

科学名著



书名：凝练科学问题案例

书号：9787030747709

作者：本书编写组

定价：96.00 元

出版时间：2023 年 1 月

内容简介

为引导科研人员围绕“四个面向”凝练科学问题，提升科研选题质量，国家自然科学基金委员会组织编写了本书。

全书以科学基金资助创新实践为基础，以“鼓励探索，突出原创；聚焦前沿，独辟蹊径；需求牵引，突破瓶颈；共性导向，交叉融通”四类科学问题属性为框架，以科研人员发现问题、凝练方向、勇于探索的心路历程为主线，以学术同行的点评和管理人员的观察为视角，汇集科技界各方智慧，形成了凝练科学问题案例共81个，为科研人员凝练科学问题提供参考。

读者对象

从事基础研究的科研人员、科研管理人员、科技政策领域研究人员，有志于从事科学研究的研究生和青年学者。

精彩内页

一、结构超滑

凝练科学问题的过程及意义

1. 科学问题的探索过程

“结构超滑”被定义为两固体表面直接接触且发生滑移时，摩擦近零、磨损为零的状态。结构超滑体系的物理特征是界面处为原子级光滑表面，受范德瓦耳斯力等非键合作用且晶格非光滑，其物理实现在工程装备、功能器件等领域具有重大应用潜力，可为第四次工业革命催生一系列从“0”到“1”的技术，引导力学-物理-材料-电子等基础和交叉科学问题的前沿探索。2002年，研究者理论预测多壁碳纳米管内外管通过轴向相对滑移可实现十亿赫兹振荡器，由此提出第一个结构超滑器件模型并引起广泛关注，随即成立了由力学、物理、材料、器件等领域专家组成的多学科交叉协作研究组，开展实验研究，而其中的关键科学问题之一正是范德瓦耳斯界面处实现近零摩擦与无磨损的物理机制。2004年，考虑到技术应用潜力的研究组转向微米尺度石墨片滑移自回复运动的实验研究。虽然理论模型预测刚性非公度界面可实现静摩擦为零的“超滑”状态并在纳米尺度进行了实验验证，但国际上多位学者曾论证微米尺度以上的结构超滑因材料变形等因素“不可能”实现。研究组基于对各向异性材料力学的理论论证，在经历数年后试

介绍研究背景及学术界认知局限

模型：5
层次：5
现状：5
学术：5
微米尺

基于3
机制：5
技术：5
思路：5
拓展：5
体系：5
维度：5
突破：5
应用。

-3-

二、暗物质粒子的实验研究

凝练科学问题的过程及意义

1. 科学问题的探索过程

现代的“暗物质”概念最早于20世纪30年代由瑞士籍科学家 Fritz Zwicky 提出，用于解释观测中星系团的动力学质量和可见恒星质量不一致的问题。20世纪70年代 Vera Rubin 等对星系旋转曲线的精细研究，成为天文观测上暗物质存在的直接证据。20世纪末对宇宙微波背景辐射各向异性的精确测量和各类大型巡天项目对宇宙大尺度结构的测量，更是确认了暗物质在宇宙和星系尺度上的存在与分布。而物理学宇宙学的发展将暗物质与宇宙的形成和演化紧密地联系在一起，暗物质和暗能量已经成为今天“标准宇宙学”的支柱。但对暗物质究竟是什么这个问题，科学家依旧所知甚少。从最初理论家提出的“修改引力”理论，到天文上一些不可见的星体和黑洞，均在过去的几十年中接受了一轮又一轮观测数据的严格限制。粒子物理学家则是提出了各种超出标准模型的新粒子模型，目前仍被认为有较强“理论动机”的暗物质模型有“弱相互作用大质量粒子”(WIMP)、“轴子”和惰性中微子等。WIMP和暗物质的微弱相互作用，恰好可以使它们在早期宇宙中脱离热平衡，产生今天宇宙中观测到的暗

介绍研究背景及研究方向界定：暗物质和暗能量。

-7-

念与材料、微机电系统技术，探索摩擦几乎为零、无磨损这一新型运动界面状态的物理、物理、功能调控与创新应用。通过原子级光滑、非公度晶体表面从原理上消除结构超滑界面处的静摩擦，利用界面范德瓦耳斯力等非键合作用的非键合特征抑制滑动摩擦与材料磨损，通过结构与工艺优化设计避免其他摩擦来源，实现近零摩擦、无磨损的运动界面状态。建立定量描述结构超滑界面运动状态的微纳力学理论与体系设计方法，优化原子级光滑单晶材料表面制备与加工工艺，发展微纳结构功能调控与组装、集成技术以实现结构超滑体系的物性功能调控与器件开发。

4. 研究本科学问题的意义

针对结构超滑的原理与应用研究建立了该体系的基本科学概念与理论框架，揭示了结构超滑界面摩擦、磨损与能量耗散的微观机制与物理实质，提供了探索结构运动界面状态与其所涉及声子、电子激发等过程的研究平台，为研发在工程装备、功能器件等领域中的颠覆性技术和高性能、高效率、长寿命应用带来了新思路。其中针对原子级光滑表面力学特性的探索对于理解剪切、位错、变形局域化等力学过程有重要的意义，对范德瓦耳斯力等非键合作用界面处的声子、电子激发过程的研究为理解能量耗散动力学、非平衡统计力学与激发态动力学提供了新的研究平台和实验事实，大尺度结构超滑体系的构建对于材料制备、加工和微纳结构控制、组装、集成工艺的严格要求将催生创新的实验方法与技术。结构超滑运动界面的近零摩擦、无磨损的极端特征为应用探索打开了新的设计维度，在

拓展运动界面，实现新物性、新应用。

结构超滑

凝练科学问题案例

第一篇 鼓励探索 突出原创

机械电子、储能、发电器件等方面的应用为高端制造、航天航空、信息通信、健康医疗等领域中实现从“0”到“1”创新提供了机遇。

案例点评

摩擦和磨损会对机械器件及部件的使用、安全与寿命产生严重影响，并带来环境污染等问题。在微米尺度，材料的表面效应十分显著，摩擦和磨损所带来的问题将会更为严峻。减小和控制摩擦以及降低磨损对于微纳功能器件和微纳机电系统的发展与应用具有重要的科学意义。超滑通常指两个物体表面之间的滑动摩擦系数低于 0.001 量级的润滑状态。在微纳尺度利用原子级光滑晶体表面(如完美的双壁碳纳米管管壁间或石墨层等二维原子晶体表面)的非公度性实现的超滑，被称为结构超滑。在大面积范围上，由于两个原子晶体表面间的非公度性变化、晶体缺陷、表面污染、声子振动以及晶体边缘等的影响，结构超滑往往在微纳尺度容易实现，在宏观体系中实现存在挑战。此外，结构超滑的研究目前还主要集中在二维、二维等低维材料，但低维材料可控的大面积缺陷生长制备和转移在技术层面仍面临挑战，比如所获得的二维材料往往会有缺陷，结构的平整性也难以精确保证，不均匀的正压力会导致不均匀的变形等。因此，在材料的制备、转移与操控技术和摩擦副的制造方面都会面临障碍。揭示结构超滑体系中原子摩擦与能量耗散以及热力学耦合作用下的跨尺度物理力学规律，提出控制界面摩擦和磨损的结构超滑器件原理和设计方法，可为结构超滑器件的发展和技术创新提供新的思路和途径。

案例供稿部门：数学物理科学部力学科学处
案例撰写人：浙江大学 俞振兴
案例点评人：南京航空航天大学 郭万林

-6-



中国科技出版传媒股份有限公司
China Science Publishing & Media Ltd. (CSPM)

科学出版社