

湖南省自然科学奖提名书

(2020 年度)

一、项目基本情况

提名单位（专家）		湘潭大学		
项目名称		超疏水表面的多尺度微纳结构与可控浸润行为		
主要完成人		王秀锋、李文、欧阳晓平、解德刚		
主要完成单位		湘潭大学、西安交通大学		
省财政资金拨款单位				
学科分类 名称	1		代码	
	2		代码	
	3		代码	
所属科学技术领域				
任务来源				
具体计划、基金的名称和编号： 1、国家自然科学基金面上项目，高压电缆表面超疏水性与其覆冰行为研究（No. 20973146） 2、湖南省教育厅重点项目，超疏水性表面的微纳结构设计制备（No. 08A068）				
已呈交的科技报告编号：				
项目起止时间		起始： 2007 年 1 月 1 日		完成： 2018 年 3 月 7 日

湖南省科学技术奖励工作办公室制

二、提名意见

(适用于提名单位)

提名单位	湘潭大学		
通讯地址		邮政编码	
联系人		联系电话	
电子邮箱		传 真	
提名意见： 本项目针对多尺度微纳表面的浸润行为等重要基础科学问题，提出了相关热力学理论模型，开发了具有特殊浸润性的油水分离界面材料。这对实现绿色制造工程与资源综合利用具有重要意义。已发表的8篇代表作被谷歌学术他引554次（SCI他引404次）。其中关于分形微结构有利于形成稳定超疏水状态的工作，被“荷叶效应”提出者W. Barthlott教授在其四篇经典综述中重点引用，并被纳米力学与摩擦学权威专家B. Bhushan教授等业内先驱广泛关注，单篇他引126次；关于超疏水超亲油多孔材料的实验结果，发表三年多即被Nano Today、ACS Nano等重点引用，单篇他引56次。关于结构梯度表面液滴自发运动的理论被超浸润研究领军人物江雷院士的多个突破性研究作为理论依据，包括：蜘蛛丝集水效应(Nature, 2010)、仙人掌空气凝水现象(Nature Comm., 2012)及仿生圆锥形铜丝材料的雾水收集(Adv. Mater., 2013)等，单篇他引137次；本项目也被Annu. Rev. Fluid Mech. (顶尖力学综述期刊)、Prog. Mater. Sci.、Chem. Rev.等综述文章作为重要进展介绍。 提名该项目为湖南省自然科学奖 二 等奖。			
声明：本单位遵守《湖南省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，所提供的提名材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极调查处理。 提名单位（盖章） 年 月 日			
提名项目等级（请在相应栏打“√”进行选择）			
一等奖		第一完成人签字： 年 月 日	
二等奖	√		
三等奖			
说明：实行“定标定额”评审，一等奖评审落选项目不再降格参评二、三等奖，二等奖评审落选项目不再降格参评三等奖。评审公示后不受理对评审结果中有关提名等级的异议。请认真对照省自然科学奖授奖条件，填写提名等级。			

三、项目简介

浸润性是固体表面的重要特征之一，它是由表面的化学组成及微观结构共同决定的。当表面出现较低的浸润特性（即静态接触角 $\geq 150^\circ$ 和接触角滞后 $\leq 5^\circ$ ）时，称之为超疏水性。自然界中许多动植物具有这种特性，如荷叶等。液体在超疏水表面的浸润行为依赖于其表面的特殊微纳几何结构。因此，理解超疏水性表面的热力学机制，建立表面微结构与浸润行为的定量关系，对研发功能化超疏水界面材料具有重要意义。本项目提出了一个具有清晰物理图像和普适性的热力学模型，并成功应用于特殊润湿性的柔性多孔界面材料的制备中，为新型微纳表面的特殊润湿行为的物理解释及相关多功能界面材料的开发提供了理论依据和应用典范。主要成果包括：

一、本发现通过对实验中超疏水表面浸润状态的观察，从热力学角度建立了能量模型，得出了仿生超疏水表面的稳定性起源于其结构的微纳多尺度组合，并提出了超疏水表面粘附性能调控的新策略。

二、以重要科学发现一为理论基础，发现了一类具有多尺度微纳复合结构的二硫化钼多孔材料。它具有超疏水及超亲有机物的浸润特征，同时兼备力学稳定性、耐久性和抗阻燃等优点，在连续油水分离等领域极具应用。

三、从热力学角度对微纳超疏水表面中液滴的各向异性和梯度润湿行为进行了分析，对其定向润湿和自驱动现象给出了解释，并提出了合理几何优化方案。为构建低成本、无泵微流控芯片提供新思路。

本项目 8 篇代表作被谷歌学术他引 554 次（SCI 他引 404 次）。其中关于分形微结构有利于形成稳定超疏水表面的工作，被“荷叶效应”的提出者 W. Barthlott 教授在其四篇经典综述中重点引用，被纳米力学与摩擦学国际权威专家 B. Bhushan 教授等多次引用，单篇他引 126 次；关于超疏水超亲油多孔材料的实验结果，发表三年多即被 *Nano Today*、*ACS Nano*、*Adv. Sci.* 等期刊广泛引用，单篇他引 56 次；关于结构梯度表面液滴自发运动的理论，被超浸润研究领军人物江雷院士的多个突破性研究作为理论依据，包括：蜘蛛丝集水效应(*Nature*, 2010)、仙人掌空气凝水现象(*Nature Comm.*, 2012)及仿生圆锥形铜丝材料的雾水收集(*Adv. Mater.*, 2013)等，单篇他引 137 次。本项目也被 *Annu. Rev. Fluid Mech.* (顶尖力学综述期刊)、*Prog. Mater. Sci.*、*Chem. Rev.* 等综述文章作为重要进展介绍。项目组共获国家自然科学基金 2 项，省部级主要项目 4 项，指导研究生获湖南省优秀硕士学位论文 2 篇。

五、客观评价

申请团队以多尺度微纳超疏水表面的可控浸润行为研究主题，分别从热力学理论分析和相关应用开展工作。8 篇代表性论文 SCI 他引用 433 次，得到了国内外同行先驱的肯定和高度评价。具体评价如下：

“荷叶效应”提出者、德国波恩大学 W. Barthlott 教授在其 4 篇经典综述中多次引用代表作 1，指出分形结构有利于稳定超疏水表面的形成(如在综述 *Prog. Mater. Sci.*, 2009, 54:137 中描述：“Hierarchical surfaces are the preferred structures for highly water repellent surfaces”^{[55], [115]}”，参考文献 115 为本项目代表作 1。另三篇综述分别为：*Phil. Trans. R. Soc. A*, 2009, 367:1487；*Soft Matter*, 2008, 4:1943；*Adv. Colloid Interface Sci.*, 2011, 169:80)。

代表作 1 被纳米力学和摩擦学权威专家、俄亥俄州立大学 B. Bhushan 教授和“荷叶效应”提出者 W. Barthlott 等共同撰写的专著中重点描述了我们的势力学理论结果，并指出这将为超疏水表面润湿状态的新分类提供更多解释：“... as new classifications of wetting states of superhydrophobic surfaces. Li and Amirfazli^[41,155] combined theoretical calculations with experimental data by analyzing the thermodynamics ...”(Springer Handbook of Nanotechnology, pp 1427)，文献 41.155 为代表作 1。

法国尼斯大学的 F. Guittard 教授在多篇综述中重点引用代表作 6：“Liu et al.^[28] also proposed a thermodynamic approach to explain the role of the hierarchal features in determining ...”(J. Colloid Interface Sci., 2013, 402:1；Chem. Rev., 2014, 114:2694)，文献 28 为代表作 6。

代表作 5 三年多时间被他引 56 次，被加州大学 Berkeley 分校的 B. Mi 等在综述中专门用两段文字重点介绍，并指出我们的超疏水超亲有机物材料优于已报道的众多吸附材料：“Hydrophobic interaction is primarily responsible for the removal of oil and organic solvents by MoS₂-based adsorbents.⁸⁸ ... Such superhydrophobic MoS₂ exhibits excellent adsorption toward a wide range of oils and organic solvents with a capacity of 82 to 159 times its own weight, out performing many commercial and previously reported high-performance adsorbents...”(Environ. Sci. Technol. 2017, 51:8229)，文献 88 为代表作 5。

代表作 2 和 5 被德州大学奥斯汀分校 Emma Fan 教授等在综述中引用, 并将本项目的油水分离装置做为文章中的图 10(B)“*Continuous collection of gasoline in situ from a water surface with a MoS₂ coated MF sponge* ^[235].”(Nano Today 2019, 29:100799), 上述文献 89 和 235 为代表作 5。

代表作 8 被 A. Chen 等引用并指出我们材料具有优异的超疏水性能, 甚至较大服役温度范围: “*Wan et al* ^[113] *presented a MoS₂@RTV sponge, which exhibited excellent hydrophobicity (WCA >145°) even exposed to 200 °C and -20 °C.*”(Chem. Eng. J, 2019, 373:213), 文献 113 为代表作 8。

代表作 3 已成为众多自然界新发现和实验制备的理论基础。被超浸润研究领军人物中科院理化所江雷院士的多个突破性进展作为理论依据, 包括: 蜘蛛丝集水效应(Nature, 2010, 463:640 中描述为“*Surface energy gradients can arise from ... surface roughness*^{21,22}...”)、仙人掌的空气凝水现象(Nature Comm., 2012, 3:1247 中描述为“*The gradient of roughness generates a gradient of wettability, (that is, a gradient of surface-free energy)*”²⁸⁻³⁰)等, 文献 22 和 30 为代表作 3。代表作 3 被业内顶级力学和材料综述期刊广泛重点引用, 如: “*... gradients in contact angle ... imposed by varying the post or ridge spacing or size could induce drop motion in the direction of decreasing advancing contact angle* (Fang et al. 2008, Shastry et al. 2006, Yang et al. 2006)”(Annu. Rev. Fluid Mech., 2010, 42:89); “*Fang et al.* ^[89] *demonstrated transportation of a single droplet using hydrophobicity differences on various textured surfaces*”(NPG Asia Mater. 2011, 3:49); “*Fang et al. investigated the thermodynamic mechanisms responsible for the droplet motion on micropatterned surfaces and concluded that ...*”^[168](Surf. Sci. Rep. 2014, 69:325)。文献“Fang et al. 2008”、89 和 168 均为代表作 3。

代表作 4 被麻省理工的 P. Lopez 教授专门用两大段文字重点介绍本项目的热力学理论并高度评价: “*Free energy thermodynamic analysis was successfully used to simplify calculations ... with periodical pillar structures.*”^[54] ... *This facile and robust thermodynamic approach also proves suitable for the study of anisotropic wetting behavior on a simple superhydrophobic surface with a parallel grooved microtexture.*”^[55]”(Adv. Mater. 2012, 24:1287), 其中文献 54 为我们以前的工作, 文献 55 为代表作 4。

六、代表作及论文目录

序号	代表作及论文名称/刊名/作者	影响因子	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时间 (年 月 日)	通讯作者 (含 共 同)	第一作者 (含 共 同)	国内作者	他引总次数	SCI 他引次数	知识产权是否 归国内所有	是否 代 表 作
1	Hierarchical structures for natural superhydrophobic surfaces / <i>Soft Matter</i> / Wen Li, A. Amirfazli	3.39	2008 年 4 卷 462 页	2007 年 12 月 18 日	李文	李文	李文	126	87	是	是
2	Bifunctional MoS ₂ coated melamine-formaldehyde sponges for efficient oil-water separation and water-soluble dye removal / <i>Applied Materials Today</i> / Zuteng Wan, De Li, Yanli Jiao, Xiaoping Ouyang, Lingqian Chang, Xiufeng Wang	8.01	2017 年 9 卷 551 页	2017 年 9 月 28 日	王秀锋、常凌乾	万祖腾、李德	万祖腾、李德、欧阳平、王秀锋	24	14	是	是
3	Droplet Motion on Designed Microtextured Superhydrophobic Surfaces with Tunable Wettability / <i>Langmuir</i> / Guoping Fang,	3.68	2008 年 24 卷 11651 页	2008 年 9 月 13 日	李文、乔冠军	方国平	方国平、李文、王秀锋、乔冠军	137	94	是	是

	Wen Li, Xiufeng Wang, Guanjun Qiao										
4	Anisotropic Wetting Behavior Arising from Superhydrophobic Surfaces: Parallel Grooved Structure / <i>The Journal of Physical Chemistry B</i> / Wen Li, Guoping Fang, Yongfeng Li, Guanjun Qiao	2.92	2008 年 112 卷 7234 页	2008 年 5 月 21 日	方国平、乔冠军	李文	李文、方国平、李永锋、乔冠军	93	73	是	是
5	Flexible Superhydrophobic and Superoleophilic MoS ₂ Sponge for Highly Efficient Oil-Water Separation / <i>Scientific Reports</i> / Xiaojia Gao, Xiufeng Wang, Xiaoping Ouyang, Cuie Wen	4.01	2016 年 6 卷 27207 页	2016 年 6 月 2 日	王秀锋、文翠娥	高晓佳	高晓佳、王秀锋、欧阳晓平	56	40	是	是
6	Thermodynamic Analysis on Wetting Behavior of Hierarchical Structured Superhydrophobic Surfaces / <i>Langmuir</i> / Haihua. Liu,	3.68	2011 年 27 卷 6260 页	2011 年 4 月 15 日	李文	刘海华	刘海华、张泓筠、李文	50	42	是	否

	hongyun Zhang, Wen Li										
7	A novel simple approach to preparation of superhydrophobic surfaces of aluminum alloys, <i>Applied Surface Science</i> / Degang Xie, Wen Li	5.15	2011 年 258 卷 1004 页	2011 年 9 月 17 日	李文	解德刚	解德刚、李文	48	38	是	否
8	Facile fabrication of a highly durable and flexible MoS ₂ @ RTV sponge for efficient oil-water separation / <i>Colloids and Surfaces A</i> / Zuteng Wan, Yangchengyi Liu, Shangda Chen, Kui Song, Peng Yua, Nie Zhao, Xiaoping Ouyang, Xiufeng Wang	3.31	2018 年 546 卷 237 页	2018 年 3 月 7 日	陈尚达、王秀锋	万祖腾、刘杨承毅	万祖腾、刘杨承毅、陈尚达、宋奎、喻鹏、赵镍、欧阳晓平、王秀锋	20	16	是	否
合 计								554	404		

补充说明：

承诺：上述代表作及论文用于提名湖南省自然科学奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的其他作者和其他署名单位的同意。知识产权归国内所有，且不存在争议。

第一完成人签名：

八、主要完成人情况表（之一）

姓 名	王秀锋	性别		排 名	1	国 籍	
出生年月				出 生 地		民 族	
身份证号				归国人员		归国时间	
技术职称	教授			最高学历		最高学位	
毕业学校				毕业时间		所学专业	
电子邮箱				办公电话		移动电话	
通讯地址						邮政编码	
工作单位	湘潭大学					行政职务	
二级单位						党 派	
主要完成 单位	湘潭大学					所 在 地	湖南省湘潭市
						单位性质	事业单位
参加本项目的起止时间							
对本项目重要科学发现的贡献： 本项目“重要科学发现二”中代表作 2、5 和 8，及“重要科学发现三”中代表作 3 的主要完成者，完成了多孔界面材料的构思、表征及相关应用的实验工作，热力学理论的推导和数据处理工作，论文的撰写工作等。							
曾获科技奖励情况：							
声明：本人同意主要完成人排名，遵守《湖南省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被提名的唯一项目（团队）。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。 本人签名： 年 月 日				主要完成单位声明：本单位确认该主要完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。 工作单位声明：本单位对该主要完成人被提名无异议。 单位（盖章） 年 月 日			

主要完成人情况表（之二）

姓 名	李文	性别		排 名	2	国 籍	
出生年月				出 生 地		民 族	
身份证号				归国人员		归国时间	
技术职称	教授			最高学历		最高学位	
毕业学校				毕业时间		所学专业	
电子邮箱				办公电话		移动电话	
通讯地址						邮政编码	
工作单位	江苏理工学院					行政职务	
二级单位						党 派	
主要完成 单位	湘潭大学					所 在 地	湖南省湘潭市
						单位性质	事业单位
参加本项目的起止时间							
对本项目重要科学发现的贡献： 本项目“重要科学发现一和三”中代表作 1、3、4、6 和 7 的主要完成者。负责各类微纳表面模型的构思、热力学理论的构建、自由能及能量障碍的分析和论文的撰写工作。							
曾获科技奖励情况：							
声明：本人同意主要完成人排名，遵守《湖南省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被提名的唯一项目（团队）。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。 本人签名： 年 月 日				主要完成单位声明：本单位确认该主要完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。 工作单位声明：本单位对该主要完成人被提名无异议。 单位（盖章） 年 月 日			

主要完成人情况表（之三）

姓 名	欧阳晓平	性别		排 名	3	国 籍	
出生年月				出 生 地		民 族	
身份证号				归国人员		归国时间	
技术职称	教授			最高学历		最高学位	
毕业学校				毕业时间		所学专业	
电子邮箱				办公电话		移动电话	
通讯地址						邮政编码	
工作单位	湘潭大学					行政职务	
二级单位						党 派	
主要完成 单位	湘潭大学					所 在 地	湖南省湘潭市
						单位性质	事业单位
参加本项目的起止时间							
对本项目重要科学发现的贡献： 本项目“重要科学发现三”中代表作 2、5 和 8 的主要完成者。负责项目构思、机理及数据分析，包括孔界面材料的油水分离方法等的提出。							
曾获科技奖励情况：							
声明：本人同意主要完成人排名，遵守《湖南省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被提名的唯一项目（团队）。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。 本人签名： 年 月 日				主要完成单位声明：本单位确认该主要完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。 工作单位声明：本单位对该主要完成人被提名无异议。 单位（盖章） 年 月 日			

主要完成人情况表（之四）

姓 名	解德刚	性别		排 名	4	国 籍	
出生年月				出 生 地		民 族	
身份证号				归国人员		归国时间	
技术职称	副教授			最高学历		最高学位	
毕业学校				毕业时间		所学专业	
电子邮箱				办公电话		移动电话	
通讯地址						邮政编码	
工作单位	西安交通大学					行政职务	
二级单位						党 派	
主要完成 单位	西安交通大学					所 在 地	陕西省西安市
						单位性质	事业单位
参加本项目的起止时间							
对本项目重要科学发现的贡献： 本项目“重要科学发现一”中代表作 7 的主要完成者。负责多尺度微纳超疏水表面的制备、显微形貌和接触角的表征、浸润机理分析等。							
曾获科技奖励情况：							
声明：本人同意主要完成人排名，遵守《湖南省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。该项目是本人本年度被提名的唯一项目（团队）。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。				主要完成单位声明：本单位确认该主要完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理工作。			
本人签名： 年 月 日				单位（盖章） 年 月 日			

九、主要完成单位情况表

单位名称	湘潭大学				
排 名	1	法定代表人		所 在 地	
单位性质		传 真		邮政编码	
通讯地址					
联 系 人		单位电话		移动电话	
电子邮箱					
对本项目科学发现的贡献：（限 600 字）					
主要体现在： 揭示了本征疏水材料结合荷叶仿生表面的多级几何结构有利于形成稳定的气液两相复合润湿状态。以科学发现一为理论基础，开发了一系列柔性超疏水超亲油纳米片二硫化钼海绵。可实现对多种有机物的选择性循环大容量吸收。提出了平行沟槽表面的势力学分析模型，成功解释了平衡接触角及其接触角滞后在非复合和复合状态中表现出来的各向异性和各向同性间的差异，得到了液滴的各向异性润湿性与其取向之间的定量简化关系。					
声明：本单位同意主要完成单位排名，遵守《湖南省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。 单位（盖章） 年 月 日					

单位名称	西安交通大学				
排 名	2	法定代表人		所 在 地	
单位性质		传 真		邮政编码	
通讯地址					
联 系 人		单位电话		移动电话	
电子邮箱					
对本项目科学发现的贡献：（限 600 字）					
主要体现在： 1) 建立了具有梯度浸润行为的超疏水表面的热力学分析方法。 2) 提出一种碱溶液刻蚀结合低表面能物质修饰的超疏水表面制备方法。					
声明：本单位同意主要完成单位排名，遵守《湖南省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。 单位（盖章） 年 月 日					

主要完成人合作关系说明

2007 年-2011 年期间,第一完成人王秀锋在第二完成人李文指导下攻读博士学位,从事热力学理论在微纳超疏水表面中的应用、合金表面的局域行为(包括表面能和电子功函数)的调控等进行研究。已共同立项国家自然科学基金项目 2 项(Nos. 10872177 和 20973146),共同在 *Langmuir* (2008)、*Phys. Rev. B* (2012)、*Europhys. Lett.* (2010)等主流学术期刊上发表论文 7 篇,并合作指导方国平、田甜等硕士研究生顺利毕业。具体见代表作 3 和附件 7。

2014 年-至今,第一完成人王秀锋在第三完成人欧阳晓平的研究团队开展关于超疏水超亲油二硫化钼海绵、柔性低粘附超疏水硅胶表面等研究工作,已共同在 *Lab on a Chip* (2020)、*Adv. Mater. Technol.* (2019)、*Appl. Mater. Today* (2017)等知名学术期刊上发表论文 5 篇,申请专利 1 项,并合作指导刘志哲、刘莹等多名硕士研究生。具体见代表作 2、5 和 8。

2009 年-2012 年,第四完成人解德刚在第二完成人李文的指导下完成了多尺度微纳超疏水表面的制备、显微形貌和接触角的表征、浸润机理分析等,相关结果发表在 *Appl. Surf. Sci.* (2011)上,合作论文见代表作 7。