

14MeV 中子缓发 X 射线分析

陈学诗 周生墨 张怡萍 谢宽仲

(中国科学院上海原子核研究所)

14MeV 快中子活化分析已在矿样、地质、考古和生物等样品的分析工作中获得了广泛的应用。一般来说,在 $10^9 \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 通量的条件下,14MeV 快中子活化分析的测量灵敏度可达 $0.1 \sim 1 \text{mg}$ 。但是快中子引起的 γ 谱,包括基体引起的在内,一般都比较复杂,而且有些生成核能级的 K 电子俘获或内转换系数又特别大,由此发射的特征 X 射线数目比 γ 跃迁发射的 γ 射线数目大很多,即 X/γ 的值很大。对于这些核素,我们可以测量它的缓发 X 射线谱,它比 γ 谱清晰得多,预计分辨能力也会更好些。

一、原理

14MeV 快中子打在靶核上会发生 (n, n') 、 $(n, 2n)$ 、 (n, p) 和 (n, α) 等反应,生成某些具有 EC 衰变或同质异能跃迁的终核。选择合适的同质异能态或 EC 衰变核素,它们将通过 K 电子俘获或内转换电子衰变而发射特征 X 射线。测量这些特征 X 射线就能定性或定量地指出样品中的元素含量。

待测元素特征 X 射线的计数 N_c 可用下式计算:

$$N_c = N_A \cdot \frac{m}{A} \cdot \phi \varepsilon f R$$
$$R = \frac{\alpha \sigma x [1 - \exp(-\lambda t_i)] [1 - \exp(-\lambda t_c)] \exp(-\lambda t_d)}{\lambda}$$

式中, N_A 为阿佛加德罗常数, m 为待测元素的质量(g), ϕ 为中子通量 ($\text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$), ε 为测量系统的效率, f 为样品的自吸收系数, α 为待测元素中靶核的同位素丰度, σ 为反应截面(b), x 为每次衰变所发射的特征 X 射线数目, A 为待测元素的克原子重量, λ 为生成核的衰变常数, t_i 、 t_d 和 t_c 分别为辐照、冷却和计数时间。

若假定 $N_c = 100$ 即可分辨, 测量灵敏度 m_s , $m_s = 100A/N_A \phi \varepsilon f R$

在通量为 $10^9 \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 的条件下,对大多数元素都能达到 $0.1 \sim 1 \text{mg}$,对某些 K 电子俘获或内转换系数大的核素可能会更好些。

二、实验情况

- (1) 主要设备 中子发生器,通量为 $10^8 \sim 10^9 \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$; Si(Li)探头、X 射线谱仪和 4000 道分析器等。
- (2) 样品 金属靶片 Rh (0.24mm 厚)、Ag (0.09mm 厚)、Cd (0.58mm 厚)、In (0.13mm 厚)。
- (3) 实验时间 辐照时间: $3 \sim 30 \text{min}$; 冷却时间: $3 \sim 30 \text{min}$; 测量时间: $3 \sim 6 \text{min}$ 。

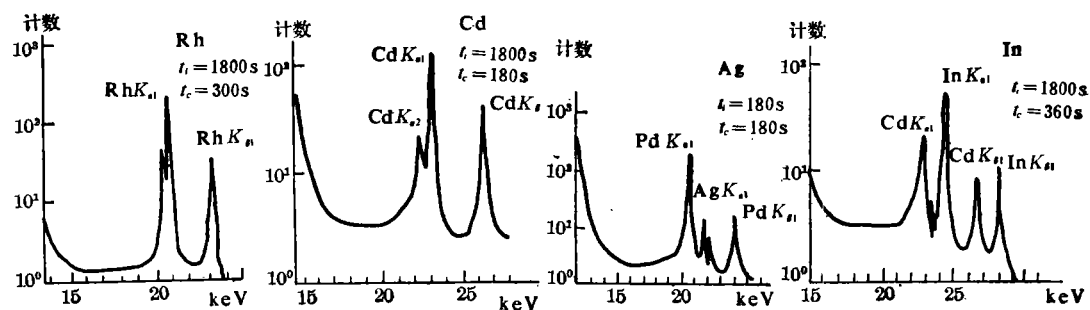
实验结果见表和图。

三、讨论

14MeV 中子缓发 X 射线分析是多元素和无损分析的,对样品的制靶要求比较低,它特别适合于 K 电子俘获和内转换系数大的核素,也特别适用于基体是轻元素,待测元素是中重或重元素的样品分析。由此可见,14MeV 中子缓发 X 射线分析可以看作是 14MeV 中子活化分析的补充和发展。

表 本实验中所用的 EC 或 IT 衰变核素的性质及 X 射线能量

元素	丰度(%)	反 应	衰变方式	寿命	特征 X 射线	R (mb·h)	$K\beta_1$ (keV)	$K\beta_2$ (keV)	$K\alpha_1$ (keV)	$K\alpha_2$ (keV)
^{45}Rh	$^{103}\text{Rh}(100)$	$^{103}\text{Rh}(n,n')^{103\text{m}}\text{Rh}$	IT(100%)	56.12min	Rh	8.1	23.169	22.721	20.214	20.072
^{47}Ag	$^{107}\text{Ag}(51.82)$	$^{107}\text{Ag}(n,n')^{107\text{m}}\text{Ag}$	IT(100%)	44.3s	Ag	1.3	25.454	24.924	22.162	21.988
"	"	$^{107}\text{Ag}(n,2n)^{106\text{m}}\text{Ag}$	EC(100%)	8.4d	Pd	2.4	24.297	23.816	21.175	21.018
"	"	$^{107}\text{Ag}(n,2n)^{106}\text{Ag}$	EC(39%)	240d	Pd	2.4	24.297	23.816	21.175	21.018
"	$^{109}\text{Ag}(48.18)$	$^{109}\text{Ag}(n,n')^{109\text{m}}\text{Ag}$	IT(100%)	39.6s	Ag	1.3	25.454	24.924	22.162	21.988
"	"	$^{109}\text{Ag}(n,2n)^{108\text{m}}\text{Ag}$	IT(10%)	75year	Ag					
"	"		EC(90%)	75year	Pd					
"	"	$^{109}\text{Ag}(n,2n)^{108}\text{Ag}$	EC(1.7%)	2.42min	Pd					
^{48}Cd	$^{111}\text{Cd}(12.75)$	$^{111}\text{Cd}(n,n')^{111\text{m}}\text{Cd}$	IT(100%)	48.6min	Cd	1.0	26.641	26.093	23.172	22.982
"	$^{112}\text{Cd}(24.07)$	$^{112}\text{Cd}(n,2n)^{111\text{m}}\text{Cd}$	IT(100%)	48.6min	Cd	1.0	26.641	26.093	23.172	22.982
^{49}In	$^{113}\text{In}(4.28)$	$^{113}\text{In}(n,n')^{113\text{m}}\text{In}$	IT(100%)	1.66h	In	0.37	27.859	27.272	24.207	24.00
"	"	$^{113}\text{In}(n,2n)^{112\text{m}}\text{In}$	IT(100%)	20.7min	In	0.37	27.859	27.272	24.207	24.00
"	"	$^{113}\text{In}(n,2n)^{112}\text{In}$	EC(72.8%)	14min	Cd					
"	$^{115}\text{In}(95.72)$	$^{115}\text{In}(n,n')^{115\text{m}}\text{In}$	IT(95%)	4.5h	In					
"	"	$^{115}\text{In}(n,2n)^{114\text{m}}\text{In}$	IT(96.5%)	50d	In					
"	"		EC(3.5%)	50d	Cd					
"	"	$^{115}\text{In}(n,2n)^{114}\text{In}$	EC(2%)	1.2min	Cd					



样品的X谱线图

参 考 文 献

- [1] J. Janczyszyn and S. Kwiecinski, *J. Radioanal. Chem.*, 56, 1-2, 153 (1980).

(1981年3月18日收到)

(下转第42页)

时间程序器见图3, 通过100kC石英晶体振荡器产生基频为100kC的振荡脉冲, 然后经过一系列分频以及计数译码电路, 最后通过阴极跟随器输出九条时间指令及四条双稳态指令, 分别控制样品传送、定标计数及多道分析器。其时间变化范围为0.1ms~99s。通过几年的使用, 证明整个装置稳定可靠。

四、讨 论

目前在装样及数据处理方面, 尚没有自动化, 时间指令变化范围还不够大, 这限制了对某些元素的自动分析, 有待改进。

刘存祥、吴俊恒同志曾参加部分工作, 加速器组的同志密切配合, 时间程序器调试中得到薛镠栋同志帮助, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

[1] Nabil N. Hanna, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-19, 3, 480 (1972).

(1980年7月24日收到)

The Semi-automatic apparatus of fast neutron activation analysis

Pan Hongjin Pan Haochang Xu Jinlong Xie Kuanzhong
(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica)

Abstract

Some experimental apparatus and equipments for semi-automatic fast neutron activation analysis are described briefly. Since 1976 they have been used in the analysis of short-lived radionuclides, particularly in the activation analysis of oxygen. The stability of this system is quite satisfactory.

~~~~~  
(上接第39页)

### **The 14MeV neutron induced characteristic X-ray analysis**

Chen Xueshi Zhou Shengmo Zhang Yiping Xie Kuanzhong  
(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica)

#### **Abstract**

The possibility of measuring characteristic X-rays, emitted following IT or EC decay, for element analysis in 14 MeV neutron activation was investigated. The mass sensitivity was evaluated to 0.1~1 mg for most elements. X-ray spectra from Rh, Ag, Cd and In were observed clearly. This technique is particularly advantageous for those nuclides of which the IT or EC ratio is large and for those samples of which the matrix consists of light elements and which contain a considerable number of intermediate or heavy element to be detected.