

科学仪器学科与技术进展的研究报告

一、前言

科学是从测量开始的。科学仪器是信息的源头，是信息产业的重要组成部分，对促进国民经济、科学技术、公共安全、国防建设的发展都有巨大的推动作用，是经济社会发展支柱性、战略性的产业。现代科学仪器既是知识创新和技术创新的前提，也是创新研究的主体内容之一和创新成果的重要体现形式。许多学科分支都是以某种科学仪器的发明而发展起来的。科学仪器及其技术是现代科学与工业的基石。科学仪器的发展水平标志着国家创新能力和科学技术发展的水平。

近两年，随着信息科学、生命科学、材料科学、纳米科学等深入发展，促使世界科学仪器学科与技术的进展突飞猛进，新技术异彩纷呈，新产品不断涌现。另一方面，全球经济和社会发展不断对技术和仪器提出许多新的需求，使科学仪器研究和应用进入一个前所未有的高速发展期。本文仅对近两年来科学仪器研究、发展、新产品等主要部分进行简要的综述。

二、国外科学仪器科技和产业发 展的战略、趋势及我国现状

（一）各国都把发展科学仪器作为国家发展战略

在科学仪器发展的战略目标和资金投入方面，发达国家都制定了各自的发展战略并锁定了目标，有专门的投入，已成为有意识、有政策、有目标的政府行为。如美国，其总体目标是：保持美国在科学仪器领域的领先地位，其措施除了通过政策大力鼓励各大仪器公司加大 R&D 的投入外，国家还通过两个基金会（NSF 和 NIH）扶助各大公司研发科学仪器。美国能源部和国防部每年也都有大量的资金投入，并有明确的目标和要求，采用了类似于我国的横向课题，通过合同委托的办法进行研发。

日本于 2002 年制定了高精密科学仪器振兴计划；欧盟在“第六框架计划”（2002—2006）中将“科学基础设施”（主要指科学仪器）列为第五项重点内容；英国科学技术办公室（OST）建立了科学基础设施和科学仪器投资机制并确立了投资比例；加拿大自然科学与工程研究理事会（NSERC）制定了“研究工具、仪器和设施计划”。

各发达国家都把研发先进的大型科学仪器和实验设施，构建世界级先进实验基础设施平台，上升为创造世界一流科研成果，培育和吸引优秀人才的一项战略措施。

我国已将科学仪器研发列入《国家中长期科学和技术发展规划纲要》（2006—2020 年）。国家发改委将科学仪器产业化列为高技术产业化专项。科技部已将《科学仪器设备研制与开发》列入十一五国家科技支撑计划重大项目。2006 年国务院《关于加快振兴装备制造业的若干意见》中，将“关键精密测试仪器”列为主要任务和实现重点突破的 16 项任务之一。

（二）科学仪器技术发展的趋势

当今科学仪器发展总体上呈现出检测原子、分子和组份的仪器向多功能、自动化、智能化、网络化方向发展；进行分离、分析的仪器向多维分离和分析方向发展；生命科学仪器向原位、在体、实时、在线、高灵敏度、高通量、高选择性方向发展；检测复杂组份样品的仪器向联用分析仪器方向发展；用于环境、能源、农业、食品、临床检验的仪器向专用、小型化方向发展；样品预处理仪器向专用、快速、自动化方向发展；用于国防和生命科学的仪器向集成化、微型全分析系统方向发展；监控工业生产过程的分析仪器向在线分析、原位分析方向发展。

科学仪器是一种高科技产品，它受益于采用各种前沿技术的最新成果，同时也面临各种前沿技术不断地创新和发展的挑战。可以预计，随着生命科学、材料科学、能源科学、环境科学和公共安全科学的发展，以及新技术的不断出现，科学仪器必然采用新技术、新机理、新材料、新器件，会在多功能化、集成化、固态化、微型化、模块化、智能化等方面将不断的创新。

（三）我国科学仪器发展的现状

我国刚开始改革开放时，由于既受市场经济的冲击，又受国有体制的束缚，我国科学仪器的发展经历了一个低潮期，许多科学仪器厂纷纷入不敷出、难以为继，曾经一度明显萎缩。在上个世纪 90 年代初期，科学仪器国产化率只有 13%。

随着国有经济体制改革的深入和人们对于发展科学仪器重要性认识的提高，以及民营企业的崛起，加上整个经济发展加速所起的带动作用和国家从“九五”开始把“科学仪器的研制和开发”列入了科技攻关项目，并逐渐增加投入；国家自然科学基金委员会设立了科学仪器专项，中科院也设立了科学仪器创新研究专项，情况终于有所好转。濒临破产的一些国有分析仪器厂，通过重组、改制，走出了低谷，显示出新的活力。20 世纪 80 年代末和 90 年代初，成立的一批民营分析仪器企业的发展速度很快，近年来年销售额的增长都超过了 30%，他们的产品已得到国内用户的认可，并已有部分进入国际市场，他们之中有部分企业参与了国家科学仪器攻关项目，为科技创新的主体向企业转移迈开了一大步。

通过这些仪器制造企业和相关科研工作者的共同努力，目前我国科学仪器的发展已初具规模，从地理分布来看，主要由四块区域组成，即以北京为中心的渤海湾区域的科学仪器产业带；以上海为龙头的长江三角区域的科学仪器产业群；以长春、大连为基础的东北区域的科学仪器产业化基地和新近崛起的以深圳为代表的珠江三角洲地区。“九五”结束时，以分析仪器为核心的科学仪器的国产化率达到了 30%。科学仪器的研究开发和产业的发展开始逐渐走出低谷，驶入快速发展阶段。部分中低档产品已基本达到国外同类产品水平：如光谱分析仪器领域，具有自主知识产权的原子荧光光谱仪，占领了整个国内仪器市场；中档紫外可见分光光度计和原子吸收分光光度计，除满足国内常规分析的需求外，还有部分出口。当然从总体而言，我国科学仪器还处于幼稚期，以科学仪器中的主体分析仪器为例，在当今运用的 90 余种分析仪器中，我国已有的产品仅为 20 多种，还不到 1/3，再如生命科学专用仪器约有 80 余种，我国商品化产品只有 16 种，正在研究的 10 多种。但是我国科学仪器的市场前景十分广阔，预计在 2006~2015 年期间，

新购科学仪器的总额将远远超过 1,000 亿人民币，这还不包括每隔 5~7 年需要更新换代的数量。

但是，长期以来国外著名的仪器公司凭借技术和品牌的优势，占据着国内的大部分高端市场，特别是高档的光谱仪、色谱仪、质谱仪、电镜、核磁、生化和生命科学仪器等，基本上依赖进口。

三、近两年国外各类科学仪器和产业发展趋势及我国的状况

(一) 色谱仪

1. 色谱仪整体性能不断提高

Waters 公司的 UPLC、戴安公司的 UltiMate 3000 型液相色谱仪以及安捷伦公司的 1200 型液相色谱仪，是液相色谱的代表性仪器。UPLC 使用了超高压输液泵(15,000 psi)，1.7 μ m 无机硅胶和有机硅化合物杂化的 C18 填料，高速采集信号，是高效、高通量、高灵敏度的分析工具。UltiMate 3000 和安捷伦公司的 1200 型液相色谱仪可适应从半制备量到纳升级的 HPLC/MS/MS 的要求，适应生物医药、食品、环境等领域的要求，有较高的技术含量。Selerity Technologies 公司推出的“高温液相色谱的预加热装置”，对流动相进行预加热以改善分离效果。美国 ESA 公司推出的电雾式检测器 (CAD)，其优秀性能足以成为高效液相色谱的通用检测器，其灵敏度可达蒸发光散射检测器 (ELS) 的 10 倍。

气相色谱仪各个生产厂家都把电子压力和流量控制装置，以及整体气路单元和精确的温度和压力控制技术用在整机上，使 GC 的自动化、可靠性和精密度大为提高。

全二维气相色谱 (GC \times GC) 是一个刚刚兴起的技术，与传统的毛细管二维气相色谱相比，其分离能力较传统的色谱技术有了大幅度提高。第一台商品化的二维气相色谱系统是热电集团的 TRACE 2DGC。该型仪器采用了低温调制专利技术。全二维色谱和质谱联用、构成全二维 GC/MS/MS 和全二维 HPLC/MS/MS 是近年国外色谱仪发展的亮点，全二维色谱仪综合了机械、电子、计算机软件等技术，为复杂混合物的分析（如中药、烟草、生物样品）提供了有力的工具。

美国 DIONEX 公司推出的免化学试剂的离子色谱仪 (RFIC) 技术，结合了淋洗液自动发生器，自动再生抑制器技术以及除去淋洗液中杂质的自动连续再生的捕获柱，是重大的改进。同时将离子色谱与脉冲安培电化学检测器结合、构成分离、检测高亲水性和高极性化合物，如生物和食品中的糖、氨基酸、糖醇、多元醇、生物胺以及药品中抗生素的极佳方法。另外离子色谱与原子吸收、原子荧光、和质谱的联用，可以实现对许多元素的形态进行检测，对元素的毒性和营养作出准确的评价。

2. 色谱仪器向小型化发展，适用于现场测试

气相色谱的另一个发展趋势是微型化。当前现场检测日益受到重视，尤其是在食品安全，生产安全、环境监测等公共安全领域。其中代表性的产品有 Agilent 3000、MINICAMSFM-2001、2NOSEMODEL 4200 型等。安捷伦的 3000 型便携式 GC，使用毛细管色谱柱，芯片 TCD，只有 5.1 Kg，可用于石油和煤矿瓦斯气体分析。

复旦大学和上海精密科学仪器有限公司联合推出的 GC190 小型便携式气相色谱仪，北京东西电子推出便携式光离子化气相色谱仪为我国便携式仪器的代表。

3. 芯片色谱仪

为了适应极少量样品的分析，出现了在芯片上进行分离的气相、液相和离子色谱仪，如安捷伦公司发布了芯片分离的 HPLC/MS (Agilent 1100 Series HPLC-Chip/MS system)。

德国微系统科技有限公司 (SLS) 推出的 GCM 5000 被誉为是当今世界最小的气相色谱。该色谱系统拥有传统气相色谱的所有功能和构造，而尺寸只有 3×2 英寸，采用了半导体加工技术，使得分离柱只有人的指甲大小。

目前的瓶颈是如何发展出微型高灵敏、高选择性的检测器。

微型液相色谱系统的主要困难在于高压微流量输液。曾经指望用电色谱来替代高压泵，在原理上是可行的，但使用上有重复性差的问题。德国 IMM 研究所与日本东京大学合作研发的芯片高压液相色谱仪，最后仍然卡在高压输液泵上。

4. 着力于色谱的核心部件色谱柱的研究与开发

色谱柱中的色谱固定相一直是经久不息的研究热点，国外对色谱固定相的研究常常是把研究成果直接放到自己的公司去生产，如现在属于安捷伦公司的 J&W 公司生产的毛细管气相色谱柱，就是 Jennings 把自己研究的成果转化为产品。美国 Astec 公司的手性毛细管气相色谱柱也是 Armstrong 把自己研究的成果转化为产品，并组建了 Astec 公司。另一个特点是各个大公司，结合社会热点、需求，研制专用的高水平色谱柱。Waters 公司的 XBridge HPLC 色谱柱，可以耐受 pH 2~12 的酸碱度，颗粒度有：1.7、2.5、3.5、5.0 μm。Phenomenex 公司的 Germini C18 固定相，可在 pH 1~12 的环境中工作，在 pH 11.5 的溶液中有 50 天的寿命，颗粒度从 3.5~10.0 μm。

近年出现了高温 HPLC，因为在高温下 (150~200℃) 可以提高柱效，可以使用较长的色谱柱和较小的颗粒的填料，可以使用纯水做流动相。适于高温 HPLC 的固定相如热电公司的石墨化碳黑、岛津公司的聚合物包覆的硅胶、Supelco 公司的五氟苯基丙基聚合物固定相以及二氧化锆基固定相等。

至于整体柱技术，目前它在学术领域较之商业领域更为活跃，该技术可以在非常低的背压条件下获得更高分辨率和更快的分离效果。戴安公司 2005 年从 Teledyne Isco Inc 收购了整体柱技术，目前正在从事商品化研究。而国外一些学术研究团队则正迅速地把这项技术向在主链上进行配位体的光接枝方面发展。日本京都技术大学 Tanaka 教授指出，对于硅整体柱而言，单位单元的尺寸从 2.9 埃减小到 2.0 埃，其峰容量和色谱分离效率可提高一倍。

5. 我国产色谱仪的差距

虽然我国近年来推出了电子数字压力和流量控制的气谱仪、便携式气谱仪、中档液相色谱和离子色谱仪，但由于受到我国的基础工业、材料科学、电子技术、工艺技术等方面的制约，色谱仪方面仍有十年以上的差距，主要是：

气相色谱仪：

电子压力和流量控制技术；柱温箱温度控制范围、精度和升降温速率；色谱柱的使用温度和分离能力等尚不及国外产品且检测器品种不全，微型热导检测器和微型电子捕获检测器，色谱柱和软件功能等差距大。

高效液相色谱仪：

输液泵的输液精度与寿命有待提高、检测器种类少，高性能色谱填料几乎全靠进口，色谱柱种类较少。

（二）光谱仪

当今将稳定、可靠的光谱仪器与功能全面的化学计量学软件相结合成为现代分子光谱分析技术的显著标志之一，如红外、近红外、拉曼和紫外光谱分析技术等。

1. 原子吸收

德国耶拿公司推出了全球第一台 **contrAA** 型连续光源火焰原子吸收光谱仪，采用一个连续光源（高聚焦短弧氙灯）取代了传统的空心阴极灯，辐射出从紫外线到近红外的强烈连续光谱（190~900 nm），采用了高分辨率的中阶梯光栅，色散后所得谱线宽度可达 pm 级。该型仪器采用了 CCD 线阵检测器以增加量子效率。从可获得的分析信息量的角度而言，该仪器已和 ICP 光谱仪相近。

2. 原子荧光及联用技术

这是极具中国特色、具有自主知识产权、已处国际领先地位。已有一批骨干生产企业生产，如吉天、科创海光、瑞利，不仅满足国内需求，还有外商代理，销往国外。特别对于当前欧盟的 **ROHS** 指令已于 2006 年 7 月启动（对电子电器产品中的 **Hg**、**Pb**、**Cr**（V1）、**Cd** 的含量有极严格的限止），原子荧光可测定上述四种重金属元素，我国制订的相应标准正覆行国际认证。另外原子荧光与色谱分离系统联用，可检测元素价态，在食品、保健品中的毒性和安性作出更确切地评价。

3. 全日面太阳光学与磁场观测仪器

太阳磁场观测研究是天文学的前沿和热点课题，是太阳物理研究的基本课题，是空间天气学的研究基础和预报基础。太阳大气是太阳最活跃的层次，那里的一切爆发现象和过程与磁场相互作用密不可分。

中科院国家天文台和南京天文光学仪器研究所为解决太阳大尺度矢量磁场观测研究和空间环境预报问题，进行开创性的研究工作，以双折射滤光器置于远心光路和最厚级晶体的温控高稳定度，两路光学系统高精度成像等关键技术，成功地研制全日太阳光学与磁场监测仪器，05 年 12 月在基地正式投入使用，在世界上首次获得了高时间分辨率和高磁场分辨率的全日面矢量磁图。

06 年在北京召开的 **COSPAR2006** 会议上该仪器得到外国专家高度评价。这是“中国天文学家们在基础仪器研究方面取得的巨大突破”，“在太阳活动区电流螺度监测方面是一个绝对领导者”，新的全日面矢量磁像仪将扩大太阳方面的研究范围，是这一重大课题的明显突破，“新仪器将为太阳物理中的各种问题的研究提供更完美的磁场数据。”

4. MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 光谱技术

采用微型制造技术，将机械部件，传感器，执行机构和电子系统利用显微加工技术，集成到一个普通的基材（硅、铝或其他）上。MEMS 可以改进现有所有产品领域，并赋予产品新的特质和性能，出现新一代的过程光谱分析仪。

5. 红外光谱

近两年来红外光谱技术有以下三个方面有明显进展：

（1）红外化学成像

化学成像是一种同时提供空间的、化学的、结构和功能的信息，是一组三维的数据块，化学图像数据为海量数据，使用化学计量学方法进行处理。

近两年的进展主要表现在共焦平面红外阵列检测器与 FT-IR 光谱仪器的耦合研究方面，目前发展方向倾向于使用线阵检测器，可避免面阵中坏像素的影响，值得关注的是如 SPECTRALDIMENSIONS 公司研制开发的专用和在线化学成像分析仪，用于制药，高分子，食品，法医，反恐等领域。

（2）红外光谱数据处理技术

多维红外光谱数据的处理在近两年内得到了特别的关注。研究最多的是二维光谱。

（3）编码光度红外光谱测定法

这是一种新技术，一个编码转盘部件产生干涉图，经过傅立叶变换得到红外光谱图，可以用于检测化学反应动力学和产物的信息，非常适合在线检测，适用于散射，透射和吸收光谱技术的应用。它具有速度快和抗环境干扰能力强、体积小、结构紧凑、更简单和成本低等优点。美国 ASPECTRICS 公司拥有这项新技术，目前产品已经投放市场。2006 年度获得《研究与开发杂志》颁发的百名市场影响力最强新技术产品奖。

6. 近红外光谱

当前，近红外分析已广泛应用于农业、食品、医药、石油、化工等领域，近红外仪器已经形成独立的产业，国际上近红外技术市场主要被美国热电尼高力公司、丹麦 FOSS 公司、德国布鲁克公司、瑞典 Perten 公司等分析仪器企业占据。我国的近红外技术产业经过 20 余年的发展也具有了一定的规模，北京英贤公司和上海棱光公司是其中的代表。

目前国际上主要从事近红外仪器研发、生产的公司也在把主要精力投向模型和方法的研究与开发上，因此共享模型和方法标准的研究将是近红外技术今后几年发展的主要方向。可喜的是，我国科研院校，如石化院、中国农大、湖南大学、中南大学、第二军医大学、华东理工大学等研发出了拥有自主知识产权的、适用于光谱分析的化学计量学软件。这些软件在主要功能上与国际流行软件（如 Unscrambler 和 Grams32）没有显著性的差异，而且在界面语言、风格以及操作习惯上更适合我国的实际情况，已经在实际科研生产中得到了较为广泛的应用。目前我国近红外光谱技术正处顶盛时期的前夜，有许多方面走向世界前列。

7. 在光谱技术领域值得关注的四项新技术取得重大突破

(1) 太赫兹辐射技术及其相关仪器的新进展

近二年来，太赫兹辐射技术取得了不断的进步，特别是这些技术的应用得到了迅速的发展，相关仪器开发和国防、安全检查、材料识别与诊断、生产监测、生物医学等领域应用都取得了许多进步。

太赫兹辐射（T-射线波长为 3,000~30 微米范围内的电磁波）可以像 X-射线那样穿过某些材料，“看”到其背后的物质。T-射线光子能量极低，不会对人体和其他材料造成电离，大多数包装材料如纸张、碳素板、塑料等对 T-射线都是透明的，而金属和含有水分材料不能透过 T-射线，可以利用 T-射线进行成像，透视出包装物品内部物体的 T-射线图像来，从而可以应用于机场行李箱的安全检查和医生对人体内有损伤或破裂器官的检查。该技术的最大困难在于难探测到微弱的太赫兹辐射信号。

太赫兹技术的应用领域主要包括太赫兹光谱、太赫兹成像和太赫兹通讯几个方面。美国 PicoMatrix 公司和 Zomega Technology 公司、英国 TeraVIEW 公司、日本 Nikon 公司、布鲁克光谱公司都相继开发出了太赫兹光谱仪和成像系统。

太赫兹时域光谱技术，目前仍然是太赫兹光谱技术的核心研发领域。

太赫兹成像技术，目前主要向着实时成像、全息成像和三维立体成像技术方向发展。利用太赫兹电场相位信息的相位成像技术，是当前国际上积极发展的太赫兹成像技术之一。

为了发展小型化太赫兹系统，基于飞秒光纤激光器的太赫兹产生与探测系统，已经有实验室原型样机出现。太赫兹光子器件的研发，如太赫兹透镜、太赫兹滤波片、太赫兹波带片等光子学器件，已经吸引了国际科技界的广泛关注。

美国、日本和欧洲相继将太赫兹技术列为未来几年发展的关键技术。

我国于 2003 年启动了“太赫兹物理器件及应用研究重大项目”。“我国首台基于电子激光的太赫辐射源”被评为我国 2005 年基础研究十大新闻的第三项。

(2) 光学分子成像系统

分子影像学是一门新兴的、交叉的科学，具有传统成像所不具有的特点：无创伤、实时、活体、特异、精细（分子水平）的显像等独特性质。

国外光学分子成像系统

A. 精诺真活体内可见光成像系统——Xenogen-200

200 系列体内可见光成像系统，可以做激发荧光和自发荧光断层成像，可实现三维荧光光源的重建。它的探测深度为：颅内可达 3~4cm，分辨率为 1~3mm。

B. KODAK 高性能数码成像系统——KODAK

它能进行二维成像，分辨率为厘米级。不能进行三维成像。

C. 小动物光学分子成像系统——GE

GE Healthcare 通用电气医疗集团的 eXplore Optix 小动物光学分子成像系统，是激发荧光成像设备，探测深度：灵敏度高的时候，为 1.5~2cm；灵敏度低的时候，为 3~4cm。分辨率为 0.5~3mm。虽然国外已经做出了光学分子成像系统，不同程度上还是有一定的缺陷。

国内光学分子成像系统

国内，清华大学、天津大学等科研单位正在研制激发荧光断层成像(FMT)原型系统。截止到目前为止，国内还没有拥有自主知识产权的光学分子成像设备。在综合上述 3 种国外光学分子成像设备的优点并对缺陷进行了改进之后，我国构建了 BLT/FMT 原型系统，该系统包括荧光信号采集装置、图像信号预处理模块以及计算机系统，可以完成自发荧光断层成像(BLT)和激发荧光断层成像(FMT)。BLT 软件已获得我国科技进步二等奖，BLT/FMT 的研究已列入国家 973 计划。

(3) 表面增强拉曼光谱技术

表面增强拉曼散射 (SERS) 技术具有灵敏度高、干扰小的特点，适合于研究界面效应，可以解决生物化学、生物物理和分子生物学中的许多难题。以往由于重现性不好等问题，SERS 在分析测试中还没有发挥应有的作用。近年来，SERS 的最新成果有望解决超高灵敏度分析问题，甚至进行生物单细胞和单分子以及纳米结构的分析。针尖增强拉曼显微技术 (Tip-enhanced Raman microscopy) 利用金属涂层的悬臂在针尖区域产生增强信号，使得在与针尖相接触的被研究物表面有可能测定 SERS 信号。生物芯片与 SERS 技术的结合也是一个令人感兴趣的方法。在芯片表面通过固定生物病原体以及对 SERS 有活性的金属，来测定出 SERS 信号。这些方法还有一些技术难题需要解决，但超高的 SERS 信号为建立高灵敏度的分析方法提供了可能，其前景是很诱人的。

(4) 二维 CCD 阵列探测器光谱仪

我国复旦大学采用多光栅集成技术，对光谱在二维空间 10 重折叠，使实际光谱区测量宽度分别扩展 10 倍，在小于 0.1ms 内、以优于 0.07nm 的光谱分辨率实现了 200 至 1000nm 波长范围内、快速和高灵敏度光谱测量和分析。采用 CCD 或 CMOS 阵列探测器光谱仪是一项革命性设计，通过采用多光栅结构对成像光谱进行高密度折叠，在很宽的光谱区内实现高分辨率、快速和长时间可靠测量，将会成为现代光谱仪设计中一个主流技术和发展趋势。被国际同行“Laser Focus World”(激光聚焦世界)和“Photonics Spectra”(光电子光谱)称为“原创性重要贡献”。在国内已获专利发明权。

(三) 质谱仪及其分析技术的新进展

质谱分析技术是探索物质组分和结构的最有力手段，在引发的物理、化学、生物的一系列科学突破中起着关键作用，所以诺贝尔奖曾于 1906、1911、1922、1989、1992 和 2002 年度，授予与质谱仪和质谱分析理论有关的 7 位科学家。

离子化技术和质量分析器是质谱技术的核心，前者是把待分析样品分子转化为离子，后者是把离子按其质量分离并分别测量它们的数目，构成质谱图。

1. 离子化技术的新进展

离子化新技术主要包括电喷雾(Electrospray Ionization, ESI)和基质辅助激光解吸电离(Matrix Assisted Laser Desorption Ionization, MALDI)两项离子化技术。这两项离子化技术、近年来又取得以下重要的进展。

(1) 解吸电喷雾电离 (DESI) 是 ESI 技术的延伸。溶剂(含少量电介质)流入雾化器的毛细管，喷出的带电雾滴及离子在雾化气的带动下，轰击处于对面的样品靶，将靶上的样品解吸并电离成离子。DESI 的最大特点是无需提取、分离等繁杂的样品前处理，

而且离子化是在大气压下进行，能在很短的时间内完成样品的分析，灵敏度也很高。DESI 的特点使这一技术可在检测爆炸物、化学战剂、毒品等方面得到重要应用。

实时直接分析 (DART) 是与 DESI 类似的离子化技术，它使用激发态氦原子作为离子化试剂，也有很高的灵敏度。

(2) 硅表面上解吸电离 (DIOS) 是用电化学方法腐蚀硅片，形成多孔 (微孔) 表面，将样品涂于硅片表面，再置于激光的照射下，可使样品解吸并电离。

MALDI 需要使用基质，这些基质产生大量的质谱峰，构成很高的背景，使分析发生困难。DIOS 不使用基质，因而背景十分干净，有利于分析小分子。用 DIOS 分析药物 WIN，得到清晰的质谱图。DIOS 用于分析蛋白质也可提高氨基酸序列的覆盖率。DIOS 还有较高的耐盐性。

最近研究揭示，硅片上刻槽或将金属片腐蚀成多孔，只要槽或孔的尺寸在亚微米级，就具有无基质激光电离的性能。

(3) 飞行时间二次离子质谱 (TOF-SIMS) 的离子源，在提高质量分辨水平方面取得突破进展，最重要的是该技术特别适用于有机物表面分析，大面积成像和有机物深度分析，适合生命科学需求。

2. 质量分析器的新进展

质量分析器的研究朝两个方向发展，一是发展新型高分辨率的质量分析器，二是质量分析器的微型化。近年来有以下新进展：

(1) 轨道离子阱 (Orbitrap)。其最大特点是无磁场、无高频电场，只用静电场，属静电场离子阱。轨道离子阱的分辨率高达 15 万，质量测量准确度可优于 2 ppm。在制作成本以及运行维持费上，比离子回旋共振质谱低很多。这种质谱仪在药物研究、蛋白质组学和代谢组学等重大研究领域迅速得到广泛应用。

(2) 质量分析器微型化。在 Oak Ridge National Laboratory 工作的 Mike Ramsey 和 Bill Whitten 以及在 Nanofabrication Laboratory at Bell Laboratories 工作的 Stanley Pau 3 人合作，在 25 mm² 的芯片上制作了 256 个微型离子阱阵列。这种微型离子阱可在 10⁻⁴ Torr 低真空下工作，可免去使用昂贵的涡轮泵。这种微型质谱仪将来可能进入医生诊所，成为临床诊断的仪器。

3. 质谱各种联用技术的进展

Perkin Elmer 2006 年推出新一代的 Clarus 600 GC/MS，以柱温箱设计为例，提高升温 and 降温速率，缩短循环时间，提高样品分析效率和仪器投资回报率。其中 EI 和 PCI/NCI 的灵敏度指标也处于行业先进水平。

热电公司推出最新四级杆气质联用仪 DSQ (TM) II，配置了最新的离子源和检测系统，定量分析的线性范围超过 6 个数量级，扫描速度达到 11,000 amu/sec；组合式傅立叶变换—离子回旋共振质谱仪 FTICR—LTQFT Ultva (TM)，该仪器质量精确度达到亚 ppm 级，分辨率超过 750,000。

岛津公司推出新一代的 GC/MS—QP2010 plus，采用独立加温的高效离子源，大容量排气泵，ODLenS 的检测器等技术。

安捷伦科技公司新一代气质联用仪——5975 inert MSD，此系统具有全新的用户界面，可以通过电子方式共享各种应用方法。该系统的推出，使用户可从网上下载分析方

法而不用自行创建，从而加快了实验室之间各种方法的转移和标准化。分析工作者还可以利用最新版的软件，将原来的 5973 系列 MSD 方法转移到新的 5975 inert MSD 中。

4. 我国质谱仪研发的进展

我国近几年起步研发和销售质谱仪。东西分析仪器公司已小批量投产 GC/MS3100(四极质谱)，国家标准物研究中心正研发 MSQ-1000 平板直线离子质谱，上海精料与复旦大学联合开发了 MS-800ESI-TOFO。上海大学和上海科创色谱公司联合研发成功 GC-TOF-MS。这些国产仪器将在食品安全、药检、商检、农林、化工、生命科学等领域得到广泛应用。

5. 质谱技术发展趋势 (1) 向高精密方面发展。(2) 向小型质谱仪发展。在各类质谱中，生物质谱成为有机质谱中最活跃、最具有生命力的前沿研究领域之一。小型质谱主要以四级杆、离子阱和飞行时间质谱为主。广泛地应用于环境、农业、食品、药检、公共安全。各类质谱仪全球市场状况可参考美国 SDI 公司 2006 年出版的《实验室生命科学和分析仪器工业市场分析与展望》。

(四) 核磁共振仪

核磁共振 (NMR) 在科学上具有重要的地位并对推动物理、化学、生物、医学等学科的发展起到了非常重要的作用。因此诺贝尔奖曾 6 次授予 NMR 工作者，授奖领域涉及物理(1944、1945、1952 年度)、化学(1991、2002 年度)、生理或医学(2003 年度)。NMR 的广泛应用，特别是来自生物、医学领域的需求，推动了 NMR 谱仪技术的迅速发展。近年来有以下进展和突破：

1. 核磁共振波谱仪 (NMR)

(1) 核磁共振对高磁场强度的追求是无止境的。

高强度带来的是 NMR 灵敏度和频谱分辨率的提高、四极展宽的减小、弛豫特性的改变等。继 800MHz NMR 谱仪逐步普遍化之后，900MHz 谱仪的市场和用户迅速增加，几个主要公司已经推出 950MHz 的谱仪。1GHz 及以上的高分辨液体 NMR 谱仪已经在研制之中。美国强磁场国家实验室 (NHMFL) 采用超导和水冷混合磁体，研制出了磁场强度高达 40T (1.7GHz) 的固体核磁共振谱仪。随着新型超导技术、超稳定技术和超屏蔽技术等不断进步，已经制造出了 4.2K 的 800MHz 磁体。杂散磁场大大缩小，磁体重量、液氦和液氮消耗、制造和维持成本显著降低。

例如：Bruker BioSpin 集团推出了世界首款 950 MHz 主动屏蔽超导磁体——950 US2，该产品融合了 Bruker BioSpin 独有的 UltraShield(TM) 主动屏蔽技术和 UltraStabilized(TM) 附加制冷技术，从而具有更为出色的灵敏度和谱色散，但其低温保持器的尺寸和低温性能较之 900 US2 没有改变。

(2) 谱仪包含的射频系统、脉冲磁场系统和信号处理系统，每 3~5 年就有一次重大升级

全数字化的核磁共振谱仪无疑将成为未来 NMR 仪器市场的主流产品。新型谱仪相继采用了高频和宽带接收器，从根本上解决了正交检测的相位和幅度匹配问题。中高端谱仪多具有自动匀场功能。探头的自动调谐技术逐步成为标准配置，普遍采用的多道同

时检测技术，可以实现同核异核的双道同时检测。

(3) 低温探头 (20K) 是重大突破之一

800MHz 低温探头的信噪比 (0.1% 乙基苯) 可以达到 7600:1。低温探头灵敏度提高的关键是降低了热噪音。现已出现接收线圈和前级放大器同时置于低温的探头。

(4) 多功能化和集成化趋势极为明显

配置固体探头 (CP/MAS) 和适用于生物组织的高分辨魔角旋转探头 (HR/MAS) 的用户越来越多。后者在代谢组学分析中有着广泛应用。核磁共振谱仪与液相色谱 (LC) 和质谱仪 (MS) 的集成 (LC-MS-NMR) 在复杂混合物定性和定量分析以及结构鉴定方面具有广大的市场。LC 中的固相萃取、飞行时间质谱 (TOF) 和多级质谱 (如 MS/MS/MS 等) 已经用在集成的仪器之中。

例如：美国瓦里安公司与诺伊大学—香槟分校 (UIUC) 合作推出一款生物固体核磁共振探头——Bio-MAS(TM)。Bio-MAS(TM) 采用了目前正在申请专利的卷形线圈设计技术，从而使得 Bio-MAS(TM) 的发热量较之常规探头降低了 3 倍。发热会对宝贵的固体生物样品造成破坏，而新产品使样品的试验寿命提高了至少 1 倍以上。

我国 NMR 仪器至今全部依靠进口。现已将“300MHz~500MHz 核磁共振波谱仪的研发项目”已经列入十一五“国家科技支撑计划重大专项”。

2. 核磁共振测井仪和探水仪

基于核磁共振原理的仪器还有测井仪和探水仪。核磁共振测井仪器能够提供油井内原油和水的定量分布或原油的储备信息。每年核磁共振测井量超过 3000 多口，取得了很好的经济效益，该要求具有快响应和能够适应地下高温、泥沙等恶劣环境。核磁共振测井仪的生产厂商集中在美国。我国磁共振测井仪已经研制成功。磁共振探水仪主要用于探测地下水源，俄罗斯生产仪器的探测深度可以达到 160m 以上，我国研发的核磁共振探水仪深度在 150m 左右，其产业化示范已列入十一五“国家科技支撑计划重大专项”。

(五) 微区分析仪 (电子、粒子束微区分析仪)

利用电子、粒子束探索和分析样品表面形貌、原子和分子结构、元素组成、化学状态的仪器称为微区分析仪。这部分仪器种类很多，其中在材料科学、微电子学、化学与催化、环保、能源、生命科学等领域应用很广、发展很快的是电子显微镜和电子能谱仪。电子显微镜是人类认识自然，特别是微观世界的有力武器。电子显微镜的发展推动了人类对物质世界认识极限的挑战。近年来，由于像差校正等技术突破以及纳米科技、信息科学、生命科学等学科需求牵引，电子显微镜正处于革命性发展阶段，其主要标志是近年来电镜的分辨本领有异乎寻常的提高，点分辨本领突破 1 埃的限制，能量分辨本领达到 0.1 eV 水平。

1. 扫描电子显微镜 (SEM)

扫描电镜技术发展的主要目标是提高分辨率。场发射枪在扫描电镜上早已广泛应用，近年发展低压电镜 (LVSEM)、环境扫描电镜 (ESEM) 和低能级电镜 (SLEEM)，以适用于生物样品和无需喷涂导电膜，低压时就可观察绝缘样品或半导体样品，为发展固态表面研究，促进 SEM 朝低能级方向发展。

FEI 公司最新的场发射扫描电子显微镜 Nova NanoSEM 能对非导电样品和有污染样品进行超高分辨表征的低真空场发射扫描电镜。与 NanoSEM 同时发布的 FEI Helix 探测技术将浸入式透镜和低真空扫描电镜两种技术成功地组合在一起,给用户带来超高分辨率的同时,还能在低真空环境下有效地抑制非导电材料的电荷积累效应,抑制样品前处理过程中引起的电子束诱导污染。

日本电子推出的移动式扫描电子显微镜 (SEM) “Carry Scope JCM-5100” 大大简化了观测条件的设置,如同光学显微镜方便的条件,可得到 SEM 特有的高观测景深和高分辨率数据。同时通过减小尺寸、减轻重量,用户可轻松移动扫描电子显微镜。启动扫描电子显微镜时只需一个 100V 电源插头。该仪器简化了老式 SEM 所需的设置 (加速电压、光圈调整等作业),放入样本,大约 1 分钟进行真空排气后,即可得到具有立体效果的高分辨率的观测,分辨率达到了 4 埃。

2. 透射电子显微镜

2005 年 8 月 FEI 公司发布了新一代 Titan80-300 亚埃分辨率像差校正透射电镜,分辨率高达 0.07nm。FEI 公司近年来投资 1 亿欧元研制新一代透射电镜。据悉已接受 25 台 Titan 电镜的订单。2006 年 9 月日本日立公司展示了 HD-2700 像差校正扫描透射电镜;日本电子公司与英国牛津和剑桥大学合作开发的像差校正透射电镜的分辨率也已突破 1 埃 (0.1nm)。

美国为了保持其科学研究能抢占先机,由能源部支持的五大电镜实验室共同研发下一代像差校正透射电镜,建造可分辨 0.5 埃、单价数百万至千万美元的新型电镜,计划 2008 年完成。我国台湾地区近期也已投巨资开展“理想的电子显微镜”关键部件的研制工作。

亚埃、亚 eV 透射电镜的出现为物质结构研究开拓了众多的研究领域,包括物质结构的亚埃尺度研究、物质电子结构的亚电子伏特分辨水平的研究,原位有环境反应的实时观测、埃级尺度的电子束加工及原位表征等。

电子显微镜的另一个重要突破是低温电镜的出现及其在生命科学中的应用。生命科学对获取更高分辨率的分子图像的要求十分迫切。对于膜蛋白、蛋白质复合体等大分子结构,传统的 X 光衍射方法和核磁共振法非常困难,将生物样品降至 -150°C 以下,可有效减少辐照损伤,使电子显微镜逐渐成为研究生物大分子结构的最佳工具之一。

透射电镜技术发展主要方向是提高分辨率。特别是在中等电压电镜中获得“亚埃的空间分辨率”和“亚电子伏特的能量分辨率”。

国内 20 世纪 80 年代初生产过 100KV 透射电镜,后停产。目前国内只有中科集团是唯一生产扫描电镜的厂家。透射电镜国内尚属空白。科技部已将“场发射枪透射电子显微镜的研制”列入“十一五”国家科技支撑计划重大项目《科学仪器设备与开发》中。

3. 扫描电声显微镜

中科院上海硅酸盐研究所研制成功扫描电声显微镜,兼备电子显微镜高分辨率和声学显微非破坏性内部成像的特点,获得 3 项中国发明专利和一项国外发明专利权,荣获国家技术发明二等奖,拥有自立知识产权。电声显微镜及相关器件已出口、美、德、日、荷、新及台湾地区,被誉为“我国大型仪器出口到发达国家和地区的成功范例”。

4. 电子能谱仪

作为样品表面元素分析的方法和仪器很多,其中应用最广、最成熟和有效的是 X 射

线能谱仪（XPS）和俄歇电子能谱仪（AES），近两年电子能谱仪的新进展和趋势如下：

（1）平行 X 光电子成像（XPS imaging）技术，可快速（从几秒到几分钟）进行微区元素和化学价态空间分布分析。分辨率优于 $3\ \mu\text{m}$ ，最好的能达到 $1\ \mu\text{m}$ ；

（2）单色化的 X 射线源（小面积 XPS 分析）成为主流配置，双阳极 X 射线源（大面积 XPS 分析）成为选项配置；

（3）最佳能量分辨率优于 0.45eV ，进行精细化学结构和化学价态分析；

（4）在高能量分辨率条件下可获得高灵敏度分析，故可快速采集元素和其化学态信息；

（5）中和系统使得绝缘样品分析简单、方便和有效；

（6）高性能深度剖析，可进行表面与界面、三维成分深度分布分析；

（7）样品可分析面积范围宽： $20\ \mu\text{m} - 10\text{cm}$ ，适应各种样品类型的分析；

（8）多通道检测器和 DLD（Delay Line Detector）检测器，全自动样品台，用计算机控制，可进行多样品、多点、全自动样品分析。

5.超高分辨率光电能谱仪

2006 年 11 月由中科院物理所和理化所，以 KBBF 晶体和紫外激光倍频独有的专利技术共同研制成功用真空紫外激光作光源的国际上首创的角分辨光电子能谱仪，具有多项专利技术，达到当今世界上最高分辨率 0.26meV 和最高动量分辨率 $0.0039\ \text{埃}^{-1}$ ，超高光子通量 4.5×10^4 光子/秒，光电子逃逸深度大于 100 埃，为研究先进材料提供重要手段。

（六）X 射线仪器

1. X 射线衍射仪

国外在 X 射线衍射仪方面的技术发展很快。主要表现在新型探测器、模块化、分析软件的功能强化、先进的 X 射线光学器件等方面。

目前国外各衍射仪生产厂家纷纷研发配备新型高性能探测器，以确保高档仪器市场中的竞争地位。有的公司每不到两年就推出一种新仪器。新型高性能探测器的优点是，使测试效率提高数倍到上百倍，或提高信噪比和灵敏度，或能得到过去难以获得的特殊衍射信息。

模块化、多功能化使得简单的切换操作就可以变化功能，从而使一机多功能成为现实。机械精度和控制指标也大幅度提高。

无论是单晶或多晶衍射仪，其分析软件的功能和性能不断提高，如单晶结构分析算法，多晶全谱拟合结构优化算法，物相检索算法，反射率算法等方面，均有大幅度的提高。

布鲁克·AXS 公司用于 X 射线衍射仪的 VANTEC(TM)-2000 探测器、采用了 MikroGap(TM) 专利技术，从而使得有效区域大幅度上升到 $14 \times 14\text{cm}$ 空间分辨率的同时，动态范围达 10^8 。VANTEC-2000 整合了气态探测器和固态探测器二者的各自优势，在耐用性、分辨率、灵敏度和动态范围等方面均有突破性的进展，是一款真正的准无噪音探测器。

日本理学推出的 SmartLab™ X 射线衍射系统，是全球第一款可在一台全自动化系统上完成所有 X 射线衍射测试的 XRD 系统，仪器具有独特的 Guidance™ 智能化软件以及获得专利的 Cross Beam Optical™ 技术，可以完成一系列对于尖端材料研究至关重要的尖

端测试，包括 X 射线衍射（XRD）、X 射线反射（XRR）、小角 X 射线散射（SAXS）等。我国生产 XD—2/XD—3 多晶 X 射线衍射仪，重复性已优于 0.0006° 。

2. X 射线荧光分析仪

X 射线荧光分析仪方面，波长色散分析的进展主要是分析软件性能的提高，即发展高级次谱线的算法和采用基本参数法等，有利于轻元素的定性和定量分析，其它似乎没有特大的进展。能谱分析仪则在探测器和核电子学方面有重要进展，如 Si—PIN 探测器和 SDD 探测器已投入市场，它突破了过去锂漂移硅探测器的某些性能的限制，使探测动态范围大幅度提高，从而使探测灵敏度提高，也使制造成本大幅度降低且使用体积大为缩小。全反射 X 射线荧光分析法是值得注意的方向，它的特点是其灵敏度可达 ppb 量级。同时，TXRF 技术又继承了 EXRF 方法的优越性，它的定量分析性能方面也有优势。

布鲁克·AXS 公司的 XFlash(R) QUAD 检测器是 QUANTAX(TM) QUAD 型超高速-高灵敏能谱仪（EDS）的核心组件，是目前世界首款用于 EDS 的四通道 40mm 硅漂移检测器。

3. X 射线晶体定向仪

X 射线晶体定向仪是用于生产晶体振荡器的仪器。其定向精度决定了所生产及筛选的每年近百亿片晶片的质量和价格。低档和高档的价格相差 10 倍以上。国外的进展也集中在其精度方面，采用了激光快速测振校正的技术等。

4. 我国 X 射线仪的开发与生产

TXRF 已在国际上得到广泛应用。国内最新推出的 TXRF9 双光路全反射 X 荧光分析仪，可以对从 11Na 到 92U 的所有元素进行分析，一次可对近 30 种元素进行同时分析。

我国没有单晶衍射仪的产品，但有 4 个厂家生产多晶（粉末）衍射仪，年销售量已超过 30 台。但质量和性能方面距国外厂家相差较大，主要靠低价格进入低端市场。

我国目前尚无商品化的波谱分析仪。但已能生产能谱分析仪，年产量达数百台，也有少量出口。主要问题是关键技术部件探测器仍依靠进口。

我国已有 X 射线晶体定向仪产品。在国内市场中数量上占主要部分。问题是精度不够高。我国的石英晶振片的产量达几十亿片，占世界产量的大部分，但由于所用 X 射线晶体定向仪质量不高，价格很低。现已有民营企业在研制高档定向仪，因资金不足，进展不够快。

（七）芯片型微型分析系统

国际上通常把芯片型微型分析系统分两大类：即微阵列芯片（Microarray chips 或称生物芯片 Biochips）与微流控芯片（Microfluidic chips）。

1. 生物芯片技术与仪器

生物芯片是通过微加工和微制备技术在固体表面构建微型生物单元，实现对生命体系中组织、细胞、蛋白质、核酸、糖类、代谢产物、以及相关生物大分子化学修饰信息

进行准确、快速、大信息量的检测。生物芯片被认为是当今十分重要且具有战略意义的前沿高新技术。这不仅在功能基因组学、蛋白质组学、代谢组学和毒理组学等领域研究中发挥了重要的作用，而且在疾病诊断和治疗、新药研究和开发、农业、环境、食品安全、国防等领域中已经显示出了非常广阔的应用前景和巨大的商业市场。

基因芯片、蛋白质芯片、细胞芯片、组织芯片等发展较早。技术较为成熟的微阵列芯片已经大量进入实用。与生物芯片相关联的微流控芯片等技术正在逐渐成熟并开始被各领域应用。

(1) 生物芯片技术发展趋势

A. 高通量、多参数、多功能、集成化。

高通量分析平台是各种生命组学和系统生物学的必备手段和关键技术。

B. 微型化、批量化、标准化、大众化。

这些趋势将使这类产品成为便携式仪器及价廉物美的芯片耗材，适用于家庭、现场等快速检测和就地诊断。在未来生物安全形势比较严重的情况下，更为必要和迫切。缩微芯片实验室代表了未来生物芯片的发展方向，是当今分析仪器发展的新的生长点。

C. 信息化、网络化、远程控制和交互。

软件已成为生物芯片应用的重要部分，网络将海量的、复杂的生物信息进行集成、分析和鉴别。软件信息技术起到了关键作用。

D. 高灵敏度、非标记检测技术。

在生物芯片上进行单分子检测、一直是普遍关心的研究热点。纳米生物检测技术在生物芯片技术中的应用得到了充分的重视，用该技术进行单根 DNA 序列检测，其检测速度的发展潜力可以提高数百倍。

(2) 生物芯片及相关仪器的进展以及产业发展趋势

欧美大型药物公司或生物技术公司都利用生物芯片开展药物相关基因筛选、药物靶点识别、生物标志物识别和筛选、临床前期药物毒理研究、药物基因组学以及个体化诊疗等各方面的研究工作。2004 年，Affymetrix 公司研制出 SNP 分析基因芯片，Agilent 公司推出 aCGH 芯片，为研究肿瘤的发病机理提供了有利工具。罗氏公司开发了 CYP450 系统体外诊断基因芯片，用于筛查病人基因组的多态性，实现在治疗过程中指导医生选择药物种类和用药剂量，对病人进行个体化用药治疗。2005 年元月，美国 FDA 批准罗氏公司的 CYP450 基因诊断芯片上市，将对心脏病、疼痛和癌症的治疗提供有价值的参考。

(3) 生物芯片和芯片实验室发展前景可观

未来生物芯片产业在中国或者国际市场面临几个重要机遇。首先，生物芯片在临床检测、生物安全检测、进出口检疫检测、司法鉴定、健康筛查等“领域”应用的前景会越来越好。第二，生物芯片技术的体系将会逐渐完善，将逐渐整合并实现集成化和微型化。第三，体系逐渐趋于两极化，即快速高通量大型系统和小型快速低通量系统，其中芯片实验室类产品将位居前列。第四，生物芯片体系的国内和国际标准将逐渐建立和趋于完善。

(4) 我国的发展状况

国内目前有近 50 家生物芯片研发机构在微阵列芯片方面和微流控芯片研究方面取

得可观的进展。在生物芯片和相关产业方面，博奥生物公司已具有与国际竞争的水平。其核酸分析芯片、免疫分析芯片、毛细管电泳芯片和生物芯片点样仪、杂交仪、扫描仪等产品已占国内市场份额的 30%，并经国际认证、打入国际市场。中科院力学研究所于 2006 年成功研制出“蛋白质芯片生物传感器系统”，将多种蛋白质活性微列阵、生物分子特异结合性与高分辨率椭偏光学成像技术结合，提供了一种新型无标记蛋白分析技术。该仪器具有对光波位相敏感的采样特性和高通量的独立通道阵列及实时检测生物分子相互作用的功能，并以图像形式实时直观地显示结果和鉴别伪信号的功能。达到国际先进水平。生物芯片和仪器在生命科学、疾病预测和预防、食品安全、环保等公共安全领域有广阔的前景。

2. 微流控技术与仪器

(1) 近两年该领域国际上取得了重大突破与进展

微流控 (microfluidics) 技术是当前正在急速发展的高新技术和科技前沿领域之一，是未来生命科学、化学科学与信息科学发展的重要技术平台，受到高度重视。微流控技术是在微米尺度结构中操控纳升至皮升体积流体的技术与科学，在该尺度下大幅度增强的层流效应、表面张力效应、毛细效应、热传导效应及扩散效应等，使许多物理与化学过程显著加速。最能发挥这种优势的领域之一就是提供生命信息的微全分析系统。通过分析装备微型化、芯片化、集成化，使分析效率成百倍，千倍地提高，试样和试剂消耗下降为百分之一、千分之一，其最终目标是在芯片大小的空间实现化学实验室的全部功能-即所谓“芯片实验室”(Lab-on-a-chip)。

最近，美国加州大学伯克利分校 Mathies 研究组在 DNA 测序的全部操作集成化方面取得了很大进展。所研制的由玻璃和硅橡胶加工的集成化微生化处理器实现了在纳升水平上的 Sanger 测序全部三个步骤，包括热循环、样品纯化和毛细管电泳分离。该系统仅用 1 fmol DNA 模板（试剂和样品消耗较常规方法减少数百倍）以 99% 的准确度完成了 556 个连续碱基的测序。在此基础上，有可能发展出低价便携式的家用基因测序仪。

另一个值得高度重视的发展是美国斯坦福大学 Quake 研究组所报道的基于硅橡胶（聚二甲基硅氧烷，polydimethylsiloxane, PDMS）微加工的高密度微流控芯片系统。该技术在 2002 年在 Science 上以封面论文发表之后，迅速得到多方广泛应用，已成为化学系统实现微型化的重要依托技术。目前，该技术已被应用于反转录酶聚合酶链反应、阵列反应，放射性标记物的多步化学合成以及高效率的蛋白质结晶及结晶条件的优化等重要领域。

(2) 我国在该领域的国际学术地位

2001 年国家基金委启动了题目为《微流控生化分析系统的基础研究》的重大研究项目。目前我国在微流控分析领域，研究成果总体上已达到国际先进水平，其中部分成果、包括：微流控芯片的研制与加工技术、微流控高通量连续进样方法、微流控电致化学发光系统、微流控固定化酶反应器在蛋白质分析中的应用、微流控单细胞分析、微流控荧光和吸光检测系统的微型化，以及纳米技术在微流控系统中的应用等在国际相关学术领域已具备一定领先优势。申请了百余项专利，并研制了多种具备不同程度自主知识产权的微流控分析仪器、装置或样机，为相关仪器的产业化提供了有利基础。迅速开展微流控的应用基础性研究已刻不容缓。未来微流控分析仪器与设备的市场将占越来越大比重。

至 2005 年底，我国大陆学者发表的 SCI 收录微流控论文数已达 190 篇，超过了微流

控分析研究领域强国—日本的当年被收录数，而仅次于美国,位居世界第二。

（八）电化学分析仪器

国际上以美国 CH Instrument 公司生产的 CHI 系列、美国 Bio Analytical System 公司生产的 BAS 系列、美国 Princeton Applied Research 生产的 EG&G 系列、荷兰 Ecochemie 的 AutoLab 系列，是电化学分析仪器的代表。在国内，电化学分析仪器生产厂家有七八个主要生产厂家。

1. 电化学分析仪器的联用技术

分离分析联用的新技术是当前分析仪器发展的一个趋势。将电化学分析技术和其他分离分析手段联用，可以提供高灵敏度、响应快、寿命长、是动态在线检测手段。

联用技术包括高效液相色谱-电化学、光谱-电化学联（如表面等离子体共振、园二色谱、红外、紫外、拉曼等光谱技术），可以实现方便、快速、现场、高灵敏度的分析。

中科院长春应用化学所研制成功毛细管电泳电化学发光检测仪，实现了高效分离和高灵敏度检测。

2. 电化学分析仪器微型化

微型化是现代分析仪器的重要发展趋势之一，微型化电化学仪器常是现场、原位、活体检测技术的基础。

国际上如加州理工学院的 Barton 研究小组，实现了基于 DNA 修饰电极的芯片检测仪器。该仪器可以实现 DNA 的灵敏、快速检测。利用该方法可以实现各类碱基错配的检测。

西安瑞迈分析仪器有限公司最近推出了 MPI-M 型微流控芯片电化学检测仪—电化学分析仪。该仪器依托于系统所拥有的多通道电化学分析数据采集与分析测试平台、微流控芯片多路高压电源控制部件，该仪器可应用于基于微流控芯片分析的电化学检测及联用的微流控芯片电化学分析等。

3. 电化学分析仪器的的发展趋势

研发高灵敏度、响应快、寿命长、微型化、可动态在线检测并经济适用、有自主知识产权的新型电化学分析仪器是发展的趋势，以满足环境、生命科学、能源、出入境检验检疫与食品安全等公共安全领域监测检测对常规仪器的需求。

（九）生命科学技术与仪器的新进展

随着生命科学的迅猛发展，国外许多生产分析仪器和生化仪器的厂家以及一大批新生的生物技术企业都迅速扩展、开拓甚至转向从事生命科学仪器的开发和生产。实际上生命科学技术中所用的仪器既包涵上述八类科学仪器的一系列特定的应用，同时又依据生命科学技术的特需，出现一大批生命科学的专用仪器，包括生物样品的保存、培养、分离、杂交，基因的提取、纯化、扩增、合成、导入、重组，以及复杂的检测、观察和分析等等仪器设备，本文中不逐一概述了，仅以当今生命科学最热门的三大主题，和关键基础设施概述生命科学技术与相关仪器的新进展。

1. 基因测序和基因转录技术与仪器

50 年前提出了 DNA 双螺旋结构以后，癌基因以及内切酶，逆转录酶等的相继发现使生命科学经历了一场空前的大革命。随着对基因的进一步认识，科学家不仅把这些知识应用到人类的健康，而且还延伸到与人类生存息息相关的农业，畜牧业等各个领域中去。目前的主要目标：一是基因治疗的研究；二是用于药物研究的动物模型开发和建立有用的细胞株；三是对农产品和畜牧业进行基因改造，创造高产、优质、高抗的新品种、对人体有益的健康食品。

(1) 基因测序技术与仪器

科学家希望将来能够为病人提供根据他们自己的遗传特征“定制”的药物，这需要对病人的基因组进行测序。人类基因组的第一次测序用了 10 多年。一些新兴的生物技术公司，试图将时间缩短到 24 小时以内。基因组测序领域的先驱 Craig Venter 说：“我们的目标是只花费 1,000 美元，在几分钟或者几秒钟内完成一个基因组的测序”。美国政府给予了大力的资助（NIH 给了 8,000 万美元的专项），2006 年 10 月初美国的民间基金会（X-prize）提出了 1,000 万美元的奖励。快速低成本人类全基因组测序技术正在全世界范围内高速发展，已经成为国际上一个竞争十分激烈的研究领域。例如美国 454 生命科学公司已经研制出商品化的测序设备和试剂，能够对 600kb 的微生物基因组进行测序，准确率可达到 99.99%。

双脱氧核苷酸链终止法(Sanger 法)是目前使用最普遍的 DNA 序列分析技术。Sanger 法最多可以测试约 1,000 个碱基的序列，这个限制主要是由于序列长度的增加会造成链终止的几何可能性减少。要想在几秒钟内对数以 10 亿的碱基对进行测序，需要完全不同的方法。为此，出现了很多的新技术和新仪器。

A) 脉冲多线激发方法 (PME, pulsed multilane excitation)

美国贝勒医学院 (BCM) 和莱斯大学研制出了一种“色盲”荧光检测方法，是基于 Sanger 法和毛细管电泳技术，叫做脉冲多线激发 (PME)，利用 4 种激光，每种与一种特定的染料相配，利用整个可见光光谱，消除了染料间的交互问题，无需进行进一步的信号处理，能收集更多的信号，提高了 DNA 测序的灵敏度和精确度。

B) Solexa 方法

Solexa 公司利用单分子阵列测试 genotyping，目的是重测序人类基因组。该公司相继推出了 DNA 测序表达谱产品 (DNA sequencing ,expression profiling) 以及 microRNA 分析平台-Solexa Genome Analysis System。

Solexa 方法中，检测可以重复 25 次，可以同时检测上亿个核苷酸片断。

C) Nanopore sequencing (纳米孔测序方法)

采用完全不同的方法来鉴别 DNA 分子上的单个碱基，被称为纳米测序。以 4 种碱基间的物理性质差别为基础，将这种差别转变成为可以检测的信号，从而进行测序。此方法测序的是单个 DNA 分子，并不需要 DNA 的扩增。此方法目前还处于理论阶段，仅有实验室的结果。主要面临的挑战是要精炼方法来提高此法检测单个碱基的分辨率。

D) 焦磷酸测序法(Pyrosequencing)

这是个已经被 Biotage AB 公司商业化和推向市场的很有前景的新技术，是新一代 DNA 序列分析技术。这个技术是把一个核苷加入 4 种酶的混合物（DNA 聚合酶，ATP 硫酸化酶，荧光素酶和三磷酸腺苷双磷酸酶）中，利用生物体发光来检测结合到 DNA 上的核苷。该方法可用于 DNA 序列分析，配合相应软件可进行 SNP 分析和 SNP 频率确定。

E) 芯片上的焦磷酸测序技术

该方法可以在包含很多小井（well）的芯片上发生。每个小井中包含着一个核苷链的多个拷贝。这项技术就是 454 测序仪的技术基础。454 life Sciences 公司在 2005 年 8 月的 Nature 杂志上公布了他们开发的比传统的 Sanger 测序方法快 100 倍的一种技术。美国能源联合基因研究所（JGL）认为，该方法读出的片断较短，且不能提供配对端点测序信息，故将该方法与 sanger 结合，可获得更有效，更快捷的测序结果。

F) 聚合酶克隆测序（Polony Sequencing）

这个测序系统的变化之一，就是第一次将聚合酶克隆交联于浸没在乳状液中的珠状微粒上。当扩增反应结束后，每一个微粒上都会携带目的 DNA 分子的许多拷贝。带有聚合酶克隆的微粒可以分别放在单独的小孔内，或固定在凝胶上，以进行同时测序。

G) 杂交测序

利用荧光产生的可视信号来进行检测，类似于碱基连接法。这一测序系统由美国生物科技公司——艾菲矩阵公司（Affymetrix）、佩尔金科学公司（Perlegen Sciences）和 Illumina 公司开发，已经在商业上广为使用。

除上述各种方法之外，还有其它方法，而且各种方法和系统除了快速读取“字母”（碱基）之外，还需要运算能力足够强大的计算机，迅速处理海量的基因组信息，这仍然是制约快速测序法的一个瓶颈。

（2）基因转录技术与仪器

与基因测序技术发展的同时、基因转录有关设备也相继出台。例如：①聚合酶连反应仪 PCR：用于基因或重组基因的克隆；②点转仪：它可以比化学方法更有效的把重组的基因转到活体细胞中去表达；③荧光显微镜：主要用来检测转基因细胞的转基因的成功与否；④细胞流式仪：在检测转基因细胞的转基因成功率。此外，还可以把成功的转基因细胞和失败的转基因细胞分开。

2. 蛋白质组学技术与仪器

（1）以高准确度质谱技术为核心的规模化蛋白质鉴定技术与仪器

为了适应蛋白质组研究的需要，从高分辨率、高灵敏度的蛋白质分离与鉴定的线性离子阱-质谱仪（LTQ）到 2005 年刚推出的 LTQ-Orbitrap 质谱仪，以及具有小于 2ppm 的准确度的傅里叶变换离子回旋共振质谱仪近几年层出不穷。结合 LTQ 三级质谱来确证鉴定肽段的可靠性，目前 LTQ-FT 所产生的数据假阳性率接近于零。LTQ-Orbitrap 质谱仪则利用一种全新的理念，用电场模拟达到接近于 FT 质谱仪的分辨率和小于 5ppm 的准确度。近期推出的准确质量标签技术（AMT），则利用高分辨率、高重现性的多维液相色谱（UPLC）和高精度的 LTQ-FT 质谱仪结合，实现蛋白质的准确鉴定。高通量、规模化、

高速度和高准确度的蛋白质分离与鉴定技术已经为蛋白质组表达谱的研究提供了崭新的发展平台。

(2) 蛋白质组研究中的机器人工作站

借用汽车工业自动装配线技术，蛋白质组研究中的机器人工作站的发明和使用，使得高通量、准确、自动化地批量处理样品成为可能。自动化操作系统主要是指实验室自动化工作站，俗称机器人，是由计算机控制的全自动实验室操作设备。实验室自动化工作站的基本功能是可以自动连续地完成试验的基本操作，如加样：即向每个反应单位（微板中的每一个孔）中加入各种不同成分、不同浓度、不同容积的溶液；稀释：实际上就是加入一定容积的样品或试剂溶液后，再加入一定的溶媒；转移：主要是完成某一试剂或样品的位置变化；混合：将加入的不同溶液进行混合，混合的方式有震荡，也可以用加样器反复吹吸混合；洗板：用适当的溶液清洗试验用的微板，或洗除不需要的反应液；温孵：让反应体系在一定的温度条件下保持一定的时间，使之完成反应过程，自动化工作站可以严格控制温孵的温度和时间；检测：实验室自动化工作站一般都可以与某一种或多种检测仪器连接，在试验操作完成后，可以自动进行必要的检测并自动采集、储存数据，完成整个试验过程。

(3) 大规模蛋白质-蛋白质相互作用研究技术与仪器

大规模蛋白质-蛋白质相互作用的研究是蛋白质组研究的重要内容。其中酵母双杂交技术平台和亲和纯化技术平台易于大规模、高通量和自动化，已经被广泛用于基因功能、蛋白质连锁图和寻找药物靶点的研究。大规模、高通量的酵母双杂交技术平台的核心仪器设备包括自动化的移液操作和酵母菌液涂板技术平台、高通量的菌落计数和挑取机器工作站、自动化的 PCR 反应和测序工作站。一套技术平台平均每天可以完成 10~20 个蛋白质相互作用的筛选和鉴定工作。自动化移液操作和酵母菌液涂板技术平台平均每天可以处理 150mm 的平板 500—1,000 个。高通量的菌落计数和挑取机器工作站每天可以挑取菌落 5,000 个。自动化的 PCR 反应和测序工作站可以每天测序反应 5,000 个。大规模、高通量的亲和纯化技术平台的核心仪器设备包括大规模的生物反应器、旋转培养箱、高通量的蛋白质纯化技术平台、多维色谱分离与 MALDI-MS /ESI-MS 技术平台。整套技术平台每天可以鉴定 10~20 个蛋白质复合体。

(4) 蛋白质组生物信息学支撑技术

蛋白质组研究的另一大特征是研究对象的众多与产生数据的“海量”。在已经成功的人类基因组计划中，也产生了海量数据。蛋白质作为基因的最基础单位，采用“大科学”模式来诠释和转化这些数据具有很重要的意义。生物体内涉及的蛋白质种类数以百万计，且含量大小横跨 10 多个数量级。因此，为了保证其研究结论的准确性、重复性，必须建立符合科学条件的生物信息支撑体系。

生物信息学通过超级计算机、蛋白质信息学软件、工具、数据库及平台对蛋白质科学与技术研究实现全流程数据管理、分析、发布、交换、支持，实现不同层面、目的、来源的实验或分析数据的网络型知识库；实现为以数据为驱动的理论蛋白质科学研究信

息平台和国家级蛋白质科学研究网络（虚拟国家实验室），已经使生物信息学成为实现成员实验室数据资源、分析资源与计算资源的系统整合和无缝共享的重要技术支撑。

（5）发展趋势

未来蛋白质组研究的技术与仪器将向着高分辨率、高准确度、高通量、自动化的方向发展。将高分辨率的分离技术与高灵敏度、高准确度的鉴定技术及更加友好、方便的计算机及软件整合的一体化技术平台，将对蛋白质组研究的发展起到推动作用。另外，蛋白质组研究科学家们也期待着新技术、新方法的突破，以及新仪器的问世。

3. 代谢组学技术与仪器

代谢组学是通过考察生物体受到刺激或扰动后其代谢产物的变化来研究生物体系代谢途径的一种技术。这项技术要求能对限定条件下特定生物样本中的所有代谢组分进行定性和定量分析。在代谢组学的分析方法的选择上，需要在分析速度、无偏性和灵敏度上综合进行考虑。在各种技术中，核磁共振技术具备快速和无偏向性的特点，但与其它技术相比灵敏度则太低；其它方法（如 CE/LIF）有着很高的检测灵敏度，但为选择性检测。而色谱质谱联用方法（GC/MS 和 LC/MS）能够很好地兼顾灵敏度和无偏性。

在近两年的代谢组学分析方法的研究集中于无偏性、灵敏度和通量三个方面性能的提高。如使用全二维气相色谱技术和二维液相色谱技术与质谱联用以提高分析方法的分辨率；使用傅立叶变换离子回旋共振质谱提高检测的灵敏度和提供精确的分子量信息，使得代谢物的定性更准确，同时提高分析的通量；使用整体柱提高分析的通量；使用超高效液相色谱提高分析的灵敏度和通量；使用亲水反应色谱柱来扩展检测范围，即应对无偏性的需求。

可用于代谢组学研究的新产品有：Waters UPLC-Q-TOF、Shimadzu IT-TOF、Agilent 1200、Leco GC×GC-TOF、LC-SPE-NMR。

代谢组学技术分析将继续关注分析方法的无偏性、灵敏度和通量三个方面，以满足代谢组学对分析方法的要求。多维色谱及联用技术仍将是这一领域的主要趋势。

4. 深致冷仪器设备

低温达 -86°C — 196°C 的深冷仪器设备，包括深冷储存（超低温冰箱）、冷冻干燥，冷阱等仪器设备是各种活性物（样品、组织、细胞、微生物、疫苗、酶、病毒等）以及活性试剂保存的必备设备，广泛应用于生物学，生物工程、生理生化、制药、食品、农业、医疗卫生、航天等领域。国外采用双级复式专用压缩机制冷系统和液氮制冷系统，这些技术一直被美国和日本几家公司垄断，所以我国深冷设备完全依赖进口中科院低温中心，理化所等经近几年攻关，已经成功攻克“新型深冷混合工质节流制冷技术”。其核心技术是改变工质实现整个深冷温区的高效制冷，具有我国自主知识产权。荣获“2006年度国家技术发明二等奖，”以该核心技术为基础、已生产出“高性能冷冻干燥机（仪）”、“高性能真空冷阱/捕集器（色谱仪中新的装置）、以及生命科学必备的活性物质深冷保存设备，后者已由中科美菱集团、推出系列化产品，其中 -180°C 的设备可替代液氮致冷系统。该核心技术将使我国摆脱以往我国 97%以上深致冷仪器设备依赖进口的局面。

（十）环境监测仪器

1、国外的技术发展和趋势

(1) 环境监测分析仪器

日美等发达国家在环境监测分析仪器的开发、研制以及技术研究和发 展方面处于世界领先地位。通用的大中型分析仪器对安装应用的环境要求较高，因此，多用于实验室的环境监测科研，以及难度较大而且技术性较强的监测分析。环境试样基质复杂，故多采用一系列样品前处理新技术。

开放式 UV、IR 和 TOFMS 是空气有机污染物实时监测的新领域。此外，FTIR 探测器对于突发性有机毒品泄漏、化学品恐怖的预警都已成为发达国家的首选。

如奥博生物公司的生物芯片技术，在欧洲和北美已用于排水的监控，以 PCR、ELISA 和 SPR 为机理的生物芯片检测技术发展十分迅速，且在美国已把 ELISA 技术作为 EPA 标准。

(2) 大气污染探测技术与装备

近年来，国外致力于发展基于激光光源的、监测灵敏度更高的、长光程吸收光谱仪，但目前尚处于试验阶段。在大气污染探测激光雷达方面，近年来倾向于发展探测灵敏度很高的差分吸收激光雷达，用于城市大气环境和城市污染源的高时空分辨率探测。德国、美国、意大利和瑞典等国已分别研制成功车载式差分吸收激光雷达样机，并正在进行实用性试验。考虑到差分吸收激光雷达的技术复杂、造价昂贵、可靠性尚待提高、对操作和维护人员的技术素质要求太高，估计近期内推广使用有困难。因此世界各国也在发展拉曼激光雷达技术。拉曼激光雷达虽然探测灵敏度较差，但其结构简单、造价较低、性能可靠，使用维护方便，使之很适合用于对城市大气污染源的流动监测，正好弥补了常规光学监测手段对污染源监测能力的不足。

(3) 我国环境监测与探测仪器的状况

我国环境监测仪器多是出自于中小企业的中低档产品，技术水平低，产品种类单一，故障率高，使用寿命短。从而致使监测频次低、采样误差大、监测数据不准确，不能及时反映排污状况，既影响环境管理的科学决策和执法的严肃性，又易挫伤企业治理污染、保护环境的积极性。国内最新研发的原位热湿采样法实现了烟尘在线自动监测和烟尘总量控制的要求。但还有多种污染排放在线监测系统对高温、高湿、高颗粒物含量等带来的测量问题还没有很好的解决。排水、排气污染项目自动监测的手工比对、数据质量的提高以及 PM10、PM2.5 的监测仪器开发和不同原理仪器监测数据的准确性把握，在我国都存在较大差距。

四、我国科学仪器发展的有关问题和政策方面的建议

1、我国科学仪器发展中存在的问题

(1) 仍处于与我国科技，经济和社会发展不相称的幼稚期

科学仪器技术和产业属于高科技领域和高技术产业，具有投资风险较高，尤其是进入产业化“门坎”之前，风险高而且投资回报较慢，市场总容量相对有限。但是对整个科技发展、社会进步、工农业生产和国防力量增长的拖动力又很大。我国科学仪器企业规模小，技术创新能力弱，同类产品多家生产，产品大同小异，技术趋同，低价竞争，品种有限，高端甚少，总体上我国科学仪器技术与产业处于与我国科技、经济、社会发

展不相称的幼稚期。

(2) 研发与产业化结合链上仍存在一定问题

承担国家任务的科研机构、高校和一些重要领域与部门所应用的科研设备和测试仪器长期过度依靠进口，自行研制仪器意识薄弱，过去为企业提供原创性成果甚少，虽提供了一些技术集成性的原理型样机，因与企业结合的链条上存在一定的问题，实现产业化的成功率低、周期长。

(3) 存在着跨国科学仪器公司对我国科学仪器的挤压

跨国科学仪器公司对我国科学仪器优秀人才实施有力的吸纳举措，同时又以先进的产品对我国科学仪器市场的抢占，对中国科学仪器企业的挤压是很明显的。

2、扭转颓势振兴科学仪器产业的几点建议

中国科学仪器市场处于高增长、动态多变、剧烈竞争的时期。今后 15 年到 20 年是我国在科学仪器研发上尽快扭转颓势的重大机遇期，也是历史给中国科学仪器研发和产业振兴的黄金时期。要使处于弱势的中国企业赢得胜利，迫切需要政府加强领导，加强宏观调控和政策引导，特此建议：

1. 研究建立完善我国科学仪器工业创新体系，组织制订振兴科学仪器工业发展的中长期规划，组织几个重大工程性项目，确保实现《规划纲要》提出的任务和目标。

2. 要努力改变世界科学仪器的市场格局，切实解决对外依存度过高的问题。

要使自主创新成为科学仪器产业技术的主导，降低对外技术依存度，需要解决两个问题：原始技术创新的科技力量布局问题和国家给企业创造市场的问题

对国家重点投资建设项目的仪器设备采购，一方面，在引进进口仪器时，用户方与国内科学仪器制造方应紧密配合，全面消化吸收国外先进技术，从而达到最大限度发挥进口仪器作用的目的；另一方面，实施“准政府采购”（项目订购或首购），在被挤压的市场上给我国企业一个稳定的市场份额，给企业提供自主创新仪器和工业化试验的机会和舞台，以增强企业自主创新的激情和动力。

3. 切实贯彻国务院《关于加快振兴装备制造业的若干意见》指示精神，认真落实国家对企业自主创新、研发投入的优惠政策和进口仪器关键部件的税收优惠政策。

4. 加速科学仪器科学与技术创新体系建设，实现企业为主导。全面研究和支持企业实现自主创新主体地位的金融、科技计划等方面政策，特别是对解决产、学、研、用技术创新体系建设和科学仪器人才缺乏、失衡的问题的研究。并制订和实施具体的应对措施。

我国目前正处在“自主创新”时代，科学仪器技术和产业正在快速发展，一些具有现代企业特征的新兴企业成长迅速，科学仪器开始从“制造”走向“创造”之路。但总体而言，我国科学仪器产业还处于初始阶段，我们应该冷静、清醒地看到并承认差距和困难，也深知今后 10~15 年是我国仪器工业追赶世界先进水平的关键时期。

但只要 we 坚持以科学发展观统领全局，转变发展观念、创新发展模式、提高发展

质量，我们的目标一定可以实现。

致谢!

在此真诚地感谢本报告撰写过程中得到国内一大批著名学者，专家的热情支持。为本报告提供了许多宝贵资料的学者、专家有：（按本报告的内容排列）

色谱技术与仪器

北京理工大学傅若农教授

中国科学院化学所刘国詮研究员

中国科学院生态环境中心牟世芬研究院

中国科学院大连化物所关亚风研究员

光谱技术与仪器

中国科学院自动化所田捷研究员

复旦大学陈良尧教授

清华大学邓勃教授

北京化工大学袁洪福教授

首都师范大学赵国忠教授

国家天文台张洪起

中国石化科学院诸小立

质谱技术与仪器

中国科学院化学所王光辉研究员

清华大学查良镇教授

能谱技术与仪器

中国科学院长春应用化学研究所李兴林研究员

中国科学院物理所周兴江研究院

波普技术与仪器

中国科学院武汉分院叶朝辉院士、刘买利所长

电镜技术与仪器

北京航空航天大学王荣明博士

生物芯片技术与仪器

博奥生物有限公司夏朝阳博士

中国科学院力学所靳刚研究院

微流控技术与仪器

浙江大学、东北大学方肇伦院士和方群教授

电化学技术与仪器

中国科学院长春应用化学研究所的汪尔康院士

生命科学技术与仪器

中国科学院基因组研究所万戈江博士

东南大学陆祖宏教授

军事医学科学院钱晓红研究员

中国科学院大连化物所许国旺研究员

中国科学院理化所吴剑锋研究员

环境监测技术与仪器

国家环境监测总站齐文启研究员

中国科学院生态环境中心江桂斌研究员

在本文撰写过程中得到了中国仪器仪表学会分析仪器分会刘长宽秘书长、金陵同志和仪器信息网（www.instrument.com.cn）的大力支持。在此一并致谢。