

文章编号: 1672-8785(2019)04-0025-04

美国“电子复兴”计划为后摩尔时代 电子工业发展奠定基础

王龙奇 彭玉婷 焦 丛

(中国电子科技集团公司电子科学研究院, 北京 100041)

摘 要: 美国国防高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)于2018年7月召开了首届“电子复兴”计划年度峰会, 明确了该计划的领域布局、推进思路和项目安排。这也标志着“电子复兴”计划进入全面实施阶段。这项计划是美国探索集成电路技术发展新路径、奠定后摩尔时代电子工业绝对优势的重要举措, 有望开启下一次电子革命。对“电子复兴”计划的背景、项目细节、最新进展和影响意义等进行了综合分析。

关键词: “电子复兴”计划; 美国国防高级研究计划局; 后摩尔时代

中图分类号: TN4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2019.04.004

The US's Electronics Resurgence Initiative Lays Foundation for the Development of Electronics Industry in the Post-Moore Era

WANG Long-qi, PENG Yu-ting, JIAO Cong

(China Academy of Electronics and Information Technology, Beijing 100041, China)

Abstract: The Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) held the first Electronics Resurgence Initiative (ERI) summit in July 2018, which clarified the planned layout, promotion ideas, and project arrangements, marking the plan's entry into the full implementation phase. ERI is an important initiative for the United States to explore new paths for the development of integrated circuit technology and lay the absolute advantage of electronics industry in the post-Moore era. It is expected to open the next electronic revolution. Comprehensive analysis of the background, project details, latest developments, and implications of ERI are completed.

Key words: ERI; DARPA; post-Moore era

0 引言

2018年7月23日至25日, DARPA召开了首届“电子复兴”计划年度峰会, 明确了该计划的领域布局、推进思路和项目安排。这也标

志着“电子复兴”计划进入全面实施阶段^[1]。它是美国探索集成电路技术发展新路径、奠定后摩尔时代电子工业绝对优势的重要举措, 有望开启下一次电子革命。

收稿日期: 2019-04-01

作者简介: 王龙奇(1985-), 男, 河南洛阳人, 硕士, 主要从事元器件情报研究。

E-mail: lqwang_2006@163.com

2018 年 11 月 1 日, DARPA 宣布“电子复兴”计划进入第二阶段。在新阶段, 投资规模将持续扩大, 以增强国防部的专用电子器件制造能力, 强化硬件安全, 并保证资金投入向国防部应用方向转化。第二阶段将在第一阶段的基础上推动美国本土半导体制造业向专用集成电路方向转变, 并保证专用集成电路的生产具有可信的供应链和足够的安全性, 进而满足国防和商业应用的实际需求。

1 计划背景

随着晶体管数量的增加, 半导体集成电路技术逼近物理、工艺和成本极限。按照传统思路(比如通过进一步减小晶体管尺寸来提高芯片集成度)提升集成电路性能, 技术难度大、成本高, 因此急需寻求新的技术路径和方法。近年来, 美国新型电子器件创新速度放缓, 加之先进技术的全球扩散, 使得他们认为其在半导体集成电路领域的技术领先优势正在减小。为此, DARPA 于 2017 年 6 月提出了“电子复兴”计划。

“电子复兴”计划由 DARPA 微系统办公室牵头, 相关工业企业和大学共同参与, 旨在围绕材料与集成、系统架构和电路设计三大支柱领域开展一系列创新性研究。在材料与集成领域, 探索在无需缩小晶体管尺寸的情况下, 利用新材料的集成突破现有集成电路性能难以提升的瓶颈; 在系统架构领域, 寻求利用通用编程结构, 通过软/硬件协同设计构建专用集成电路; 在电路设计领域, 探索新的集成电路设计工具和设计模式, 并以较低成本快速构建专用集成电路。

2 项目细节

“电子复兴”计划目前包括三类项目: 一是 DARPA 的相关在研项目; 二是由大学主导研究的“大学联合微电子”项目(Joint University Microelectronics Program, JUMP); 三是由工业界主导研究的“第三页”(Page 3)项目^[2]以及后续的第二阶段项目。其中, “Page 3”的命名

是向“摩尔定律”的提出者——戈登·摩尔致敬。他在 1965 年 4 月发表的《在集成电路中填充更多元件》一文中开创性地提出了摩尔定律。同时, 他在该论文的第 3 页上还提出了“摩尔定律”不再适用时的一些技术探索方向。而 DARPA 这次提出“Page 3”投资计划正是受此启发, 着力支持材料与集成、系统架构以及电路设计三个领域的研发工作。

DARPA 的相关在研项目是“电子复兴”计划的先导项目, 由 DARPA 微系统办公室从 2015 年底到 2017 年陆续启动。该项目重点研究集成电路快速设计、模块化芯片构建、新架构处理器搭建等关键技术, 现已安排“近零功耗射频与传感器”、“更快速实现电路设计”、“微电子通用异构集成与知识产权复用策略”、“终身机器学习”、“层次识别验证开发”和“硬件固件整合系统安全”等六个项目^[3]。

JUMP 项目聚焦基础研究, 旨在提供 2025~2030 年间所需的基于微电子的颠覆性技术。该项目于 2018 年 1 月启动, 其研究周期为五年, 由 DARPA 与非营利性的半导体研究公司(SRC)合作, 招募 IBM、英特尔、洛克希德·马丁、诺斯罗普·格鲁曼、雷声等公司组成联盟, 共同出资超过 1.5 亿美元(其中 DARPA 出资 40%)。SRC 公司负责 JUMP 项目的组织实施, 围绕六个重点技术领域面向全美大学及研究机构征集项目提案, 并将入选团队组成六个研究中心。其中每个中心有 16~22 个研究人员, 年度经费为 400~550 万美元。它们分纵向和横向两类, 纵向聚焦应用研究, 横向聚焦学科研究, 如图 1 所示^[4]。

Page 3 项目是 DARPA 为“电子复兴”计划新增的项目群, 于 2018 年 7 月正式启动, 项目周期为 4~4.5 年, 由佐治亚理工学院、应用材料公司、铿腾公司、英特尔公司、英伟达公司、高通公司、IBM 公司等作为主承研单位^[5-6]。Page 3 共有六个项目, 总投资约为 2.8 亿美元(具体细节见表 1)。

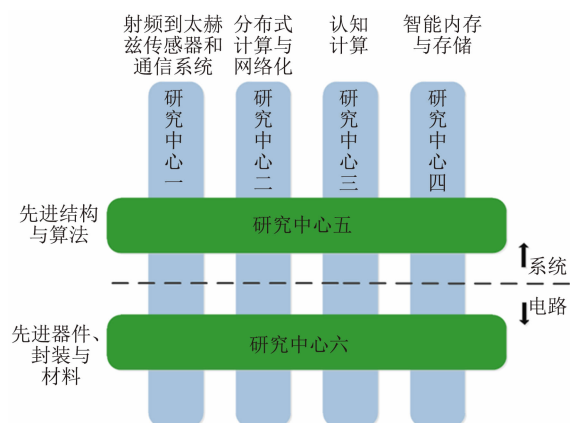


图 1 JUMP 项目的研究结构

3 最新进展

随着各项工作的顺利开展,“电子复兴”计划首批公布的部分项目已经取得了一定的阶段性成果。

2018 年 11 月,美国 ADI 公司和普林斯顿大学合作实现了集存储与计算功能于一体的可编程芯片,即在加速人工智能发展的同时,降低了单芯片的功耗。这款芯片可在内存中进行计算,突破了冯·诺依曼架构中的计算瓶颈(该瓶颈迫使计算机处理器需要花费时间和能量从内存中读取数据),提高了计算速度和效率。目前该芯片已被集成到可编程处理器架构中,可兼容标准编程语言(如 C 语言),尤其适用于依

赖高性能计算但电池寿命有限的手机、手表或其他设备。这是新式计算基础需求(Foundations Required for Novel Compute, FRANC)项目的阶段性成果。测试结果表明,该芯片的性能比同类芯片高几十到几百倍。

2018 年 11 月,美国空军研究实验室代表 DARPA 授予雷声公司的空间与机载系统部门一份价值 460 万美元的用于研发异构计算架构的“实时可配置加速器(Run-Time Configurable Accelerator, RCA)、时域专用片上系统(Domain-Specific System on Chip, DSSoC)”项目合同。雷声公司将在提供专用处理器性能的同时,保持通用处理器的可编程性。作为“电子复兴”计划的首批公布项目,DSSoC 项目旨在通过单个可编程框架实现多应用系统的快速开发,能够使设计人员对通用、专用、硬件加速辅助处理、存储和输入/输出等要素进行混合和匹配,从而实现特定技术领域应用片上系统的简单、快速编程。

2018 年 11 月 1 日,DARPA 宣布“电子复兴”计划进入第二阶段^[7]。第二阶段的主要目标是解决 2018 年 7 月在旧金山举办的“电子复兴”计划首届年度峰会上所提出的关键问题。这些问题是支持美国本土电子制造业发展、使

表 1 Page 3 项目简介

领域	项目名称	主要承研单位	经费与周期	拟解决问题
材料与集成	三维单芯片系统	佐治亚理工学院	4.5 年 6435 万美元	利用非传统电子材料集成来增强传统硅集成电路,实现与传统等比例缩放思路相关的性能提升
	新式计算基础需求	应用材料公司		
电路设计	电子设备智能设计	铿腾公司	4 年 近 1 亿美元	推动构建美国未来半导体创新所需环境,减小专用集成电路设计所需时间和复杂度
	高端开源硬件	桑迪亚国家实验室 新思科技		
系统架构	软件定义硬件	英特尔 英伟达 高通	4 年 1.15 亿美元	利用现有编程结构构建专用芯片,解决专用电路无法通用化的问题
	特定领域片上系统	IBM		

其具备差异化发展能力的关键,也是排除芯片安全隐患以及实现“电子复兴”计划技术研发与国防实际应用紧密对接的核心要素。

为了构建独特的和差异化的本土电子业制造能力,“电子复兴”计划在第二阶段将探索可对传统 CMOS 集成电路工艺中的等比例缩放技术路径进行补充和替代的技术方向。“电子复兴”计划为此设立的第一个研究项目就是“用于实现最大程度尺寸缩放的光电子学封装技术(Photonics in the Package for Extreme Scalability, PIPES)”项目(见图 2)。该项目将探索利用光电子学技术进一步缩减芯片尺寸的有效方法。通过融合三个技术领域,PIPES 项目将开发出可集成光子收发器,并将其嵌入到多芯片模块中。结合先进的光电子学封装及光交换技术,该研究将满足高度并行处理系统的高效数据传输需求。预计 PIPES 项目开发的高效、高带宽、封装级光子通信技术将会对商业和国防领域的许多新兴应用技术的发展产生重大影响。

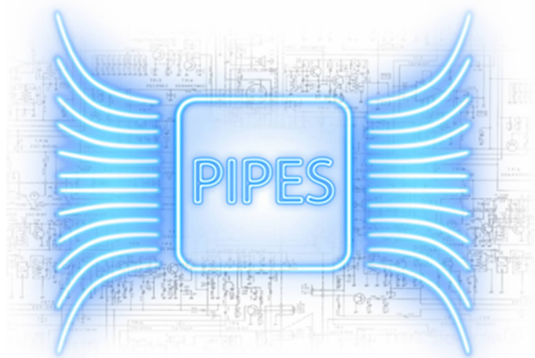


图 2 PIPES 项目的示意图

除 PIPES 项目外,“电子复兴”计划第二阶段的其他投资项目都是为了确保美国本土新型制造能力的发展,并为国防部及其商业合作伙伴的差异化、高效能电子产品持续供给能力提供战略支撑。“电子复兴”计划的第二阶段将重点关注集成制造工艺,具体项目包括混合模式超级集成电路技术(Technologies for Mixed-mode Ultra Scaled Integrated Circuits, T-MU-SIC)、数字射频战场空间仿真器(Digital RF Battlespace Emulator, DRBE)和实时机器学习

(Real Time Machine Learning, RTML)等。这些项目都建立在“电子复兴”计划的基础研究之上,并作为当前 FRANC、3DSoc 和 CHIPS 等项目的补充。

4 影响和意义

通过综合分析项目投资规模、承研机构水平和技术超前程度等因素可以看出,美国对后摩尔时代体系发展的重视程度已经大大超过了之前的竞争领域。更为重要的是,“电子复兴”计划采用基础创新与产业发展相结合的思路,其研究成果将助力美国电子信息系统与装备保持绝对优势,并为美国未来经济增长及商业竞争力提升提供先进的电子信息技术和处理能力,从而对世界电子信息领域发展产生深远影响。

参考文献

- [1] Paul Jerram, David Burt, Neil Guyatt, et al. Back-thinned CMOS Sensor Optimization [C]. *SPIE*, 2010, **7598**: 759813.
- [2] Haystead J. DARPA Presents Electronics Resurgence Initiative (ERI) Summit [J]. *Journal of Electronic Defense*, 2018, **41**(7): 24-26.
- [3] Synopsys Inc. Synopsys Awarded DARPA Electronics Resurgence Initiative Contract for Advanced Emulation Technology [EB/OL]. <https://news.synopsys.com/2018-10-17-Synopsys-Awarded-DARPA-Electronics-Resurgence-Initiative-Contract-for-Advanced-Emulation-Technology>, 2018.
- [4] 中国科学院成都文献情报中心信息科技战略情报团队. DARPA 公布电子复兴计划两大项目 [J]. *中国教育网络*, 2018, **15**(11): 29.
- [5] 韩芳. 解读美国电子复兴计划(上)——联合大学微电子项目(JUMP) [EB/OL]. https://www.sohu.com/a/245559495_686936, 2018.
- [6] Haystead J. DARPA Challenging "Moore's Law" with Electronics Resurgence Initiative (ERI)—Selects Teams [J]. *Journal of Electronic Defense*, 2018, **41**(9): 16-18.
- [7] DARPA Announces Next Phase of Electronics Resurgence Initiative [EB/OL]. <https://www.darpa.mil/news-events/2018-11-01a>, 2018.
- [8] ERI Summit 2018 [EB/OL]. <http://www.eri-summit.com>, 2018.