

能损法测平均电离激发能^{*}

刘昶时

安虎雁

(新疆石油学院 乌鲁木齐 830000)

(新疆医学院 乌鲁木齐 830011)

摘要 采用电子透过金属箔后的最可几能损测量法,由兰多公式经实验反推 Al Ti Fe Cu 及 Ta 平均电离激发能之实验值。所得结果与已有文献值比较有很好的一致性。实验结果表明这是一种测平均电离激发能的简便、易行且具有较高准确性的方法。

关键词 最可几能损,平均电离激发能,兰多公式

研究射线与物质相互作用的一个重要参数是荷电粒子在各种物质中的能损,而要得知荷电粒子在物质中的能损,经常要用到物质的平均电离激发能这一描述物质特性的关键参量。由于平均电离激发能 I 的值取决于物质的电结构,特别是它敏感地依赖于价电子的分布,物质中元素原子的结合能以及物理凝聚态的影响,所以目前无法仅以理论计算得到平均电离激发能的准确值,必须将理论计算与实验结果经某种结合方能求出较为准确的平均电离激发能^[1]。以往通过阻止本领及射程所得平均电离激发能的方法均需考虑到用 (1) Andersen 和 Ziegler 的经验壳层修正^[2], (2) Bichsel 应用 Walske 的 K 及 L 壳层修正^[3], (3) Ashley 等^[4]的 Z^3 修正及 Bloch^[5]的 Z^4 修正理论对数据进行分析方能确定其基本值。

本文采用 MeV 电子在透射薄膜时的最可几能损遵守兰多 (Landan) 公式,利用近代粒子辐射探测技术对最可几能损测量有很高的准确性和良好的重复性及现代测厚技术的准确性,反推物质的平均电离激发能,给出一种纯实验且简便易行的平均电离激发能的实验测量方法。

1 实验方法

电子透射过薄膜后,能谱 $N-E$ 分布曲线的最大值对应的能量与 E_0 (薄膜厚度为 0 时谱

线最大值对应的能量) 间的差距 ΔE_p 定义为最可几能量损失。兰多 (Landan) 公式给出了最可几能损与薄膜厚度 x (cm)、平均电离激发能 I (eV)、薄膜的原子序数 Z 、原子量 A 及密度 ρ 的关系^[6]

$$\Delta E_p = ax \{ \ln [m_0 v^2 ax / I (1 - \beta^2)] - \beta + 1.12 \} \quad (1)$$

式中, $a = 0.153 (Z^2 / A \beta^2)$ (MeV/cm); m_0 为电子的静止质量; β 为入射电子速率 v 与光速 c 之比,即 $\beta = v/c$

电子透过厚度为 x 的薄膜后,薄膜对能谱的

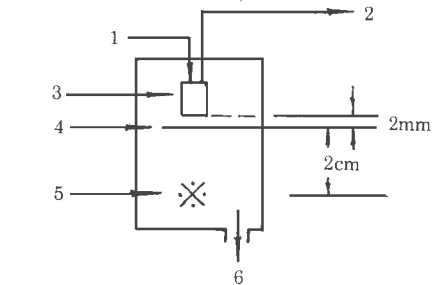


图 1 测量系统原理图

1. 高压, 2. 能谱放大及多道谱仪, 3. Pt (Si) 探测器, 4. 金属箔, 5. ²⁰⁷Bi 放射源, 6. 真空系统

半高全宽 (FWHM) 贡献为

$$\Gamma = 3.98\alpha x$$

(2)

图 1 给出了实验几何构形。样品为北京有色金属研究总院制备的纯度为 99.99% 的 Al Ti Fe Cu 及 Ta 箔, 其厚度为 2~100 μm 采用 ^{207}Bi 放射源垂直照射样品, Pt (Si) 探测器收集透过箔的电子。测量系统由放射源 Pt (Si) 探测器 前放、主放、ADG 微机多道及真空靶室组成。测量时维持靶室真空度为 1.33mPa Pt (Si) 探测器灵敏面积为 80 m^2 , 系统对 ^{207}Bi 发射的 975.6keV 电子的能量分辨率好于 16.31keV

2 结果与讨论

表 1 给出了经实验测量得最可几能损 ΔE_p 后用兰多公式反推出的平均电离激发能, 还与文献 [1] 给出的 I_R 值进行了对比, 以评价本实验方法所得平均电离激发能 I 之值。图 2 给出实验所测最可几能损 ΔE_p 与将文献给出的 I_R 值代入兰多公式所算出的理论预测最可几能损的比较。表 2 给出实验所得半高全宽与理论预测半高全宽的比较。

由图 2 可以看出实验所得最可几能损 ΔE_p 与将文献推荐平均电离激发能代入兰多公式所得最可几能损值比较接近, 而表 2 表明实验结果与理论计算有着相当好的吻合。这两点说明所用实验方法满足兰多公式的条件, 能用于反推平均电离激发能。

表 2 半高全宽的实验值与理论值比较

Table 2 Comparison between the experimental results and the theoretical calculation for the FWHM values keV

厚度	理论结果	实验结果
Thickness μm	Theoretical	Experimental
5	17.57	17.71
10	18.84	18.96
15	20.10	20.26
20	21.36	21.41
25	22.63	22.73
30	23.89	23.99

由于现代粒子探测技术中所用 Pt (Si) 探测系统具有较好的能量分辨率, 电子学线路又保证了较高的信噪比及灵敏度, 加之所用箔的厚度不大于 100 μm , 只产生较小的谱形畸变, 故用兰多公式实验反推平均电离激发能可得到比较准确的数据。

表 1 用最可几能损法测得的平均电离激发能

Table 1 The mean excitation energy values measured by the most probable energy loss method

元素	实验值	文献值
Element	Z	Data in
		reference [1]
	value I/eV	I_R/eV
Al	13	161.6 $\pm$ 3.0
Ti	22	230.7 $\pm$ 5.60
Fe	26	288.38 $\pm$ 8.46
Cu	29	328.0 $\pm$ 8.60
Ta	73	703.76 $\pm$ 24.6
		718 $\pm$ 30

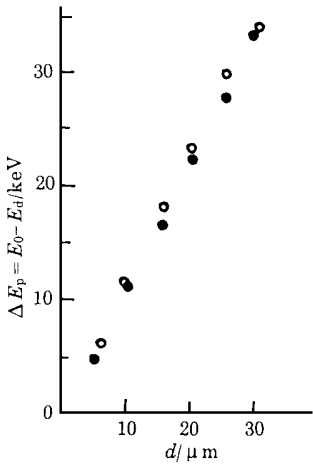


图 2 实验所测最可几能损与理论计算值的比较

● 实验值, ○ Landan 公式计算值, 样品: 铁箔

Fig. 2 Comparison between the experimental results and the theoretical calculation based on the I_R values and Landan equation

● Experimental values, ○ Results after Landan equation, Sample Fe foil

3 结 论

采用具有良好能量分辨率的 MeV 电子能谱探测系统,选择厚度很小的纯金属箔,通过兰多公式实验反推平均电离激发能,可得相当准确的平均电离激发能 I 值。这是一种简便易行的纯实验方法。在知道化合物的原子组成后,通过各元素的重量百分比、原子序数、原子量及密度,可以测出化合物的有效原子序数、有效原子量及其密度,可望用此法也能比较方便、准确地测出化合物的平均电离激发能。

致谢 对中国科学院新疆物理研究所在测量上提供的帮助深表感谢。

参 考 文 献

- 1 Stephen M, Martin J, Berger. *Int J Radiat Isot*, 1982; **33** 1189
- 2 Anderser H H, Ziegler J F. *Hydrogen stopping powers and ranges in all elements*. New York: Pergamon Press, 1977
- 3 Bichsel H. Univ of South California Report, 1961; No. 3. *Nat Acad Sci- Nat Res Council Publ*, 1964; **1133** 17; Report UCRL, 1967 17538
- 4 Ashley J C, Ritchie R H, Brandt W. *Phys Rev*, 1972; **B5** 2393; *Phys Rev*, 1973; **A8** 2402
- 5 Bloch F. *Ann Phys*, 1933; 16 285
- 6 M. 姆拉杰诺维奇著. 放射性同位素和辐射物理学导论. 北京: 原子能出版社, 1986 252

Measurement of mean ionization excitation energy by the energy loss method

Liu Changshi

(*Xinjiang Petroleum College, Urumqi 830000*)

An Huyan

(*Xinjiang Medical College, Urumqi 830011*)

Abstract

The mean ionization excitation energy values for Al, Ti, Fe, Cu and Ta have been derived from the Landau equation and by measuring the most probable energy loss of electrons from a ^{207}Bi source. The results are consistent with the values given by references, and this method can be regarded as a quick, easy and accurate one to experimentally evaluate the mean ionization excitation energy values.

Key word The most probable energy loss, Mean ionization excitation energy, Landau equation