

超灵敏小型回旋加速器质谱计的研制¹⁾

陈 茂 柏

(中国科学院上海原子核研究所, 上海 201800)

1947年,美国芝加哥大学教授利比(Libby)首先提出测定¹⁴C放射性进行断代的方法,为此他于60年代获得了诺贝尔奖金。

现在,¹⁴C放射法主要利用液体闪烁计数器探测 β 粒子,这种方法的局限性在于样品需用量大和测试时间长。大的样品不仅增加了样品制取的工作量和费用,而且样品中混杂了不同年代的事件,导致断代不准。特别是有的样品只有微量(如考古得到 n 粒谷子)或只允许提取微量(如意大利都灵教堂中的神物——耶稣裹尸布的验证),就无法利用这种办法。至于“测试时间长”这是由放射法固有的低效率缺陷所限制的。液闪法是测定样品中¹⁴C所释放的 β 射线,而不是直接测定样品中的¹⁴C粒子。例如,1g现代碳样品,每分钟只能释放13个 β 粒子而实际上每克样品包含的¹⁴C原子数有 6.5×10^{10} 个,因而如果我们能直接测定样品中的¹⁴C原子,测试效率将大大提高。譬如,一个70 μ g的样品每小时能产生36000个¹⁴C的离子,而从70 μ g的样品中要测得36000个 β 粒子则需要65年!这种直接对样品中原子计数进行断代的方法称为加速器质谱计(AMS)方法。

众所周知,一般的质谱计都是让被分析的样品粒子在均匀磁场内回转不到 360° ,如果被分析粒子能在磁场内回转100圈,那么质谱计的分辨本领就会大大增加。前者是所谓“磁分析法”,而后者则是“共振分析法”。照理,利用共振加速原理的回旋加速器应是最合适的超灵敏加速器质谱计(AMS)。但事实情况却是:AMS大多是在串列加速器上进行的,全世界近40家拥有串列加速器的实验室(国内有三家)几乎都在从事AMS工作。这是为什么呢?首先,被探测的放射性核素(如¹⁴C)的同量异位素中(如¹⁴N)有很多是没有稳定负离子的,通过分析负离子就能很容易把它们的同量异位素去

除掉,这就大大降低对AMS分辨率的要求。但现有的大回旋加速器都是加速正离子的,而串列加速器恰好能得天独厚地加速负离子。其次,AMS断代时必须交替加速被测放射性粒子¹⁴C与其相应的稳定的同位素粒子¹²C以测定它们间比值¹⁴C/¹²C。这在串列加速器中只要交替变换电源参数,而在大回旋加速器中还必须交替地快速改变磁场参数,这是很困难的。所以,十多年来,AMS技术在现有的串列加速器上蓬勃发展,逐步完善并已出现商品化AMS专用的小型串列加速器。但是这种高能AMS的致命弱点是建造和运行费用昂贵,无法推广应用。以至绝大多数需要使用AMS技术的单位只能“望器兴叹”。

我们研制的超灵敏小型回旋加速器质谱计杨串列AMS具有的优点,抑大回旋AMS固有的缺点。它同样地加速负离子且可直接引出负离子,不需要串列加速器中的电荷剥离过程;它具有一般回旋加速器的共振分析的功能,而又可以不改变磁场,只改变电参数实现快速交替加速,特别是它的结构小、造价低、运行费用省而又不需专门的土建和防护设备,因而可以安放在任何断代实验室。

作为AMS应用的回旋加速器,其技术特性和设计准则与普通的回旋加速器有很大不同。我们研制的是一台高接受度、高分辨率,用高次倍频加速的小型化(小尺寸、低能量、低功耗)的负重离子回旋加速器,它专用作分析丰度比仅为 10^{-12} — 10^{-15} 的超灵敏质谱计。研制这样一台低能质谱计难度是很大的。首先提出研制这种小回旋AMS的美国贝克莱实验室,十多年来搞了三个技术方案,至今未获成功。

针对小回旋AMS的各项难点,我们提出

1) 国家自然科学基金资助重大项目。

了一个与美国贝克莱实验室完全不同的技术方案,其中引入的新颖设计思想和采取的独特技术路线可归纳为:(1)采用三角波加速电压,而不是一般的正弦波加速电压,以改善高次倍频运行下的粒子接受度;(2)设计不对称的“I”和“T”状楔形微分加速电极,而不是一般的“D-假D”结构,以减弱高次倍频运行时的相位聚散现象;(3)引入“辅助电极”和“变宽度电极”,以获得必要的圈间距,从而提高了粒子注入和引出效率;(4)设置两付球形注入静电偏转极,而不是一般的“反射镜”或“螺旋形偏转极”,使注入效率比现有国际水平高一倍以上;(5)选择磁轭与加速器真空室合为一体的高调变度非均匀镀镍磁铁,既提供粒子以足够的聚焦力,又尽可能简化结构;(6)调制频率和电参数(不需调节磁场)实现 ^{12}C 、 ^{13}C 和 ^{14}C 的同时混合注入和交替单一加速,以满足质谱计断代要求;(7)附加“清除偏转极”、“测量偏转极”和负离子源的“多靶位装置”,以提高分析准确度;(8)研制“打靶极-微通道极探测器,而不是一般的

的核探测器,作为单粒子 ^{14}C 的计数。以上这些技术措施均系国际回旋加速器中首次采用,风险是大的。经过50个月的殚思极虑,终于成功地测得了糖碳样品中的 ^{14}C ,计数率达每分钟100个左右, ^{14}C 与其相邻本底粒子 ^{13}CH 的频谱曲线中峰谷比达到3,石墨样品的测量结果表明,该装置的本底水平达到 10^{-15} 。这说明世界第一台用于 ^{14}C 断代研究的“超灵敏小型回旋加速器质谱计”的研制已达到预期目的。它开创了我国首建无国际先例的、具有中国特色的加速器,使我国在这方面居国际领先地位。

加速器质谱计(AMS)是粒子束分析的一门新技术,是加速器应用的一个新领域。自70年代末以来获得了迅速发展。它是天文、地理和考古等一系列与年代学有关学科的重要研究工具,在国民经济中也有应用,近年来,AMS的应用领域已扩展到环境科学、材料科学和生物医学。我们将再接再厉,不断提高这台样机的性能,并配以微机控制和多样品装置,使之更好地投入实际应用,以加速它的商品化。

等离子体源离子注入(I)

——原理和技术

汤 宝 寅

(哈尔滨工业大学,哈尔滨 150006)

等离子体源离子注入(PSII)是用于材料表面改性的一种新的、廉价的、非视线技术。它消除了一般束线离子注入(IBII)所固有的视线限制,克服了保持剂量问题,使注入装置变得简单和价廉。介绍了PSII过程、装置和基本物理与技术问题,也介绍了在美国威斯康辛大学和哈尔滨工业大学PSII研究室中进行的PSII技术研究及其工业应用的初步结果。

Abstract

Plasma source ion implantation (PSII) is a new, cost-effective, non-line-of-sight technique for surface modification of materials. It circumvents the line-of-sight restriction of conventional ion implantation (IBII), overcomes the retained dose problem and makes implantation devices simple, inexpensive. In this paper, PSII process, device and fundamental problems of physics and technique are described. The study of PSII technique and preliminary results of its applications to the manufacturing indu-