

文章编号: 1007-4627(2006)04-0424-03

## $^{40}\text{Ar} + ^{238}\text{U}$ 实验介绍\*

范红梅, 黄明辉, 甘再国, 郭俊盛, 吴晓蕾, 郭 斌, 秦 芝, 邬智君,

黄天衡, 谢成营, 王华磊, 宋立涛

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 主要介绍了利用兰州重离子加速器提供的 270 MeV 的  $^{40}\text{Ar}$  离子束轰击  $^{238}\text{U}$  靶, 通过熔合蒸发反应进行试合成  $Z=110$  附近的新同位素的实验情况。分析了目前关于超重核研究的现状并描述了这次实验的目的、可行性分析、实验装置以及实验过程等。本次实验仍然用氦喷嘴技术对产物进行传输, 并用一套具有数对探测器组的转轮收集探测系统对产物进行收集和测量。

**关键词:** 衰变链; 靶室; 可行性分析

**中图分类号:** O571.6 **文献标识码:** A

### 1 引言

自从 20 世纪 60 年代开始, 核理论根据壳模型预言存在超重元素稳定岛以来, 国际上的几个重要核物理实验室都积极地开展了超重元素的合成研究。经过人们几十年不懈的努力, 围绕超重岛的合成和研究工作有了较大的进展。到目前为止, 已经发表了很多关于这些工作的评述性文章。我国在新元素的合成和研究方面目前还是个空白, 但是在这些超重元素的同位素合成方面有了一定的进展, 2000 年及 2003 年相继合成超重新核素  $^{259}\text{Db}^{[1]}$  和  $^{265}\text{Bh}^{[2]}$ 。同时 2005 年在对设备改进的基础上, 对于 110 号元素 (Ds) 的同位素进行了尝试性的合成实验。

关于 110 号元素, 1995 年在德国 Munzenberg 等首次利用  $^{62}\text{Ni} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{270}110^*$  冷熔合反应观测到 110 号元素的  $^{269}\text{Ds}^{[3]}$  后, 到现在各国的科学家已先后合成了  $^{267}110^{[4]}$ ,  $^{269}110$ ,  $^{270}110^{[5]}$ ,  $^{271}110^{[6]}$ ,  $^{273}110^{[7]}$ ,  $^{279}110^{[8]}$ ,  $^{280}110^{[9]}$  和  $^{281}110^{[10]}$  等同位素。他们不但测到了其中  $^{270}110$ ,  $^{271}110$  和  $^{273}110$  的基态  $\alpha$  衰变, 同时也测到了其同质异能态的  $\alpha$  衰变。而我们这次试合成实验中采用了  $^{40}\text{Ar} + ^{238}\text{U} \rightarrow ^{278}110^*$  反应, 希望通过蒸发 4 个和 3 个中子分别研究  $^{274}110$  和  $^{275}110$ 。

### 2 实验方法及可行性分析

#### 2.1 实验目的

这次实验共有两个目的: 其一, 试合成和研究超重新核素  $^{274}110$  和  $^{275}110$ ; 其二, 对新加工的实验装置进行检验。近期 HIRFL-SFC 改造完成, 能够提供的离子束流强度有了很大的增加, 为此我们对实验装置进行了改造, 增加了双窗冷却装置。通过这次实验可以对实验装置的改造效果及其设备的可靠性进行检验。

#### 2.2 实验方法

在超重核合成中, 随着合成核素原子序数的增加, 其产生截面越来越小, 通常是几天或更长的时间才能产生一个原子。在对超重核进行合成和研究时, 通过母核与子核间的衰变链来鉴别核素, 这种鉴别方法被广泛地应用于当前超重核合成研究中。在已经合成的超重元素中, 从 106 号元素开始一直到现在合成的最重元素 116 号, 实验中均采用这种鉴别方法来鉴别, 本次实验仍然沿用了这种鉴别方法。 $^{274}110$  的衰变链如图 1 所示。对核素  $^{274}110$  而言, 其子核和孙子核分别为  $^{270}\text{Hs}$  和  $^{266}\text{Sg}$ , 这两个核均为已知核, 这对于实验中建立母子核之间的关联关系, 从而指定和鉴别  $^{274}110$  核十分有利, 即通

\* 收稿日期: 2006-07-07; 修改日期: 2006-09-20

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10475099)

作者简介: 范红梅(1966-), 女(汉族), 甘肃平凉人, 副研究员, 从事实验核物理研究; E-mail: fanhm@impcas.ac.cn

过观测新核素  $^{274}\text{110}$  和它的已知子核  $^{270}\text{Hs}$  和  $^{266}\text{Sg}$  之间的  $\alpha$  衰变的关联就可实现对新核素的鉴别。

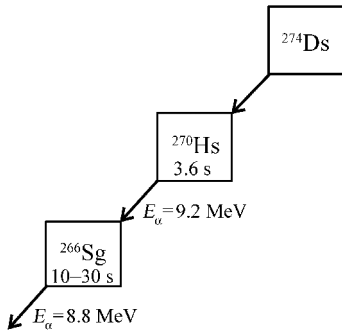


图 1  $^{274}\text{Ds}$  的部分衰变链

### 2.3 可行性分析

本次实验选取  $^{40}\text{Ar}+^{238}\text{U}$  的热熔合反应来产生目标核。对于  $^{40}\text{Ar}+^{238}\text{U}\rightarrow^{278}\text{110}^*\rightarrow^{274}\text{110}(^{275}\text{110})+4n(3n)$  的方案可行性进行了估算,利用 Hivap 程序计算表明该反应道的反应截面在几个 pb 左右。同时根据产生率  $N=\text{靶粒子数}\cdot\text{流强}\cdot\text{截面}$  的算法(截面按照 1 pb 计算),经过估算 100 h 可产生的事件数为 60 个。在考虑到传输效率 70%、探测效率 30% 以及其它许多不可估计因素(如截面更小等),可能存在 10% 的偏差,则 100 h 可能测量到的计数为 1.26 个。如果我们进行 200 h 的实验,有希望至少测到 2—3 个计数。

## 3 实验装置及实验

本次实验采用类似文献[11]的 He 喷嘴系统,但对该系统进行了必要的改进,尤其是对靶室进行了全面的改造。图 2 给出了新设计的靶室,这套靶室最主要的特点是增加了双窗冷却系统,同时更大地发挥了氦气的作用。在该系统中,首先用氦气对隔断加速器真空的窗及靶衬进行冷却,该氦气随后被回收,加入添加剂后送入热化室,反应产物从靶中反冲出来并在热化室中被一个大气压的氦气热化,然后随氦气流经由一根内径为 1.4 mm、长 1.2 m 的毛细管进入低本底区的收集测量系统,进行分析和测量。在该过程中,氦喷嘴毛细管传输系统的传输时间约为 0.2 s,传输效率为  $(70\pm 10)\%$ 。

实验利用中国科学院近代物理研究所的 SFC 加速器提供的能量为 270 MeV、强度为 1.3—2.3  $\mu\text{A}$  的  $^{40}\text{Ar}$  束流轰击厚度为  $2\text{ mg/cm}^2$  的  $^{238}\text{U}$  靶,反

冲产物随着带有食盐微粒的氦气进入热化室,气体通过毛细管喷出后收集到远离反应区的小圆孔的有机膜上,然后由步进电机带动装有收集膜的轮子每隔 5 s 转动一次,每次前进两个孔的位置(即双孔步进),使得带有活性的有机膜总是处在两个探测器之间被探测。这种模式既适合于测量母核,同时又能收集到衰变的子体。转轮以这种模式一直运行到下面探测器测量到能量在 8.5—11 MeV 之间的  $\alpha$  粒子为止。这时假定子核也已从有机膜上反冲到上面探测器的表面,系统就改变成子核探测模式(即单孔步进模式)。此时,轮子的大孔(空孔)位置处在各对探测器之间,两个探测器同时测量子核的衰变且在这种探测模式下维持 20 s。在此条件下子核就在接近  $4\pi$  立体角的条件下被测量,从而大大提高了探测器组对子核的测量效率,同时也大大降低了测量本底,消除了来自收集源的偶然事件。子核模式运行结束后,又单步运行至具有活性的有机膜位置,重新开始母核探测模式。有关该转轮基本工作原理以及装置图等更详细的介绍见文献[12]。

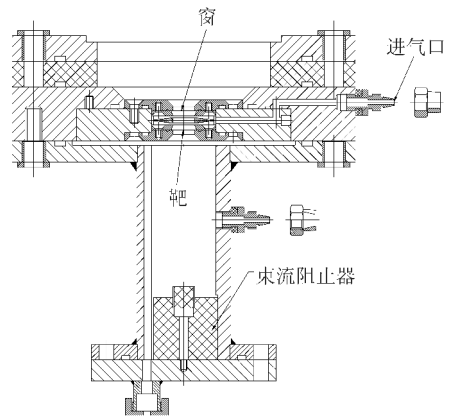


图 2 靶室结构示意图

实验共进行了 200 h,实验中以逐个事件的方式对观测到的反应产物的  $\alpha$  衰变事件做了记录,同时记录测量到该衰变的探测器编号及衰变时间。

## 4 总结

实验中最强束流达到了 2.3  $\mu\text{A}$ ,窗及靶衬经过长时间的轰击完好无损,通过这次实验检验了系统的冷却效果。目前实验数据正在处理之中。

## 参 考 文 献:

- [1] Gan Z G, Qin Z, Fan H M. Euro. Phys J, 2001, **A10**: 21.
- [2] Gan Z G, Guo J S, Wu X L, *et al.* Euro. Phys J, 2004, **A20**: 385.
- [3] Ninov V, Hessberger F P, Armbruster P, *et al.* Z Phys, 1995, **A350**: 277.
- [4] Giorso A, Lee D, Somerville L P, *et al.* Nucl Phys, 1995, **A583**: 861c.
- [5] Hofmann S, Hessberger F P, Ackermann D, *et al.* Euro Phys J, 2001, **A10**: 5.
- [6] Hofmann S. Rep Prog Phys, 1998, **61**: 639.
- [7] Lazarev Yu A, Lobanov Yu V, Oganessian Yu Ts, *et al.* Phys Rev, 1996, **C54**: 620.
- [8] Oganessian Yu Ts, Utyonkov V K, Lobanov Yu V, *et al.* Phys Rev, 2000, **C62**: 041 604.
- [9] Oganessian Yu Ts, Utyonkov V K, Lobanov Yu V, *et al.* Phys Rev, 2001, **C63**: 011 301.
- [10] Oganessian Yu Ts, Utyonkov V K, Lobanov Yu V, *et al.* Phys Rev Lett, 1999, **83**: 3 154.
- [11] 吴晓蕾, 甘再国, 郭俊盛等. 核技术, 2005, **28**(6): 438.
- [12] 范红梅, 吴晓蕾, 郭俊盛等. 高能物理与核物理, 2005, **29**(5): 451.

## Introduction of $^{40}\text{Ar}+^{238}\text{U}$ Experiment<sup>\*</sup>

FAN Hong-mei, HUANG Ming-hui, GAN Zai-guo, GUO Jun-sheng, WU Xiao-lei, GUO Bin, QIN Zhi, WU Zhi-jun,  
HUANG Tian-heng, XIE Cheng-ying, WANG Hua-lei, SONG Li-tao

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

**Abstract:** The state of the experiment to produce the new isotopes around  $Z=110$  are presented in this paper. The emphasis is laid upon introducing the experiment purpose, the set-up and the feasibility for producing this objective nuclide. In the experiment the new isotopes were produced by the complete fusion-evaporation reaction of  $^{238}\text{U}$  with 270 MeV  $^{40}\text{Ar}$  at the Sector Focus Cyclotron (SFC) of Heavy Ion Research Facility in Lanzhou(HIRFL). The reaction products were also transported and collected by using the helium-jet technique and rotating wheel apparatus.

**Key words:** decay chain; target chamber; analysis of feasibility

\* **Foundation item:** National Natural Science Foundation of China(10475099)