

王长庆 陈 维 编

常见元素 ICP—AES 光谱图 说明书

常见元素 ICP—AES

光谱图

(0.45nm/mm, 0.9nm/mm)

王长庆 陈 维 编

冶金工业出版社

(京) 新登字 036 号

内 容
提 要

《常见元素 ICP—AES 光谱图》是《稀土元素 ICP—AES 光谱图》的续集。本光谱图主要标注了 56 种常见元素, 如 Mn、Cr、V、Ti、Mg、Ca、W、Mo、Ni 等的光谱线, 同时也标出了 15 种稀土元素的部分灵敏线。光谱图是分别用倒数线色散率为 0.45nm/mm 及 0.9nm/mm 摄谱仪拍摄的, 标注元素光谱线约 2000 条, 波长范围为 230~482nm, 附有供辨认光谱线用的电弧及 ICP 光源摄制的两种铁光谱。书中还列出按波长和元素顺序排列的波长表。

《常见元素 ICP—AES 光谱图》可供工厂、冶金、机械、地质、环保、矿山、农业、化工、医疗、科研等部门或单位从事 ICP—AES 分析工作者使用, 也可供大专院校分析专业师生及发射光谱分析工作者参考。

常见元素 ICP—AES
光 谱 图

(0.45nm/mm, 0.9nm/mm)

王长庆 陈 维 编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街展览路 39 号)

1994 年 6 月 第一版

横 16 开 8.5 印张 89 千字

新华书店北京发行所发行

大兴建新印刷厂印刷

1994 年 6 月 第一次印刷

1~500 册

ISBN 7-5024-1019-8/TF·238

定价 28.00 元

自1961年里德(Reed)⁽¹⁾创造电感耦合等离子炬(ICP)以后,格林菲尔德(Greenfield)⁽²⁾及法塞尔(Fassel)⁽³⁾倡导应用ICP作为原子发射光谱分析(AES)的新光源以来,经过20年应用证明,ICP光源发射光谱分析具有检测限低、精密度好、线性范围宽、基体效应小、操作方便、制备样品简单等优点,目前已广泛应用于冶金、机械、地质、化工、环保、医药、农业等有关分析工作中,作为检测微量及痕量元素的重要手段之一。70年代以后,由于科学技术的发展,促使ICP光源的研究和应用迅速增长。在此期间,国内外生产了很多先进的ICP—AES仪器,发表的有关ICP光源论文已占AES论文⁽⁴⁾的大多数,正如博曼斯(Boumans)⁽⁵⁾所说的那样:“ICP光源的出现使发射光谱分析获得了新生”。

长期以来,我国发射光谱分析,多采用电弧或火花作为激发光源,尽管经过多年研究和试验,选择了各种最佳分析条件及各种类型缓冲剂,但对降低检测限,提高分析灵敏度及精密度收效甚小。ICP光源出现之后,由于其高频电源所产生的涡流区域温度可高达10000K以上,因此它很快成为分析稀土及非稀土元素和难熔金属的理想光源。有关用ICP—AES法分析各种物质成分及其含量已有很多报道^(6~7)。应当指出,由于ICP光源激发机构所具有的特点,它发射的离子光谱线数目多于原子线,而离子线在一般情况下,其谱线强度均比较大⁽⁸⁾,因此,用ICP光源与电弧光源所摄取的光谱差别较大。要用ICP光源摄取的铁光谱辨认电弧光源摄取的同一波段的光谱是相当困难的,因为电弧光源摄制的光谱图⁽⁹⁾多为原子线。为此,我们在ICP光谱图中附有用电弧及ICP光源摄制的两种铁的光谱图。

《常见元素ICP—AES光谱图》是《稀土元素ICP—AES光谱图》的续集。本光谱图标注了56种常见元素,如Mn、Cr、V、Ti、Mg、Ca、W、Mo、Ni、Cu、Sb等的光谱线,同时也标注了15种稀土元素的部分灵敏线。本光谱图与《稀土元素ICP—AES光谱图》主要区别在于所标注元素光谱线以常见元素为主。在分析纯稀土试样时建议使用《稀土元素ICP—AES光谱图》。本光谱图是采用倒数线色散率分别为0.45nm/mm和0.9nm/mm的摄谱仪摄制的,波长范围为230~482nm,标注元素光谱线约2000条,并列出了按元素和波长顺序排列的波长表。

在编写本光谱图过程中,承蒙北京光学仪器厂何存兴,河南冶金地质勘探公司科研所李文萱,河北燕郊普查大队中心试验室周俊治,包头稀土冶炼厂陈荣辉、刘秉文、北京有色金属研究院谭保凤、王振莹、伍星、吴海洲,北京地质研究所王彤燕等同志的大力支持与协助,使谱图研制工作得以顺利完成,在此表示衷心的感谢。

由于水平所限,光谱图中错误或缺点在所难免,望读者指正。

前言

常见元素

ICP—AES 光谱图说明 1

一、常见元素 ICP—AES 光谱图概况 3

二、制图用仪器 4

1. 摄谱仪 4

2. ICP 光源 5

三、溶液的配制 6

四、光谱线的标注 6

1. 元素光谱线的标注 6

2. 元素光谱线波长的标注 6

五、谱线强度 8

六、查阅光谱图应注意的问题 8

1. 图序的使用 8

2. 波长的单位 8

3. 波长尾数的差异 8

4. 光谱线间的制作误差 8

七、倒数线色散率为 0.45nm/mm 波长表 8

..... 8

1. 按波长排列的光谱线波长表 (表 1) 9

2. 按元素排列的光谱线波长表 (表 2) 17

八、倒数线色散率为 0.9nm/mm 波长表 25

..... 25

1. 按波长排列的光谱线波长表 (表 3) 25

2. 按元素排列的光谱线波长表 (表 4) 30

参考文献 35

常见元素 ICP—AES 光谱图说明

(0.45nm/mm, 0.9nm/mm)

一、常见元素 ICP—AES 光谱图概况

常见元素 ICP—AES 光谱图是用混酸体系,溶液进样,Ar—ICP 光源所摄取的光谱编制的。波长范围 230~482nm,包括 Ag、Al、Ar、As、Au、B、Ba、Be、Bi、C、Ca、Cd、Ce、Co、Cr、Cu、Dy、Er、Eu、Ga、Gd、Ge、Hf、Hg、Ho、I、In、Ir、K、La、Li、Lu、Mg、Mn、Mo、N、Na、Nb、Nd、Ni、O、Os、P、Pb、Pd、Pr、Pt、Rb、Re、Rh、Ru、Sb、Sc、Si、Sm、Sn、Sr、Ta、Tb、Te、Th、Ti、Tl、Tm、U、V、W、Y、Yb、Zn、Zr 共 71 种元素。标注元素光谱线近 2000 条,在每张光谱图上有三排平行光谱,如图 1 所示。

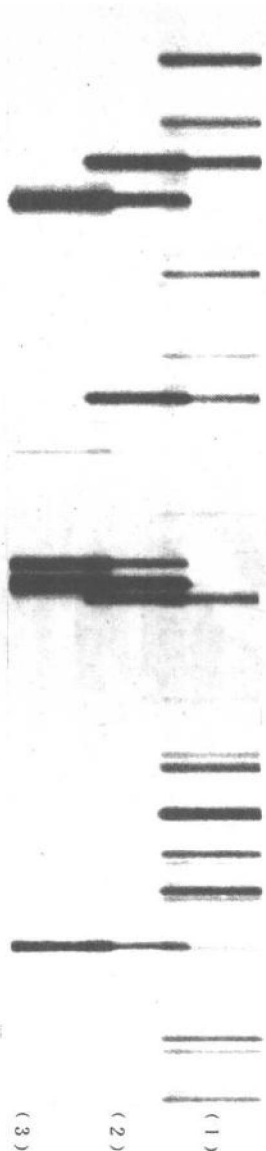


图 1 常见元素 ICP 光谱及不同光源摄制的铁光谱
(1) 常见元素 ICP 光谱; (2) 铁溶液 ICP 光谱;
(3) 铁电极光谱

从图 1 中可以看出,与常见的光谱图不同的是此图中附有电弧及 ICP 光源分别摄取的两排铁的平行光谱,这主要考虑到由于用 ICP 光源拍摄的光谱与电弧光源所拍摄的光谱差别很大,前者离子线较强,后者原子线较强,很多分析工作者目前用铁溶液 ICP 光谱辨认谱线仍有困难,为此,在光谱中给出了用这两种光源摄制的铁光谱,以供查找辨认谱线时参考。由于在拍摄电弧光谱时,没有很纯的铁电极,因此铁电弧光谱中可能出现其他元素光谱线,但元素光谱线极少而强度又很低,并不影响用铁电弧光谱辨认待测元素光谱线。

在光谱图上三排并列的光谱中,相互间有大约 3mm 的重迭部分,其主要目的在于更迅速地、方便地、准确地利用铁电弧光谱或铁溶液 ICP 光谱查找待测元素及其相应波长。

二、制图用仪器

1. 摄谱仪

选用目前国内通用的北京光学仪器厂生产的 WSP—1 平面光栅摄谱仪(见图 2)

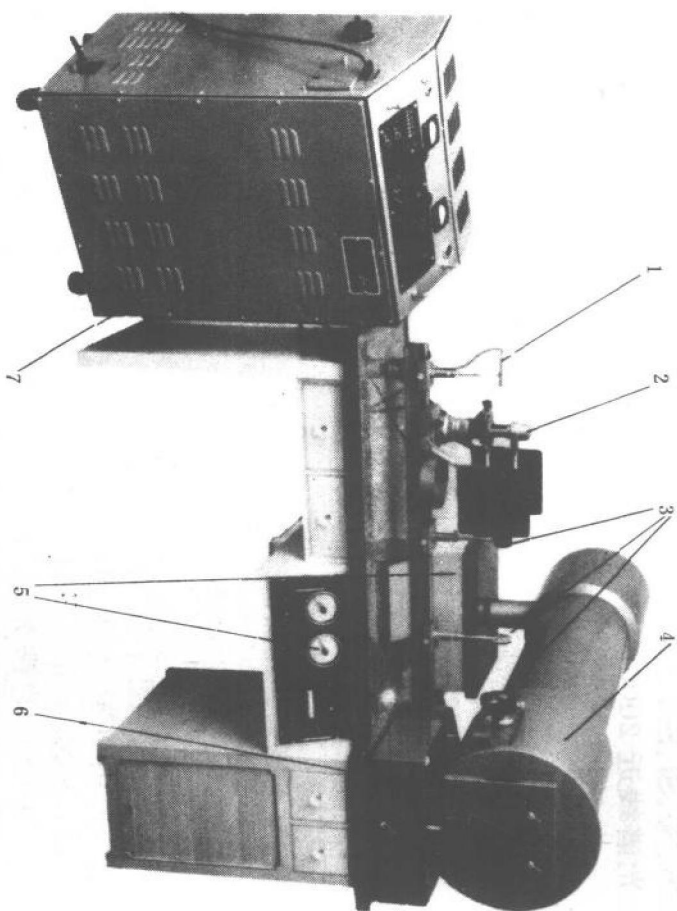


图 2 WSP—1 型平面光栅摄谱仪

1—投影灯;2—电极架;3—三透镜照明系统;
4—WSP 平面光栅摄谱仪;5—定时器及仪器支架;
6—摄谱仪底座;7—电弧光源

仪器参数:光栅刻线 1200L./mm、600L./mm,倒数线色散率 0.45nm/mm、0.9nm/mm,光栅闪耀波长 300nm,单透镜 1:1 成像系统,摄谱中心波长 270、360、440nm。

感光板:天津 I、II 型以及 UV₁、WU₂、WU₃、(VEB FILMFABIK WOLFEN, MADE IN GDR)。

2. ICP 光源

选用 WP—2L 高频等离子体平面光栅摄谱仪中 ICP—D 型高频等离子体光源(见图 3)。

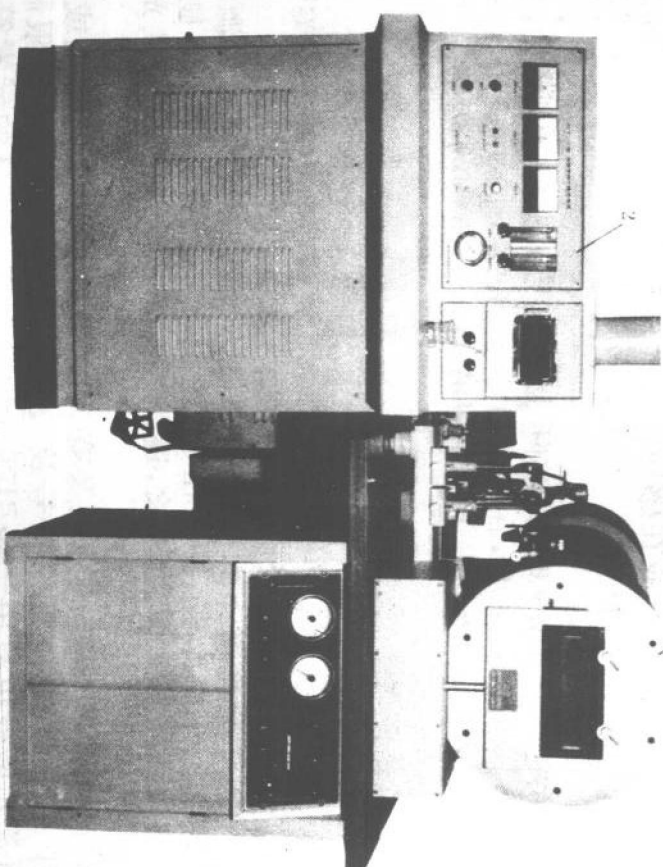


图 3 WP—2L 中的 ICP—D 型高频等离子体光源

1—WP—2L 平面光栅摄谱仪;

2—ICP—D 型高频等离子体光源

阳极电流:0.7A。
 栅极电流:110mA。
 等离子气:0.5L/min。
 冷却气:13L/min。
 载气:0.6L/min。
 提升量:3mL/min。
 压力: 15.7×10^{-4} Pa。
 观察高度:根据元素灵敏度而定,一般在感应圈至透镜中心距离17~20mm之间。

三、溶液的配制

71种元素用同一方法溶解是相当困难的,实际上也是无法实现的。因此,元素分别用碱,酸或混酸溶解后按激发灵敏度稀释成不同浓度,在不产生沉淀条件下合并备用。同一波段光谱采用重迭曝光摄谱。铁溶液 ICP 光谱用 10mg/mL FeCl₃ 溶液摄谱得到铁的光谱。

四、光谱线的标注

1. 元素光谱线的标注

为了确认谱图中各元素的光谱线,用相应元素的纯金属,氧化物或盐类配成不同浓度的溶液,摄谱后与本光谱图相应元素对照,核查确定该元素的光谱线。

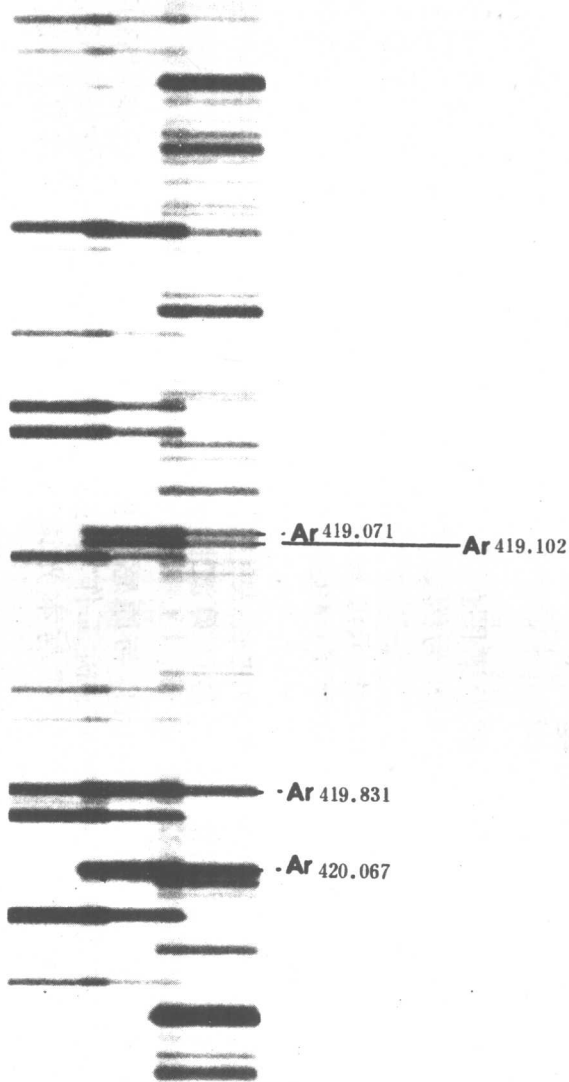
Ar 光谱线是分别用电弧或铁溶液 ICP 光谱对照后确认的,由于 ICP 光源需用大量的 Ar 气,因此在光谱图中有很多强氩光谱图出现,特别在 400~450nm 波段范围内明显可见,如图 4 所示。为了准确标注元素的光谱线和元素的波长,还需要参考有关元素及纯铁光谱图^{〔10~15〕}。

2. 元素光谱线波长的标注

元素光谱线波长的标注,是根据波长标尺及有关波长表^{〔16~20〕},经过测量或计算标出相应的波长。在一般情况下,只用一条引线标注元素符号及波长,但由于谱图尺寸的限制,在两条谱线差为 0.01nm 时,此相邻的两条光谱线也只用一条引线标出两条光谱相应的元素符号及波长。对波长相近的同一元素,只用一种元素符号标出两种相应元素的波长。

铁光谱线是根据铁的电弧与火花光谱图^{〔13〕}中铁光谱波长进行标注的。在铁光谱的下方标有间隔为 1nm 的近似波长。

图 4 光谱图中的 Ar 光谱线



五、谱线强度

由于 ICP 与电弧谱线强度差别较大,原有的波长表^[25]中列出的谱线强度已不适用于 ICP 谱线强度。文献[16]中虽然列出了 ICP 谱线强度的有关数据,但由于计算方法不同,数据也有局限性。因此本光谱图中没有标注谱线强度数据。

六、查阅光谱图应注意的问题

1. 图序的使用

本光谱图共有 89 张光谱图,每张光谱图的右上角均标注阿拉伯数字,其中 1~57 为倒数线色散率为 0.45nm/mm 的光谱图,58~89 为倒数线色散率为 0.9nm/mm 的光谱图。

2. 波长的单位

根据国家技术监督局规定,将过去表示波长单位 Å 改为 nm,故本光谱图中所有波长单位均用 nm 表示。例如:Te 4332.54 Å 表示为 Te 433.254nm。

3. 波长尾数的差异

本光谱图中元素波长是参考了多种波长表进行标注的。个别元素波长在不同的波长表中小数点后第二位或第三位有差别,这可能是计算波长引进的误差所造成的,并非作者笔误。

4. 光谱线间的制作误差

光谱图是经过暗室处理放大制成的,与原感光板比较,产生的不均匀误差对谱图尺寸而言大约为 2%。另外,使用本光谱图时,如果分析工作者在摄谱之际采用的中心波长与摄制本光谱图所用的中心波长相差较大,则谱板上的谱线与本光谱图上的同一谱线将不能重合而产生微小的位移,这是正常的。

在洗印光谱图过程中,254nm 相纸经水洗、烘干后大约延长至 257mm,增加的 3mm 在相纸上不是均匀延伸的,而表现在光谱图上可能有些地方的谱线与原玻璃谱板上同一谱线产生大小不等的相对位移,因此,用本光谱图查找待测元素谱线时应考虑上述因素所引起的波长误差。

七、倒数线色散率为 0.45nm/mm 波长表

1. 按波长排列的光谱线波长表(表1)

元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm
Be	234.861	Si	251.920	Co	266.352	Th	275.219	Lu	284.751	V	290.307	Pd	295.166	Sm	303.484
Co	235.342	Co	252.136	Cd	266.833	Lu	275.417	Ta	284.805	V	290.645	V	295.207	Zn	303.578
Sn	235.484	Ir	252.505	W	266.930	Zr	275.881	Mg	285.212	Eu	290.667	Tb	295.621	Y	303.659
Co	236.378	Si	252.851	Nb	267.193	Tb	276.953	Cr	285.567	V	290.747	Cu	296.116	Se	303.866
Co	237.862	Hg	253.651	Mn	267.258	Zn	277.098	Cr	285.676	V	290.881	Ta	296.332	Ge	303.906
Co	238.346	Co	254.293	Pt	267.714	Mn	277.565	Pd	285.772	Dy	290.932	Hf	296.894	In	303.935
Co	238.636	Nb	255.862	Cd	267.764	Mg	277.628	Sn	286.332	V	291.001	Lu	296.982	Mn	304.456
Pb	238.877	Hf	256.360	Zr	267.863	Mg	277.983	Ru	286.664	V	291.038	Ho	297.963	Ni	304.500
Lu	239.219	Zr	256.763	Ni	267.924	As	278.019	Zr	286.981	Lu	291.139	Cd	298.062	Sm	304.693
Co	239.438	Zr	256.887	Zn	268.416	Mg	279.078	Ga	287.424	Ru	291.396	Co	298.716	W	304.969
Co	240.725	Zr	257.139	V	268.795	Mn	279.481	Nb	287.694	Cd	291.469	Si	298.764	Ni	305.081
Co	241.162	Mn	257.610	Ta	269.131	Mg	279.553	Sb	287.791	Tb	291.559	Re	298.847	W	305.169
Co	241.406	Lu	257.879	Th	269.242	Lu	279.663	Ta	287.951	Ru	291.625	Bi	298.902	Pd	305.215
Nb	241.448	Co	258.032	Co	269.704	Mg	279.806	V	288.003	Tl	291.832	V	299.599	Cs	305.35
Hf	241.769	Co	258.722	Zr	270.013	Mn	279.827	Ho	288.027	Na	291.904	Ni	300.249	Zr	305.483
Sn	242.169	Mn	259.372	Au	270.089	Zn	280.006	Ho	288.097	Ru	291.977	Ni	300.362	Ti	305.674
Y	242.218	Mn	260.568	Mn	270.170	Mg	280.269	Si	288.157	V	292.038	Mo	300.445	Dy	306.262
Pt	242.466	La	261.033	Mn	270.573	La	280.934	V	288.250	V	292.402	Zr	300.549	Ho	306.419
Sn	242.949	Lu	261.340	V	270.616	Co	281.082	V	288.478	V	292.464	Zr	300.814	Ti	306.635
B	243.229	Lu	261.542	Sn	270.651	U	281.134	Rh	288.597	Zr	292.698	Sn	300.914	Cr	306.716
Pt	244.005	Mn	261.814	Mn	270.845	V	281.269	Na	288.625	Nb	292.781	Cu	301.083	Bi	306.771
In	244.776	Co	261.927	Ge	270.962	Eu	281.395	Y	288.645	Ti	292.834	Ni	301.200	Tb	306.902
Lu	245.756	Ag	262.566	In	271.026	Mo	281.615	V	288.962	Mn	292.868	V	301.616	Hf	307.000
Os	246.889	Ta	263.227	Zr	271.150	U	281.641	Yb	289.138	V	293.080	Ni	301.914	Ti	307.210
Li	247.529	Ba	263.478	V	271.568	Mn	281.877	V	289.164	Mn	293.306	Lu	302.054	Gd	307.257
Pt	247.641	P	263.818	Zr	272.261	Eu	282.077	V	289.244	Cr	293.449	Bi	302.463	Ti	307.297
C	247.857	Hf	263.871	Cr	272.651	Cu	282.436	V	289.265	U	293.645	Zr	302.618	Ti	307.522
Co	248.644	Mn	263.983	Eu	272.778	Zr	282.555	V	289.332	Bi	293.829	Gd	302.761	Zn	307.590
B	249.677	Be	265.047	Zr	273.272	Pb	283.306	Lu	289.484	Mn	293.930	Zr	302.804	Lu	307.760
B	249.773	Ge	265.117	Pt	273.396	Cr	283.563	Tb	289.746	V	294.136	Yb	303.111	Ti	307.864
Co	250.646	Ge	265.157	Zr	273.485	Sn	283.999	Bi	289.797	Sn	294.362	Tb	303.160	Re	307.885
Si	250.689	Ni	265.590	Zr	274.255	Cr	284.325	As	289.871	W	294.439	Gd	303.285	Mn	308.125
Si	251.612	Lu	265.780	Zr	274.585	Ta	284.446	Lu	290.030	Mn	294.920	Gd	303.405	Al	308.215

续表 1

元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm	元素	波长, nm
Sm	334. 729	Ti	337. 280	Hf	339. 979	Ho	342. 919	Ho	345. 570	Mn	348. 290	Co	350. 473	Tb	352. 561
Ru	334. 801	Nb	337. 409	Tb	340. 053	Y	342. 942	Ho	345. 600	Pr	348. 351	Tb	350. 509	Zr	352. 561
Nd	334. 858	Ti	337. 435	Tb	340. 086	Zr	343. 053	Nb	345. 653	Tb	348. 369	Dy	350. 545	Ir	352. 676
Ti	334. 903	Zr	337. 472	Mo	340. 231	Co	343. 157	Tb	345. 703	Ho	348. 473	V	350. 569	Cu	352. 748
Ti	334. 940	Tb	337. 503	Cd	340. 365	Cr	343. 232	Zr	345. 756	Ni	348. 588	Tb	350. 590	Co	352. 903
Gd	335. 048	Ta	337. 649	Pd	340. 458	La	343. 281	Ni	345. 847	Tb	348. 624	Co	350. 631	Co	352. 981
Al	335. 145	Cu	337. 770	Zr	340. 483	Pd	343. 344	Dy	345. 857	U	348. 728	Sm	350. 686	Cu	353. 038
Hf	335. 205	Mo	337. 846	Co	340. 512	Dy	343. 437	Mn	346. 032	Ca	348. 759	Lu	350. 739	La	353. 066
Dy	335. 262	Os	337. 867	Tb	340. 601	Tb	343. 554	Dy	346. 097	Mn	348. 868	Mo	350. 847	Dy	353. 171
Co	335. 289	Tb	337. 886	Ti	340. 720	Ho	343. 705	Ni	346. 165	Tb	348. 951	Tb	350. 917	Mn	353. 184
Ho	335. 357	Ti	338. 028	Dy	340. 780	Zr	343. 823	Gd	346. 195	Pd	348. 977	Co	350. 984	Tb	353. 270
Ti	335. 463	Ni	338. 057	Pt	340. 813	Tb	343. 857	Tm	346. 220	Tb	349. 124	Zr	351. 010	V	353. 367
Zr	335. 609	Mo	338. 255	Re	340. 867	Ta	343. 900	Co	346. 280	Gd	349. 196	Ta	351. 045	Ti	353. 386
Zr	335. 726	Ag	338. 289	Co	340. 917	Tb	343. 971	Zr	346. 301	Tb	349. 256	W	351. 173	Dy	353. 496
Ho	335. 790	Ti	338. 376	Zr	341. 024	Tb	344. 037	Sr	346. 445	Ni	349. 295	Tb	351. 264	Dy	353. 602
Gd	335. 862	Dy	338. 502	Ho	341. 065	Eu	344. 099	Co	346. 580	Tb	349. 421	Co	351. 264	Ta	353. 630
Lu	335. 956	Tb	338. 649	Co	341. 233	Pd	344. 139	Cd	346. 620	Er	349. 449	Rh	351. 310	Tm	353. 657
Ti	336. 121	Os	338. 783	Co	341. 263	Mn	344. 198	Tb	346. 803	Ho	349. 477	Rb	351. 388	Tb	353. 711
Gd	336. 224	Zr	338. 829	Tb	341. 376	Co	344. 364	W	346. 840	Cd	349. 534	Ni	351. 505	Tm	353. 791
Tm	336. 261	Cd	338. 885	Ni	341. 476	W	344. 460	Co	346. 970	Hf	349. 592	Ho	351. 558	Dy	353. 850
Co	336. 425	Hg	339. 006	Ho	341. 646	Sm	344. 562	Ga	347. 034	Y	349. 608	Nb	351. 619	Mg	353. 886
Tb	336. 493	Nb	339. 063	Co	341. 716	Er	344. 636	Zr	347. 112	Mn	349. 753	Pd	351. 694	Ru	353. 936
Mo	336. 530	Dy	339. 113	Sm	341. 813	Cr	344. 701	Er	347. 171	Nb	349. 781	Os	351. 729	Tl	353. 978
Sm	336. 566	Zr	339. 197	V	341. 851	Y	344. 881	Ni	347. 254	Rh	349. 873	Co	351. 834	Tb	354. 024
Cr	336. 718	Ni	339. 299	Yb	341. 961	Co	344. 917	Tb	347. 282	Ru	349. 894	Ni	351. 976	W	354. 073
Ti	336. 805	Dy	339. 358	Ba	342. 033	Co	344. 944	Co	347. 402	Mo	349. 907	Tb	352. 079	Tb	354. 175
Sc	336. 884	Pt	339. 461	Pd	342. 124	Dy	344. 989	Ho	347. 425	Nb	350. 010	Eu	352. 109	Dy	354. 233
Ni	336. 957	Eu	339. 517	Ho	342. 164	Rh	345. 028	Dy	347. 707	Ti	350. 034	Dy	352. 286	Ag	354. 261
Os	337. 058	Ho	339. 613	Gd	342. 246	Co	345. 231	Nb	347. 909	Ni	350. 085	Sm	352. 311	Tb	354. 323
Ho	337. 086	Lu	339. 707	Th	342. 399	Pb	345. 30	Zr	347. 939	Ce	350. 145	Tb	352. 366	Tb	354. 386
Ti	337. 145	Tb	339. 835	Tm	342. 508	Co	345. 350	Nb	348. 021	Co	350. 227	Dy	352. 403	Dy	354. 421
Sc	337. 215	Ho	339. 898	Nb	342. 542	Yb	345. 407	Er	348. 044	Tb	350. 404	Ni	352. 454	Tb	354. 436
Tb	337. 266	Zr	339. 934	Ho	342. 813	Dy	345. 432	Pd	348. 115	Dy	350. 452	U	352. 514	Ho	354. 597

