

半导体行业愿景与研究指南

【译者按】 为帮助半导体行业确定研究投资的优先领域，美国半导体行业协会与半导体研究联盟组织众多行业专家和业内领袖，历时9个月完成《半导体行业愿景与研究指南》，并于2017年3月首次发布。报告明确了14个关键研究领域，同时重点对先进器件、智能记忆与储存、电能管理、传感和通信系统、认知计算、生物计算和储存、先进架构和算法以及安全和隐私保护8个关键基础研究领域进行讨论，以期推动政府、产业界和学术界加大投资上述领域，促进半导体技术的创新与应用。赛迪智库集成电路研究所对该报告进行了编译，期望对我国有关部门提供参考。

【关键词】 半导体 新技术 愿景 研究指南

一、总述

半导体是数字信息时代的基础技术。本文提出了对半导体行业的研究愿景，以期推动半导体技术的持续创新，进而打开运用多种技术手段的大门，实现并推动众多经济领域的共同发展。必须强调，在不断努力推动现有技术进步的同时，还应加强更多技术领域重点研究工作的。

目前，由于半导体企业在研发方面的持续巨大投入，半导体行业在创新方面已经取得重大成就。其中，全球半导体行业 2016 年研发投入总额达 5650 亿美元，占行业总收入的 15.5%，研发投入占行业收入比例居所有产业之首。过去几十年，芯片的发展一直遵守着摩尔定律，即芯片晶体管集成数量每隔 18-24 个月翻一番，这使得芯片的计算能力与功能实现更快、更好，而价格变得更低。然而，这种基于硅基的传统半导体技术正在趋于成熟。半导体行业急需发展硅基以外的其他技术。冯·诺依曼式的计算领域急需低功耗、低电压、CMOS 逻辑电路以及存储设备以外的相关材料等方面的进步。在非冯·诺依曼式计算领域，新型存储元件与材料拥有巨大潜力，有望继续推动半导体行业的创新。

未来，半导体产业持续发展需要更多的研发人员来推动整体半导体技术的全面进步。在传统技术领域，包括小型传感器、高

性能计算机及其各种混合系统在内的各种半导体系统，需要在实现最佳性能的同时，降低能耗并增加安全与可靠性。在新兴技术领域，新型材料、新型制造技术、新式结构、新式系统架构和新型应用等全新技术的突破与应用将为半导体产业的发展注入活力。

对于半导体产业的愿景，本报告的研究议程中提出了多个可以带来突破性进步的技术应用方向，这些潜在的突破口包括人工智能或增强智能、物联网、高性能计算，以及全球互联互通等。

旨在帮助整个半导体行业和价值链确定研究投资的优先领域，本报告的书写专家组由众多行业专家和业内领袖组成，历时9个月完成。期间，专家组共同明确了如下关键研究领域：

- 先进器件、材料和封装
- 互连技术和架构
- 智能记忆与存储
- 电能管理
- 传感和通信系统
- 分布式计算和组网
- 认知计算
- 生物计算和存储
- 先进架构和算法

- 安全与隐私保护
- 设计工具、方法和检测
- 下一代制造范式
- 与环境、健康和安全的材料与工艺
- 创新计量和表征

目前，许多国家已经认识到半导体行业的基础性作用，纷纷加大半导体研究、制造和创新等方面的投资。但是，全球半导体行业面临着激烈的创新与人才竞争，因此迫切需要对相关领域进行有效投入。产业界、学术界和各国政府必须为上述领域提供持续的充足投资，大力推动创新与实际应用。

二、愿景：导言与概述

自 20 世纪 60 年代以来，半导体技术的进步有目共睹，曾经需要整个房间才能装下的计算机主机，现在已经小到可以装进衣兜或戴在手腕之上。如今，半导体技术成就了生活的方方面面，不管是汽车轮胎传感器、医疗监视器，还是大型云计算系统和侦察卫星，都离不开关键的半导体部件。半导体还为世界带来了海量数据、超级连通性和无处不在的计算。现在，各种颠覆性应用层出不穷并加速涌现，包括无人驾驶车辆、为个人量身定制的“电化学”医疗、沉浸式教育工具等等，还有能够自我学习的智能助

手，能够帮助人们做出更加明智的日常决定。未来，更多超乎想象的应用还将不断涌现，而这些都离不开增强智能、人工智能（AI）和其他基于半导体的技术。

目前半导体产业的发展处在转折期。一方面，大部分半导体研究工作继续沿着“摩尔定律”的道路前进，仍然聚焦于在继续扩大晶体管集成规模与缩小晶体管体积的技术、材料和工艺方向。另一方面，由于摩尔定律在集成规模上很可能已经走到穷途末路，研究人员必须开辟新的研究方向，探索多种发展策略。比如，全新模拟技术能够推动通信技术实现巨大进步。越来越多的全新策略也在催生属于未来的计算和信息处理器件与系统。人们需要新的器件来扩大硅基晶体管，也需要新型计算架构以替代传统的冯·诺依曼架构，从而实现全新的计算模式。

伴随全新的计算方法和应用的出现，系统迫切需要更加先进的安全与隐私保护措施。当今世界，很少有独立存在的系统，而整个社会就是由各种系统组成的大系统。在这种环境下，甚至连处理看似无关紧要数据的器件，也可能涉及敏感或隐私信息，这越发彰显安全措施的重要性。安全措施必须要固化于内、防患未然，而不能缝补于外、亡羊补牢。加密图形研究公司（Cryptographic Research Inc）总裁兼首席科学家保罗·何赫尔曾警告称：“如果人们不能解决安全问题，新技术带给人类的价值也就不复存在

了。”目前，随着嵌入式和智能系统的普及与互联，物联网生态系统已发展到前所未有的复杂程度与规模，这就要求半导体技术与设计工艺也必须实现创新与突破，才能应对随之而来的安全与隐私保护难题。

在现如今半导体产业发展的关键节点时期，不管是行业、政府还是学术界，都要积极行动，在基础科研、商业应用等活动中各尽其能，推动半导体技术的持续进步。物联网等众多技术应用的互联特性，需要行业、学术与政府部门的通力合作，才能取得进步。

三、展望：未来计算的研究需求

物联网、云计算、高性能计算以及多种半导体应用所依赖的基础技术可以被总结为如图 1 所示的一个“堆栈”结构。在此堆栈结构中，材料、结构、器件和电路等方面的进步，可推动未来算法与软件的架构升级，进而推动未来的实际应用，以满足一国的经济、社会与安全需要。在任何特定应用的具体研发工作中，堆栈中的多个层级甚至所有层级将会被涉及。

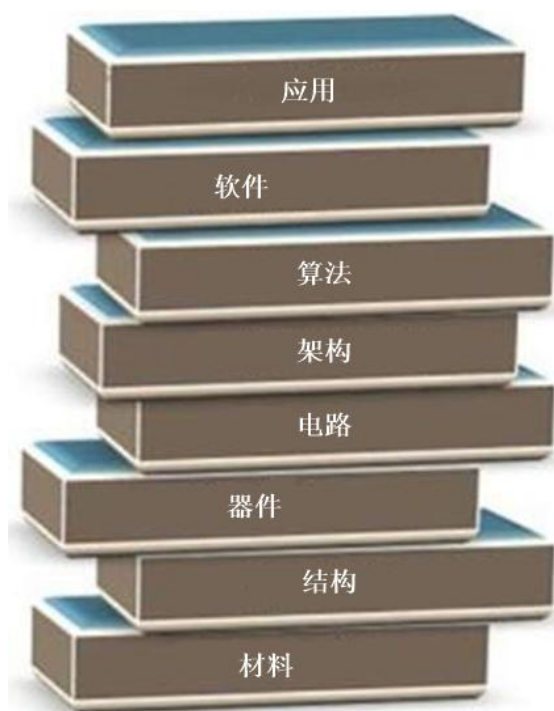


图 1 支撑应用的技术层级

在制定本研究议程中，行业专家组团队明确了 14 个相互独立的研究领域。通过分析，这些研究领域的领先有助于保持美国在先进计算系统领域领导地位。基于如图 1 所示技术堆栈，下文从技术层级角度分析了这 14 个研究领域在未来的技术需求。

先进器件、材料和封装：晶体管和其他半导体器件是计算、数据存储、嵌入式智能等技术的基本构造模块。目前的技术手段已经接近物理极限，新式架构在不断涌现，因此，新材料、新器件和先进的封装方法变得十分关键。技术进步将带来更加先进的 CMOS 技术、Beyond CMOS 的先进应用，以及非冯·诺依曼式

的计算模式。

互连技术和架构：互连技术能够通过集成电路传输数字信息。但是由于现有互连技术的局限性，互连技术存在效率低下的问题，并影响了系统性能。目前，互连技术急需在材料、机制和设计方面取得革命性进步。

智能记忆与存储：内存使用与存取模式的转变带来的创新可以推动数据分析与机器学习相关应用的迅速增长。记忆与存储技术和架构的进步将大大提高系统性能与安全，并推动实现智能系统。

电能管理：为满足电能切换、转换、控制、调节与高效存储方面重大变革的需求。下一代系统需要在材料、有源与无源设备、设计和封装等技术出现突破创新。

传感和通信系统：为满足未来传感系统的需求，器件、电路、算法需要具有更高能效，并且还需要能够自动传感周边环境、提取处理相关信息并自动做出回应。通信系统必须拥有较强的适应能力和弹性。同时，为了保障服务安全，还需要更加高效的频谱利用和更强大的抗干扰能力。

分布式计算和组网：未来，大规模分布式计算系统可以满足大量使用者和多样化应用的需求。为实现大规模分布式计算和组网，需要系统在规模、效率、通信和系统管理优化、弹性和架构

等方面实现重大进步。

认知计算：为构建拥有强大认知能力的系统，需要在感知、学习、理性、判断、规划、决策等方面取得重大进步。这需要为监督学习和无监督学习开发高效的算法与架构。另外，开发流畅无缝的人机界面，构建网络认知子系统，以及实现将新型认知系统和现有冯·诺依曼式计算系统紧密整合都是认知计算实现突破的前提条件。

生物计算与存储：生物学与半导体技术的结合，将有可能推动信息处理与存储、设计与合成、纳米制造等方面的革命性进步。具体应用包括基于 DNA 的存储、生物传感器、仿细胞式的信息处理、生物分子的设计自动化等。

先进架构和算法：在构建高性能、高能效、具有弹性并且安全的新型架构过程中，新应用与先进计算系统需要与算法和硬件采用协同设计，并组成规模化的异构架构。

安全与隐私保护：当今社会高度依赖互联与智能系统，这要求各组件、电路和系统必须具备保护安全与隐私的能力。要设计和生产安全可靠的硬件，需要在安全为基础的前提下，进行设计并制定安全原则与指标、认证安全工具与技术、了解威胁与漏洞。

设计工具、方法和测试：伴随着材料和架构方面的突破，设计与测试能力可以得到突飞猛进的进步，并由此推动新能力在设计

计中的整合与规模化量产。目前行业中的挑战来自于日益复杂与多样化的 CMOS 技术方案。

下一代制造范式：针对科技方面的先进技术需求，新型材料、新型装备与电路和新型功能系统都将被使用。这些技术将被使用在 CMOS 和高精度的计量标准上。

与环境、健康和安全的材料与工艺：半导体行业向来重视工业生产中可能造成的环保、健康与安全问题。人们除了应尽快了解新材料与新工艺对环境、健康与安全的影响，还要改进现有技术和工艺。此外，要不断寻找能够减少废水、排放量和职业病风险的策略与技术。

创新计量和表征：半导体已经实现纳米级的尺寸，而且正向着 3D 堆栈结构发展。创新的界定方式和计量标准是基础材料研究、纳米级制造、器件测试和复杂系统集成于评估等的关键。

上述关键主题清晰的描绘了未来技术所面临的多种挑战，并充分表明大学、政府研究机构与业内的基础研究人员和技术专家相互协作的重要性。

目前半导体行业已经接近现有技术模式的极限，但为了获得竞争优势，市场需求仍然在迅速增长，全球竞争也在不断加剧。美国需要全新技术、新的投资和新型合作，才能保持领导地位。

四、研究领域

本文在下一代计算、数据分析和人工智能及其大规模应用方面选取 8 个关键基础研究领域进行讨论。文章首先按照在技术堆栈中的地位，从低（材料与器件）到高（架构与算法）介绍相关领域，并在随后介绍安全、设计工具、制造和计量等交叉领域。文中每项内容都包括未来 10 年的发展方向，并给出在研究策略方面的建议。

（一）先进器件、材料和封装

1. 引言与概述

新型器件的应用通常需要使用不同特性的材料，这就要求必须更加深入的研究替代性材料系统和相关界面特性，如：III-V 族、锗硅、碳基、二维、多铁性、铁电体、磁性、相变，以及金属绝缘体过渡材料。新材料系统的研发，还需要达到原子级精准度的沉积和清除（蚀刻与清洗）方法，这些方法还要适用于大面积作业，并且具备故障率低、尺寸小（低于 10 纳米）、3D 整合和高生产能力等特性。

先进的 3D 集成与封装技术能够实现垂直方向集成和功能的多样化，从而通过异构整合改善系统性能与功能。除工艺创新之外，材料与器件方面的进步同样也能推动封装技术的发展。

应用领域的迅速扩展，对封装技术提出了特别要求。在高性能计算领域，封装系统的总体性面临 I/O 带宽密度的瓶颈和热管理方面的挑战等两方面的制约，迫使人们将注意力再度转向使用金属导体进行芯片外通信的解决方案。汽车电子方面，需要使用耐高温、耐能量密度和更加可靠的新型封装材料以提高产品可靠性。移动消费方面，更加严格的形状限制因素推动着封装技术的创新。物联网产品则需要低成本的封装，和用于可穿戴设备和其他新兴可延展电子元件的集成封装技术等。

2. 研究建议

- **进行器件与材料方面的基础研究：**这是 Beyond CMOS 技术的关键所在。虽然通过现有 CMOS 技术为基础的设计与系统创新可以为新的应用和市场提供机遇。但是，设计与架构的改善有其局限性。业界需要在基础器件和材料的研究中寻找可持续、可扩展的突破口。
- **将器件研究与创新设计和架构研究紧密结合起来：**这需要将新型器件和架构进行共同优化，以期改善系统性能和效率。
- **与制造企业共同支持器件与材料研究：**这可以在阵列器件与测试芯片中进行新概念与创新的测试。
- **依照量化指标指导 Beyond CMOS 器件、材料和架构的研发：**其中量化指标的制定需要基于统一和全面的方法与标准。

（二）智能记忆与存储

1. 引言与概述

信息技术的进步大大提高了数据产生的速度和数量，使增强记忆和存储功能成为优化计算机系统的关键出发点。能量传输、延迟和带宽是这些系统性能与能效的关键指标。构建能够规避这些信息局限性的理念与工具，将对未来记忆和存储产生重大影响。现代计算问题的许多解决方案，大部分要涉及多对多的关系，而分布式计算平台的大截面带宽则有助于实现这种关系。

为大幅度提升复杂数据处理的性能，需要全面改进和垂直整合的高性能“智能”存储系统。该存储系统涵盖了操作系统、编程模型和记忆管理技术，以及原型系统架构。更优化的硬件平台需要含有大截面带宽的大型互联记忆与存储器件，还要拥有能够结合传统高性能计算元件模块的集成逻辑电路和加速器，并且允许计算元件将所有或部分共享记忆空间用作缓存类内存。此外，该平台还能够运送和控制内存结构中的数据，从而将更多携带丰富信息的数据流送往处理器和加速器模块。研发新式平台的目标，是要实现能耗、性能与密度（体积和工艺）的数量级增长。

在实现记忆使用与读写方式的转变过程中，建立能够根据系统设置偏好、程序员偏好和当前系统状态对系统进行运行时间优化的操作系统框架是主要技术突破口。为构建运行时间优化算

法，必须建立适用于系统性能的衡量标准，以此衡量信息处理密度。

2. 研究建议

- **对内存访问与使用架构进行全面调整：**为解决这个技术难题，需要构建新型的操作框架，要能够在系统设置偏好、程序员偏好和当前系统运行时间优化状态的基础上对系统提供运行时间优化。
- **实现真正的智能记忆和存储系统：**这需要专门的协调计划，并且该项工作需要操作系统、编程、架构、电路、器件和材料等方面专家的通力合作。

（三）电能管理

1. 导言与概述

未来 10 年，人们需要将电能转换效率从低功率标准（如使用电池的个人设备）提升至高功率标准（如太阳能转换效率、高电能传输和可再生能源入网）。此外，新器件还应能够覆盖从几伏到数千伏的电压范围，以及几瓦到数千瓦的功率范围。尽管功率水平各不相同，但几乎所有应用都需要提高能量密度、降低成本。

未来 10 年需要解决的关键挑战包括：

- 在能量密度、转换效率、故障率、转换成本和重量等能量转换指标实现重大改进的同时，还要减少对环境的影响

（如：减少每千瓦能源使用量的铝、铜和铁用量）。

- 改进整体系统的动态性能，提高系统的容错率和稳定性，使转换速度提高 10-50 倍，并且减少系统尺寸、降低成本。
- 利用高性能先进封装技术，在拥有卓越的热循环可靠性的前提下，实现更低的电感和热电阻。
- 分析并设计更加复杂、连接性更好的电能系统。

2. 研究建议

- **改善电能转换与管理系统：**该项工作的实施可以大力推动半导体材料、转换技术、无源元件集成和封装等方面的创新。
- **开发远超过硅半导体性能的宽禁带半导体与器件的电能技术。**
- **开发散热性强、稳定性高的先进多芯片模式（MCM）与封装技术：**通过模式的创新与技术的改进，系统可以集成不同功率的设备、器件和材料。

（四）传感和通信系统

1. 引言与概述

无处不在的传感与沟通能力是信息时代的重要推手。信息爆炸与物联网的到来令现有传感和通信技术显得捉襟见肘。目前，电磁频谱资源日益稀缺，市场急需全新的传感与通信方案来满足不断增长的信息需求。微波、毫米波或太赫频率级别（THz）的传感器与通信技术正在相互融合。无线通信、雷达、计算机视觉、

侦察和成像系统必须不断进步，才能在消费品、军事、工业、科学和医疗等领域获得更加广泛的应用。

在系统方面，需要重点开发能够为指定应用提供完整解决方案的端对端系统。此外，无线通信领域的需求能够对未来相关领域的标准化产生影响，从而推动该技术在全球范围内的推广应用。

2. 研究建议

研究资金应重点投向以下方面：

- 能够实现端对端服务与支持的突破性技术。
- 拥有更大灵活性、更紧凑设计、更强隐私保护能力，并能够实现传感器节点计算的先进传感器。
- 性能强大的混合信号与模拟电路：以上电路需要拥有噪音低、灵敏度高、功率损耗低等实际运行特性。
- 在所有技术堆栈所对应领域的创新。

(五) 认知计算

1. 导言与概述

认知计算通过能够模仿人类大脑的智能信息处理系统实现。此类系统能够执行规模化智能学习、主动解析数据、进行特定的推理决策、运用所学知识解决不熟悉的问题、与人实时自然语言互动等各种任务。此类系统的目标是要创造能够在真实世界中运

行的自动智能机器，能够通过感知构建并延伸社会环境模型，与操作人员进行互动，还能借助全球智能网络完成复杂任务。

为实现认知系统的宏远目标，需要克服以下几个关键难题：

- 研发具备感知、学习、推理、预测、规划、决策等基本认知能力的系统；
 - 研发既可用于监督学习又可用于无监督学习的高效算法与架构；
 - 研发流畅的人机交互界面；
 - 研发认知子系统网络；
 - 实现全新认知系统与现有冯·诺依曼计算系统的互相整合。
- ## 2.研究建议

为实现远超当前技术的认知计算能力，就必须重视以下关键任务：

- 将已有学习算法导入适合且高效的新型硬件中。
- 发明适用于现有硬件的学习和深度学习算法，并验证新算法性能是否远超现有算法。
- 开发在面对错综纷杂的数据和环境的背景下，仍能保证较为可靠的长期预测能力的算法。

（六）生物计算和存储

1. 导言与概述

生物技术与半导体科学和工程设计相结合，可形成能够推动信息处理系统在设计与制造方面实现革命性进步的全新跨学科领域。DNA 合成与表征、生物设计自动化、纳米级制造工艺以及对生物过程的认识等方面的重大突破，有望推动信息处理技术的进步。这个新兴领域也叫半导体合成生物学。它的出现将有助于实现下一代信息处理与存储工艺。

未来，通过运用化学、生物与工程设计结合的有机系统原理，人们有望实现超低能耗的计算系统。此外，人们还设想了基于生物学原理的更多全新信息技术，并运用生物材料制造存储能力超出当前存储技术一千倍的器件和元件。这些进步将让人们能够制造体积更小、性能更高、能耗更低的计算机，预计其运行能耗仅为目前计算机的百万分之一。

2. 研究建议

- **探求目前为止 DNA 运行机理：**细胞内部的 DNA 运行原理与 DNA 技术具有应用于海量存储领域的技术前景。
- **增加对细胞信息处理原理的了解：**该项研究有助于实现新一代计算系统。对于新一代计算系统，可能由半导体、生物材料、或二者兼具的方式构成。
- **重点研究细胞与外部世界之间的电连接：**原则上，可以运用合成技术策略对细胞进行“编程”，从而实现电连接。

- **通过 DNA 编程控制 10 纳米以下复杂异构组装工艺：**这项技术属于其他类型技术难题。

(七) 先进架构和算法

1. 引言与概述

越来越多混合结构和加速器的使用将推动系统性能、能耗的优化与成本的降低。新架构的主要目标与要求，就是要解决在片上和片外设计与集成更多类型加速器的难题，同时实现算法与系统软件方面的创新。

目前，电路与系统架构的研发与算法研发互相独立，导致性能和能耗无法达到最优。因此，需要通过研究，实现新型架构与算法的协同设计，从而改善优化组合数学、计算几何学、分布式系统、学习理论、在线算法和加密等应用的能耗性能指标。特定加速器和算法专用元件的异构集成，将发挥重大作用。人们还需要实现计算架构技术的创新，以实现从 CMOS 向 Beyond CMOS 器件的转变，而 Beyond CMOS 器件的运行速度虽然只是前者的十分之一，但能耗却能减少 100 倍。

2. 研究建议

- **采用新型可扩展异构模式与算法和系统软件之间的协同设计。**
- **针对非传统计算模式实施硬件（包括新兴技术与架构）、算法和软件之间的协同设计。**

（八）安全与隐私保护

1. 引言与概述

技术进步也会产生新的漏洞，为攻击者带来新的可乘之机。越来越复杂的新型技术为攻击者提供了新的工具、方法和目标。随着物联网的不断扩展，攻击者将可以运用更多攻击媒介，攻击更多目标，却无需承担更大风险。由于联网实体的复杂生态系统，物联网给人们带来“规模最大、防御最差的网络攻击环境”的固有印象。汽车、电站、植入式医疗器械和交通系统中的漏洞，已成为人们近期的关注焦点。被屡屡报道的网络安全事件表明，现有的系统构造已经不能应对日益复杂的网络生态系统，更加无力应对即将出现的安全与隐私难题。这个生态系统将出现越来越多的联网实体，为攻击者提供面积更广、漏洞更多的攻击目标。届时，数据丢失、隐私曝光、恶意利用和欺诈行为将横行肆虐，带来前所未有的经济与社会影响，个人安全也将无从谈起。

为应对该生态系统能够预见的复杂性，解决与之而来的安全与隐私难题，各国政府与行业主体都必须全力制定有效的安全与隐私保护机制，并有效落实与全程管理。同时制定以下全新策略：

- 构建涵盖整个生态系统的威胁模型；
- 构建以安全为导向的执行模型，以应对已知和未知威胁；
- 开发以安全为导向的硬件和软件工具，奠定系统安全基

础；

- 建立安全与隐私保护机制。

2. 研究建议

相比于在系统应用中发现与解决漏洞，设计更加安全的集成电路与系统会更加有效。人们需要研发能够避免并应对漏洞的策略、技术和工具，实现更有弹性、更能抵御攻击的半导体和系统。需要优先研究的重点领域包括：

- **架构与设计：**在系统层面研究架构与设计的方法。必须从整体系统功能、性能和功耗等方面来了解安全保护对电路与处理器的影响。
- **原理、属性和指标：**从硬件安全与设计原理、半导体的特定属性的角度，评估或对比各种设计的安全指标。相关设计应能够扩展并在可用于保护隐私等方面提供可靠保障。
- **验证：**通过验证硬件安全属性与设计安全原则的工具、技术和方法等，增加安全验证与分析自动化。
- **嵌入式软件与固件：**通过研发新型策略与技术，降低嵌入式软件与固件被入侵可能。另外，需要通过软硬件更新解决已知漏洞的策略和技术。

五、结论：行业愿景与研究指南

2015年9月发表的《重启IT革命报告》指出：“当今的计算系统已经带来巨大的经济与社会效益，为各行各业带来自动制表等实用功能，运用计算处理与程序提高了企业与个人的效率。未来的计算系统将全面颠覆人与计算系统之间的交互方式，帮助人们拓展知识，在瞬息万变的海量数据中做出复杂决策。未来系统将提供更多机遇，改善人类的社会与日常生活。同时，更多的研究将被用于应对信息日益丰富的世界。”

以半导体技术为基础的信息系统是当今社会电子基础设施的核心，人们必须“根据基础研究制定创新议程，并配备相应资金，实现经济与社会的进步、安全及可持续性。”

译自：*Semiconductor Research Opportunities An Industry Vision and Guide, March 2017 by SIA and SRC*

咨询翘楚在这里汇聚

信息化研究中心

电子信息产业研究所

软件产业研究所

网络空间研究所

无线电管理研究所

互联网研究所

集成电路研究所

工业化研究中心

工业经济研究所

工业科技研究所

装备工业研究所

消费品工业研究所

原材料工业研究所

工业节能与环保研究所

规划研究所

产业政策研究所

军民结合研究所

中小企业研究所

政策法规研究所

世界工业研究所

安全产业研究所

编辑部：赛迪工业和信息化研究院

通讯地址：北京市海淀区万寿路27号院8号楼12层

邮政编码：100846

联系人：刘颖 董凯

联系电话：010-68200552 13701304215

010-68207922 13910685050

传真：0086-10-68209616

网址：www.ccidwise.com

电子邮件：liuying@ccidthinktank.com

报：部领导

**送：部机关各司局，各地方工业和信息化主管部门，
相关部门及研究单位，相关行业协会**

编辑部：工业和信息化部赛迪研究院

通讯地址：北京市海淀区紫竹院路 66 号赛迪大厦 15 层国际合作处

邮政编码：100048

联系人：韩宇雪

联系电话：（010）88559543 18610215602

传 真：（010）88558833

网 址：www.ccidgroup.com

电子邮件：hanyx@ccidgroup.com

