

用阻塞效应测量 ^{28}Si 13.095MeV 激发态能级寿命*

金卫国 赵国庆 邵其璠 任月华 吴向坚 周筑颖

(复旦大学原子核科学系)

1986年6月18日收到

提 要

改进 Al 单晶样品的处理方法,得到了高质量的样品.进行了 Al 单晶辐照损伤实验,直接测量了 $E_p = 1565\text{keV}$ 时 $^{27}\text{Al}(p, \alpha)^{24}\text{Mg}$ 共振所形成的 ^{28}Si 13.095MeV 激发态能级寿命.采用 Monte Carlo 模拟和“分析”方法计算得到其寿命值 $\tau = 16.3 \pm 2.4\text{as}$, 对应的能级宽度 $\Gamma = 40 \pm 6\text{eV}$, 与文献报道的共振产额法结果符合得较好.

一、引 言

阻塞效应是一种有效和可靠的直接测量原子核能级寿命的方法,可用来检验其它核寿命间接测量方法的准确性.我们曾用 Al<110> 轴沟道阻塞效应测量了 $^{27}\text{Al}(p, \alpha)^{24}\text{Mg}$ 反应在 $E_p = 1183.4\text{keV}$ 时的阻塞分布和 $E_p = 887.8\text{keV}$ 共振核反应寿命^[1].迄今,对 $^{27}\text{Al}(p, \alpha)^{24}\text{Mg}$ 反应的 $E_p = 1565\text{keV}$ 共振能级,人们仅利用共振产额法测量了它的共振宽度 Γ ^[2], 尚未用阻塞效应直接测量此共振核反应寿命.本文报道了利用阻塞效应测量这一共振反应寿命的结果.

二、实验方法

实验测量装置^[1]如图1所示.质子束由本校 3MeV 静电加速器提供,它经两个相距 1.5m 的 $\phi = 1\text{mm}$ 小孔准直后打到 Al 单晶上.加速器质子束能量用 $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ 和 $^{19}\text{F}(p, \alpha\gamma)^{16}\text{O}$ 核反应校刻.样品是沿 (100) 晶面切割的、厚为 2mm 的 Al 单晶,经过机械抛光、化学抛光和真空热退火处理后,装在二维定角器上.改进了原来的样品处理方法^[1],把退火温度提高到 590°C,并延长退火时间至 4h.通过测量 1MeV $^4\text{He}^+$ 离子的背散射产额,对样品的晶轴进行定向.其<110> 轴方向与束流夹角为 130°,在 175° 和 85° 方向分别测量<110> 轴的“瞬发”和“延迟”阻塞分布,比较这两个阻塞分布,可获得核寿命信息.采用上海感光胶片厂生产的 140 μm 厚的醋酸纤维素薄膜,作为固体径迹探测器记录

* 中国科学院科学基金资助的课题.

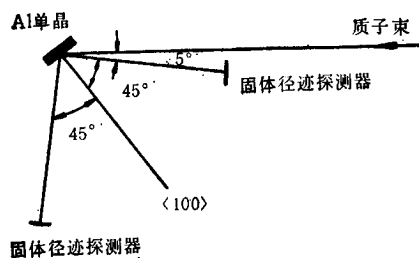


图 1

核反应产生的 α 粒子. 在测量 $E_p = 1565\text{keV}$ 共振寿命时, 为排除 $E_p = 1438\text{keV}$ 共振发射的低能 α 粒子的干扰, 在径迹探测器前加一 $4\mu\text{m}$ 厚的 Mylar 膜. 这样把 1565keV 共振发射的 α 粒子能量从 2.5MeV 降到 1.5MeV 左右; 而 1438keV 共振发射的 α 粒子能量从 1.5MeV 降到 0.35MeV 以下, 固体径迹探测器对此能量的 α 粒子不灵敏^[3].

三、实验结果

实验上测到的 1MeV $^4\text{He}^+$ 离子在 Al $\langle 100 \rangle$ 轴方向的背散射产额角分布极小值 $Y_{\min}$ 为 4% 左右, 这说明单晶样品具有相当好的性能. 样品的性能还可从 175° 方向测到的 $E_p = 1183.4\text{keV}$ 共振 (此共振能级的寿命接近零) 的 $\langle 110 \rangle$ 轴阻塞分布上反映出来. 其阻塞分布如图 2 所示, 入射质子能量 $E_{in} = 1192\text{keV}$, 共振深度 $z = 0.2\mu\text{m}$, 阻塞分布的极小值 $Y_{\min}$ 为 6%. 图 2 中还给出了 Monte Carlo 模拟的结果^[4].

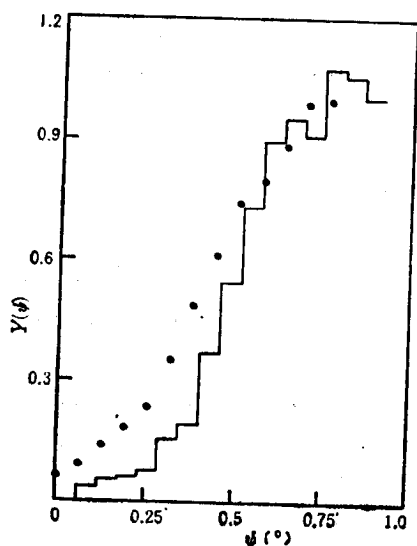


图 2 $E_p = 1183.4\text{keV}$ 共振发射的 α 粒子在 Al $\langle 110 \rangle$ 轴向的归一化阻塞分布 $Y(\psi)$ ● 为实验结果; 直方图为 Monte Carlo 模拟结果^[4]

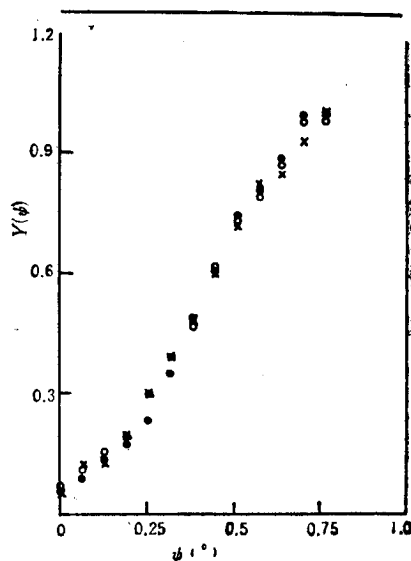


图 3 阻塞分布 $Y(\psi)$ 与入射质子剂量 Q 的关系
● 为 $Q = 0-1900\mu\text{C}$; × 为 $Q = 2500-4000\mu\text{C}$; ○ 为 $Q = 4000-6500\mu\text{C}$

为观察质子轰击对单晶样品的损伤效应, 在 Al 样品的同一束斑位置上, 我们在不同的质子轰击剂量下测量 $E_p = 1183.4 \text{ keV}$ 共振在 $175^\circ \langle 110 \rangle$ 方向出射的 α 粒子的阻塞分布, 结果如图 3 所示. 从图 3 中可见, 在累计的轰击质子总剂量 $Q < 6500 \mu\text{C}$ 的情况下, 阻塞分布无明显的变化, 这表明质子对 Al 单晶的损伤效应可以忽略.

$E_p = 1565 \text{ keV}$ 共振寿命的测量共进行了两轮实验, 入射质子总剂量 Q 分别为 $5300 \mu\text{C}$ 和 $3100 \mu\text{C}$, $E_{in} = 1572 \text{ keV}$, $z = 0.2 \mu\text{m}$. 图 4 给出了实验上测到的“瞬发”和“延迟”阻塞分布, 可以看出“延迟”阻塞分布比“瞬发”阻塞分布浅和狭. 在实验数据处理时, 定义阻塞分布的相对体积 R 为^[1,5]

$$R = \frac{E_D \cdot Q_D}{E_p \cdot Q_p}, \quad (1)$$

其中 E_p 和 E_D 分别为“瞬发”和“延迟”方向出射的 α 粒子能量, Q_p 和 Q_D 分别为“瞬发”和“延迟”阻塞分布的体积. 而阻塞分布体积 Q 定义如下:

$$Q = 2\pi \int_0^{\phi_{\max}} (1 - Y(\phi)) \cdot \sin \phi d\phi, \quad (2)$$

式中 $Y(\phi)$ 为归一化的阻塞分布, $\phi_{\max}$ 为当 $Y(\phi) = 1$ (随机值) 时的角度. 表 1 给出了 $E_p = 1565 \text{ keV}$ 共振时的 Q_p , Q_D 和 R 的实验结果. 理论上已采用“分析”方法^[6,1]和 Monte Carlo 模拟^[4]计算了 R 与核反冲垂直距离 $V_D \tau$ (V_D 为复合核在垂直于 $\langle 110 \rangle$ 晶轴方向的反冲速度, τ 为核寿命) 关系的定标曲线. 实验上得到的 $\bar{R}$ 与定标曲线相比较, 就可求得核反冲垂直距离 $V_D \tau$, 从而得到核寿命 τ . 再利用测不准关系得出共振宽度 Γ , 结果见表 2. 表 2 还包括 Mass 等人^[2]给出的用 (p, γ) , (p, α) (α, γ) 共振产额法测量的 Γ 值. 从表 2 中可见, 本实验结果与文献 [2] 给出的结果符合得较好, 其中“分析”法的结果更接近于共振产额法的结果.

一般认为 Monte Carlo 模拟计算阻塞分布是一种比较精确的方法, 但在实际计算定

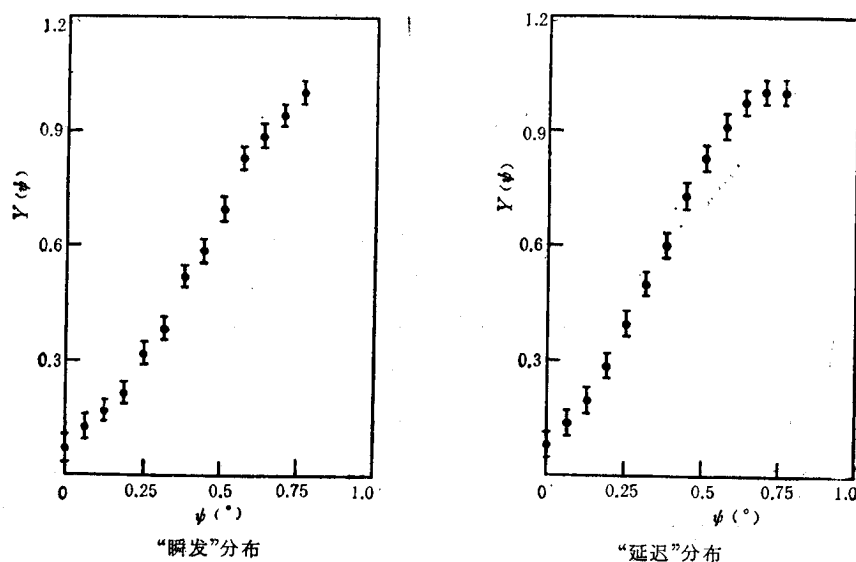


图 4 $E_p = 1565 \text{ keV}$ 共振反应发射的 α 粒子在 Al $\langle 110 \rangle$ 轴向的“瞬发”和“延迟”阻塞分布
入射质子剂量 $Q = 5300 \mu\text{C}$

表 1 $E_p = 1565 \text{ keV}$ 共振的 Q_p , Q_D 和 R 的实验结果

$Q(\mu\text{C})$	$Q_p(\times 10^{-3}\text{sr})$	$Q_D(\times 10^{-3}\text{sr})$	R	$\bar{R}$
5300	0.197 ± 0.007	0.147 ± 0.007	0.84 ± 0.07	0.85 ± 0.05
3100	0.197 ± 0.007	0.151 ± 0.008	0.86 ± 0.08	

表 2 结果的比较

	$V_D \tau (\text{\AA})$	$\tau (\text{as})$	$\Gamma (\text{eV})$
“分析”法	$0.086^{+0.022}_{-0.021}$	$13.9^{+3.6}_{-3.4}$	47^{+12}_{-11}
Monte Carlo 模拟	$0.113^{+0.020}_{-0.020}$	$18.3^{+3.2}_{-3.2}$	36^{+6}_{-6}
Mass et al. ^[2]			46 ± 18

标曲线时,由于受计算时间的限制,整个定标曲线上只计算了 6—7 个点,且每个点模拟的 α 粒子数也只有 20000 个,这就给定标曲线引进一定的不确定性。如果把“分析”法和 Monte Carlo 模拟结果加权平均,则得到 $\tau = 16.3 \pm 2.4 \text{ as}$, $\Gamma = 40 \pm 6 \text{ eV}$ 。

本工作是在杨福家教授的指导下完成的。感谢承焕生同志给予的有益的讨论。

参 考 文 献

- [1] 金卫国等,原子核物理,待发表.
- [2] J. W. Mass et al., *Nucl. Phys.*, **A301** (1978), 213.
- [3] 金卫国等,核技术, **5**(1986), 24.
- [4] 邵其懿等,原子核物理,待发表.
- [5] F. Malaguti et al., *Phys. Rev.*, **C19** (1979), 1606.
- [6] 金卫国等,原子核物理,待发表.

THE LIFETIME MEASUREMENT OF THE ^{28}Si COMPOUND STATE OF 13.095 MeV BY THE BLOCKING EFFECT

JIN WEI-GUO ZHAO GUO-QING SHAO QI-YUN REN YUE-HUA

WU XIANG-JIAN ZHOU ZHU-YING

(Department of Nuclear Science, Fudan University Shanghai)

ABSTRACT

The methods for treating the Al single crystals have been improved and high quality crystals are obtained. The experiment of radiation damage in the Al crystals is carried out and the lifetime of the ^{28}Si compound state of 13.095 MeV, excited by the $^{27}\text{Al}(p, \alpha)^{24}\text{Mg}$ resonant reaction at $E_p = 1565 \text{ keV}$, is measured. The lifetime, $\tau = 16.3 \pm 2.4 \text{ as}$, is deduced by comparison with the calibration curves calculated with Monte Carlo model and “analytical” methods. The corresponding energy level width, $\Gamma = 40 \pm 6 \text{ eV}$, is in good agreement with that reported in the literature.