

比利时微电子研究中心 30 年发展 概析及其启示

胡开博, 苏建南

(中国工业和信息化部电子科学技术情报研究所, 北京 100040)

摘 要: 比利时微电子研究中心 (IMEC) 用 30 年时间, 从一个地方性微电子研究中心发展成为欧洲最大、世界领先的产业共性技术研发组织, 探索走出了一条独特的可持续发展道路。在系统梳理 IMEC 发展历程的基础上, 重点研究了 IMEC 研究方向、组织结构、研究模式、经费收支、人员构成、成果转化和地区作用, 分析了 IMEC 发展成功的主要经验, 包括: 选择产业共性技术研究方向, 构建稳定开放式研发平台, 获得政府长期持续资助, 开展广泛国际合作, 采用利益共享的商业模式及坚持中立性原则等。借鉴 IMEC 的成功经验, 我国半导体产业需要像 IMEC 这种组织来聚合产业力量, 增强产业活力; 应采取 IMEC 典型的经济实惠模式; 应构建类似于 IMEC 的开放式产业共性技术研发平台, 以实现符合产业与市场规律的可持续发展的效果。

关键词: 比利时; 微电子研究中心; 产业共性技术; 产业联合项目

中图分类号: G 325.64 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2014.10.009

比利时微电子研究中心 (IMEC) 的全称为 Interuniversity Microelectronic Center, 即大学校际微电子中心, 是比利时弗兰芒地方政府响应鲁汶大学 Van Overstraeten 教授关于推动欧洲跨院校微电子研究合作的倡议, 于 1984 年在鲁汶大学微电子系的基础上成立的一个非盈利性组织。30 年来, IMEC 秉承“研究开发超前产业需求 3~10 年的微电子和信息通讯技术”的使命, 逐渐发展成为一个世界领先的国际化微电子研究机构, 在半导体工艺领域创造了无数个世界第一, 为全球半导体产业技术开发、成果转化、人才培养作出了重要贡献。

1 研究方向

总结 IMEC 30 年科研历程, 其研究方向主要聚焦于七大领域^[1-2]。

1.1 半导体制造工艺

1984 年, IMEC 选择了湿洗法和硅化物 2 个 CMOS 工艺模块开展研究, 随后, 增加了光刻、互连等完整工艺流程所需的模块, 并在 1986 年建成特征尺寸 1.25 μm 、晶圆尺寸 125 mm 的 CMOS 中试线。此后, IMEC 工艺研究不断进步, 平均每 2 年发展一代, 如, 2004、2006、2008、2011 和 2014 年, 分别研究了 45、32、22、10 和 7 nm 工艺。为开展工艺研究和验证, IMEC 不断升级建设中试线 (也称先导工艺线), 分别于 1994、1999 和 2005 年, 建成晶圆尺寸 150、200 和 300 mm 中试线, 并且, 在 2012 年开始改建用于 450 mm 晶圆的净化间, 预计 2015 年完成。此外, IMEC 从 20 世纪 90 年代初开始研究双极型 CMOS (BiCMOS) 工艺, 1995 和 2002 年在 CMOS 平台上分别

第一作者简介: 胡开博 (1982—), 男, 工学硕士, 工程师, 主要研究方向为基础电子领域科技情报和软科学以及科技创新和战略咨询。
收稿日期: 2014-06-08

实现了 0.5 μm 硅基 BiCMOS 工艺和 0.25 μm 锗硅 BiCMOS 工艺。后因产业界投资不足，到 2010 年，IMEC 基本停止了 BiCMOS 的研究。

在关键工艺领域，IMEC 一直攻研光刻技术瓶颈。1997 年后，IMEC 重点研究 193 nm 浸没式光刻和极紫外线光刻，并于 2007 年最先实现 35 nm 线宽的极紫外线光刻；当前，IMEC 研究重点是 193 nm 光刻的两次图形化技术。IMEC 还引入了高介电常数金属栅、硅化物、铜、低介电常数材料等技术，用于 22 nm 及以下工艺。

在封装领域，IMEC 从 1986 年开始研究封装技术，1997 年开发出倒装芯片技术，2005 年提出三维集成电路技术路线图，并在 2008 年研制出世界首个三维集成电路。当前，IMEC 拥有一间封装与测试设备实验室。

1.2 集成电路设计

IMEC 从 1986 年关注集成电路设计，研究出专用集成电路（ASIC）系统自动设计技术，1991 年开始研究 ASIC 软硬协同设计和密集型系统功耗降低技术，并分别于 1996 和 2003 年实现商业化。随着集成电路集成度日益提高，IMEC 从 20 世纪 90 年代初关注系统芯片（SoC）设计，先后研究出专用指令集处理器、动态可编程嵌入式系统架构等。当前，IMEC 拥有一间超大规模集成设计方法实验室。

1.3 新材料与器件

IMEC 从 20 世纪 90 年代初开始研究电子自旋磁性半导体和铁电材料非易失性存储器，实现了多项突破性进展。随着宽禁带半导体展露巨大潜力，IMEC 从 2003 年开始研究氮化镓材料与器件，2006 和 2011 年研制出世界首个 150 和 200 mm 晶圆硅上氮化镓功率器件。2012 年，IMEC 涉足有机导电材料领域，主要研究柔性发光二极管显示技术。目前，IMEC 拥有一间材料与器件特性分析实验室、一间有机电子实验室。

1.4 微系统

IMEC 从 1993 年开始研究微机电系统（MEMS），主要用于红外成像阵列和生物医学传感器，但其 MEMS 工艺路线成本较高，一直未得到产业界认可，2012 年基本停止了研究。2011 年后，IMEC 开始研究集成微电子、光电子与 MEMS

的微系统。当前，IMEC 研究重点是 CMOS 异质集成技术，并建成一间微系统实验室。

1.5 太阳能电池

IMEC 分别于 1993 和 1998 年开始研究单/多晶太阳能电池和有机太阳能电池，先后建成一条硅光伏中试线和一条有机光伏中试线；2009 年进一步扩展研究范围，开展薄膜太阳能电池研究。但 IMEC 技术路线成本较高，太阳能电池研究进展缓慢。

1.6 无线通信

早在 1990 年，IMEC 已开始关注无线通信技术，主要研究数字基带、射频模拟前端、模数转换器和系统集成。近年来，IMEC 在通信芯片、收发机等方面取得了多项突破性进展，促进了无线通信技术在工业无线局域网和消费电子领域的发展。此外，为实现人类随时随地获取信息，IMEC 从 2002 年开始研究应用于智能环境的多模/多媒体系统及终端应用设备，2005 年后进一步研究无线自动转换器解决方案和薄片内系统技术。当前，IMEC 拥有一间射频实验室。

1.7 生物电子

IMEC 从 2002 年开始研究生物电子，主要包括人体可穿戴传感器网络、生物电子混合系统等，2012 年研究出头戴式脑电图动态监测系统。目前，IMEC 已建成一间生物实验室和一间神经电子研究实验室。

2 组织结构

IMEC 为非盈利性组织，没有股东，其组织结构见图 1 所示。IMEC 最高决策层是理事会，为保证中立性，同时协调政府、大学和企业的关系，理事会成员由来自产业界、当地政府和当地高校的代表组成，人数各占 1/3。IMEC 邀请国际知名学者和企业高管组成科学顾问委员会，提供科技咨询建议^[3]。

IMEC 理事会下设执行委员会负责具体管理工作，执行委员会共有 8 名委员，均由理事会任命，包括 1 位总裁兼首席执行官、3 位执行副总裁、3 位高级副总裁，以及 1 位管理 IMEC 国际的理事会成员^[4]。IMEC 管理层相对稳定，30 年来只经任了 3 位总裁。首任总裁，即创始人 Van Overstraeten 教授，1999 年离世时在职 15 年；第二任总裁在

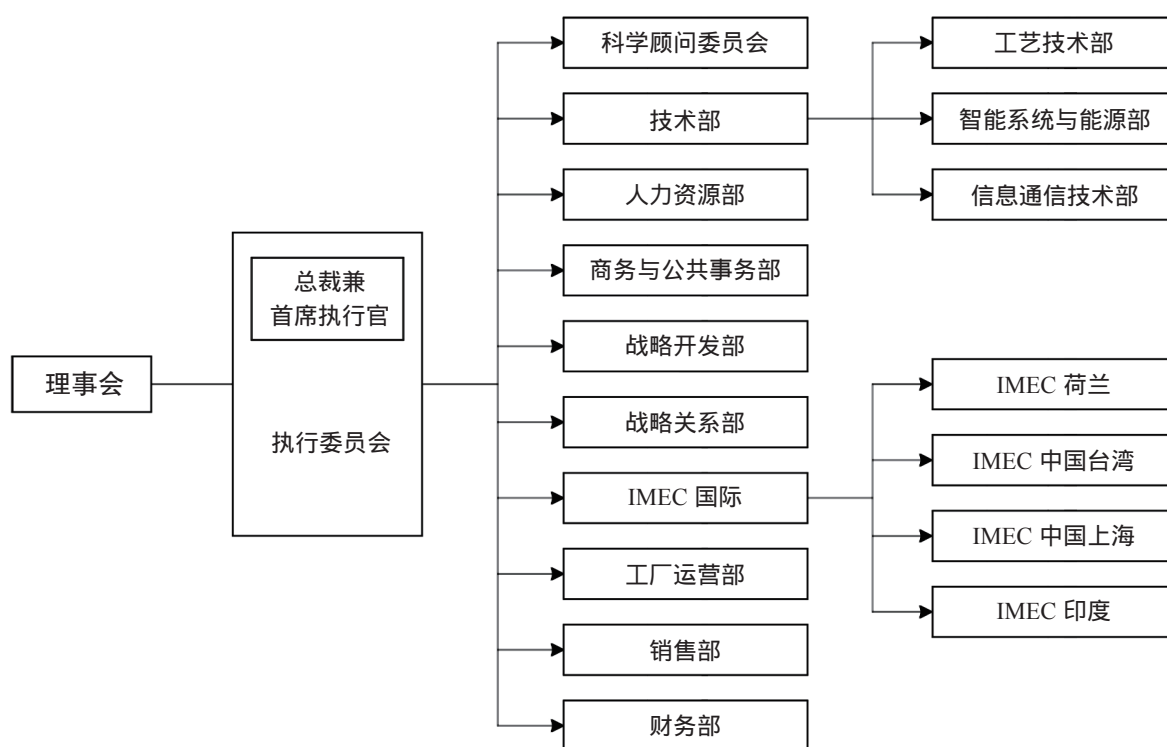


图 1 IMEC 组织结构图

职 10 年；第三任总裁 2009 年上任工作至今。三位总裁均于 1984 年加入 IMEC。

IMEC 具体业务部门随研究方向调整而频繁变动。当前，技术部负责所有研究活动，下设工艺技术部、智能系统与能源部、信息通信技术部等 3 个子部门；IMEC 国际负责监管全球各中心，在统一框架内协调各分中心共享科技资源和技术成果。

IMEC 从 1999 年开始全球化战略，先后在美国、日本和中国设立办事处，并在 2005 年之后分别于荷兰、中国台湾、中国上海和印度设立分中心。因得到政府大力支持，荷兰分中心发展最为成功，它由荷兰政府资助成立、IMEC 派人代管，财务收支独立，主要开展无线传感器、柔性电子、有机光伏等应用开发型项目研究；而其他分中心目前主要发挥技术销售的功能。

3 研究模式

IMEC 的研究模式共有 4 种，最主要的方式是通过“产业联合项目”(IIAP)，与全球合作伙伴开展联合研究，其余是与当地高校开展基础研究，受邀与企业开展双边合作，以及申请参与欧洲政府项目。

3.1 产业联合项目研究

产业联合项目计划是 IMEC 1991 年创立的与产业界开展联合研究的合作模式，在共享研发费用、科研人员、知识产权，以及共担风险的基础上，联合几家或几十家全球有实力的企业，开展领先市场需求 3~8 年的项目研究，攻克某项技术在产业应用之前的技术瓶颈。

IMEC 选择项目方向时非常严谨，通常针对某领域前沿技术进行试验性研究，积累基础知识产权(IMEC 称之为 R0)，寻找最可行的技术路线。项目开始前，IMEC 与每位产业合作伙伴分别签署双边协议，明确各自研发领域、知识产权归属及支付的费用。合作伙伴需向 IMEC 支付一次性项目加入费和每年度项目费，其用途包括 IMEC 基础设施与研究人员费用、项目管理费用，以及对 IMEC 基础知识产权的补偿。项目实施时，合作伙伴可以派驻研究人员到 IMEC 共同工作，一般每人为期 1 年。

IMEC 合作伙伴分为核心成员和项目成员两类，前者参与整个项目研究，后者只参与部分子课题，由于参与程度不同，享受权益也不同。核心成员主要是英特尔、高通、三星、意法半导体、阿斯麦、台积电、格罗方德等国际大厂，向 IMEC 支付

的项目费用比较高，在项目决策上具有相当话语权，如，IMEC 每年召开 2 次“项目技术周”，与合作伙伴交流项目进展，在随后的闭门会议上，核心成员的建议常常能够影响甚至决定项目未来走向。

由于项目参与方可能存在竞争关系，IMEC 与各公司签署协议时，充分考虑了未来知识产权的归属问题。产业联合项目将知识产权分为 R0、R1、R2 三类，实施相应的规则^[5-6]。

(1) R0——IMEC 独有的知识产权

IMEC 已有的、用于组建产业联合项目的基础知识产权，通常是 IMEC 多年研发过程积累的战略基础性技术，或者 IMEC 在产业联合项目中独立研究获得的知识产权。此类知识产权不与合作伙伴分享所有权，合作伙伴可通过专利许可的方式获得使用权。每一次产业联合项目完成后，IMEC 的 R0 再次得到扩张。

(2) R1——IMEC 与合作伙伴共同所有的知识产权

IMEC 和（某）合作伙伴基于 R0 共同研发出的知识产权，一般是通用性、方法性的成果，其所有权归 IMEC 和该合作伙伴共有，其他合作伙伴可免费获得使用许可。但当 R1 与该合作伙伴产品相关、且不会阻碍产业联合项目研发时，该合作伙伴可与 IMEC 约定不向其他合作伙伴授权使用，这时称该知识产权为 R1*。

(3) R2——合作伙伴独有的知识产权

IMEC 允许合作伙伴将双边研究与企业需求结合起来，对于双方开发出的对企业有价值的成果，根据之前的双边协议，其知识产权所有权归该合作伙伴独有。

因此，对同一产业联合项目的参与者来说，每个参与者不仅可以获得 IMEC 在这一领域的 R0，还可以获得其他参与者创造出的 R0 和 R1，自己还能研发专有技术。

IMEC 最初的 2 个产业联合项目在 20 世纪 90 年代初发起，至今已组建了 40 多个产业联合项目。表 1 列出了 IMEC 一些主要的产业联合项目，其中，大多数至今仍在继续实施。

3.2 与高校开展基础研究合作

按照弗兰芒政府要求，IMEC 需将政府资助经

费中约 10% 的比例以合作研发的方式转给当地高校或研究所。由于高校在基础研究领域具有较强优势，同时，大多企业不愿在周期长、风险大的基础研究上投资，因此，IMEC 主要选择与高校开展领先市场需求 8~15 年的基础研究。项目需求由 IMEC 提出，合作形式包括：互换学生与研究人员、成立工作组等^[7]。

IMEC 已与 200 多家高校成功开展过合作，大部分是比利时的高校和分中心所在地的高校，研究领域包括半导体工艺、核心感光器件、新材料、生物电子等，如，与弗兰芒当地 5 所大学开展生物电子领域的研究，与日本东京大学开展互连、微机电系统等领域的研究等。

IMEC 在基础研究中注重积累基础知识产权（R0），对于有潜在产业应用价值的技术，则会组织产业联合项目后续推进。

3.3 受邀与企业开展双边合作研究

由于 IMEC 在微电子领域有多年积累，拥有一流的基础设施、顶尖的研发队伍和丰富的知识产权，一些企业希望与 IMEC 开展双边合作研究，攻研特定关键技术，弥补自身不足。这类研究通常是领先市场 2~3 年的应用开发型项目。企业与 IMEC 签署双边合作协议，明确研发费用分担方式、成果归属等，IMEC 按照企业要求提供针对性科研服务，包括：定制设计、工艺开发、封装、可靠性测试、原型试样、小批量生产等。

IMEC 与业界领先的芯片设计、开发工具、制造装备、代工等企业（如，美国高通、新思科技、镁光，荷兰阿斯麦，日本东京电子、德国 X-Fab、中国台湾的台积电等）开展过双边合作，研究领域主要包括：半导体工艺、三维封装、特殊感光器件、柔性电子、无线通信等。

3.4 申请参与欧洲政府项目

为提高自身研究水平，促进欧洲微电子发展，IMEC 积极申请欧洲政府机构资助的研究项目，主要包括欧洲委员会第七科技框架计划（FP7）、欧洲航天局研究项目、比利时政府项目等^[8]。

以 2013 年为例，IMEC 共申请参与了 128 项欧洲政府项目。其中，第七科技框架计划 87 项，基本涵盖了 IMEC 七大研究方向^[9]；比利时政府项目 28 项，主要研究半导体工艺、生物电子、能源

表 1 IMEC 主要的产业联合项目

领 域	组建时间/年	项目名称
工 艺	1999	193 nm 光刻
	2001	超净工艺
	2001	高介电常数
	2001	0.18 μm 双极型 CMOS 制造工艺
	2002	推动 193 nm 的光刻极限
	2003	157 nm 光刻
	2004	嵌入式随机只读存储器
	2004	高电子迁移率层和先进源/漏工程技术解决方案
	2005	45 nm 以下先进光刻
封装	2005	先进互连解决方案
	2005	三维堆叠芯片
	2008	三维集成
	2009	集成解决方案的技术探索
器件	2001	新兴器件
	2005	45 nm 模拟/射频 CMOS
	2006	22 nm 以下锗和 - 族 CMOS 器件
	2009	硅基氮化镓
集成电路	2002	可重构系统
太阳能	2009	晶圆级硅太阳能电池
无线通信	2000	宽带无线多媒体通信集成收发机

数据来源：根据比利时微电子研究中心网站新闻和权威媒体报道整理（表 2 数据来源同此）。

等领域；欧洲航天局项目 10 项，主要研究集成电路设计、图像传感器等；其余 3 个项目来自荷兰的 3 个产业联盟，由 IMEC 荷兰分中心开展太阳能、微纳电子、能源效率方面的研究。

4 经费收支

IMEC 经费收入从初期的 1 000 万~2 000 万欧元，逐年增多（见图 2 所示），2000 年突破 1 亿欧元，2013 年已达到 3.32 亿欧元，其经费构成主要包括当地政府资助、国际企业和比利时企业的合作研究收入、欧洲委员会和欧洲航天局的项目经费。

从 1984 年至今，弗兰芒政府每年都给予 IMEC 资金资助，并且稳步增长，从 20 世纪 80 年代年

均 1 000 多万欧元，到 90 年代年均 2 000 多万欧元，再到 2002 年超过 3 000 万欧元，2008 年超过 4 000 万欧元。而每当 IMEC 有大型研究或建设项目时，弗兰芒政府还会额外增资，并且是第一个投资者，如：2003 年，IMEC 开始实施 300 mm 晶圆计划，弗兰芒政府在年度拨款外增资 3 700 万欧元（IMEC 筹集 4 700 万欧元），建成了 2 200 m² 实验室；2012 年，为支持 IMEC 的 450 mm 晶圆净化间建设，弗兰芒政府向 IMEC 额外拨款 1 亿欧元，并计划在未来 5 年内投资 10 亿欧元帮助其扩大建设^[10]。

随着 IMEC 与产业界越来越多的研究合作，其研究合同收入大幅增多，1995 年超过政府投资，

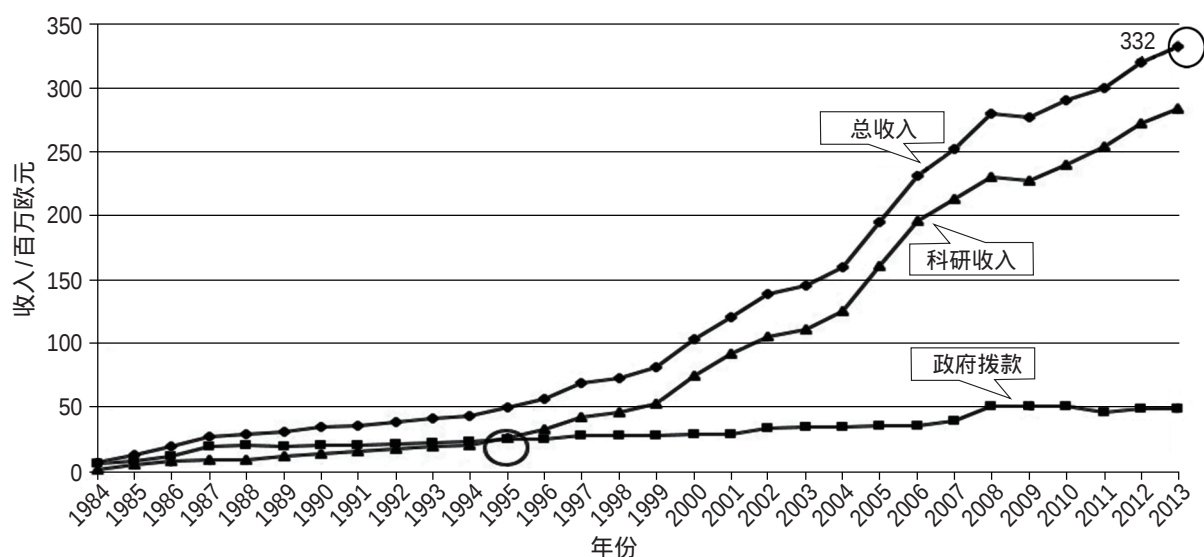


图2 1984—2013年IMEC经费收入情况

数据来源：根据比利时微电子研究中心网站新闻和历年年报整理（图3数据来源同此）。

2013年已增长到2.79亿欧元，占总收入的84%。

从地域上看，IMEC 70% 的收入来自欧洲以外，而弗兰芒本地和欧洲分别占15%^[11]。

IMEC 经费支出主要用于设备采购、科研运营、人员工资和日常管理，每年收支情况基本平衡，有时甚至略有超支。

5 人员构成

IMEC 最初由68人组成，分别来自产业界、当地高校研究人员和政府人员。此后，IMEC 十分重视吸纳全球优秀研究人员，工作人员逐年增多（见图3所示），至2013年已发展到2086人。其

中，383名产业界派驻人员和289名访问博士占1/3，IMEC 专职研究人员占1/3，其余1/3是IMEC 行政管理与法务人员^[12]。同时，IMEC 也鼓励人才流动，每年非核心人才流动率约20%。

IMEC 研究人员来自全球71个国家和地区，平均年龄40岁，IMEC 自豪地表示：“把世界一流的不同文化背景的研究人员聚集到一起合作交流，一定能够不断注入新想法。”IMEC 为不同国家的研究人员创造了良好的研究环境和合作氛围。比如，IMEC 经常举办跨文化交流活动，加强人员沟通了解；IMEC 还与当地政府和高校共同成立了鲁汶国际学校，为外籍员工子女提供国际化小学教育。

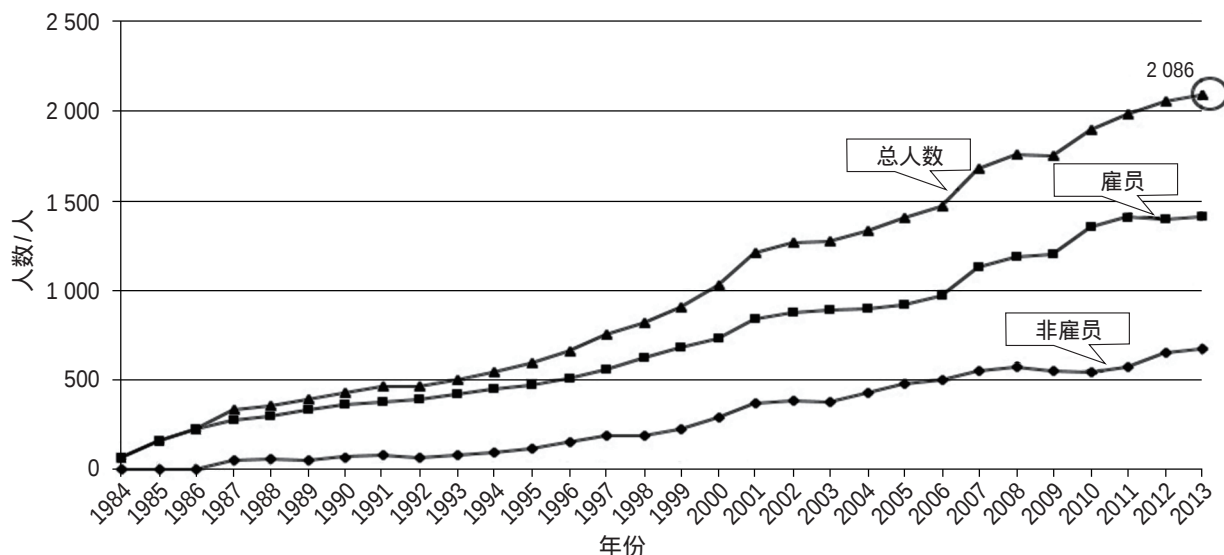


图3 1984—2013年IMEC人员变化情况

6 成果转化

IMEC 研究成果大多属于战略性先导技术，通常以此为基础组建产业联合项目。即使有成果可以商业化时，IMEC 也坚决通过技术转让或孵化子公司的方式将其剥离，以避免与合作伙伴或客户产生商业竞争。

6.1 技术转让

对于与产业联合项目无关或者市场已有的成熟技术，IMEC 通常将其转让给外部公司，包括工艺步骤、模块，甚至全套标准工艺^[13]。IMEC 技术转让的核心是“Know-how”的转移，在提供相关技术文档的同时，也提供相应的研发报告和培训，以帮助受让方真正掌握和有效使用 IMEC 技术^[8]。IMEC 成功转让过多种技术，包括晶圆干法清洗工艺、深亚微米 CMOS 工艺，硅上氮化镓技术、亚微米微机电系统制造、嵌入式系统架构、可靠性测试等，受让国主要是亚洲国家，如，IMEC 曾将 0.35 μm 成套工艺转让给以色列 Tower 公司，将 0.13 μm 成套工艺转让给马来西亚 Silterra 公司。

6.2 孵化子公司

弗兰芒政府要求 IMEC 将部分成果通过孵化公司的方式实现商业化，每年至少成立 1 家子公司。对于具有应用价值但没有外部公司引入的技术，IMEC 在充分可行性论证的基础上一般采用这种方式将其商业化。IMEC 通常将部分相关人员分离出去，并且将相关技术以一次性买断的方式转让给子公司，以换取子公司 5%~15% 的股权，由 IMEC 成立的股权公司统一管理；同时，IMEC 还对孵化的子公司提供种子资金和基础设施，弗兰芒政府有时也会通过投资公司对其投资。例如，IMEC 在它和比利时根特大学多年硅光子研究成果的基础上，2010 年成功孵化出子公司 Caliopa，创始团队由 7 名来自 IMEC、根特大学的技术专家及业内管理人士组成，初期 200 万欧元融资来自 IMEC、根特大学和弗兰芒政府。

IMEC 总共孵化了 40 多家子公司^[14-15]，其中，大部分运行良好。表 2 所示为其中的 27 家，约占 2/3，基本位于比利时国内，有 11 家子公司已被业界知名公司收购。

表 2 IMEC 孵化的子公司列表

序号	名称	成立年份	业务范围	现状	所在地
1	UCB	1986	光刻胶、掩膜板	日本 JSR 收购	比利时
2	Cobrain	1987	刻蚀、表面处理	美国 Axcelis 收购	比利时
3	Frontier	1989	CAE 软件	英国 ARM 收购	比利时
4	Soltech	1989	光伏发电		比利时
5	Easics	1992	集成电路设计		比利时
6	Alphabit	1992	高频、高速电子 CAE 设计软件	美国安捷伦收购	
7	Sirius	1996	卫星通信芯片	美国安捷伦收购	比利时
8	Target	1996	DSP 设计和编程		比利时
9	CoWare	1996	软硬协同设计	美国 Synopsys 收购	美国
10	ACUNIA	1996	远程信息处理	比利时 Punch 收购	比利时
11	AnSem	1998	模拟器件设计		比利时
12	3E	1999	可持续能源		比利时
13	FillFactory	1999	CMOS 图像传感器	美国 Cypress 收购	比利时
14	Q-Star	1999	电流测试		比利时
15	Septentrio	2000	卫星导航		比利时
16	XenICs	2000	红外图像传感器		比利时
17	PowerEscape	2003	EDA 工具	英国 ARM 收购	美国

续表

序号	名 称	成立年份	业务范围	现 状	所在地
18	Magwel	2003	高频器件仿真		比利时
19	Gemidis	2004	微型显示系统		比利时
20	Essensium	2005	网络芯片		比利时
21	Trinean	2007	芯片实验室		比利时
22	M4S	2007	射频器件设计	中国华为收购	比利时
23	MagCam	2009	细胞检测与成像		比利时
24	Pepric	2009	生物成像技术		比利时
25	EpiGaN	2010	氮化物外延材料		比利时
26	Caliopa	2010	光学收发机	中国华为收购	比利时
27	Atlas	2012	脑神经研究仪器		比利时

7 地区作用

IMEC 成立时，弗兰芒政府在论文数量、经费使用、成果转化方面提出了具体要求，目的是促进当地微电子产业发展。多年来，IMEC 通过研究合作、人才培养、技术转移、孵化子公司等手段，促进了当地企业的竞争力，直接或间接提供了 5 000 多个工作岗位。

IMEC 与本地企业和高校开展了广泛合作，促进相关技术和知识向当地产业界和学术界转移。IMEC 共计与 500 多家本地企业进行过研究开发、技术支持和培训等方面的合作，并与当地两所大学建立了联合实验室，开展基础电子领域研究；IMEC 还发起成立了异质集成、无线通信和多媒体 3 个学术团体，会员包括企业、高校、研究所和政府组织，以学术会议和在线交流的方式共享公共技术信息、探讨技术问题。

IMEC 重视人才培养，鼓励研究人员发表高水平论文、参加国际学术组织等，为本地乃至全球产业界培养了大批优秀人才，因此，也得到了“国际半导体人才库”的称誉；同时，IMEC 还积极为当地研究人员提供培训服务，专门成立了“IMEC 学院”，作为一所企业大学为产业界和学术界人员提供先进技术培训，每年培训时间超过十万小时，一些课程质量很高，甚至可以作为大学博士课程。

此外，IMEC 的成功，在当地起到了一定的产业聚集效应，发展出诸如“数字信号处理器（DSP）谷”、“多媒体谷”等产业聚集地，仅“DSP 谷”

就包含了 100 多家企业和研究机构，覆盖了从微纳电子到嵌入式系统的整个产业链，企业间具有稳固的研发、供应、授权和认证等合作关系。

然而，弗兰芒地区也一直存在对 IMEC 的质疑，甚至有“穷弗兰芒、富 IMEC”的说法。根本原因是，与 IMEC 对国际半导体产业的重大贡献相比，有的人对 IMEC 回报本地的期望过高。实际上，成为类似美国硅谷那样的创新科技产业区，是由国家产业生态、市场空间、科技政策、创业环境、精神文化等综合因素决定。尽管如此，IMEC 对当地科技、产业和经济的贡献毋庸置疑，得到了绝大多数人的认可。

8 经验及其启示

IMEC 用 30 年时间，从一个地方性微电子研究中心发展成为欧洲最大、世界领先的产业共性技术研发组织，探索走出了一条独特的可持续发展道路。研究其成功经验，必将对我国微电子产业发展有所启发。

8.1 IMEC 成功经验

（1）选择产业共性技术研究方向

IMEC 最初受资金和中试线限制，没有做成品率等量产方面的工作，避免了与产业公司竞争。从其研究历程来看，IMEC 研究方向均选择了产业共性技术，也即产业竞争前技术，这些都是处于技术演化前期的关键性技术，也是企业在自主研发过程中遇到的共性技术问题，因此，企业才有兴趣参与研究，也不必担心自己特有核心技术在

共同研发过程中被竞争对手复制。正如创始人 Van Overstraeten 教授一贯倡导的“只做产业界需要的东西”，即使已有或在研技术，如果得不到产业界认可，如，BiCMOS 和微电机系统，IMEC 也果断放弃。另外，IMEC 在技术开发过程中，十分重视战略性先导技术积累，同时充分考虑大规模生产的特点，确保了较大的工艺窗口，使得研究成果具有良好的产业应用前景，如，IMEC 最初选定研究的湿洗法和硅化物 2 个工艺，后来都成为了大生产的经典工艺。

（2）构建稳定开放式研发平台

IMEC 的主体是一个由专职人员和基础设施组成的独立实体，企业通过合作项目阶段性地加入或退出 IMEC，流动性较大。这一点与美国、日本有较大不同，后两者研究联盟以企业为主体且基本固定，随着研究目标实现而结束，如日本“超大规模集成电路联盟”（VLSI），或者渐渐淡化和转型，如美国“半导体制造技术联盟”（SEMATECH）。相反，IMEC 随着新旧项目产生和结束、企业交互进入和退出，一直稳定蓬勃地发展。

IMEC 相当于搭建了一个开放式研发平台，邀请高校和各大厂商参与进来，甚至有竞争关系的企业也能参与同一项目，有效减少了技术和市场的不确定性。IMEC 在其中发挥了两个关键性的桥梁作用，一是连接了学术界和产业界，IMEC 从高校基础研究中挑选出百分之几的可产业应用的技术，继而与产业界联合研发，这一桥梁中，高校、IMEC 和企业的作用分别相当于“小试”、“中试”和“大试”（即量产）；二是连接了设备商（含材料商）和制造商，两者在工艺研发阶段就能进行先期技术对接，当工艺成熟后，设备商的最先进设备可顺利用于制造商的工艺线，这一桥梁中，IMEC 相当于构建了一个“小市场”或“小生态”，甚至后来也吸引了美国高通、博通等设计企业参与工艺研发，为的就是能最先掌握新工艺对电路设计的影响。

（3）获得政府长期持续资助

微电子特别是半导体工艺研究具有持续时间长、资金投入大、技术风险高的特点，特别需要政府的大力扶持。比利时弗兰芒政府一直给予 IMEC 持续资助，这是其发展壮大的重要原因。虽然政府经费在 IMEC 收入中的占比日益减少，但其资

助额却逐年增加，而且每当 IMEC 有重大项目时，政府通常率先额外投资。地方政府的常年资助免去了 IMEC 无运行经费的后顾之忧，起到了“造血”功能，使其能够长期研究积累基础技术，也增强了全球合作者对参与 IMEC 项目的信心。

（4）开展广泛国际合作

尽管 IMEC 成立的初衷是为增加地区竞争力，但比利时微电子产业和市场相对较小，IMEC 起初靠政府投资维持运营，但其长久发展则需要产业界及其他资本的注入，如此巨大的生存压力迫使其积极寻找国际合作。IMEC 合作企业遍及欧洲乃至全球，几乎包括了所有著名的半导体设计公司、代工厂、设备制造商、材料供应商和电子设计自动化（EDA）工具商，不但降低了开发成本，缩短了研发周期，而且获得了更多交叉收益。

随着微电子的快速发展，其技术难度和研发投入越来越大，晶圆从 150 mm、到 200 mm、再到 300 mm，每次技术过渡的成本都提高了一个数量级，尤其是今天的 450 mm（仅研发经费预计将超过 400 亿美元），远远超出某一企业甚至国家的承受能力，技术、资金、人才等维度的国际合作研发之路是未来的必然趋势。放眼全球，这可能也是日本半导体产业近年来衰退的一个主要原因，因为日本没有类似 IMEC 的国际化研究联盟，而欧洲有 IMEC、美国有 SEMATECH（从最初的本国企业研究联盟转型为国际化合作研究联盟）。

（5）采用利益共享的商业模式

利益共享是共性技术研发模式的核心，IMEC 产业联合项目计划被业界誉为世界上最成功的发展产业共性技术的合作模式之一，其核心是开放共享的知识产权和转化受益分配规则，对于不同合作伙伴分别制定针对性条款，最大限度满足不同合作伙伴的需求，同时不损害其他合作伙伴利益，因此，吸引了众多国际上不同情况的伙伴参与合作研究。另外，IMEC 对其技术比较开放，包括发表论文的信息量都很大，因为 IMEC 希望将主要精力从事超前研究而非技术封锁，来确保技术领先。实际上，IMEC 采用基于利益共享的商业模式，汇聚形成了以产业共性技术利益相关者为主体的创新研究生态系统。

（6）坚持中立性原则

IMEC 因具有政府成立的背景，其机构性质为

非盈利性。为不与产业界竞争, IMEC 长期保持了中立性原则, 从人员结构、知识产权共享、技术转让、孵化子公司等方面得到了充分体现, 甚至在一些项目决策上也尊重企业意见。IMEC 的中立性经历了长期考验, 也为 IMEC 带来了实惠, 一方面提高了国际知名度, 如, IMEC 成功迈出比利时的第一步是将湿洗法工艺以 1 美元卖给美国英特尔公司, 随后引起了全球各大公司的重视; 另一方面赢得了产业界的信任, 聚集了众多忠实合作伙伴, 像美国英特尔公司、荷兰阿斯麦公司这些业界顶级企业均长期不遗余力地高额资助 IMEC 项目。

8.2 启示

结合 IMEC 成功经验和国内半导体产业战略设计实际, 从宏观层面提出 3 点启示。

(1) 一个强大的半导体产业, 不仅仅需要类似英特尔这种骨干大企业, 还需要像 IMEC 这种组织来聚合产业力量、增强产业活力、完善产业环境、丰富产业生态。

(2) 发展先进半导体技术不一定必须走英特尔那种“玩命砸钱”的路子(英特尔公司每年研发费用 100 亿美元); IMEC 模式是典型的经济实惠路线, 更值得我们学习。

(3) 科研成果与产业脱节是我国科研体制的长期痼疾, 而 IMEC 构建的开放式产业共性技术研发平台, 真正实现了企业投资、企业联合研发、企业最终使用研发成果的符合产业与市场规律的可持续发展, 这正是我们管理层非常想在国内实现的效果。我国这些年纷纷成立的产业公共服务平台, 应该与 IMEC 运行模式逐项对比, 找出差距, 分析根源, 借鉴优化。■

参考文献:

- [1] Interuniversity Microelectronic Center. Imec Celebrates 30 Years of Nanoelectronics Industry Innovation[EB/OL]. (2014-01-14)[2014-04-13]. http://www2.imec.be/be_en/press/imec-news/imec30years.html.
- [2] Interuniversity Microelectronic Center. IMEC History[EB/OL]. [2014-04-28]. http://www2.imec.be/be_en/about-imec/history.html.
- [3] Interuniversity Microelectronic Center. Organization Scientific Advisory Board[EB/OL]. [2014-04-28]. http://www2.imec.be/be_en/about-imec/organization/scientific-advisory-board.html.
- [4] Interuniversity Microelectronic Center. Organization Management Team[EB/OL]. [2014-04-28]. http://www2.imec.be/be_en/about-imec/organization/management-team/executive-board.html.
- [5] Leten Bart, Vanhaverbeke Wim, Roijackers Nadine, et al. Managing Innovation Ecosystems Through IP-Based Orchestration Models: IMEC, a Public Research Institute in Nano-Electronics[J]. California Management Review, 2013, 55(4): 51-64.
- [6] Kristel. IMEC-Nanopatents[R]. Belgium: Patents and Industry-Science Relations Meeting, 2006.
- [7] Lode Lauwers. Neutrality is a Key to Success for Belgium and Imec[EB/OL]. (2012-12-27)[2014-05-10]. <http://mandetech.com/2012/12/27/neutrality-is-a-key-to-success-for-belgium-and-imec/>.
- [8] Chris Van Hoof. IMEC and Research Management[R]. Belgium: Interuniversity Microelectronic Center, 2010.
- [9] European Commission. FP7: The Future of European Union Research Policy[EB/OL]. (2012-07-09)[2014-04-10]. http://ec.europa.eu/research/fp7/index_en.cfm.
- [10] Interuniversity Microelectronic Center. Flemish Government to Support Imec's 450 mm Clean Room[EB/OL]. (2012-07-09)[2014-04-28]. http://www2.imec.be/be_en/press/imec-news/imec450mm.html.
- [11] Van Rossum M, Van Helleputte J. Imec's Model: From Strategy to Operations[R]. Belgium: Interuniversity Microelectronic Center, 2011-04.
- [12] Interuniversity Microelectronic Center. 10 Highlights of 2013[EB/OL]. [2014-04-23]. <http://magazine.imec.be/data/24/reader/reader.html#preferred/1/package/24/pub/28/page/3>.
- [13] Interuniversity Microelectronic Center. IMEC Annual Report 2011[R]. Belgium: Interuniversity Microelectronic Center, 2012.
- [14] Interuniversity Microelectronic Center. Imec Spin-off[EB/OL]. [2014-04-28]. http://www2.imec.be/be_en/about-imec/spin-offs.html.
- [15] Interuniversity Microelectronic Center. Imec in 2012, the Year in Figures and Highlights[EB/OL]. [2014-04-28]. <http://annualreport.imec.be/Imec-in-2012/page.aspx/1225>.

Analysis on the Development History of IMEC in Three Decades and Its Implication

HU Kai-bo, SU Jian-nan

(Electronic Technology Information Research Institute, the Ministry of Industry and Information
Technology of the People's Republic of China, Beijing 100040)

Abstract: Interuniversity Microelectronic Center (IMEC) has become Europe's largest, the world's leading industrial generic technology research and development (R&D) organization from a Belgium local microelectronics research center within 30 years, exploring out a unique sustainable development path. Based on systemic investigation of IMEC development course, this paper focuses on the study of IMEC research direction, organization structure, research model, revenue and expenditure, personnel composition, achievements transformation, as well as regional contribution, and analyzes the main successful experience of IMEC, such as insistence on researching industrial generic technology, constructing a stable and open R&D platform, getting long-term and continuous financial support from government, conducting extensive international cooperation, applying the benefit-sharing business model, adhering to the principle of neutrality, etc. IMEC's success has an important significance to the development of the microelectronics industry of China. At last, from the perspective of industry strategic design, the paper puts forward some suggestions for Chinese microelectronics industry.

Key words: Belgium ;Interuniversity Microelectronic Center (IMEC) ;industrial generic technology ; IMEC's industrial affiliation programs

(上接第 38 页)

Mechanism and Characteristics of the U.S. National Innovation System

GAO Hong-shan, ZHANG Jian

(Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100862)

Abstract: As the world's largest economy, the U.S. gets to form its specific innovation system to keep the great advantage on its technology innovation and R&D for a long time. The development process and mechanism of the U.S. National Innovation System (NIS) are introduced. The paper also analyzes main characteristics of the U.S. NIS as follows: innovation is driven by the market, taking enterprises as the main body; the federal government plays a key role in innovation by taking effect measures such as recruiting global innovation talents, introduction of private capitals, and strict management of R&D funding. Finally, some suggestions on the Chinese innovation system construction are given, such as, applying the preferential tax policy in various enterprises without discrimination, enhancing spending on the national defense research and basic research, coordinating the personnel training and introduction policy, and so on.

Key words: the U.S. ;National Innovation System ;innovation system construction