

# 在线同位素分离装置的靶系统设计方法\*

张天爵

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

G. D. Alton

(Oak Ridge National Lab., P. O. Box 2008, Oak Ridge, TN 37831, USA)

**摘要** 产生放射性核束的在线同位素分离装置的靶系统设计是整个装置产生效率的关键环节。在 ORNL 的窄高斯分布的离子注入模型的基础上,研究了不同的靶的几何形状和尺寸、不同的温度条件、半衰期不同的放射性核素等对释放时间特性的影响,这对设计具有快速释放过程的靶系统,具有直接的实用价值。

基于德国 ZFK 关于表面物理的实验测量数据,用 Monte Carlo 统计的方法来模拟放射性核素从靶材料表面到在线离子源的电离室的传输过程,对大量的放射性核素-传输管材料组合,和不同尺寸的传输管进行了统计计算,从这些统计计算中得到了可用于传输管工程设计的图表和经验公式。

**关键词** 放射性核束 在线同位素分离 靶系统 释放时间特性 传输时间特性

## 1 引言

在产生和加速足够强度的放射性核束的几个主要的挑战中,选择合适靶材是最困难的。在放射性核素的初始形成过程中,主要损失于扩散和表面解吸过程,这是因为这过程本身虽然很短,但它与放射性核素的寿命相比并不是短到可以忽略,因此,为了提高靶系统的总体效率,靶材选择的原则是:(1)对放射性核素有高的产生率(反应截面大);(2)放射性核素在靶中有高的扩散系数,短的扩散距离;(3)从靶表面解吸时,有低的吸收热焓。在 ORNL,利用实验测量和基于第二类 Fick 方程的数值模拟相结合的手段,研究了放射性核素从靶材中扩散出来的时间演化过程,通过比较两者的结果,导出扩散系数,这样推导出来的扩散系统,对于理解不同“核素-靶”组合的扩散过程和表面解吸过程的动力学和化学性质,是十分重要的,文献[1]总结了这一工作,介绍了放射性核素在靶中假定具有窄高斯分布的无限大平面靶和球形靶的研究结果,然而,对于纤维微观结构的固体靶材,采

2001-04-09 收稿,2001-06-18 收修改稿

\* 核工业科学基金(Y7197D0127)资助

用圆柱形靶模型更接近实际情况,对于 $\mu\text{m}$ 量级的靶尺寸,用均匀分布模型应当比用窄高斯分布的离子注入模型更能真实表征放射性核素在靶中的分布,因此,本文利用原有的实验测量数据,建立了具有不同离子分布模型、不同靶几何形状数值模拟程序,研究了多种因素对放射性核素的扩散与解吸过程的影响。

任何时间的延迟,都会导致短寿命放射性核束强度的明显降低,因此,研究放射性核素从靶材料表面释放出来之后,到离子源的传输过程,计算传输时间的统计规律,对选择传输管道的材料及设计管道的尺寸,从而提高 ISOL 装置的整体效率,也是十分重要的。

## 2 在靶材料中的扩散和从靶表面的解吸过程

### 2.1 无限长圆柱体中的扩散过程

放射性核素从无限长圆柱体中扩散出来的强度与时间、温度有关,也与放射性核素和靶材料的组合有关。杂质在固态物体中,只要存在浓度梯度,则扩散过程发生,扩散过程满足第二类 Fick 方程<sup>[2]</sup>:

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \nabla \cdot (D \nabla u) = f, \quad (2.1)$$

式中  $D$  为扩散系数,  $u$  为浓度分布函数,把源项  $f(x, t)$  分解为

$$f(x, t) = s(x, t) - E(x, t),$$

其中  $s(x, t)$  为由于初级束流对靶的照射而产生的放射性核素,  $E(x, t)$  为由于衰变而引起的放射性核素的损失,则方程(2.1)可写为

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} - \nabla \cdot (D \nabla u(x, t)) = s(x, t) - E(x, t). \quad (2.2)$$

数值求解各类扩散问题,文献[3]给出了一些很好的方法。对无限长圆柱体,首先考虑扩散过程

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} - \nabla \cdot (D \nabla u(x, t)) = 0, \quad (2.3)$$

由于靶的尺寸相对小,对  $r$  来讲,  $D$  可以认为是常数,可以拿到微分算子的外面。这个方程的求解,采用差分方法,差分格式为

$$\begin{aligned} \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\Delta t} &= \frac{D}{r} \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2 \cdot \Delta r} + D \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{\Delta r^2}, \\ u_{i,j+1} &= \left( D \frac{\Delta t}{\Delta r^2} - \frac{D}{2r} \frac{\Delta t}{\Delta r} \right) \cdot u_{i-1,j} + \left( 1 - 2D \frac{\Delta t}{\Delta r^2} \right) \cdot u_{i,j} + \left( D \frac{\Delta t}{\Delta r^2} + \frac{D}{2r} \frac{\Delta t}{\Delta r} \right) \cdot u_{i+1,j}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

式中  $i$  代表  $r$  方向,  $j$  代表时间  $t$  的演变。与这个迭代过程类似的有限差分计算流程,文献[4]给出了一些程序可做为参考。

在上述有限差分格式的基础上,由于计算的扩散方程是有源的,并且由于扩散系数  $D$  不是常数,因此在每次迭代中需要增加如下计算:

- 1)  $D$  是时间的函数,因为温度随时间变化,所以每次迭代,要重新计算  $D$ 。
- 2) 每次迭代过程中要考虑到源项  $s(x, t) - E(x, t)$ 。

扩散系数  $D$  与激活能  $H_A$  和温度  $T$  有关, 有如下关系:

$$D = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{H_A}{kT}\right), \quad (2.5)$$

式中  $D_0$  为特定晶格中的原子或孔穴的固有扩散系数,  $k$  为波尔兹曼常数,  $T$  为绝对温度.

## 2.2 模拟过程

建立在方程(2.2)的基础上的模拟过程如下列步骤所示, 由于面向对象编程技术的引入, 使模拟过程具有以下特点: (1) 程序运行过程中, 可以改变初始束流的参数, 就象在实验过程中, 实验条件有时也有变化一样. (2) 可以动态控制时间演变过程, 包括时间步长, 初始束照射的开始与停止时间. (3) 靶中放射性核素的浓度的模拟结果, 实时在屏幕上用图像显示. (4) 模拟可以随时停止, 释放强度随时间的变化特性将可以按图形或文本格式输出.

该程序能够模拟多种靶几何形状、不同放射性核素在靶材料中的分布模型的扩散过程, 步骤如下:

a) 初始化靶中放射性核素的浓度分布.

选定靶材料的模型, 即圆柱形、球形或平面靶. 源项分布函数  $s(x, t)$  由初级束流的能量、靶性质和反应率等决定, 代表由于初级束的辐照而在靶中产生放射性核素的浓度分布, 但在模拟计算中, 做了两种模拟假定, 第一种是, 当靶的尺寸很小时, 假定是均匀分布, 第二种, 如果不能近似为均匀分布, 则认为象是离子注入那样, 具有窄高斯分布

$$s(x, t) \propto \frac{I\sigma n l}{V a Z e \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left\{ \frac{(x - \langle x \rangle)}{a} \right\}^2\right],$$

式中  $a$  为高斯分布的标准偏差,  $\langle x \rangle$  为注入深度,  $I$  为初级束流强度,  $\sigma$  为产生放射性核素的反应截面,  $n$  为每单位体积中的反应核数量,  $l$  为靶的长度,  $V$  为辐照靶的体积,  $Z$  为电荷态,  $e$  为电子电荷.

b) 对扩散过程按离散格式(2.4)做一步迭代, 时间演变  $\Delta t$ .

c) 在第 2 步的差分计算中, 需要根据放射性核素的半衰期, 对浓度分布函数  $u(i, j)$  做修正, 即扣除由于衰变而引起的浓度减少

$$E(x, t) = n \frac{0.69315}{\tau_{1/2}} \Delta t.$$

d) 根据靶表面的浓度分布, 计算能够从靶表面解吸而释放出来的放射性核素.

离子从靶表面解吸, 将会有时间延迟, 因而将导致放射性核素强度的损失, 在迭代过程的这一时刻, 能从靶表面解吸出来的核素为

$$n_{out} = u(r_{max}, t) \cdot \left(1 - \exp\left[-\frac{\Delta t}{\tau}\right]\right),$$

式中  $\tau$  为解吸离子在表面的滞留时间, 由 Frenkel 方程给出:  $\tau = \tau_0 \exp[H_{ad}/kT]$ ,  $H_{ad}$  为放射性核素从表面蒸发出来所需要吸收的能量, 通常在几个 eV 量级,  $\tau_0$  为单一周期振动所需的时间.

e) 由于放射性核素从靶表面释放出来, 以及初级束的辐照产生新的核素, 还有衰变的原

因,因而浓度改变,返回第2步继续迭代.

### 2.3 应用

圆柱体模型更适合于某些固体靶的实际情况,所以首先对固体靶进行模拟研究,模拟计算中所需的扩散系统  $D$ ,由 ORNL 的实验数据导出<sup>[1]</sup>,由方程(2.5)可知,更高的温度,对离子从固体靶中的释放时间有明显作用,这样,也就要求靶能工作于高温而不至于汽化而影响离子源的真空.先计算<sup>17</sup>F从固体靶  $ZrO_2$  中释放出来的速度随靶温度的变化,从而估算由于温度的提高,将会给放射性核素强度带来多少的改善.图1给出温度分别为 1650℃ 和 1900℃ 的扩散与解吸过程的模拟结果,图中横坐标为从束流注入开始的时间,纵坐标为相对于饱和值的扩散浓度,用它来表示靶系统的扩散与解吸过程的整体效率.图1清楚地显示出提高靶温度的重要性,计算中选的 1650℃ 已经超过早期用于产生<sup>17</sup>F的  $Al_2O_3$  在工作压力约为  $2.7 \times 10^{-2}$  Pa 时的温度,而 1900℃ 高温,接近于  $ZrO_2$  在相同压力时的温度,所以,目前产生<sup>17</sup>F的固体靶研究选  $ZrO_2$ .

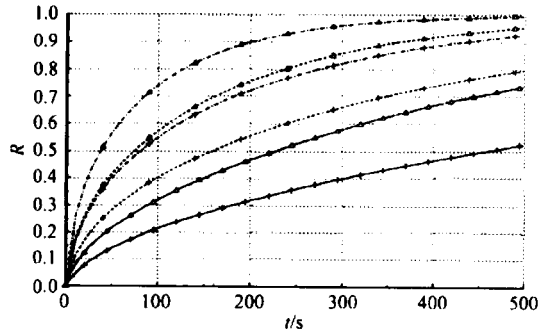


图1 <sup>17</sup>F从固体靶  $ZrO_2$  中的释放时间特性

靶尺寸:  $10\mu m$ , 扩散系数:  $7.7 \times 10^{-8} cm^2/s$ ,

—+—平面靶,靶温:1650℃, - - + - - 圆柱靶,靶温:1650℃,  
 ···+···球形靶,靶温:1650℃, —△—平面靶,靶温:1900℃,  
 - - △ - - 圆柱靶,靶温:1900℃, - · △ · - 球形靶,靶温:1900℃.

这个模拟程序不仅计算圆柱体模型,也修改了原有关于球形和平面靶模型的计算算法,增加均匀分布模型,结合到这个基于面向对象编程的模拟程序中,图1也比较了不同靶模型,包括平面、圆柱体和球形的计算释放强度结果,我们认为用圆柱体模型,对纤维结构的固体靶,应当是更加适合的,而对于另外一些固体靶,如产生<sup>62</sup>Zn的铜粉等,则仍需要用球形模型.

靶系统的设计,最终目的是要使扩散与解吸,以及后面将要讨论的传输时间远短于所产生的放射性核素的寿命.下面的模拟计算,给出了基于反应  $^{28}Si(^3He, n)^{30}S$  而产生<sup>30</sup>S的靶  $SiC$  或  $SiO_2$  的释放时间特性结果比较,半衰期为 1.18s 的<sup>30</sup>S 分别从直径为  $1\mu m$  和  $5\mu m$  的球形靶中的扩散与解吸的过程,显示于图2,由该图可以看到减少靶尺寸的明显作用,考虑到这么小尺寸的靶,离子分布选用均匀分布,同时还计算了相同条件

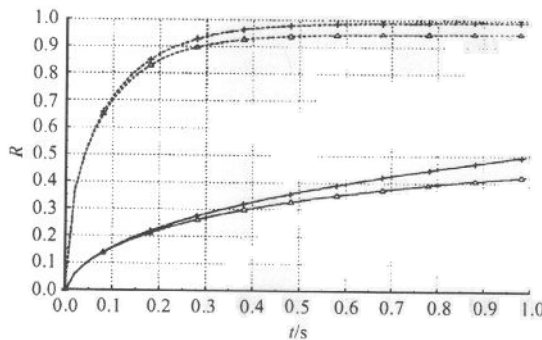


图2 <sup>30</sup>S从  $SiC$  靶的释放时间特性

靶温度:1660℃, 扩散系数:  $1.5 \times 10^{-6} cm^2/s$ ,

- - △ - - 球形靶,靶尺寸:  $\phi 1\mu m$ , 半衰期:1.18s,  
 - - + - - 球形靶,靶尺寸:  $\phi 1\mu m$ , 稳定束,  
 —△—球形靶,靶尺寸:  $\phi 5\mu m$ , 半衰期:1.18s,  
 —+—球形靶,靶尺寸:  $\phi 5\mu m$ , 稳定束.

下稳定束的释放时间特性,比较说明由于扩散与解吸过程所需的时间,而引起的放射性核素强度的减弱,对于更短寿命的放射性核素,或者靶的尺寸增加,由此原因引起的强度减弱的问题,将更加严峻.

### 3 从靶材料表面到离子源的传输过程

在这里,我们仅研究工程中常用的圆形管道.对于理想气体,在管长为  $l$ ,半径为  $R$  的传输管中,由于浓度梯度的作用,从许多经典的文献,可以得到理想气体的流率,而放射性核素在与管壁的碰撞过程中,根据放射性核素与管材料之间的化学特性不同,将会在管壁上滞留长短不同的时间,尽管这样的时间非常短暂,但对于短寿命放射性核素,不应当忽略这样的时间滞留,并且由于它与放射性核素-管材料<sup>1)</sup>组合紧密相关,所以在选择管材料时,不仅要考虑到耐高温,更要注重选择对传输放射性核素具有低的表面蒸发能  $H_{ad}$  的材料,由于这样的传输过程,不能用理想气体近似,通过 Monte Carlo 统计的方法来模拟这一过程,对大量的放射性核素-管材料组合,和不同尺寸的传输管进行了统计计算,从这些统计计算中得到了一些图表和经验公式,可用于传输管的工程设计,在用 Monte Carlo 方法做统计计算过程中, $H_{ad}$  的数值采用了德国 ZFK 的实验测量数据<sup>2)</sup>.

#### 3.1 模拟过程

- a) 在管的入口投入  $10^4 - 10^5$  个粒子做计算.
- b) 随机产生每个粒子的初始位置  $(r, \theta)$ .
- c) 跟踪每个粒子的运动轨迹,记录与管壁的碰撞次数  $N_b$  和在管中的行程全长  $L$ .
- d) 得到每个粒子在管中的滞留时间,由两部分组成:

- (1) 运动所需的时间

$$t_1 = L/\bar{v},$$

式中  $\bar{v} = \sqrt{8kT/\pi m}$  为麦氏平均速度,  $m$  为粒子质量.

- (2) 碰撞管壁的粘滞时间

$$t_2 = N_b \cdot P \cdot \tau_0 \cdot \exp\left[\frac{H_{ad}}{kT}\right],$$

式中  $P$  为粘滞概率.

- e) 统计走出传输管道的粒子输运的传输时间特性  $n(t)$ , 即时刻  $t$  能走出传输管的粒子数.

1) 或内壁的镀层材料,下同,将不再注明.

2) H. Roßbach und B. Eichler, "Absorption von Metallen auf metallische Oberflächen und Möglichkeiten ihrer Nutzung in der Kernchemie", Ermittlung von Adsorptionseffizienzen mit dem Rechenprogramm AMO, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kernforschung Rossendorf bei Dresden, Deutschland, Zfk Report 527, June 1984.

### 3.2 应用

基于上述计算思路,编写模拟计算程序,对一些元素和化合物在 Ta, Ir, Re, Nb 和 Mo 传输管中的传输时间特性,进行了模拟计算,这些元素包括:He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn, Li, K, Fr, Cu, Au, Ga, Ni, Si, Ge, Sn 和 As, 化合物有:ZrO, ZrF 和 Cs. 在这些计算中,表面蒸发能  $H_{ad}$  的值,大多数采用 ZFK 的实验测量数据,其中 Fr 没有实验数据,是根据 Na, K, Rb, Cs 的测量值外推得到的,惰性气体的  $H_{ad}$  值,取为  $0.37eV^{1.5}$ . 在初始的模拟计算中,传输管的尺寸首先采用 HRIBF 的传输管尺寸,  $\phi 5.85mm \times 126.2mm$ , 温度为  $2000^{\circ}C$ , 这些计算所得到的传输时间特性,列举几个主要例子,分别如图 3 至 5 所示.

通过分析模拟计算的结果,发现传输时间特性可以用如下公式近似表示:

$$n(t) = N_0 e^{-t/\tau},$$

$$\tau = \frac{3}{4} \left[ N_0 \tau_0 e^{H_{ad}/kT} + \frac{L}{v} \right], \tag{3.1}$$

其中  $N_0$  为总粒子数. 对于不同放射性核素-管材料组合,其表征传输快慢的特征时间  $\tau$ , 计算结果列于表 1. 传输管设计的主要任务,就是要选择适当的管材料和管的几何尺寸,确保传输过程的特征时间  $\tau$  与放射性核素的半衰期相比是比较短的.

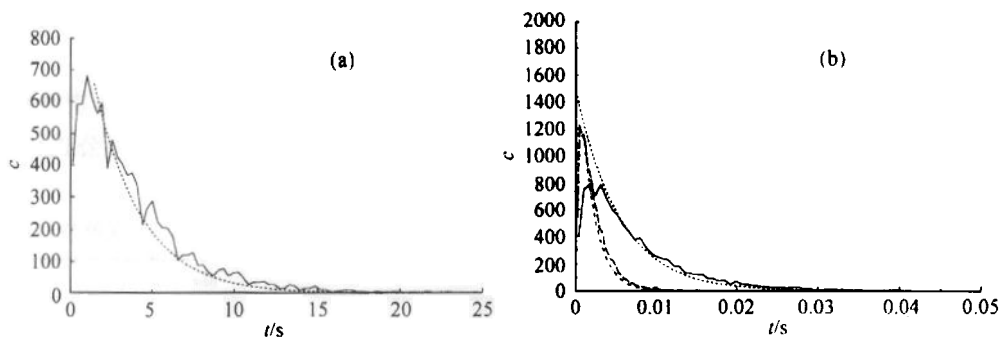


图 3

(a) As 在 Ta 管中的传输时间特性  
——M-C 仿真, - - - -经验公式.

(b) As 在 Ir, Re 管中的传输时间特性  
——M-C 仿真, Ir, - - - - M-C 仿真, Re.  
----经验公式, Ir, · · · · -经验公式, Re.

通过对这些在元素周期表中有一定分布规律的元素计算,可以粗略把元素分为两类,一类是对管材料敏感的,即  $\tau$  随管材料的不同,变化范围很大,例如 As 在 Ta 管中的传输,  $\tau$  为  $3.66s$ ,而在 Re 管中的传输,  $\tau$  为  $2.29 \times 10^{-3}s$ ,这类元素有:As, Ge, Si, Sn 等,图 3 显示了 As 在不同管中的传输时间特性,对于这类元素,管材料选 Re 或 Ir 是更加合理的,这对于超短寿命的放射性核素尤其重要;另一类为对管材料不敏感的,包括惰性气体和 Li, K, Fr, Cu, Au 和 Ga 等,例如惰性气体由于其  $H_{ad}$  值很低,传输特性完全由温度和气体的质量决定(图 4),其它元素,例如 Cu, Ga, 对不同管材料的  $\tau$ , 变化不大(图 5). 对于 3 种化合物的计算,它们在各种管中的传输都很快,只有 Cs 在 Ta 管中的传输,  $\tau$  达到  $1.83s$ ,所以应选 Re 管材料,这就是我们选择化合物形式的原因,当然,这时需要综合考虑对后面在线离子源电离效率的影响.

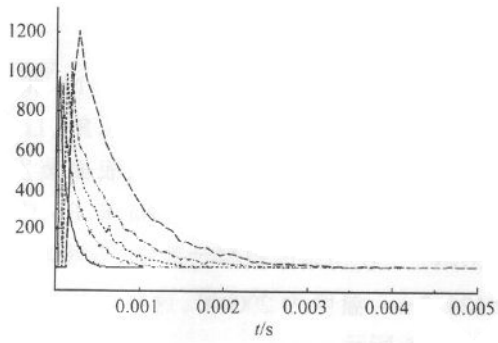


图 4 He, Ne, Ar, Kr 和 Xe 在 Ta 管中的传输时间特性

— He, ····· Ne, ····· Ar, ····· Kr, — Xe.

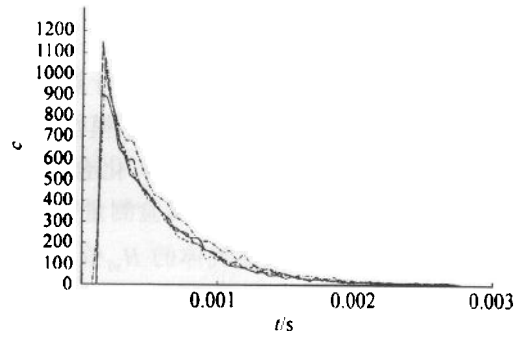


图 5 Cu 在 Ta, Ir, Re 和 Nb 管中的传输时间特性

····· Re, — Ir, ····· Ta, — Nb.

除了用 HRIBF 的传输管的尺寸做模拟计算以外,我们还研究了传输时间特性随管尺寸的变化规律. 从公式(3.1),我们可以知道  $\tau$  分别与每离子与管壁的平均碰撞次数  $N_0$  和每粒子在管中的平均运动距离  $L$  成正比. 理论上,  $N_0$  和  $L$  的统计计算结果只与管的尺寸有关,与管的材料、传输放射性核素种类和温度无关,对各种放射性核素-管材料组合做模拟计算,得到  $N_0$  和  $L$  对管的长度和半径的依赖关系列于表 2 和表 3.

因此,传输管的设计,可以先从工程实际情况假定管的尺寸  $R$  和  $l$ ,通过查表 2 和表 3,得到  $N_0$  和  $L$ ,再考虑到传输粒子与管材料之间的性质和工作温度,就可以用公式(3.1)估算粒子传输的时间特性,以优化传输管的设计.

表 1 各种放射性核素-管材料组合的特征时间  $\tau$  (单位:s)

	Ta	Ir	Re	Nb	Mo	W
He	$1.0096 \times 10^{-4}$					
Ne	$2.1281 \times 10^{-4}$					
Ar	$2.9361 \times 10^{-4}$					
Kr	$4.2903 \times 10^{-4}$					
Xe	$5.8147 \times 10^{-4}$					
Rn	$7.3366 \times 10^{-4}$					
Li	$1.3853 \times 10^{-4}$	$1.2912 \times 10^{-4}$	$1.2333 \times 10^{-4}$	$1.1629 \times 10^{-4}$		
K	$3.1768 \times 10^{-4}$					
Fr	$7.1528 \times 10^{-4}$					
Cu	$4.6003 \times 10^{-4}$	$3.9815 \times 10^{-4}$	$3.9676 \times 10^{-4}$	$4.3704 \times 10^{-4}$		
Au	$6.9322 \times 10^{-4}$					
Ga	$8.2728 \times 10^{-4}$	$1.9905 \times 10^{-3}$	$5.4527 \times 10^{-4}$	$4.4737 \times 10^{-4}$		
Ni	$5.9675 \times 10^{-1}$		$2.6718 \times 10^{-3}$			
As	$3.6624 \times 10^0$	$7.0479 \times 10^{-3}$	$2.2957 \times 10^{-3}$	$4.3635 \times 10^{-1}$		
Ge	1.4450		$1.0103 \times 10^{-2}$		$7.5032 \times 10^{-3}$	
Si	$1.0367 \times 10^3$		$1.4656 \times 10$		$1.2184 \times 10$	
Sn	$5.6032 \times 10^{-3}$	$6.2051 \times 10^{-4}$	$5.2466 \times 10^{-4}$			
ZrO	$4.9557 \times 10^{-4}$					
ZrF	$5.5929 \times 10^{-4}$					
CS	1.3876		$3.1218 \times 10^{-4}$		$3.8433 \times 10^{-4}$	$8.6032 \times 10^{-4}$

表2 放射性核素与管壁的平均碰撞次数随管尺寸的变化

$R / \text{cm}$	$l / \text{cm}$							
	0.0500	0.1000	0.2000	0.5000	1.0000	2.0000	5.0000	10.0000
5.0000	79	40	21	9	5	2	1	0
10.0000	156	80	40	17	9	5	2	1
15.0000	233	119	60	25	13	7	3	1
20.0000	318	156	80	33	17	9	4	2
25.0000	391	195	98	40	20	11	5	2
30.0000	468	232	119	48	24	13	6	3
35.0000	546	276	139	56	29	15	6	3
40.0000	619	306	157	64	33	17	7	4
45.0000	702	356	179	72	37	19	8	4
50.0000	787	388	197	79	40	21	9	5

表3 放射性核素在管中经历的平均距离随管尺寸的变化

$R / \text{cm}$	$l / \text{cm}$							
	0.0500	0.1000	0.2000	0.5000	1.0000	2.0000	5.0000	10.0000
5.0000	21.8953	19.1497	16.7355	14.0969	12.4797	11.1363	9.8973	9.4246
10.0000	49.9752	44.4203	38.4560	32.3357	27.9163	24.7039	21.1509	20.2536
15.0000	80.4733	72.1980	62.7962	52.0058	44.8007	40.0615	34.3484	31.3877
20.0000	115.0923	99.8911	89.3220	73.8876	63.8437	55.9742	47.4560	42.8298
25.0000	146.9691	130.4278	114.1029	96.3024	82.6881	72.4341	61.9358	55.0214
30.0000	181.0655	159.7872	142.8928	120.0719	102.9404	90.5498	75.8678	68.5092
35.0000	216.6613	194.7565	173.4494	144.8218	125.8810	108.3497	90.6740	81.6341
40.0000	250.6885	222.2798	201.2623	169.5812	147.8235	127.1668	107.4574	94.9753
45.0000	289.1103	262.8423	233.6649	196.4367	169.5402	147.7559	123.2671	108.9404
50.0000	329.3477	291.3551	262.8887	220.8890	191.3139	166.5218	140.5148	123.5467

本工作是在 ORNL 物理部 G. D. Alton 博士的指导、离子源组科研人员的协助下完成的。

### 参考文献 (References)

- 1 Alton G D et al. Nucl. Instr. and Meth. In Phys. Res., 1996, A382:225—231
- 2 Kirkaldy J S, Yong D J. Diffusion in Condensed State, London: The Institute of Metals, 1987. 11—25
- 3 Crank J. The Mathematics of Diffusion, Oxford: Oxford University Press, 1975. 69—103
- 4 Press W H. et al. Numerical Recipes in C, the Art of Scientific Computing. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 827—853
- 5 Zangwill A. Physics at Surfaces, Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 200



## Design Method for ISOL's Target System \*

ZHANG Tian-Jue

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

G. D. Alton

(Oak Ridge National Lab., P.O. Box 2008, Oak Ridge, TN 37831, USA)

**Abstract** The target system design is one of the key problems in the ISOL facility for RIB generation. In this paper, the diffusion and adsorption processes in the target materials are simulated so as to investigate the release time of radioactive species from the uniform or Gaussian distribution, cylindrical, spherical or planar target materials operated at different temperatures based on the idea of using ion implantation at HRIBF for the selection of RIB targets. The effusion process from the surface of the target material to the ionization chamber of the online ion source is also investigated in this paper. The Monte-Carlo techniques are used for the numerical simulation based on the measurement data of surface physics from ZFK, Germany. The empirical formulas and the tables of characteristic effusive-flow times for various particles through tubes of different dimension and material are extracted from the simulation. One can design the dimension of the effusion tube and determine the material for the tube by using the formulas and the tables.

**Key words** radioactive ion beam (RIB), isotope separator on line (ISOL), target system, release time, characteristic effusive-flow time

---

Received 9 April 2001, Revised 18 June 2001

\* Supported by Science Foundation of Chinese Nuclear Industry (Y7197D0127)