

Accurate determination of Ti stable isotopes in Ti-rich minerals using nanosecond LA-MC-ICP-MS

Hong Liu, Zhaochu Hu*, Liyuan Qing, Jingliang Guo, Wen Zhang, Xiuhong Liao,
Tao Luo, Ming Li, Zaicong Wang

State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources,
China University of Geosciences, Wuhan, 430075, China

Supplementary Information A, including Fig. S1†, Fig. S2†, Fig. S3† and Fig. S4†:

Fig. S1†:

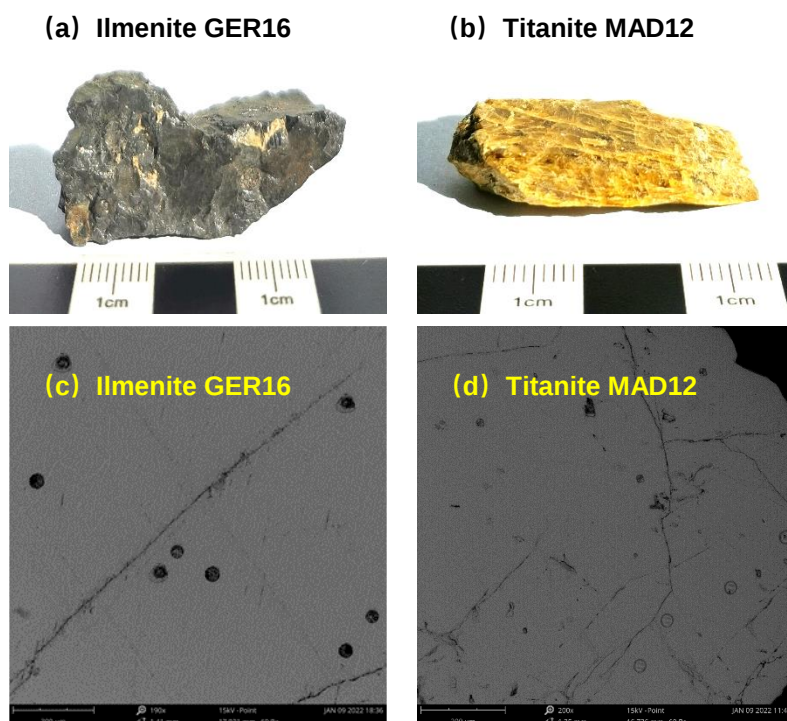


Fig. S1 Hand-specimen photographs and typical BSE images of ilmenite GER16 and titanite MAD12.

Fig. S2†:

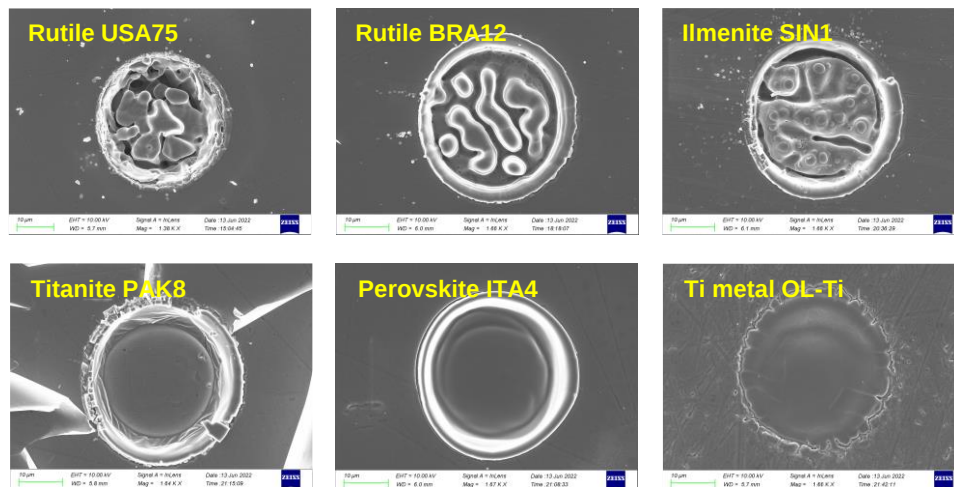


Fig. S2 Scanning electron microscope images of ablation craters produced by ns-LA system. The LA parameters are the ablation frequency of 1 Hz, the energy density of 3.5 J cm^{-2} , and the spot size of $24 \text{ }\mu\text{m}$.

Fig. S3†:

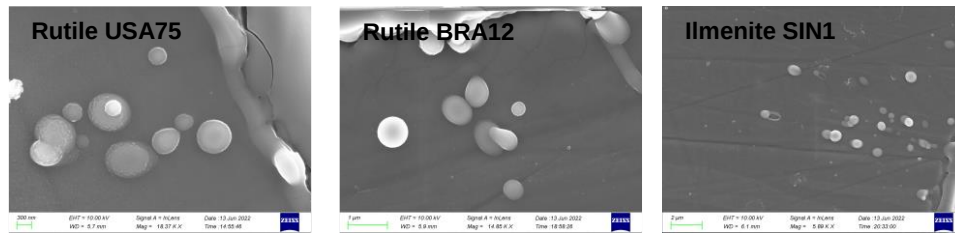


Fig. S3 Scanning electron microscope images of ablation particles produced by ns-LA system. The LA parameters are the ablation frequency of 1 Hz, the energy density of 3.5 J cm^{-2} , and the spot size of 24 μm .

Fig. S4†:

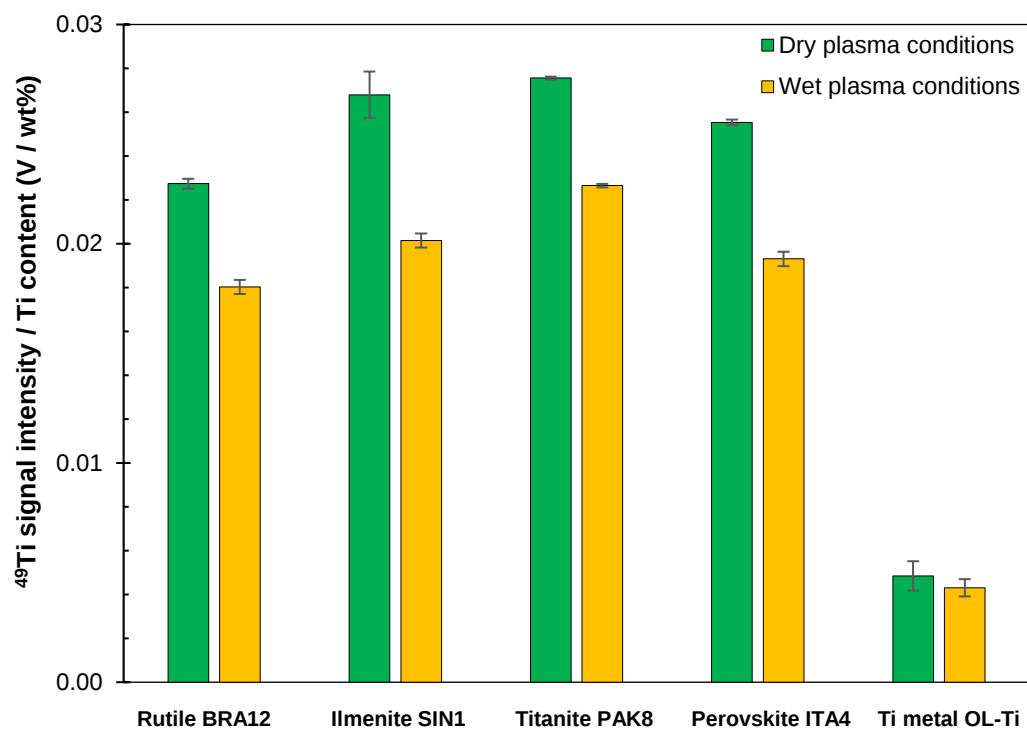


Fig. S4 Typical ^{49}Ti signal intensities obtained by ns-LA-MC-ICP-MS under both dry and wet plasma conditions for Ti-rich minerals and Ti metal. The LA parameters are the ablation frequency of 1 Hz, the energy density of 3.5 J cm^{-2} , and the spot size of $24 \text{ }\mu\text{m}$. Range bars represent the standard deviations of three analysis.

Supplementary Information B, including Table. S1†:

Table. S1†:

Table S1 Major and trace element contents of ilmenite GER16 and titanite MAD12
obtained by LA-ICP-MS (D.L. = determination limit)

Sample ID	Li	Be	B	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Sc	TiO ₂	V	Cr	MnO	FeO
	μg g ⁻¹	μg g ⁻¹	μg g ⁻¹	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	μg g ⁻¹	wt%	μg g ⁻¹	μg g ⁻¹	wt%	wt%
GER16	2.14	<D.L.	2.77	<D.L.	5.32	0.02	0.27	0.02	<D.L.	<D.L.	50.4	49.9	1849	2156	0.26	42.3
GER16	1.39	0.22	2.64	<D.L.	5.06	0.05	0.31	0.01	<D.L.	0.02	53.1	48.6	2013	2551	0.26	43.7
GER16	<D.L.	0.22	0.03	<D.L.	5.08	0.02	0.34	0.02	<D.L.	0.03	56.5	48.6	2072	2416	0.26	43.6
GER16	0.39	0.46	2.47	<D.L.	5.00	0.02	0.33	<D.L.	<D.L.	0.01	48.3	47.8	2241	2830	0.25	44.5
GER16	1.03	<D.L.	0.00	<D.L.	5.17	0.02	0.28	0.02	<D.L.	<D.L.	47.5	48.6	2067	2543	0.25	43.6
GER16	1.32	0.22	2.24	<D.L.	5.21	0.02	0.26	0.02	<D.L.	<D.L.	47.6	48.0	2177	2719	0.25	44.2
GER16	0.91	<D.L.	3.14	<D.L.	5.24	0.02	0.25	0.02	<D.L.	<D.L.	48.6	48.4	2248	2713	0.25	43.7
GER16	1.50	<D.L.	0.89	<D.L.	5.23	0.02	0.33	0.01	<D.L.	<D.L.	49.3	48.3	2124	2615	0.26	43.8
GER16	2.02	0.25	0.37	<D.L.	5.09	0.02	0.28	0.00	<D.L.	0.02	49.1	47.8	2241	2864	0.25	44.4
GER16	1.45	0.28	2.17	<D.L.	5.34	0.02	0.31	0.01	<D.L.	<D.L.	55.4	49.3	2116	2674	0.26	42.7
GER16	1.11	0.04	15.5	<D.L.	3.95	0.01	0.72	0.01	<D.L.	<D.L.	44.3	43.3	1888	2466	0.21	49.6
GER16	0.84	0.05	16.7	<D.L.	3.99	0.27	0.71	0.01	<D.L.	<D.L.	47.5	44.4	1775	2405	0.23	48.3
GER16	1.04	<D.L.	16.8	<D.L.	3.93	0.02	0.70	0.01	<D.L.	0.01	46.2	44.6	1776	2320	0.22	48.5
GER16	0.70	0.05	18.9	<D.L.	3.91	0.01	0.72	0.01	<D.L.	<D.L.	43.0	43.9	1998	2553	0.21	49.1
GER16	0.96	<D.L.	16.9	<D.L.	3.93	0.01	0.71	0.01	<D.L.	<D.L.	44.8	44.8	1923	2434	0.22	48.2
GER16	0.95	<D.L.	14.7	<D.L.	4.06	0.01	0.76	0.01	<D.L.	<D.L.	43.5	44.9	1938	2409	0.23	47.9
GER16	0.72	<D.L.	16.9	<D.L.	3.90	0.01	0.78	0.01	<D.L.	0.01	42.9	44.5	2038	2566	0.23	48.4
GER16	1.20	<D.L.	22.5	<D.L.	4.36	0.33	0.80	0.01	<D.L.	<D.L.	50.1	45.2	1928	2674	0.23	46.9
GER16	1.00	0.15	22.6	<D.L.	4.27	0.01	0.78	0.01	<D.L.	0.01	45.1	45.0	1908	2409	0.23	47.6
GER16	0.70	<D.L.	20.4	<D.L.	4.06	0.01	0.76	0.01	<D.L.	<D.L.	42.8	43.5	1945	2573	0.22	49.2
GER16	0.88	0.05	18.8	<D.L.	4.05	0.17	0.76	0.01	<D.L.	<D.L.	44.6	44.3	1791	2338	0.23	48.4
GER16	0.93	<D.L.	18.3	<D.L.	3.88	0.01	0.76	0.01	<D.L.	<D.L.	45.8	43.4	1884	2446	0.22	49.5
GER16	0.85	<D.L.	0.99	<D.L.	4.66	0.06	0.33	0.01	<D.L.	<D.L.	48.9	47.3	1814	2288	0.25	45.4
GER16	1.27	<D.L.	2.59	<D.L.	4.51	0.04	0.28	0.01	<D.L.	<D.L.	49.3	47.1	1841	2359	0.25	45.8
GER16	1.30	<D.L.	7.13	<D.L.	4.99	0.01	0.21	0.01	<D.L.	<D.L.	40.2	51.2	1389	1294	0.26	41.6
GER16	1.49	0.33	7.04	<D.L.	4.60	0.02	0.34	0.01	<D.L.	<D.L.	49.4	49.1	1589	1895	0.26	43.8
GER16	1.21	<D.L.	2.98	<D.L.	4.16	0.02	0.25	0.01	<D.L.	<D.L.	43.0	46.2	1955	2458	0.25	47.0
GER16	0.99	<D.L.	1.78	<D.L.	4.83	0.13	0.25	0.01	<D.L.	0.07	50.5	46.3	1978	2586	0.23	46.1
GER16	0.90	<D.L.	6.62	<D.L.	5.03	0.01	0.35	0.01	<D.L.	<D.L.	48.1	49.4	1639	1960	0.25	43.1
GER16	1.42	<D.L.	2.96	<D.L.	4.96	0.46	0.19	0.01	<D.L.	<D.L.	47.0	49.1	1727	2285	0.26	43.1
GER16	0.87	<D.L.	7.85	<D.L.	4.91	0.02	0.32	0.01	<D.L.	<D.L.	43.2	48.2	1911	2268	0.25	44.3

GER16	0.59	0.17	1.91	<D.L.	4.69	0.04	0.21	0.00	<D.L.	0.01	49.3	46.5	2154	2818	0.24	46.1
GER16	0.56	<D.L.	5.18	<D.L.	4.87	0.02	0.25	0.01	<D.L.	0.03	47.5	49.6	1928	2299	0.24	43.0
GER16	1.61	<D.L.	4.80	<D.L.	4.99	0.01	0.32	0.01	<D.L.	<D.L.	47.5	50.3	1775	2123	0.24	42.3
GER16	1.57	<D.L.	2.10	<D.L.	4.96	0.06	0.29	0.01	<D.L.	0.01	47.3	49.5	1878	2261	0.24	43.0
GER16	1.30	<D.L.	2.87	<D.L.	4.73	0.03	0.25	0.01	<D.L.	<D.L.	44.1	47.5	2174	2770	0.22	45.2
GER16	1.23	<D.L.	3.19	<D.L.	4.92	0.02	0.28	0.02	<D.L.	0.03	45.4	48.9	1964	2433	0.23	43.6
GER16	0.95	<D.L.	2.97	<D.L.	4.65	0.03	0.25	0.01	<D.L.	<D.L.	44.3	49.9	1842	2175	0.25	43.0
GER16	1.05	<D.L.	4.66	<D.L.	4.47	0.02	0.28	0.01	<D.L.	0.08	45.4	48.7	1915	2297	0.25	44.2
GER16	1.30	<D.L.	1.28	<D.L.	4.69	0.02	0.20	<D.L.	<D.L.	<D.L.	42.7	49.6	1950	2342	0.25	43.3
GER16	0.47	<D.L.	2.85	<D.L.	4.41	0.02	0.29	0.01	<D.L.	<D.L.	42.6	48.0	2038	2554	0.25	44.9
GER16	0.80	<D.L.	4.72	<D.L.	4.30	0.02	0.24	0.01	<D.L.	0.02	44.1	48.3	2133	2524	0.25	44.8
Average	1.10		7.44		4.63	0.05	0.41				46.8	47.3	1941	2420	0.24	45.3
2SD	0.75		14.36		0.93	0.18	0.43				6.88	4.33	355	557	0.03	4.60
RSD (%)	34		97		10	178	52				7	4.6	9	12	6	5
N	41															
MAD12	1.21	<D.L.	6.74	0.13	0.02	0.88	28.9	0.09	0.02	29.3	5.24	38.9	993	25.2	0.03	0.78
MAD12	0.22	0.07	1.03	0.08	0.02	0.90	28.6	0.10	0.00	29.6	4.94	39.0	987	28.5	0.03	0.75
MAD12	2.09	<D.L.	24.2	0.28	0.02	0.90	28.9	0.09	0.06	29.5	4.42	38.5	985	29.8	0.03	0.75
MAD12	7.72	<D.L.	34.5	0.40	0.02	0.90	28.7	0.09	0.15	29.5	3.94	38.6	982	26.8	0.03	0.76
MAD12	0.34	<D.L.	4.04	0.08	0.02	0.89	29.1	0.09	<D.L.	29.8	3.73	38.5	990	27.6	0.03	0.70
MAD12	0.00	<D.L.	1.90	0.08	0.02	0.85	29.0	0.13	<D.L.	29.8	3.68	38.2	1028	18.7	0.03	0.73
MAD12	0.53	<D.L.	2.87	0.09	0.02	0.87	29.3	0.17	<D.L.	29.6	4.47	38.0	1061	24.8	0.03	0.75
MAD12	0.52	0.23	3.33	0.09	0.02	0.88	29.2	0.17	<D.L.	29.6	4.38	38.1	1053	18.2	0.03	0.75
MAD12	0.52	0.12	2.71	0.09	0.02	0.88	29.1	0.16	<D.L.	29.8	4.20	38.0	1048	17.7	0.03	0.74
MAD12	0.45	0.12	2.96	0.09	0.02	0.88	29.1	0.17	<D.L.	29.6	4.31	38.1	1053	20.8	0.03	0.73
MAD12	0.01	<D.L.	2.37	0.09	0.02	0.88	29.4	0.16	<D.L.	29.5	4.50	38.0	1057	24.0	0.03	0.74
MAD12	0.57	<D.L.	4.95	0.10	0.02	0.88	29.5	0.17	0.01	29.6	4.43	37.8	1056	20.0	0.03	0.74
MAD12	0.28	<D.L.	1.64	0.08	0.02	0.91	29.4	0.09	<D.L.	29.7	3.95	38.1	1052	26.7	0.03	0.73
MAD12	0.27	<D.L.	2.97	0.08	0.02	0.87	29.4	0.09	<D.L.	29.8	4.08	38.2	1028	27.7	0.03	0.70
MAD12	0.18	0.11	1.46	0.08	0.02	0.91	29.4	0.09	<D.L.	29.7	4.17	38.1	1067	28.0	0.03	0.76
Average	0.99		6.51	0.12	0.02	0.89	29.1	0.12		29.6	4.29	38.3	1029	24.3	0.03	0.74
2SD	3.73		18.5	0.18	0.003	0.03	0.56	0.07		0.25	0.81	0.67	62.4	8.02	0.004	0.04
RSD (%)	188		142	73	8	2	1	29		0.4	9	0.9	3	16	6	3
N	15															

Sample ID	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn
	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹
GER16	110	324	1.01	68.6	1.59	2.03	0.33	0.09	0.10	0.01	6.6	29.5	0.39	<D.L.	<D.L.	2.26
GER16	102	326	0.40	78.0	4.76	2.98	<D.L.	<D.L.	0.13	0.05	14.9	29.9	0.23	<D.L.	0.50	2.95
GER16	101	305	0.81	81.7	2.02	2.44	<D.L.	0.20	0.12	0.06	25.0	26.3	0.22	<D.L.	0.37	2.06
GER16	97	286	0.79	73.3	2.74	4.19	2.03	<D.L.	0.13	0.02	18.7	28.8	0.70	<D.L.	0.00	2.94
GER16	104	302	0.95	72.1	3.18	4.77	0.42	<D.L.	0.17	0.03	10.1	28.9	0.40	<D.L.	0.38	2.03
GER16	101	317	0.87	60.3	3.16	3.84	3.73	0.11	0.04	0.05	20.2	28.2	0.56	<D.L.	0.25	2.11
GER16	94	308	0.54	61.1	1.92	3.64	4.50	<D.L.	0.12	0.01	26.8	29.6	0.09	0.05	<D.L.	3.12
GER16	94	299	0.58	65.8	2.03	4.87	<D.L.	0.13	0.09	0.03	15.2	28.9	0.66	0.04	<D.L.	2.26
GER16	89	290	0.86	60.5	3.21	3.67	0.28	<D.L.	0.11	0.07	396	29.1	0.44	<D.L.	0.20	2.20
GER16	98	312	1.37	68.6	3.47	1.82	<D.L.	0.21	0.12	0.09	157	29.6	0.34	<D.L.	0.62	2.45
GER16	120	326	0.35	33.7	<D.L.	<D.L.	0.41	<D.L.	0.09	0.02	10.9	26.8	0.55	0.01	<D.L.	9.72
GER16	125	351	0.00	141	<D.L.	0.06	0.19	0.03	0.09	0.06	137	27.8	0.43	<D.L.	0.06	10.5
GER16	114	333	0.47	40.7	<D.L.	0.89	0.11	0.03	0.08	0.03	19.6	27.9	0.30	0.02	0.00	10.2
GER16	110	338	0.40	40.9	<D.L.	0.16	0.27	0.04	0.11	0.01	4.8	27.4	0.33	0.01	0.13	10.2
GER16	117	352	0.13	38.3	<D.L.	0.20	0.17	<D.L.	0.10	0.03	24.3	28.5	0.57	<D.L.	<D.L.	10.7
GER16	121	359	0.21	38.8	<D.L.	1.24	0.42	0.03	0.10	0.05	177	28.5	0.68	0.02	<D.L.	10.8
GER16	122	347	0.24	43.0	<D.L.	0.03	0.50	<D.L.	0.08	0.02	24.3	28.5	0.66	0.01	<D.L.	10.9
GER16	137	364	0.22	159	<D.L.	0.42	0.34	0.02	0.12	0.03	32.6	29.0	0.33	0.02	<D.L.	9.91
GER16	131	356	0.01	36.3	<D.L.	<D.L.	0.03	<D.L.	0.09	0.03	4.1	28.5	0.47	<D.L.	0.19	10.1
GER16	126	361	0.10	36.4	<D.L.	0.55	0.79	<D.L.	0.10	0.03	11.8	28.3	0.61	0.01	0.20	10.0
GER16	130	359	0.14	84.1	<D.L.	0.47	0.16	0.02	0.10	0.03	15.0	28.3	0.50	<D.L.	0.13	10.2
GER16	122	367	0.35	37.3	<D.L.	0.22	0.10	<D.L.	0.10	0.07	127	27.3	0.56	<D.L.	<D.L.	9.92
GER16	88	308	1.38	74.2	3.62	2.16	1.44	0.17	0.11	0.04	15.9	26.3	0.25	0.09	<D.L.	2.95
GER16	87	303	1.18	63.3	2.15	4.06	0.40	0.01	0.12	0.10	52.8	28.1	0.25	0.07	<D.L.	2.76
GER16	95	328	1.40	77.8	0.59	3.62	1.24	<D.L.	0.12	0.01	5.7	27.8	0.25	0.02	0.43	2.46
GER16	93	311	1.64	56.8	1.54	0.00	1.31	<D.L.	0.15	0.02	14.7	27.8	<D.L.	<D.L.	0.06	2.04
GER16	91	296	1.54	53.7	1.32	4.71	0.11	0.11	0.07	0.03	17.2	26.0	0.33	0.02	<D.L.	3.00
GER16	102	307	1.15	99.1	8.88	2.52	0.23	<D.L.	0.19	0.01	13.5	25.9	0.41	0.04	0.11	2.66
GER16	111	310	0.87	47.4	0.99	3.99	0.00	0.02	0.13	<D.L.	20.8	28.0	0.33	0.04	0.21	1.88
GER16	106	298	1.48	145	7.50	3.10	0.29	<D.L.	0.12	0.02	17.6	27.9	0.25	0.05	0.55	2.19
GER16	100	294	1.13	50.7	2.04	3.79	0.88	<D.L.	0.10	0.05	11.7	28.4	0.49	0.02	<D.L.	2.57
GER16	101	343	1.59	62.6	2.72	3.44	0.64	<D.L.	0.08	0.03	26.6	26.7	0.65	<D.L.	0.00	3.26
GER16	101	309	0.04	44.6	2.05	1.78	2.07	0.09	0.05	<D.L.	15.5	27.9	0.37	0.04	0.36	2.50
GER16	109	313	1.92	52.2	1.45	3.10	0.36	0.08	0.10	0.02	7.6	28.1	0.61	0.02	<D.L.	2.34
GER16	111	318	0.96	66.2	4.41	1.33	0.98	0.07	0.09	<D.L.	16.5	26.9	0.14	<D.L.	<D.L.	2.78
GER16	106	300	0.81	43.2	2.59	2.64	<D.L.	0.06	0.12	0.10	181	27.8	0.62	<D.L.	<D.L.	2.28

GER16	105	330	1.30	44.0	1.47	1.27	<D.L.	<D.L.	0.04	<D.L.	8.8	28.0	0.18	<D.L.	0.35	2.32
GER16	83	314	0.81	72.5	1.98	0.95	0.30	<D.L.	0.07	0.11	234	28.3	0.19	<D.L.	0.25	2.60
GER16	82	282	1.37	53.4	1.78	0.11	<D.L.	<D.L.	0.11	0.02	46.3	27.0	0.19	<D.L.	<D.L.	2.85
GER16	80	291	0.53	57.7	1.53	1.25	<D.L.	<D.L.	0.06	0.01	28.2	28.2	0.10	<D.L.	<D.L.	2.84
GER16	82	305	1.10	70.2	2.41	2.39	0.77	0.15	0.11	0.01	11.1	28.0	0.28	<D.L.	<D.L.	1.50
GER16	84	302	1.05	55.9	1.54	3.45	<D.L.	<D.L.	0.08	<D.L.	12.8	27.0	0.42	<D.L.	0.37	2.91
Average	104	320	0.81	64.5	2.69	2.20			0.10		48.5	28.0	0.40			4.72
2SD	29.1	47.2	1.03	55.6	3.51	3.07			0.06		155	1.92	0.35			7.05
RSD (%)	14	7	63	43	65	70			28		160	3	43			75
N																

MAD12	0.09	0.08	0.76	3.87	12.8	15.1	11.0	0.87	52.3	580	253	863	3.23	0.19	<D.L.	63.96
MAD12	0.01	0.54	1.18	1.44	12.6	14.6	11.1	0.05	50.4	581	258	822	3.61	0.13	<D.L.	63.48
MAD12	0.10	<D.L.	1.28	5.46	12.1	14.5	12.2	2.97	54.7	581	260	776	3.50	0.25	0.03	62.12
MAD12	0.21	<D.L.	1.70	13.61	11.9	13.7	14.2	6.18	68.9	616	251	695	14.5	0.22	0.09	58.97
MAD12	0.01	<D.L.	1.31	2.85	12.0	14.2	12.3	0.08	51.4	591	247	847	10.1	0.20	0.04	62.38
MAD12	0.02	0.46	0.76	2.86	13.1	12.6	16.4	0.14	59.3	785	337	1503	14.1	0.36	0.17	80.34
MAD12	0.00	<D.L.	0.59	2.16	13.7	13.7	11.1	0.01	59.8	776	366	1275	14.2	0.29	0.12	86.39
MAD12	0.03	<D.L.	0.73	2.37	13.0	15.2	11.5	0.13	58.8	778	368	1286	12.2	0.28	<D.L.	84.54
MAD12	0.17	<D.L.	0.88	2.04	12.9	14.4	12.8	0.00	59.6	778	372	1283	13.0	0.17	<D.L.	83.97
MAD12	0.04	0.07	0.91	2.06	12.2	12.9	13.2	0.00	59.2	784	365	1272	13.7	0.22	<D.L.	84.68
MAD12	0.04	0.65	0.56	2.10	13.1	14.7	12.9	0.06	59.2	776	362	1264	14.1	0.22	0.12	84.62
MAD12	0.11	0.02	0.86	3.30	13.1	14.3	11.9	0.15	60.8	775	355	1264	13.9	0.23	<D.L.	84.83
MAD12	0.00	<D.L.	0.54	1.66	10.6	11.1	11.2	0.08	50.7	607	221	761	11.6	0.22	<D.L.	53.98
MAD12	0.09	<D.L.	0.65	2.64	10.7	12.8	10.4	0.15	49.1	635	215	751	11.4	0.19	0.18	53.62
MAD12	0.18	0.29	0.96	2.15	10.4	13.1	11.8	0.03	49.9	636	229	826	12.5	0.15	0.08	55.36
Average	0.07	0.30	0.91	3.37	12.3	13.8	12.3	0.73	56.3	685	297	1033	11.0	0.22		70.88
2SD	0.13	0.47	0.63	5.80	1.96	2.15	2.91	3.26	10.8	178	122	530	7.96	0.11		25.71
RSD (%)	92	79	35	86	8	8	12	224	10	13	21	26	36	25		18
N																

Sample ID	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹	µg g ⁻¹
GER16	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	0.02	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.
GER16	<D.L.	0.04	0.07	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	0.02	0.01	0.04	0.01	<D.L.	<D.L.	0.01	0.01	0.02
GER16	<D.L.	<D.L.	0.03	0.01	0.03	<D.L.	0.03	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	0.08
GER16	0.06	<D.L.	0.14	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.05
GER16	<D.L.	<D.L.	0.07	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	0.02	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	0.02
GER16	<D.L.	0.01	0.03	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	0.02
GER16	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.03	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.03
GER16	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	0.06	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.03
GER16	<D.L.	0.03	0.04	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.07	<D.L.	0.03	0.01	0.01	<D.L.	0.14
GER16	0.17	0.05	0.08	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.03	<D.L.	0.02	<D.L.	0.03	<D.L.	0.02	0.01	0.13
GER16	0.01	<D.L.	0.11	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.
GER16	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	0.02	0.01	0.09
GER16	<D.L.	<D.L.	0.05	0.01	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	0.01	<D.L.	<D.L.	0.06
GER16	0.01	<D.L.	0.04	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	0.01	<D.L.	0.01	<D.L.	0.01	<D.L.	0.03
GER16	<D.L.	0.02	0.15	<D.L.	0.01	<D.L.	0.02	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01
GER16	0.01	<D.L.	0.07	0.01	0.01	<D.L.	0.01	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	0.02	0.01	0.07
GER16	0.06	0.02	0.07	<D.L.	0.01	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.03
GER16	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	0.04
GER16	0.02	<D.L.	0.02	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	0.02	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01
GER16	0.08	<D.L.	0.06	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01
GER16	0.06	<D.L.	0.06	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.04
GER16	0.06	<D.L.	0.03	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	0.01	<D.L.	0.01	<D.L.	0.02	<D.L.	0.02	<D.L.	0.06
GER16	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.03	<D.L.	0.01	0.02	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.
GER16	<D.L.	0.05	0.15	0.02	0.03	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	0.02	<D.L.	0.06	<D.L.	0.13
GER16	0.02	<D.L.	0.04	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.
GER16	0.07	0.01	<D.L.	0.01	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.05
GER16	0.02	<D.L.	0.12	<D.L.	0.02	<D.L.	0.03	0.03	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	0.01	0.03
GER16	0.30	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	0.11	<D.L.	0.01	<D.L.	0.03	0.01	0.08
GER16	0.06	<D.L.	0.04	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.03	<D.L.	0.02	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.
GER16	0.06	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.03	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02
GER16	0.22	0.03	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	0.01	0.01	0.01	<D.L.	0.03
GER16	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02	0.01	0.01	<D.L.	0.01	0.01	0.03
GER16	<D.L.	<D.L.	0.09	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.04	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.05
GER16	<D.L.	0.02	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	0.03	<D.L.	0.02	<D.L.	0.02
GER16	0.01	<D.L.	0.04	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	0.03	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.03
GER16	0.21	<D.L.	0.00	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.03	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	0.02	0.01	0.07

GER16	<D.L.	0.04	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.05	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02
GER16	0.08	<D.L.	<D.L.	0.01	0.05	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	0.03	0.01	0.05	0.01	0.05
GER16	0.10	<D.L.	<D.L.	0.04	0.03	<D.L.	0.03	<D.L.	<D.L.	0.05	<D.L.	0.01	0.03	<D.L.	<D.L.	0.02
GER16	0.11	<D.L.	0.05	0.01	0.07	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.
GER16	<D.L.	<D.L.	0.04	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.01	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.02
GER16	0.01	0.05	0.09	0.01	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.	0.10	<D.L.	0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.	<D.L.
Average																
2SD																
RSD (%)																
N																
MAD12	0.99	0.16	5.10	262	1227	211	946	203	54.4	162	22.6	131	22.5	60.1	7.31	43.1
MAD12	0.98	<D.L.	0.02	265	1237	212	947	205	54.9	160	23.2	132	22.9	59.8	7.61	42.7
MAD12	1.30	0.48	16.33	268	1238	204	923	201	53.0	157	22.8	132	22.6	60.3	7.73	43.1
MAD12	1.70	1.18	57.40	255	1190	194	857	195	52.1	164	23.8	141	24.2	64.5	8.27	48.3
MAD12	1.27	<D.L.	0.20	262	1192	197	865	191	50.0	157	22.8	133	23.1	62.0	8.11	45.3
MAD12	2.46	<D.L.	0.51	365	1527	253	1089	234	59.5	202	30.0	172	30.3	82.5	11.0	60.0
MAD12	1.91	0.04	0.06	361	1518	251	1091	232	59.8	197	29.4	168	30.7	80.4	10.8	61.0
MAD12	1.87	<D.L.	<D.L.	363	1523	254	1088	235	61.0	200	30.0	171	31.2	83.1	10.8	60.2
MAD12	2.02	<D.L.	0.03	364	1522	254	1092	239	60.2	201	29.9	171	30.6	82.0	10.7	60.7
MAD12	1.80	0.01	0.02	361	1518	254	1106	236	60.9	203	30.1	171	31.0	82.3	10.9	60.9
MAD12	2.00	0.06	0.06	360	1525	254	1116	236	60.9	203	29.8	172	31.1	82.5	11.0	60.0
MAD12	1.85	0.12	1.96	358	1514	254	1101	238	60.1	201	30.0	173	31.0	82.7	10.7	59.8
MAD12	1.37	<D.L.	0.03	229	1030	177	804	177	45.4	155	23.2	131	24.7	63.4	8.35	46.5
MAD12	1.39	0.02	0.03	240	1090	187	837	187	48.5	160	24.0	139	25.2	67.2	8.68	48.4
MAD12	2.23	0.03	0.21	272	1127	187	832	181	48.0	159	23.7	137	25.1	66.8	8.73	48.5
Average	1.68		5.85	306	1332	223	980	213	55.3	179	26.3	152	27.1	72.0	9.38	52.6
2SD	0.85		29.82	107	369	60	234	45.4	10.6	42.1	6.6	36.8	7.2	19.6	2.82	15.0
RSD (%)	25		255	17	14	13	12	11	10	12	13	12	13	14	15	14
N																

Sample ID	Lu μg g ⁻¹	Hf μg g ⁻¹	Ta μg g ⁻¹	W μg g ⁻¹	Bi μg g ⁻¹	Pb μg g ⁻¹	Th μg g ⁻¹	U μg g ⁻¹
GER16	<D.L.	2.80	2.30	<D.L.	0.21	0.03	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	3.07	2.38	<D.L.	0.29	0.01	<D.L.	<D.L.
GER16	0.05	2.91	2.10	0.01	0.30	0.01	0.01	<D.L.
GER16	0.01	2.53	2.22	0.05	0.47	0.03	<D.L.	<D.L.
GER16	<D.L.	2.50	2.37	<D.L.	0.12	<D.L.	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	3.78	2.28	0.06	0.14	<D.L.	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	3.76	2.13	<D.L.	0.17	0.03	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	3.21	2.35	0.02	0.19	<D.L.	0.01	<D.L.
GER16	0.04	8.96	2.49	0.05	0.32	0.02	<D.L.	<D.L.
GER16	0.05	7.31	2.49	0.04	0.37	0.02	<D.L.	<D.L.
GER16	<D.L.	3.12	2.05	0.03	<D.L.	0.32	<D.L.	0.01
GER16	0.03	5.41	2.09	0.03	<D.L.	0.15	<D.L.	<D.L.
GER16	0.02	3.39	2.10	0.02	<D.L.	0.19	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	2.41	2.04	0.01	<D.L.	0.07	<D.L.	<D.L.
GER16	<D.L.	3.01	2.14	0.05	<D.L.	0.28	<D.L.	<D.L.
GER16	0.03	6.58	2.23	0.03	<D.L.	0.19	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	3.49	2.06	0.00	<D.L.	0.34	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	3.48	2.32	0.04	<D.L.	0.15	<D.L.	<D.L.
GER16	<D.L.	3.03	2.12	0.04	0.01	0.32	<D.L.	<D.L.
GER16	<D.L.	3.10	2.07	0.03	<D.L.	0.29	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	2.92	2.03	0.02	0.01	0.15	<D.L.	0.02
GER16	0.03	5.02	2.05	0.03	<D.L.	0.10	<D.L.	<D.L.
GER16	0.02	3.19	2.36	0.02	<D.L.	0.04	<D.L.	<D.L.
GER16	0.03	3.95	2.20	0.02	<D.L.	0.03	<D.L.	<D.L.
GER16	<D.L.	2.36	2.34	<D.L.	<D.L.	0.05	<D.L.	<D.L.
GER16	0.02	3.45	2.28	0.01	0.02	0.09	<D.L.	<D.L.
GER16	<D.L.	3.00	2.18	<D.L.	0.02	0.04	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	3.05	2.18	0.01	<D.L.	0.15	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	3.79	2.16	0.05	<D.L.	0.12	<D.L.	<D.L.
GER16	0.02	4.12	2.23	0.02	<D.L.	0.08	<D.L.	<D.L.
GER16	0.03	3.47	2.38	0.02	0.01	0.05	<D.L.	<D.L.
GER16	0.03	4.30	2.34	0.01	0.01	0.08	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	3.47	2.26	0.03	0.04	0.09	<D.L.	<D.L.
GER16	<D.L.	2.75	2.13	0.01	0.02	0.11	<D.L.	<D.L.
GER16	0.01	3.66	2.30	<D.L.	<D.L.	0.10	<D.L.	<D.L.
GER16	0.03	6.74	1.97	0.01	0.01	0.10	<D.L.	<D.L.

GER16	<D.L.	3.42	2.40	0.02	0.03	0.07	<D.L.	<D.L.	
GER16	0.02	6.07	2.18	0.03	0.01	0.07	<D.L.	<D.L.	
GER16	0.01	2.81	2.19	<D.L.	0.03	0.01	<D.L.	<D.L.	
GER16	0.01	2.70	2.37	0.04	0.01	0.05	<D.L.	<D.L.	
GER16	<D.L.	3.01	2.25	0.03	<D.L.	0.04	0.02	<D.L.	
GER16	<D.L.	3.28	2.15	<D.L.	<D.L.	0.07	<D.L.	<D.L.	
Average		3.77	2.22			0.11			
2SD		2.84	0.26			0.18			
RSD (%)		38	6			86			
N									
MAD12	5.06	13.7	68.0	0.68	0.28	2.41	520	77.0	
MAD12	5.18	14.3	70.0	0.15	0.26	0.85	514	77.8	
MAD12	5.17	14.0	67.9	0.80	0.41	6.32	493	76.7	
MAD12	5.50	14.4	55.9	1.47	0.50	8.69	535	76.7	
MAD12	5.39	14.1	59.8	0.14	0.39	0.85	470	76.0	
MAD12	7.53	20.4	140	0.30	2.05	0.59	832	116	
MAD12	7.26	21.4	140	0.27	1.96	0.35	966	122	
MAD12	7.14	21.6	141	0.24	2.05	0.37	979	123	
MAD12	7.25	22.1	140	0.21	2.01	0.42	978	123	
MAD12	7.37	22.5	143	0.21	2.02	0.35	984	125	
MAD12	7.13	21.9	141	0.29	1.99	0.37	991	125	
MAD12	7.13	21.3	140	0.26	2.94	0.34	980	123	
MAD12	5.71	12.2	57.5	0.14	1.19	0.32	502	73.0	
MAD12	5.72	12.1	57.1	0.19	1.17	0.28	513	71.9	
MAD12	5.94	12.6	58.4	0.42	1.36	0.65	522	74.9	
Average		6.30	17.2	98.8	0.38	1.37	1.54	718	97.5
2SD		1.86	8.3	79.3	0.69	1.64	4.86	455	47.3
RSD (%)		15	24	40	90	60	157	32	24
N									