

钱振彭 王长庆 编
蒋韵梅 陈维华

稀土元素光栅光谱图

说明书

稀土元素 光栅光谱图

钱振彭 王长庆
蒋韵梅 陈维华
编

冶金工业出版社

随着科学技术的发展，近年来对稀土元素的研究及应用逐渐深入和广泛，对稀土元素的分析也提出了愈来愈高的要求。当用化学方法测定稀土元素时，由于稀土元素原子结构极为相似，化学性质非常相近，因此只能用来测定混合稀土的总量，或某些稀土元素的分量。目前对于大部分稀土元素的分量的测定，主要用X光荧光光谱法及发射光谱法，而后者在所能达到的检测极限方面又优于前者。因此，用发射光谱法来分析矿物中的稀土元素、稀土混合物中的稀土元素、高纯稀土中的稀土杂质以及钢或合金中稀土元素的含量，都是比较行之有效的。为了做好上述稀土元素的光谱分析工作，须有一套适用的光谱图。已出版的Restlinien II Band, Spectren der Seltenen Erden^[1]及《混合稀土元素光谱图》^[2]都是重要的参考资料，对于推动稀土元素的光谱分析工作起了很大的作用，但是，第一本书中的光谱图是纯稀土光谱图，而且未经放大，所以使用不便，而第二本书中的光谱图，虽然是混合稀土元素的光谱图，但是用棱镜光谱仪摄谱而作出的谱图。由于近年来光栅光谱仪的制造及应用迅速扩大，而且它在使用性能上比棱镜光谱仪却有更大的优越性，因为棱镜光谱仪的线色散率随波长变化很大，即使是大型的光谱仪，如苏联制造的KCA—1型或KC—55型，在可见光波段的线色散率亦急剧变小，这样不利于稀土元素的分析。分析稀土元素常用的谱线在可见光波段的又比较多，因此使稀土分析工作受到很大的限制。光栅光谱仪的线色散率随波长变化甚微，并且如选用毫米刻痕条数较多的光栅，或摄取高谱级的光谱可获得更大的线色率。由于光栅光谱仪具有上述优点，所以目前我国广泛使用光栅光谱仪作稀土元素的分析。为满足工作上的需要，我们在北京有色金属研究院、北京钢铁学院和北京稀土研究所的支持下，编制了这套二米平面光栅混合稀土光谱图。由于作者水平所限，存在的缺点及错误之处，祈指正。

一九八〇年一月

一、此光谱图共72张，包括由2300~5000 Å 波段内的16个稀土元素 (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y, Sc) 的2600余条稀土元素谱线，由于仪器有均匀排列的线色散率，并有较高的分辨率，许多谱线在此仪器上均能分开。因此，此光谱图上比已出版过的光谱图⁽¹⁾多标出了1500余条谱线，这是此光谱图的一个特点。

二、此光谱图是用东德制的PGS - 2 平面光栅摄谱仪 ($f = 2075$ 毫米，光栅刻痕为每毫米1300条) 摄制的。虽然PGS - 2 型平面光栅摄谱仪的线色散率对某些稀土元素的分析工作仍感不足，但在目前国内用的比较普遍，所以此光谱图适用性较强，它也可用于国产WSP - 1 型光栅摄谱仪。

三、为了保证标出的谱线位置正确起见，制作混合稀土光谱图时，不采用在铁光谱上画线的方法，而用纯稀土元素以适当比例配成稀土混合物作为试样，以直流电弧激发摄谱，然后移动哈特曼光栏，再摄纯铁的电弧光谱，使混合稀土元素的光谱与纯铁光谱紧密衔接而又无相对位移制成光谱图的原谱片，然后经过翻板制成原谱片的正片，在映谱仪上放大制成光谱图。为了消除氰带影响，试样在氧氦混合气氛中激发。

四、为确定光谱图上每一条谱线的波长，参考了国内外已有资料外⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾，还配制了16个纯稀土元素的试样，与混合稀土元素相同的摄谱条件摄一系列纯稀土光谱，经反复查校、核实，从而确定它们的波长。但谱图中的波长标尺只是近似地给出稀土元素谱线波长位置。

五、波长表中的强度是根据文献⁽¹⁾的数据查出的。在光谱图中由于图纸的篇幅限制，谱线强度数值没有标出，只在波长表中列出。强度数据后面的符号分别表示为：

W ：宽线；

d ：双线。

h ：扩散线；

六、原谱片的摄谱条件

摄谱仪: 东德制的PGS - 2 二米平面光栅摄谱仪, 光栅刻痕每毫米1300条, 闪跃波长3000 Å, 一次投影。仪器倒数线色散率为3.7 Å/毫米, 狭缝10微米, 遮光板(中间光栏) 3.2 毫米, 三透镜照明系统照明狭缝。

光源: 直流电弧, 电流: 混合稀土用10安, 纯铁用 6 安。

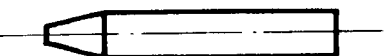
感光板: 东德制的WU₂ 型。

显影条件: A+B显影液, 18~20℃, 显影 2 分30秒。快速定影液定影。

电极: 光谱纯石墨电极 ∅ 6 毫米, 下电极为平头, 上电极为平头锥体状(见图), 顶端平面为 ∅ 2 毫米。

试样: 高纯稀土氧化物经马弗炉灼烧冷却后称重, 按下列浓度配成混合稀土溶液, 滴在用液体石蜡封闭的平头电极上, 烘干, 供摄谱用。

La ₂ O ₃	0.15 毫克/毫升	Dy ₂ O ₃	0.40 毫克/毫升
CaO ₂	0.10 毫克/毫升	Ho ₂ O ₃	0.30 毫克/毫升
Pr ₆ O ₁₁	0.40 毫克/毫升	Er ₂ O ₃	0.40 毫克/毫升
Nd ₂ O ₃	0.40 毫克/毫升	Tm ₂ O ₃	0.30 毫克/毫升
Sm ₂ O ₃	0.40 毫克/毫升	Yb ₂ O ₃	0.20 毫克/毫升
Eu ₂ O ₃	0.03 毫克/毫升	Lu ₂ O ₃	0.06 毫克/毫升
Gd ₂ O ₃	0.50 毫克/毫升	Y ₂ O ₃	0.15 毫克/毫升
Tb ₄ O ₇	0.40 毫克/毫升	Sc ₂ O ₃	0.03 毫克/毫升



上电极示意图

溶液中稀土氧化物的浓度主要根据谱线的灵敏度, 不致使某些元素出现的谱线太多或太强, 而另一些元素出现的谱线太弱或太少。

电极在自制的石英旋流气室中通氧氩混合气体激发, 以消除氦带, 氩气流量为 4 升/分, 氧气流量为 1 升/分。

稀土元素及铁在各波段摄谱条件

中心波长 (Å)	曝光时间 (秒)		光栅转角	焦距	狭缝倾角
	稀 土	铁			
2400	25.5	10	8.99	9.4	5.3
2700	25.5	10	10.12	9.4	5.3
3300	3	10	12.40	9.4	5.4
3900	3	10	14.71	9.4	5.5
4500	6.5	25.5	17.40	9.4	5.6
5100	30	30	19.39	9.4	5.7

七、制成原谱片的正片后，在东德蔡司映谱仪下将谱线放大到国产“南方”3号放大纸上，然后经显影及定影制成光谱图。

在一般情况下，相纸长度为25.4毫米时，经水洗、上光、烘干后较未水洗前增加3毫米左右，因而引起谱图与原谱片间相应谱线位置产生相对位移，给查线带来不便，为了尽量减少上述谱线相对位移，定影后经水洗的谱图采用了自然凉干的方法，这样谱线的标线可直接在不上光的谱图上标出，因而避免了一般常用的繁琐的剪贴画线方法。

光谱图中的混合稀土元素的光谱位于纯铁光谱之上，并与纯铁光谱紧密衔接，最下面为参考波长标尺，对于标出的谱线，画一直线向上引出，在这直线上标出此谱线的元素符号及波长，波长只标出小数点前二位及小数点后二位数字，小数点的前三、四位数字可由铁谱下面的参考波长标尺读出。由于稀土元素谱线甚多，标画的引出线分成长短五段，以免填入的数字挤在一起而难以辨认。根据PGS-2型的分辨率，我们观察到波长相差为0.1 Å以上的谱线，均能在谱片上清楚地分辨开，所以我们将波长差大于0.1 Å的谱线，均分别画出，而将波长相差小于0.1 Å的两条谱线合画在一根引出线上，表示它们之间互相干扰。

摄谱仪的分辨率与很多因素有关，上述规定两谱线波长差小于0.1 Å时为相互干扰，主要考虑到标注谱图方便，而不是PGS-2型平面光栅光谱仪的理论或实际分辨本领。

· 前 言	4
· 光谱图说明及参考文献	5
· 第一部分 按波长排列的稀土元素光谱线表	1
· 第二部分 按稀土元素分类排列的光谱线表	29
· 附 录 光谱图编号波长范围表	56

按波长排列的 稀土元素光谱线表

波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况
Dy 2335.58	2		Yb 2390.73	3		Eu 2454.94	2		Ce 2498.98	2	
Ho 2336.52	4		Lu 2392.18	4		Dy 2455.16	2		Eu 2499.36	3	
Er 2341.82	3		Er 2397.30	2		Lu 2459.64	2		Ho 2502.91	3	
Dy 2344.30	2		Lu 2399.14	2		Dy 2460.00	2		Tm 2507.14	3	
Er 2345.09	2		Ho 2399.55	2		Y 2460.61	3		Tm 2509.09	5	
Er 2349.25	2		Dy 2402.29	3		Dy 2461.07	1		Yb 2512.05	4	
Dy 2349.62	2		Eu 2407.49	2		Ce 2461.48	1		Ce 2513.30	3	
Dy 2352.08	2		Tm 2409.03	3		Ce 2462.97	3		Dy 2513.57	2	
Dy 2352.60	3		Dy 2410.01	3		Ce 2464.36	2		Eu 2513.79	3	
Y 2354.20	2		Y 2413.93	2		Yb 2464.50	15w/h		Eu 2515.60	1	
Dy 2356.91	3		Ce 2415.21	2		Tm 2464.94	2		Yb 2515.60	2	Si
Dy 2357.40	2		Dy 2417.73	2		Gd 2468.21	3		Dy 2517.60	2	
Er 2358.51	2		Lu 2419.21	2		Lu 2469.27	2		Ce 2518.51	3	
Dy 2362.61	2		Tm 2420.21	1		Gd 2471.61	2		La 2519.22	2	Si
Dy 2369.88	1		Tm 2421.64	2		Tm 2480.13	4		Tm 2522.16	2	
Dy 2370.26	2		Y 2422.20	4h		Dy 2480.92	2		Eu 2522.17	1	
Ho 2372.85	3		Dy 2422.75	3		Tm 2481.16	3		Ce 2532.42	1	
Dy 2373.83	2		Tm 2426.18	3		Lu 2481.72	5		Lu 2536.95	2	
Eu 2375.46	2		Er 2427.28	3		Gd 2485.69	2		Yb 2538.68	4	
Er 2377.62	1		Lu 2430.26	2		Pr 2487.02	2		Eu 2542.28	2	
La 2379.38	2		Tm 2436.19	2		Tm 2487.54	3	La 2487.59	Ce 2543.09	2	
Tm 2383.67	2		Dy 2439.82	3		Gd 2488.72	3		Dy 2543.83	2	
Y 2385.24	2		Eu 2445.31	2		Sm 2490.42	2		Eu 2547.28	2	
Tb 2385.39	2		Tm 2445.48	3		Dy 2490.62	2		Ce 2548.68	2	
Er 2386.58	2		Tm 2445.95	2		Tm 2491.61	3		Ce 2548.80	1	
Er 2387.17	2		Er 2446.39	3		Gd 2493.27	2		Sc 2552.37	8h	Dy 2552.29
Dy 2387.36	2		Eu 2452.05	2		Gd 2496.40	2		Tm 2552.76	3	

波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况	波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况	波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况	波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况
Eu 2554.79	2	Dy 2560.23	La 2610.34	8		Ce 2651.01	3	Er 2653.74	Lu 2685.08	8h	Yb 2692.02
Eu 2559.17	3		Lu 2613.41	8		Yb 2653.74	6		Sm 2685.23	1	
Sc 2560.25	7h		Ho 2613.99	3		Dy 2654.58	1		Eu 2685.65	3	
Tm 2561.66	4		Lu 2615.42	10h		Lu 2657.82	8		Ce 2687.99	2	
Eu 2564.18	4		Er 2616.87	3		Tm 2658.49	2		Dy 2689.29	2	
Eu 2568.18	4	Dy 2571.25	Yb 2617.01	3		Tm 2660.10	3		Eu 2692.02	4	
Lu 2571.22	5		Lu 2619.27	7		Sm 2662.42	3		Dy 2692.85	2	
Ce 2573.14	3		Ce 2619.80	2		Tm 2663.11	3		Tb 2693.05	1	
Eu 2574.76	3		Yb 2621.67	1		Yb 2665.02	3		Tb 2695.46	2	
Ce 2575.93	2		Tm 2622.21	3		Ho 2666.24	3		Ce 2695.96	5	
Eu 2577.15	3		Tb 2622.98	1		Ce 2666.50	2		Ce 2696.07	5	
Eu 2577.55	2		Ce 2623.32	2		Tm 2668.19	3		Tm 2697.50	2	
Lu 2578.79	7		Dy 2623.70	3		Eu 2668.33	3		Pr 2698.92	2	
Eu 2581.86	2		Tm 2624.34	4		Tb 2669.29	3		Eu 2701.13	3	
Tb 2584.61	3		Dy 2626.84	2		Er 2670.26	4		Lu 2701.71	7h	
Er 2586.73	4		Sm 2628.15	3		Yb 2671.98			Eu 2701.89	4	
Er 2587.03	2		Tb 2628.69	2		Er 2672.26			Tb 2704.07	2	
Tm 2588.28	3		Tm 2629.79	2		Yb 2672.65	4		Eu 2705.26	3	
Ce 2592.34	3		Dy 2634.81	3		La 2672.91	2		Tb 2706.28	2	
Tb 2592.64	1		Ce 2635.15	3		Ce 2673.07	2		Ce 2706.88	3	
Dy 2595.12	2		Eu 2635.46	2		Eu 2673.41	2		Pr 2707.35	3	< 1
Dy 2600.78	2		Eu 2638.76	4		Sm 2675.15	3		Sm 2707.96	2	
Eu 2604.61	3		Sm 2640.27	3		Er 2675.35	2		Ce 2708.13	2	
Ho 2605.86	4		Tm 2640.77	3		Eu 2678.28	3		Sm 2709.95	2	
Tm 2606.02	3		Eu 2641.26	3		Tm 2679.56	3		Tm 2711.50	2	
Tm 2607.05	4		Ce 2647.11	2		Ce 2682.73	2		Er 2713.25	1	
Tm 2609.47	2		Ce 2649.42	2		Tb 2683.97	2		Ho 2713.65	2	

波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况	波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况	波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况	波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况
Eu 2716.97	5	Ce 2740.58	Ce 2762.22	3	Ce 2781.89	La 2808.39	8		Gd 2840.25	6	
Yb 2718.34	3		Gd 2764.06	4		Gd 2809.71	6		Gd 2841.33	3	
Ce 2719.98	2		Lu 2765.76	6		Dy 2810.85	2		Tb 2843.96	2	
Pr 2720.18	3		Ho 2766.85	3		Eu 2811.75	4		Tm 2844.67	3	
Tm 2721.20	5		Tb 2769.25	1		Eu 2813.10	3		Ho 2844.68	3	
Ce 2723.38	3		Gd 2769.80	5		Eu 2813.95	10		Ho 2845.64		
Eu 2723.92	3		Er 2769.98	4		Eu 2816.18	7		Yb 2847.23	4	
Er 2726.22	3		Gd 2770.18	4		Dy 2816.39	3		Lu 2847.51	8	
Pr 2726.49	2		Tm 2773.80	2		Tm 2818.48	3		Tm 2848.44	<1	
Eu 2727.77	10		Ho 2773.84	2 ^w		Er 2820.19	4		Yb 2851.12	4	
Eu 2729.33	5		Tm 2777.05	2		Eu 2820.78	8		Yb 2854.49	1	
Ho 2733.95	3		Tm 2779.56	3		Er 2824.33	1		Ce 2854.67	3	
Tm 2735.33	3		Gd 2781.10	5		Yb 2824.97	2		Tm 2854.89	2	
Tb 2736.24	2		Eu 2781.90	5		Dy 2825.44	2		Er 2855.41	4	
Er 2739.30	4		Pr 2783.32	3		Tm 2827.92	6		Eu 2859.68	4	
Eu 2740.63	4		Ce 2784.27	3		Eu 2828.69	7		Yb 2859.82	4	
Tm 2743.36	1		Tm 2785.08	3		Eu 2829.30	4		Er 2859.83	4	
Tm 2744.07	3		Tm 2786.18	2		Ce 2830.90	4		Gd 2862.49	2	
Eu 2744.26	4		Er 2787.71	3		Yb 2830.99	3		Eu 2862.57	5	
Eu 2747.27	3		Gd 2791.96	5		Tm 2831.55	3		Eu 2864.41	2	
Yb 2748.67	3		Tm 2794.61	5		Ho 2831.69	3		Ce 2866.81	2	
Er 2750.18	3		Lu 2796.64	8		Eu 2833.25	4		Yb 2867.05	4	
Yb 2750.48	6		Gd 2796.93	8		Gd 2833.75	4		Tm 2867.75	2	
Eu 2752.16	3		Tm 2797.28	4		Lu 2834.35	2		Tm 2869.23	10	
Lu 2754.18	8		Eu 2702.86	8		Ho 2834.99	3		Dy 2871.81	1	
Er 2755.64	5		Er 2704.37	3		Gd 2836.99	3		Tb 2873.81	3	
Ce 2761.42	3		Ce 2807.67	<1		Er 2838.72	4		Ce 2874.14	3	

波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况
Ho 2874.43	3		Er 2910.36	5		Tb 2956.21	3		Ho 2990.27	2	
Ho 2876.03	3w		Lu 2911.39	10		Eu 2960.23	5		Tm 2990.54	3	
Ho 2880.26	3		Dy 2913.73	1		Yb 2962.51	3		Ce 2990.87	3	
La 2880.65	3		Tb 2914.80	3		Lu 2963.32	10		Eu 2991.34	4	
Ho 2880.98	5		Er 2915.61	4		Er 2964.52	5		Ce 2994.42	3	
Gd 2881.32	5		Tm 2918.27	3		Ce 2964.80	2		Yb 2994.81	3	
La 2885.14	4		Yb 2919.35	4		Tm 2965.87	3		Ce 2995.64	4	
Yb 2886.25	3		Eu 2925.05	7		Er 2968.76	4		Gd 2999.06	6	Tb 2999.05
Eu 2887.88	3		Tm 2926.75	4		Lu 2969.82	10		Ce 3002.38	1	Ce 2999.07
Yb 2888.03	4		Ho 2928.30	5w		Yb 2970.56	10		Er 3002.64	2	
Tm 2890.93	4		Tm 2928.23	2		Ce 2972.58	2		Ce 3003.56	3	
Yb 2891.39	10		Tm 2935.99	4		Ho 2973.00	3		Yb 3005.76	5	
Eu 2892.54	5		Ho 2942.05	3		Tm 2973.23	3		Eu 3006.27	1	
La 2893.07	4		Er 2942.20	2		Tm 2973.39	3		Tb 3007.11	2	
Er 2893.91	3		Ho 2944.49	3		Ce 2974.48	2		Pr 3007.98	1	
Dy 2894.68	1		Er 2945.27	2		Ce 2974.61	2		Ce 3008.13	3	
Lu 2894.84	10		Ho 2947.14	2		Ce 2976.91	4		Ce 3008.79	4	
Tm 2895.58	<1		Tm 2948.01	2		Ce 2977.46	3		Tb 3009.30	2	Sm 3008.82
Er 2896.97	3		Dy 2948.30	2		Ho 2979.63	3		Ho 3009.48	2	
Tb 2897.46	4		Er 2948.80	2		Gd 2980.16	3		Gd 3010.14	6	
Er 2897.52	4		Dy 2950.32	3		Tm 2981.49	3		Ho 3014.60	3	
Dy 2899.03	1		La 2950.50	3		Er 2983.79	3		Tm 3014.65	3	
Lu 2900.30	10		Tm 2951.26	3		Yb 2983.98	3		Tm 3015.30	4	
Er 2904.47	7		Lu 2951.69	8		Tb 2984.22			Sc 3015.36	4	
Gd 2905.31	5		Eu 2952.68	7		Dy 2985.93	3		Tb 3016.18	3	
Eu 2906.68	10		Ho 2953.11	3w	Dy 2953.04	Tm 2986.52	3		Tm 3017.10	3	
Ho 2909.41	5		Ce 2955.94	2		Lu 2989.27	6	Er 2989.29	Ce 3017.20	5	

波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况
Lu 3020.54	10		Tb 3053.55	4		Ce 3079.64	3		Tm 3102.88	3	
Ce 3022.47	<1		Gd 3053.57	3		Ce 3079.91	3		Ce 3103.38	3	
Ho 3023.14	2		Ho 3054.00	5		Lu 3081.47	10		La 3104.59	2	
Ce 3023.49	2		Eu 3054.93	6		Gd 3081.99	7		Sm 3106.52	2	
Er 3025.92	3		Y 3055.22	2		Er 3082.08	3		Er 3106.79	2	
Tm 3026.07	3		Tm 3056.06	3		Ho 3082.34	4	Ce 3082.30	Ce 3107.47	1	Sm 3107.52
Dy 3026.16	4		Lu 3056.72	10	Ce 3056.78	Tb 3082.36	4		Ho 3108.31	3	
Yb 3026.67	3	Ce 3026.62	Ho 3057.45	4		Ce 3083.67	4		Dy 3109.75	3	
Tb 3027.33	2		Ce 3063.01	6		Er 3084.03	3	Gd 3084.00	Ce 3110.28	2	Eu 3110.24
Gd 3027.60	6	Ce 3027.63 Dy 3027.57	Tm 3064.17	1		Ho 3084.36	3	Ce 3084.44	Ce 3111.17	3	
Gd 3028.98	3		Ho 3064.19	3		Ho 3086.54	4		Eu 3111.43	10	
Pr 3029.28	2		Er 3066.23	3		Tb 3088.43	3		Gd 3113.17	1	
Yb 3031.11	10		Dy 3066.99	3		Tb 3089.58	4	Dy 3089.60	Ho 3113.56	1	Er 3115.09
Er 3031.31	3		Gd 3068.65	3	Ce 3068.68	Ce 3090.37	3		Nd 3115.17	5	
Tb 3031.62	2		Tb 3069.02	3		Ce 3090.52	2		Er 3116.94	2	Dy 3116.87
Gd 3032.84	8		Ce 3069.64	3		Nd 3092.92	7		Ho 3118.50	5	Lu 3118.44 Gd 3118.59
Gd 3034.06	8		Tb 3070.05	3		Tm 3093.12	3	Dy 3093.11	Er 3118.83	2	
Sm 3034.81	4		Er 3070.74	2		Er 3095.88	2		Tb 3119.62	4	
Er 3036.22	3		Er 3072.53	4	Tb 3072.60	Tb 3096.86	2		Gd 3119.94	2	
Ce 3037.73	4		Gd 3072.57	3		Eu 3097.46	5		Gd 3120.17	1	
Dy 3038.29	4		Tb 3072.60	3		Tm 3098.59	4	Tb 3098.64	Dy 3120.17	2	Er 3121.89
Tm 3042.35	4		Tm 3073.08	4		Gd 3098.65	3		Tb 3121.94	3	
Tb 3044.97	3		Er 3073.34	3	Ce 3073.34	Gd 3098.89	3		Er 3122.67	4	
Sm 3046.93	3		Tm 3073.49	3	Dy 3073.54	Er 3099.19	3		Tb 3123.05	3	
Ho 3049.38	5		Gd 3076.97	5	Dy 3076.90	Gd 3100.50	6		Gd 3123.99	2	
Tm 3050.73	3	Ho 3050.73	Lu 3077.61	15		Gd 3101.92	3	Dy 3101.91	Nd 3124.57	4	Tb 3124.54
Ce 3051.98	3		Tb 3078.86	5	Er 3078.87 Ce 3078.91	Gd 3102.52	4	Tb 3102.54	Tm 3125.70	2	

波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况	波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况	波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况	波 长 (Å)	强 度	干 扰 情 况
Tm 3210.56	3		Tb 3232.00	2		Lu 3254.32	8		Tm 3276.81	4	
Sm 3211.75	3		Ce 3233.41	1		Sm 3254.39	3		Er 3277.70	1	
Tm 3212.01	4		Sm 3233.66	3		Dy 3256.26	2		Ho 3278.15	5	
Dy 3215.19	3		Ce 3234.16	4		Gd 3256.27	<1		Lu 3278.97	5	Ce 3279.01
Sm 3215.24	2		Ce 3234.89	3		Tm 3258.04	4	Ho 3258.06	Er 3279.33	3	Ho 3279.25
Dy 3216.62	1	Tm 3216.64	Tm 3235.44	5		Er 3259.06	3d	Yb 3259.10	Ce 3279.84	2	
Y 3216.69	8		Sm 3236.64	3	Dy 3236.64	Ce 3260.98	3		Er 3280.22	2	Sm 3280.22
Sm 3218.60	3		Ce 3236.74	3		Tm 3261.66	3	Y 3261.70	Tb 3280.28	5	Sm 3280.22
Tb 3218.93	6		Tm 3236.79	6		Ce 3263.45	2		Tb 3281.40	5	
Ce 3218.91	5		Sm 3239.61	3	Tb 3239.66	Ce 3263.88	2		Lu 3281.74	8	
Pr 3219.55	5		Tm 3240.23	4		Er 3264.79	3	Y 3264.78 Ce 3264.71	Ho 3281.97	8	
Tb 3219.95	6		Sm 3241.15	3		Sm 3264.94	2		Gd 3282.25	3	Tb 3283.10
Er 3220.73	3		Tm 3241.53	5		La 3265.67	3		Ho 3283.08	3	
Ce 3221.17	5		Y 3242.28	8		Eu 3266.39	4	Yb 3266.63	Tm 3283.41	5	
Er 3223.31	3	Dy 3223.29	Ce 3243.37	4		Tm 3266.64	4		Tb 3285.04	7	
Gd 3223.74	3		La 3245.13	3	Sm 3245.16 Ce 3245.12	Er 3267.40	4		Ce 3285.22	3	
Ce 3225.67	3		Dy 3245.16	3	Ce 3245.12	Er 3269.41	2		Tm 3285.60	5	Sm 3285.66
Ce 3227.11	4		Ce 3246.67	3		Sc 3269.91	10		Sm 3286.22	2	
Er 3227.16	2		Tm 3247.47	4	Er 3247.52 Eu 3247.53	Sm 3270.49	1		Er 3286.77	2	
Ce 3229.12	1		La 3249.35	3	Er 3249.34	Sm 3270.67	1		Yb 3286.77	20	
Dy 3229.36	1		Sm 3250.36	3		Ce 3272.25	5	Tb 3272.35	Sm 3289.37	2	Ce 3290.34
Dy 3229.95	1	Ce 3230.02	Tb 3251.25	2		Eu 3272.76	6		Sm 3290.38	2	Nd 3290.64
Sm 3230.51	3	Ho 3230.57	Dy 3251.28	5		Sm 3273.48	3		Tm 3291.02	8	Ce 3290.58
Er 3230.59	4	Ho 3230.57	Tb 3252.34	5		Sc 3273.63	10		Tb 3291.56	4	Ho 3290.96
Ce 3231.21	4	Y 3231.24	Ce 3252.48	2		Ce 3274.86	4		Gd 3292.20	2	
Tm 3231.51	4	Tb 3231.46 Sm 3231.50	Sm 3253.38	2		Tm 3276.24	1		Tb 3293.07	8	
Sm 3231.94	2		Sm 3253.93	2		Sm 3276.74	2		Ce 3295.29	2	

波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况	波长 (Å)	强度	干扰情况
Sm 3295.44	2		Sm 3316.60	2		Eu 3334.32	10		Ho 3350.49	3	
Sm 3295.81	2		Tm 3316.88	4		Nd 3334.47	4	Dy 3334.45 Tb 3334.48 Ce 3334.46	Sm 3350.88	2	
Ce 3296.88	2		Ce 3317.80	2		Gd 3336.17	3		Ce 3352.99	2	
Sm 3298.10	3		Sm 3317.87	1		Tb 3336.70	3		Nd 3353.59	6	Dy 3353.60
Tb 3298.66	3		Dy 3319.88	5	Ho 3319.87	Ho 3337.23	4	Ce 3337.25	Ho 3353.55	4	
Nd 3300.15	5		Sm 3320.17	2		La 3337.49	4		Dy 3353.59	4	
Sm 3300.98	1	Nd 3300.91 Dy 3300.93	Tb 3321.15	7		Ho 3338.86	4		Sc 3353.73	10	
Eu 3301.93	3		Sm 3321.19	3		Nd 3339.06	4		Ho 3354.58	2	
Tm 3302.47	6		Tb 3322.28	5		Sm 3340.60	3		Ce 3355.02	2	Dy 3355.07
La 3303.11	3		Er 3323.20	3		Ce 3340.89	1		Ce 3357.22	3	
Sm 3304.52	2		Tm 3323.22	3		Ce 3341.87	2	Er 3341.84 Dy 3341.88	Tb 3358.46	2	
Ce 3304.84	3		Sm 3323.78	2		Sm 3343.46	3		Gd 3358.61	7	
Sm 3305.18	2		Tb 3324.40	8		Sm 3343.64	—		Lu 3359.58	8	
Sm 3306.37	3		Sm 3325.27	2		Ce 3343.86	3		Sc 3359.68	8	
Sm 3307.02	3		Ce 3325.33	2		Sm 3344.36	3		Ce 3360.54	3	
Ce 3308.09	2	Eu 3308.02 Tm 3308.01	Sm 3325.49	2		Gd 3344.56	3		Gd 3360.71	3	
Dy 3308.88	5		Y 3327.89	7	Sm 3327.91 Ce 3327.90	La 3344.56	3		Gd 3362.25	7	Dy 3362.17
Tm 3309.82	6		Nd 3328.27	6		Ce 3344.76	3		Tm 3362.62	8	
Tm 3310.60	4		Ho 3329.02	3		Gd 3345.99	3		Er 3364.09	2	
Lu 3312.12	8	Sm 3310.66 Ce 3312.22	Gd 3329.35	1	Ce 3329.00 Tb 3329.08	Er 3346.04	2		Ho 3364.27	3	
Er 3312.42	3		Er 3329.67	2		Sm 3347.32	2		Nd 3364.95	4	Tb 3364.93
Sm 3312.43	2		Gd 3330.34	2		Nd 3348.16	4		Sm 3365.87	3	Pr 3365.93
Nd 3312.74	5		Ce 3330.48	2		Sm 3348.59	2		Ce 3366.55	2	
Eu 3313.32	5		Gd 3331.40	3		Tb 3349.42	5		Tb 3367.18	3	
Gd 3313.72	2		Gd 3332.14	3		Ce 3349.97	2		Sm 3367.23	2	
Ce 3314.72	2		Er 3332.71	2	Sm 3332.70	Er 3350.06	2		Eu 3367.62	3	
Er 3316.39	3	Dy 3316.34	Sm 3333.63	2		Gd 3350.48	4		Dy 3368.10	4	Ce 3368.12 Er 3368.07