

稀有元素礦物及其化學 分析法概論

郭 承 基

中國科學院地質研究所編輯

中國科學院出版

511
14

希有元素礦物及其化學分析法概論

郭 承 基

中國科學院地質研究所編輯

中 國 科 學 院 出 版

1954 年 10 月

希有元素礦物及其化學分析法概論

原 著 者	郭 承 基
編 輯 者	中國科學院地質研究所
出 版 者	中 國 科 學 院 北 京 (7) 文 律 街 5 號
印 刷 者	北 京 市 印 刷 二 廠 修 麟 閣 路
發 行 者	新 華 書 店

(書) 54019	1954 年 10 月 第 一 版
(自然) 005	1954 年 10 月 第 一 次 印 刷
(京) 0001—2,080	開本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$
字數: 129,000 字	印張: $6 \frac{16}{25}$

定價: 15.000 元

前 言

稀有元素在地殼內的存在量，就其大部分來說，雖屬很少，但是在工業上有非常重要的價值與廣泛的用途。尤其在最近十餘年來，隨着原子能研究的開展，不僅在學術上起了重大的影響，同時對於工業方面也正發生着劃時代的變動。

蘇聯在這方面的輝煌成就，更為大規模的改造自然開闢了寬廣的道路。現在我國正進行着大規模的經濟建設，無疑地隨着日益增長的工業要求，稀有金屬的用途與用量，勢將很快地增加。所以稀有元素礦物的勘探與研究，將是我們迫切任務之一。

這本小冊子所涉及的問題，在某些方面不能說已經足夠滿足我們現在的要求，只不過是供野外工作的同志及室內分析的同志們以一般性的參考，至於比較突出的個別問題，作者希望與同志們一起，隨着今後工作上的需要繼續加以探討。因為稀有元素的礦量計算與礦床成因的研究，都需要有正確的分析資料為根據，同時稀有元素礦物的鑑定與研究，除需要充分的化學知識外，更需要有礦物方面的知識。所以在這本小冊子中，除概括地介紹了一些比較可靠的分析方法及分析方式外，同時也重點地記入了一部分與稀有元素礦物的有關材料。但因限於篇幅，難免有顧此失彼的地方。希望同志們加以批評與指正，以便在今後予以適當的修正與補充。

本稿的完成，曾經何作霖先生及張文佑先生的鼓勵與教正；余皓先生及梁樹權先生提供了許多寶貴的意見；張人柄同志幫助整理，謹此一併致謝。

中國科學院地質研究所 郭承基

1953. 7. 6.

目 錄

前 言

一、 稀有元素

(一) 稀有元素在地殼內的存在量	(1)
(二) 稀有元素的發現	(5)
(三) 稀有元素的用途	(7)
(四) 稀有金屬的熔融點	(8)
(五) 稀有元素的地球化學的分類	(9)
(六) 稀有元素的晶出期	(15)

二、 稀有元素礦物

(一) 含希臘金屬礦物	(17)
(二) 含鉍礦物	(21)
(三) 希土類元素礦物	(24)
(四) 鈳鉍酸鹽礦物	(55)
(五) 含釷礦物	(61)
(六) 放射性元素礦物	(64)
(七) 其他的稀有元素礦物	(75)
1. 含鐳礦物	(75)
2. 含鐳、錒及釷的礦物	(76)
3. 含鈾、釷及鉛的礦物	(77)
4. 含錒及鐳的礦物	(79)
5. 含鐳礦物	(80)
6. 含鐳礦物	(80)

7. 含鉍礦物	(81)
(八) 礦物的年齡	(82)
三. 稀有元素礦物的化學分析法	
(一) 稀有元素礦物的定性分析	(85)
1. 礦物的分解	(85)
2. 稀有元素的分屬法	(85)
(1) 酸屬元素的定性分析	
(2) 鈾、鈹、釷、鈾及錯等的定性分析	
(3) 鈾及稀土類元素的定性分析	
(4) 稀鹼金屬的定性分析	
(5) 礦物中酸根的定性分析	
(二) 稀有元素礦物的定量分析	(94)
1. 分解試藥的選定	(94)
2. 稀有元素的分類	(95)
3. 稀鹼金屬的分析	(96)
(1) 鋰的定量	
(2) 鉀及銣的定量	
4. 鈹的分析	(100)
(1) Oxine 法	
(2) 單寧法	
5. 稀土類元素及鈾的分析	(100)
(1) 鈾的分離定量	
(2) 釷的分離定量	
(3) 鈾族元素與釷族元素的分離	
(4) 鈾的分離及定量	
(5) 錯及鈹與鈾的分離定量	

6. 鈦、鋯及鉛的分析	(103)
(1) 鈦的分離定量	
(2) 鋯與鉛的分離定量	
7. 錒的分析	(104)
(1) 鹼土金屬與其他元素的分離	
(2) 錒、銀與鈾的分離	
(3) 錒與銀的分離定量	
8. 銻、鉍、鎢及鉬的分析	(105)
(1) 銻、鉍及鎢與其他酸屬元素的分離	
(2) 銻、鉍與鎢的分離	
(3) 銻、鉍與鈦、鋯的分離	
(4) 銻與鉍的分離定量	
(5) 鎢與其他酸屬元素的分離及其定量	
(6) 鉍與鎢的分離	
(7) 鉬的定量	
9. 鈾的定量	(109)
10. 放射性元素的分析	(110)
(1) 岩石及礦物中的鐳之定量	
(2) 微量鈾的定量	
(3) 礦物中 MsTh_1 的含量	
(4) 鈾的分析	
(5) 附放射性元素礦物中鉛的定量法	
11. 鉑屬元素的分析	(128)
(1) 鉑屬元素的定性分析	
(2) 鉑屬元素的特有反應	

(5) 鉍屬元素的分離定量	
12. 鎳的分析	(131)
(1) 鎳的檢出	
(2) 鎳的定量	
13. 硒及碲的分析	(132)
(1) 硒的特有反應	
(2) 碲的特有反應	
(5) 硒與碲的分離定量	
14. 鎳、銅及鉍的分析	(132)
(1) 鎳的分析	
(2) 銅的分析	
(5) 鉍的分析	
15. 鎳的分析	(134)
附錄 1 沉澱的燒灼溫度	(136)
附錄 2 岩石中放射能的含量	(139)
附錄 3 稀有元素礦物的分析方式	(140)
參考文獻	(154)

一. 稀有元素

(一) 稀有元素在地殼內的存在量

現在所知的元素 100 種中，約有三分之二為稀有元素。表 1 中所列諸元素之附有 * 號者，皆屬稀有元素（其中原子序數由 92 以上者屬錒族元素，除鈾外，它則尚未於自然界中發現）。

表 1

族 週期	I A B	II A B	III A B	IV A B	V A B	VI A B	VII A B	VIII			O
1	H 1										He* 2
2	Li* 3	Be* 4	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9				Ne* 10
3	Na 11	Mg 12	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17				Ar* 18
4	K 19	Ca 20	Sc* 21	Ti* 22	V* 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	
	Cu 29	Zn 30	Ga* 31	Ge* 32	As 33	Se* 34	Br* 35				Kr* 36
5	Rb* 37	Sr* 38	Y* 39	Zr* 40	Nb* 41	Mo* 42	Tc* 43	Ru* 44	Rh* 45	Pd* 46	
	Ag 47	Cd 48	In* 49	Sn 50	Sb 51	Te* 52	I 53				Xe* 54
6	Cs* 55	Ba 56	57-71*	Hf* 72	Ta* 73	W* 74	Re* 75	Os* 76	Ir* 77	Pt* 78	
	Au 79	Hg 80	Tl* 81	Pb 82	Bi 83	Po* 84	At* 85				Bn* 86
7	Fr* 87	Ra* 88	Ac* 89	Th* 90	Pa* 91	U* 92	Np* 93	Pu* 94	Am* 95	Cm* 96	
								Bk* 97	Cf* 98	Am* 99	Ct* 100

以上諸元素在岩石圈（地下約 16 公里）、水圈及氣圈的存在量（重

量百分比) 尙無精確的資料, 而首由克拉克 (F. W. Clarke, 1922) 提出, 後經蘇聯地質學家及地球化學家費爾斯曼及費納洛多夫二同志修正的諸元素之重量百分比及原子百分比有如表 2 所示:

表 2

原子序數	元 素	克拉克及華盛頓 (1922)	費爾斯曼 (1933~1939)	費納洛多夫 (1949)	
		重量百分比	重量百分比	重量百分比	原子百分比
1	H	0.88	1.00	0.15	3.0
2	He	—	1×10^{-6}	—	—
3	Li	0.004	5×10^{-3}	6.5×10^{-3}	0.019
4	Be	0.001	4×10^{-4}	6×10^{-4}	1.2×10^{-5}
5	B	0.001	5×10^{-3}	3×10^{-4}	6×10^{-4}
6	C	0.087	0.55	0.10	0.15
7	N	0.05	0.04	0.01	0.025
8	O	49.52	49.13	47.2	58.0
9	F	0.027	0.08	0.027	0.028
10	Ne	—	5×10^{-7}	—	—
11	Na	2.64	2.40	2.64	2.4
12	Mg	1.94	2.55	2.10	2.0
13	Al	7.51	7.45	8.80	5.6
14	Si	25.75	26.00	27.6	20.0
15	P	0.12	0.12	0.08	0.05
16	S	0.048	0.10	0.05	0.03
17	Cl	0.19	0.20	0.045	0.026
18	Ar	—	4×10^{-4}	—	—
19	K	2.40	2.55	2.60	1.4
20	Ca	3.39	3.25	5.6	2.0
21	Sc	$n \times 10^{-5}$	6×10^{-4}	6×10^{-4}	3×10^{-4}
22	Ti	0.58	0.61	0.6	0.25
23	V	0.016	0.02	0.015	0.006
24	Cr	0.033	0.03	0.02	0.008
25	Mn	0.08	0.10	0.09	0.032
26	Fe	4.70	4.20	5.10	2.0

原子序數	元 素	克拉克及華盛頓 (1922)	安爾斯曼 (1933~1939)	費納洛多夫 (1949)	
		重量百分比	重量百分比	重量百分比	原子百分比
27	Co	0.01	2×10^{-3}	0.003	0.0015
28	Ni	0.018	0.02	0.008	0.0032
29	Cu	0.01	0.01	0.01	0.0036
30	Zn	0.004	0.02	0.005	0.0015
31	Ga	$n \times 10^{-9}$	1×10^{-4}	1.5×10^{-3}	4×10^{-4}
32	Ge	$n \times 10^{-9}$	4×10^{-4}	7×10^{-4}	2×10^{-4}
33	As	$n \times 10^{-4}$	5×10^{-4}	5×10^{-4}	1.5×10^{-4}
34	Se	$n \times 10^{-6}$	8×10^{-5}	6×10^{-5}	1.5×10^{-5}
35	Br	$n \times 10^{-4}$	1×10^{-3}	1.6×10^{-4}	4×10^{-5}
36	Kr	--	2×10^{-8}	--	--
57	Rb	$n \times 10^{-3}$	8×10^{-3}	0.03	0.007
58	Sr	0.017	0.035	0.04	0.01
39	Y	--	5×10^{-3}	0.0028	6×10^{-4}
40	Zr	0.025	0.025	0.02	0.004
41	Nb	--	3.2×10^{-5}	0.001	2×10^{-4}
42	Mo	$n \times 10^{-4}$	1×10^{-3}	3×10^{-4}	6×10^{-5}
43	Tc	--	1×10^{-7}	--	--
44	Ru	$n \times 10^{-9}$	5×10^{-6}	5×10^{-7}	1×10^{-7}
45	Rh	$n \times 10^{-9}$	1×10^{-6}	1×10^{-7}	1.7×10^{-8}
46	Pd	$n \times 10^{-9}$	5×10^{-6}	1×10^{-6}	1.6×10^{-7}
47	Ag	$n \times 10^{-6}$	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1.6×10^{-6}
48	Cd	$n \times 10^{-5}$	5×10^{-4}	5×10^{-5}	7.6×10^{-6}
49	In	$n \times 10^{-9}$	1×10^{-5}	1×10^{-5}	1.5×10^{-6}
50	Sn	$n \times 10^{-4}$	8×10^{-3}	4×10^{-3}	7×10^{-4}
51	Sb	$n \times 10^{-5}$	5×10^{-5}	4×10^{-5}	5×10^{-6}
52	Te	$n \times 10^{-7}$	1×10^{-6}	1×10^{-6}	4.3×10^{-7}
53	I	$n \times 10^{-5}$	1×10^{-4}	3×10^{-5}	4×10^{-6}
54	Xe	--	5×10^{-9}	--	--
55	Cs	$n \times 10^{-7}$	1×10^{-3}	7×10^{-4}	9×10^{-5}
56	Ba	0.047	0.05	0.05	0.0057
57	La	--	6.5×10^{-4}	1.8×10^{-3}	2.5×10^{-4}

續 前

原子序數	元 素	克拉克及華盛頓 (1922)	勞爾斯曼 (1935~1939)	登納洛多夫 (1949)	
		重量百分比	重量百分比	重量百分比	原子百分比
58	Ce	—	2.9×10^{-3}	4.5×10^{-3}	6×10^{-4}
59	Pr	—	4.5×10^{-4}	7×10^{-4}	9×10^{-5}
60	Nd	—	1.7×10^{-3}	2.5×10^{-3}	3.5×10^{-4}
61	Pm	—	?	—	—
62	Sm	—	7×10^{-4}	7×10^{-4}	9×10^{-5}
63	Eu	—	2×10^{-5}	1.2×10^{-4}	1.8×10^{-5}
64	Gd	—	7.5×10^{-4}	1×10^{-3}	1×10^{-4}
65	Th	—	1×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1×10^{-5}
66	Dy	—	7.5×10^{-4}	4.5×10^{-4}	5×10^{-5}
67	Ho	—	1×10^{-4}	1.5×10^{-4}	1.5×10^{-5}
68	Er	—	6.5×10^{-4}	4×10^{-4}	5×10^{-5}
69	Tu	—	1×10^{-4}	8×10^{-5}	8×10^{-6}
70	Yb	—	8×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-5}
71	Lu	—	1.7×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-5}
72	Hf	5×10^{-3}	4×10^{-4}	3.2×10^{-4}	5×10^{-5}
73	Ta	—	2.4×10^{-5}	2×10^{-4}	1.8×10^{-5}
74	W	5×10^{-3}	7×10^{-3}	1×10^{-4}	1×10^{-5}
75	Re	—	1×10^{-7}	1×10^{-7}	8.5×10^{-9}
76	Os	$n \times 10^{-8}$	5×10^{-6}	5×10^{-6}	5×10^{-7}
77	Ir	$n \times 10^{-8}$	1×10^{-6}	1×10^{-7}	8.5×10^{-9}
78	Pt	$n \times 10^{-7}$	2×10^{-5}	5×10^{-7}	5×10^{-8}
79	Au	$n \times 10^{-7}$	5×10^{-7}	5×10^{-7}	5×10^{-8}
80	Hg	$n \times 10^{-5}$	5×10^{-6}	7×10^{-6}	7×10^{-7}
81	Tl	$n \times 10^{-8}$	1×10^{-5}	5×10^{-4}	3×10^{-5}
82	Pb	2×10^{-3}	1.6×10^{-3}	1.6×10^{-3}	1.6×10^{-4}
83	Bi	$n \times 10^{-6}$	1×10^{-5}	2×10^{-5}	1.7×10^{-6}
84	Po	—	5×10^{-5}	2×10^{-14}	2×10^{-15}
85	At	—	?	—	—
86	Rn	—	?	7×10^{-16}	5×10^{-17}
87	Fr	—	?	—	—
88	Ra	$n \times 10^{-10}$	2×10^{-10}	1×10^{-10}	9×10^{-12}
89	Ac	—	—	6×10^{-14}	5×10^{-15}
90	Th	2×10^{-3}	1×10^{-3}	8×10^{-4}	7×10^{-5}
91	Pa	—	7×10^{-11}	1×10^{-10}	8×10^{-12}
92	U	8×10^{-4}	4×10^{-4}	5×10^{-4}	2×10^{-5}

一般所謂之稀有元素中如 Rn, Po, Ra, Ir, Rh 等，其存在量確屬稀少，而如 Ti, Rb, Zr, V, Li, Ce 等則較普通元素的 Sn, Zn 等為尤多，故構成稀有元素的條件，不僅是其存在量的問題，同時更須由其他的條件而決定，如：(i) 元素的產狀，(ii) 開採冶金的難易等。

即某元素在岩石圈內的存在量雖然甚大，設其成分散狀態，未能形成足以開採的礦床，或其雖形成大礦床，而因開採或冶金不易，以致未能供一般之應用者，則每每亦稱其為稀有元素。然稀有元素與普通元素並無本質上的區別，在科學日漸發達的現在，其差別將隨開採冶金之進步，逐漸減少，且稀有元素中，其一部分對某些國家說，為稀有元素，而對其他國家說則不一定為稀有元素，如錫之在我國即不得謂之為稀有元素。茲將稀有元素之發現者，用途及熔融點表示如下，以供參考。

(二) 稀有元素的發現

表 3

元 素	發 現 年 代	發 現 者
鉑 Pt	1748	R. Watson
鉬 Mo	1778	C. W. Scheele
鎢 W	1781	C. W. Scheele
鈾 U	1789	M. H. Klaproth
鈦 Ti	1789	W. Gregor
銻 Zr	1789	M. H. Klaproth
釷 Y (Yt)	1794	J. Gadolin
碲 Te	1798	M. H. Klaproth
鈹 Be	1798	L. N. Vauquelin
鈮 Nb (Cb)	1801	C. Hatchett
鈳 V	1801	M. Del Rio
鎢 Ta	1802	A. G. Ekeberg
鈳 Pd	1805	W. H. Wollaston
鈳 Ce	1805	M. H. Klaproth
銻 Ir	1804	S. Tennant
銻 Os	1804	S. Tennant

元 素	發 現 年 代	發 現 者
銻 Rh	1804	W. H. Wollaston
硒 Se	1817	J. J. Berzelius
鋰 Li	1817	J. A. Arfvedson
釷 Th	1828	J. J. Berzelius
鐳 La	1839	C. G. Mosander
鐳 Er	1843	C. G. Mosander
鈳 Ru	1844	C. Claus
銻 Cs	1860	R. Bunsen
鉀 Kb	1861	R. Bunsen & G. R. Kirchhoff
銻 Tl	1861	W. Crookes
銅 In	1863	F. Reich & T. Richter
氦 He	1868	Janssen
鐳 Ga	1875	L. de Biosbandran
鐳 Yb	1878	J. C. G. de Marignac
釷 Sm (Sa)	1879	A. von Welsbach
鈹 Ho	1879	P. T. Cleve
錒 Tu (Tm)	1879	P. T. Cleve
鈳 Sc	1879	L. F. Nilson
釷 Gd	1880	J. C. G. Marignac
釷 Nd	1885	A. von Welsbach
釷 Pr	1885	A. von Welsbach
鎢 Ge	1886	C. A. Winkler
鐳 Dy	1886	L. de Biosbandran
氫 A	1895	Rayleigh & Ramsay
鐳 Ra	1898	P. Curie & M. S. Curie
釷 Po	1898	M. S. Curie
氦 Ne	1898	Ramsay & Travers
氬 Kr	1898	Ramsay & Travers
氙 Xe	1898	Ramsay & Travers
銻 Ac	1899	A. Debierne
鐳 Eu	1901	E. Demarcay
氡 Rn	1902	Rutherford & Allen

元 素	發 現 年 代	發 現 者
鐳 Lu	1907	G. Urbain
鉛 Hf	1923	Hevesy & Coster
鐳 Re	1925	Noddack & Tacke
錒 Ma (Tc)	1925	Noddack & Tacke
鉍 Il (Pm)	1926	B. S. Hopkins

(三) 希有元素的用途

鐳 (Li): 光學玻璃, 蓄電池, 乾燥材料, 醫、化學藥品, 輕合金熔接的融劑。

鉀 (Kb): 化學藥品, 光電池, 接觸劑, 光電管感光面。

鉀 (Cs): 化學藥品, 光電池, 接觸劑, 光電管。

鈹 (Be): 機器之製造, 航空器材, 合金 (其合金之用途殊廣), X-線裝置之附屬品, 高級青銅, 原子破壞器, 橙色螢光體。

鈣 (Sr): 醫藥品, 精糖之製造, 螢光體, 赤色火焰劑, 輕合金。

希 土 類

元 素: 白熱燈, 弧光燈, 探照燈, 發火合金, 輕合金, 冶金用還原劑, 光學玻璃, 陶磁器, 玻璃, 觸媒, 醫藥品, 媒染劑, 蓄電池, 油脂防腐劑, 學術研究用。

鎳 (Ga): 合金, 高溫用溫度計。

鎳 (In): 機器, 螢光玻璃, 高速軸受合金。

鎳 (Tl): 殺菌劑, 殺蟲劑, 合金, 高折光率光學玻璃, 紅外線透過材料。

鈦 (Ti): 鍊鋼, 電器材料, 顏料, 陶器, 水泥, 航空器材, 金屬材料, 電介體, 白色顏料, 特殊鋼, 鐵合金, 人造寶石。

鎳 (Zr): 電燈絲, 耐火材料, 鍊鋼, 水泥, 合金鋼, 特殊陶磁器。

鈦 (Th): 白熱絲, 液體燃料合成之接觸劑, X-線管之電極, 醫藥品, 其原子能將為主要的動力源, 熱陰極材料。

鎢 (W): 醫藥品、無線通訊器材、合金、光學玻璃、接觸劑、溫度調節器、紅外線透過材料、超高频用整流器。

鈦 (Ti): 鍊鋼 (高速度鋼)、化學工業上的接觸劑、染料、鐵合金。

鉭 (Ta): 白熱電燈絲、合金、電氣材料 (特殊真空管)、耐蝕材料、接觸劑、人造絲紡絲口。

鈮 (Nb): 鍊鋼、耐蝕材料。

鎢 (W): 鍊鋼、合金、真空管、顏料。

鈾 (U): 原子能動力來源、醫療、陶器、染料、螢光玻璃、接觸劑。

鉑 (Pt): 化學用品、接觸劑、化學藥品、高溫計、合金、電極、耐蝕合金、熱電偶。

銱 (Ir): 耐蝕合金。

(四) 希有金屬的熔點

表 4

元 素	熔點 (°C)	元 素	熔點 (°C)
W	3400	U	1689
Ta	3027	Ti	1788
Hf	2227	Th	1842
Os	2500	Pt	1773
Mo	2622	V	1800
Ir	2454	Pd	1555
Rh	1966	Y	1490
Ru	2500	Sm	1300 ~ 1400
Nb	1950	Be	1278
Zr	1857	Sc	1200
Ka	700	In	156.4
Ge	958.5	Rb	39
Pr	940	Ga	29.78
Nd	840	Cs	28.45
La	812	Rn	-71
Ce	815	Xe	-111.5
Te	452	Kr	-157
Tl	302.5	A	-189.4
Se	217.4	Ne	-249
Li	179	He	-272

一般所謂稀有元素在地殼內的存在量，如表 5 所示：

表 5

克拉克數在 1 以上的元素	無
克拉克數在 1 以下， 10^{-1} 以上的元素	Ti
克拉克數在 10^{-1} 以下， 10^{-2} 以上的元素	Zr, V, Sr
克拉克數在 10^{-2} 以下， 10^{-3} 以上的元素	Y, Li, Rh, Ce, Th, Nd, Be, Ga, Mo
克拉克數在 10^{-3} 以下， 10^{-4} 以上的元素	La, Sm, Gd, Dy, Yb, Cs, Hf, Ar, Th, Tu, Ge, Er, Pr, A, Lu, Sc, In, U, W, Ho
克拉克數在 10^{-4} 以下， 10^{-5} 以上的元素	Cs, Nb, Ta, Eu, Se, In, Tl
克拉克數在 10^{-5} 以下， 10^{-6} 以上的元素	Pd, Pt, Ru, Os, Po, Rh, Ir, Te, He
克拉克數在 10^{-6} 以下， 10^{-7} 以上的元素	Ne, Re, Ma
克拉克數在 10^{-7} 以下， 10^{-8} 以上的元素	Kr
克拉克數在 10^{-8} 以下， 10^{-9} 以上的元素	Xe
克拉克數在 10^{-9} 以下的元素	Ra, Pa, Ac, Rn

(五) 稀有元素的地球化學的分類——與普通元素同，可分為以下四類：

- (1) 親鐵元素：Pt, Ir, Os(?), (Pd), Ru, Rh, Mo, (W);
- (2) 親銅元素：Se, Te, Ge, Pd, (Pt), Ga, In, Tl;