FrictionX
清力技术

深圳清華大學研究院超滑技术研究所
RESEARCH INSTITUTE OF TSINGHUA UNIVERSITY IN SHENZHEN INSTITUTE OF SUPERLUBRICITY TECHNOLOGY

深圳清力技术有限公司

全球首个自超滑根技术产业化平台

零磨损改变世界，造福人类



深圳清力技术有限公司

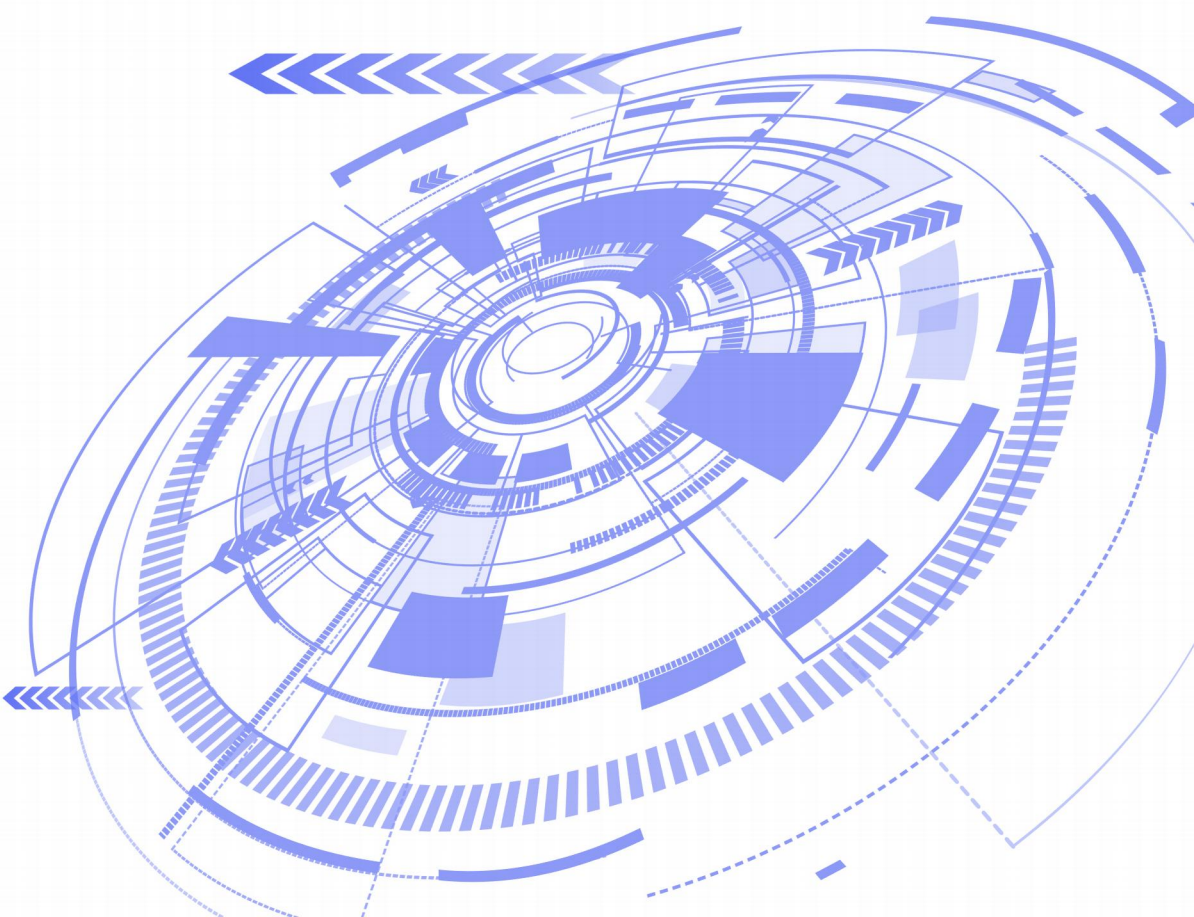
网址：www.frictionx.com
邮箱：cooperate@frictionx.tech
地址：深圳市坪山区兰景中路16号坪山高新区产学研基地A栋4-6楼

FrictionX
清 力 技 术

零磨损改变世界，造福人类

自超滑技术作为一项“根技术”，正在催生全新的产业生态，为全球科技创新注入新动能。

——郑泉水院士



CONTENTS

目录

01
About us
关于我们

从清华科研到成果产业化 01
中国科学院院士领衔 03
核心团队与协同发展生态 04
团队荣誉与资质 07
核心技术专利 09

02
Technology&Products
技术及产品

技术背景 11
自超滑技术 12
共性技术及自超滑材料 13
自超滑射频开关 15
自超滑微动发电机 17
自超滑微特电机 19
技术突破里程碑 21
自超滑“根技术”全生命周期规划 23
自超滑微系统与生态 24

03
SSTP
实验平台

深圳超滑技术平台 25
全球领先的平台环境 27
平台六大功能区 28
尖端科研设备 29
定制化工艺体系 31
平台内设机构 33
合作伙伴 34

04
Enterprise Culture
企业文化

主流媒体聚焦 35
国际技术交流 37
企业文化实践 39
后记：从科幻到现实 41

Friction X
清 力 技 术

从清华科研到成果产业化

TSINGHUA LABS TO INDUSTRY

Friction X · 清力技术
——清华科研与产业创新的融合典范

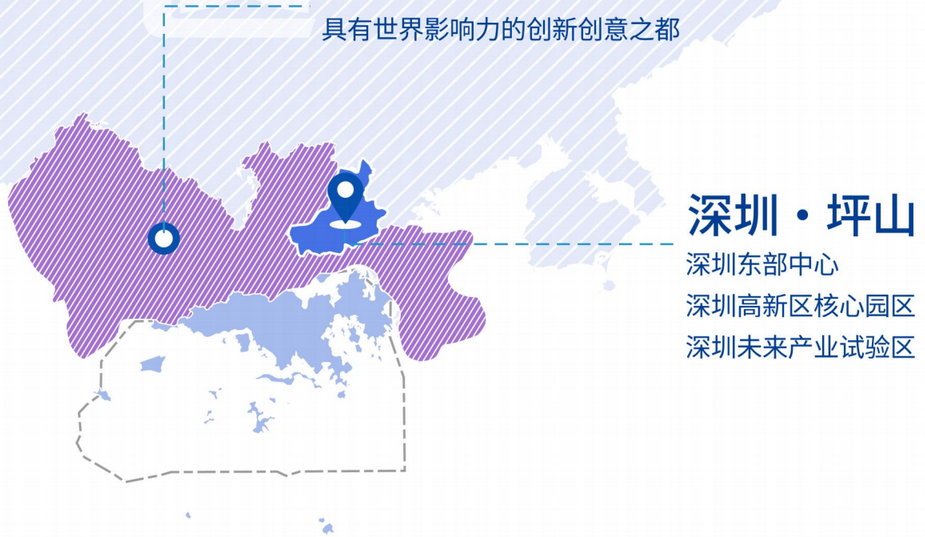
深圳清力技术有限公司（简称“清力公司”）成立于2019年，由深圳清华大学研究院超滑技术研究所孵化，是全球首家、目前唯一专注于“自超滑”这一原始创新根技术产业转化的硬科技企业，已获评国家级高新技术企业、国家级科技型中小企业、省级专精特新中小企业，并于2025年完成亿元级Pre-A轮融资。

依托自超滑技术的颠覆性优势，公司通过“自超滑+X”融合创新模式，已成功开发出MEMS射频开关、微特电机、微动发电机、高速轴承等多款颠覆性功能样机，部分产品已获得小批量订单，正加速向精密传动、无源物联网、下一代通信、工业测试等领域提供突破性解决方案。未来，公司将围绕第六代移动通信、可重构芯片、铁电存储、植入式设备、具身智能、深空探测等战略性新兴产业，持续拓展自超滑技术的应用边界。

公司创始人为中国科学院院士、固体力学与微纳米力学领域权威专家、清华大学深圳国际研究生院教授郑泉水，汇聚了数十名来自清华大学、中国科学院等顶尖科研院所的博士、博士后，形成一支力学、摩擦学、材料、微纳制造、电子、化学等多学科深度融合的跨学科创新团队。围绕自超滑材料、核心工艺与功能器件，公司已系统布局覆盖研发、验证与产品化的全链条知识产权体系。截至目前，团队累计申请国内外核心专利218件，在全球自超滑领域顶刊论文中占比44.9%，基本实现了关键核心技术的自主可控。

公司运营的“深圳超滑技术实验平台”获批深圳市重点实验室，“自超滑微系统中试平台”入选工信部首批全国重点培育中试平台名单，为原始创新的工程验证与产业化落地提供了坚实支撑。

清力公司矢志以“零磨损改变世界，造福人类”为未来愿景，肩负起“让自超滑技术成为连接数智世界与物理世界的新基石”的时代使命，持续汇聚全球顶尖人才，携手产业链上下游合作伙伴，构建开放共赢的创新生态，不断突破行业技术壁垒，推动制造业向高端化、智能化、绿色化升级。面向未来，清力公司将全力开拓自超滑技术万亿级新蓝海市场，致力于打造具有全球影响力的中国原创技术标杆，成为支撑新质生产力发展的重要引擎。



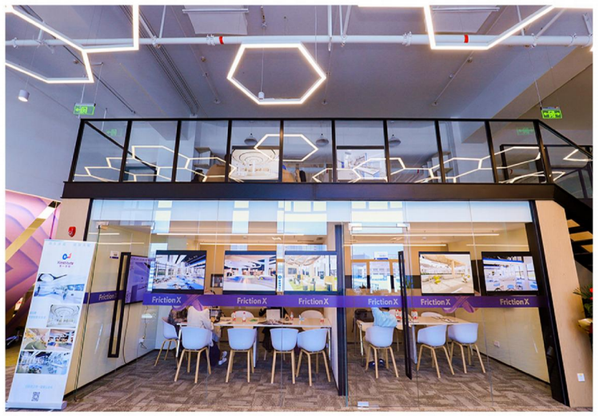
20余年
科研团队潜心研究

218+
申请国内外专利

48%
发表论文占国际相关顶刊文献









中国科学院院士领衔

TEAM LEADER



- 中国科学院院士
- 清华大学钱学森力学班创办首席教授
- 深圳零一学院创始院长
- 清华大学深圳国际研究生院教授
- 深圳清华大学研究院超滑技术研究所创始所长
- 深圳清力技术有限公司首席科学家

【学术任职】

曾任清华大学工程力学系系主任、清华大学学术委员会秘书长、中国力学学会旗舰杂志《力学学报》和Acta Mechanica Sinica主编、中国力学学会副理事长。

【学术成就】

- 两获国家自然科学二等奖（2004年、2017年，以第一获奖人身份）
- 创立本构方程张量函数表示理论体系
- 开创自超滑技术
- 2021年获得第三届杰出教学奖

核心团队与协同发展生态

CORE TEAM AND COLLABORATIVE DEVELOPMENT ECOSYSTEM

企业顾问



Gabriel Aeppli



陈朝晖



王田苗



丁 峰

核心团队



CEO
向小健



CTO
黄轩宇



副CTO
聂锦辉



COO
潘旭捷



材料研发部负责人
彭德利



共性技术部负责人
王叶凌怡



基础研究部负责人
吴章辉



数据中心负责人
邹海天



轴承项目负责人
马 明



企业顾问
徐志平



共性技术专家
刘 泽

顶尖合作专家


王中林院士
材料物理


解思深院士
物理


高华健院士
力学


郭万林院士
力学


朱静院士
材料


薛其坤院士
物理


彭练矛院士
微电子


范守善院士
材料物理


M.Urbakh
物理化学


A.Gabriel
物理


雒建斌院士
机械


J.Klafter
化学


M.Endo
物理化学


成会明院士
材料


俞大鹏院士
材料物理


郭东明院士
机械

自超滑生态代表


刘胜院士


Michael Urbakh教授


Robert Carpick教授


Erio Tosatti教授


Ernst Meyer教授


Oded Hod教授


Moshe Ben Shalom教授


陈云飞教授


丁峰教授


欧向阳教授


Guilherme de Vilhena教授


Renato Buzio教授


Vladimir Falko教授


Nicola Manini教授

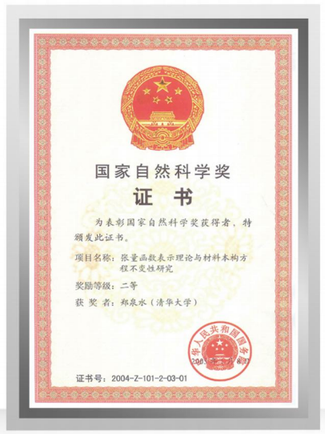

Martin Dienwiebel教授


Alessandro Siria教授

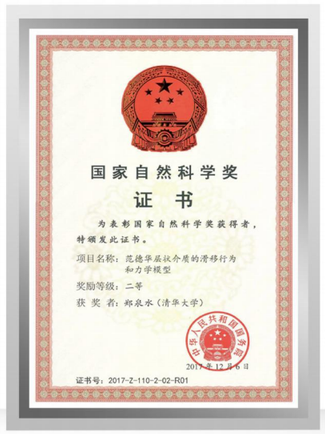
团队荣誉与资质

HONOR AND QUALIFICATION

2004年
国家自然科学奖二等



2017年
国家自然科学奖二等



2022年
首届全国颠覆性技术创新大赛
总决赛最高奖项



2024年
第四届BEYOND国际科技创新博览会
Beyond Awards消费科技创新大奖



2025年
自超滑微系统中试平台入选国家级
首批重点培育中试平台初步名单

2024年
深圳市专精特新中小企业认证

2023年
高新技术企业证书



2024年
深圳市超滑技术重点实验室

2024年
质量管理体系认证证书

2024年
获评国家级科技型中小企业

2024年
深圳市微纳制造产业促进会
副会长单位

核心技术专利

PATENTS AND SOFTWARE COPYRIGHT

218+
申请国内外专利

其中

114+
国内发明专利

16+
国际专利（欧、美、日、韩）

18+
PCT专利

129+
已授权专利









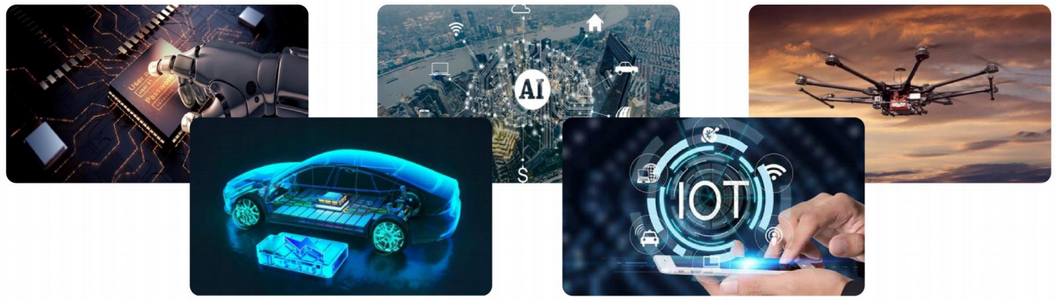


Friction X
清 力 技 术

技术背景
TECHNICAL BACKGROUND

在第四次工业革命浪潮的推动下，数智化时代正加速到来。人形机器人、无人机、脑机接口、新一代通信技术以及原子制造等前沿领域蓬勃发展，这些新质生产力的崛起对智能机电微系统提出了更高要求——需要具备更卓越的智能性、更高效的能耗控制、更持久的运行寿命、更精巧的微型化设计以及更优异的综合性能。关键障碍在于：微小尺度下的摩擦和磨损问题。

第四次工业革命
（数智时代）



人形机器人、无人机、6G、物联网、AI、新能源、无人驾驶等

运动界面：信息处理+能量处理能力双跃升

微小器件

更微小的机电系统　更智能化的通信芯片　永续、免维护的微能源

存在痛点

智能微系统的微型面临独特的技术挑战。系统内部关键器件（如开关、微电机等）的接触界随着尺寸缩小，表面积比急剧增大，粘着效应显著增强，真实接触面积比急剧减小，加剧微机械部件的摩擦磨损效应，进而制约微器件与系统的使用寿命和性能，这一瓶颈问题亟待颠覆性的解决方案。

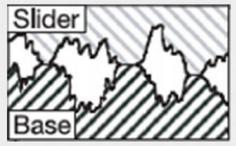
自超滑技术 ——赋能第四次工业革命的源头创新根技术
SELF-SUPERLUBRICITY TECHNOLOGY
为微尺度的摩擦磨损问题带来革命性解决方案

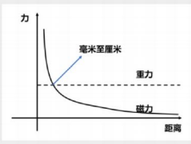
两固体表面没有任何润滑剂直接接触滑动，可实现：

磨损为零　**静摩擦为零**　**摩擦系数近零**

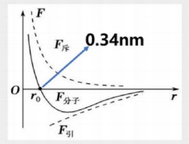
（同时还具有极好的导电、导热特性。）

底层原理



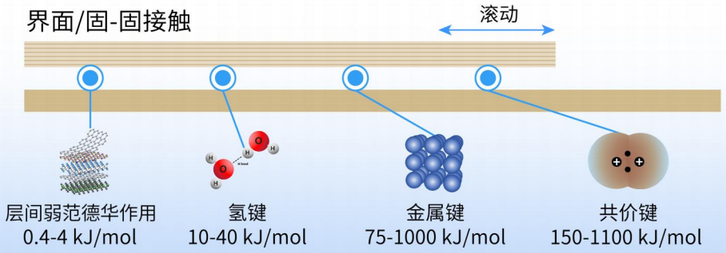


磁力悬浮



范德华力悬浮

范德华力悬浮
+
沿面内滑移方向
相互抵消



自超滑现有指标（常态环境下广泛可用）

极限载流密度	＞117 GA/m^2	发电功率密度	0.3mW/cm^3
零磨损最长滑移	＞1000 km	最高界面电导	3.93 x 10^{11} S/m^2
零磨损最大压强	9.45 GPa	最高界面热导	600 $MWm^{-2}K^{-1}$
自超滑最高速度	1055km/h	全接触面积	100%

材料	石墨、二硫化钼、氮化硼等几十种范德华层状材料和多种原子级光滑表面（DLC、蓝宝石、硅等）
环境	大气环境、水等液体中、真空、载流、低温/高温（200°C）

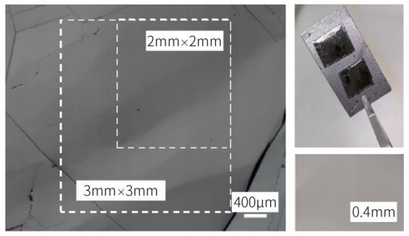
共性技术及自超滑材料

GENERIC TECHNOLOGY AND SELF-SUPERLUBRICITY MATERIALS

技术介绍

大尺度超滑材料制备：

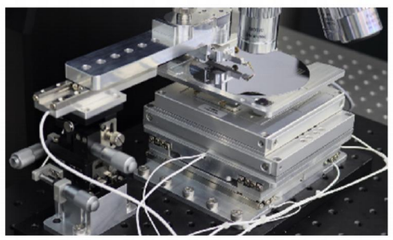
团队深入研究单晶石墨的可控生长及其影响因素，系统解析了石墨褶皱的形成机理。通过大量研究，明确了褶皱的调控机制，并开发出创新的褶皱消除技术，现已制备全球最大尺度自超滑材料，为自超滑微系统的产业化打下了坚实的基础，可颠覆性解决自超滑应用场景寿命和可靠性问题。



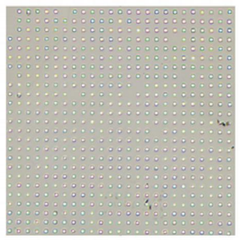
世界上最大毫米级无褶皱平整单晶石墨薄膜

自动化转移系统：

团队利用人工智能视觉识辨技术，实现了高效的自动化选择和转移。该系统可通过图像处理结合自动化操作排除不良样品，识别准确率超过98%。此外，该系统实现了在30秒内完成超滑石墨岛的判断和转移，实现了＜±0.5μm的定位精度，达到了光学显微镜定位精度极限。该系统是自超滑副批量化构建设备，为自超滑微系统的大规模产业化奠定工艺基础。



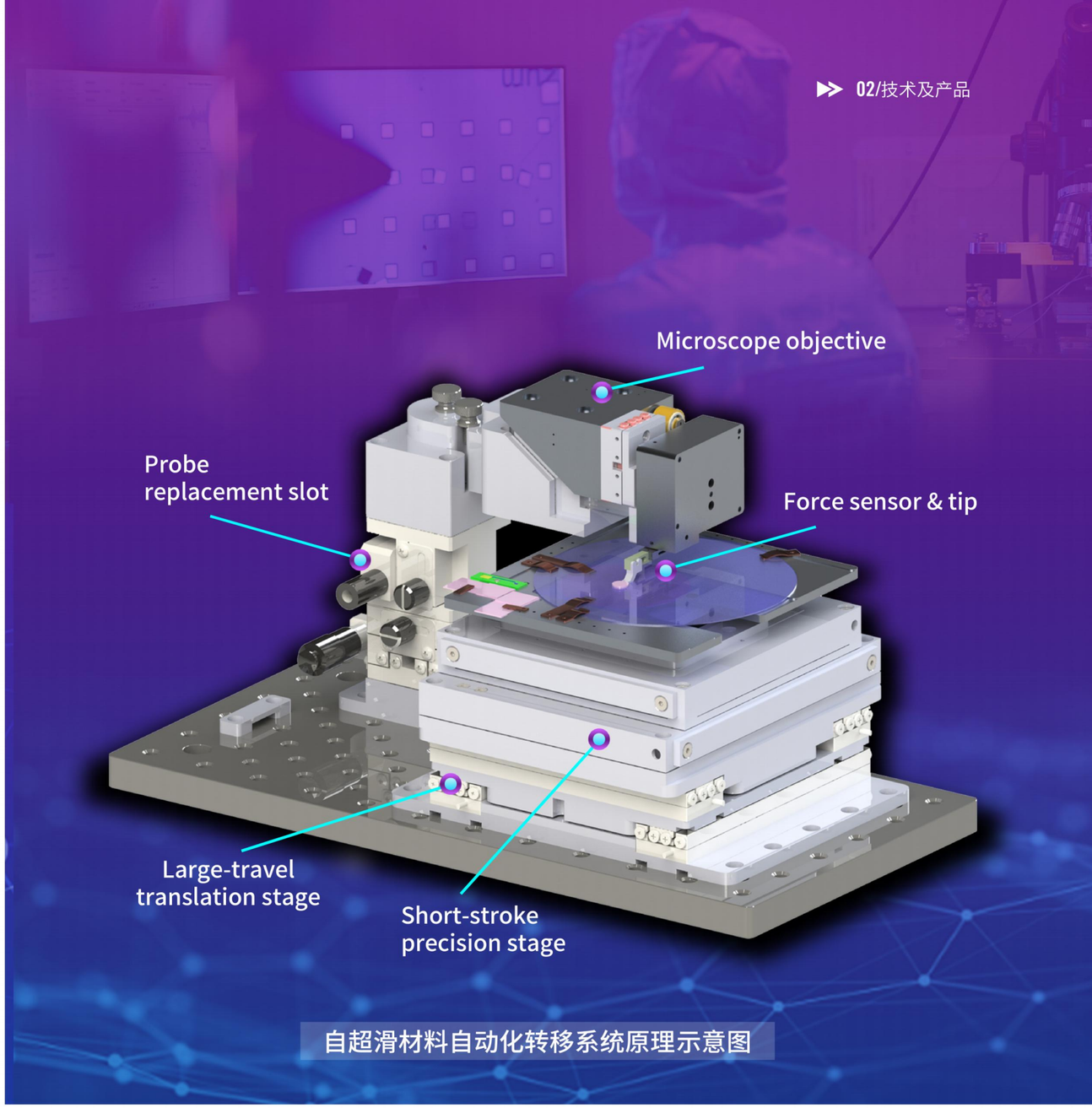
自动化定位设备特写



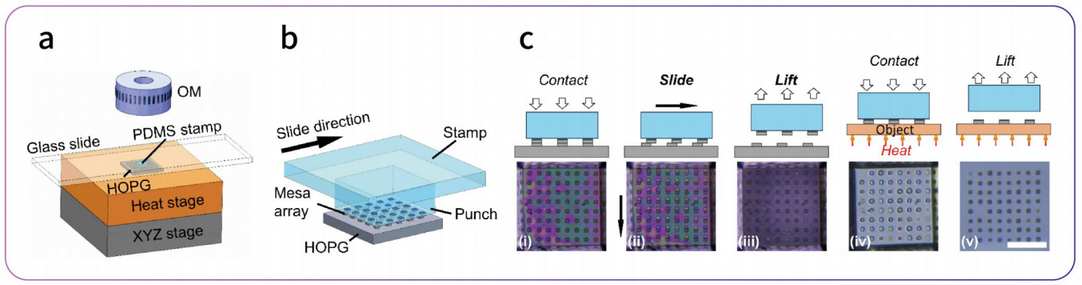
自动化转移结果示例

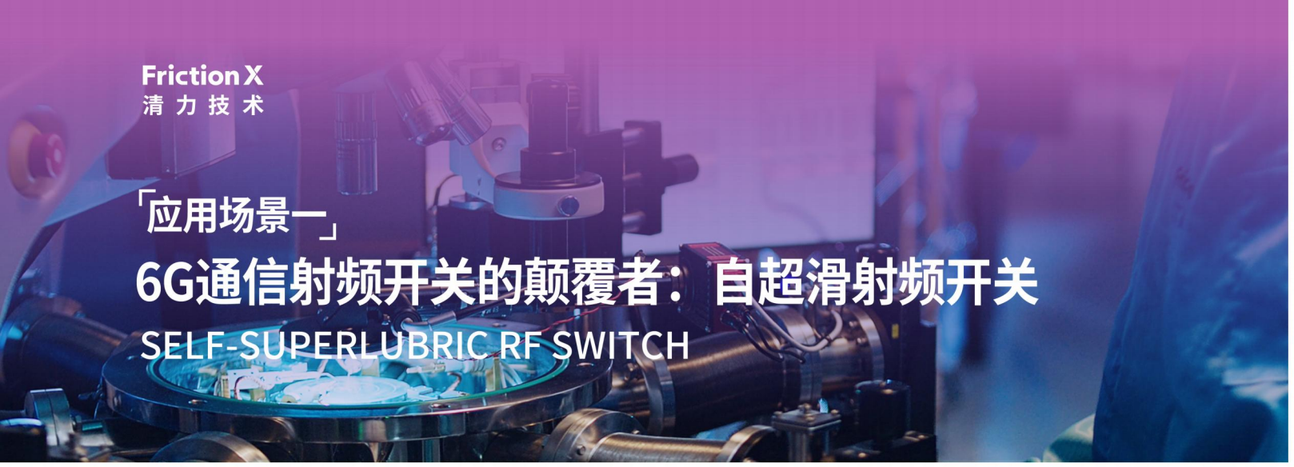
核心竞争力

团队成功制备出世界最大尺度的毫米级自超滑材料，实现了自超滑材料的自主可控；创新边缘选择性蚀刻技术和预应力边缘翘曲技术，攻克自超滑材料持续十余年的边缘难题；研发微米级与毫米级自超滑材料的高精度自动化转移技术，加速自超滑微系统产业化进程。



自超滑材料自动化转移系统原理示意图





Friction X
清 力 技 术

「应用场景一」

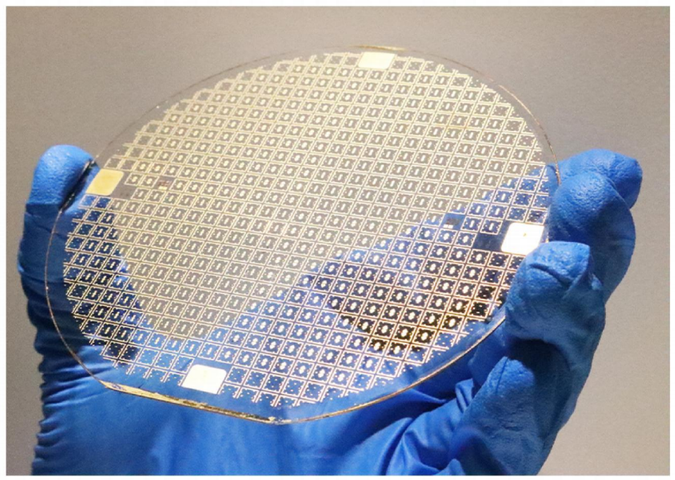
6G通信射频开关的颠覆者：自超滑射频开关

SELF-SUPERLUBRIC RF SWITCH

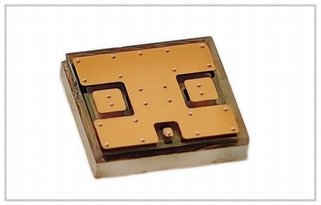
技术介绍

MEMS射频开关是一种控制电路通断状态的基础核心电子元器件，具有小体积、低成本、低能耗、低损耗、高线性度、高隔离度等特性，可应用于无线通信、自动化测试（ATE）、相控阵雷达、工业/消费电气自动化设备等先进电子装备领域，但受触点可靠性、操作功率等性能限制，传统MEMS开关在相关领域一直无法实现大规模应用。

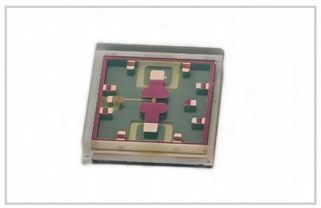
基于自超滑技术的新型射频开关，利用超滑界面的极低摩擦、无磨损、全接触等特性解决了传统MEMS射频开关寿命短、可靠性差等问题，彻底突破传统MEMS开关的主要技术瓶颈，把现有的射频开关的线性度提高了100倍以上，功率提升了10倍以上，实现真正意义上的“理想开关”(Ideal Switch），成为电子行业最具突破性的技术革新。



自超滑射频开关晶圆片



自超滑射频开关产品示意图



自超滑射频开关产品示意图

核心竞争力

界面全面积接触　超长寿命　高线性度　低插入损耗　大功率　高带宽

应用领域

相控阵雷达、5G/5.5G/6G基站、移动终端、高端医疗设备、半导体自动化（ATE）检测等领域。



相控阵雷达



5G/5.5G/6G基站



核磁共振



ATE

参数对比

指标	半导体开关	自超滑射频开关
宽带范围	Khz-3.5 GHz	DC -26 GHz
插入损耗	0.15-0.2 dB@4 GHz；＞0.5 dB@5 GHz	≤ 0.15 dB@3 GHz
隔离度	＜25 dB@4 GHz；＜4 dB@5 GHz	≥25 dB@3 GHz
线性度	＜90 dBm	＞100 dbm
寿命	/	＞4000万次
最大输出功率	＜2 W	＞10 W
开关响应时间	ns级	5-15 μs
控制电压	＜5 V	5 V 和 80 V-90 V
封装尺寸	＜1 mm×2 mm	＜2 mm×2 mm×1 mm

最新进展

已申请12项专利，其中PCT专利3项。

已研发出实验室4英寸晶圆级产品样机，并通过企业单管测试验证。

获得行业头部企业和深圳市科创委项目支持。

「应用场景二」

开辟IoT自供电技术新赛道：自超滑微动发电机

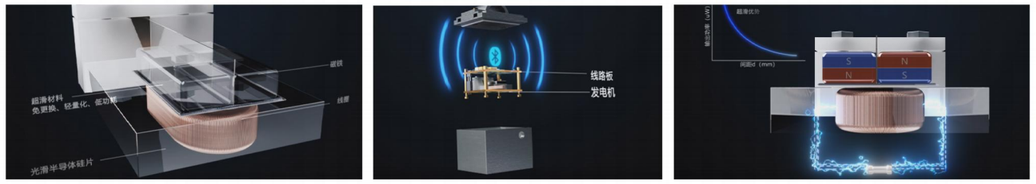
SELF-SUPERLUBRIC MICRO-MOTION GENERATOR

技术介绍

自超滑微动发电机是一款可以通过电磁感应、半导体直流发电等换能原理，把环境中不规则的机械能（如晃动、振动）转化成电能的器件，利用超滑副作为滑动发电界面，可以在保证极长寿命的同时将发电机的输出功率提高2~3个量级，具有体积小、寿命长、效率高等特点，可广泛用于物联网领域，为分布式传感器提供自发电、免维护的底层供电方案，彻底解决传感器取电难、维护难的痛点问题。



“基于自超滑技术的超级微发电机”项目获得由科技部组织的首届全国颠覆性技术创新大赛最高奖项优胜奖(36/2724)。



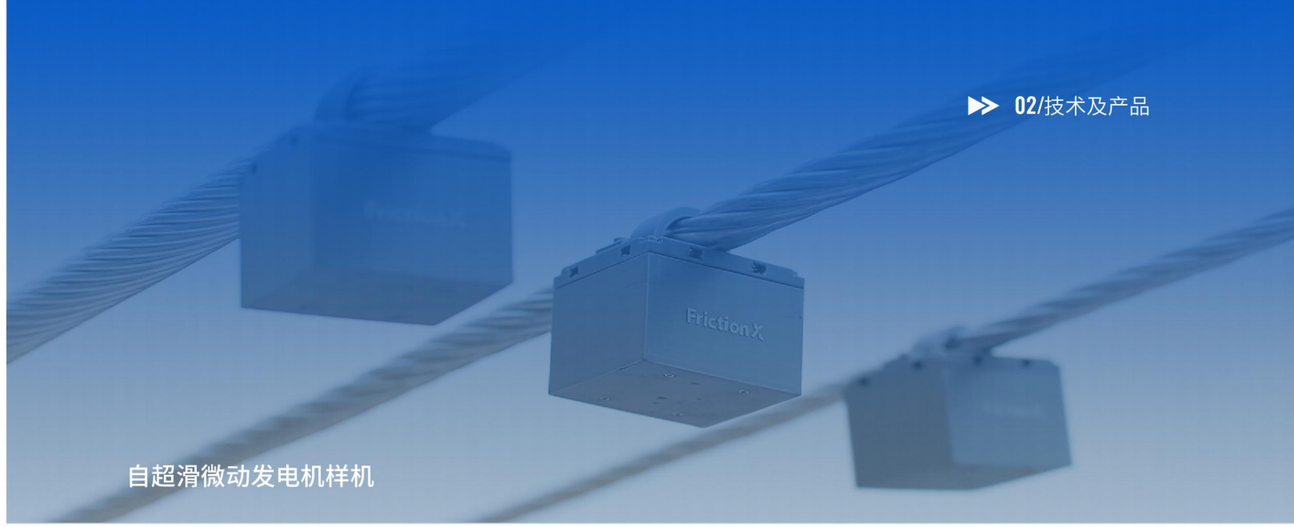
自超滑微动发电机示意图

核心竞争力

- 世界首台超级微动发电机
- 寿命长：＞10亿次
- 能量损耗极低
- 高输出密度
- 微型化
- 超高可靠性

性能参数

	性能参数	第一代发电机	第一代低激励发电机	第二代发电机
发电模块（含外壳）	尺寸	50mm×50mm×15mm	80mm×80mm×23mm	15mm×15mm×10mm
	平均负载功率	2.68mW@2kΩ，14Hz，1g	58.05mW@20kΩ，14Hz，1g	256μW@640Ω，30 Hz，1g
	电容充电功率	824μW@1000μF，14Hz，1g	3447μW@1000μF，14Hz，1g	154μW@122μF，30Hz，1g
	开路电压	±12V@14Hz，1g	±140V@14Hz，1g（交流）	±2V@30Hz，1g
	短路电流	±3 mA@14Hz，1g	±2.5mA@14Hz，1g（交流）	±1.5mA@30Hz，1g
	俘能频率	5-15Hz	5-15Hz	25-35Hz
	平均输出功率密度	71.47μW/cm³	394.36μW/cm³	113.8 μW/cm³
后端电路	传感功能	温湿度	加速度	气压
	通讯协议	蓝牙 4.0/5.0		
	能耗	277μJ	561 μJ	420 μJ
封装系统	封装尺寸	50×50×15mm³	80mm×80mm×23mm³	15×15×10mm³
	信号传输周期	1 seconds per signal	1 seconds per signal	1.15 seconds per signal



自超滑微动发电机样机

应用领域

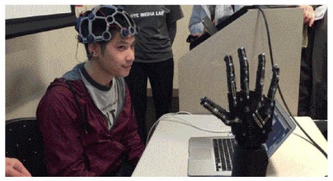
自超滑微动发电机可用于智慧电网、智慧物流、侵入式脑机接口、快速植入手术机器人、智慧机场、智慧畜牧业等领域。



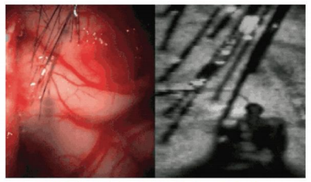
智慧电网



智能物流



侵入式脑机接口



快速植入手术机器人



智慧机场



智能耳标

最新进展

已申请授权超过13项专利。

相关研究成果已经在*Nature Communications*，*ACS Nano*, *Nano Letter*，*Nano Energy*等顶级期刊上发表，其中2021年4月发表的第一篇超滑发电机原理样机论文，被评为*Nature Communications*亮点论文。

与央企建立合作，获得项目支持。

「应用场景三」

“重新定义”未来电机技术：自超滑微特电机

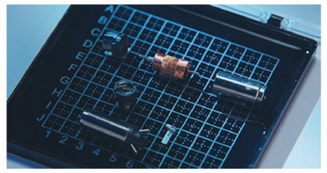
SELF-SUPERLUBRIC MICRO-MINIATURE MOTOR

技术介绍

电机模组是人形机器人驱动核心，其中灵巧手因空间局限，长期面临寿命、功率密度与控制精度等挑战。基于自超滑技术的空心杯微特电机，结合先进算法，为精密驱动注入强劲内核。当前，有刷电机寿命已突破7000小时，达到国际领先水平；面向未来，团队正加速拓展无刷电机及高性能控制领域，全面覆盖机器人、航空航天等高端装备需求，持续赋能具身智能与太空探索，以技术迭代开启无限未来。



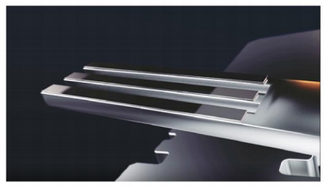
自超滑微特电机电刷



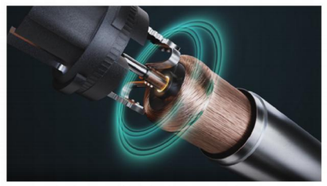
自超滑微特电机



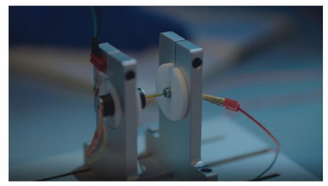
自超滑微特电机



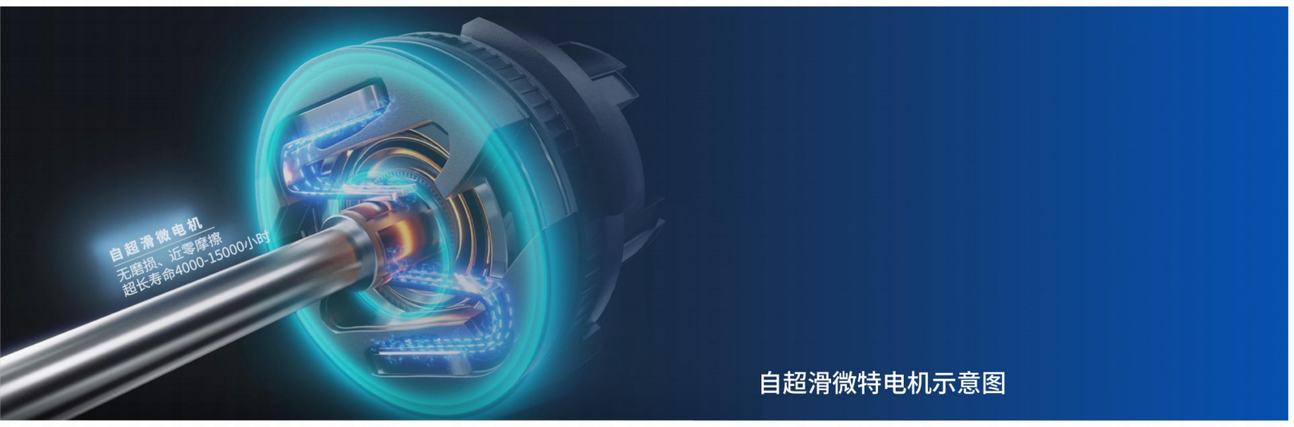
自超滑微特电机电刷示意图



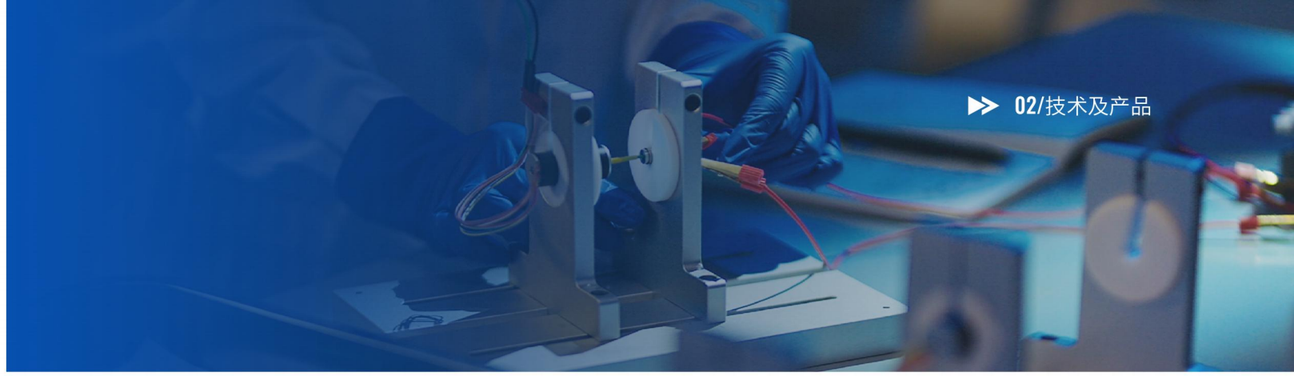
自超滑微特电机示意图



自超滑微特电机样机测试



自超滑微特电机示意图



核心竞争力

长寿命　高功率密度　高精度控制

应用领域

人形机器人灵巧手及关节驱动、高端医疗器械与手术设备、工业自动化与精密检测装置。

同时在微型无人机、航天航空、石油勘探等领域的高端精密器械中也发挥关键作用。



人形机器人灵巧手



卫星探测器



工业自动化设备



智能医疗器械

参数信息

指标	自超滑微特电机
寿命	部分实测＞4800h，目标＞10000h
功率密度	80W/Kg-150W/Kg
电压	3V、6V、9V、12V、24V，可定制
电机直径	6-28mm，可定制
额定转速	＞5000rpm，可定制

最新进展

已制备出符合机械性能的产品样机。

已与国内上市公司建立合作，获得深圳市科技重大专项项目。

技术突破里程碑：从概念到颠覆性应用

MILESTONE: FROM CONCEPT TO DISRUPTIVE APPLICATIONS

从0至1穿越死亡谷：自超滑技术的诞生之路

20世纪末，自超滑技术研究长期停留在理论阶段，学界普遍认为实现大气环境下稳定、可工程化的自超滑界面是“不可能的任务”。2002年，清华大学郑泉水团队率先预言首个自超滑组件，并于2012年首次实现大气环境下微米级自超滑。目前，该团队已成功研制出全球最大尺度毫米级自超滑材料，并掌握全套工艺技术。

从实验室到生产线：自超滑技术的产业化进程

2018年起，深圳清华大学研究院超滑技术研究所（深圳市重点实验室）在坪山成立，成为全球首个专注自超滑技术研发的机构。2019年孵化出国家高新技术企业——深圳清力技术有限公司。2025年，自超滑微系统实验平台入选国家级中试平台，构建了从创新研发到产业落地的完整链条。目前，清华大学郑泉水团队已成功研发自超滑射频开关等三款创新产品，并开始产业化布局。

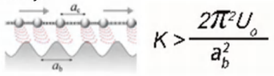
改变未来的黑科技：自超滑技术广阔的应用前景

自超滑作为源头创新根技术，未来将会为通信、机器人、医疗等众多领域带来革命性突破，解决精密机械运动中的摩擦磨损难题。这项源自中国的基础研究突破，正在为全球科技进步贡献中国智慧。

极低摩擦（又称超润滑Superlubricity）理论猜测和初步试验尝试阶段

1983

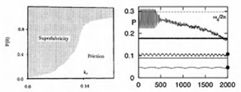
借助于一个简化模型（FK模型），提出在非公度接触情况下可能实现静摩擦为零的猜想。（Peyrard & Aubry）



$$K > \frac{2\pi^2 U_0}{a_b^2}$$

1993

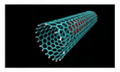
在FK模型下，提出非公度接触动摩擦力可能为零的猜想，并将该现象定义为超润滑（Superlubricity）。（Shinjo& Hirano）



纳米尺度超润滑基本证实（不涉及静摩擦、不涉及磨损）更大尺度超润滑试验失败和被理论『证伪』阶段

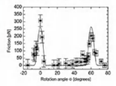
2002

预言第一个超滑器件。（郑泉水组）



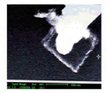
2004

首次观测到纳米尺度非公度接触可实现极低摩擦（也称之为超润滑，由此导致超润滑概念的多义性），并推断“更大尺度无法实现”这一现象。（Frenken组）



2008

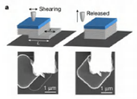
发现微米石墨岛自回复运动现象，2012年被证实这是超滑现象；发明一种制备超滑表界面的底层技术，得到广泛应用。（郑泉水组）



提出结构超滑（Structural superlubricity），现更名为『自超滑』

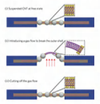
2012

首次实现大气环境微米尺度结构超滑，打破之前“更大尺度无法实现”这一推断。（郑泉水组）

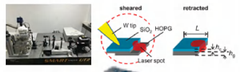


2013

实验发现宏观长度（1厘米量级）范德华表面（超长碳纳米管）非公度接触下超滑的存在。（张莹莹、魏飞、郑泉水）



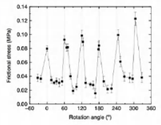
在超滑的速度上限，从几微米/秒提升6个量级，到25米/秒。（郑泉水组）



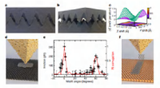
定义结构超滑，现更名为『自超滑』（极低摩擦无磨损）

2018

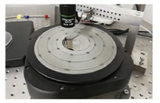
首次实现微米尺度异质范德华表面间超滑。（郑泉水组）



在 *Nature* 发表首篇超滑综述。（郑泉水组）

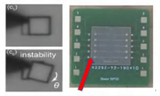


实现基于自超滑的超能存储机械原型样机。（郑泉水组）

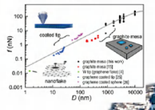


2019

发明超滑器件的非机械（表面能、电容势能）控制运动方法。（郑泉水组）



揭示超滑尺度效应和摩擦来源。（郑泉水组）



建设全球第一个超滑技术研究所并成立产业化公司

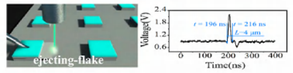
2019

建立世界第一个超滑研究所及其产业化公司。



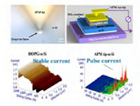
2020

实验发现超低摩擦系数（10^{-6}）和超高速（1000km/h）超滑。（郑泉水组）

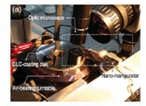


2021

发明首个超滑发电机。（郑泉水组）



实现超滑副长度达100公里的零磨损；自超滑的材料选择拓宽至各类三维材料表面。（郑泉水组）

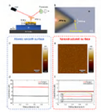


深圳超滑技术平台落成。



2023

在大气环境下，实现稳定的2D/3D微米自超滑状态。（郑泉水组）



突破全球最大尺度毫米级无褶皱自超滑材料技术。



2024

成功研制新一代产品样机。（郑泉水组）



2025

研发出自超滑射频开关、微动发电机、微特电机三款颠覆式产品。（郑泉水组）



自超滑微系统中试平台入选国家级首批重点培育中试平台初步名单。



完成亿元级Pre-A轮融资。本轮融资由深圳前海方舟领投，多家知名机构共同参与。



自超滑“根技术”全生命周期规划

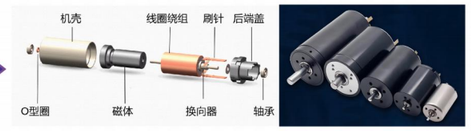
SELF-FUPERLUBRIC"ROOTTECHNOLOGY"
FULL LIFECYCLE PLANNING

政产学研金服




1-2年

自超滑微特电机(一代)

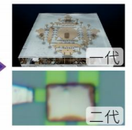


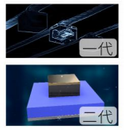


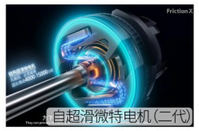


3-5年

自超滑射频开关　自超滑微动发电机



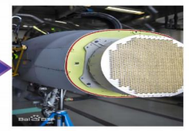


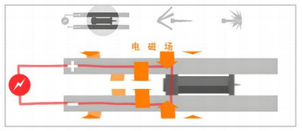


相控阵雷达
（自动驾驶、低空经济、气象预测）　存算一体　电磁轨道



5-10年

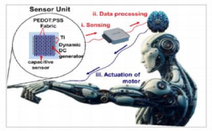


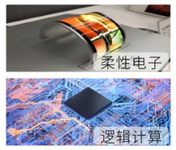


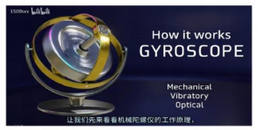
机器人灵巧手触觉传感　惯性导航



10-15年





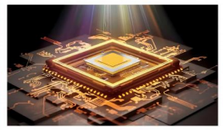


X-Idea创意聚变
从“疯狂想法”到“痛快成长”



15年以上

血管机器人　信息光子　脑机接口


自超滑微系统与生态

SELF-SUPERLUBRICITY MICROSYSTEMS





深圳超滑技术平台

SHENZHEN SUPERLUBRICITY TECHNOLOGY PLATFORM

深圳市重点实验室

深圳清华大学研究院超滑技术研究所建设的超滑技术实验平台（简称：深圳超滑技术平台，SSTP），是深圳市重点实验室，由深圳市政府和坪山区政府支持，于2021年在深圳坪山落成并由超滑技术研究所运营。平台集自超滑技术研究、产业化支撑、微纳加工服务和科技教育为一体，致力于颠覆性技术应用研发。

平台于2024年通过ISO9001-2015质量管理体系认证，是深圳微纳制造产业促进会副会长单位、清华大学和深圳技术大学的实习基地。平台配备300余台微纳加工、封装及测试表征设备，其中大型设备40余台，具备6英寸自超滑MEMS/NEMS芯片研发与全流程制备能力，同时大部分单步工艺支持8英寸芯片加工。基于先进设备，平台已建立5大模块、19个方向、共107项微纳加工标准工艺。

平台将数字化工具深度融入实验管理全流程，依托尖端设备、精湛工艺与卓越服务体系，已成功为数百家企业及科研机构提供服务。未来，平台不仅赋能全球先进制造业的升级迭代，更致力于推动前沿科学探索与基础研究的突破，为从创新源头到产业应用的完整生态链提供坚实可靠的技术支撑。

平台服务项目

自超滑材料及器件概念验证及中试服务

材料	提供多种自超滑材料制备、组装、测试服务
器件	提供自超滑器件概念验证及中试服务

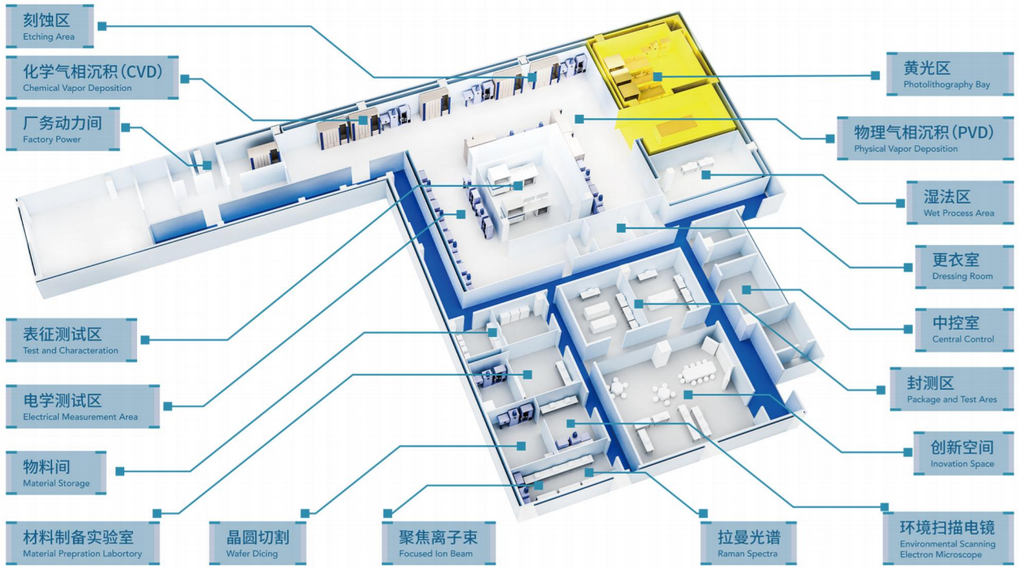


微系统制备概念验证及中试服务

- **微纳米制造工艺技术验证服务** — 为微纳器件产品的制造工艺路线提供概念验证
- **设备/材料验证服务** — 为半导体制造领域的设备、材料供应商提供产品验证
- **工艺技术开发服务** — 为微纳器件制造提供关键工艺、前沿工艺的开发
- **器件产品的打样及流片开发服务** — 为微纳器件提供研发打样，小批量代工，纳米压印模版制造等服务

全球领先的平台环境

ENVIRONMENTS



2600m²
实验平台总建筑面积

1000m²
洁净实验室面积

500m²
创新实验区

微系统制备洁净实验室

·百级洁净区 130 平方米，千级洁净区870平方米
·分布式和 ballroom 相结合的洁净室布局，满足研发到量产需求
·工艺布局：黄光区、湿法工艺、干法工艺、表征/测试等

自超滑技术研究特色实验室

·万级洁净材料制备室200平方米
·先进的开放互动式实验平台布局
·满足多种自超滑材料及产品开发验证需求



平台六大功能区

百级黄光区



千级刻蚀区



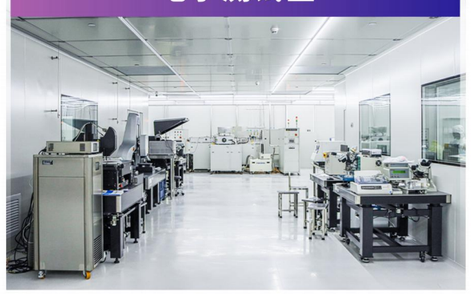
千级镀膜区



千级湿法区



电学测试区



表征测试区





尖端科研设备
EQUIPMENTS

300+
拥有设备台/套数

光刻设备

主要设备

5 nm精度电子束曝光(EBL)　接触式光刻机　激光直写光刻机
纳米图形阵列光刻机(Talbot)　双光子纳米三维激光直写机



5 nm最小线宽
电子束曝光机 EBL
Electron Beam Lithography (EBL) System



800 nm最小线宽
紫外光刻机 Aligner
Mask Aligner



600 nm最小线宽
激光直写光刻机
Laser Lithography System



250 nm最小周期
纳米图形阵列光刻机
Talbot Exposure System

刻蚀设备

主要设备

感应耦合等离子体刻蚀机(金属)(ICP)　离子束刻蚀机(IBE)
反应离子刻蚀机(介质)(RIE)　深硅刻蚀机(DRIE)



感应耦合等离子体刻蚀机
(金属)
ICP Plasma Etcher
(ICP-RIE)



电感耦合等离子体刻蚀机 ICP
Inductively Coupled Plasma (ICP) Etchinge System



离子束刻蚀机 IBE
Ion Beam Etching (IBE) System



感应耦合等离子体刻蚀机
(介质)
ICP Plasma Etcher
(ICP-RIE)

镀膜设备

主设要备

LPCVD　电子束蒸发系统　等离子体增强原子层沉积机(ALD)　磁控溅射系统



低压力化学气相沉积机LPCVD
Low Pressure Chemical Vapor Deposition (LPCVD) system



电子束蒸发镀膜机EB
Electron Beam (EB) Evaporation System



等离子体增强原子层沉积系统PE- ALD
Plasma-Enhanced Atomic Layer Deposition (PE-ALD) System



等离子体增强化学气相沉积PECVD
Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) System



类金刚石薄膜沉积系统
Diamond-Like Carbon (DLC) Coating System



磁控溅射镀膜机
Magnetron Sputter

其他设备

湿法设备 7套　主要设备
RCA清洗台　湿法刻蚀台　手动晶圆电镀机　腔室式甩干机　桌面甩干机
有机清洗台　二氧化碳超临界点干燥仪　显影机

封装设备 13套　主要设备
CMP　半自动双轴减薄机　键合机　管式炉　晶圆切割划片机
引线键合机　封帽机　平行缝焊机

测试设备 12套　主要设备
薄膜应力测试仪　高低温射频探针台　接触角测量仪　微波网络分析仪
表面张力仪　半导体参数分析仪　硅片检测仪

检测设备 12套　主要设备
椭圆偏振光谱仪　高分辨原子力显微镜(AFM)　白光干涉仪　台阶仪
场发射环境扫描电镜(ESEM)　聚焦离子束电子束双束显微镜(FIB)

超滑研发设备若干套　主要设备
全自动化转岛设备　摩擦磨损试验仪　长工作距离金相显微镜
自动力控纳米操作机

定制化工艺体系
PROCESS DISPLAY

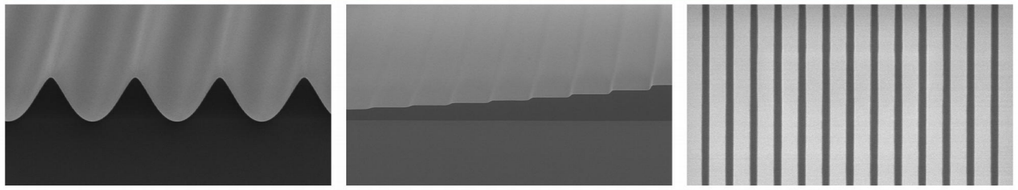
目前已整合的先进工艺

光刻（紫外光刻，激光直写，电子束光刻，Talbot光刻等）、镀膜（PVD、CVD、ALD等）、刻蚀（ICP、RIE、IBE、湿法等）、键合、CMP、表征测试、封装，可以承接：材料制备，器件工艺，器件加工，材料测试/器件测试。

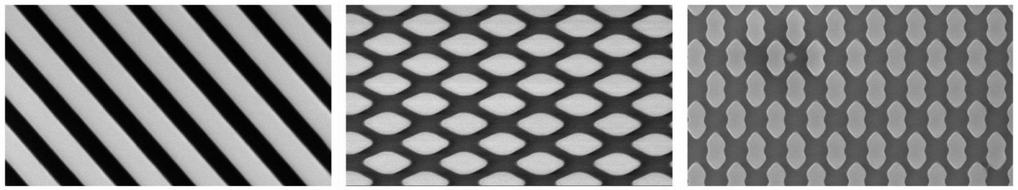
提供业内通用制造能力

- MEMS器件加工流片
- 微纳米光学及光电器件制备
- 提供定制化微纳米器件概念验证及制造
- 微流控及柔性电极加工及测试

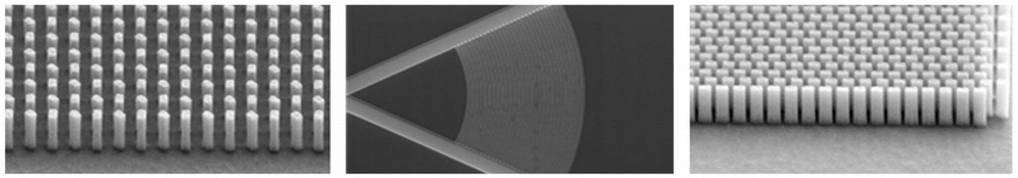
A. 大面积激光直写/微透镜阵列/256阶灰度



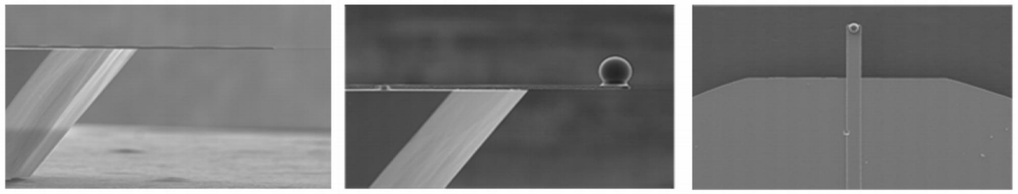
B. 纳米光学/纳米压印模板/大面积光栅曝光(nm级)



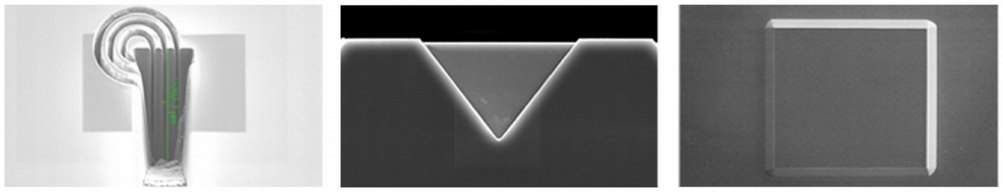
C. 硅基光电子/超表面/衍射光学元件



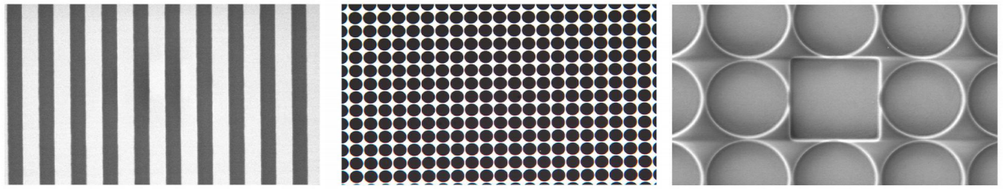
D. AFM探针悬臂梁



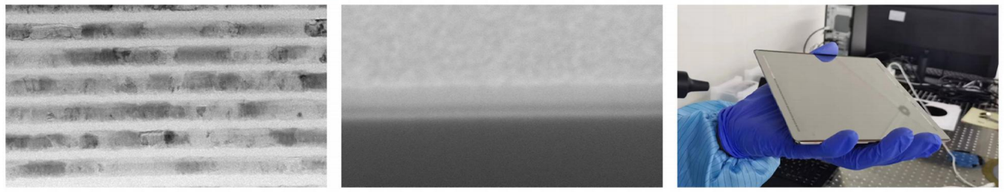
E. TSV深硅/硅湿法腐蚀



F. 小线宽金属刻蚀/小线宽金属剥离



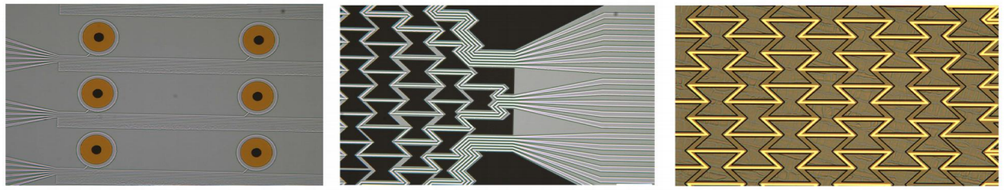
G. 介质及金属沉积/原子层沉积



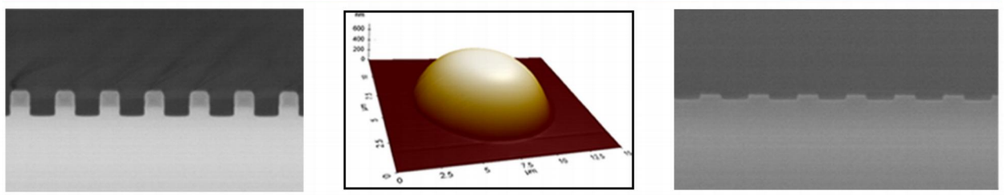
H. 微纳米流道/硅-玻璃阳极键合



I. 柔性电极



J. 石英刻蚀





平台内设机构
INTERNAL INSTITUTIONS



业务中心

业务开拓科
项目管理科
生产及物料控制科



工艺中心

黄光科
湿法科
干刻科
镀膜科



运维中心

设备管理科
厂务与动力系统科
安全生产科



测控中心

工艺整合科
质量管理科
测试科

构建五位一体服务体系

- 技术验证
- 工艺优化
- 批量试产
- 检测认证
- 产业对接

提供概念验证及中试服务

- 需求诊断
- 方案设计
- 工艺验证
- 小批量试产
- 检测认证
- 量产导入

集成数字化服务工具

- 需求发布
- 技术匹配
- 进度追踪
- 成果管理

对接资源，产业组局

- 对接“平台-高校-企业”设备共享资源
- 汇聚“力学、物理学、微纳制造、材料科学”产业联盟

合作伙伴
PARTNERSHIP

已对外服务高校、科研院所、企业累计100余家

院校

清华大学 Tsinghua University
浙江大学 ZHEJIANG UNIVERSITY
复旦大学 FUDAN UNIVERSITY
上海交通大学 SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY
哈尔滨工业大学 HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
华中科技大学
同济大学 TONGJI UNIVERSITY
南开大学 Nankai University
厦门大学 XIAMEN UNIVERSITY
天津大学 Tianjin University
南方科技大学 SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
深圳大学 SHENZHEN UNIVERSITY

企业

HUAWEI
比亚迪汽车 BYD
Tencent 腾讯
海康威视 HIKVISION
华大基因 BGI
HISILICON
微灵医疗 WE-LINKING
SHOKZ 韶音
IRay
Snibe Diagnostic 新产业生物
新凯来 SICARRIER
FLCT 艾博光通
国科红成
HONOR 荣耀
Goeroptics
Phenix 凤凰

研究院

杭州极弱磁场国家重大科技基础设施研究院
中国科学院光电技术研究所 THE INSTITUTE OF OPTICS AND ELECTRONICS THE CHINESE ACADEMY OF SCIENCES
中国人民解放军军事科学院 国防科技创新研究院
CETC 中国电子科技集团公司第四十五研究所
中国科学院
合肥综合性国家科学中心

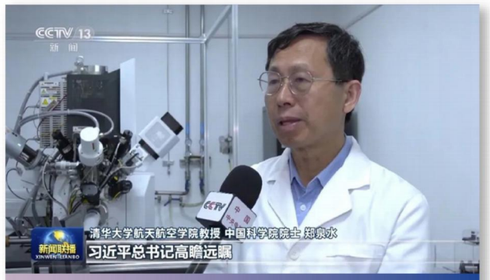
主流媒体聚焦

MEDIA



《新闻联播》关于教育事业的采访

2022.09.10



《新闻联播》关于基础研究和创新的采访

2023.05.06



央视《开讲啦》专访郑泉水院士

2023.07.22



深圳卫视《深视新闻》

2023.11.29



“结构超滑”作为第一个案例，被国家自然科学基金委员会收录在《凝练科学问题案例》中。

2023



深圳卫视《跟着院士去“追新”》

2024.03.07



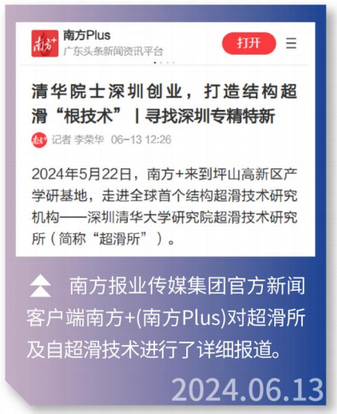
湖南卫视《新闻大求真》

2024.03.14



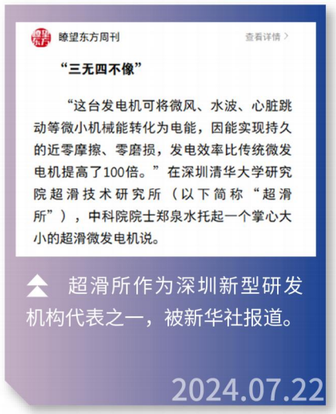
深圳特区报对自超滑技术进行了报道，该报道被收录于专题《高质量发展调研行》。

2024.06.10



南方报业传媒集团官方新闻客户端南方+(南方Plus)对超滑所及自超滑技术进行了详细报道。

2024.06.13



超滑所作为深圳新型研发机构代表之一，被新华社报道。

2024.07.22



深圳市“十五五”规划专家委员会成立大会暨第一次专家咨询会议召开，郑泉水院士受邀出席，围绕深圳构建源头创新生态、培育战略科技力量提出前瞻性建议，被深圳特区报报道。

2025.03.31



中央新闻记者专访深圳清华大学研究院超滑技术研究所，重点报道了郑泉水院士团队在自超滑基础研究领域的重大突破。

2025.05.06



深圳商报报道我单位重点实验室情况以及对国家战略布局的重大发展意义。

2025.05.16



俞敏洪对郑院士进行直播访谈

2025.06.14



南昌大学大湾区校友联盟成立

2025.06.21



X-Fusion“全球创新者，聚变大会”启幕

2025.07



IOTE2025·第二十四届国际物联网展上，全球首台自超滑“永续”微动发电机亮相。

2025.08.28

国际技术交流

COMMUNICATION ACTIVITIES



第二届 超滑国际研讨会
深圳・坪山 2019.10



第二十届 世界低碳城市联盟论坛
中国・深圳 2021.10



首届 全国颠覆性技术创新大赛
中国・杭州 2022.03



首届 超滑技术论坛
深圳・坪山 2021.03



2022华为全球战略与技术研讨会
中国・深圳 2022.09



张丹院士到访超滑所进行学术交流
深圳・坪山 2022.11



第十四届 全国表面工程大会
中国・武汉 2023.04



结构超滑器件2023国际研讨会
中国・深圳 2023.06



智能表面研讨会2023
中国・深圳 2023.08



深圳坪山“重点科技创新载体”颁牌仪式
深圳・坪山 2023.11



清华校友科创发展大会
中国・广州 2023.11



彭寿院士到访超滑所进行学术交流
深圳・坪山 2024.05



科技部到访超滑所开展调研活动
深圳・坪山 2024.09



九三学社领导访问超滑所
深圳・坪山 2024.10



2025年第三届国际结构超滑会议 2025.01



自超滑一期超预期结题
2025.01



IOTE 2025第24届国际物联网展 2025.08



央视鲁健访谈栏目组专访郑老师团队
2026.07

Friction X
清力技术

企业文化实践
CORPORATE ACTIVITIES


团建活动“冰壶之约”
深圳·坪山 2021.08



深圳市六合实业集团有限公司捐赠仪式
暨超滑技术研究所/深圳清力技术有限公司最新成果展示
深圳·坪山 2021.09



2022年度工作总结大会
深圳·坪山 2022.01


足球比赛
深圳·坪山 2023.07


“趣享运动·激扬年华”秋季活力运动会
深圳·坪山 2023.09



2023年年会
深圳·坪山 2023.01



深圳超滑技术平台技能大赛
深圳·坪山 2023.11


2024迎新春盛典
中国·惠州 2024.01



“点燃运动激情·绽放超滑风采”团建活动
深圳·龙岗 2024.05



读书沙龙
深圳·坪山 2024.03



“以学促优 追求卓越”清力卓越人才培养班
深圳·坪山 2024.12



清力超滑家庭日
2025.06



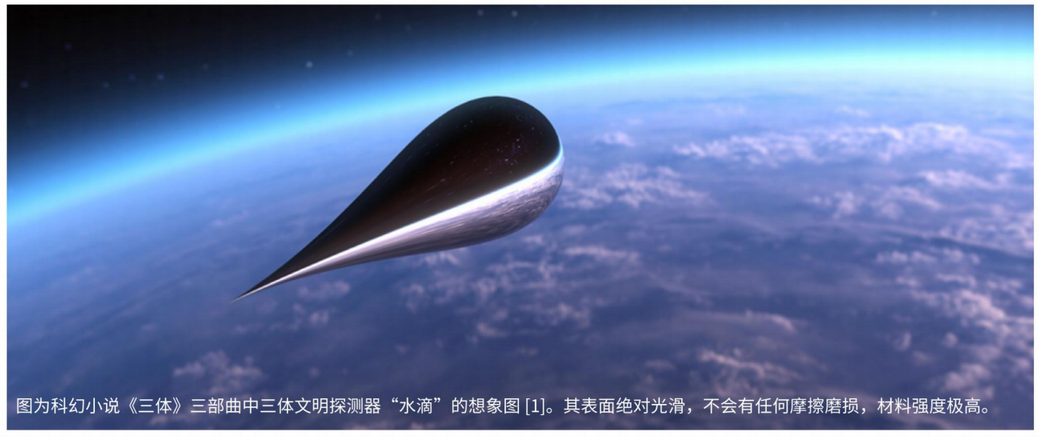
超滑新人文化导师团组建
2025.06



清力超滑3V3篮球赛
2025.06

从科幻到现实：自超滑科学与技术

FROM SCI-FI TO REALITY: SELF-SUPERLUBRICITY TECHNOLOGY AND SCIENCE



图为科幻小说《三体》三部曲中三体文明探测器“水滴”的想象图 [1]。其表面绝对光滑，不会有任何摩擦磨损，材料强度极高。

在刘慈欣的著名科幻小说《三体》三部曲中，三体文明的宇宙探测器“水滴”无疑是极强大又极唯美、令人震撼的存在。“水滴”这名称来自探测器的外形。在小说的设定里，由于“水滴”表面的所有原子都被强相互作用力死死地钉在一起，其表面呈现出原子级的绝对光滑，不会有任何摩擦和磨损。并且，“它的强度比太阳系中最坚固的物质还要高百倍，这个世界中的所有物质在它面前都像纸片般脆弱，它可以像子弹穿透奶酪那样穿过地球，表面不受丝毫损伤”（摘自小说原文）。在小说情节里，“水滴”正是靠着它的超高材料强度，和零摩擦零磨损的摩擦学特性，只是利用最原始的撞击，就让人类两千多艘太空战舰几乎全军覆没，而它自己却没有任何损伤。

小说写到，“水滴则外形完美……用精致的唯美消弭了一切功能和技术的内涵，表现出哲学和艺术的轻逸和超脱”。“水滴”在材料力学和摩擦学方面达到的技术境界确实令人神往。然而，根据人类目前的科学理论，原子间的相互作用不可能是强相互作用，而是弱很多的电磁相互作用，因此，上述“水滴”无法被制造出来。

那么，有没有哪种现实的技术有接近“水滴”那样的摩擦学性质呢？答案是有的，一个代表性的技术便是2012年前后开启的自超滑技术 [2–5]。

自超滑（self-superlubricity, 原结构超滑）定义为直接接触（不需要加润滑剂）的两固体表面间相对滑动时，摩擦力几乎为零、磨损为零的状态[4,5]。在这种状态下，其摩擦系数一般小至10^{-3}量级或更低，且界面不会发生磨损。长期以来，这种“零”摩擦状态只存在于科幻和理论猜测中。而现在，单个接触区域面积达100μm^{2}量级的自超滑已经能成熟地实现。单个更大接触面积乃至宏观的自超滑的实现，仍然在研究之中[5]。自超滑体系中常用的材料如单晶石墨，其面内确实很强（比钢铁强上百倍），表面也做到了原子级平滑，这两点和“水滴”也是有相似之处的。

在我们日常生活中，要降低无处不在的摩擦和磨损，使用润滑液是常见的做法。例如，自行车车轴上使用的润滑油，降低了相关零件的摩擦磨损，增长了自行车使用寿命。

但在微纳小尺度下（比人的头发丝直径更小），摩擦和磨损等表面效应会比在宏观尺度下更为显著【注一】。然而，在微纳小尺度接触面中使用润滑液却存在很大的困难。这是因为润滑液在微小尺度的限制下会非常粘稠（想象下粘稠的沥青），以及容易在压力下被挤出接触面，造成润滑失效[5]。因此，对于微小器件来说，由于无法使用润滑液，要降低摩擦磨损就必须避免器件里运动部件间的接触，这也成为了长期以来微小器件的普遍设计“准则”。我们日常使用的各种电子设备，比如手机、电脑中，会大量用到这些微小器件。因此，这个设计“准则”极大地限制了研究者和发明家对于微小器件乃至各种电子设备的想象和发明。自超滑技术利用了两个接触固体表面本征的材料性质，完全不需要润滑液，恰恰能颠覆式地突破以上设计“准则”的限制，赋予各种器件和电子设备设计全新的想象空间。

自超滑技术是一项平台性技术，除了以上提到的应用外，还有极大潜力被应用在高端制造、物联网、生物技术、绿色环保、航空航天等众多领域，催生一系列“从0到1”的开创性和颠覆性技术。特别是，因为第四次工业革命的很多领域（如物联网和生物技术）都会以微小尺度的元件作为基础元件之一，如微型电机、微型发电机、微机械开关等，而微尺度的自超滑技术已经成熟，因此这些颠覆性应用有望助推第四次工业革命。

可以大胆想象，未来利用自超滑技术和其他新科技，人类可以在追求“零”磨损的道路上走得更远。自超滑技术的发展和大规模应用，很可能会让人类的生产方式和体验发生翻天覆地的改变。

注释

注一：通常，一个物体的表面力和其表面积（近似正比于物体尺寸的平方）成正比，体积力（如重力）和体积（近似正比于尺寸的立方）成正比，所以表面力和体积力的比值(即表体比)和物体尺寸成反比，例如对于尺寸为1 m的物体，其表体比为~1，而对于尺寸为 1 μm 的物体，其表体比高达 10^6。因此，在宏观大尺度下，表面力远远小于体积力，可以忽略不计。而在微纳小尺度下，表面力则远远大于体积力，表面力的效应非常显著。

参考文献

[1] 刘慈欣，《三体》，重庆出版社，2006。

[2] Q. Zheng, B. Jiang, S. Liu, Y. Weng, L. Lu, Q. Xue, J. Zhu, Q. Jiang, S. Wang, and L. Peng, Phys. Rev. Lett. 100, 1 (2008).

[3] Z. Liu, J. Yang, F. Grey, J. Z. Liu, Y. Liu, Y. Wang, Y. Yang, Y. Cheng, and Q. Zheng, Phys. Rev. Lett. 108, 205503 (2012).

[4] 郑泉水，欧阳稳根，马明，张首沫，赵治华，董华来，林立, 科技导报 34, 12 (2016)。

[5] O. Hod, E. Meyer, Q. Zheng, and M. Urbakh, Nature 563, 485 (2018).

“自超滑技术的未来充满无限可能，我们需要全球范围内的合作与创新，共同迎接‘零摩擦’时代的到来。”

——郑泉水院士