

国家自然科学基金半导体科学与信息器件领域 “十三五”至“十四五”期间资助状况与趋势

唐 华¹, 施 阁², 何 杰¹, 刘 克¹

(1. 国家自然科学基金委员会, 北京 100085; 2. 中国计量大学, 浙江杭州 310018)

摘 要: 半导体科学与信息器件是目前最核心的科技领域之一, 在国际竞争环境中的重要性愈发凸显. 国家自然科学基金委员会支持我国半导体科学与信息器件领域基础和应用基础研究, 逐渐形成了由自由探索类研究项目、指南引导类研究项目、人才类项目、国家重大科研仪器研制项目构成的资助格局. 本文分析“十三五”至“十四五”期间(2016—2021年)半导体科学与信息器件领域 F04 代码下各类型项目的申请量、资助率和资助强度. 通过历年资助项目题目的热点词云分析, 了解半导体行业研究主题和热点变化. 依据“十三五”至“十四五”期间半导体科学与信息器件领域的优秀科研成果, 分析基金的资助成效. 本文旨在为探究信息科学部近年来对半导体科学与信息器件领域的资助特点, 也为国内科研院所、企事业单位的研究人员了解该领域的研究热点、未来发展方向及路径提供借鉴.

关键词: 国家自然科学基金; 半导体科学与信息器件; 申请与资助; 研究主题和热点; 管理与政策

中图分类号: G20

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112(2022)08-1992-11

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.12263/DZXB.20220867

Overview of the Funding Status and Trends of NSFC Projects in Semiconductor Science and Information Devices During the 13th to 14th Five-Year Plan

TANG Hua¹, SHI Ge², HE Jie¹, LIU Ke¹

(1. National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China;

2. China Jiliang University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

Abstract: Semiconductor science and information devices is one of the most important fields of science and technology, which is becoming increasingly important in the international competition environment. The national natural science foundation of China (NSFC) supports basic and applied basic research in semiconductor science and information devices, gradually forming the funding content consisting of free exploration research projects, guidance-guided research projects, talents projects, and national major scientific instrument development projects. We analyze the application and funding status of various types of projects under the F04 code of semiconductor science and information devices during the 13th to 14th Five-Year Plan period (2016-2021). Through the hot word cloud analysis of funded project topics over these years, the research directions and hot topics of the semiconductor field are shown. Based on the outstanding research achievements in semiconductor science and information devices from the 13th to 14th Five-Year Plan, the effects of the funding are demonstrated. This article is expected to show the characteristics of the funding of the Division of Information Science to semiconductor science and information devices in recent years, and to provide reference for researchers in domestic research institutes, enterprises and institutions to understand the research hot spots, future development direction and path in this field.

Key words: national natural science foundation of China; semiconductor science and information devices; application and funding; research topics and hot topics; management and policy

1 引言

近年来,大国竞争愈加升级,导致国际半导体行业风云变幻. 半导体作为科技产业的核心,其产业链条长,复杂性极高,高度依赖全球供应链,其战略性和重要性不言而喻. 半导体的全球化供应链特征使得它在国际竞争中的重要性尤为突出. 他国的技术遏制和封锁对于我国的半导体科学与信息器件领域走向自主可控、实现进口替代是机遇更是挑战. 我国作为全球第一大半导体消费国,本身拥有庞大的半导体消费市场和完善的终端应用产业生态链. 在内部迫切的终端需求和外部复杂的国际形势下,国家高度重视并出台了各种相关的政策鼓励和支持半导体科学与信息器件领域的发展. 国务院2016年11月发布《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》,提出做强信息技术核心产业,组织实施集成电路发展工程,启动集成电路重大生产力布局规划工程. 2016年12月发布《“十三五”国家信息化规划》,提出到2020年,集成电路、基础软件、核心元器件等关键薄弱环节实现系统性突破,形成若干战略性新兴产业和产品,大力推进集成电路创新突破,完善产业投资基金机制,鼓励社会资本发起设立产业投资基金. 科技部2017年4月发布《国家高新技术产业开发区“十三五”发展规划》,提出优化产业结构,采取差异化策略和非对称路径,聚焦尖端领域,推进集成电路及专用装备等关键核心技术突破和应用. 2018年3月财政部、税务总局、国家发改委、工信部联合发布《关于集成电路生产企业有关企业所得税问题的通知》,对集成电路生产企业所得税优惠政策做了进一步规定和调整. 2019年5月财政部、税务总局发布《关于集成电路设计和软件产业企业所得税政策的公告》,公布对依法成立且符合条件的集成电路设计企业和软件企业免征或减半征收企业所得税的优惠政策. 2020年7月国务院发布《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》,从财税、投融资、研发、进出口、人才、知识产权、市场应用以及国际合作等方面给予了集成电路产业更加优惠的政策.

国家自然科学基金委员会(以下简称自然科学基金委)根据国家发展科学技术的方针、政策和规划,以及科学技术发展方向,支持我国半导体科学与信息器件领域基础和应用基础研究,逐渐发展和形成了包括探索、人才、工具、融合四大系列组成的资助格局. 自然科学基金委信息科学部积极组织各类学术论坛与成果交流会,探索和引导我国半导体科学与信息器件领域发展路径.

2019年4月自然科学基金委信息科学部组织召开了第231期双清论坛“超越摩尔定律的微电子发展路径”,会议深入研讨了超越摩尔定律的核心研究内容和

重要前沿进展,展望了超越摩尔定律的低功耗、多样化、智能化的器件及其与材料、架构的协同设计研究对后摩尔时代微电子路径的突破性和颠覆性前景,初步凝练了超越摩尔定律发展路径上的基础科学问题和关键挑战,从交叉、融合、协同等角度提出了前沿性和战略性的重点发展方向. 2021年3月信息科学部组织召开了第278期双清论坛“宽禁带与超宽禁带半导体”,论坛围绕宽禁带与超宽禁带半导体领域的材料与核心元器件的研究现状、发展趋势及面临的挑战,就宽禁带半导体射频、功率电子材料与器件、宽禁带半导体深紫外、长波长光电材料与器件以及超宽禁带半导体材料与器件五个议题进行了充分交流,深入研讨了领域研究现状、热点、难点及发展趋势,凝练了领域未来发展的核心问题,对未来5~10年科学基金如何支持宽禁带与超宽禁带半导体的研究提出了具体建议. 2021年5月信息科学部联合交叉科学部、数理科学部、化学科学部和工程与材料科学部召开了第285期双清论坛“走向自旋的未来信息时代”,论坛围绕“自旋器件”、“新型自旋材料及其潜在应用”和“自旋相关技术”三个议题,剖析了当前自旋电子学发展的现状、热点、难点及未来在信息技术领域可能的应用前景,凝练了自旋电子学未来应用中的基础科学问题,为科学基金支持我国发展新型自旋电子器件提出了政策建议.

2018年5月自然科学基金委信息科学部举办了“后摩尔时代微电子新器件技术研究——集成电路芯片研制的相关基础问题”研讨会,分析了我国微电子技术和产业的发展现状,指出我国的微电子产业有希望也有困难,需要加强基础研究. 通过对集成电路前沿工艺和后摩尔时代器件技术未来发展趋势的分析,会议认为“新原理、新结构和新材料”是器件发展的主要驱动力,也是我国微电子技术实现跨越的关键,并从基础研究角度给出了支持微电子技术发展的建议. 2018年9月为推动我国微电子器件基础研究,促进集成电路技术的发展,培养微电子创新研究队伍,自然科学基金委启动集成电路3~5纳米节点器件基础问题研究应急管理项目,发布了“集成电路3~5纳米节点器件基础问题研究”应急管理项目指南. 2019年8月,自然科学基金委面向芯片自主发展的国家重大战略需求,以芯片的基础问题为核心,启动了“后摩尔时代新器件基础研究”重大研究计划项目并发布了指南,旨在发展后摩尔时代新器件和计算架构,突破芯片算力瓶颈,促进我国芯片研究水平的提升,推动我国在芯片领域的科技创新. 2021年9月,为推动我国集成电路EDA基础研究,促进集成电路技术发展,培养创新研究队伍,自然科学基金委员会信息科学部设立“模拟集成电路敏捷设计

方法与关键技术”专项项目。

另外,自然科学基金委从2016年开始试点资助“国家自然科学基金基础科学中心项目”(简称基础科学中心项目),旨在集中和整合国内优势科研资源,瞄准国际科学前沿,超前部署,充分发挥科学基金制的优势和特色,依靠高水平学术带头人,吸引和凝聚国内外优秀科技人才,着力推动学科深度交叉融合,相对长期稳定地支持科研人员潜心研究和探索,致力科学前沿突破,产出一批国际领先的原创成果,抢占国际科学发展的制高点,形成若干具有重要国际影响的学术高地。2019年1月,信息科学部第一个“低维信息器件”基础科学中心项目通过立项并启动,项目围绕在原子/分子尺度和精度上控制、操纵低维体系的结构,实现低维材料物理和电子性质的人工设计与调控等低维信息器件研究领域的核心科学问题开展工作,致力于推动我国基于低维体系的信息器件的发展。

除了上述的基础科学中心、重大研究计划、专项项目、应急管理项目等大型项目外,信息科学部更重要的工作是大范围地支持全国科研院所、企事业单位在半导体科学与信息器件领域的研究工作。项目类型包括常规自由探索类项目(面上项目、青年基金项目、地区项目等),指南引导类项目(重大项目、重点项目、联合基金项目等),高层次人才类项目(国家杰出青年基金、优秀青年项目),创新研究群体项目,以及国家重大科研仪器研制项目。半导体科学与信息器件(申请代码F04)领域项目的管理工作主要由信息科学部四处负责,资助范围包括:半导体材料,集成电路设计,半导体光电子器件与集成,半导体电子器件与集成,半导体器件物理,集成电路器件、制造与封装,微纳机电器件与控制系统,新型信息器件,半导体与其他领域交叉^[1]。每个学科方向都对应一个学科代码,优化学科申请代码设置是自然科学基金委的重要改革措施之一,2020年信息科学部作为试点学部,重新梳理了一级和二级代码,不再设置三级申请代码。所以,2016—2019年之前的二级代码和2020年后的二级代码有所不同,主要变化是:(1)将原二级申请代码F0405的名称“半导体物理”更名为“半导体器件物理”;(2)新增了二级代码“F0409半导体与其他领域交叉”^[2]。目前F04申请代码下共有9个学科方向,新的半导体科学与信息器件领域的二级代码体系构成如图1所示。

本文将对“十三五”至“十四五”F04代码下各类型项目的资助情况(包括申请量、资助率和资助强度),以及研究主题热点等进行分析,通过近年半导体科学与信息器件领域的优秀成果分析资助成效,旨在为探究信息科学部“十三五”至“十四五”以来对半导体科学与

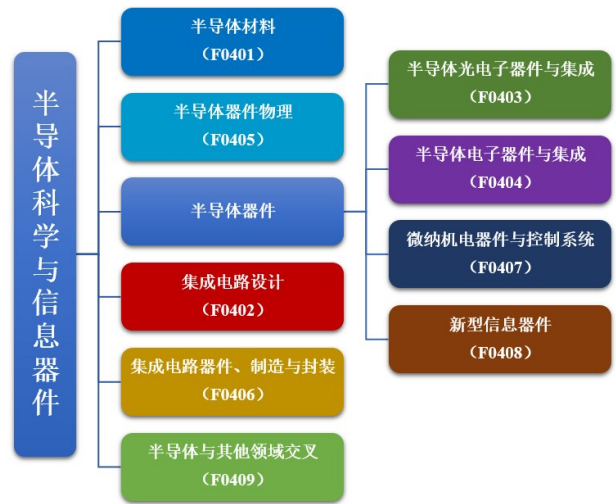


图1 半导体科学与信息器件领域的学科代码体系

信息器件领域的资助特点,也为国内科研院所、企事业单位的研究人员了解该领域的研究热点、发展方向及路径提供借鉴。

2 自由探索类项目情况分析

面上项目、青年科学基金项目和地区科学基金项目的定位是“自由申请、自定题目、自主研究”,属于自由探索类项目,也常被称为“面青地项目”,是国家自然科学基金项目的主体。下面将从申请与资助情况、各学科方向资助占比趋势和各学科方向研究主题热点等方面分析自由探索类项目的情况及特征。

2.1 申请与资助情况

2016—2021年面青地项目的申请数量对比如图2所示。面上项目的申请数量由2016年的741项稳步增加,到2019年后基本稳定在1020项左右。2016—2020年,青年项目申请数量略低于面上项目。2021年青年项目申请量增长至1111项,高于面上项目。地区项目申请数量从2016年的55项逐渐增加,到2019年增加到97项后基本稳定在80~95项之间。

图3列出了2016—2021年面青地项目的立项数量对比。面上项目每年立项数量保持稳定,在170~180项左右。而青年项目从2016年的180项逐年递增,到2021年立项数量达到了270项。地区项目的立项数量基本保持不变。

根据申请数量和立项数量,可以得到每年各种项目的资助率。由图4可见,面上项目资助率从2016年的23.5%一直下降到2020年的16.3%;青年项目的资助率最高,2017年资助率达到最高25.7%;地区项目的资助率最低,在2019年达到最低的14.4%。

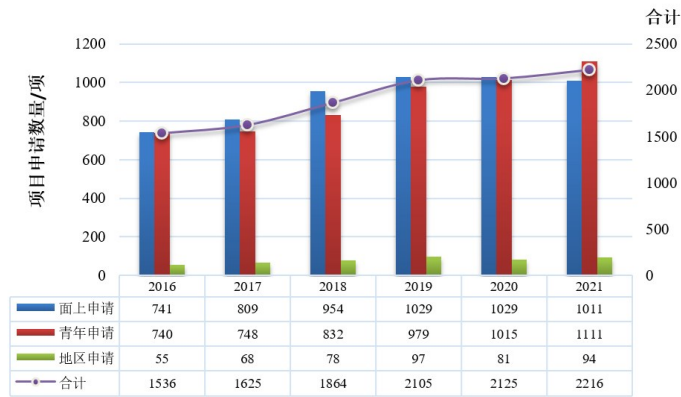


图2 2016—2021年“面青地”项目的申请数量对比

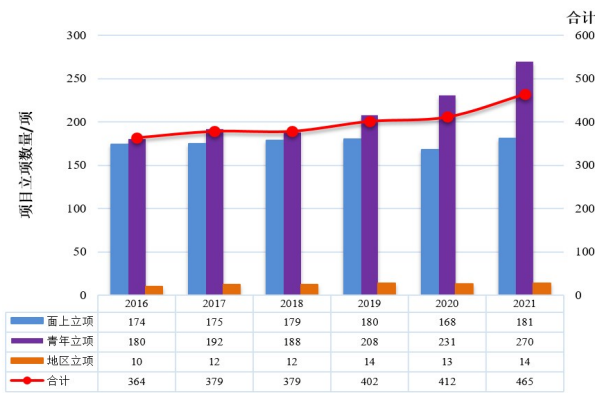


图3 2016—2021年“面青地”项目的立项数量对比

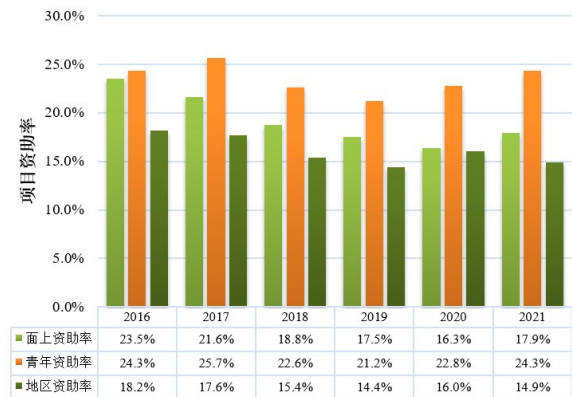


图4 2016—2021年“面青地”项目的资助率对比

2.2 二级代码资助占比趋势

各二级代码“面青地”项目资助情况如图5所示。半导体材料(F0401)方向立项数量逐年稳步增长。集成电路设计(F0402)方向在2019年后增长速度变快。而半导体光电子器件与集成(F0403)方向的立项数量最多。半导体电子器件与集成(F0404)方向在2018年有较大的增长,并在此之后保持稳定。半导体器件物理(F0405)方向在2017—2020年间立项数量有所下降,2021年有所回升。集成电路器件、制造与封装

(F0406)方向趋势与半导体器件物理(F0405)方向类似。微纳机电器件与控制系统(F0407)方向基本保持稳定。新型信息器件(F0408)方向逐年递增,有较大幅度的增长,说明近年来我国对于新型信息器件的研究持续增加。半导体与其他领域交叉(F0409)方向是新增加的学科方向,立项数量稳步增加,体现了半导体学科与其他领域的交叉研究也在不断引起科研人员的研究兴趣。

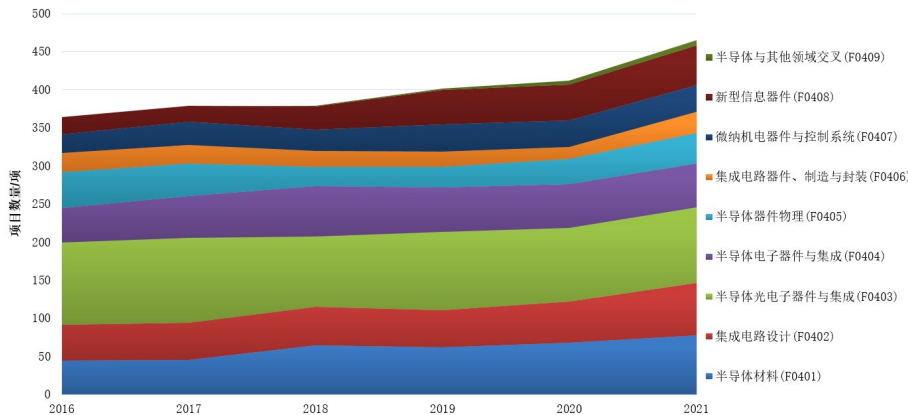


图5 各二级代码的立项数量统计

各二级代码方向在2016—2021年间立项合计数量占比如图6所示,半导体光电子器件与集成(F0403)的立项数量占了整个F04代码下的四分之一,是目前半导体科学与信息器件领域的研究热点.而半导体材料(F0401)、集成电路设计(F0402)和半导体电子器件与集成(F0404)为第二梯队,均占14%左右,是目前该领域的主要研究方向.F0401~F0404之和占有所有项目的67%.半导体器件物理(F0405),新型信息器件(F0408),集成电路器件、制造与封装(F0406)以及微纳机电器件与控制系统(F0407)为第三梯队项目,数量均低于10%.其中预计新型信息器件(F0408)方向有继续较快增长的趋势.

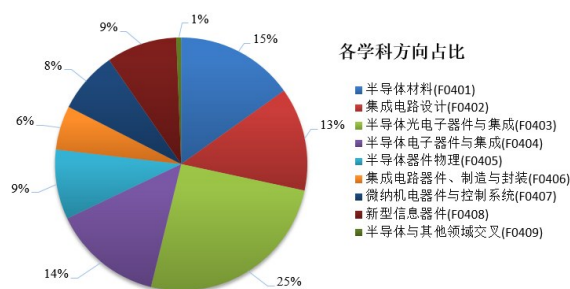


图6 各2016—2021年二级代码的立项数量占比

2.3 各二级代码研究主题热点

通过热词分析可以了解目前半导体科学与信息器件领域的研究主题的热点.本节对2016—2021年立项的“面青地”项目各二级代码下立项项目的热词进行了分析.表1列出了F0401~F0408各二级代码立项项目主题的热词词云.

半导体材料(F0401)方向涉及薄膜半导体材料的研究最多,相比于新兴的低维材料,薄膜材料仍然是半导体应用的主体.近年来钙钛矿材料的研究增多,得益于相对简单的制作工艺、高发光效率和高光电转换效率,钙钛矿材料在发光和光伏领域引起了广泛的研究兴趣.由于异质结是功能器件(包括晶体管、发光二极管、太阳能电池等)的基础,因此半导体异质结的研究也较多.另外掺杂、外延、生长、缺陷和界面等影响半导体材料制备和物性的因素也是相对热门的研究主题.

芯片和集成电路的低功耗与能耗是集成电路设计(F0402)的最主要研究主题热词,这是目前芯片行业中最关注的问题之一.突破冯·诺依曼架构的瓶颈,实现新型计算架构,是另一个研究热点,因此芯片和集成电路的构架和可重构方面的研究也较多.另外,神经网络与高性能计算芯片的研究在近几年的人工智能飞速发展过程中也不断引起科研人员的广泛关注.随着5G的广泛商用和6G通信领域的不断发展,在物联网、无线传感网络等产业的带动下,射频、毫米波、模数转换、数

模转换、传感器等芯片的创新研究也持续开展.

从功能方面划分,激光器、探测器、太阳能电池、量子点发光二极管(QLED)等器件是半导体光电子器件与集成(F0403)研究主题的热词,对于高性能光-电、电-光转换器件的需求,依然是目前光伏、显示等领域的研究热点.从光电材料角度分析,基于钙钛矿材料的光电器件被研究最多,其次是薄膜、柔性、有机材料等.与F0401类似,影响光电器件性能的掺杂、外延、生长、缺陷和界面等因素也是相对热门的研究主题.

晶体管作为半导体最核心的基础器件在半导体电子器件与集成(F0404)研究主题中热度最高.其他热度较高的电子器件主要有传感器、存储器、功率器件、有机柔性器件、薄膜器件等.半导体电子器件的基础研究大多集中在基于各种材料和结构的晶体管的设计、表征和性能优化,具体性能参数包括阈值、功耗、耐压、迁移率等.

半导体器件的性能调控是半导体器件物理(F0405)研究最热门的主题.表面和界面调控是影响器件性能的主要因素.半导体材料是器件制备的基础,目前热门的半导体材料是钙钛矿材料、薄膜材料、有机材料、纳米材料等,以及各种异质结构和复合材料.半导体材料的性能决定器件的性能,通过掺杂和缺陷工程等方式调控材料物性,可以实现器件的输运、极化、动力学、应变等性质的优化.此外,量子效应是近年来不容忽视的研究热点.

集成电路器件、制造与封装(F0406)研究主要围绕芯片的封装材料和制备、制造工艺开展,封装工艺包括三维集成、新型互连、倒装工艺、硅通孔、焊点、烧结等研究热点,也包括集成电路的抗辐射、加固等安全可靠性问题.用于集成电路制造加工的光刻、气相沉积等设备的设计和改进,芯片加工过程中的缺陷、失效分析以及集成电路的功能与性能的检测等也都是目前研究的热点.

微纳机电器件与控制系统(F0407)研究主要围绕微纳机电器件(MEMS)的传感器与执行器两大类开展.MEMS传感器包括加速度传感器、微全分析系统、细胞、生物、生化传感器.控制系统方面主要涉及微纳机电执行器和微能源采集器的研究.其中微纳机电执行器包括微流控、压电振荡器、谐振器等;微能源采集器包括纳米摩擦发电机、压电振动能量采集器、燃料电池等.另外也包括MEMS器件的加工工艺、材料等研究.

忆阻器是新型信息器件(F0408)研究热度最高的主题热词,忆阻器件的出现促进了非易失性随机存储器的发展.基于忆阻的随机存储器在集成度、功耗、读写速度等方面具有优越性,被业界认为是实现人工神经网络突触的最好方式.新型材料包括二维硫族化合

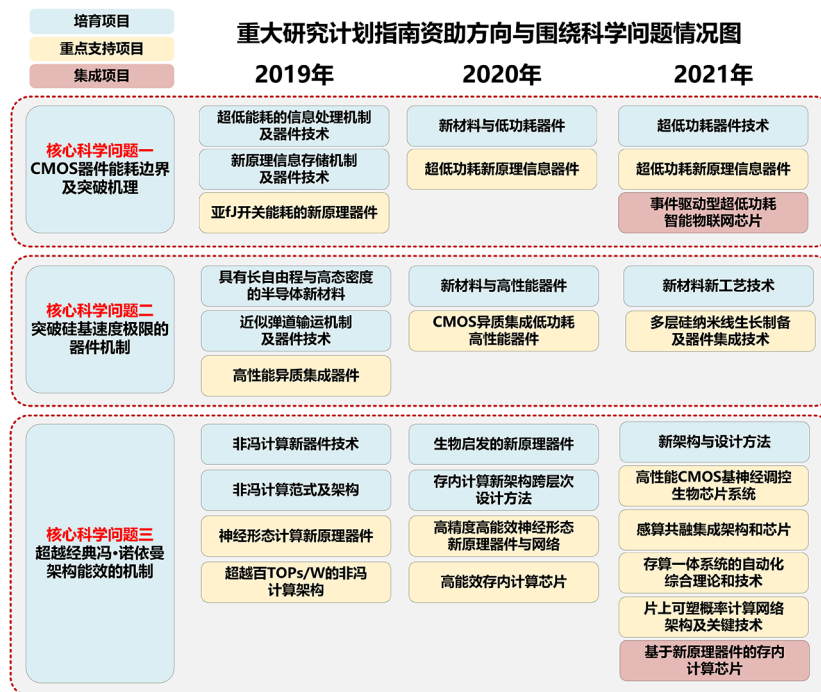


图7 2019—2021年重大研究计划指南资助方向及所围绕的科学问题情况

重大研究计划项目主要包括培育项目、重点支持项目、集成项目3个亚类。2019—2021年重大研究计划申请和立项及资助率情况如表2所示。

另外,2021年集成项目立项2项,每项金额为1 500万元,分别是“事件驱动型超低功耗智能物联网芯片”和“基于新原理器件的内存计算芯片”。围绕的科学问题是科学问题一和科学问题三。

表2 重大研究计划申请和立项及资助率情况

项目亚类	年份	申请项目	立项项目	资助率/%	总资助金额/万元
培育项目	2019	58	9	15.5	720
	2020	41	9	22.0	719
	2021	48	9	18.8	718
重点支持项目	2019	14	4	28.6	1 200
	2020	11	4	36.4	1 200
	2021	14	6	42.8	1 800

根据项目所围绕的科学问题统计,培育项目和重点支持项目围绕的科学问题情况如图8所示。培育项目围绕三个科学问题的分布较为均匀,而重点支持项目对于科学问题三的支持力度较大。超越经典冯·诺依曼架构能效机制的研究是目前该领域研究的重点。

3.2 “集成电路3~5纳米节点器件基础问题研究”应急管理项目

“集成电路3~5纳米节点器件基础问题研究”应急管理项目于2018年9月启动,项目面向3~5纳米节点器件基础问题(包括新材料、新结构和新原理)研究开展

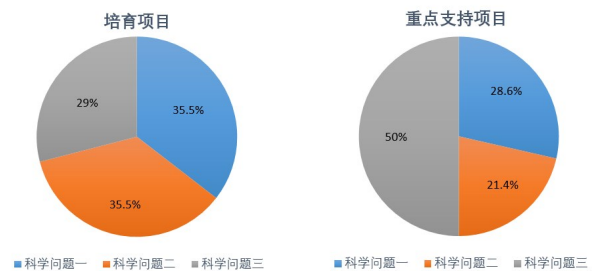


图8 重大研究计划培育项目和重点支持项目所围绕的科学问题统计

资助,设立若干主题,鼓励原始创新,支持科学家开展相关研究。应急管理项目拟重点支持以下研究方向:一、突破CMOS器件亚阈值摆幅玻尔兹曼限制的新机制和器件技术;二、突破现行计算机架构“存储墙”限制的新机制和器件技术;三、突破异质集成中多种物理失配限制的新材料和器件技术。申请和资助情况如表3所示。

方向三的受关注度较高,申请量最大,说明异质集成中的新材料和器件技术是集成电路突破瓶颈的重

表3 集成电路3~5纳米节点器件基础问题研究申请与资助情况

研究方向	申请项目数	立项项目数	资助率/%	总资助金额/万元
方向一	12	2	16.7	600
方向二	13	3	23.0	786
方向三	17	2	11.7	600
合计	42	7	16.7	1 986

点. 而从立项数量上看, 方向二获资助数量最多, 该方向在突破现行计算机架构“存储墙”限制的新机制和器件技术方面有较好的研究基础.

3.3 “模拟集成电路敏捷设计方法与关键技术”专项项目

2021年9月, 自然科学基金委为推动我国集成电路EDA基础研究, 促进集成电路技术发展, 培养创新研究队伍, 设立“模拟集成电路敏捷设计方法与关键技术”专项项目. 该专项旨在提升模拟集成电路设计的自动化和智能化程度, 建立模拟集成电路从性能指标到电路网表的自动设计、电路模型自动建立、版图自动生成、寄生参数提取及后仿真加速的新方法, 提高模拟集成电路自动化设计和分析的效率, 形成从性能指标到电路网表的自动设计、版图自动生成到寄生参数提取的工具软件原型. 专项重点支持以下研究方向: 一、性能指标驱动的模拟集成电路网表自动设计; 二、模拟集成电路高效高精度建模与仿真; 三、多约束下模拟集成电路版图自动生成方法; 四、模拟集成电路版图寄生参数提取、模型降阶和后仿真加速方法. 设重点支持项目和培育项目. 该专项项目2021年申请与资助情况如表4所示.

表4 “模拟集成电路敏捷设计方法与关键技术”申请与资助情况

项目亚类	研究方向	申请项目	立项项目	资助率/%	总资助金额/万元
培育项目	方向一	3	2	66.7	100
	方向二	12	4	33.3	200
	方向三	10	2	20	100
	方向四	6	2	33.3	100
重点支持项目	方向一	3	1	33.3	250
	方向二	2	1	50	250
	方向三	5	1	20	250
	方向四	3	0	0	0

从项目的申报情况来看, 培育项目的申请人大部分集中在方向二和方向三, 说明器件建模和版图设计自动化是EDA设计领域研究较多的方向. 而EDA仿真流程前期的“模拟集成电路网表自动设计”和EDA仿真后期的“模拟集成电路版图寄生参数提取、模型降阶和后仿真加速方法”申请数量相对较少, 这也在一定程度反映出目前我国EDA领域各环节发展不均衡的问题. 而对于重点项目, 由于限项资助, 申请量相对平均.

3.4 重大项目

重大项目面向科学前沿和国家经济、社会、科技发展及国家安全的重大需求中的重大科学问题, 超前部署, 开展多学科交叉研究和综合性研究, 充分发挥支撑和引领作用, 提升我国基础研究源头创新能力. 重大项目按统一规划、分批立项, 指南指导、定向申请, 同行评

议、逐项论证, 动态管理、专家验收等方式组织实施. 每个重大项目围绕科学目标设置不多于5个课题, 并分别撰写项目申请书和课题申请书. 重大项目只受理整体申请, 项目申请人应当是其中1个课题的申请人. 2017—2021年, 半导体科学与信息器件领域共立项了6个重大项目, 包含了24个课题. 项目和课题情况如图9所示. 2017—2019年每年立项一项, 2020年立项三项. 所属二级代码主要集中在F0401~F0404这四个二级学科代码. 6个重大项目中, 有3个是关于激光的项目, 说明半导体光电子器件与集成目前发展的需求重大.

3.5 重点项目

重点项目是支持从事基础研究的科学技术人员针对已有较好基础的研究方向或学科生长点开展深入、系统的创新性研究, 促进学科发展, 推动若干重要领域或科学前沿取得突破. 自然科学基金委每年的项目指南中会发布重点项目优先资助领域(重点项目群)和重点项目立项领域. 2016—2021年发布的项目指南项目数量、申请项目数量、立项项目数量和总资助金额如图10所示.

每年发布的重点项目指南数量维持在8~11项, 立项数量8项或9项. 2019年项目申请数量最多, 是2016年的两倍, 这可能与当年大国竞争骤然加剧的大环境有关, 研究人员对于半导体科学与信息器件重点领域的重点项目关注度升高. 2019年后申请数量逐步回归. 目前的资助强度基本上维持在约300万元/项, 每年资助的项目总金额不断增加.

立项的重点项目二级学科代码分布如图11所示. 在立项的项目中, 集成电路设计(F0402)学科占34%, 半导体光电子器件与集成(F0403)学科占29%, 新型信息器件(F0408)学科占15%, 是重点支持的学科领域, 其余学科代码相对较少.

4 人才类项目情况分析

发现与培养人才是国家自然科学基金的一项基本任务. 除了前文提到的青年科学基金项目外, 国家自然科学基金人才项目还包括优秀青年科学基金项目、国家杰出青年科学基金项目以及创新研究群体项目.

创新研究群体项目的资助额度为每项1 000万左右, 半导体科学与信息器件领域2016—2021年期间获得创新研究群体项目的单位和项目包括: 浙江大学的“半导体光电材料的微纳结构和器件”、中国科学院微电子所的“新型微电子器件集成的基础研究”、南京大学的“能效半导体材料与信息器件”、西安电子科技大学的“高效模拟前端集成电路和集成系统”、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所的“绿色光子器件研究”.

半导体科学与信息器件领域在2016—2021年期



图9 重大项目的课题立项与资助情况

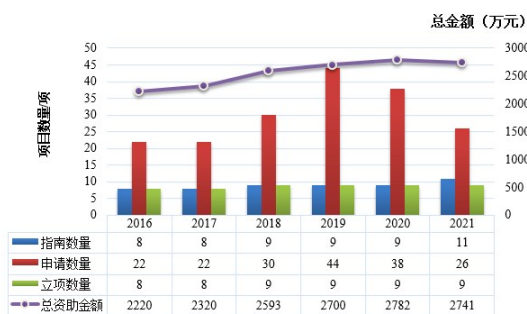


图10 重点项目指南、申请、立项、数量和总资助金额情况

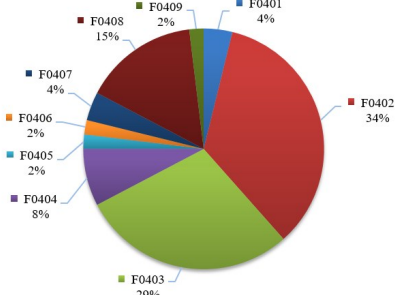


图11 重点项目二级学科代码占比情况

间, 总共立项29项国家杰出青年科学基金项目, 每年的立项数量在4~6项之间, 从2019年开始, 项目资助金额

由每项350万元增加到每项400万元. 获资助项目数量较多的单位包括北京大学、中国科学院半导体研究所、复旦大学和西安电子科技大学. 立项项目二级代码学科的占比情况如图12所示, 除了F0407与F0409未获资助外, 立项项目学科分布相对均衡. 占比最大的是半导体光电子器件与集成(F0403)学科, 占比21%.

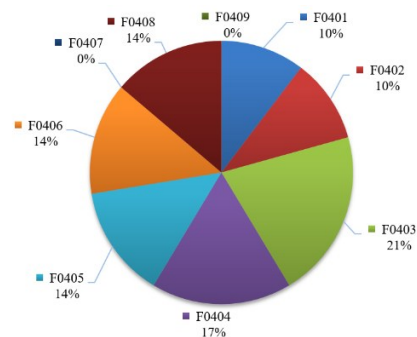


图12 国家杰出青年基金二级代码占比情况

优秀青年科学基金项目在2016—2021年期间总共立项61项, 项目资助金额从2021年开始由原先的每项130万增加到每项200万元. 2019年以前每年立项7项或8项, 2019后每年立项11~14项. 其中, 立项数量排

名前三的优势单位是中国科学院半导体所、北京大学和上海交通大学。优秀青年科学基金项目资助的学科代码占比情况如图 13 所示,除 F0409(占比 0%)和 F0407(占比 3%)外,其他学科代码分布比较均衡。其中, F0402(占比 17%)和 F0403(占比 18%)占比相对较高。

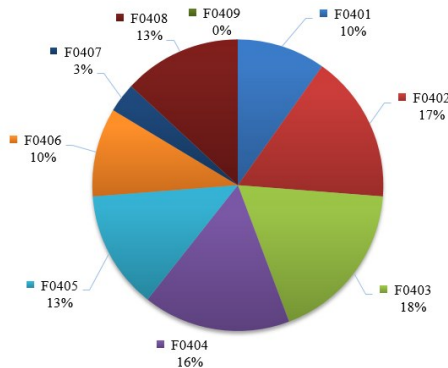


图 13 优秀青年科学基金二级代码占比情况

5 国家重大科研仪器研制项目

半导体领域的重大科研仪器决定了半导体的制造水平,是半导体制造业的基石,也是目前“卡脖子”严重的领域之一。国家重大科研仪器研制项目面向科学前沿和国家需求,以科学目标为导向,资助对促进科学发展、探索自然规律和开拓研究领域具有重要作用的原创性科研仪器与核心部件的研制,以提升我国的原始创新能力。

国家重大科研仪器研制项目包括部门推荐和自由申请两个亚类,资助期限为 5 年,合作研究单位不超过 5 个。自由申请类申请人可通过依托单位自行申请,填写直接费用预算应小于 1 000 万元/项。部门推荐类应当经以下组织部门推荐申请:教育部、中国科学院、自然资源部、工业和信息化部、生态环境部、农业农村部、国家卫生健康委员会、中国地震局、国家市场监督管理总局、中国气象局、中国工程物理研究院、中央军委装备发展部和中央军委后勤保障部。申请人填写直接费用预算应大于或等于 1 000 万元/项。

从 2016—2021 年,半导体科学与信息器件领域国家重大科研仪器研制项目每年的项目申请、立项及项目资助金额情况如图 14 所示。每年的申请数量基本上维持在 19~26 项,每年立项 1~4 项。立项项目的主要研究内容包括等离子体化学气相沉积设备(CVD)、MEMS 装备、氮化物柔性衬底制备、深紫外时间和空间分辨压力光谱系统、纳米集成电路边缘缺陷测试分析仪、碳化硅高性能中子探测系统、光声光谱仪等重大科研仪器。在贸易战以及他国技术遏制背景下,2019 年自由申报数量和立项数量最多,并且立项了部门推荐项目“半导

体器件氧化层电缺陷演化原位分析系统”,助力我国半导体器件领域发展。

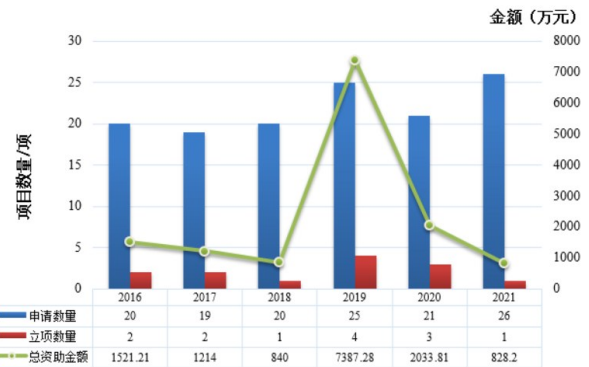


图 14 重大科研仪器研制项目申请、立项及项目资助金额情况

6 典型资助成果

“十三五”至“十四五”期间,在自然科学基金委不同类型项目的支持下,半导体科学与信息领域的基础前沿研究取得了创新成果。典型成果举例如下。

随着半导体技术的发展,后摩尔时代的芯片竞争焦点逐渐从工艺线宽减小转向算力提升。传统的冯·诺依曼计算架构采用存储与运算分离的设计方法,在计算过程中数据需要在存算模块之间反复搬运,从而消耗了大量的时间和能量,也限制了芯片算力的进一步提升。

为了突破存算分离架构导致的算力瓶颈,利用新型半导体器件实现存储与计算的一体化(存算一体)成为当前学术界的研究热点。在国家自然科学基金(应急管理项目 61851404)资助下,清华大学团队在基于忆阻器的存算一体研究领域取得突破。通过器件、架构和系统创新,开发了面向大规模集成的忆阻器加工工艺,实现了忆阻器卷积网络的完整硬件实现。该存算一体硬件系统,在图像识别准确率相当的情况下,具有比现有 GPU 更高的能效优势,为突破现行计算架构“存储墙”限制提供了新路径^[3]。

设计新型外围信号处理模块,优化硬件制造工艺,发展基于同质器件架构的存储阵列模块和外围信号处理模块,提高模块集成兼容性及满足阻抗高度匹配,是实现高算力、高能效的关键。在国家自然科学基金(面上项目 61974050)的资助下,华中科技大学和中国科学院上海技术物理研究所研究团队合作,基于二维半导体材料与铁电衬底近邻耦合物理机制,发展同质晶体管-存储器架构,在存算一体化神经形态计算硬件领域取得新进展,为解决模块集成兼容性差、阻抗不匹配导致的集成度、算力、能效受限问题提供了新思路,推动了高性能神经形态计算芯片的设计、制造和实际应用^[4]。

在光电子器件方面, I 型、II 型量子阱结构的铋化物半导体在中红外波段呈现出优异的发光效率, 其制备技术日趋成熟, 已成为研制高性能半导体中红外激光器的理想材料体系。近年来, 铋化物半导体中红外激光器技术发展势头迅猛, 在红外光电装备、激光制造、环境监测、医疗仪器和量子通信等诸多领域发挥重要的作用。在国家自然科学基金(重大项目 61790580)的资助下, 中国科学院半导体研究所团队在铋化物低维结构中红外激光器基础理论和关键技术方面取得重要进展。提出 AlSb/AlAs/AlSb/GaSb 短周期超晶格数字合金结构, 提升了室温下激子发光效率, 率先突破 $2\ \mu\text{m}$ 波长大功率激光器的室温连续发光。该激光器在室温下连续输出功率达到最大值 $40\ \text{mW}$ 时, 边模抑制比大于 $40\ \text{dB}$, 是目前该类铋化物单模激光器的国际最优性能^[4]。

7 总结

本文总结分析了“十三五”至“十四五”期间 F04 代码下各类型项目的资助情况, 展现了自然科学基金委信息科学部近年来对半导体科学与信息器件领域的资助特点, 希望可以为国内科研院所、企事业单位的研究人员了解该领域的研究热点和发展方向提供借鉴。

国家自然科学基金委“十三五”期间在半导体科学与信息器件领域的优先发展方向是微纳集成电路和新型混合集成技术, 主要研究方向包括新型低功耗器件及电路理论、纳米单片集成电路技术、微纳传感器及异质集成融合技术。信息科学部除通过面青地、重点、重大等常规项目外, 还另外布置“集成电路 3~5 纳米节点器件基础问题研究”应急管理项目、“后摩尔时代新器件基础研究”重大研究计划以及“模拟集成电路敏捷设计方法与关键技术”专项项目等加大对优先发展方向的支持。

国家自然科学基金委自 2019 年启动了《国家自然科学基金“十四五”发展规划》和《2021—2035 年科学基金中长期发展规划》编制工作, 2021 年信息科学部陆续发布了“十四五”优先发展领域, 主要包括: (1) 宽禁带半导体; (2) 后摩尔集成电路。希望通过加强对这两个优先发展领域的支持, 使我国在半导体科学与信息器件的基础研究方面取得更显著的成效。

参考文献

- [1] 国家自然科学基金委员会. 2020 年度国家自然科学基金项目指南[M]. 北京: 科学出版社, 2020.1.
- [2] 国家自然科学基金委员会. 2020 年度信息科学部申请代码调整[Z]. 2020.
- [3] 国家自然科学基金委员会. 国家自然科学基金委员会

2020 年度报告[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 2021.3.

- [4] 国家自然科学基金委员会. 国家自然科学基金委员会 2021 年度报告[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 2022.3.

作者简介

唐 华 女, 博士, 国家自然科学基金委员会信息科学部四处副研究员. 主要研究方向为光信息处理.

E-mail: tanghua@nsfc.gov.cn

施 阁 男, 博士, 中国计量大学机电工程学院教授. 主要研究方向为集成电路设计.

何 杰 男, 博士, 国家自然科学基金委员会信息科学部研究员. 主要研究方向为半导体科学.

刘 克 男, 博士, 国家自然科学基金委员会信息科学部教授. 主要研究方向为自动控制理论和应用.