5.00 mL Ag、Pd、Pt、Ir、Ru、Au 标准储备溶液, 置于 1000 mL 容量瓶中, 加入 100 mL 盐酸, 用水稀释至刻度, 混匀。

混合标准溶液 B(500 ng/mL): 分别移取 5.00 mL Mg、Al、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Pb、Sn 标准储备溶液, 置于 1000 mL 容量瓶中, 加入 100 mL 盐酸, 用水稀释至刻度, 混匀。

标准溶液 C(500 ng/mL): 移取 5.00 mL Si 标准储备溶液, 置于 1000 mL 塑料容量瓶中, 加入 100 mL 盐酸, 用水稀释至刻度, 混匀。

混合内标溶液(1.00 μg/mL): 分别移取 1.00 mL Y、In、Re、Sc、Cs、Bi 标准储备溶液于 1000 mL 容量瓶中, 加入 100 mL 盐酸, 用水稀释至刻度, 混匀。

1.2.4 工作曲线系列标准溶液

系列标准溶液 I: 分别移取 0、0.10、0.20、1.00、2.50、5.00 和 10.00 mL 的混合标准溶液 A 和混合标准溶液 B 于一系列 100 mL 容量瓶中, 加入 1.00 mL 混合内标溶液, 补加 3 mL 盐酸, 用水稀释至刻度, 混匀。得到 Mg、Al、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Ru、Ag、Pd、Sn、Ir、Pt、Au、Pb 共 15 个元素质量浓度依次为 0、0.50、1.0、5.0、10.0、25.0 和 50.0 ng/mL 的混合系列标准溶液。

系列标准溶液 II: 分别移取 0、0.10、0.20、1.00、2.50、5.00 和 10.00 mL 的标准溶液 C 于一系列 100 mL 容量瓶中, 加入 1.00 mL 混合内标溶液, 补加 3 mL 盐酸, 用水稀释至刻度, 混匀。得到 Si 质量浓度依次为 0、0.50、1.0、5.0、10.0、25.0 和 50.0 ng/mL 的系列标准溶液。

1.2.5 实验样品

实验所用铈粉样品(Rh-1[#]和 Rh-2[#])的杂质元素含量为: Rh-1[#] Mg 0.00030%, Al 0.00033%, Mg 0.00008%, Fe 0.00067%, Ni 0.00039%, Cu 0.00065%, Zn 0.00022%, Ru 0.00055%, Ag 0.00018%, Pd 0.00018%, Ir 0.00025%, Pt 0.00046%, Si 0.00076%, Sn、Au 和 Pb 小于 0.00005%; Rh-2[#] Fe 0.0006%, Ni 0.0001%, Cu 0.0006%, Ru 0.01%, Ir 0.0068%, Pt、Pd、Au、Ag、Al、Pb、Mn、Mg、Sn、Zn 和 Si 均小于 0.00005%。

1.3 样品溶解和待测试液制备

称取 0.10 g(精确至 0.0001g)铑粉置于消解罐中,加入 10 mL 盐酸,3 mL 过氧化氢,密封。在微波消解仪中 210℃溶解 2 h。取出,冷却至室温。若样品未溶解完全(溶液中有固体颗粒),补加盐酸-双氧水继续消解 2 h,直至铑粉溶解完全。将消解罐内的溶液全部转入 50 mL 容量瓶中,加入 5 mL 盐酸,用水定容至刻度,混匀。

当杂质元素含量为 0.005%~0.05%时,分取 25 mL 试液至 50 mL,加入 0.5 mL 混合内标溶液,用水稀释至刻度,混匀得到待测试液。当杂质元素含量为 0.00005%~0.005%时,分取 2.5 mL 试液至 50 mL,加入 0.5 mL 混合内标溶液,用水稀释至刻度,混匀得到待测试液。样品处理过程中,同时做空白试验。

1.4 ICP-MS 测定

Si 和 Fe 用动态反应池(DRC)技术测定,其余元素用内标法测定,得到系列标准溶液和待测试液中不同元素同位素的信号强度,由仪器自动计算给出试液中该元素的浓度。根据浓度结果推算得出样品中杂质元素含量。

2 结果与讨论

2.1 测定同位素的选择

在推荐的仪器工作条件下,按被测同位素无干扰、丰度高的原则,每个待测元素选择 2~3 个不同质量数的同位素进行 ICP-MS 测定。对混合杂质元素级差标准溶液进行测定,制作工作曲线。查看每条谱线的线性相关系数,选择相关系数大于 0.9995 的谱线测定同位素,最终选定的同位素为 ^{24}Mg 、 ^{27}Al 、 ^{28}Si 、 ^{55}Mn 、 ^{56}Fe 、 ^{60}Ni 、 ^{63}Cu 、 ^{66}Zn 、 ^{101}Ru 、 ^{106}Pd 、 ^{107}Ag 、 ^{118}Sn 、 ^{191}Ir 、 ^{195}Pt 、 ^{197}Au 、 ^{208}Pb ,内标元素测定用同位素分别为 ^{45}Sc 、 ^{89}Y 、 ^{115}In 、 ^{187}Re 。

2.2 动态反应池消除对 Fe、Si 的干扰

在铑的纯度分析中, ArO^+ 对 Fe 、 N_2^+ 及仪器本身对 Si 的测定有干扰^[3],采用动态反应池技术消除 ArO^+ 、 N_2^+ 对 Fe 和 Si 的干扰。经测定 1 ng/mL 的 Fe 标准溶液和 10 ng/mL 的 Si 标准溶液优化,测定 ^{28}Si 时动态反应池的氨气流量为 0.2 L/min、控制参

数(RPq)为 0.6,测定 ^{56}Fe 时氨气流量为 0.5 L/min、RPq 为 0.45。

2.3 内标法消除基体效应

ICP-MS 测定中,基体元素会对微量和痕量待测元素质谱信号产生不同程度的抑制或增强效应,称为基体效应,采用内标法^[8]可较好地克服这种效应。由于高纯铑基体不易得,本文采用纯铑粉样品溶液($\rho(\text{Rh})=1.00 \text{ mg/mL}$)进行实验,研究采用不同内标元素对杂质元素测定的补偿作用,结果列于表 1。

表 1 内标对基体的抑制的补偿作用(测定元素加入浓度为 20 ng/mL)

Tab.1 Eliminating effect of the matrix by internal element (Element added: 20 ng/mL)

元素	测定值/(ng/mL)		内标元素	元素	测定值/(ng/mL)		内标元素
	无内标	有内标			无内标	有内标	
Mg	12.714	20.042	Y	Ru	15.804	22.700	Y
Al	11.161	19.380	Y	Ag	16.628	23.675	Y
Si	12.936	18.223	Sc	Pd	16.826	24.752	Y
Mn	13.923	21.046	Y	Sn	13.281	18.401	In
Fe	26.417	19.197	Y	Ir	6.255	20.066	Re
Ni	12.760	19.473	Y	Pt	6.169	19.807	Re
Cu	12.448	16.235	Y	Au	6.157	19.669	Re
Zn	12.944	18.155	Y	Pb	5.948	18.916	Re

从表 1 可以看出,不同的内标元素可在一定程度上抑制铑基体对待测元素的基体效应。内标元素 Y 对待测元素 Mg、Al、Si、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Ru、Pd、Ag、Re 对待测元素 Ir、Pt、Au、Pb, Sc 对待测元素 Si, In 对待测 Sn 的补偿作用明显,故选择 Y、Re、Sc 和 In 作为内标元素。

此后的对方法检出限、回收率和精密度的实验选用上述元素作为内标。测定时, Si 和 Fe 元素在动态反应池工作模式下测定其同位素的信号强度,其余元素在正常模式下测定。

2.4 检出限和测定下限

采用上述测定方法,将随同试料所做的空白溶液重复测定 11 次,以 3 倍标准偏差所对应浓度,作为本方法各元素的检出限,以 10 倍标准偏差所对应浓度折算为本方法的测定下限,结果列于表 2。

表 2 铑中各杂质元素的检出限

Tab.2 Detection limits of the impurities in rhodium /10⁻⁶

元素	检出限 (3σ)	测定限 (10σ)	元素	检出限 (3σ)	测定限 (10σ)
Mg	0.16	0.5	Ru	0.002	0.008
Al	0.16	0.5	Pd	0.014	0.05
Si	1.61	5	Ag	0.021	0.07
Mn	0.046	0.2	Sn	0.039	0.1
Fe	0.35	1	Ir	0.004	0.01
Ni	0.032	0.1	Pt	0.022	0.07
Cu	0.031	0.1	Au	0.036	0.1
Zn	0.15	0.5	Pb	0.033	0.1

由表 2 可见, 16 个元素的检出限中, 除 Si 的测定下限为 0.0005%、Fe 为 0.0001%外, 其余元素的测定下限均不高于 0.00005%, 优于粉末发射光谱法标准^[1]的指标。根据系列标准溶液的浓度范围, 本方法测定样品含量的上限值为 0.05%。

2.5 加标回收率

称取铑份样品(Rh-1[#])5 份, 每份 0.1 g, 一份做空白, 另外 4 份在消解后加入不同浓度的杂质元素标准溶液, 按实验方法处理后进行测定, 结果见表 3。由表 3 可以看出, 样品加标回收率为 88.5%~116.2%, 可满足实际样品分析对准确度的要求。

表 3 样品 Rh-1[#]加标回收率

Tab.3 Recoveries of standard addition in sample Rh-1[#]

加标值 / (ng/mL)	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%
0.5		3.534	102.8		3.90	107.40		1.2955	97.7		-	-
5	Mg	7.645	92.5	Al	13.86	92.90	Mn	5.762	99.1	Fe	12.424	115.18
20	3.02 ng/mL	22.44	97.1	3.367 ng/mL	28.97	98.80	0.807 ng/mL	20.247	97.2	6.665 ng/mL	27.305	103.2
100		98.49	95.5		115.80	106.60		97.527	96.7		111.865	105.2
加标值 / (ng/mL)	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%
0.5		4.368	97.4		6.9476	93.5		2.682	95.6		6.08035	110.1
5	Ni	8.511	92.6	Cu	11.03	91.0	Zn	6.669	89.3	Ru	10.535	100.1
20	3.881 ng/mL	22.241	91.8	6.48 ng/mL	24.48	90.0	2.204 ng/mL	19.904	88.5	5.53 ng/mL	26.67	105.7
100		95.161	91.3		101.49	95.0		105.954	103.8		112.99	107.5
加标值 / (ng/mL)	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%
0.5		2.37	116.2		2.324	114.8		0.754	96.8		3.018	104.8
5	Ag	6.924	102.7	Pd	6.805	101.1	Sn	4.9	92.6	Ir	7.309	96.3
20	1.789 ng/mL	22.153	101.8	1.75 ng/mL	21.77	100.1	0.27 ng/mL	18.63	91.8	2.494 ng/mL	21.914	97.1
100		107.979	106.2		107.64	105.9		94.99	94.7		104.504	102.0
加标值 / (ng/mL)	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%	元素	测定值/本底值 (ng/mL)	回收率/%
0.5		5.103	93.8		0.629	93.8		0.48	97.4		—	—
5	Pt	9.289	93.1	Au	4.995	96.7	Pb	5.183	103.8	Si	13.282	114.2
20	4.634 ng/mL	24.234	98.0	0.16 ng/mL	19.22	95.3	-0.007 ng/mL	19.273	96.4	7.572 ng/mL	25.792	91.1
100		105.014	100.4		102.59	102.4		104.633	104.6		99.872	92.3-

2.6 精密度实验

称取铑粉(Rh-2[#]), 在消解后加入低(0.00005%、0.0005%)、中(0.005%)、高(0.01%)不同量的杂质元素(若样品测定值中杂质元素含量高于欲加标值, 则

不对该元素加标)。重复 7 次测定加标后样品中杂质元素含量, 计算相对标准偏差(RSD), 考察测定精密度, 结果如表 4 所列。从表 4 可以看出, 低、中、高量的相对标准偏差分别为: 1.30%~13.44%、

0.93%~3.27%、0.63%~2.88%，测定精密度远优于发射光谱法标准^[1]中“相对偏差不大于 50%”的指标。

表 4 方法精密度($n=7$)

Tab.4 Precision of the analytical method ($n=7$)

/%

元素	低量(0.00005%)加标		低量(0.0005%)加标		中量(0.005%)加标		高量(0.01%)加标	
	测定平均值	RSD	测定平均值	RSD	测定平均值	RSD	测定平均值	RSD
Mg	0.0000666	13.04	0.000524	2.72	0.00490	2.02	0.0104	2.45
Al	0.0000688	11.59	0.000474	3.75	0.00425	2.33	0.00931	2.19
Si	—	—	0.000563	8.72	0.00523	1.32	0.0103	1.50
Mn	0.0000544	6.51	0.000495	3.62	0.00479	2.90	0.0102	1.63
Fe	—	—	0.000601	5.74	0.00630	2.22	0.0120	2.90
Ni	—	—	0.000573	3.76	0.00452	2.91	0.00978	1.88
Cu	—	—	0.000587	4.11	0.00494	3.27	0.0101	1.92
Zn	0.0000468	13.44	0.000500	6.69	0.00134	1.51	0.00896	1.56
Ru	—	—	—	—	—	—	0.0109	2.31
Pd	0.0000671	4.39	0.000678	3.92	0.00661	1.01	0.0130	0.63
Ag	0.0000661	3.65	0.000647	1.30	0.00633	0.99	0.0125	0.92
Sn	0.0000461	6.39	0.000458	2.36	0.00446	1.37	0.00990	0.82
Ir	—	—	—	—	0.00680	0.93	0.0119	2.10
Pt	0.0000499	9.75	0.000541	2.11	0.00532	2.60	0.0101	1.54
Au	0.0000515	9.37	0.000533	3.12	0.00543	3.04	0.0104	1.70
Pb	0.0000542	7.93	0.00050	3.22	0.00503	1.25	0.0101	0.81

3 结论

本文以微波消解溶解铑粉，建立了电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定了纯铑中 16 个杂质元素含量的方法。在无高纯铑基体匹配的情况下，方法可满足高纯铑(99.99%)杂质元素测定的要求。

1) 采用内标法可以较好克服基体效应。选择 Y、Re、Sc 和 In 作为内标元素，其中 Y 对 Mg、Al、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、Ru、Pd、Ag，Re 对 Ir、Pt、Au、Pb，Sc 对 Si，In 对 Sn 均具有较好的补偿作用。

2) 动态反应池(DRC)技术与内标法共同使用，可以较好解决 Si 和 Fe 受到的质谱干扰。

3) 除 Si 的测定下限为 0.0005%、Fe 的测定下限为 0.0001%外，其余元素的测定下限均不高于 0.00005%；样品中杂质元素加标回收率为 88.5%~116.2%。

4) 精密度实验表明，测定低(0.00005%、0.0005%)、中(0.005%)、高(0.01%)含量的杂质元素，相对标准偏差(RSD)分别为 1.30%~13.44%、0.93%~3.27%、0.63%~2.88%。

参考文献:

- [1] 全国有色金属标准化技术委员会. 纯铑中杂质元素的发射光谱分析: YS/T363-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
SAC/TC243. Determination of trace impurities in purity rhodium by atomic emission spectrometric: YS/T 363-2006[S]. Beijing: Standard Press of China.
- [2] 李光俐, 甘建壮, 马媛, 等. 多元光谱拟合校正电感耦合等离子体原子发射光谱法测定铑粉中 19 种杂质元素[J]. 冶金分析, 2014, 34(5):35-40.
LI G L, GAN J Z, MA Y, et al. Determination of nineteen impurity elements in rhodium powder by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry with multi-component spectral fitting correction[J]. Metallurgical analysis, 2014, 34(5): 35-40.
- [3] 李光俐, 何姣, 周世平, 等. ICP-MS 法测定高纯铂中 18 个痕量杂质元素[J]. 贵金属, 2015, 36(3): 60-65.
LI G L, HE J, ZHOU S P, et al. Determination of 18 trace-impurities in high purity platinum by ICP-MS[J]. Precious metals, 2015, 36(3): 60-65.

[4] 刘湘生, 张安定, 刘玉龙, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定高纯金中痕量杂质[J]. 分析化学, 2000, 10(3): 322-325.
LIU X S, ZHANG A D, LIU Y L, et al. Determination of high purity gold by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Chinese journal of analytical chemistry, 2000, 10(3): 322-325.

[5] 王长华, 李继东, 潘元海, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定高纯钼中 12 种杂质元素[J]. 分析试验室, 2011, 30(7): 18-21
WANG C H, LI J D, PAN Y H, et al. The determination of 12 trace-impurities in high purity molybdenum by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Chinese journal of analysis laboratory, 2011, 30(7): 18-21.

[6] 李继东, 王长华, 郑永章, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定高纯铼中 26 种痕量杂质元素[J]. 分析试验室, 2011, 30(8): 39-42.
LI J D, WANG C H, ZHENG Y Z, et al. Determination of 26 trace-impurities in high purity rhenium by ICP-MS[J]. Chinese journal of analysis laboratory, 2011, 30(8): 39-42.

[7] 全玉. 电感耦合等离子体质谱法测定氧化镓中杂质元素 [J]. 分析试验室, 2009, 28(12): 107-110.
QUAN Y. Detection of impurity elements in gallium oxide by inductive coupled plasma-mass spectrometry[J]. Chinese journal of analysis laboratory, 2009, 28(12): 107-110.

[8] 李金英, 姚继军. ICP-MS 实践指南[J]. 质谱学报, 2007, 26(2): 92.
LI J Y, YAO J J. Practical guide to ICP-MS[J]. Journal of Chinese mass spectrometry society, 2007, 26(2): 92.

《贵金属》(Precious Metals) 期刊简介

《贵金属》创刊于 1980 年, 为中国有色金属学会和昆明贵金属研究所共同主办的、国内外公开发行的学术季刊。其学风严谨, 视野远阔, 是中国乃至全球唯一的全面报道贵金属 8 个元素科技研究成果的学术刊物。

《贵金属》期刊主要报道内容包括贵金属 (Pt、Pd、Rh、Ir、Os、Ru、Au、Ag) 在冶金、材料、化学、分析测试等科技领域的研究论文、综合评述。

《贵金属》期刊被中国知网、万方、维普等主要检索数据库全文收录, 是美国化学文摘 (CA)、英美金属学会金属文摘 (MA)、美国剑桥科技文摘 (CSA) 等的文献源期刊。

《贵金属》为中文核心期刊 (PKU)、中国科技核心期刊 (ISTIC)、中国科学引文数据库 (CSCD) 来源期刊。

《贵金属》影响因子一直位于国内同类期刊前列 (见附表), 是国内外贵金属科技人员的重要参考资料来源。

附表: 2010-2015 年《贵金属》期刊主要评价指标

评价年份	总被引频次	影响因子	影响因子排名	他引率	基金论文比
2015	313	0.608	10	0.66	0.73
2014	352	0.872	3	0.69	0.59
2013	360	0.508	8	0.71	0.65
2012	315	0.420	10	0.59	0.61
2011	317	0.762	3	0.75	0.57
2010	296	0.681	6	0.79	0.55

[数据来源: 中国科学技术信息研究所 《中国科技期刊引证报告(核心版)》2011~2016 年版]

[影响因子排名: 在材料科学类/金属材料类期刊中的排名]