

Practical Guide to ICP-MS

ICP-MS

实践指南

[美] Robert Thomas 著

[中] 李金英 © 等 译



原子能出版社

ICP-MS 实践指南

Practical Guide to ICP-MS

[美] Robert Thomas 著

[中] 李金英 等译

原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

ICP-MS实践指南. / (美)索默斯(Thomas, R.)著;
李金英等译. —北京:原子能出版社, 2006. 12

ISBN 978-7-5022-3772-1

I. I… II. ①索…②李… III. 电感耦合等离子
体质谱法—指南 IV. O657.31-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第155182号

图字:01-2006-3464

Practical Guide to ICP-MS

English Edition

All rights reserved

Authorized translation from English language edition published by Dekker, part of
Taylor & Francis Group LLC.

ICP-MS 实践指南

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路43号 100037)

责任编辑 杨树录 刘 朔

责任校对 徐淑惠

责任印制 丁怀兰 刘芳燕

印 刷 保定市中华美凯印刷有限责任公司

经 销 全国新华书店

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 13

字 数 318千字

版 次 2007年3月第1版 2007年3月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-3772-1

定 价 40.00元

版权所有 侵权必究

网址:<http://www.aep.com.cn>

中译本序

作为一个几十年都在研究原子谱仪器和应用的人而言,我一直期望着能整理一些个人的经验与大家分享,《ICP-MS 实践指南》的出版了却了我多年的一个心愿。现在欣闻这本书的中译本出版在即,对我而言是个意外的惊喜。尽管我认识很多中国朋友,也经常听到、看到和参与讨论与中国相关的新闻,但很遗憾我一直没有机会去中国,这个中译本可以说是我个人第一次直接与中国打交道吧。

随着中国经济的快速发展,ICP-MS 在中国迅速普及,来自中国的 ICP-MS 应用报告正日益成为这个领域的重要组成部分,尤其是高纯稀土的分析、中药材的分析和激光烧蚀 ICP-MS 的应用等处于世界领先水平。

希望本书能够对中国广大的 ICP-MS 用户有所帮助。衷心祝愿我的中国读者。

Robert Thomas
2006 年 10 月 25 日

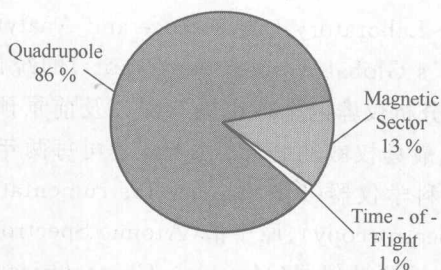
译者的话

回想起 1994 年,我们实验室拿着 26 万美元,依然发愁经费不够,连消耗品都配得很少,你可能以为我们是在买电磁双聚焦高分辨 ICP-MS,实际上只是一台四极杆 ICP-MS 而已。

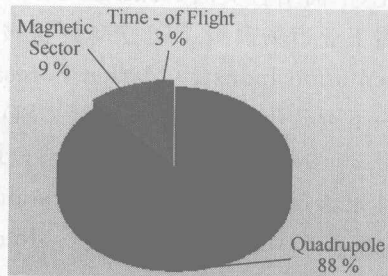
仅仅十来年的时间,ICP-MS 的性能、价格、应用领域、用户分布、制造商等都有了很大的变化,下面结合美国 Strategic Directions International(SDI)公司的《实验室生命科学与分析仪器工业市场预测:SDI 全球评价报告》(The Laboratory Life Science and Analytical Instrumentation Industry Market Forecast: SDI's Global Assessment Report)的统计数据,评述一下近几年 ICP-MS 的发展。SDI 公司在分析仪器的全球市场状况以及前景预测方面已经有 20 多年的统计经验,是目前全球该领域最具权威的统计机构,该公司每两年发布一次统计报告,涵盖分离仪器(Separations)、生命科学仪器(Life Science Instrumentation)、质谱(Mass Spectrometry)、分子谱(Molecular Spectroscopy)、原子谱(Atomic Spectroscopy)、表面科学技术(Surface Science Techniques)、物性测试仪器(Materials Characterization)、实验室自动化(Laboratory Automation)、通用分析技术(General Analytical Techniques)等,其中 ICP-MS 为原子谱仪器中的一种,含四极杆、电磁双聚焦和飞行时间三种类型,在最新的统计中,将辉光放电质谱(GDMS)也统计在了 ICP-MS 的数据中。

ICP-MS 最初的研究集中在三个地方,一个是美国爱荷华(Iowa)州立大学的 Ames 实验室,这个实验室致力于 ICP-MS 基础理论的研究,实验室自行设计、研制了 ICP-MS,同时还有一台 PerkinElmer 公司的 ELAN 型 ICP-MS 在 Houk 的领导下开展研究工作,这个实验室虽然较少参与商品化仪器的开发,但他们的研究对整个 ICP-MS 行业贡献颇多,有很多 ICP-MS 中的关键技术来自这个实验室,并为 ICP-MS 的仪器研发和应用培养了大量的人才。第二个地方是加拿大多伦多大学的一个研究组,他们的研究由该市的 Sciex 公司实现了 ICP-MS 最早的商品化批量生产^[1,2]。Sciex 一词是 Science Exploration 的缩写,该公司只负责仪器的研制和生产,其 ICP-MS 产品由 PerkinElmer 公司负责销售和维修,其 LC-MS 产品由 ABI 公司负责销售和维修,因而 Sciex 公司受市场波动的影响较小。第三个地方是英国 Surrey 大学的一个研究组,他们的研究成果由英国 VG 同位素有限公司同样在 1983 年实现了商品化。VG 公司是一个老牌的质谱仪器厂商之一,同时负责仪器的市场和销售,可惜的是,由于经营和管理等多方面的原因,该公司于 1995 年发生了解体,原 VG 的一部分领导和技术骨干成立了 Nu 仪器公司,另一部分成立了 Micromass 公司,还有一部分被 Thermo Elemental 收购,我们实验室签订的仪器购买合同还是 VG 公司,等仪器安装后商务合同留在了 Thermo Elemental,原 VG 的维修工程师却划归了 Micromass 公司,对我们的仪器维修产生了很大影响。有意思的是,2001 年 5 月,Thermo Elemental 推出 Axiom Plus SC 型电磁双聚焦高分辨 ICP-MS,这个产品与 Thermo Finnigan 公司的 Element 型电磁双聚焦高分辨 ICP-MS 展开了激烈的竞争,对于这场发生在同一个公司内不同分公司之间的竞争,最终以 Axiom Plus SC 的停产而告终,这导致很多人为了生计而加入 Nu 仪器公司。Finnigan 继这次胜利之后,凭借性能优异、质量可靠的声誉,又逐步取得了重大突破,使得 Spectro 和 JEOL 的高分辨 ICP-MS 由于销量太小不足以维持而相继停产,Finnigan 在高

分辨 ICP-MS 的市场上抢占了绝对领先的地位。2003 年 3 月 Micromass 公司又进一步发生了改组,无机质谱部分成立了 GV 仪器公司,有机质谱部分被 Waters 公司收购。2006 年 Thermo 又收购了 GV 仪器公司,现在 Thermo 终于完全垄断了电磁双聚焦的高分辨 ICP-MS,“同室操戈”的情况是否会重演现在还不能确定,但可以确定的是电磁双聚焦 ICP-MS 的价格急剧升高了。当人们对垄断行业谴责声一片的时候,垄断行业通常这样安慰客户,“你并不是没有选择,你可以选择买,或者是不买”。当人们抱怨其折扣太小时,会发现随着谈判的深入,折扣会越来越小。



Global Assessment Report September 2002, 7th edition, p269



Global Assessment Report September 2004, 8th edition, p269

图1 各类型 ICP-MS 的市场占有率

从 SDI 的 2002 年和 2004 年统计数据中可以看出,电磁双聚焦 ICP-MS 约占整个 ICP-MS 市场份额的 10% 左右。随着最近油价上涨,世界各国对核能的研究加大了投入,而核工业是电磁双聚焦 ICP-MS 最主要的应用领域,预计今后其市场份额会略有增大。问题是,正是由于 ICP-MS 能够广泛应用于核工业,尤其是检测铀浓缩的浓缩度,使得 ICP-MS 成为西方国家需要许可证才可以出口的商品,对于中国核工业客户的许可证,几乎不可能获得美国国防部的批准。2003 年 5 月,澳大利亚政府就拒绝了 GBC 公司将仪器卖给伊朗。表 1 是各类型 ICP-MS 的参考价格,价格范围的底线是仪器的基本配置,但已经包含了仪器正常运转所需的所有部件,例如循环水机、真空系统、检测器、软件等。在四极杆 ICP-MS 中增加碰撞反应池和真空泵、在电磁双聚焦 ICP-MS 中增加检测器(最多可达 9 个检测器)会使得价格达到价格范围的上限。

表 1 各类型 ICP-MS 的参考价格(万美元)

数据来源	四极杆 ICP-MS	电磁双聚焦 ICP-MS	飞行时间 ICP-MS
SDI, 2002, p269	12.5~25	20.0~40	17.5~25
SDI, 2004, p269	14.0~20	17.5~40	22.5~30
SDI, 2006, p257	13.0~22.5	17.5~50	

由统计数据还可以看出飞行时间 ICP-MS 的快速发展。Myers 等在 1993 年就报道了自行设计制造的 TOF-ICP-MS 的主要分析性能^[3],得出的结论是:提取 ICP 中离子有两种方式,其中直角加速离子提取比轴向加速离子提取灵敏度更高,占空率更佳,分辨率更好。

LECO 公司生产的轴向加速 TOF-ICP-MS 由于性能一般,现在已经停产,而直角加速的优点是大大降低了在离子束漂移方向上离子初速度的发散(平均速度为 0),这有助于提高分辨率。GBC 科学仪器公司 1998 年推出的 Optimass 8000 基于澳大利亚新南威尔士大学化学学院 Michael Guilhaus 小组的工作,该小组具有多年 MALDI-TOF 的研发经验,除采用直角加速外,还引入 MALDI-TOF 中的静电离子反射技术,当质量相同而能量存在发散的离子进入静电离子反射区域时,较高能量的离子到达检测器所走的距离较长,使得这些离子同时达到检测器,经过质量和能量的双聚焦后,仪器的分辨率可以达到 2 400。TOF-ICP-MS 的质量分析速度是其他类型 ICP-MS 的 10 倍以上,而且等离子体中的所有离子总是在同一个瞬间被同时提取出来的,相当于“全谱直读”型 ICP-OES,而四极杆和单检测器的电磁双聚焦 ICP-MS 都是扫描方式依次从等离子体中提取离子,相当于“单道扫描”型 ICP-OES,相比之下,TOF-ICP-MS 与 FI,ETV,LA,HPLC,GC 等样品量少且信号随时变化的进样装置联用时具有无可比拟的优势。2006 年 6 月,GBC 推出其第二代 TOF-ICP-MS 产品 Optimass 9500。据来自 Jena 网站的消息^[4],Jena 于 2004 年 10 月和德国应用光学、光电子学和光谱学协会(GOS)、柏林分析科学研究所(ISAS)签署协议共同开发 TOF-ICP-MS,仪器样机已经在汉堡大学化学系安装进行测试,待技术成熟时由 Jena 公司进行批量化生产。

此外,日立公司曾推出 P-5000 离子阱 ICP-MS。可惜还没有卖出去就宣布停产了,其分析性能可能与四极杆类型的 ICP-MS 接近,但远谈不上是一个成熟的技术,获得市场认可也许还需要一段很长的时间。随着 ICP-MS 的普及和制造技术的降低,日本先后出现了岛津(Shimadzu)、横河(Yokogawa Analytical Systems)、精工(Seiko)等四极杆类型 ICP-MS 生产厂家,它们几乎完全集中在日本国内销售,而且应用对象主要以半导体试剂为主,例如精工的两个型号,SPQ9000se Series ICP Mass Spectrometer (High-Sensitive/Semiconductor Analysis)是专门针对半导体设计的,而 SPQ9200ev ICP Mass Spectrometer (Environmental Analysis)为了适应环境样品而做了很多设计上的改变,其网站介绍称,该仪器不仅可以用于分析自来水,还可以分析工业排放废水,但并没有说明是否可以分析地质样品。为扩大影响力,精工将其主要的专利技术——直角偏转离子透镜系统的使用许可转卖给了其他公司。横河在这几个日本公司里是最为成功的,在独立经营效果欠佳的情况下,最终让安捷伦公司参股,通过安捷伦公司强大的销售网络终于在全球 ICP-MS 市场上占有了一席之地。2006 年 2 月,安捷伦科技以 9 800 万美金的代价完全收购了横河分析系统(Yokogawa Analytical Systems)公司^[5]。岛津公司虽然在产品总览上印有 ICP-MS 产品,但极少听说其 ICP-MS 的市场活动,也没有听说其在国内是否有用户。虽然日本是 ICP-MS 的一个大市场,占全球市场总量的 15%,如图 2 所示,但岛津、精工在与安捷伦(横河)的竞争中依然处于劣势。瓦里安公司在经历多年几乎放弃了 ICP-MS 产品的情况下,终于在 2003 年推出了新的 ICP-MS,并在 2005 年 11 月首次实现其 810 和 820 型 ICP-MS 的发货。瓦里安公司的 ICP-MS 市场份额中有相当一部分来自于其真空部所销售的机械泵。

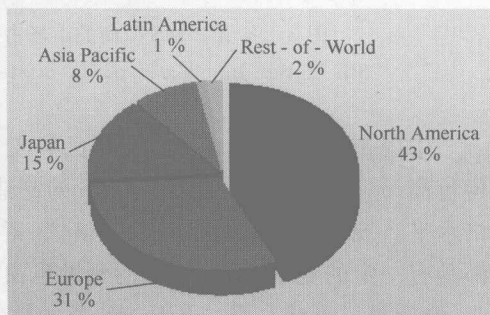


图 2 ICP-MS 的市场地域分布

除了这些 ICP-MS 整机生产厂家外, ICP-MS 的检测器制造商 SGE 公司的 ETP 部最为值得一提, 目前几乎所有 ICP-MS 厂家的检测器都是 ETP 的产品, 只是各 ICP-MS 厂家要求的检测器结构不同、技术参数不同、数据读出方式不同而已。Cetac 公司生产的自动进样器可以用在几乎所有厂家的 ICP-MS 上, 其样品位最大达到 720 位, 深受独立检测机构等高通量实验室的青睐。Cetac 同时还生产激光烧蚀(LA)系统, 而德国 MicroLas 公司和美国 New Wave 公司则是激光烧蚀系统的专业厂家。生产雾化器、雾室等进样系统的公司主要有 ESI、Glass Expansion、Meinhard 等, 本书的最后一章专门列出了这样的一些信息, 对 ICP-MS 工作者而言是很有用的。

通过上述介绍, 大家可以对各公司的情况有个大致的了解, 图 3 给出了各 ICP-MS 厂商的市场占有率, 需要说明的是, Thermo 的数据包含了四极杆和电磁双聚焦两种类型, 如前所述, 其 Finnigan 公司的电磁双聚焦 ICP-MS 约占全球市场的 10% 左右, 因而 Thermo Elemental 的四极杆 ICP-MS 约占全球市场的 12% 左右。由于 2006 年的统计报告中将辉光放电质谱(GDMS)也算成了 ICP-MS 的一部分, 而 GDMS 具体占全球的比例很难确定, 不利于分析四极杆 ICP-MS 的数据情况, 因而没有给出, 不过从连续 6 年的统计报告来看, 各公司市场占有率的数据变化很小, 主要原因是北美、欧洲和日本的 ICP-MS 市场增长很小, 而以两位数快速增长的亚太地区目前依然总体比例不超过 10%。

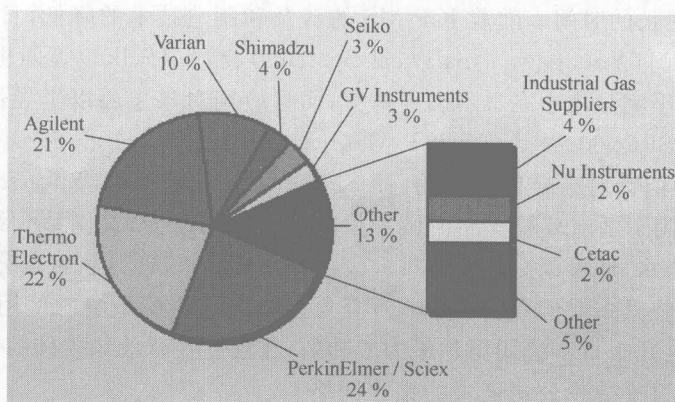


图 3 各 ICP-MS 厂商的市场占有率, 数据来自 Global Assessment Report, 8th Edition-June 2004, p271, Strategic Directions International, Inc., Los Angeles

中国市场的快速增长也给了民族工业一个振兴的机遇。10 年前, 即便是 ICP-OES 也售价高昂, 随着国内有了 ICP-OES 的制造能力, 才使得现在的 ICP-OES 回归到了合理的价格水平。现在国产的原子吸收光谱仪、紫外可见分光光度计、原子荧光光谱仪等在国际市场都具有一定的竞争力, 而国家的资助也由原来的理论研究为主转变为直接资助仪器生产企业, 希望早日形成产品。ICP-MS 是无机分析的高端精密仪器, 代表了一个国家的整体科技实力, 同时其国产化和广泛应用会大力提升中国企业的检测能力和改进产品质量, 具有巨大的经济效益和社会效益, 在众多有识之士的共同努力下, ICP-MS 国产化的时机渐趋成熟。我们期待着这一天早日到来!

本书的译者是: 第 1, 2, 3, 20, 21 章, 李金英; 第 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16 章, 姚继军;

第 12 章,吉艳琴;第 13 章,李力力;第 14 章,李金英,徐涵;第 17 章,刘峻岭;第 18 章,李金英,姜永青;第 19 章,徐书荣。最终由李金英审阅定稿。在初稿阶段,郭冬发作为第一读者,提出了很多宝贵的意见和建议,在此表示感谢。由于我们水平有限,错误与不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

李金英

2006 年 10 月 30 日

参 考 文 献

- 1 Strategic Directions International, Inc. , Los Angeles. Global Assessment Report September 2002, 7th edition, p268
- 2 Strategic Directions International, Inc. , Los Angeles. Global Assessment Report September 2004, 8th edition, p268
- 3 D. P. Myers and G. M. Hieftje, Microchem. J. , 1993, 48, 259
- 4 http://www.analytik-jena.de/frontend/itid_38/content_news_detail_2169/back_cont_id_38/
- 5 <http://www.instrument.com.cn/news/2006/009915.shtml>

前 言

里程碑标志着重大事件的发生,例如人类实现登月行走、分析取自火星的岩石、让一个比空气重的自推进装置飞上天、用一个本生(Bunsen)灯做火焰原子吸收光谱分析、用大气压等离子体作为溶液进样质谱仪的离子源。是的,电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)是20世纪光谱化学分析里程碑式的发明之一。ICP-MS结合了痕量元素定量分析的能力和同位素分析的能力,使现代分析测试、临床、法检和工业实验室日常、例行分析这些项目成为可能。在过去的20年中,ICP-MS已经走出 R. Sam Houk 博士在爱荷华州立大学的阿默斯实验室(Ames Laboratory),成为在全球广泛应用的宝贵分析测试工具。尽管 ICP-MS 的应用不如电灯、激光或者晶体管那样无处不在,但在分析化学中,它和原子吸收分光光度法、库仑法、直流电弧和火花发射光谱、重量法、极谱法、滴定法的发展一样重要。

我们希望从一本新的专业书里找到什么呢,尤其是一本仅有两三百页篇幅来介绍 ICP-MS 的专业书?以全新的方式来讨论老话题、对复杂的问题答疑解惑、对将来的新发展和新应用领域进行概述点评,这些是我们希望找到的内容吗?如果本书达成了上述的任何目标我们都心满意足了。今天图书馆的书架上充斥着很多知名学者和一些 ICP 操作者的著作,这些书绝大部分都呆在图书馆里,仅有极少数被摆在了分析工作者手边的工作台上,由于被看得太多次而污点处处、破烂不堪。本书的目标就是能成为这样的极少数。

《ICP-MS 实践指南》始自于2001年4月出现在 Spectroscopy 杂志(俄勒冈州尤金市, www.spectroscopyonline.com)上的一系列简要指导文章(“ICP-MS 初学者指南”),它保留了这些月刊性文章的基本内容和实用主义的原则。这些文章由于简洁易懂、深入浅出而广受欢迎,它们以一种非正式的形式反映了作者多年的实践经验和专业知识写作技巧。就是我自己也立即把这些文章加入了我的教学大纲。

《ICP-MS 实践指南》是在这些已经发表的系列文章基础上成文的。作者把这本书分成了21个章节,从等离子体的基本概念、ICP-MS 的基本结构开始,一直写到选购 ICP-MS 需要考虑的因素。第2章到第16章基本参考 Spectroscopy 杂志 I~XIII 系列文章(2001—2002年),第19章来自于 XIII 和 XIV 系列文章(2003年2月)。剩下的5章包括沾污问题、日常维护、典型应用领域和其他原子谱方法的比较(也是选自两篇之前在杂志上发表的文章)和 ICP-MS 相关的参考信息。

这不是一本告诉你如何制备样品、如何进行 ICP-MS 测量的手册,也不是 ICP 系统的故障手册。虽然这些课题也亟待有人来写,但本书的目的是让读者能够从 ICP-MS 起步。本书总是着重于基本结构的描写,并指出 ICP-MS 应用的最佳时机和领域。常常以第一人称的非正式写作风格,反映了作者参与 ICP 产品的发展历程,在实际应用中积累了丰富的经验,这使得本书具有很强的可读性。最后,我希望在很多培训、教学和分析实验室中都能见到本书的身影。

美国马萨诸塞州阿默斯特市,大学分析化学研究所

Ramon M. Barnes 主管

美国马萨诸塞州阿默斯特市,马萨诸塞大学化学系

Emeritus 教授

序 言

自 1983 年商品用 ICP-MS 在匹兹堡会议上展出以来的 20 年中,ICP-MS 在全球大概已安装了 5 000 台。如果和另一种多元素分析技术——1974 年就已经商品化的 ICP-OES 相比,区别是非常明显的。在 ICP-OES 推出 20 年的 1994 年,大概已有 12 000 台被售出,而同期的 ICP-MS 与之相比是蹒跚不前的。从 1983 年至今,大概已有 25 000 台 ICP-OES 被售出,这个数字是同期 ICP-MS 销量的 5 倍。如果在所有的原子光谱仪器(ICP-MS, ICP-OES, ETA, FAA)中作比较,ICP-MS 的年销售量(500 台)仅占有所有原子光谱仪器(大约 7 000 台)的 7%。考虑到 ICP-MS 的性能更佳,如超低检出限、快速多元素测量和同位素测量能力,那么这一事实会令人更加惊奇。

1. ICP-MS: 研究级还是常规手段

很显然,ICP-MS 没有得到很普遍运用的原因之一是它比较高的价格——是 ICP-OES 价格的两倍或 ETA 价格的三倍。但是在日益竞争的市场中,一台 ICP-MS 的价格已经更加接近一台带有进样系统的高端 ICP-OES 或是一台全套配置的 ETA。所以如果价格不再高不可攀,为什么分析仪器界并没有广泛地接受 ICP-MS? 答案可能在于,ICP-MS 依然被认为是一种复杂的研究级技术,需要训练有素的人员操作。即使在 20 年里 ICP-MS 制造商一直致力于将整个系统包括软件和硬件改进得更加易于操作,它依然被认为不是像火焰原子吸收或 ICP-OES 一样成熟的常规技术。这是有些道理的,毕竟 ICP-MS 的仪器设计相对复杂。但是,简单易懂的 ICP-MS 原理及应用资料相对缺乏,没有技术知识的新手很难理解,这可能正是造成误解的原因。有一些非常出色的介绍基础原理的教科书^[1~3]及大量的文献^[4~6],但大多不是针对应用实践。正因为如此,它们阐述原理过多而描述实际运用较少。

2. 应用优势

毫无疑问,以更加实际的方式介绍某种技术,可以使实验室人员更好地理解。遗憾的是,傻瓜书系列的出版商还未能出版一本 ICP-MS 的傻瓜书。这有一些滑稽,当然,从有限的 ICP-MS 参考书中,很难找出一本实践指南。这是本书最明确的原动力。为了给一个准备购置 ICP-MS 的人员一个完整的描述,和其他的痕量元素测量技术如 FAA, ETA, ICP-OES 的比较就非常重要,通过各方面的比较,包括能够测量的元素范围、检测能力、样品通量、分析范围、干扰、样品制备、维护问题、操作员能力和运行成本,可以更全面地了解 ICP-MS。这能使读者可以将 ICP-MS 的优点和其他相似的原子谱技术相关联。另外,为了更全面地理解 ICP-MS 的应用能力,总结目前 ICP-MS 常用的进样附件是非常重要的,从中我们也可以了解 ICP-MS 技术应用于不同行业和市场的巨大潜力。最后,对于想要购买 ICP-MS 的客户,本书用了一章的篇幅总结了最重要的评价标准。对于一个初学者,这是很重要的部分,因为目前关于评估商品仪器的信息非常少。人们往往没有经过充分调研就购买了一台并不是最适合需求的仪器。

本书的主要目的是,让还没有了解 ICP-MS 技术优势的人了解 ICP-MS、购买 ICP-MS,

并将 ICP-MS 的性能充分发挥出来。让我们来分享作者对 ICP-MS 及其应用的理解。

3. 致谢

我已在 ICP-MS 行业工作了近 20 年,并且意识到,即使有大量的出版物,缺乏技术知识的初学者依然没有一本合适的教科书。我得出了一个结论,惟一的办法是我自己写。我设定的目标是:痕量元素测量经验丰富的高级经理和分析化学家可以使用本书,想了解 ICP-MS 基础原理和优势的人也可以使用本书。本书正是这一目标的结果。所以经过两年的艰苦写作,首先我想感谢 Spectroscopy 杂志的编辑,在 2001 年春天他提供了我每月写作一期 ICP-MS 指南的机会,并允许我使用大量杂志中的数据——这是我明确开始这个计划的起点。第二,我想感谢所有的 ICP-MS 仪器、附件、备件、测量标样和试剂的制造商,他们给我提供了信息、数据、图表等等。没有他们的帮助,我不可能完成本书。第三,我想感谢 Ramon Barnes 博士,他是大学分析化学研究所的主管及等离子体质谱化学冬季会议的组织和主席,他在前言上称赞和鼓励的话语令我非常感激。最后,我想感谢我的妻子 Donna Marie,允许我在 4 年前就开始专职地写作,并在过去写作此书的两年中给予我鼓励,她的支持是无价的。当然我也不能漏掉我的两个宝贝女儿,Glenna 和 Deryn,她们始终给我惊喜和快乐,尤其在最后的求证和索引阶段,我认为我永远也完成不了这本书时,我依然仿佛听到她们充满智慧的话语:“爸爸,不就是一本书嘛”。

Robert Thomas

参考文献

- 1 Inductive by Coupled Plasms Mass Spectrometry: A. Montasser, George Washington University, Wiley-VCH, New York, 1998
- 2 Handbook of Inductively Coupled Plasms Mass Spectrometry: K. E. Jarvis, A. L. Gray and R. S. Houk, Blackie, Glasgow, 1992
- 3 Inorganic Mass Spectrometry, F. Adams, R. Gijbels, R. Van Grieken, University of Antwerp, Wiley and Sons, New York, 1998
- 4 R. S. Houk, V. A. Fassel and H. J. Svec, Dynamic Mass Spec. 6, 234, 1981
- 5 A. R. Date and A. L. Gray, *Analyst*, 106, 1255, 1981
- 6 D. J. Douglas and J. B. French, *Analytical Chemistry*, 53, 37, 1982

目 录

第 1 章 电感耦合等离子体质谱概述	(1)
第 2 章 离子形成的原理	(4)
2.1 离子的形成	(4)
2.2 天然同位素	(5)
参考文献	(8)
第 3 章 样品引入系统	(9)
3.1 气溶胶的生成	(9)
3.2 雾滴的选择	(10)
3.3 雾化器	(11)
3.3.1 同心设计	(11)
3.3.2 交叉流设计	(11)
3.3.3 微流设计	(12)
3.4 雾室	(12)
3.4.1 双通道雾室	(12)
3.4.2 旋流雾室	(13)
参考文献	(13)
第 4 章 等离子体源	(14)
4.1 等离子体炬管	(14)
4.2 电感耦合等离子体放电的形成	(16)
4.3 射频发生器的功能	(17)
4.4 样品的电离	(17)
参考文献	(18)
第 5 章 接口区	(19)
5.1 电容耦合	(20)
5.2 离子的动能	(21)
5.3 设计优良接口的优点	(22)
参考文献	(23)
第 6 章 离子聚焦系统	(24)
6.1 离子透镜的作用	(24)
6.2 离子流的动力学	(26)
6.3 商用离子透镜设计	(26)
参考文献	(28)
第 7 章 质量分析器:四极杆技术	(30)
7.1 四极杆质量过滤器技术	(31)
7.2 操作的基本原理	(31)

7.3	四极杆性能标准	(32)
7.3.1	分辨率	(32)
7.3.2	丰度灵敏度	(33)
7.3.3	丰度灵敏度高的优点	(34)
参考文献		(35)
第8章 质量分析器:双聚焦扇形磁场技术		(36)
8.1	扇形磁场质谱仪:历史回顾	(36)
8.2	ICP-MS 中使用扇形磁场技术	(37)
8.3	扇形磁场系统的操作原理	(38)
8.4	分辨能力	(38)
8.5	扇形磁场仪器的其他优点	(39)
参考文献		(40)
第9章 质量分析器:飞行时间技术		(42)
9.1	TOF 的基本原理	(42)
9.2	商业设计	(42)
9.3	正交和轴向 TOF 的区别	(44)
9.3.1	灵敏度 (Sensitivity)	(44)
9.3.2	背景水平(Background Level)	(44)
9.3.3	占空率 (Duty Cycle)	(44)
9.3.4	分辨率 (Resolution)	(44)
9.3.5	质量歧视 (Mass Bias)	(44)
9.4	TOF-ICP-MS 技术的优点	(45)
9.4.1	快速瞬时峰分析	(45)
9.4.2	精密度提高	(45)
9.4.3	数据接收快速	(45)
参考文献		(46)
第10章 质量分析器:碰撞/反应池技术		(47)
10.1	碰撞/反应池的基本原理	(47)
10.2	不同的碰撞/反应方法	(48)
10.2.1	动能甄别	(48)
10.2.2	通过质量过滤甄别	(49)
参考文献		(52)
第11章 检测器		(53)
11.1	通道式电子倍增器	(53)
11.2	法拉第杯	(54)
11.3	离散打拿极电子倍增器	(54)
11.4	扩大动态范围	(55)
11.4.1	过滤离子束	(55)
11.4.2	使用两种检测器	(55)

11.4.3	使用一个检测器扫描两次	(55)
11.4.4	用一个检测器扫描一次	(56)
11.5	只用脉冲模式扩大动态范围	(57)
参考文献		(57)
第 12 章	峰值测量方案	(58)
12.1	测量的影响参数	(58)
12.2	测量方案	(59)
12.3	优化测量方案	(60)
12.4	多元素测量数据的质量目标	(61)
参考文献		(65)
第 13 章	定量方法	(66)
13.1	定量分析	(66)
13.1.1	外标法	(66)
13.1.2	标准加入法	(67)
13.1.3	加入校准法	(68)
13.2	半定量分析	(68)
13.3	同位素稀释法	(69)
13.4	同位素比值法	(71)
13.5	内标法	(71)
参考文献		(72)
第 14 章	干扰概述	(73)
14.1	谱线干扰	(73)
14.1.1	氧化物、氢氧化物、氢化物和双电荷离子	(74)
14.1.2	同量异位素干扰	(74)
14.1.3	补偿谱线干扰的方法	(82)
14.1.3.1	数学校正方程	(82)
14.1.3.2	冷等离子体技术	(82)
14.1.3.3	碰撞/反应池	(83)
14.1.3.4	高分辨质量分析器	(84)
14.2	基体干扰	(84)
14.2.1	利用内标补偿	(84)
14.2.2	空间电荷效应产生的基体干扰	(85)
参考文献		(86)
第 15 章	沾污问题	(87)
15.1	收集样品	(87)
15.2	制备样品	(88)
15.3	研磨样品	(88)
15.4	样品消解方法	(88)
15.5	试剂和标准的选择	(90)

15.6	器皿、容器和样品制备装置	(90)
15.7	环境	(93)
15.8	分析人员	(93)
15.9	仪器和方法	(94)
参考文献		(95)
第 16 章 日常维护问题		(97)
16.1	进样系统	(97)
16.1.1	蠕动泵泵管	(97)
16.1.2	雾化器	(98)
16.1.3	雾室	(99)
16.1.4	等离子体炬管	(100)
16.2	接口区域	(101)
16.3	离子光学系统	(102)
16.4	机械泵	(102)
16.5	空气过滤器	(103)
16.6	其他需要定期检查的组件	(103)
16.6.1	检测器	(103)
16.6.2	涡轮分子泵	(103)
16.6.3	质量分析器	(104)
第 17 章 可选进样附件		(105)
17.1	激光烧蚀/进样	(106)
17.1.1	用于 ICP-MS 的商品化激光烧蚀系统	(106)
17.1.2	准分子激光器	(107)
17.1.3	激光烧蚀用于 ICP-MS 分析的优点	(107)
17.1.4	依据应用要求优化激光设计	(107)
17.2	流动注射分析	(110)
17.3	电热蒸发	(112)
17.4	去溶剂装置	(115)
17.4.1	冷却雾室	(115)
17.4.2	超声波雾化	(115)
17.4.3	带去溶剂装置的微同心雾化器	(116)
17.5	直接注射雾化器	(117)
17.6	色谱分离装置	(117)
参考文献		(119)
第 18 章 ICP-MS 的应用		(122)
18.1	环境应用	(122)
18.2	生物医学应用	(125)
18.2.1	样品处理	(125)
18.2.2	干扰的校正	(126)