

置,研究对象是猿、狒狒之类的灵长目动物,场强达到 30 kV/m(E)暴露面积 $5.2 \times 7.9 \text{ m}^2$,两电极间距离 2.5m。由此可见,国外的生物实验规模已从白鼠、兔子之类扩展到灵长目,而暴露面积与场强也是其他研究不可比拟的,并且已将研究频率转向工频,当然其他频率的研究也没削弱。这体现了研究工作在全频段展开。

4 建议

考虑到我国研究工作的薄弱环节,应加强强电磁场源的场分布研究,选择四类危害较明显的不同类型强场源为研究对象,即广播(电视塔)、通信设备(手持机)、工业设备(介质或感应加热)、家用电器(微波炉)。通过研究提出不同类型源的数值计算方法、实验研究方案(包括实验系统)以及有代表性的实验结果,从而为生物效应的研究或辐射防护提出依据。

ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT AND ECOLOGY

Zhang Linchang

(Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China)

LSAMD 新技术应用于环境与生态研究

陈颀延

(清华大学 北京 100084)

近代的环境与生态科学技术的发展提出的大量课题,需要从微观的作用机制角度来阐明它宏观的现象和规律性,即需使用微观的手段来解决宏观的环境与生态问题。迄今为止,一些发展成熟或成型的微量观测手段大都不能满足人们的新要求。已有的方法控测灵敏度(包括化学预处理程序)大约是 $10^{-6} - 10^{-10}$,探测的选择性很差,而且大都是静态的平均量测量。现实的要求是发展超微量的动态观测手段,它的探测灵敏度应达到 $10^{-9} - 10^{-12}$;探测选择性(抗干扰性)应达到 10^{15} 以上;不但能给出平均量,而且能给出动态的微分分布量(微米的空间分辨力, $10^{-8} - 10^{-12}$ 秒的时间分辨力)。

几年前发展出的单原子(分子)探测(Single Atom & Molecule Detection, S. A. M. D)技术,使超微量探测技术的发展进入一个崭新阶段。表1列出了几种先进的微量分析方法性能比较。

1 LSAMD 基本原理

原子(或分子)外层电子的特征性能级结构是共振激发或电离的物理基础。用一个或几个频率 ω 的激光将待测原子从基态逐阶地共振激发到激发态,再进一步激发使其电离,然后用离子探测器检测出待测的离子。这样就构成共振电离谱仪(RIS)。如果进而将共振电离和飞行时间质谱学结合为 RIS-TOFMS,构成所谓“两维谱仪”,即同时实现原子序数 Z 和原子量 A 的选择。给出两维参数,并给出同位素比,即可实现单原子(分子)探测(S. A. M. D),它的性能参数如表2。

表 1

方法	相对检测限[%] (水溶液样品)	实验检测限[%] (在矿石样品中)	探测的选 择性
(1)原子吸收谱方法	10^{-4} — 10^{-9}	10^{-4} — 10^{-7}	中等
(2)中子活化分析法	10^{-5} — 10^{-9}	10^{-5} — 10^{-9}	中等
(3)火花质谱法	10^{-5} — 10^{-8}	10^{-5} — 10^{-7}	高
(4)激光荧光谱法	10^{-6} — 10^{-11}	10^{-5} — 10^{-8}	高
(5)激光多步共振光电离法 LMRIS(L.S.A.D方法)	10^{-11} — 10^{-14}	10^{-8} — 10^{-11}	超高

表 2

特性	理论极限
灵敏度	单个原子或分子
谱线分辨率	10^6 — 10^{13} Hz
时间分辨率	10^{-6} — 10^{-13} s
选择性	10^{15} — 10^{20}
通用性	任何原子、分子

图 1,2 是清华大学“激光单原子(分子)探测(LSAMMD)实验室”研制成功的单原子(分子)探测的一种典型装置的原理图。

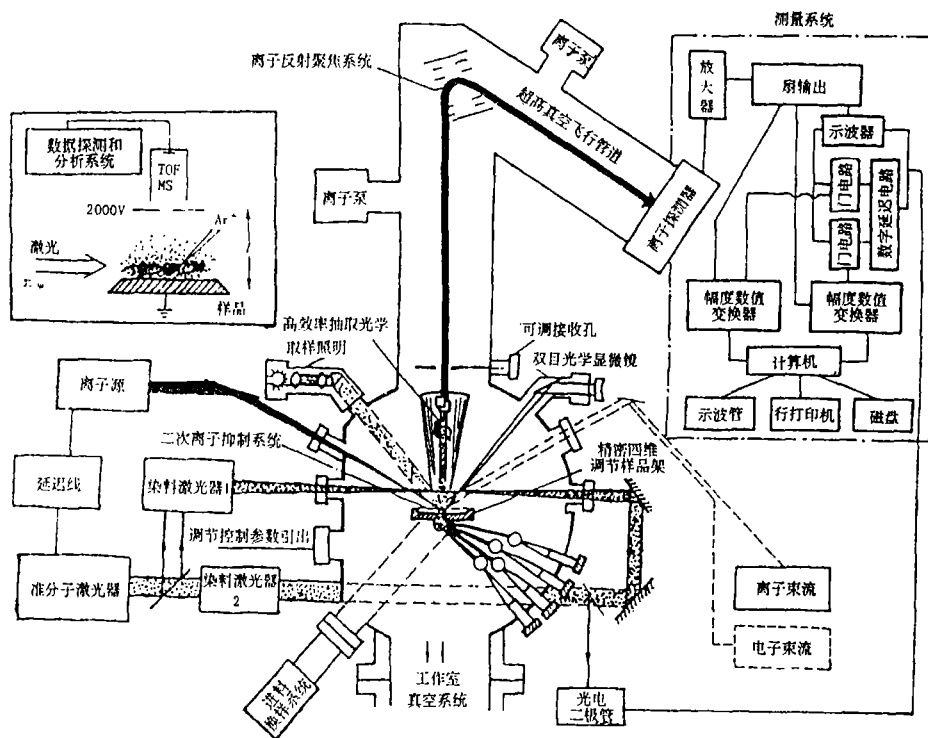


图 1 可用于表面微区分析的 LSAMD 装置(SIRI-TOFMS)原理图

图 1 中的整个装置由反应室、飞行时间质谱仪、数据采集和处理的电子计算机及电子学系统、激光器及染料激光器系统、溅射脉冲离子束源及超高真空系统组成。当系统抽至超高真空后,用 20ns 的离子脉冲轰击样品表面,使被击中地点的样品气化,在样品上端形成原子气团。此时,用一个正电压使产生的正离子返回样品。在约 $1\mu\text{s}$ 的时间后,用适当频率的激光照射原子云,使其发生共振激发以及电离。再用电场将离子送入飞行时间质谱仪,后者中有离子聚焦系统、门电路和能量分析器,使待测离子得以通过。不同质量的离子在漂移筒内的飞行时间不同,到达检测器的时间也各异。用两级微通道板对离子进行检测,其放大倍数约 10^8 倍。数据的采集由计算机和电子学系统采集和处理,并显示于显示器上。溅射离子束可被二维扫描电压使其在样品表面上进行扫描,这样可以得到样品表面上微区标志物质的分布图像。

图2是在小型石墨坩埚里加入少量样品,由其外面的加热器使样品气化,于其上形成原子气团。然后用激光照射,使之发生共振激发。这里,我们把原子激发到高激发的Rydberg态或自由离态,使之发生场致电离或自电离,再将电子引入飞行时间谱仪(与SIRI-TOFMS相同),避免了需用大功率激光器将原子电离的难处。

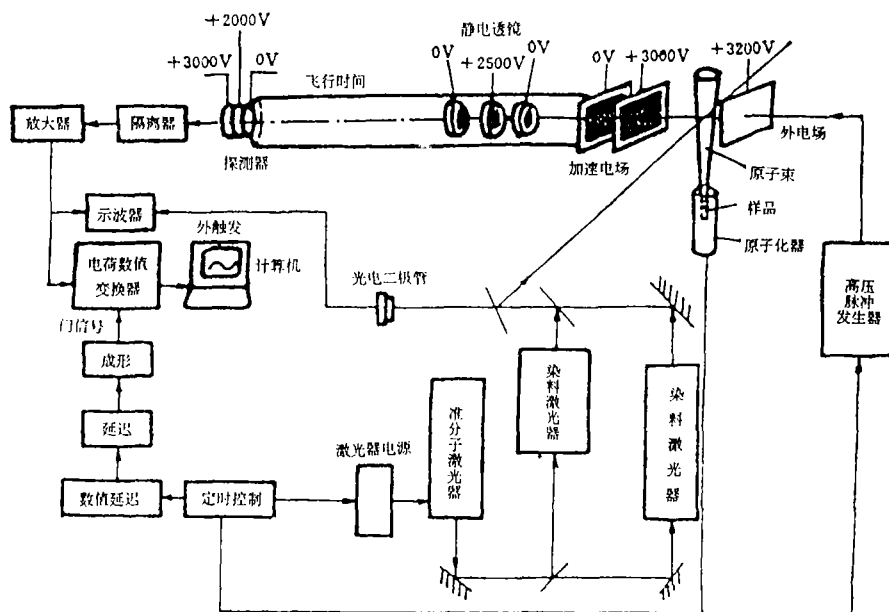


图2 可用于各种形态样品超微量分析的LSAMD装置(ETARI-TOFMS)原理图

2 LSAMD在环境与生态研究中的重要应用

2.1 统计资料表明:(1)癌症的80—90%是由于环境污染和职业(或生活)接触致癌物质所造成,(2)遗传性因素致癌或重大疾病也大都通过环境或生活习惯因素诱发出来,(3)随着人类社会现代化的发展,心血管病(和糖尿病)发病率不断增高,其危害程度已经超过癌症,且总的趋势是社会发程度愈高,心血管病发病率愈高。以前,对这个领域的研究曾提出过一些结论性或倾向性看法,但其中有些论断科学性不足,因而常常是模糊甚至是相互矛盾的。对有些元素或化合物在生物或人体中的“汇”和诱发过程不清楚(如元素铝、硒、磷、铅…的生化作用,和有机的芳香多环碳氢化合物、苯类、烷类…等物质的致癌致病机理等),原因之一是研究的手段或方法的局限性所致。解决的途径是要监测极低浓度(由 10^{-9} — 10^{-12})元素或污染物质的分布,精确地“追踪”这些元素与污染物质在环境生物化学循环中的“源”与“汇”,并研究它们的生态影响。特别是要研究环境因素对人体器官组织与血液中细胞的微量元素及污染物质的致病“催化”作用的关系(包括与一些癌症和重大疾病、地方病的关系)。

近年来发展出的超灵敏“追踪”探测技术,特别是激光单原子、分子探测(LSAMD)技术的发展及其在环境与生态问题中的应用研究成果引起人们的关注。这种技术的主要特点是:(1)非常高的探测灵敏度,其绝对灵敏度小于 10^{-15} 克,相对灵敏度为 10^{-10} — 10^{-12} 。亦即比现在能用的方法灵敏度高成千上万倍,只需取极微量的样品(微克量级)即可进行精确的测量,因此可对人体内某器官和特定组织部位进行过程取样监测。(2)可给出同位素分布的信息,因此可进

行人体特定部位痕量金属元素吸收和代谢过程的动态分析研究和绝对信号的定标研究。(3)可大大降低样品中基体物质产生的干扰本底效应。(4)测量速度极快,可进行人体循环与代谢过程的精确、快速的实时动态测量。尤应指出的是,新的技术方法可以进行超痕量物质(元素或污染物质)的体内“追踪”,器官或特定组织的定点监测和代谢失调与“诱发”过程的动态测量,从而为环境与生态问题中的某些机理性的(包括毒化机理)研究作出科学论断提供了重要的手段。例如,美国田纳西州橡树岭原子科学公司就利用此项技术方法研究确定出锌、铜、铬、硒、锰、钼、钴、碘、镍、砷、硅、钒、镉、铅、锡…等元素在人体代谢过程中的作用,以及由于这些元素摄入的反常(缺少或过量)引起的代谢过程失调与疾病类型。俄罗斯科学家以 LSAMD 技术研究了人体各种金属元素的正常浓度值,并研究出对正常值的偏离度与各种机能失调或重大疾病之间的关系。早期诊断并预告出一些重大疾病或癌症发生。

2.2 美、俄科学家们使用这项技术开展了生态毒理学的研究,亦即从分子生物学的微观作用过程来研究毒化的机制。

2.3 SAMD 的一个重要特点是它对周期表中的各种元素都“一视同仁”,即都能进行超灵敏的“跟踪”探测,对稀土族元素也能施以有效的超灵敏探测。因此,它可以成为研究稀土元素对环境与生态影响的有效手段。

2.4 对近海域生态系统的动态监测——对海水成份的快速实时测量。这是环境与生态问题研究中一个重要的课题。因为海水成份的不稳定性和复杂性,而且海水不可能长期贮存而不变化,因此科学家把它看做是“活的有机物”,要求对海水进行有效的实时的动态的测量,即采样后立即在船上进行分析(而不是采回陆地上事后测量)。过去,由于已有的技术方法的分析灵敏不足而一直不能实时测量。LSAMD 技术很好地解决了这个难题。这是对环境与生态问题研究的一个重要贡献和发展。俄罗斯的研究人员将这种仪器设备装在考察船上,环绕世界航行,对近海域大陆架生态系统进行详尽的考察,对海水、江河水、悬浮物、各种沉积物、海洋矿物、硫化物,和金、铂等金属的极微含量进行了实时的测量分析,取得了大量珍贵的环境与生态方面的科学资料,并证明了在船上不用冗长复杂的传统程序即可进行实时的超灵敏分析。

2.5 LSAMD 技术首次将南极冰雪样品中超痕量(10^{-12} 量级)的 Pb 含量精确测量出来。

铅等重金属元素的分布是人类社会工业化过程对自然环境污染的重要标志之一。南极作为地球上唯一的一个自然环境发展变迁的“博物馆”和“记录仪”,决定了南极冰样中铅等元素检测的重大科学意义。研究冰雪样中的铅在南极大陆的横向分布,可以为南极大气模型的建立提供依据;而测定铅在冰雪中的垂直分布,可以了解近代环境污染的历史变迁。由于传统的痕量分析方法灵敏度不够以及检测环境和分析过程中后期污染的严重干扰,南极冰样中铅元素测量问题在国际上一直未能很好解决。针对这种情况,清华大学激光单原子探测实验室建立了洁净度为 100 级的、无金属离子的超净室,并且研制了检测限(对 Pb)为 10^{-13} 水平的激光激发原子荧光谱仪。在超净条件下大规模地测定了南极冰样中 Pb 的含量。

APPLICATION OF THE NEW TECHNOLOGY OF LSAMD IN THE RESEARCH OF ECOLOGICAL & ENVIRONMENTAL PROBLEM

Chen Dieyan

(Tsinghua University, Beijing 100084, China)