

Ar 原子电离能谱和 Ar3p 电子动量谱研究 *

陈向军 杨炳忻 庞文宁 陈森华 徐克尊
(中国科学技术大学近代物理系原子分子物理实验室, 合肥 230027)

关键词: Ar 原子, (e, 2e) 实验, 电离能谱, 电子动量谱

电子动量谱学 (Electron Momentum Spectroscopy) 是近二十年来发展起来的一种新兴的探测原子、分子和固体结构的手段, 它不仅能够获得轨道结合能的信息, 而且能够能壳分辨地得到轨道电子的动量分布 (即动量表象中的波函数模方), 同时它还是研究电子关联的最有效的实验手段. 其价值已经在多个学科尤其是在量子化学中体现出来, 电子动量谱学波函数作图技术已经成为研究分子动量表象中的化学成键理论和化学反应动力学的最重要的实验手段之一 [1-3].

Ar 原子作为人们最早用 (e, 2e) 手段研究的重要原子之一, 到目前为止已经积累了大量的数据 [4-6]. Ar 原子是可以获得全部电子动量谱学测量信息的最简单的原子, 这些信息包括: 价壳层电离能谱、HF 基态轨道的电子动量分布、因电子关联效应引起的非 HF 基态轨道的电子动量分布. 由于 Ar 原子包含了所有初态和末态关联的复杂情形, 因此它是电子动量谱学定量研究电子关联效应的重要原子之一 [6]. 另外, 由于 Ar3p⁻¹ 基态跃迁的动量分布关于 p=0 点对称, 并在 p=0 点取得极小值, 而这个值的大小直接反应了谱仪的动量分辨能力, 因此 Ar 原子已经成为电子动量谱仪的样本原子, 用来标定谱仪的性能, 特别是动量分辨性能 [2,7]. 同时 Ar 原子的 (e, 2e) 电离能谱和动量谱测量在国内尚未见成功的报导. 本文作为对本实验室新建 (e, 2e) 电子动量谱仪的性能检验, 测量了不共面对称条件下 Ar 原子价壳层电离能谱和 Ar3p⁻¹ 基态跃迁的动量分布.

1 实验装置

装置的详细描述请参阅文献 [8], 本文仅作简单的介绍. 本谱仪主要由以下几部分构成: (1) 能提供确定能量和方向入射电子的电子枪; (2) 与入射电子束垂直作用的气体束; (3) 测量散射电子和敲出电子能量和角度的能量分析器; (4) 改变能量分析器角度的机械转动机构; (5) 高真空系统; (6) 符合测量系统. 谱仪设计上突出了“一机多用”的特色, 在同一台谱仪上实现了三种几何条件的实验安排, 不仅能够进行原子、分子的结构学研究, 而且还能开展动力学方面的研究工作. 谱仪还采用了自行研制的一维电阻阳极读出位置灵敏探测器进行大范围的能量同时测量, 使符合计数率比单通道谱仪提高了 1~2 个量级 [9]. 整个谱仪安装在一个磁屏蔽的不锈钢圆筒内, 用一台 1200L·s⁻¹ 的涡轮分子泵抽真空, 本底真空可以达到 1×10⁻⁵Pa, 通入样品气体后, 真空度可维持在 1~1.3×10⁻³Pa. 谱仪内部的剩磁水平控制在 10mGs 以下. 本文的实验条件如下: 入射电子能量为 1200eV+ 束缚能, 流强可达 10~50μA, 反应区束流截面的直径小于 1mm; 半

1995-04-24 收到初稿, 1995-08-28 收到修改稿. 联系人: 陈向军. * 国家自然科学基金和中国科学院资助项目

球能量分析器的通过能为 40eV; 实验采用非共面对称的几何条件, Ar 原子样品气体的纯度为 99.999%.

2 实验方法及结果讨论

对应 1200eV 的总能量, 本谱仪选取单路能量分析器的能量分析窗宽 598~603eV, 对应总能量的分析范围在 1196~1206eV. 实验中, 我们采用了非扫描工作方式 (nonbinning mode) (具体方法详见文献 [2, 10]). 分三次获取了 Ar3p、3s 和 3s 伴线的电离能谱. 三次测量的入射能量分别为 1215.8eV、1230eV 和 1240eV, 对应的电离能分析范围分别为 9.8~19.6eV、24~34eV 和 34~44eV. 图 1 是用上述方法得到的 Ar 价壳层的电离能谱. 可以看出, 对于 3p 电离峰, 其半高全宽约为 2.2eV. 由于能量分辨率不够, 3s 伴线结构只是一个峰包, 其细致结构尚无法分辨. 以 3p 基态跃迁的能量为标准 (15.76eV) 作能量刻度, 得到 $3s^{-1}$ 第一激发态跃迁峰和 3s 伴线峰包的能量分别为 29.2eV 和 40.3eV, 与文献 [6] 的数据基本一致.

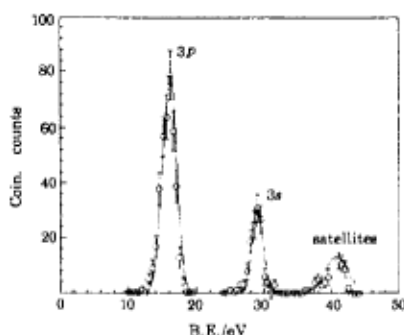


图 1 Ar 原子价壳层电离能谱

Fig.1 The binding energy spectrum of argon with total energy of 1200eV

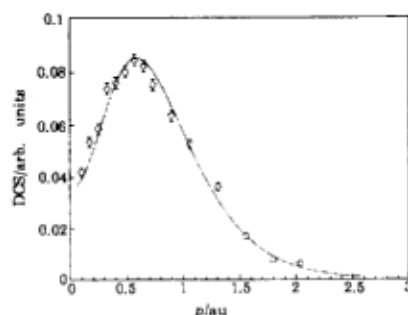


图 2 Ar3p 电子动量分布

Fig.2 Electron momentum distribution of Ar3p with total energy of 1200eV

我们还对 Ar3p 电子的动量分布作了详细测量^[10], 测量步骤如下: 首先固定一个 ϕ 角, 测量 3p 电离的时间符合谱和电离能谱, 根据电离能峰面积计算出真符合计数, 然后改变一个角度, 重新测量 3p 电离的时间符合谱和电离能谱, 并计算出真符合计数. 这样依次测量一系列的角度, 作出真符合计数与 ϕ 角的关系曲线, 即获得了 3p 电离的角分布. 将 ϕ 角坐标转换到轨道电子动量 p 坐标 (详见文献 [10]), 即得到 3p 电子的动量分布. 我们测量了 $\phi=1^\circ \sim 25^\circ$ 共 15 个点, 测量条件如下:

- (1) 入射能量 $E_0=1215.8\text{eV}$;
- (2) $\theta_a = \theta_b = 45^\circ$;
- (3) 入射电子束流强约为 $10\mu\text{A}$.

实验结果如图 2 所示. 图中空心圆点是我们的实验测量值, 实线是 Davidson 小组^[11] 利用扭曲波冲量近似加上组态相互作用的方法得到的最新理论结果, 实验值已经以最高点为标准按理论值的大小作了归一. 我们利用平面栅格的方法对理论结果做了卷积^[7,10], 得到本谱仪的动量分辨约为 0.2au. 图 2 中的理论值已按 0.2au 的动量分辨做了卷积. 可以看出, 实验结果与理论计算相当符合, 从而验证了本谱仪的可靠性.

为了减少初次调试的难度, 我们放宽了对谱仪分辨率的要求, 因此, 无论能量分辨还是动量

分辨与国际同类谱仪相比还存在差距(国际典型值为:能量分辨 1.3~1.5eV,动量分辨 ~0.1au).进一步调试可望达到相同水平.

致谢:感谢加拿大 UBC 大学郑延友博士为我们提供了最新的理论数据并参与了调试.感谢于敏院士、李家明院士、唐孝威院士、郑绍唐教授和孙永盛教授等对本工作的关心和支持.

参 考 文 献

- 1 McCarthy I E, Weigold E. *Phys. Rep.*, **1976**, **27C**:276
- 2 McCarthy I E, Weigold E. *Rep. Prog. Phys.*, **1991**, **54**:789
- 3 徐克尊. 现代物理知识, **1993**, **1**:33; **2**:12
- 4 Leung K T, Brion C E. *Chem. Phys.*, **1983**, **82**:87
- 5 Avaldi L, Camilloni R, Fainelli E, Stefani G. *J. Phys. B: At. Mol. Phys.*, **1988**, **21**:L359
- 6 McCarthy I E, Pascual R, Storer P, Weigold E. *Phys. Rev. A*, **1989**, **40**:3041
- 7 Bawagan A O, Brion C E. *Chem. Phys.*, **1990**, **144**:167
- 8 杨炳忻, 徐克尊, 陈向军等. (e, 2e) 电子动量仪研制. 物理学报, 待发表
- 9 徐克尊, 陈向军, 庞文宁, 杨炳忻. 核技术, **1994**, **17**:517
- 10 陈向军. (e, 2e) 电子动量谱仪的研制和 Ar 原子的电子动量分布测量, 中国科技大学博士论文, 1995
- 11 Zheng Y, Neville J J, Brion C E, Wang Y, Devison E R. *Chem. Phys.*, **1994**, **188**:000

Study of Binding Energy Spectrum of Argon and Electron Momentum Spectrum of Argon 3p

Chen Xiangjun Yang Bingxin Pang Wenning Chen Miaohua Xu Kezun
(Atomic and Molecular Physics Laboratory, Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui 230027)

Abstract We briefly present in this paper the results of 1200eV non-coplanar symmetric (e, 2e) binding energy spectrum of argon and an electron momentum profile of argon 3p. They were measured by a newly constructed spectrometer with position-sensitive detectors in USTC. We use non-binning mode to get the Ar3p、3s and 3s satellites binding energy spectra separately. The experimental results is well consistent with the available theoretical results.

Keywords: Argon, (e, 2) experiment, Binding energy, Momentum profile