

$^{129}\text{Xe}^{30+}$ 与 Au 作用激发的 Au M -X 射线 与 Xe L -X 射线*

李耀宗¹⁾ 张小安^{1)2)†} 梁昌慧¹⁾ 赵永涛²⁾ 程锐²⁾
周贤明²⁾ 王兴²⁾ 雷瑜²⁾ 孙渊博²⁾ 徐戈²⁾

1) (咸阳师范学院与中国科学院近代物理研究所联合共建离子束与光物理实验室, 咸阳 712000)

2) (中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

(2010年12月17日收到; 2011年6月22日收到修改稿)

探测了动能为 1.0—7.0 MeV 的 $^{129}\text{Xe}^{30+}$ 入射 Au 表面产生的 X 射线谱. 实验结果表明, 入射离子动能较高时, 不仅激发出很强的 Au 的 M -X 射线, 还激发了 Xe 的 L -X 射线, 且 X 射线产额与入射离子动能有强相关性. 分析了 X 射线产额与入射离子动能的关系.

关键词: 高电荷态离子, X 射线, 离子动能

PACS: 32.30.Rj, 32.70.Jz, 34.50.Fa

1 引言

低速高电荷态离子与固体表面相互作用研究已有许多报道, 空心原子是这一作用过程的重要现象^[1-3], 人们在入射离子速度小于 Bohr 速度 (2.19×10^6 m/s) 这一低能区域, 已进行了大量的离子-原子碰撞实验. 这些实验中, 入射离子电荷态及势能的作用被更多地关注, 入射离子势能的沉积对作用过程的影响远大于其动能的影响. 国内外在这一领域的实验研究主要集中在以下几个方面: 离子在固体中电荷平衡时间^[4,5]、作用过程中各种相关电子的发射^[6,7]、作用过程中 X 射线及可见光的发射^[8-10] 以及表面原子的溅射和材料表面改性等^[11]. 以上研究获得了很多关于表面以上高 Rydberg 态空心原子形成和退激以及离子在表面以下势能沉积的物理信息.

在较高动能 (>1 MeV) 的离子与固体作用激发 X 射线谱的实验研究方面, 宋张勇等^[12] 在重离子加速器国家实验室用动能为 84.5 MeV 的 C^{4+} 与较重薄金属作用, 探测了靶原子的 K -X 射线谱, 研

究了谱线结构; 徐秋梅等^[13] 在北京原子能研究院串联加速器上用动能 20—45 MeV 的 O^{5+} 轰击 Ta 靶, 研究了 Ta 的 L -X 射线发射截面分支比; Azuma 等^[14] 在 NIRS-HIMAC 用 423 MeV 的 Fe^{24+} 入射 Si 晶体, 探测了 Fe 的 K_{α} X 射线能量及强度与散射角及探测距离的关系. 这些研究要么只探测到靶原子的特征 X 射线, 要么只探测到入射离子的特征 X 射线. 入射离子与靶原子其中之一原子序数较小, 离子与靶原子内壳层电子束缚能相差较大, 碰撞过程库仑势竞争电子不激烈. 在离子与固体靶原子作用的理论研究方面, 描述轻离子与固体靶作用产生 X 射线的理论比较成熟, 有两体碰撞近似、微扰理论 (如半经典近似和平面波近似) 等^[13]. 但在重离子与重金属靶原子作用激发 X 射线的理论研究方面, 由于其较前者要复杂得多, 至今尚无较完善的理论模型. 让高电荷态重离子与重金属靶原子作用, 通过测量作用过程发射的 X 射线, 可以直接得到高电荷态离子与靶原子核库仑势竞争电子形成空穴的微观动力学信息, 其 X 射线谱可以比较直观地反映出高电荷态离子在中性化过程中的结构

* 国家自然科学基金 (批准号: 11075135)、陕西省自然科学基金 (批准号: 2010JM1012) 和咸阳师范学院科研基金 (批准号: 11XSYK203) 资助的课题.

† E-mail: zhangxiaoran2000@yahoo.com.cn

变化. 而且, 根据测量得到的靶原子及离子特征 X 射线的谱线结构和产额, 还可以比较准确地判断出入射离子及靶原子内壳层电子电离的程度.

本文报道了在兰州重离子加速器国家实验室 320 kV 高电荷态离子综合研究平台上, 用 1.0—7.0 MeV 动能的高电荷态离子 $^{129}\text{Xe}^{30+}$ 轰击金属 Au 表面产生的特征 X 射线谱的实验结果. 除了探测到 Au 的 M-X 射线, 还探测到了 Xe 的 L-X 射线, 证实 Xe^{30+} 在下表面激烈碰撞过程发生了进一步电离, 并对 X 射线产额与入射离子动能的相关性进行了初步分析. 与文献 [12—14] 相比, 由于离子入射动能较大, 靶材选取适当, 既探测到了入射离子的特征 X 射线, 也探测到了靶原子的特征 X 射线.

2 实验装置和测量方法

图 1 是实验装置示意图. 高电荷态离子 $^{129}\text{Xe}^{30+}$ 由兰州重离子加速器电子回旋共振离子源 (ECRIS) 提供, 束流在不同的引出电压下引出, 利用 90° 偏转分析磁铁将确定电荷态的离子引入 320 kV 高电荷态离子综合研究平台, 然后经过四极透镜和光阑的聚焦准直, 离子进入内部具有电磁屏蔽功能的超高真空 (约 10^{-10} mPa) 靶室, 与样品表面相互作用. 在本次实验中, 作用束流的束斑直径控制在 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 范围内, 束流强度为 nA 量级, 离子以 90° 方向入射于经过表面净化处理的化学纯度为 99.9% 的 Au 固体表面, 其表面积为 $15\text{ mm} \times 15\text{ mm}$, 厚度为 0.1 mm.

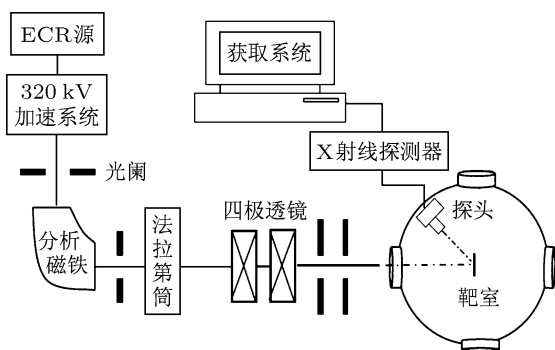


图 1 兰州重离子加速器国家实验室 320 kV 高电荷态离子综合研究平台

入射离子与 Au 表面相互作用所产生的 X 射线谱利用 XR-100SDD 型 Si 漂移探测器进行探测, 探测面积为 25 mm^2 , Si 晶体厚度为 $500\text{ }\mu\text{m}$, 探测口 Be 窗厚度为 $12.5\text{ }\mu\text{m}$, 在峰化时间为 $9.6\text{ }\mu\text{s}$, 增益

为 100 的情况下, 可以探测的能量范围是 0—14.55 keV, 能量分辨率为 146 eV. 实验中, 探测器与入射束流方向成 45° 角, 距离靶点 80 mm, 探测口的几何立体角为 3.906×10^{-3} sr. 入射离子由离子计数器计数, 1 个计数对应 10^{-9} C. 实验前利用标准放射源 ^{241}Am 和 ^{55}Fe 对探测器进行了刻度.

3 实验结果与分析

3.1 相互作用激发 Au 的 M-X 射线

图 2(a), (b) 和 (c) 给出了 1.0—7.0 MeV 的 Xe^{30+} 入射 Au 表面产生的 X 射线谱, 入射离子计数均为 10^4 (单位: 10^{-9} C). 结果显示, 这个动能范围的 Xe^{30+} 入射 Au 表面均能激发出较强的 Au 的 M-X 射线, 且射线强度随入射离子动能的增加呈明显增加的趋势. 根据美国伯克利国家实验室 X 光与现代光源中心 (LBNL Center for X-ray optics and Advanced light source) 提供的数据, 图 3 给出了 Au 的 M 到 N 壳层不同状态的电子束缚能, 以及满足跃迁规则的跃迁激发的 X 射线能量, 共 13 条 X 射线, 其能量范围为 1.648—2.879 keV, 各条 X 射线的能量在图 2(c) 相应能位标出. 由于射线探测分辨率 (半高宽) 为 0.146 keV, 能量间隔小的射线存在叠加, 有的射线峰无法显示, 实验谱线中显示的 Au 的 M-X 射线的能位与资料提供的数据符合得很好.

根据经典过垒模型 [15], 当高电荷态离子运动到离金属靶表面临界距离 $R_c = \frac{e}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\sqrt{8q+2}}{2W}$ 时 (式中 q 为离子的电荷态, W 为金属的功函数, e 为电子电量), 开始俘获金属导带电子, 导带电子共振转移至入射离子的高 n 壳层, 形成空心原子. 同时, 金属表面对高电荷态离子产生镜像加速, 引起离子动能的增加, 增益的动能满足 $\Delta E = \frac{Wq^{3/2}}{4\sqrt{2}}$.

本次实验, 入射离子电荷态为 30, Au 的功函数为 5.1 eV, 计算可得临界距离 $R_c = 2.2 \times 10^{-9}$ m, 当入射离子动能为 1.0 MeV 时, 其入射速度 $v = \sqrt{2E/m} \approx 1.2 \times 10^6$ m/s. 垂直入射时, 离子上表面过程经历时间约为 1.8×10^{-15} s, 远小于高 Rydberg 态原子的退激时间 [10]. 所以, 入射离子上表面过程俘获的高 n 电子没有足够的时间退激, 实验探测到的 X 射线是离子下表面过程产生的. 实验中离子镜像加速引起的动能增益 $\Delta E = 148$ eV, 与入射动能相比可不计. 入射离子下表面过程的势

能沉积是由其高 n 电子退激实现的, 由于 Au 的 M 壳层电子最低结合能为 2206 eV, 而 Xe^{30+} 的电子结合能为 1742 eV, 该能量不足以激发 Au 的 M 壳层空穴. 可见, Au 的 M -X 射线是入射离子大量动能在下表面过程沉积的结果.

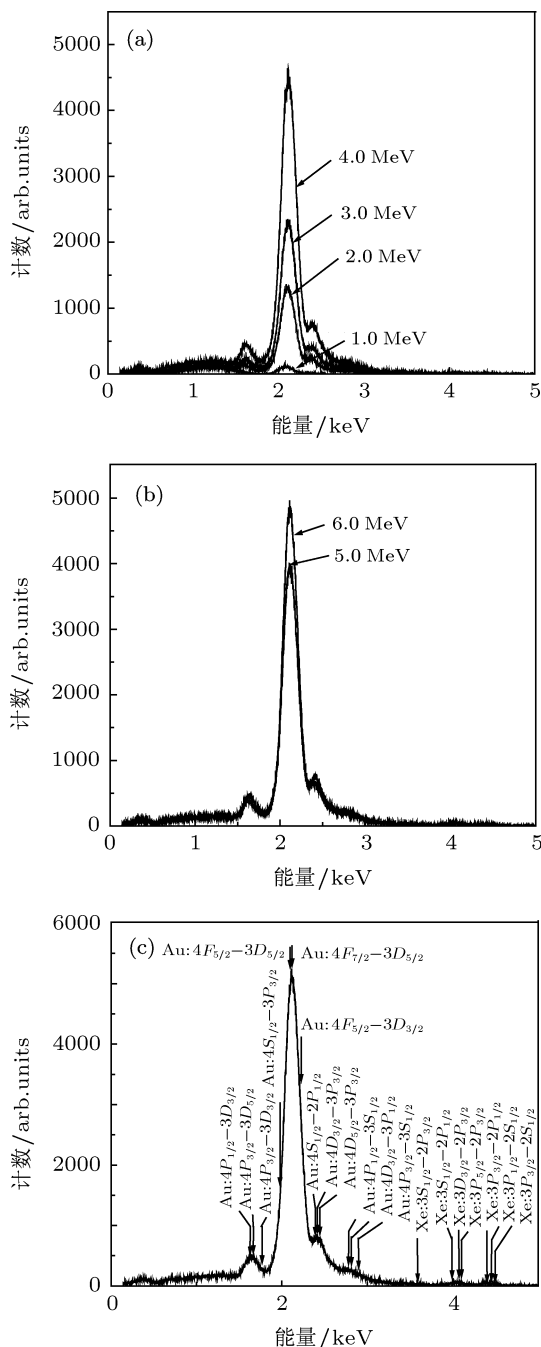


图2 不同动能的 Xe^{30+} 入射 Au 表面激发的 X 射线谱 (a) 1.0—4.0 MeV; (b) 5.0—6.0 MeV; (c) 7.0 MeV

根据本次实验的测量条件, 考虑到探测器标定后的道宽为 1.7537 eV, 假定 X 射线的发射是各向同

性的, 可给出 Xe^{30+} 作用于靶表面的 X 射线产额 [8]

$$Y = \frac{C}{N} = 3.056 \times 10^{-4} \times \frac{q \times w \times A}{Q}, \quad (1)$$

其中, C 为射线计数, N 为总离子数, q 是入射离子的电荷态, w 是半高宽 (FWHM)(单位为 keV), A 是峰计数, Q 为离子计数器计得的电量值 (单位为 10^{-9} C). 考虑到 Au 的不同能量的 M -X 射线随入射离子动能的增加具有相近的变化趋势, 根据 (1) 式我们计算了不同入射动能时 Au 的 M -X 射线谱中主峰的单离子射线产额, 其产额随入射动能的变化见图 4, 射线产额的误差由误差线给出. 可见, 存在一动能阈值, 入射离子动能低于该阈值时, 无法激发出 Au 的 M -X 射线, X 射线产额总体随离子动能的增加呈明显增加的趋势, 离子动能为 4 MeV 时, 存在一 X 射线产额峰值.

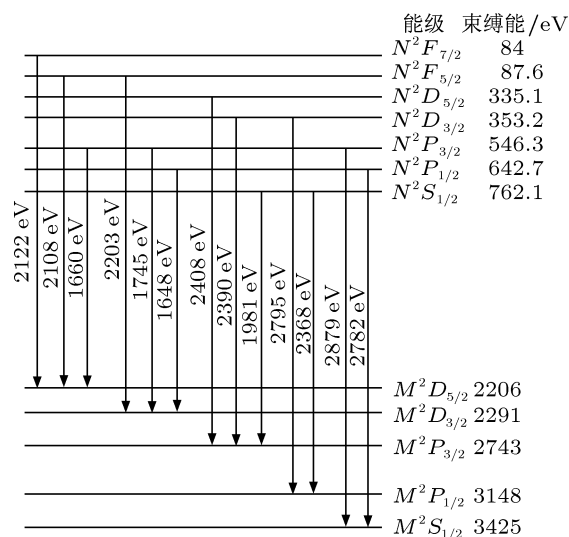


图3 Au 的 N 到 M 壳层电子跃迁激发的 X 射线

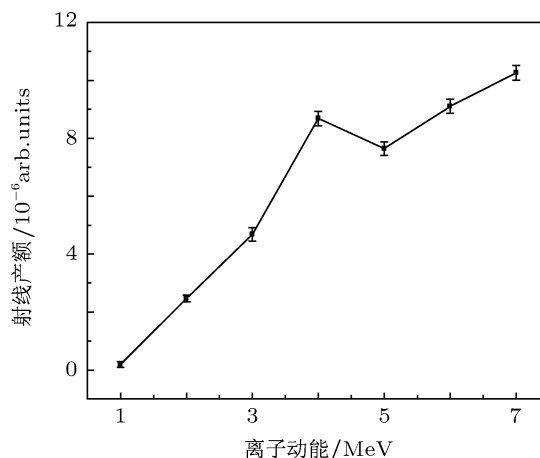


图4 Au 的 M -X 射线产额与入射离子动能的关系

在半经典两体碰撞近似下, 我们粗略地估计了炮弹离子通过碰撞诱发靶原子内壳层空穴的动能阈值. 首先, 形成靶原子内壳层空穴的必要条件是炮弹离子可以充分地接近靶原子, 根据能量和动量守恒定律, 可以由以下两式确定对心碰撞时两核逼近的最小距离 d :

$$E = \frac{1}{2}m_1v^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2Z_1'Z_2'}{d} + \frac{1}{2}(m_1 + m_2)V^2, \quad (2)$$

$$m_1v = (m_1 + m_2)V, \quad (3)$$

Z_1' 和 Z_2' 分别是考虑核外电子屏蔽后炮弹离子和靶原子距离最近时的有效核电荷数, E 是炮弹离子的入射动能, v 是炮弹离子的入射速度, V 是炮弹离子和靶原子在最小距离处的共同速度, m_1 和 m_2 分别是炮弹离子和靶原子的质量, e 和 ϵ_0 分别是基本电荷电量和真空介电常数. 其次, 靶原子内壳层电子被激发的条件是其受到炮弹离子的库仑势能大于或等于其在靶原子中的束缚能 E_{2b} , 此时 d 也是靶原子内壳层电子到炮弹离子核的平均距离, 则

$$E_{2b} = \frac{e^2Z_1'}{4\pi\epsilon_0d}. \quad (4)$$

由 (2),(3) 和 (4) 式可得高电荷态离子诱发靶原子内壳层空穴的动能阈值为

$$E_{th} = \frac{Z_2'(m_1 + m_2)}{m_2} \cdot E_{2b}. \quad (5)$$

根据图 3, Xe^{30+} 与 Au 作用产生 Au 的 M -X 射线, 碰撞过程至少应激发出 Au 的 $3D_{5/2}$ 态空穴, 该态电子的束缚能 E_{2b} 为 2206 eV, 有效电荷数 Z_2' 可取为 $79 - 10 = 69$, 由 (5) 式可求出 Au 的 M -X 射线对应的 Xe^{30+} 离子动能阈值为 0.252 MeV. 动能阈值是考虑炮弹离子与靶原子正碰时确定的, 而正碰的概率极低, 所以, 当炮弹离子的动能明显大于动能阈值时, 才可能探测到相应的 Au 的 M -X 射线. 根据文献 [9] 的报道, Xe^{q+} 激发 Au 的 M -X 射线的动能阈值应小于 0.350 MeV, 上述计算值符合这一结果.

根据 (2) 和 (3) 式, Xe^{30+} 的入射动能为 2.0 MeV 时, 离子与靶原子核间最近距离达到 4.3×10^{-12} m, 该距离处 Au 的 M 壳层电子受到 Xe 核的强库仑作用发生电离, 形成空穴, 空穴退激, 发射 Au 的 M -X 射线. 入射离子与靶金属作用过程既受到靶原子电子阻止, 也受到靶原子核的库仑阻止, 电子阻止导致离子动能损失, 核库仑阻止导致离子动能向靶原子转移, 而且, 作用过程

必然引起离子与靶原子、靶原子与靶原子的次级碰撞. 当入射离子动能足够强时, 首次碰撞激发靶原子内层电子的概率增强, 同时, 次级碰撞也可能激发靶原子内层电子, 导致 Au 的 M -X 射线产额随 Xe^{30+} 的入射动能的增加显著增加.

当 Xe^{30+} 的入射动能从 4.0 MeV 增至 5.0 MeV 时, Au 的 M -X 射线产额不增反降. 这是因为该动能时, 入射离子明显激发出了 Xe 的 L -X 射线, 说明 Xe 的 L 壳层已形成空穴. 此时, 激发 Xe 的 L 壳层电子消耗了 Xe 离子的大量动能, 同时, Xe 离子受到的电子阻止作用显著增强, 动能损失也明显加剧.

3.2 相互作用激发 Xe 的 L -X 射线

根据 LBNL 提供的数据, 图 5 给出了 Xe 的 L 到 M 壳层不同状态的电子束缚能, 以及满足跃迁规则的跃迁激发的 X 射线能量. 共 7 条 X 射线, 其能量范围为 3.637—4.512 keV, 各条 X 射线的能量在图 2(c) 相应能位标出. 由于射线探测分辨率 (FWHM) 为 0.146 keV, 能量间隔小的射线也存在叠加, 射线峰显示不明显, 但 Xe 的 L -X 射线的探测结果与资料提供的数据总体符合得很好.

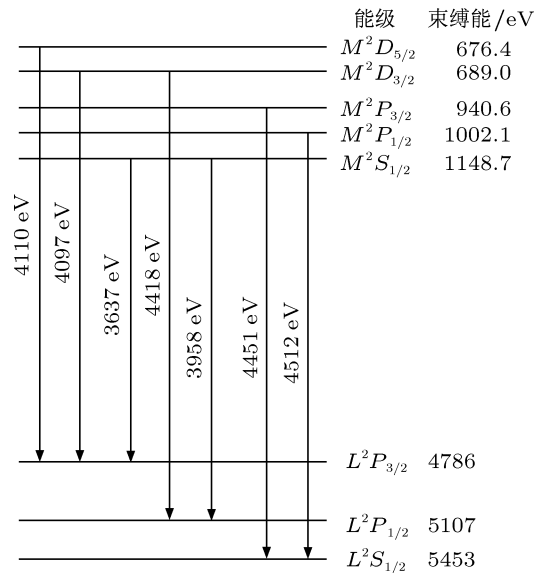


图 5 Xe 的 M 到 L 壳层电子跃迁激发的 X 射线

根据 (1) 式我们计算了不同入射动能时 Xe 的 L -X 射线谱中 $M^2S_{1/2}-L^2P_{1/2}$, $M^2D_{3/2}-L^2P_{3/2}$ 及 $M^2D_{5/2}-L^2P_{3/2}$ 三条线的单离子射线总产额, 其产额随入射动能的变化见图 6, 射线产额的误差由误差线给出. 可见, 也存在一动能阈值, 入

射离子动能低于该阈值时,无法激发出 Xe 的 L-X 射线, X 射线产额随离子动能的增加也呈明显增加的趋势.

当 Xe³⁰⁺ 的入射动能达到一定值时,碰撞过程离子与靶原子核间最近的距离很近,该距离处 Au 的 M 壳层电子受到 Xe 核的强库仑作用会发生电离,同时, Xe 的 L 壳层电子也会受到 Au 核的强库仑作用而电离,形成空穴,空穴退激,发射 Xe 的 L-X 射线.对于 Xe³⁰⁺ 离子激发 Xe 的 L-X 射线的动能阈值问题,仍考虑离子与靶原子发生对心碰撞的情况,要产生 Xe 的 L 层空穴,要求离子与靶原子距离最近时, Xe 的 L 壳层电子受到 Au 原子核有效电荷的库仑势能必须大于等于其在 Xe 中的束缚能,类似 (5) 式有

$$E_{1b} = e^2 Z_1' / (4\pi\epsilon_0 d). \quad (6)$$

结合 (2) 和 (3) 式可得 Xe³⁰⁺ 离子激发 Xe 的 L-X 射线的动能阈值满足

$$E_{th} = \frac{Z_1'(m_1 + m_2)}{m_2} \cdot E_{1b}. \quad (7)$$

由于此时 Xe 离子还未退激,该束缚能 E_{1b} 可取 Xe 的 2P_{5/2} 态电子的电离能 7660 eV, Xe 的核有效电荷数 Z₁' 可取为 54 - 2 = 52, 则 Xe 离子入射 Au 激发 Xe 的 L-X 射线的动能阈值为 0.659 MeV. 从图 6 可知,入射离子动能等于 1.0 MeV 时, Xe 的 L-X 射线谱中 M²S_{1/2}-L²P_{1/2}, M²D_{3/2}-L²P_{3/2} 及 M²D_{5/2}-L²P_{3/2} 三条线的单离子射线总产额已非常低,说明这一计算值与实验结果是相符的.

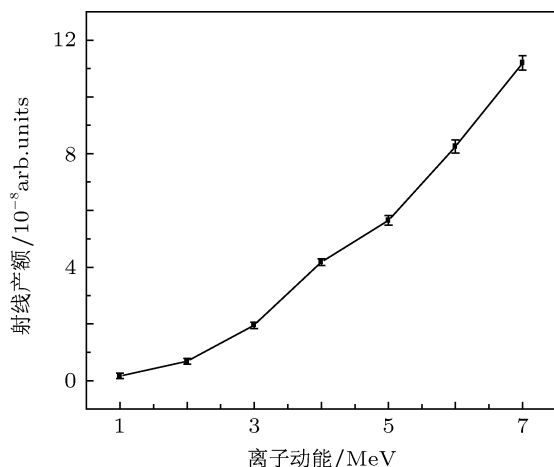


图 6 Xe 的 L-X 射线产额与入射离子动能的关系

动能阈值是考虑离子与原子对心碰撞时得到的结果,当入射离子动能较大时,非对心碰撞也可能激发 Xe 的 L 壳层空穴,入射离子动能越大,激发 Xe 的 L 壳层空穴的概率就越大,导致

射线产额随入射离子动能的增大而明显增加. 总之,由于靶原子的电子阻止和核库仑阻止,入射的 Xe³⁰⁺ 下表面过程发生了进一步电离,离子入射动能为 7.0 MeV 时,射线谱中明显出现了 Xe 的 M²P_{3/2}-L²S_{1/2} 及 M²P_{1/2}-L²S_{1/2} 线,说明存在 Xe³⁰⁺ 电离 2S_{1/2} 态电子的情况.

射线谱中能量低于 1.5 keV 的射线是 Xe 的 M 壳层及 Au 的 N 壳层空穴退激的结果^[12],由于 Xe 的 M 壳层及 Au 的 N 壳层出现了较多空穴,产生大量伴线,又受探测分辨率的限制,使该能量段的射线呈连续谱特征.

4 结论

用 1.0—7.0 MeV 的 Xe³⁰⁺ 入射 Au 表面,离子上表面过程形成了 Xe 的空心原子,但由于过程时间短,空心原子来不及退激.入射离子下表面过程,快速离子的动能沉积通过靶原子的电子阻止和核库仑阻止实现,电子阻止消耗离子部分动能,核库仑阻止导致离子动能向靶原子转移.较大动能的 Xe³⁰⁺ 与 Au 原子碰撞时,离子与原子核间距很小,该距离处离子与原子的核库仑势均很强.当离子入射动能大于 Au 的 M-X 射线对应的动能阈值时, Xe 的核库仑势导致 Au 的 M 壳层电子受激,形成空穴,发射 Au 的 M-X 射线.当离子入射动能大于 Xe 的 L-X 射线对应的动能阈值时, Au 的核库仑势同时导致 Xe 的 L 壳层电子受激,形成空穴,发射 Xe 的 L-X 射线,此时 Xe³⁰⁺ 下表面过程发生了进一步电离,且入射离子动能为 7.0 MeV 时,射线谱中明显出现了 Xe 的 M²P_{3/2}-L²S_{1/2} 及 M²P_{1/2}-L²S_{1/2} 线,说明存在 Xe³⁰⁺ 电离 2S_{1/2} 态电子的情况.入射离子动能越大,碰撞激发靶原子及入射离子内壳层空穴的概率越大,使 Au 的 M-X 射线及 Xe 的 L-X 射线单离子产额均随入射离子动能的增大呈增加的趋势.但当 Xe³⁰⁺ 的入射动能从 4.0 MeV 增至 5.0 MeV 时,入射离子明显激发出了 Xe 的 L-X 射线,消耗了离子部分动能,同时,离子受到的电子阻止作用显著增强,动能损失明显加剧,导致 Au 的 M-X 射线产额不增反降.关于 4.0 MeV 处出现的射线产额峰值问题,由于测量点较少,还需进一步研究.

作者对兰州重离子加速器国家实验室 320 kV 高电荷态离子综合研究平台全体工作人员的辛勤工作表示衷心感谢.

- [1] Gillaspay J D 2001 *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **34** R93
- [2] Behar E, Jacobs V L, Oreg J 2004 *Phys. Rev. A* **69** 022704
- [3] Burgdörfer J, Lerner P, Meyer F W 1991 *Phys. Rev. A* **44** 5674
- [4] Schenkel T, Briere M A, Schmidt-Böcking H, Bethge K, Schneider D 1997 *Phys. Rev. Lett.* **78** 2481
- [5] Karim K R, Grabe S R, Bhalla C P 1996 *J. Phys. B* **29** 4007
- [6] Wang Y Y, Zhao Y T, Xiao G Q, Fang Y, Zhang X A, Wang T S, Wang S W, Peng H B 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 673 (in Chinese) [王瑜玉, 赵永涛, 肖国青, 房燕, 张小安, 王铁山, 王释伟, 彭海波 2006 物理学报 **55** 673]
- [7] Wang J G, Xu Z F, Zhao Y T, Wang Y Y, Li D H, Zhao D, Xiao G Q 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 7803 (in Chinese) [王建国, 徐志峰, 赵永涛, 王瑜玉, 李德慧, 赵迪, 肖国青 2010 物理学报 **59** 7803]
- [8] Yang Z H, Song Z Y, Chen X M, Zhang X A, Zhang Y P, Zhao Y T, Cui Y, Zhang H Q, Xu X, Shao J X, Yu D Y, Cai X H 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 2221 (in Chinese) [杨治虎, 宋张勇, 陈熙萌, 张小安, 张艳萍, 赵永涛, 崔莹, 张红强, 徐徐, 邵建雄, 于得洋, 蔡晓红 2006 物理学报 **55** 2221]
- [9] Zhang X A, Xiao G Q, Yang Z H, Chen X M, Zhao Y T, Li F L, Wang L, Cui Y, Zhang H Q, Zhan W L 2007 *Science in China G* **37** 464 (in Chinese) [张小安, 肖国青, 杨治虎, 陈熙萌, 赵永涛, 李福利, 王立, 崔莹, 张红强, 詹文龙 2007 中国科学 G 辑 **37** 464]
- [10] Zou X R, Shao J X, Chen X M, Cui Y 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 6064 (in Chinese) [邹贤容, 邵剑雄, 陈熙萌, 崔莹 2010 物理学报 **59** 6064]
- [11] Wang Y Y, Zhao Y T, Fang Y, Xiao G Q, Wang T S 2006 *J. At. Mol. Phys.* **23** 384 (in Chinese) [王瑜玉, 赵永涛, 房燕, 肖国青, 王铁山 2006 原子与分子物理学报 **23** 384]
- [12] Song Z Y, Yang Z H, Shao J X, Cui Y, Zhang H Q, Ruan F F, Du J, Gao Z M, Yu D Y 2009 *Chin. Phys. B* **18** 1443
- [13] Xu Q M, Yang Z H, Du S B, Chang H W, Zhang Y P 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 093202 (in Chinese) [徐秋梅, 杨治虎, 杜树斌, 常宏伟, 张艳萍 2011 物理学报 **60** 093202]
- [14] Azuma T, Takabayashi Y, Kondo C, Muranaka T, Komaki K, Yamazaki Y, Takada E, Murakami T 2006 *Phys. Rev. Lett.* **97** 145502
- [15] Lemell C, Winter H P, Aumayr F 1996 *Phys. Rev. A* **53** 880

Au *L* X-ray and Xe *M* X-ray emission following $^{129}\text{Xe}^{30+}$ ion impact on Au surface*

Li Yao-Zong¹⁾ Zhang Xiao-An^{1)2)†} Liang Chang-Hui¹⁾ Zhao Yong-Tao²⁾
 Cheng Rui²⁾ Zhou Xian-Ming²⁾ Wang Xing²⁾ Lei Yu²⁾
 Sun Yuan-Bo²⁾ Xu Ge²⁾

1) (*Xianyang Normal University and Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences Jointly Established: Laboratory of Ion Beam and Photophysics, Xianyang 712000, China*)

2) (*Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

(Received 17 December 2010; revised manuscript received 22 June 2011)

Abstract

The X-ray emission due to the impact of $^{129}\text{Xe}^{30+}$ ions of 1.0—7.0 MeV kinetic energies on Au surface is detected. The experimental result shows that when ion kinetic energy is larger the incident ion excites not only Au *M* X-ray but also Xe *L* X-ray. The X-ray yield and the ion kinetic energy have a strong correlation with each other. The relationship between the X-ray yield with ion kinetic energy is analyzed.

Keywords: highly charged ions, X-ray yield, ion kinetic energy

PACS: 32.30.Rj, 32.70.Jz, 34.50.Fa

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11075135), the Natural Science Foundation of Shaanxi Province, China (Grant No. 2010JM1012), and the Science Research Foundation of Xianyang Normal University (Grant No. 11XSYK203).

† E-mail: zhangxiaonan2000@yahoo.com.cn