

放射性

(第二版)

分析手册

**HANDBOOK OF
RADIOACTIVITY
ANALYSIS** *(Second Edition)*

MICHAEL F.L' ANNUNZIATA 编著

《放射性分析手册》(第二版) 翻译组 翻译



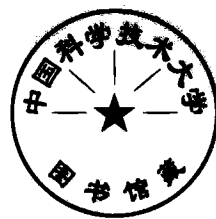
原子能出版社

放射性分析手册(第二版)

Handbook of Radioactivity Analysis(Second Edition)

Michael F. L'Annunziata 编著

《放射性分析手册》(第二版)翻译组 翻译



原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

放射性分析手册(第二版)/(美)阿农齐塔(Annunziata, M. F. L.)编著;《放射性分析手册》(第二版)翻译组翻译. —北京:原子能出版社,2006. 12
ISBN 7-5022-3773-9

I. 放… II. ①阿…②放… III. 放射性分析—技术手册 IV. TL73-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 155184 号
图字:01-2005-0643

Handbook of Radioactivity Analysis(Second Edition)

Copyright of the English Edition ©2003 by Elsevier Inc.



All rights reserved

This second edition of Handbook of Radioactivity Analysis by Michael F. L'Annunziata is published by arrangement with Elsevier Inc., 525 B Street, Suite 1900, San Diego, CA 92101-4495

ISBN 0-12-436603-1

内 容 简 介

本书系由国际原子能机构(IAEA)有关的科学家合作编写的“Handbook of Radioactivity Analysis”(Second Edition)的中译本。

本书涵盖了核辐射及其探测的原理和方法,放射性样品分析的指南和操作规程。包括气体电离探测器、固体探测器、半导体探测器和切伦科夫计数、放射性同位素质谱、液体闪烁分析样品制备技术、固体闪烁分析、流动闪烁分析、放射性核素显影、自动放射化学分离、分析和传感、辐射剂量学等。

本书为有关专业技术人员提供了最新的资料,融入了国际上最新的进展和论题。

本书可作为从事放射性核素活度测量,放射性分析领域工作的科学家、工程师、医生和技术人员的手册,也可作为相关学科的大学教师的参考书及相关专业的大专院校本、专科学生和研究生的教材。

放射性分析手册(第二版)

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 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公司

经 销 全国新华书店

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 60.5

字 数 1510 千字

版 次 2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5022-3773-9

印 数 1—1 000 定 价 242.00 元

《放射性分析手册》(第二版)翻译组

组 长 叶宏生

副组长 丁声耀 容超凡

成 员 (按姓氏笔画排序)

丁声耀	王志强	叶宏生	邢 雨	关志伟
李作前	杨 静	汪建清	陈细林	林 敏
姚历农	贺佑丰	袁大庆	徐利军	容超凡
蔡善钰	魏可新			

Foreword for Chinese Edition

After joining the International Atomic Energy Agency (IAEA) in Vienna on December of 1977 and completing 28 years of service with the IAEA as a professional staff member and consultant to IAEA Member States. I am very pleased to see the tremendous worldwide appeal given by experts and students to the Second Edition of the Handbook of Radioactivity Analysis. At the laboratories and headquarters of the IAEA we all worked together as a truly international team representing almost every country of the globe with one goal in mind. Our goal was to provide international cooperation in teaching, research, and implementation of projects in Member States concerned with the peaceful applications of nuclear energy towards development. We all had different fields of expertise, such as, nuclear medicine, radiopharmacy, biological sciences including nuclear techniques in food preservation and agricultural production, electric power generation, industrial applications of nuclear energy, nuclear safety and safeguards, radioactive waste management, and geological and environmental sciences. Although as individuals we had specific fields of interest, we had one common need, namely, the accurate measurement of radioactivity or, in other words, the need to measure as precisely as possible the activity or disintegration rate of radionuclides. The radionuclides we measure and sample types we analyze vary greatly depending on our field of work. For example, the need to measure and administer an exact amount of radionuclide to a cancer patient as a radiopharmaceutical, the measurement of radionuclides in air, water or soil to monitor environment quality, the assessment of radiological waste, or the measurement of radionuclides used in biological research for development all involve a broad spectrum of radionuclides and sample types.

The Handbook of Radioactivity Analysis, 2nd Edition, provides the reader

with a standard reference for the theory and practice of radioactivity analysis applicable to almost any field of endeavor concerned with the peaceful applications of nuclear energy towards development. This was underscored in a review that appeared in the international journal *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 60, 2004, from which the following excerpt is taken “...This is a valuable work that provides both a comprehensive textbook for those entering the field of radioactivity, and a reference book for more experienced practitioners.”

I am happy to know that this book is available in the Chinese language. China is one of the most active Member States of the IAEA and it has the largest population in the world. The Chinese Edition of the book should draw a large number of readers from both the academic and applied sectors of society where radioactivity analysis in peaceful applications of nuclear energy for the betterment of mankind is a priority.

Michael F. L'Annunziata, Ph. D.
IAEA Consultant, Vienna

译者的话

贝可勒尔发现放射性以来,原子能事业取得了令人瞩目的成就。核电生产、放射性核素的使用和射线应用等原子能的和平利用对整个世界的发展起着重要作用,核能被认为是人类最终解决能源问题的有效途径之一。但是,人们对开发利用核能还存在某些疑虑,主要是对大规模杀伤性武器的扩散和核事故带来的环境污染等危害因素的担心。原子能的和平利用在一定意义上取决于防护水平的提高和核安全、环境保护以及核保障技术的可靠程度,而这在很大程度上依赖于从业人员的放射性分析测量技术水平和测量结果的精确性。为此,国际原子能机构做了大量工作,其中一项重要工作是对成员国人员进行培训。

原书曾作为培训教材,其作者大都是世界上放射性分析领域的专家。我们所翻译的为该书第二版,它不仅包括辐射探测和测量的原理,而且还包括测量各类放射性样品的指南和程序,以及各领域的进展、新论题和新概念。我们希望本译本的出版,有助于我国在放射性分析测量方面水平的提高。

在翻译过程中,我们遇到的一些问题及采取的应对方法说明如下,谨请读者留意。

1. 原书中有众多的人名、地名、产品及公司等,由于不同民族和语种的命名及拼写方式种类繁多,且其中的大多数中文目前还无法检索,如果硬译成中文,可能会造成费解甚至混乱;同时考虑到本书的读者一般都具有相应的英文基础,故对本书的作者及书中所列举的人名、地名,除了中文有通用译名,如贝可勒尔、爱因斯坦、华盛顿和维也纳等以外,一般都保留原文。基于同一考虑,书中所列举的商品及公司,还有各种图表的出处,也采用原文。

2. 根据原出版社对译文不得缺省或变更原文的要求,我们力求

译稿忠于原文。但中文版的章节编排则按我国的规范,文中的名词术语、计量单位等也按我国的规范。在翻译过程中,发现原书个别地方有错误,我们则采用正文按原文翻译,附加译者注用以勘正的方式,以便读者校核。由于原书中的索引部分排列方式与国内不同,故未翻译,删去了此部分内容。

本书前言、序言由丁声耀翻译,叶宏生审校。第1章 核辐射及其与物质的相互作用和放射性同位素衰变;第2章 气体电离探测器;第3章 固体核径迹探测器由魏可新翻译,丁声耀审校。第4章 半导体探测器由王志强翻译,丁声耀审校。第5章 液体闪烁分析:原理和实践;第6章 环境液体闪烁分析由袁大庆翻译,丁声耀、姚历农审校。第7章 放射性活度的计数统计学由袁大庆翻译,丁声耀审校。第8章 液体闪烁分析样品制备技术由陈细林翻译,丁声耀、李作前审校。第9章 切伦科夫计数由容超凡翻译,丁声耀审校。第10章 放射性同位素质谱由徐利军翻译,叶宏生审校。第11章 固体闪烁分析由邢雨翻译,姚历农审校。第12章 流动闪烁分析由陈细林翻译,丁声耀、李作前审校。第13章 放射性核素显像由关志伟(解放军总医院核医学科)翻译,汪建清、蔡善钰审校。第14章 自动放射化学分离、分析和传感由徐利军翻译,叶宏生、贺佑丰审校。第15章 辐射剂量学由林敏翻译,丁声耀审校。附录 A、B 由汪建清翻译,丁声耀审校。本书译稿的文字录入和整理工作由杨静完成。全部译稿完成后,呈送李德平院士审阅。李先生提出了许多宝贵意见。对此,我们谨表深深的谢意。

本书翻译过程中,得到不少同志的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。由于我们水平所限,译文中的错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

本书翻译组

2006年6月

第二版序言

放射性的使用在人类发展中起着重要的作用。无论是天然的还是人造的放射性核素都被人类用作延长寿命和使生活更丰富多彩的工具,例如,在医学诊断中,使用放射源是帮助人们获得更健康生命的多种途径之一。从这一指导思想出发,国际原子能机构在100多个国家中推动放射源的和平应用的研究和开发计划。这里仅提及其中需要放射源安全使用的涉及农业、食品贮存、医药、用于水源管理的水文学、工业和电力产生等的发展计划。当放射性材料已经成为改善我们生活的重要工具时,也迫使我们应保证在全球范围内对它们的安全操作与和平利用。因此,IAEA由它的成员国授予责权,以推进核安全、环境保护和核保障的计划,以便提供保证,使我们尽可能地通过准确的分析,使得放射性材料安全地并唯一地为和平目的服务。

放射性的准确测量对于正确使用核材料以及对它们潜在的危害作用提供防护是至关重要的。因此,当我看到新的放射性分析手册第二版已经完成时感到由衷的欣喜。国际上许多从事放射性分析和测量工作的专家在本书的准备过程中都作了贡献。自从1998年本书第一版问世以来,许多方面又有新的进展。在新版中提供的科学方法有助于对从环境中发现的很低水平到和平应用所需的高水平的放射性分析更精细化。新版将作为一个工具服务于放射性材料的科学研究与和平应用,以期取得进一步的成就并在全世界范围内为人类的基本需求服务。

国际原子能机构副总干事
Werner Burkart, Prof. Dr.

第一版序言

贝可勒尔发现放射性迄今 100 年来,放射性分析对诸如核医学、放射药理学、临床诊断、保健物理、生物科学、食物保存、工业、环境监测、核电和核安全及核保障等各个领域及工作于这些领域的人员,日益突显其重要性。现今,放射性核素活度的精确测量已经成为人们更好地认知所生活的环境和许多科学及技术领域取得进步和成就的必要条件。

从 1957 年国际原子能机构成立以来,全球性合作下的核能和平利用,从核电生产到放射性核素和辐射源的使用等,对整个世界的发展起了重要的作用。核技术和平应用所取得的进展在很大程度上依赖于放射性测量的更容易操作和更准确方面,放射性物质的利用,它们的生产以及放射性废物的安全存贮紧密地依赖于这些精确的测量。

许多工作于放射性分析的各个领域的国际专家对这本具有重要价值的书作了贡献。作为一本手册,它集成了辐射探测和测量的最新原理,实践操作指南和程序,提供了包括从自然环境中存在的天然低辐射水平到放射性核素生产、应用和贮藏中出现的高辐射水平的所有种类放射性测量所必需的资料,适合于从事不同各类学科工作的科学家、医生、工程师和技术人员等不同层次人员参考使用。本书的出版,对需要进行精确放射性测量和分析的地方,无论是科学研究还是放射和辐射源的安全及和平应用,都将有助于其工作更精细化。

国际原子能机构总干事
Dr. Mohamed M. ElBaradei

第二版前言

自从1998年《放射性分析手册》第一版问世以来,又取得了许多新的进展,这反映在新版中所大量引用的资料中。同时,也令人高兴地注意到,第一版已经为许多从事放射性核素测量的学术研究和应用科学领域的非常广泛的人员所接受。从第一版后的新进展和对本书的需求出发,我们产生了增加章节,编辑第二版的兴趣。希望能拓宽本书的范围并增加原材料的实际内容,使之更全面地满足许多领域人员的需要。放射性核素和它们的活度的精确测量引起了许多领域从业人员的关注,包括物理、化学、水文学、农业研究、工业、核医学、放射医学、放射性药物学、生物科学、电力生产、废物管理、环境保护和核保障等。虽然工作在上述各领域的人员有各自的研究目标和技术,但他们有共同的需求:尽可能准确地测定放射性核素的活度或衰变率。所测量的放射性核素和所分析的样品的类型,可能会有巨大的差异,这取决于其研究领域,例如,治疗癌症病人所用的放射性药物,环境中所提取的空气、水或土壤样品中的放射粒子或者核电站的放射性废物。本书第二版的目标是为工作于所有领域的学术研究和应用的科学家提供在放射性分析的原理和实验方面最新的资料,便于在环境的发展和保护中放射源的和平应用。

本书的第二版增加了新的三章,即固体径迹探测器,放射性同位素质谱学和辐射剂量学。固体径迹探测器,正如作者所说,能被应用于很广阔的领域,并且它是在星球、物理、生物和医学科学中所使用的最便宜的一种工具。目前世界上有能力使用质谱仪测量放射性核素的实验室的数目正在增加,因此,增加放射性质谱一章是需要的。本章提供了质谱仪的各种类型和应用的详细资料,比较了用质谱法计数样品中的放射核原子和别的章节中所描述的用放射性计数方法通过测量放射性核发射的辐射算出样品中放射核原子这两种方法的优缺点。我们认为增加辐射剂量一章也是适合的,因为这对使用放射性材料及其测量的人员是必须涉及的领域。

所有章节已融入了最新的资料并加以扩展,新进展,新论题和概

念贯穿于每一章。自动化放射化学制备、分析和检测与在核废物和环境中的放射核混合体的自动测量的实用方法一道合成一章。关于放射性计数统计的新的一章阐明了有关在辐射测量中观察到由放射核衰变过程中固有的随机性质所引起的统计涨落的论述,本章与任何从事放射核发射的测量和计数的人员都有关系。

在本书中提到的商用产品并不意味着作者或编者要推荐或者认可。可能已经有另外的或更合适的产品。书中所提及产品的名字仅仅是方便或资料目的。

本书各章的作者来自世界的 10 个国家共 27 位,他们都是放射性分析各个领域的专家。他们对本计划的值得称颂的付出和努力,使得各章都涵盖了他们所在领域的专长,对本书达到了计划的目标是至关重要的。在这里我深深地感谢以下各位的支持和鼓励:

Markku Koskelo 博士, Egbert M. van Wezenbeek 博士, Carla Kinney 和 Christine Kloiber, 还有 Derek Coleman 和 Imran Mirza 在编辑上的帮助; Ramkumar Venkataraman 博士, Agustin Grau Malonda 博士和 Romard Barthel 博士审阅了本书的部分材料,谨致以深深感谢。最后,特别对我的妻子 Reyna 在我完成整个计划中的支持、理解和持久的耐心表示感谢。

Michael F. L'Annunziata

2003 年 2 月

第一版前言

本书集中描述了有关测量放射性核素衰变率和放射核素发射的辐射类型和能量的原理和技术。显然,放射性核素的衰变率的确定提供了样品中该放射性核素数量的定量测定。因此,本书所介绍的活度分析技术是以确定以居里或贝可为单位的放射性核素的活度为目标。

放射性核素活度的测量是一门在广阔学科范围内工作的人员感兴趣的科学。他们包括承担放射性物质的制备、利用和处理以及环境中放射性测量的科学家、工程师、医生和技术人员。他们的工作领域包括放射性药物、核医学、临床分析、科学研究、工业应用、保健物理、核电站、核燃料循环工厂、核废物管理和核保障,这里提及的仅是其中的一部分。在维也纳国际原子能机构工作差不多 15 年期间,我有机会与来自全球各个角落并从事所有各有关学科的人员接触或一道工作,和他们一道分享共同的挑战,尽可能准确地测量样品中许多类型的放射性核素的活度。活度范围包括从环境中遇到的天然或人造放射性的很低水平直到用于研究、医学以及核电站有关领域的高水平。

在 1987 年作为 IAEA 的进修和培训班的主管期间,我有机会出版了在这一领域的名为“放射核示踪剂,它们的探测和测量”的书,目标在于为放射性材料的使用者提供参考。根据 Testuo Sumi 在 1987 年 11 月的“Isotope News 11(410),46”的评论:“本书对于放射核示踪剂的使用者很有用并且是辐射测量的参考书”,我相信该书达到了目标。当然,从那以后,出现了许多先进技术,需要编辑更实际有用的书,不仅包括辐射探测和测量的现代原理,而且还包括测量各种类型的放射性样品的指南和操作程序。这种类型的权威手册需要在放射性测量的各个领域有专长的科学家们的共同贡献。根据所述的目标,全球各地著名的科学家进行了合作,每人都以他或她所从事的放射性分析的专长作出贡献。共同努力的成果就是这本手册,它包含有样品制备程序,需要的计算和关于使用计算机控制高样品全活度

分析技术的指南。

编者并不认为本书包罗了本领域已有的所有分析技术,它仅限于放射性分析的最通用的直接方法,包括从放射性核素中的辐射发射的探测和计数。放射性分析的直接方法保留了全世界各实验室至今最通常使用的方法;放射性核素测量的间接方法属于有限使用,例如加速器质谱和电感耦合等离子体质谱在本书中未涉及。这些方法尚未广泛使用,因为它需要加速器或者很昂贵的设备,这对于大多数实验室难以承受。

由于辐射谱学中半导体探测器的特殊重要性,理所当然地在本书中占有重要的一章,详细地描述了半导体探测器的原理和实际应用,包括样品制备程序。很早以前就发展的气体电离探测器的原理和当前的应用另成一章,包含了辐射探测器和探测方法。

液体闪烁分析技术分为两章,分别为“放射示踪液体闪烁分析”和“环境液体闪烁分析”。前一章集中于放射性核素应用中通常遇到的相对高水平放射性的测量;后一章描述了环境中天然和人造放射性核素测量中所需的低水平活度分析技术。玻璃和塑料闪烁体,由于没有晶体结构,按定义可能不属于固体,但因为这些闪烁体作为辐射探测器使用时是处于机械刚性状态,所以归并于固体闪烁分析这一章中。液体闪烁分析的样品制备技术独立成一章是需要的,因为大量的放射性核素用该方法分析,提供操作指南有助于读者优化计数效率和减少由于化学荧光与猝灭所带来的干扰。由于放射性核素衰变的随机性质,辐射计数的统计计算方法自成一章。

在诊疗所和药物筛选实验室对于高样品全放射核分析日益需要;另外,用于受体结合试验,免疫测定和酶分析的闪烁近似检验(SPA)技术也很需要。从需求考虑出发,液体和固体闪烁分析的多探测器系统也包含在本手册中,涉及高取样全微通道闪烁分析技术的相当多的资料。

本书还包括用 Cherenkov 计数技术分析放射性核素活度的进展及其指南,只要辐射能量和活度水平不是限制因素,它们可以提供放射性分析很实用而又省钱的方法。读者可能遇到由带电粒子产生特征辐射的两种不同的拼写:Cherenkov 和 Cerenkov。前者源于俄语发音的声音拼写,后者则是该词的英文译音。这两种拼写目前在科

技文献中都使用,详细的解释可参看第9章。因为流动闪烁分析获得相当广泛的兴趣,故专有一章描述在流动液体中放射性核素的实验,在线活度分析的指南和操作程序,例如高性能液体色谱,高性能离子色谱的流出物以及伴随核电站和燃料处理工厂的流出物的分析。

本手册还列入了电子放射核显影方法。这种方法可以提供对全身断面序列凝胶体,丙烯聚合凝胶电泳和薄层色谱以及别的媒质等放射性核素活度的相对快速定量电子放射核显影方法,在许多情况下正在替代古老的、不够定量的、慢速的胶片自动放射性照相方法。

与当前的技术相匹配,本书多处描述了计算机控制自动化和数据处理。尽管如此,还有必要用独立的一章描述放射性分析的机器人和自动化以帮助实际工作的科学家把现代技术的整个潜在能力应用于放射性分析。

本手册所描述的放射性的基本性质,放射核衰变和探测方法可以帮助新从事这一领域的科技人员通过对分析方法的深入剖析奠定入门的基础。因此,本书不仅可以作为手册,还可以作为教科书使用。

作为环境中放射性监测的有意义的补充读物,建议读者参阅“环境放射性,从天然、工业到军用源”新的第四版。Merril Eisenbud 和 Thomas Gesell 著,1997年科学出版社出版。

本书中所提及的商业产品并不暗示作者或编者推荐或赞同这些产品。另外的甚至更合适的产品可能存在。提及这些产品的名字仅仅是为了方便或使用资料的目的。

实施本书计划有一个悲伤的开端,1997年4月21日,Michael J. Kessler 博士因心脏病不幸去世。Michael J. Kessler 是听我讲述本书构思的第一人。他非常支持手册的构思,并计划为本书中的几章作出贡献。了解 Michael 的人一定思念这位亲爱的朋友,并尊敬这位在本领域具有国际声望的科学家。

我非常感激作出贡献并坚定地投入这一计划的作者们。他们的著作渗透着时代的新进展,并涵盖了他们的值得称颂的专业领域。我相信由于他们有成效的贡献,我们已达到了本手册的目标。深深感谢 Gene Della Vecchia, George Serrano, Michael J. Kessler 和 Charles J. Passo. Jr. 的支持,也感谢科学出版社的高级编辑 David

J. Packer 在这本广大使用者具有实用价值的手册准备中的热情鼓励,也感谢助理编辑 Jock Thomson 和 Charles J. Passo 对本书的部分材料进行了校阅。最后,要特别对我妻子 Reyna 的支持、理解和持久的耐心表示深深的谢意。

Michael F. L'Annunziata

原英文作者名、所在单位及国别

圆括号中的数字为作者贡献的起始页(在英文原版中)

Allen Brodsky (1165) 科学应用国际公司, 麦克琳, 维吉尼亚, 美国

Karl Buchtela (123) 奥地利大学原子能学院, A-1020 维也纳, 奥地利

Brian Carter (537) 安大略湖动力发生(有限)公司, 怀特拜, 安大略湖, L1N1E4, 加拿大

Gordon T. Cook (537) 苏格兰大学研究与反应堆中心, 东基尔布里第, 格拉斯哥 G75 0QF, 苏格兰

Saeed A. Durrani (179) 物理与天文学学院, 伯明翰大学, 伯明翰 B15 2TT, 英国

Oleg B. Egorov (1129) 太平洋西北国家实验室, 理查兰德, 华盛顿 99352, 美国

David F. Englert (1063) 生物咨询, 西哈特福德, 康涅狄格 06107, 美国

Paul F. Fettweis (239) CANBERRA 半导体 N. V., B-2250 Olen, 比利时

Jay W. Grate (1129) 太平洋西北国家实验室, 理查兰德, 华盛顿 99352, 美国

Agustín Grau Malonda (609) 动力研究学院, CIEMAT, Avda. Complutense 22, 28040 马德里, 西班牙

Agustín Grau Carles (609) 核聚变和裂变系, CIEMAT, Avda. Complutense 22, 28040 马德里, 西班牙

Gerhard Huber (799) 美因兹大学物理学院, 55099 美因兹, 德国

Radomir Ilić (179) 马里博尔大学土木工程系, Smetanova 17, 2000 马里博尔, 斯洛文尼亚; 和 Jožef Stefan 学院, Jamova 39, 1000 卢布尔雅那, 斯洛文尼亚

Michael J. Kessler (347) (去世) Packard 仪器公司, Meriden, 康涅狄格州 06450, 美国

Jens Volker Kratz (799) 美因兹大学 Kernchemie 学院, 55099 美因兹, 德国

Michael F. L'Annunziata (1, 347, 719, 845, 989) 蒙太奇集团, 5033 信箱, 海滨城, 加利福尼亚 92052-5033, 美国

Gerd Passler (799) 美因兹大学物理学院, 55099 美因兹, 德国

Charles J. Passo, Jr. (537) PerkinElmer 生命与分析科学, 唐那斯林园, 伊利诺伊州 60515, 美国

Joseph A. Sayeg (1165) (名誉退休), 肯塔基大学辐射医学部, 列克星敦, 肯塔基, 美国

David A. Schauer (1165) 专业卫生科学服务大学放射医学与放射科学系, 拜色大, 马里兰 20814, 美国

Harold Schwenn (239) Canberra 工业(有限)公司, Meriden, 康涅狄格 06450, 美国

James Thomson (655) PerkinElmer 生命与分析科学, Groningen, 荷兰

Norbert Trautmann (799) 美因兹大学 Kernchemie 学院, 55099 美因兹, 德国

Loraine V. Upham (1063) Myriad Proteomics, 盐湖城, 犹他州 84108, 美国

Ramkumar Venkataraman (239) Canberra 工业(有限)公司, Meriden, 康涅狄格 06450, 美国

Jan Verplancke (239) 堪培拉半导体 N. V., B-2250 Olen, 比利时

Klaus Wendt (799) 美因兹大学物理学院, 55099 美因兹, 德国

Brian M. Young (239) Canberra 工业(有限)公司, Meriden, 康涅狄格 06450, 美国