

中韩扫描电子显微镜发展情况比较研究

李志荣, 郑佳, 赵蕴华, 张旭, 赵志耘

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 通过对中国和韩国扫描电子显微镜的发展过程进行比较研究, 发现: 中国和韩国在自主研制扫描电子显微镜的过程中, 经历了相似的发展过程, 但韩国却能后来居上, 在短短的 10 多年时间里, 不断有新产品问世并被市场所接受。韩国政府支持重点科学技术领域的做法, 以及韩国研究机构及时将研究成果推向市场的做法, 值得我国借鉴和学习。

关键词: 中国; 韩国; 扫描电子显微镜; 发展历程

中图分类号: TN16(2); TN16(312.6) **文献标识码:** A DOI: 10.3772/j.issn.1009-8623.2013.11.011

扫描电子显微镜 (Scanning Electron Microscope, SEM) 是一种重要的大型科学仪器, 主要用于观察物体的表面形貌, 能够直接观察样品表面的结构, 也可以从各种角度对样品进行观察, 样品制备过程简单^[1]。目前, SEM 主要应用在材料科学和生命科学 2 个领域。在材料科学领域, 主要是进行成份与结构分析以及纳米材料的形貌观察, 要求高分辨率的电子显微镜; 在生命科学领域, 主要研究细胞、病毒、生化物质定位、生物大分子等, 要求中等分辨率的电子显微镜。SEM 具有很高的分辨率, 目前, SEM 的分辨率已达到 0.4 nm, 放大倍数范围能达到几十乃至几百万倍以上^[2]。

SEM 是集合了光学、真空系统的集成产品, 其生产、制造具有较高的技术含量。目前, SEM 的核心技术掌握在美、日、德等国家手中, 这些国家的扫描产品互补, 其产量占据了全球 80% 的份额。能够独立制造大型 SEM 的公司主要有: 美国 FEI、日本 JEOL 和日立高新技术公司及德国蔡司。捷克 Tescan 也是主要研发和生产 SEM 的企业, 但目前已被美国 FEI 收购了大部分产能。

中国在 20 世纪 70 年代末介入 SEM 领域, 目

前, 制造和产业总体上不够景气。2000 年后, 韩国将纳米技术列为国策, 坚定进入研制 SEM 的行列, 目前, 市场份额在逐渐增加。本文分别对中国和韩国 SEM 的发展历程及现状进行了研究。韩国在短短的 10 多年里, SEM 得到迅速发展, 其经验值得我国借鉴和学习。

1 韩国 SEM 发展历程及现状

1.1 发展历程

1.1.1 20 世纪 70 年代末——零部件组装阶段

韩国 SEM 的研发历程较短, 但其制造 SEM 的历史可以追溯到 20 世纪 70 年代末^[3]。1976—1993 年, 日本 akashi ISI (明石) 公司^①在韩国马山自由贸易区, 设立 SEM 生产基地, 先后建立了 2 个工厂, 其生产任务主要是进口零部件进行组装, 当时的年产量为 300 台。

1990 年, akashi ISI 被东芝 Topcon (拓普康) 兼并。但随后, 东芝集团陷入困境, 需撤离在韩国的投资, 因而在韩国物色收购电镜制造工厂的企业。由于电子显微镜属于尖端产业, 韩国 SK 集团、浦项钢铁参与收购论证, 均认为不具备自主设计能力

第一作者简介: 李志荣 (1978—), 女, 理学博士, 博士后, 助理研究员, 主要研究方向为重点科技领域信息分析。

基金项目: 中国博士后科学基金面上资助项目 (2012M510521); 科技部科技创新知识产权专项项目 (2013 年)

收稿日期: 2013-08-13

① 日本 akashi ISI (明石) 公司是日本 Topcon 扫描电镜制造部门的前身。目前, Topcon 专注于实验室 (Fab SEM) 工厂自动在线检测 SEM、关键尺寸自动测量 SEM (CD-SEM) 等高附加值产品。韩国在研制 SEM 的过程中参考了 Topcon 的技术。

和销售网络，结果，东芝旗下的韩国电镜制造工厂未能被收购，最终在 1993 年清算解体，300 多名韩国职员也分散到各处。因为日本撤资，韩国 SEM 的制造因此中断。

1.1.2 2000 年开始立项后的十年——迅速发展阶段

2000 年开始，韩国启动了《纳米技术综合发展计划（2001—2010 年）》^[4]。韩国政府在纳米技术产业化战略目标中，将电子显微镜纳入 20 项服务于纳米技术研究的软硬件工程重点项目之一，其目标是力争在 2010 年前，普通电子显微镜研发水平基本达到世界较先进水平。

韩国的电子显微镜研制项目从 2000 年开始立项，政府便开始广泛招募海外科学家，并主导资助两家单位同时开展对电子显微镜的研制，一家是企业——韩国 Mirero 株式会社，另一家是事业单位——韩国标准与科学研究院（Korea Research Institute of Standards and Science, KRISS）。经过 10 多年的发展，目前，韩国 SEM 研发生产技术已经达到国际领先水平，纳米技术综合发展计划中的 SEM 项目已经进入量产。

（1）Mirero 株式会社

2007 年之前，韩国 Mirero 株式会社是韩国唯一的电镜生产商，但其生产仅仅是仿制，电镜项目由它的一个事业部承担。2007 年，该事业部转变为 Mirero 的独立子公司 Seron Technology。由于过去 Mirero 具有仿制 SEM 的基础原型，因此，Mirero 发展很快。2002 年，Mirero 便推出了 IS2000 型商品化电镜；2003 年，IS2000 升级为 AIS2003，分辨率为 5 nm；2004 年，Mirero 的电镜产品又升级为 AIS2100，标称分辨率 3.5 nm，并开始向海外市场推广。2007—2009 年，AIS2100 型 SEM 作为 Seron Technology 的主要产品，供应韩国国内市场及国际市场。

在 2004—2010 年期间，中国南京某仪器代理公司作为其代理商，曾经进口几台 AIS2100 型 SEM。但客户上机使用过程中，发现有较多问题，而且客户得不到有效培训，只能低水平勉强使用。AIS2100 存在的问题主要有：无电子枪电磁对中器，大幅度改变加速电压或灯丝温度时，灯丝微小变形令电子枪合轴不良；软件没有工作距离参数显示；虽然其采用了扩散泵真空系统，按道理本身振动小才对，

但实际使用时，即使加上样品台气锁，超过 1 万倍就开始影响图像（该问题也是最主要的问题）。Seron Technology 公司之所以在制造技术上存在这些缺陷，究其原因：一是 Seron Technology 公司的 SEM 产业化过早，该公司过早地参与 SEM 市场竞争，带来经营上的巨大压力，加上所生产的 SEM 属于低端的钨灯丝 SEM，而该市场和技术都很成熟，造成利润率很低；二是韩国在政府采购中，强制采购 Seron Technology 公司的产品，没有充分的市场竞争。2009 年底，Seron Technology 公司又推出升级产品 AIS2100C 及 AIS2300C 型 SEM，上述存在的一些技术缺陷已有所改进。

（2）KRISS

KRISS 从一开始便科学严谨地进行电镜技术开发，再加上过去丰富的 SEM 研发经验。KRISS 的 SEM 得到稳步发展：2000 年，开始进行市场调研；2001 年，进行电子光学电磁透镜设计；2003 年，获得了初步成果，样机上获得 5 nm 分辨率照片，并不断优化设计完善，实现了最佳性能；2004 年，开始设计全数字控制系统、高压电路板等；2005 年，研制成功高亮度钨灯丝电子枪。

2007 年 7 月，KRISS 将花费 10 亿韩元和经过 7 年研发而成的先进 SEM 技术转让，成立 Coxem（酷塞目）有限公司，其主要股东是韩国国家级科研机构高技术共同投资基金和社会公共基金。当年，Coxem 便推出了第 1 款商品化 SEM——CX-100S 钨灯丝 SEM，分辨率 3.0 nm（30 kV，SE image）和 4.0 nm（30 kV，BSE image）可选。从而使得韩国的电子显微镜研制水平成为继德国、美国、日本、捷克之后，第 5 个可以独立研制的国家，其品质和这些国家生产的同类产品相同，但 Coxem 的机型更加经济、友好，并获得韩国 NET 的认证。

2007 年，在韩国仅售出 1 台 CX-100S，2008 年售出 6 台，2009 年售出 20 台，从绝对数量上看很少，但从增长率上来看，却很高。这充分说明，用户的示范效应起到了市场催化作用。韩国终于有了本土制造的 SEM，可以和其他进口品牌，在同档产品的综合性能上一较高下，令韩国人为之振奋。

2010 年底，Coxem 又发布了 CX-200 系列 4 个型号的电镜。经过创新构架的 CX-200 系列 SEM，

其性能已经达到目前普通钨灯丝 SEM 发展的顶级水平。Coxem 的 SEM 产品,设计实用,性能先进,推出之初就比较成熟可靠,同时还配置了高档涡轮分子泵真空系统,以较高的性价比,受到用户欢迎。2011 年, Coxem 推出世界上最高分辨率的 EM-20 型桌面台式钨灯丝 SEM。2012 年, Coxem 被评为韩国有潜力的高新技术中小企业。

Coxem 公司于 2008 年通过 ISO 9001 质量认证,并相继通过 ISO 14001 认证。Coxem 制造的 SEM 产品经过韩国从事微纳米科技的大学、科研机构和企业使用,已经证明其产品质量可靠、性能稳定,并且更加经济。因为韩国政府优先采用本国制造的电镜, Coxem 的 SEM 产品已经推广到韩国 60 多个地区使用,这是 SEM 在韩国最好的推广记录。也因为这个原因, Coxem 具备了向其他国家推广成熟产品的实力。Coxem 的用户包括:学校用户, INJE University, Pusan University 等;科研和公共机构用户, KRIS, KOPTI 等;企业用户, Company (Usage) Samsung 三星集团 (Solar 太阳能电池)、Sungjin Chem 三井化学 (Wafer 晶圆)等;国际用户, EVEX (美国 3 套 machines)、Adeca 艾迪科 (日本旭电化)、伊朗 Platin 以及中国无锡纳能科技等。

1.2 现状

Mirero 和 KRIS 这两家韩国 SEM 制造商,持续受到政府技术创新资金支持和海外市场开拓基金支持,正以开发纳米科技支撑装备电子显微镜为目标,开发海外市场。目前,韩国钨灯丝 SEM 市场每年需求约 200 台,其中,韩国本土制造约占 50% 的份额。另外,韩国还有 SEC 公司和 PEMTRON 公司,近些年也推出了低档 SEM,但是他们一般不参与实验室 SEM 的市场竞争,目标市场是制造半导体器件的小型公司。

目前,韩国以较为灵活的市场化运作已经拥有了具有自主知识产权的 SEM 技术,而且在过去的 10 年中,将初级的钨灯丝 SEM 做到了世界较先进水平。韩国 SEM 制造商的发展,得益于韩国政府的保持半导体领域制造优势政策和纳米科技战略^[4],以及韩国政府对中小企业的创新支持^[5]。

2 中国 SEM 发展历程及现状

2.1 发展历程

我国 SEM 的研制起步比韩国要早,在 20 世纪 70 年代即已开始 SEM 的研发工作^[6]。根据我国 SEM 的研制过程,可将其 SEM 发展历程大致分为 4 个阶段。

2.1.1 1975—1983 年——自行设计研制期

1975 年,中科院长春光机所和电子所调集电子及电子光学领域的专家,以北京中科科仪股份有限公司(简称“中科科仪”)^①的前身——中国科学院北京科学仪器厂为依托,由姚骏恩指导,葛肇生作为负责人,研制完成我国第一台 SEM——DX-3 型。DX-3 型 SEM 获 1978 年全国科学大会奖。^[7]

2.1.2 1983—1987 年——技术引进消化期

1983 年,中科仪器厂从美国 Amray 公司引进微机控制、分辨本领 6 nm,功能齐全的 Amray-1000B 型 SEM 生产技术。经过 2 年多的技术消化,1985 年,中科仪器厂研制出 KYKY-1000B SEM。KYKY-1000B SEM 获 1988 年国家科技进步奖二等奖,并被列为我国 1979—1988 年重大科技成果。

1987 年,中科仪器厂实现了 Amray-1000B SEM 国产化。国产化的 Amray-1000B 具有大试样室、大试样台,并配备了低温试样台和试样拉伸台;同时,还配备有背反射电子探测器,可获得元素成分分布图像。KYKY-1000B 扫描电镜是 20 世纪 80 年代和 20 世纪 90 年代中国国产的主流 SEM^[6]。

2.1.3 1987—2000 年——自主研发集中期

受到 Amray-1000B 国产化的鼓舞,从 1987 年开始,有不少科研机构对 SEM 及其配件的研制投入了很大的热情。

最为突出的要数中科仪器厂(1995 年后,为“科仪中心”):1988 年,研制成功 LaB6 阴极电子枪,使 KYKY-1000B 型 SEM 的分辨本领由 6 nm 提高到 4 nm;1989 年,研制成功 KYKY-2000 型数字化 SEM,分辨本领 5 nm,采用了数字图像处理功能;1993 年,在 KYKY-1000B 基础上,研制成功 KYKY-1500 型高温环境扫描电镜,试样温度

^①北京中科科仪股份有限公司曾先后用过“中国科学院北京科学仪器厂”(简称“中科仪器厂”)、“中国科学院科学仪器厂”、“中国科学院北京科学仪器研制中心”(简称“科仪中心”)等名称。文中为了尊重历史,分别使用了不同时期的名称。

最高达 1 200 ℃，最高环境气压为 2 600 Pa；1995 年，研制成功 SEM 电子探针波谱仪自动化系统；1996 年，研制成功首台国产化 Finder-1000 型 X 射线能谱仪；1998 年，采用 Windows 等技术，实现了对样品台的计算机自动控制。

除中科仪器厂外，其他一些研究机构也取得了一些成就：1987 年，上海电子光学技术研究所与上海硅酸盐研究所将 DXS-10 型台式 SEM 改装成国内第一台 SR-1 型热波电子显微镜；1989 年，江南光学仪器厂自行设计研制成功计算机控制 DXS-3 型高性能 SEM；1992 年，上海电子光学技术研究所研制出 DXS-10A 智能化普及型 SEM；1995 年，中国科学院上海原子核研究所研制出 SEM 用硅锂 X 射线能谱仪，中国科学院上海冶金研究所研制出 SEM 用新型背散射电子探测器——鲁宾逊探测器；等等。可以说，上述研究机构是这一时期中国自主研发 SEM 及其配件的代表。

2.1.4 2000 年至今——自主研发放缓期

20 世纪 80 年代以前，我国生产的电子显微镜数量与进口的数量相当，其原因之一是由于当时电子显微镜的需求量相对较小，每年仅约三四十台。进入 20 世纪 90 年代，国内对 SEM 的需求大增，而且在市场的带动下电子显微镜技术的发展突飞猛进，尤其是在像差校正方面获得了重要的进展；加之生物技术的发展，促使更加先进的电子显微镜出现；同时，国外 SEM 大举进入中国市场，而我国 SEM 的研发投入严重不足。这样的多重因素，导致 2000 年之后，我国的 SEM 无论在数量还是技术水平方面都无法与国外的 SEM 产品相竞争。可以说，中国自主研发 SEM 的步伐明显减缓，与国外的差距越来越大。^[8]

从上述中国 SEM 的研发历程可以看出，20 世纪 80 年代中期到 90 年代末，是中国自主研发 SEM 的集中期，如中科科仪研发的 LaB6 阴极电子枪、中科院上海冶金研究所研制的新型背散射电子探测器——鲁宾逊探测器，都是自主研发的典型例子。

2.2 现状

1983 年，美国 Amray 公司无偿地把 1000B 型 SEM 的核心工艺技术，从头到尾、毫无保留地转让给中国^[9]。虽然我国在 1000B 型 SEM 技术的基础上，研制出 KYKY 系列不同型号的电镜产品，

而且，2003 年，中科科仪也曾派遣电镜开发人员奔赴德国 Turbingen University 进行访问研究，并于 2007 年开发出新型号扫描电镜，在电子光学分辨率上实现突破。但遗憾的是，到目前为止，我国 SEM 的制造水平还没有实现本质的提升。

尽管从我国 SEM 的发展历程来看，步伐缓慢，但我国对 SEM 的研究从未中断。目前，中科科仪是我国研制 SEM 的主要力量^[10]，是我国高端 SEM 的生产厂家^[8]。从 20 世纪 90 年代开始，在中国科学院的大力支持下，中科科仪曾经先后派出 3 名工程师到德国 Turbingen University 工作学习。2001 年之前，中科科仪的电镜业务部门经营一直不景气，但是却从没有间断对 SEM 的研制、生产，目前还保留了一支研发队伍，有一定的技术积累。近年来，中科科仪在硬件方面不断加大投入，每年大约都要投入七八百万元用于购买加工设备。

目前，我国在 SEM 的自主研发过程中存在不少困难。首先，由于我国的 SEM 制造还没有形成一条完整的产业链，缺少上游零部件制造厂家，所以，很多配件不得不从头研制；其次，是 SEM 研发人才的匮乏，由于近些年来我国 SEM 制造不景气，很多曾经为发展我国电子显微镜制造事业做出过重要贡献的老科学家们都已改行，有经验的 SEM 制造专家也大量流失；最后，是 SEM 产业化过程中的问题，像 SEM 这样的高档、精密仪器，如果生产规模上不去，成本就无法降下来，在与国外同类产品竞争时，价格方面我们几乎没有优势。这些都是未来急需解决的问题。

值得欣慰的是，在“2013 中国科学仪器发展年会”上，中科科仪生产的 KYKY-2800B 型扫描电子显微镜获得“2012 年度光学类最受关注国产仪器”^[11]。该奖项从一个侧面反映了科学仪器市场对中科科仪这家中国国内唯一的 SEM 研制厂商的关注。不过，目前，中国市场上除了中科科仪有商品化的产品问世，基本见不到中国其他企业制造的 SEM，整体市场占有率较低。未来，中科科仪希望能够和国际上的一些 SEM 零部件制造企业合作，以加快 SEM 的研究开发进程。

3 结语

韩国经历短短 10 多年的研发，就能在全球 SEM

市场中占有一席之地, 主要得益于以下原因: 韩国政府的纳米科技引领政策和资金支持; 韩国 SEM 制造商, 凭借可靠的产品质量、正确的市场定位和努力; 韩国政府对中小企业发展的创新支持。

相比之下, 中国自主研发的 SEM 市场份额很小, 其原因可以归结为: 政府的科技引领政策和专项投入资金支持不足; 中国 SEM 制造商, 在产品质量和自主创新方面未能有较大的突破; 国外 SEM 制造商的产品性能优异, 对国产产品冲击比较大, 中国 SEM 制造商的市场应对能力不强。

中国和韩国在自主研发 SEM 的过程中, 有相似的发展历史, 但韩国却能后来居上, 在较短的时间内, 不断有新产品问世并被市场所接受。韩国政府和研究机构支持重点科学技术领域的做法, 值得我国借鉴和学习。目前, 我国的扫描电镜制造事业, 远远落后于发达国家, 不能满足国家的需要。中国必须建立一个或几个 SEM 的生产企业(包括向国外购买、合建), 才能慢慢摆脱严重依赖国外进口产品的局面。■

参考文献:

- [1] 黄兰友, 刘绪平. 电子显微镜与电子光学[M]. 北京: 科学出版社, 1991-12.
- [2] 姚骏恩. 电子显微镜的现状与展望[J]. 电子显微学报, 1998, 17(6): 767-776.
- [3] 驰奔. 韩国电子显微镜产业化发展状况简介[EB/OL]. (2010-06-25)[2013-06-15]. <http://www.labbase.net/News/ShowNewsDetails-1-23-778689DF7D27F4C2.html>.
- [4] 王超. 韩国重点技术领域和战略产业发展规划[J]. 全球科技经济瞭望, 2004(1): 33-36.
- [5] 刘建丽. 韩国促进中小企业发展的经验借鉴[J]. 环球视野, 2009(1): 79-80.
- [6] 中国扫描电子显微镜的发展[EB/OL]. (2013-02-22). [2013-06-15]. <http://bbs.instrument.com.cn/shtml/20130226/4580803/?UID=dooby>.
- [7] 姚骏恩. 我与北航的不了缘[EB/OL]. (2012-11-27)[2013-06-15]. http://news.buaa.edu.cn/dispsnews.php?type=1&nid=95943&s_table=news_txt.
- [8] 仪器信息网. 发展我国电子显微镜产业需循序渐进——访军事医学科学院国家生物医学分析中心张德添教授[EB/OL]. (2009-06-23)[2013-06-15]. <http://www.instrument.com.cn/news/20090623/032528.shtml>.
- [9] 驰奔. 扫描电镜制造商美国安瑞公司[EB/OL]. (2010-06-12)[2013-06-15]. <http://coxem2010.blog.163.com/blog/static/16510375720105120510147/>.
- [10] 风物长宜放眼量——访国家“十一五电镜项目”攻关单位之一、中科科仪张永明总裁[EB/OL]. (2007-03-06)[2013-08-12]. <http://www.instrument.com.cn/news/20070306/015143.shtml>.
- [11] 中科科仪扫描电子显微镜荣获“2012年度光学类最受关注国产仪器”奖[EB/OL]. (2013-06-07)[2013-06-07]. <http://www.instrument.com.cn/news/20130607/101409.shtml>.

Comparative Study on the Development of Scanning Electron Microscope of China and South Korea

LI Zhi-rong, ZHENG Jia, ZHAO Yun-hua, ZHANG Xu, ZHAO Zhi-yun
(Institute of Scientific and Technological Information of China, Beijing 100038)

Abstract: The development process of Scanning Electron Microscope of China and South Korea was studied respectively. It can be seen that China and South Korea have experienced a similar process in developing their Scanning Electron Microscopes, but South Korea can overtake China over a short span of more than 10 years by launching update products appropriately to the worldwide market. The success of South Korea lies in its support for priority fields of science and technology, and measures taken by Korean research institutions to properly transfer their scientific achievements into products, which is worthwhile to be shared by Chinese counterparts.

Key words: China; South Korea; scanning electron microscope; development course