ICS 77.040.30

CCS H 63

XB

中华人民共和国行业标准

XB/T XXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

稀土氧化物中杂质元素化学分析方法

辉光放电质谱法

Methods for chemical analysis of rare earth oxides

Determination of trace impurity elements contents

Glow discharge mass spectrometry

|  |
| --- |
| （预审稿） |
|  |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中华人民共和国工业和信息化部   发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国稀土标准化技术委员会归口并负责解释。

本文件起草单位：包头稀土研究院、国标（北京）检验认证有限公司、湖南稀土金属材料研究院有限责任公司、国家钨与稀土产品质量监督检验中心、北矿检测技术有限公司、中国科学院海西研究院厦门稀土材料研究所。

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

稀土氧化物中杂质元素化学分析方法

辉光放电质谱法

1 范围

本文件规定了稀土氧化物中杂质元素含量的测定方法，测定元素见表1。

本文件适用于稀土氧化物中杂质元素含量的测定。各元素测定范围见表1。

表1-1 La2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.10~50 | Sm | 147/149 | 0.50~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 151 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.50~50 | Gd | 160 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 164 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 90 | 0.05~50 | Er | 166 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.10~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1.0~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 106 | 0.10~50 | Ta | 181 | 5.0~50 |
| Ca | 44 | 0.50~50 | Ag | 107 | 0.10~50 | W | 184 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 1.0~50 | Re | 187 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 192 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 119 | 0.50~50 | Ir | 193 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.10~50 | Pt | 194 | 0.10~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.50~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 128 | 0.50~50 | Hg | 202 | 0.50~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 205 | 0.10~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 137 | 0.50~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.10~50 | La | 139 | 基体 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64 | 0.50~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.10~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 1.0~50 | Nd | 146/144 | 0.50~50 | / | / | / |

表1-2 CeO2待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.10~50 | Sm | 147/149 | 0.10~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 153 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 1.0~50 | Gd | / | / |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | / | / |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 164 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 90 | 0.05~50 | Er | 166 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.10~50 | Mo | 98 | 0.10~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.10~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1.0~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 178 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 105 | 0.50~50 | Ta | 181 | 5.0~50 |
| Ca | 44 | 0.50~50 | Ag | 109 | 0.50~50 | W | 182 | 0.10~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 112 | 1.0~50 | Re | 187 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 192 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.50~50 | Ir | 193 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 123 | 0.50~50 | Pt | 194 | 0.50~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.50~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 128 | 0.50~50 | Hg | 202 | 1.0~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 205 | 0.50~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 137 | 0.50~50 | Pb | 208 | 0.10~50 |
| Cu | 63 | 0.50~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.10~50 |
| Zn | 64 | 0.50~50 | Ce | 140 | 基体 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.50~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 1.0~50 | Nd | 146/144 | 0.10~50 | / | / | / |

表1-3 Pr6O11待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.10~50 | As | 75 | 0.10~50 | Sm | 152 | 0.10~50 |
| Be | 9 | 0.10~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 153 | 0.050~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 1.0~50 | Gd | 156 | 0.50~50 |
| F | 19 | 0.10~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | / | / |
| Na | 23 | 0.10~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 163 | 0.10~50 |
| Mg | 24 | 0.10~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 90 | 0.05~50 | Er | 166 | 0.10~50 |
| Si | 28 | 0.10~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.50~50 | Mo | 98 | 0.50~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.50~50 | Ru | 102 | 0.10~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1.0~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 1.0~50 | Pd | 105 | 0.50~50 | Ta | / | / |
| Ca | 44 | 1.0~50 | Ag | 109 | 0.50~50 | W | 184 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 5.0~50 | Re | 187 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 192 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 119 | 1.0~50 | Ir | 193 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.10~50 | Sb | 121 | 0.50~50 | Pt | 194 | 0.50~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.50~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 128 | 0.50~50 | Hg | 202 | 1.0~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 205 | 0.50~50 |
| Ni | 58 | 0.10~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.50~50 |
| Cu | 63 | 0.50~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.50~50 |
| Zn | 64 | 0.50~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.50~50 | Pr | 141 | 基体 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 1.0~50 | Nd | 146/144 | 0.50~50 | / | / | / |

表1-4 Nd2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.10~50 | As | 75 | 0.50~50 | Sm | 152 | 0.10~50 |
| Be | 9 | 0.10~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 153 | 0.10~50 |
| B | 11 | 0.10~50 | Se | 82 | 1.0~50 | Gd | 156 | 0.50~50 |
| F | 19 | 0.10~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | / | / |
| Na | 23 | 0.10~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | / | / |
| Mg | 24 | 0.10~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | / | / |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 90 | 0.05~50 | Er | 170 | 0.10~50 |
| Si | 28 | 0.10~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.50~50 | Mo | 98 | 0.50~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.50~50 | Ru | 102 | 0.10~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1.0~50 | Rh | 103 | 0.10~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 106 | 0.50~50 | Ta | 181 | 5.0~50 |
| Ca | 44 | 1.0~50 | Ag | 107 | 0.50~50 | W | / | / |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 5.0~50 | Re | / | / |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 192 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0. 50~50 | Ir | 193 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.10~50 | Sb | 123 | 0.50~50 | Pt | 194 | 0.50~50 |
| Mn | 55 | 0.10~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.50~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 128 | 0.50~50 | Hg | 202 | 1.0~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.50~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 137 | 0.50~50 | Pb | 208 | 0.50~50 |
| Cu | 63 | 0.50~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.50~50 |
| Zn | 64/66 | 0.50~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.50~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 70 | 1.0~50 | Nd | 144 | 基体 | / | / | / |

表1-5 Sm2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.10~50 | Sm | 152 | 基体 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 151 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.50~50 | Gd | 158 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | / | / |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | / | / |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 90 | 0.05~50 | Er | / | / |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | / | / |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 98 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 0.50~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 106 | 0.10~50 | Ta | 181 | 5.0~50 |
| Ca | 44 | 0.50~50 | Ag | 107 | 0.10~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 1.0~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 192 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 119 | 0.50~50 | Ir | 193 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.10~50 | Sb | 121 | 0.10~50 | Pt | 195 | 0.10~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.50~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.10~50 | Hg | 202 | 0.50~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.10~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 137 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.10~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64 | 0.10~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.10~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 70 | 0.50~50 | Nd | 143 | 0.10~50 | / | / | / |

表1-6 Eu2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.10~50 | As | 75 | 0.50~50 | Sm | 149 | 0.50~50 |
| Be | 9 | 0.10~50 | Br | 79 | 0.10~50 | Eu | 145 | 基体 |
| B | 11 | 0.10~50 | Se | 82 | 5.0~50 | Gd | 157 | 0.50~50 |
| F | 19 | 0.10~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.50~50 |
| Na | 23 | 0.10~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161 | 0.50~50 |
| Mg | 24 | 0.10~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166 | 0.10~50 |
| Si | 28 | 0.10~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | / | / |
| P | 31 | 0.50~50 | Mo | 98 | 0.50~50 | Yb | 174 | 0.50~50 |
| S | 32 | 0.50~50 | Ru | 101 | 0.50~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 1.0~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 179 | 0.50~50 |
| Cl | 35 | 0.50~50 | Pd | 106 | 0.50~50 | Ta | 181 | 5.0~50 |
| Ca | 44 | 0.50~50 | Ag | 107 | 0.50~50 | W | 184 | 0.50~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 5.0~50 | Re | 185 | 0.50~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 192 | 0.10~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 119 | 1.0~50 | Ir | 191 | 0.50~50 |
| Cr | 52 | 0.50~50 | Sb | 121 | 0.50~50 | Pt | 195 | 0.50~50 |
| Mn | 55 | 0.10~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 1.0~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.50~50 | Hg | 202 | 5.0~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.50~50 |
| Ni | 58 | 0.10~50 | Ba | 137 | 0.50~50 | Pb | 208 | 0.50~50 |
| Cu | 63 | 0.50~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.50~50 |
| Zn | 64/66 | 0.50~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.50~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 5.0~50 | Nd | 144 | 0.50~50 | / | / | / |

表1-7 Gd2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.50~50 | Sm | 147 | 0.10~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 153 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.50~50 | Gd | 158 | 基体 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 164 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.20~50 | Yb | / | / |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | / | / |
| K | 39 | 1.0~50 | Rh | 103 | 0.10~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 1.0~50 |
| Ca | 44 | 0.50~50 | Ag | 107 | 0.10~50 | W | 184 | 0.10~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 1.0~50 | Re | 187 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 192 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 119 | 0.50~50 | Ir | 193 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.10~50 | Sb | 121 | 0.10~50 | Pt | 195 | 0.10~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.50~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.50~50 | Hg | 202 | 0.50~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 205 | 0.10~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 137 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.50~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64 | 0.50~50 | Ce | 142 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.10~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 74 | 0.50~50 | Nd | 142 | 0.05~50 | / | / | / |

表1-8 Tb4O7待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.05~50 | Sm | 147 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 151 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.50~50 | Gd | 157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 基体 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 90 | 0.05~50 | Er | 166 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.10~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 101 | 0.05~50 | Lu | / | / |
| K | 39 | 1.0~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 178 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 105 | 0.10~50 | Ta | 181 | 1.0~50 |
| Ca | 44 | 0.50~50 | Ag | 109 | 0.10~50 | W | 184 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 1.0~50 | Re | 187 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 190 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 119 | 0.50~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.10~50 | Pt | 194 | 0.10~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.50~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 128 | 0.50~50 | Hg | 202 | 0.50~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 205 | 0.10~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 137 | 0.10~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 65 | 0.10~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64 | 0.10~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.10~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.50~50 | Nd | 146 | 0.05~50 | / | / | / |

表1-9 Dy2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.05~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 145 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.05~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 164 | 基体 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 171/173 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 0.05~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | / | / |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 0.05~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.05~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 205 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.05~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.05~50 | Nd | 143/145 | 0.05~50 | / | / | / |

表1-10 Ho2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.05~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 145 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.05~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 基体 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 0.05~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 180 | 0.05~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 184 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.05~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 205 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.05~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.05~50 | Nd | 143/145 | 0.05~50 | / | / | / |

表1-11 Er2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.05~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 145 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.05~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166 | 基体 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 0.05~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 0.05~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | / | / |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.05~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 205 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.05~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.05~50 | Nd | 143/145 | 0.05~50 | / | / | / |

表1-12 Tm2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.05~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 145 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.05~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 基体 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 0.05~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 0.05~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | / | / |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.05~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.05~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.05~50 | Nd | 143/145 | 0.05~50 | / | / | / |

表1-13 Yb2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.05~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 145 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.05~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 基体 |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 0.05~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 0.05~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | / | / |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | / | / |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.05~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.05~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.05~50 | Nd | 143/145 | 0.05~50 | / | / | / |

表1-14 Lu2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.05~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 145 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.05~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 基体 |
| K | 39 | 0.05~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 0.05~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | / | / |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.05~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.05~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.05~50 | Nd | 143/145 | 0.05~50 | / | / | / |

表1-15 Y2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.05~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 145 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.05~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 85 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 基体 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 0.05~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 108 | 0.05~50 | Ta | 181 | 0.05~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 109 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 0.05~50 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.05~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 63 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.05~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.05~50 | Nd | 143/145 | 0.05~50 | / | / | / |

表1-16 Sc2O3待测元素同位素及测定范围

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g | 元素 | 同位素 | 测定范围/μg/g |
| Li | 7 | 0.05~50 | As | 75 | 0.05~50 | Sm | 147/149 | 0.05~50 |
| Be | 9 | 0.05~50 | Br | 79 | 0.05~50 | Eu | 145 | 0.05~50 |
| B | 11 | 0.05~50 | Se | 82 | 0.05~50 | Gd | 155/157 | 0.05~50 |
| F | 19 | 0.05~50 | Rb | 87 | 0.05~50 | Tb | 159 | 0.05~50 |
| Na | 23 | 0.05~50 | Sr | 88 | 0.05~50 | Dy | 161/163 | 0.05~50 |
| Mg | 24 | 0.05~50 | Y | 89 | 0.05~50 | Ho | 165 | 0.05~50 |
| Al | 27 | 0.05~50 | Zr | 91 | 0.05~50 | Er | 166/167 | 0.05~50 |
| Si | 28 | 0.05~50 | Nb | 93 | 0.05~50 | Tm | 169 | 0.05~50 |
| P | 31 | 0.05~50 | Mo | 95 | 0.05~50 | Yb | 174 | 0.05~50 |
| S | 32 | 0.05~50 | Ru | 102 | 0.05~50 | Lu | 175 | 0.05~50 |
| K | 39 | 0.05~50 | Rh | 103 | 0.05~50 | Hf | 177 | 0.05~50 |
| Cl | 35 | 0.05~50 | Pd | 106 | 0.05~50 | Ta | 181 | 0.05~50 |
| Ca | 44 | 0.05~50 | Ag | 107 | 0.05~50 | W | 182 | 0.05~50 |
| Sc | 45 | 基体 | Cd | 111 | 0.05~50 | Re | 185 | 0.05~50 |
| Ti | 48 | 0.05~50 | In | 115 | 0.05~50 | Os | 189 | 0.05~50 |
| V | 51 | 0.05~50 | Sn | 118 | 0.05~50 | Ir | 191 | 0.05~50 |
| Cr | 52 | 0.05~50 | Sb | 121 | 0.05~50 | Pt | 195 | 0.05~50 |
| Mn | 55 | 0.05~50 | I | 127 | 0.05~50 | Au | 197 | 0.05~50 |
| Fe | 56 | 0.05~50 | Te | 130 | 0.05~50 | Hg | 202 | 0.05~50 |
| Co | 59 | 0.05~50 | Cs | 133 | 0.05~50 | Tl | 203 | 0.05~50 |
| Ni | 58 | 0.05~50 | Ba | 138 | 0.05~50 | Pb | 208 | 0.05~50 |
| Cu | 65 | 0.05~50 | La | 139 | 0.05~50 | Bi | 209 | 0.05~50 |
| Zn | 64/66 | 0.05~50 | Ce | 140 | 0.05~50 | Th | 232 | 0.05~50 |
| Ga | 69 | 0.05~50 | Pr | 141 | 0.05~50 | U | 238 | 0.05~50 |
| Ge | 73 | 0.05~50 | Nd | 143/145 | 0.05~50 | / | / | / |

2规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

………

3术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1离子计数效率Ion Counting Efficiency

GDMS配备有电子倍增器和farady两个检测器，用于检测杂质和基体的信号，用Ta180/Ta181的比值作为离子计数效率，简写为ICE，从而使两个检测器的信号的产生线性关联。

3.2 相对灵敏度因子Relative Sensitive Factor

杂质与基体离子束信号的比值与真实含量之间的换算系数，简写为RSF。

4方法原理

稀土氧化物样品作为放电阴极进行辉光放电，其表面原子被等离子体中带电粒子轰击发生溅射，溅射产生的原子被离子化后，离子束通过电场加速进入质谱仪进行测定。在每一待测元素选择的同位素质量处以预设的扫描点数和积分时间对应谱峰积分，所得面积为谱峰强度。无标准样品时，计算机根据仪器软件中的“标准相对灵敏度因子”自动计算出各元素的质量分数；有标准样品时，需通过与被测试样相同的分析条件、离子源结构以及测试条件下对标准样品进行独立测定获得相对灵敏度因子，应用该相对灵敏度因子计算出各元素的质量分数。

5试验条件

5.1 试验在20 ℃~24 ℃室温下进行；

5.2相对湿度：不大于65%。

6试剂

除非另有说明，在分析中仅使用确认为MOS级及以上的试剂和去离子水电阻率≥18 MΩ·cm。

6.1 铟箔：将高纯铟（*w*In≥99.9999%)压成片状（直径约15mm，厚约0.5mm），置于优级纯硝酸中清洗约30秒，再用去离子水超声清洗30min，取出于烘箱中100℃烘干备用。

6.2 钽槽：（*wTa≥99.99%，* 2.5mm\*2.5mm\*25mm），将钽棒切出约0.5cm长的沟槽，然后置于氢氟酸中清洗约30秒，再用去离子水超声清洗30min，取出于烘箱中100℃烘干备用（测杂质In时需用Ta辅助阴极）。

6.3 稀土氧化物标准样品/质控样品：待测杂质元素的指定值在方法测定范围内，并尽量与待测样品杂质含量接近。

6.4 空白样品：比待测样品杂质含量至少低一个数量级的高纯稀土氧化物样品作为空白样品，检测仪器的背景空白。

6.5 仪器检测器及质量数校正样品：高纯钽（*w*Ta≥99.99%）。

6.6 硝酸(*ρ*1.42 g/mL)，优级纯。

6.7 氢氟酸（ρ1.14g/mL），优级纯。

6.8 无水乙醇(*ρ*0.789 g/mL)，优级纯。

6.9 液氮。

6.10高纯氩气（体积分数不低于99.9999%）。

7仪器设备

7.1 辉光放电质谱仪：质量分辨率大于3000，测定时要求115In同位素信号强度不小于2×10-10 A，峰形符合分辨率要求，配备液氮控温装置。

7.2 压片机：用于压制铟箔。

7.3 超声清洗机：用于清洗样品架、放电池、铟箔。

8样品

8.1 用铟箔做第二阴极

将适量稀土氧化物样品置于铟箔（6.1）的中间位置，摊平铺开为直径为3~4mm的圆形薄层，在样品表面盖一张称量纸，使用专用的压制工具（聚四氟乙烯棒）将样品压紧到铟箔（6.1）的表面，抖落未粘附氧化物粉末即可。

8.2 用钽槽做第二阴极

将适量稀土氧化物样品置于钽槽（6.2）内，用称量纸条压实。

9试验步骤

9.1 检测器校正：

每次换放电池后，用仪器检测器校正样品（6.5）校正仪器检测器工作效率，使ICE处于0.7~0.9之间。

9.2质量数校正：

测试过程中如有质量峰漂移，需用仪器质量数校正样品（6.5）对仪器进行质量数校正。

9.3空白试验：

当具备空白样品时，应在与试样相同的条件下测量空白样品（6.4）。

9.4 测定：

9.4.1 半定量分析

9.4.1.1 试样装入：

将8中处理好的样品迅速装载到辉光放电离子源中，开启辉光放电，尽量缩短样品清洁表面在实验室环境的暴露时间。

9.4.1.2 测量同位素

各待测元素同位素见表1。

9.4.1.3 试样预溅射

在正式采集数据前进行20 min~30 min的预溅射，去除样品表面污染；然后将辉光放电离子源溅射条件调节到表A.1中的分析条件,不同型号的仪器根据实际情况调节。

9.4.1.4样品测量

在预溅射条件下，仪器软件中的“STDRSF”用作被测元素的RSF，测定样品中痕量元素的含量。连续三次测量数据的相对标准偏差应满足表3，则应对测量数据进行确认，并计算最后3个测量数据的平均值。

9.4.2 定量分析

9.4.2.1 RSF的测定

使用稀土氧化物标准样品/质控样品（6.3）按9.4操作，在样品的同一个位置连续3次的测定数据满足表3要求时，取3次测定数据的平均值，按式（1）计算被测元素RSF：

$RSF\_{\left({X}/{RE}\right)}=\frac{w\_{（X）}×A\_{（X\_{i}）}×I\_{(RE)}}{w\_{（RE）}×A\_{(RE)}×I\_{(X\_{i})}}$………………… (1)

式中：

*RSF*（X/RE）——在特定辉光放电条件下测定RE中元素X的相对灵敏度因子；

*w*（X）——元素X的质量分数，单位为微克每克（μg/g）；

*A*（Xi）——元素X的*i*同位素丰度；

*I*（REj）——元素RE的j同位素谱峰强度，以每秒计数（cps）；

*w*（RE）——基体元素RE的质量分数定义为1.00×106，单位为微克每克（μg/g）；

*A*（REj）—— 基体元素RE的*j*同位素丰度；

*I*（Xi）——元素X的*i*同位素谱峰强度，以每秒计数（cps）。

表3 RSF测定、预溅射、等离子体稳定性试验所需的相对标准偏差

|  |  |
| --- | --- |
| 分析含量范围μg/g | 相对标准偏差% |
| 0.05~0.5 |  |
| 0.5~5 |  |
| 5~50 |  |

9.4.2.2样品测量

按9.4操作步骤测量待测样品，连续三次测量数据的相对标准偏差应满足表3，则应对测量数据进行确认，并计算最后3个测量数据的平均值，利用9.4.2.1中所得RSF，计算样品中痕量元素的含量。

10试验数据处理

被测元素的含量以质量分数*w*(X/Ga)计，按式(2)计算：

$w\_{\left({X}/{RE}\right)}=RSF\_{({X}/{RE})}×\frac{I\_{X}×A\_{RE}}{A\_{X}×I\_{RE}}×w\_{RE}$.............................(2)

式中：

*w*(X/RE)——待测元素的质量分数，单位为微克每克（µg/g）；

*RSF*(X/RE)——待测元素的相对灵敏度因子；

*I*X——待测元素的同位素谱峰强度，以每秒计数（cps）表示；

*IRE*——RE元素的同位素谱峰强度，以每秒计数（cps）表示；

*A* X——待测元素的同位素丰度；

*ARE*——RE元素的同位素丰度；

 *wRE* ——RE元素的质量分数定义为1.00×106，单位为微克每克（µg/g）；

分析结果由计算机直接给出。元素含量一般以µg/g表示，结果如小于0.1 µg/g，取小数点后一位有效

数字；如大于0.1 µg/g并小于10 µg/g，取两位有效数字，大于等于10 µg/g取整数部分有效位数。

11精密度

实验室内与实验室间在重复性条件和再现性条件下获得的两次独立测试结果的测定值，其相对标准偏差应不大于表4所列允许相对标准偏差。

表4 允许相对偏差

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 元素含量范围µg/g | 实验室内允许相对偏差% | 实验室间允许相对偏差% |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

附录A（资料性）

表A.1 辉光放电质谱仪工作条件

|  |  |
| --- | --- |
| 仪器参数 | 参数设置 |
| 辉光放电气体流量 | 0.15~0.35 SCCM |
| 辉光放电电压 | 900~1200 V |
| 辉光放电电流 | 2.0 mA |
| 典型分辨率 | 4000 |
| 离子计数效率 | >0.80 |