



2006-2007

仪器科学与技术 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN INSTRUMENTATION SCIENCE AND TECHNOLOGY

中国科学技术协会 主编

中国仪器仪表学会 编著



中国科学技术出版社



2006-2007

仪器科学与技术 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN INSTRUMENTATION SCIENCE AND TECHNOLOGY

中国科学技术协会 主编

中国仪器仪表学会 编著

中国科学技术出版社
· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2006—2007 仪器科学与技术学科发展报告/中国科学技术协会主编;
中国仪器仪表学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2007.3

ISBN 978-7-5046-4529-6

I. 2... II. ①中... ②中... III. 仪器—科学研究—研究报告—
中国—2006—2007 IV. TH7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 024245 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjpbbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:10.5 字数:252 千字

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:28.00 元

ISBN 978-7-5046-4529-6/TH·46

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、

脱页者,本社发行部负责调换)

2006—2007 仪器科学与技术学科发展报告

首席科学家 金国藩

课题负责人 陆廷杰

课题组成员 (以姓氏笔画为序)

任殿义 闫成德 肖中汉 张汉权 张明远

张钟华 赵光明 赵安中 赵建 施一明

徐开先 戚康男 蒋士强 樊尚春

学术秘书 肖中汉

序

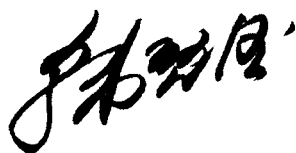
基于我国经济社会发展和国际社会竞争态势的客观要求,党中央、国务院做出增强自主创新能力、建设创新型国家的战略部署,这是综合分析我国所处历史阶段和世界发展大势做出的重大战略决策。学科创立、成长和发展,是科学技术创新发展的科学基础,是科学知识体系化的象征,是创新型国家建设的重要方面,是国家科技竞争力的标志。在科学技术繁荣、发展的过程中,传统的自然科学学科得以不断深入发展,新兴学科不断产生,学科间的相互渗透、相互融合的趋势不断增强;边缘学科、交叉学科纷纷涌现,新的分支学科不断衍生,科学与技术趋向综合化、整体化。及时总结、报告自然科学的学科最新研究进展,对广大科技工作者跟踪、了解、把握学科的发展动态,深入开展学科研究,推进学科交叉、融合与渗透,推动多学科协调发展,促进原始创新能力的提升,建设创新型国家具有非常重要的意义。为此,中国科协在连续4年编制《学科发展蓝皮书》基础上,自2006年开始启动学科发展研究及发布活动。

按照统一要求,中国力学学会、中国化学会、中国地理学会等30个全国学会申请承担了2006年相应30个一级学科发展研究任务,并编撰出版30本相应学科发展报告。在此基础上,中国科协学会学术部组织有关专家编撰了全面反映这30个一级学科的总报告——《学科发展报告综合卷(2006—2007)》。

中国科协是中国科学技术工作者的群众组织,是国家推动科学技术事业发展的重要力量,开展学术交流、活跃学术思想、促进学科发展、推动自主创新是其肩负的重要任务之一。开展学科发展研究及学科发展报告发布活动,是贯彻落实科技兴国战略和可持续发展战略,弘扬科学精神,繁荣学术思想,展示学科发展风貌,拓宽学术交流渠道,更好地履行中国科协职责的一项重要举措。这套由31卷、近800余万字构成的系列学科发展报告(2006—2007),对本学科近两年来国内外科学前沿发展情况进行跟踪,回顾总结,并科学评价了近年来学科的新进展、新成果、新见解、新观点、新方法、新技术等,体现了学科发展研究的前沿性;报告根据本学科的发展现状、动态、趋势以及国际比较和

战略需求,展望了本学科的发展前景,提出了本学科发展的对策和建议,体现了学科发展研究的前瞻性;报告由本学科领域首席科学家牵头、相关学术领域的专家学者参加研究,集中了本学科专家学者的智慧和学术上的真知灼见,突出了学科发展研究的学术性。这是参与这些研究的全国学会和科学家、科技专家劳动智慧的结晶,也是他们学术风尚和科学责任的体现。

希望中国科协所属全国学会坚持不懈地开展学科发展研究和发布活动,持之以恒地出版学科发展报告,充分体现中国科协“三服务、一加强”(为经济社会发展服务,为提高全民科学素质服务,为科学技术工作者服务,加强自身建设)的工作方针,不断提升中国科协和全国学会的学术建设能力,增强其在推动学科发展、促进自主创新中的作用。

A stylized, cursive handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Zhong, the President of the Chinese Association of Science and Technology at the time.

2007年2月

前 言

中国仪器仪表学会于2006年7月接受中国科协的委托,正式立项开展仪器科学与技术学科发展的研究工作。中国科协对学科发展研究非常重视,提出了明确的要求:研究组成员包括一批学识渊博、经验丰富并在学科和产业领域熟悉情况的专家学者,首席科学家由知名科学家担任;研究工作在2006年底前完成,并撰写出研究报告。我会对完成这项任务高度重视,成立了以金国藩院士为首席科学家的研究组,分8个分学科专题开展研究,选聘了8个分学科研究组的负责人,他们都是各分学科领域的知名专家。

整个研究工作的进程是,8~9月各分学科开展调查,收集资料;10月各分学科撰写该分学科发展研究报告,其间多次讨论修订,10月底完成了各分学科的学科发展报告;11月由我会专家委员会在各分学科发展报告的基础上撰写出学科发展的综合报告,该报告经金国藩院士审阅修订,作为讨论稿供专家讨论;12月初在中国科协统一安排下学会召开仪器科学与技术学科发展讨论会,邀请了30多位院士、教授和专家,对学科发展综合报告展开详细讨论,特别是对发展项目逐一审定;12月中下旬,研究组根据专家们的审定意见和建议,对学科进展综合报告和各分学科专题进展报告进行了最后的修订,完成了这份学科发展报告。

本报告包括序言、前言、目录、综合报告、专题报告等部分。综合报告主要阐述了近两年来我国仪器科学与技术学科领域科技和产业发展取得的重大进展和科技成果。报告还介绍了仪器科学与技术学科的内涵和组成、学科领域科技和产业发展的特点及趋势、基本状况及差距、未来发展的需求和目标,最后对政府支持学科科技和产业发展提出了建议。这份报告既注意学术性,又不失可读性,它将对推动我国仪器仪表学科领域科技和产业的发展发挥积极的作用。

许多专家对这项研究和撰写学科发展报告奉献出了大量的心血,作出了宝贵的贡献,我们在此表示衷心的感谢,特别要感谢金国藩院士、施一明教授、闫成德研究员、蒋士强研究员、戚康男教授、赵建教授、张明远教授、任殿义教授、徐开先研究员、樊尚春教授、赵光明教授、赵安中高级工程师等各位专家,他们在完成这项研究任务中发挥了核心的作用。

由于研究任务重、时间紧,许多工作还欠仔细,报告内容也缺乏反复推敲,敬请学科和行业专家们指正。

中国仪器仪表学会
2006年12月

目 录

序	韩启德
前言	中国仪器仪表学会

综合报告

仪器科学与技术学科发展与前景	(3)
一、引言	(3)
二、仪器科学与技术学科的内涵和组成	(4)
三、仪器科学与技术学科领域科技和产业发展的特点及趋势	(5)
四、我国仪器科学与技术学科领域科技和产业发展的基本状况分析	(10)
五、我国近期仪器科学与技术学科领域科技和产业主要进展	(14)
六、我国仪器科学与技术学科发展的未来需求和目标	(27)
七、我国仪器科学与技术学科领域科技研究方向和产业发展建议	(28)
八、我国仪器科学与技术学科发展组织方式和政策措施建议	(33)
参考文献	(34)

专题报告

自动化仪表与控制系统	(37)
科学仪器	(51)
医疗仪器	(74)
电工计测技术及电工仪器仪表	(91)
电子测量与仪器技术领域	(105)
相关传感器	(116)
仪器仪表元器件	(128)
仪表功能材料	(141)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Advances in Instrumentation Science and Technology	(151)
--	-------

Reports on Special Topics

Automation Instrumentation and Control System	(152)
Scientific Instrument	(152)
Medical Instrument	(153)
Electrical Instrument	(154)
Electronic Instrument	(155)
Related Sensors	(156)
Instrumentation & Elements	(156)
Instrument Materials	(157)

综合报告

仪器科学与技术学科发展与前景

一、引言

最初作为测量器具的仪器在促进科技和生产发展的同时,在现代科学技术和生产力的推动下,已成为完整的仪器科学与技术学科。作为测量和测试技术集中体现的仪器科学与技术学科,在当今我国国民经济和科学技术发展中的作用日益明显,仪器仪表是工业生产的“倍增器”、科学研究的“先行官”、军事上的“战斗力”、国民活动中的“物化法官”已广为人们所理解。

根据国际发展潮流和我国现状,仪器科学与技术学科主要包括:工业自动化测控技术及工业自动化仪表与系统;科学测试、分析技术及科学仪器;人体诊疗技术及医疗仪器;信息计测技术及电测仪器;专用检测技术及各类专用测量仪器;相关传感器、元器件、材料及技术。仪器科学与技术学科领域科技和产业发展的主要特点和发展趋势是:学科面对的产品种类和品种多样化;产品的稳定性、可靠性和适应性要求很高;产品的技术指标和功能不断提高;最先应用新的科学研究成果,高新技术大量采用;仪器及测控单元微小化、智能化,可独立使用,也可嵌入式使用和联网使用;仪器测控范围向立体化、全球化扩展,测控功能向系统化、网络化发展;便携式、手持式以至个性化仪器大量发展。

目前,我国仪器科学与技术学科从理论研究、计量基准、产品制造技术、新器件、新材料、新工艺的研究和应用等方面已日趋完善,并形成门类品种比较齐全、布局较为合理、具有相当技术基础和生产规模的仪器仪表产业体系。从产品的科技水平分析,目前绝大部分国产仪器的科技水平处于国际上 20 世纪 90 年代初、中期的水平,中低档产品品种基本齐全,能够批量生产,且质量稳定;少数中高档产品,已接近国际水平。在工程应用技术方面,已经能够承担一部分国家重大工程仪器仪表系统成套工程。但在高技术含量的自动化仪表及系统、科学测试仪器、传感器、元器件等产品的竞争上,国内仪器仪表行业还基本上处于相当被动的境地。可喜的是,随着我国经济持续稳定地快速增长和“企业要成为科技创新主体”国策的实施,我国仪器仪表产业规模的年增长速度连续四年超过 20%,近期我国仪器科学与技术学科领域科技和产业发展在实现微型化、数字化、智能化、集成化和网络化等方面紧跟国际发展的步伐,具有自主知识产权部分的开发研制及产业化,取得了显著的进展。特别是自动化仪表及大型控制系统出现重大进展,解决了现场总线在仪器仪表和控制系统中应用的一些关键技术,在基于 HART、FF 现场总线的变送器、执行机构、控制系统等方面取得了重大成果,达到国际先进水平,并已开始实现产品化,打破了由国外大公司垄断的局面;研究解决了工业实时以太网系列关键技术,原创性地提出了 EPA(Ethernet for Plant Automation)工业控制网络通信技术,制定了我国第一个拥有自主知识产权的现场总线国家标准和国际标准;先进控制与优化软件产业化取得重大突破,已基本可以平等地与国际著名的 Aspen、Honeywell 竞争;解决了大型控制系统在工程应

用中的可靠性问题,在石油化工、大型电力、核电、冶金等领域得到广泛应用。

本报告除介绍上述情况外,还对我国仪器科学与技术学科发展的未来需求和目标进行了剖析,在此基础上对我国仪器科学与技术学科领域科技研究和产业发展方向、仪器科学与技术学科发展的组织方式和相应政策措施提出建议。

二、仪器科学与技术学科的内涵和组成

(一) 仪器科学与技术学科的内涵

马克思曾说过,制造和使用工具,是区分人和动物的根本标志。人类也正是在制造和使用工具的不断发展中加快认识世界、改造世界(包括人类本身)的进程。“工欲善其事,必先利其器。”在人类进化和社会发展的历史长河中,在创造、制作、使用工具改变生活环境和自身的过程中,仪器作为计量器具、疾病诊疗辅助器械和观天测地器件,是人类智慧的结晶,是直接扩展人类感知、操作能力的工具,为人类建立和发展科学研究、扩展生产规模创造了有利条件。

著名科学家门捷列夫说过:科学是从测量开始的。最初作为测量器具的仪器在促进科技和生产发展的同时,在现代科学技术和生产力推动下,已形成较完整的仪器科学与技术学科。她是当今社会人类对物质世界(包括人类创造的各种工具和人类本身)进行测量,并使人类能方便监控物质世界使之达到最佳目标的基本手段和技术,是人类认识世界、改造世界的重要工具,是现代科技的重要学科之一,并与现代科学技术的许多学科有着紧密联系。我国著名科学家钱学森明确指出:“发展高新技术,信息技术是关键,信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术,测量技术是关键和基础。”王大珩院士也多次指出:“在当今以信息技术带动工业化发展的时代,仪器仪表与测试技术是信息科学技术最根本的组成部分。”作为测量和测试技术集中体现的仪器科学与技术学科,其在当今我国国民经济和科学技术发展中的作用日益明显,仪器仪表是工业生产的“倍增器”,科学研究的“先行官”,军事上的“战斗力”,国民活动中的“物化法官”已广为人们所理解。

实际上,随着人类制造和使用工具的规模不断向高、大、精、尖发展,人类活动的规模和深度不断扩大和深入,人类已不可能通过自己的感觉、思维和体能器官直接观测和操作工具使之达到既定的目标。仪器科学与技术学科的内涵就是专门研究、开发、制造、应用各类仪器以使人的感觉、思维和体能器官得以延伸的科学技术学科,从而使人类具有更强的感知和操作工具的能力来面对客观物质世界,能以最佳或接近最佳的方式发展生产力、进行科学研究、预防和诊疗疾病及从事社会活动。

(二) 仪器科学与技术学科的组成

仪器科学与技术学科作为工程性学科,有关仪器运行、应用的理论研究,新技术、新器件、新材料、新工艺的研究和应用集中体现在新型仪器仪表及相关的传感器、元器件和材料等领域的研究和产业化中,科技研究和产业发展紧密结合。目前,根据国际发展潮流和

我国现状,仪器科学与技术学科主要组成包括:工业自动化测控技术及工业自动化仪表与系统;科学测试、分析技术及科学仪器;人体诊疗技术及医疗仪器;信息计测技术及电测仪器(主要是电子测量仪器和电工测量仪器,包括仪表校验装置和计量基准);专用检测技术及各类专用测量仪器;相关传感器、元器件、材料及技术。

三、仪器科学与技术学科领域科技和产业发展的特点及趋势

(一)仪器科学与技术学科领域科技和产业发展的特点

根据仪器科学与技术学科的内涵和组成,目前仪器科学与技术学科领域科技和产业发展具有以下主要特点。

1. 产品种类多样化

据不完全统计,我国仪器科技产品原属国家机械局归口的工业自动化仪表及控制系统、科学仪器、电工测量仪器及其他各类测量仪器仪表已发展到 13 大类,145 小类,800 多个系列,16 000 多个产品品种;属信息产业部归口的信息技术电测仪器有 20 大类,2 000 多个产品品种;属卫生系统归口的医疗仪器也有 23 大类,2 000 多个产品品种;相关传感器、元器件及材料的产品品种更是不胜枚举。

工业自动化仪表及控制系统主要是各类生产现场的仪表及控制室仪表,其中包括各种温度、压力、流量、物位等过程检测仪表,各种变送、调节仪表、各种执行伺服装置及执行器,各种 PLC(可编程逻辑控制器),SLC/MLC(单/多回路调节器),各种专用控制器、DCS(分散控制系统)、FCS(现场控制系统)等。

科学仪器主要包括各种电化学、光学、热学分析仪器,质谱、波谱、色谱分析仪器、能谱及射线分析仪器、物性分析仪器、生化分析仪器、在线分析仪器及光学仪器、试验机、实验室仪器等。

信息技术电测仪器主要是各种电子测量仪器、电工测量仪器、仪表校验装置和计量基准,其中电子测量仪器包括信号(频率、时延、相位等)测量分析仪器、信号源、元器件参数测量仪器、通信信道测量分析仪器、电声测量仪器、广播音响测量仪器、通信测试仪器、光纤测量仪器等;电工测量仪器包括电能计量仪表(含计费仪表)、安装式电表、精密电表(实验室和便携式电表)、数字仪表、电测量仪器(交流仪器、直流仪器)、磁测量仪器、扩大量限装置、自动抄表系统、电力监控仪器仪表及系统、电能计量管理及电力负荷控制系统、自动测试系统、校验装置、电源装置等。

医疗仪器主要是各种人类疾病的预防、诊断、治疗仪器及保健、康复、临床检验、妊娠控制仪器,其中包括医用 X 射线与磁共振影像设备、医用超声仪器、医用电子仪器、临床检验分析仪器(体外诊断仪器)、医用激光仪器、医用分析仪器、医用监测仪器、医用光学仪器、医用实验设备、物理治疗设备、微创介入与植入式诊治系统、细胞和分子层次上的诊治仪器(含生物芯片与仪器)、中西医结合仪器、新型医疗仪器等。

其他各类测量仪器仪表主要是国民经济某一部门用得较多而其他部门使用较少的各类专用仪器仪表和系统,涉及导航制导仪器、大地测量仪器、地震地质仪器、农林牧渔仪器

仪表、气象海洋水文天文仪器、核仪器、船用仪器、汽车用仪表、轻工仪器仪表等。

2. 产品的稳定性、可靠性和适应性要求高

信息技术的要素包括信息的获取、存储、处理、传输和利用,而各行各业的信息获取正是靠仪器科技装备来实现的。如果获取的信息不准确、不稳定、不可靠,都会使随后的存储、处理、传输毫无意义,甚至产生错误,造成巨大损失。加上很多部门对仪器科技装备获取信息是要求 24 小时连续,长年不懈,这就对产品的稳定性、可靠性提出特别高的要求。此外,仪器科技装备几乎运行于地球及其外层空间的任何地点,很多时候是需在有毒、强腐蚀、有爆炸危险或失重、高速的状态下进行监测、监控任务,因此对产品的环境适应性要求很高。

我国生产的各类仪器科技装备主要产品,包括工业自动化仪表与控制系统、科学仪器、医疗仪器等,虽然各项技术指标同国外同类产品比较差距不算很大,但稳定性、可靠性和环境适应性却有明显差距,从而影响了国产仪器仪表技术装备的市场占有率。

3. 技术指标和功能不断提高

就如奥林匹克运动的口号是“更高、更快、更强”一样,仪器科学与技术学科在提高科技研究水平及其相关仪器的技术指标和功能上的追求是无止境的,测控技术及其相关仪器的技术指标水平是一个国家仪器科学与技术学科水平的量化标志。以扩大检测范围指标来说,如电压从纳伏~百万伏;电阻从超导至 $10^{11}\Omega$;谐波测量到 51 次;加速度为 $10^{-1}\sim 10^1 g$;频率测量至 $10^{12} Hz$;压力测量至 $10^8 Pa$ 等;温度测量从接近绝对零度至 $10^8 ^\circ C$ 等。以提高测量精度指标来说,工业参数测量提高至 0.02% 以上,航空航天参数测量达到 0.05% 以上,计量精度和科学仪器达到的精度更是与时俱进。以提高测量的灵敏度来说更是向单个粒子、分子、原子级发展。提高测量速度(响应速度),静态 0.1~0.02 ms,动态为 1 μs 。提高可靠性,一般要求为 $(2\sim 5)\times 10^1 h$,高可靠要求 $2.5\times 10^5 h$ 。稳定性(年变化) $<\pm 0.05\%$ (高精度仪器)或 $<\pm 0.1\%$ (一般仪器)。提高产品环境适应性,根据不同用户的要求,有高温、高湿、高尘、腐蚀、振动、冲击、电磁场、辐射、深水、雨淋、高电压、低气压等条件下的适应性。

4. 大量采用高新技术

仪器作为人类认识世界、改造世界的第一手工具,是人类进行科学研究和工程技术开发的最基本工具。仪器科学与技术学科作为研究、开发、制造、应用仪器的学科,新的科学研究成果和发现(如信息论、控制论、系统工程理论,微观和宏观世界研究成果)及大量高新技术(如微弱信号提取技术、计算机软、硬件技术,网络技术,激光技术,超导技术,纳米技术等)均成为仪器科学与技术学科发展的重要动力。仪器不仅本身已成为高技术的新产品,而且利用、集成新原理、新概念、新技术、新材料和新工艺等最新科技成果的仪器装置和系统层出不穷。

5. 仪器及测控单元微小型化、智能化,可独立使用,也可嵌入式使用和联网使用

仪器及测控单元大量采用新的传感器、大规模和超大规模集成电路、计算机及专家系统等信息技术产品,不断向微小型化、智能化发展,从目前出现的“芯片式仪器仪表”、“芯片实验室”、“芯片系统”等看,仪器和测控单元的微小型化和智能化将是长期发展特点。

从应用技术看,微小型化和智能化仪器及测控单元的嵌入式连接和联网应用技术得到重视。

6. 仪器测控范围向立体化、全球化扩展,测控功能向系统化、网络化发展

随着仪器所测控的既定区域不断向立体化、全球化甚至星球化发展,仪器和测控装置已不再呈单个装置形式,它必然向测控装置系统化、网络化方向发展。例如,一个大型水电站的测控系统,仅检测大坝安全性的传感器就达数千个,此外各个发电机组状态及水位情况的检测控制点(I/O 测控点)将超过万点,要达到大型水电站的正常发电和送电,必须将各个测控点的测控装置形成网络化结构,形成一个有机的测控网络系统。又例如卫星测控系统,人造卫星上配置的各种传感器就达到数千,它首先要将卫星上各种测控装置构成一个完整的自动测控子系统,然后和多个地面站的测控系统构成一个广域测控系统。

7. 便携式、手持式及个性化仪器大量发展

随着生产的发展和人民生活水平的提高,人们对自己的生活质量和健康水平日益关注,检测与人们生活密切相关的各类商品、食品质量的仪器,预防和治疗疾病的各种医疗仪器是今后发展的一个重要特点。科学仪器的现场化、实时在线化,特别是家庭和个人使用的健康状况和疾病警示仪器将有较大发展。

(二) 仪器科学与技术学科领域科技和产业的发展趋势

1. 学科领域科技发展趋势

学科领域科技发展的趋势是利用各学科最新科技成果,特别是结合材料、微电子、光电子、生物化学、信息处理等各学科及大规模集成电路、微纳加工、网络等各种新技术,开发新的微弱信号敏感、传感、检测、融合技术,物质原子、分子级检测技术,复杂组成样品的联用分析技术,生命科学的原位、在体、实时、在线、高灵敏度、高通量、高选择性检测技术,工业自动化测控的在线分析、原位分析、高可靠性、高性能和高适用性技术,医疗诊治的健康状况监测、早期诊治、无损诊断、无创和低创直视诊疗、精确定位治疗技术,新学科领域的计量技术,各类应用领域的专用、快速、自动化检测和计量技术。这些科技发展趋势,具体表现在下列一些方面。

(1)与微电子技术、MEMS 技术结合,实现敏感单元与信号调理电路集成,有利于敏感单元微弱信号检测、放大及处理,大大减小了传感器体积,有效提高了传感器的抗干扰能力。

(2)与纳米技术结合,基于传感器实现的新方法,采用纳米结构或纳米材料的某些典型特征,设计极高灵敏度的痕量检测微系统。

(3)与生物技术结合,开发微型生物、化学传感系统,用于疾病检测、生化分析、有毒有害物质检测等领域。

(4)与网络、通信技术结合,开发网络化传感技术和微弱信号融合技术,用于有用信号增强及原位、在体、实时、在线、高灵敏度、高通量、高选择性检测等。

(5)结合太赫兹辐射技术,开发太赫兹光谱检测、太赫兹成像分析和太赫兹遥测技术,用于国防、安全检查、材料识别与诊断、生产监测、生物医学应用等领域。太赫兹辐射

(T-射线,波长为 $30\sim 3\,000\ \mu\text{m}$ 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,而金属和含有水分的材料不能透过 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人体内有损伤或破裂器官的检查。

(6)结合分子影像学,开发活体内可见光成像分析、小动物光学分子成像分析技术,可实现无创伤、实时、活体、特异、精细(分子水平)的显像分析。

(7)结合表面增强拉曼散射(SERS)技术,开发针尖增强拉曼显微分析、生物芯片 SERS 分析技术,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检测难题,有望解决超高灵敏度分析问题,甚至进行单细胞和单分子分析。

(8)结合核磁共振技术,开发新的核磁共振波谱分析、核磁共振成像分析技术,以提高灵敏度、空间分辨率和时间分辨率。其中高时空分辨成像技术,还直接导致形成了脑功能成像这一新的研究领域。

(9)结合像差校正等技术,开发电子、粒子束微区分析技术,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。电子、粒子束微区分析技术在材料科学、微电子学、化学与催化、环保、能源、生命科学等领域应用很广,其分辨本领有日益提高的趋势,目前点分辨已突破 $1\ \text{\AA}$ 的限制,能量分辨率达到 $0.1\ \text{eV}$ 水平。

(10)结合生命科学技术,开发基因测序和基因转录检测技术、蛋白质鉴定和大规模蛋白质间相互作用检测技术、蛋白质组生物信息检测和代谢组学分析技术。

(11)结合生命科学、化学科学与信息科学的发展,在生物芯片技术基础上开发生物芯片检测分析技术、微流控检测分析技术,这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,能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,试样和试剂消耗大幅度下降;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”,受到科技界高度重视。

(12)结合控制技术、通信技术、计算技术、制造技术,开发高性能测控技术,从而使仪器科技产品具有高的测量精度和丰富的功能,使工业控制系统具备适应超大规模、快速响应、核级安全等各种复杂工况所需的功能,并且以软硬件结合的方式向控制优化、管理优化、工程集成方向发展,使大型控制系统具备大量工业自动化设备的协调应用和管理功能,能将不同厂家生产的各种仪器仪表产品无缝地集成为一个协调系统,以满足用户的要求。

(13)结合纠检错理论和自校正、自适应、自诊断等技术,在应用新器件、新材料基础上,开发高可靠性和高适用性测控技术及其产品,从而使仪器科技产品的可靠性呈数量级提高,并适合在高温、高压、高压差、强冲刷、强辐射、强腐蚀、强毒性、多相流等复杂工况和恶劣环境中使用。现场仪器仪表复杂、易损、难以维修的状况正在改变,出现了使用期不需调整维修的仪器科技产品。

(14)结合纳米科技的发展,开发纳米测量技术,建立纳米计量测试标准。

(15)结合量子物理的发展,开展基于量子物理的计量基准的建立和完善。

2. 产业发展趋势

发达国家为了保持产品在国际上的竞争力,都十分重视产品开发,各企业都设有试验研究、设计机构,有相应的实验室。大型公司还有试制车间,对新开发的产品精益求精,力求投入市场的新产品能为用户所信赖。为了加快产品更新换代,企业非常重视科技进步,尽量在新产品中采用各种高新技术及其形成的新型传感器、新型器件(特别是超大规模集成专用电路)及新材料,并采用计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)以缩短新产品开发周期。

国际上仪器科技产品的发展趋势是微型化、数字化、智能化、集成化和网络化进一步向纵深发展,并在产品性能上向高精度、高可靠性、高环境适应性目标前进,在人机界面上更便于人的操作、使用,以及与人类生活、健康有关的各类仪器科技产品有望得到较大的发展并进入家庭,通过家庭、社区、医院联网将使保健、疾病诊治从医院向社区、家庭发展。

仪器科技产品的微型化发展趋势,主要依托于微机电系统(MEMS)的微米/纳米制造技术和微电子 IC 制造技术,使仪器科技产品集机械、传感、测控等部件于一个芯片上,并能按微电子 IC 批量加工工艺制造。

仪器科技产品的数字化、智能化发展趋势,随微电子技术、计算机技术、人工智能技术的发展而进步,它使仪器科技产品与数字处理器,超大规模专用集成电路、PC 技术、人工智能技术进一步融合在一起。国际上目前先进的数字化、智能化仪器仪表系统构成,以数字信号处理系统(DSPS)为代表,它以 DSP 为核心,配合先进的混合信号电路,专用系统集成电路、元件及开发工具等组成对整个应用系统的完整解决方案。在数字化和智能化发展趋势中,硬件和软件处于同样重要的地位,但硬件是基础,仪器使用新器件、新工艺,特别是超大规模集成的新器件,能使原来不能实现的指标成为可能,因此新器件的采用能成为产品竞争的重要筹码。另一方面软件在智能仪表的发展中起着越来越重要的作用,现代仪器仪表设计中软件工作量已占到 70%~80%,这在某种程度上决定着仪器的功能和性能。软件能完成性能指标补偿、自动测试,自检、自诊断、数据采集、控制、传输、显示等功能。有的如计算机、光盘等的评估测试,主要由软件完成。软件将成为今后智能仪表发展的重要方向。未来 10 年,更高程度的智能化应包括理解、推理、判断与分析等一系列功能,是数值、逻辑与知识的结合分析结果,智能化的标志是知识的表达与应用。

仪器科技产品的集成化、网络化发展趋势,以总线技术、仪表及其模块开放式互联标准及通信技术为基础,包括测试软件的规范化、标准化,使自动测试系统的构成向大生产领域和军事工程领域扩展,并能提供所需测试的系统方案或系统的集成能力。

医疗仪器作为以人体疾病诊疗、预防为目标的装置。随着全球性医学目的以治愈疾病和阻碍死亡为主调整到以预防疾病和早期诊断为主,国际上医疗仪器的发展重心将向早期诊断装置、个人健康状况监测装置方向发展。除无损伤诊断成像技术包括超声、X 线、CT、MRI 将向高度准确方向发展外,新的无损诊断技术将不断出现。内窥镜和导管技术的发展将使无创和低创的直视诊断深入到人体各个脏器和病变部位,从而获得精确的形态、功能、病理等电生理诊断。计算机技术和人工智能技术,将在病情的综合分析和准确诊断中发挥重要作用。人们对与健康、亚健康、疾病状态相关的信息量需求越来越