

中国科学院微电子研究所集成电路先导工艺研发中心简介

中国科学院微电子研究所集成电路先导工艺研发中心（以下简称“先导中心”）是面向国家集成电路行业重大需求，按照工业界研发标准设计和建设，采用产业技术研发模式进行管理，并由国际化研发团队运作的国家级研发中心。先导中心拥有一条完整的 8 吋集成电路先导工艺研发线，并兼容硅基光子器件、硅基 MEMS 器件等集成技术研发。研发线具备 10 纳米电子束光刻的研发能力和 180 纳米光学光刻的量产技术。

作为我国集成电路先导工艺研究领域的中坚力量，先导中心面向未来 5-10 年集成电路技术的基础创新需求以及超前国内企业量产技术 2 代以上的技术探索和储备需求，联合北京大学、清华大学、复旦大学、中芯国际、武汉新芯等产学研用单位开展联合研发，主要四大研究方向包括：集成电路创新技术、集成电路计算光刻与设计优化、光子器件与集成技术、MEMS 器件及系统。

集成电路创新技术课题组

面向集成电路持续微缩挑战和重要技术创新需求，本课题组聚焦于超越当前主流制造工艺两代以上的核心器件和关键工艺，从新材料、新结构和新原理上开展前瞻技术研究，形成国际一流的原创成果，建立面向未来产业开发应用的核心技术方案和关键知识产权体系，为集成电路的重大技术创新与变革发展奠定探索基本技术路线。

当前本课题组开展的主要研究方向有“水平和垂直纳米线（片）环栅（GAA）器件与关键工艺技术”，“极低功耗新原理器件和关键工艺技术”，“2D 材料及硅基 CMOS 集成技术”，“新一代磁性存储器及集成技术”，“集成电路纳

米材料和新器件物理仿真与建模技术”，“纳米尺度集成电路精确物理表征与可靠性评估技术”等。

科研动态

以《负电容环栅纳米线晶体管-电路仿真研究》的最新发表为例。“由于负电容晶体管理论的复杂性，对负电容晶体管以及由其构建的电路特性的理论研究至关重要。近日，中科院微电子所先导中心朱慧珑研究员课题组在英国皇家物理学会《Semiconductor Science and Technology》上发表了文章。文章中，通过伯克利 BSIM-CMG 模型和 Landau-Khalatnikov 模型耦合建立了适用于 3nm 技术节点以下的负电容垂直纳米线晶体管的紧凑模型；将 Landau-Khalatnikov 模型表征的“S 曲线”分为四个工作区域，并从数学模型和物理机制上进行了解释，同时提出了负电容晶体管设计规则；基于 CMOS 反相器电路，提出了晶体管栅极功函数和负电容协同设计的方法；通过环形振荡器电路的仿真，分析了电路的能量-延时特性，指出了负电容晶体管的优越性。此外，本文所用仿真参数是基于我们研发的铁电材料 $\text{Hf}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_2$ ，工艺与主流的 CMOS 制程兼容,便于应用。”

项目意义及技术难点

摩尔定律推动了持续 50 年的集成电路的发展，然而，时至今日，由于物理极限的限制，晶体管的进一步微缩已经举步维艰。为了进一步增加集成电路性价比，一些基于新原理、新材料、新工艺的晶体管不断被提出，其中负电容场效应晶体管是近年来被广泛研究的对象之一。负电容晶体管可以克服“玻尔兹曼

热限制”，即在室温下突破亚阈值摆幅 60mV/decade 的最低限制，降低电源电压和电路功耗，有望被应用于 3nm 及以下技术节点。

宏观意义

“科学技术是第一生产力”。科学技术不仅是现实的直接生产力，而且在生产力诸要素中具有特殊地位。科学技术的乘法效应，有力地表达了在生产力中的首要地位和作用。科学技术作为第一生产力，已成为当代经济发展的决定因素。当代产品中的科技含量高度密集，极大地提高了产品的商业价值。江泽民同志在“七一”重要讲话中指出：“科学技术是第一生产力，而且是先进生产力的集中体现和主要标志。”这个论断，进一步科学的揭示了新技术革命条件下科学技术在生产力形成和发展过程中的重要地位与作用。

中国的科研水平不高，根本性的原因是中国的市场和科研太脱节。这种脱节是因为中国的市场需求还在发育阶段，而科研却要想着和国际接轨。这就导致了，很多科研成果根本没办法利用，都是空中楼阁。而微电子项目的外部性比较强，研究人员的好奇心得到满足的同时，成果相对容易给社会带来好的变化。对集成电路的研究有助于提高中国的国际地位，突破其他国家的技术垄断。研究所的一部分科研成果可以通过转化，成为价值的创造机。

如果想发展半导体行业，最重要的因素是在全球范围内的话语权。只要拥有了话语权，其他一切问题都迎刃而解。因为半导体工业不是一个企业或一个国家能够独立进行的，需要很多顶尖技术的合作。理论研究在一定程度上可以提高中国话语权，与国家实力相辅相成。

据美国著名专利咨询公司 LexInnova 2016 年度发布：在最先进的商用晶体

管（FinFET）方面，微电子所的专利整体质量全球排名第一，超越了世界最顶尖的半导体公司，包括美国 Intel 和 IBM、韩国三星、台湾台积电、日本 Sony 和 Toshiba、欧洲英飞凌等。同时，专利申请量排名全球第十一，是中国大陆唯一进入世界前 20 名的单位。

微电子所的 FinFET 专利组合在专利质量和专利数量的综合能力上具有了与世界主要半导体企业同等的地位，在我国集成电路知识产权领域实现了重大突破。微电子所在 FinFET 的高 K 金属栅、源漏接触、沟道工程等先进晶体管制造工艺必备的多项关键技术领域打破了国外半导体巨头在该技术领域的知识产权壁垒，在集成电路制造最新技术代的关键技术领域形成了较系统的知识产权布局并在国际上占据了一席之地。

家国情怀、科研品质、工匠精神对于成功的重要意义

工匠精神是一种劳动精神、奉献精神、精益求精的精神和创新精神。人民创造历史从根本上看是劳动创造历史。人类在改造自然的伟大斗争中，不断认识自然的客观规律，通过在劳动实践中不断积累实践经验与技能，从而推动历史进步和创造更为丰富的社会财富。中国梦的实现，人民群众美好生活需要的满足，都需要广大劳动人民的劳动创造。

重细节、追求完美是工匠精神的关键要素。现代机械工业尤其是智能工业对细节和精度有着十分严格的要求，细节和精度决定成败。对细节与精确度的把握，是长期工艺实践和训练的结果，通过训练培养成为习惯气质、成为品格，就能从心所欲不逾矩。我国作为制造大国，弘扬工匠精神、培育大国工匠是提升我国制造品质与水平的重要环节。

从根本上说，工匠精神是一种伦理德性精神。就德性论层面而言，人的一切行为发自内在品格。对完美的追求，精益求精以及持之以恒的探索创新，是内在德性的展现。习近平总书记指出：“创新是一个民族进步的灵魂，是一个国家兴旺发达的不竭动力。”一个民族的创新离不开技艺的创新。现代机械制造尤其是现代智能制造，对技艺提出了越来越高的难度和精度要求，不仅要有娴熟的技能，而且要求技术创新。每一个产品的开发，每一项技术的革新，每一道工艺的更新，都需要有工匠的创新技艺参与其中。创新能力，不是对以往工艺墨守成规，而是对现有的生产技艺的大胆革新，给行业技艺带来突破性贡献，促进生产技艺水平提升，推动社会经济发展。