

# 2017 年度国家自然科学奖公示内容

项目名称	功能纳米材料与低维物理
推荐单位（专家）意见	
<p>该项目发展了多种独特的功能纳米材料制备新方法, 制备出系列新型功能纳米材料, 并且将所制备纳米材料应用于构筑新型纳米器件, 同时, 在所制备的奇异纳米结构中观测到许多新奇的物理现象, 并且揭示了其背后深刻的物理机制; 在理论上建立了普适性的低维纳米结构生长和相变的热力学理论, 并将其应用于量子点、量子环、纳米线等的生长和相变研究, 揭示了系列纳米尺度下的奇异生长行为和生长规律, 为材料学家跨过传统“炒菜”方式的制备研究, 有目的地去探索新型纳米材料提供了理论基础。</p> <p>项目研究成果在国际学术上产生了重要影响并受到国际同行广泛的关注和高度评价。8 篇代表性论文发表在国际材料物理与化学类著名刊物包括 <i>Chemical Reviews</i> 1 篇、<i>Nature Communications</i> 1 篇、<i>Nano Letters</i> 2 篇、<i>ACS Nano</i> 1 篇、<i>Small</i> 1 篇等, 8 篇代表性论文平均 SCI 影响因子大于 13 (其中 IF&gt;10 有 5 篇), SCI 他引 650 次; 应邀在国际材料科学最具影响力的刊物 <i>Progress of Materials in Science</i> (IF=31) 发表综述论文介绍本项目低维纳米结构生长热力学理论, 应邀在国际化学科学权威综述刊物 <i>Chemical Reviews</i> (IF=36) 发表综述论文介绍本项目关于负曲率纳米结构的理论研究。</p> <p>推荐该项目为国家自然科学奖二等奖。</p>	
项目简介	
<p>本项目属于材料科学中的材料物理与化学领域, 具体研究包括低维纳米材料制备、物性和应用研究, 是近年来材料科学与物理学交叉国际科学前沿领域。</p> <p>低维纳米材料如零维量子点和二维超晶格等, 不仅在物理上展现出许多我们未曾预料到的新奇物性, 而且在器件应用上表现出传统器件所无法比拟的优越性, 已经在半导体工业中占据越来越重要的位置。受此启发和激励, 人们开始探索更为丰富的低维纳米材料体系, 并期待着能够看到更为奇妙的物理景象和更加优越的器件应用。这里“功能纳米材料”是指“具有特定功能如力、热、光、电、磁、气敏性等的纳米材料”包括量子点和纳米晶以及纳米线等等, 而“低维物理”是指低维纳米材料生长与物性的物理基础包括生长热力学和新物理效应等。本项目在此领域取得的成就如下:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 在国际科学文献上首次报道所发展的多种独特的功能纳米材料制备新方法如高纯水电化学沉积和外场 (电场和电化学等) 辅助液相激光熔蚀等等, 进而采用这些新技术制备出系列新型功能纳米材料如非晶氢氧化物纳米材料等, 并且将所制备纳米材料应用于构筑新型原理型纳米器件, 探索了这些新型纳米材料在新能源器件和高性能气敏传感器等领域的重要应用。</li><li>2. 从实验和理论方面在国际科学文献上首次报道多种奇异纳米结构所展现的新奇物理效应如在理论上率先提出了负曲率纳米结构的概念并预言了纳米孔结构材料的超稳定性、实验发现了空心半导体纳米柱发光聚集效应等等, 并且深入研究了这些新纳米效应背后的物理机制, 从而增进了人们关于低维纳米材料的物理学认知, 为探索其进一步的可能应用提供了科学基础。</li><li>3. 建立了普适性的低维纳米材料生长和相变的热力学理论, 并将其应用于量子点、量子环、纳米线等低维纳米结构的生长和相变研究, 在国际科学文献上首次报道了多种纳米尺度下的奇异生长行为如纳米尺度弯曲表面异质外延中的“表面粗化”和液滴外延中</li></ol>	

量子环与量子点的相互转化等等，为材料学家跨过传统“炒菜”方式制备研究，有目的地去设计新型纳米材料提供了理论工具。

上述研究成果在国际学术上产生了重要影响并受到高度评价，例如被国际同行认为在碳纳米结构制备方面做出先驱性(pioneering)贡献等等。8篇代表性论文发表在国际材料物理与化学类著名学术刊物包括 *Chemical Reviews* 1篇、*Nature Communications* 1篇、*Nano Letters* 2篇、*ACS Nano* 1篇等，平均SCI影响因子大于13 (IF>10有5篇)，SCI他引680余次；应邀为国际材料科学权威综述刊物 *Progress of Materials in Science* (IF=31.08) 撰写 Review 介绍本项目低维纳米结构生长热力学理论，应邀为国际化学科学权威综述刊物 *Chemical Reviews* (IF=37.36) 撰写 Review 介绍本项目负曲率纳米结构的概念与理论研究；应邀在国际重要学术会议做大会报告 (plenary lecture) 和邀请报告 (invited talk)；部分研究成果获2015年度广东省科学技术奖一等奖；杨国伟2005年获得国家杰出青年科学基金，2007年被聘为教育部“长江学者”特聘教授，2009年入选国家“新世纪百千万人才工程国家级人选”，2013年出任国家重大科学研究计划项目首席科学家。

### 客观评价

该项目研究成果受到了国际同行广泛关注和高度评价，8篇代表性论文被国际同行在材料物理与化学领域著名学术刊物如 *Phys. Rev. Lett.*, *Adv. Mater.*, *Nano Lett.*, *Angew. Chem. Int. Edit.*, *J. Am. Chem. Soc.* 等等，和权威性综述刊物 *Prog. Mater. Sci.*, *Chem. Rev.*, *Rep. Prog. Phys.*, *Surf. Sci. Rep.* 等等发表的论文正面SCI他引680次；下面列举具体有代表性评价：

#### 1. 新型功能纳米材料的制备和应用

该项目关于非晶过渡金属氢氧化物纳米材料制备及在新能源器件中的应用的的工作不仅纠正以往关于非晶态在电化学能源器件应用中的不正确看法，而且打开了非晶纳米材料通往新能源器件应用之门，受到了国际同行的高度评价。美国加州大学洛杉矶分校Dunn教授在 *Energy & Environmental Science* 7 (2014) 1597 发表的关于新能源器件电极材料的综述论文中积极评价该项目关于非晶氢氧化镍纳米材料的研究：“通过电化学沉积法沉积在石墨片上的质量为  $0.12 \text{ mg cm}^{-2}$  非晶  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  纳米片在一分钟的充放电过程中获得了一个非常高的电容量  $1500 \text{ F g}^{-1}$ 。”；中国海洋大学的科学家 B. H. Dong 教授等在 *Chem. Mater.* 28 (2016) 1355 一文中高度评价了该项目的工作：“杨等人报道非晶  $\text{Na}(\text{OH})_2$  和  $\text{Co}(\text{OH})_2$  纳米结构作为电化学赝电容材料具有高的容量和超长的循环寿命。特别是，杨等人第一次 (for the first time) 证实了作为超级电容器电极材料，非晶  $\text{Na}(\text{OH})_2$  和  $\text{Co}(\text{OH})_2$  纳米结构的综合电化学性能可与晶态材料相媲美。追随杨的研究 (Following Yang's studies)，国际上已经出现了很多关于将非晶纳米材料应用于能源存储器件的研究。”

该项目关于外场辅助液相激光熔蚀制备新型功能纳米材料的研究有力地推动了国际该领域研究的发展，论文被国际多个重要研究组在其发表的相关学术论文 Introduction 部分作为“立论依据”进行引用。美国 Dinu 教授在 *Appl. Surf. Sci.* 258 (2012) 9218 一文充分肯定了该项目的研究：“脉冲激光液相熔蚀技术是一种能够被广泛用于纳米晶制备的方法。这种技术不但易于使用，而且还避免了可能存在的（纳米颗粒）表面污染...目前，这一领域研究正朝着利用该技术的优点合成功能纳米结构方向发展。”；爱尔兰 Fanara 教授在 *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 69 (2013) 1765 一文高度评价该项目的研究：“水中的激光熔蚀技术已经被证明是一种能够用于制备纳米结构的通用技术，而且它还可以用于制备满足特定需要的多种化学组分纳米颗粒，纳米团簇以及纳米晶。”；印度理工学院 Pal 教授在 *Cryst. Growth. Des.* 14 (2014) 5034 一文中高度评价该项目的研究：“例如，刘等人报道了一种具有普适性的制备多金属氧酸盐纳米结构的电化学辅助激光液相融蚀技术，这种技术具有绿色，简便，无需催化剂，并且可以在常温常压下使用的特点。”

2008年10月28日 *Nature* 的 *Asia Materials* 的 (research highlight) 栏目以“Carbon

cubes”为题目用一个版面对该项目新型碳纳米结构的工作进行了评述：“这种碳纳米结构是第一次被观测到。”，“发光特性使得这些纳米碳方块在兰-紫色纳米发光器件中有着巨大的潜在应用。”；国际著名材料学家浙江大学 Jianrong Qiu 教授在 *Nanoscale* 5 (2012) 12092 一文高度评价了该项目对碳纳米结构研究的贡献：“特别是，杨研究组在该领（新型碳纳米结构）域做出了先驱性(pioneering)的贡献，他们已经通过液相激光熔蚀技术成功合成出了多种不同的碳纳米结构，并提出了相应的合成机理。”

美国 Farhan 教授在 *J. Alloys. Comp.* 508 (2010) L21 一文中高度评价该项目纳米线传感器的工作：“一维纳米结构由于具有更高的比表面特性，可以产生更大的表面活性及电荷积累，从而可以更好的改良传输特性，因而对于传统传感器来说是更好的替代者。”；韩国首尔大学 Hong 教授在 *J. Mater. Res.* 26 (2011) 2322 一文中积极评价该项目的研究：“纳米结构气体传感器显示出更高的敏感性及选择性，更快的响应性，更低的操作温度。”

## 2. 低维纳米结构的尺度效应及物理基础

西班牙 Tartaj 教授在 *Small* 7 (2011) 880 一文中高度评价该项目发展的负曲率特征多孔材料界面能模型：“（我们的理论）让人们认识到了纳米多孔材料的增强能力和奇异性能。”；韩国 Lee 教授引用该项目的理论解释他们在 *Nano. Lett.* 14 (2014) 5081 一文的发现：“欧阳及其合作者采用一种 CCA 模型和一种 GSCM 方法来处理这方面的问题，结果显示纳米孔洞材料的弹性系数是由圆柱形纳米孔洞的尺寸和多孔性来决定的。”

意大利 Pugno 教授在 *EPL* 97 (2012) 26002 一文高度评价了该项目关于负曲率纳米结构的理论：“特别需要指出的是，欧阳等人从负曲率纳米结构包括纳米空洞、纳米管及核壳纳米结构等的表面能出发，评述了这类纳米结构热力学行为的研究现状和最新进展。”、“欧阳及其合作者利用表面能和杨氏模量间的相互关联性预言了纳米孔洞材料杨氏模量。”；伊朗 Khoei 教授在 *Computational Materials Science* 79 (2013) 262 一文中积极评价了该项目的研究：“欧阳及其合作者提供了一种可以解析的热力学模型来解释纳米尺寸效应、界面方向性以及多层纳米结构间的界面位错所产生的界面能。同时，一种可被计算的解决方案也被欧阳及其合作者发展了出来，这种方法可以用于计算包括半导体纳米晶的尺寸，压力和能带结合能的大小。”

## 3. 低维纳米结构生长的热力学理论

美国 Mohammad 教授引用了该项目的理论来阐述其发表在 *J. Phys.: Condens. Mater.* 26 (2014) 423202 上的纳米线量子限域效应实验发现：“曹等人已经证明这（表面粗化）是一种由于纳米线核壳结构外延生长时候出现了从 Frank-van der Merwe 模式向 Stranski-Krastanow 模式转变而导致的结果。”；国际著名固体物理学家法国 Amato 教授在 *Chem. Rev.* 114 (2014) 1371 综述论文中充分肯定了本项目的研究：“曹等人的理论计算表明，对硅壳的粗糙修饰始于（纳米线）生长过程中出现 Frank-van der Merwe 模式向 Stranski-Krastanow 模式的转变。”

*Nanoscale Research Letters* 主编 Z. M. Wang 教授高度评价了该项目发展的液滴外延量子环的热力学模型，他们在 *J. Phys. D: Appl. Phys.* 47 (2014) 173001 综述论文指出：“基于成核热力学和生长动力学，李和杨已经建立了液滴外延制备量子环自组装过程的理论模型。他们的研究已经指出结晶的优先位置在液滴的边缘，Ga 原子的扩散决定了外环的演化。”

沙特阿拉伯阿卜杜拉国王科技大学 Wu 教授在 *Nano Lett.* 14 (2014) 4342 一文中积极评价了该项目发展的新热力学理论：“在热力学理论方面，曹和杨等人最近通过在 VLS 过程中引入热波动而发展出了一种新的理论模型，这个模型指出在生长过程中更高的生长温度将会导致生长出更平坦的纳米线。”

主要完成人情况						
第 (1) 完成人	姓名	杨国伟	完成单位	中山大学	工作单位	中山大学
	项目负责人, 是代表论文 1-8 的通讯作者和主要学术思想提出者, 对本项目所有重要科学发现即发现点 1-3 均做出了创新性贡献。					
	证明材料: 代表性论文 1-8 的通讯作者					
曾获得国家科技奖情况: 2011 年度国家自然科学奖二等奖						
第 (2) 完成人	姓名	欧阳钢	完成单位	湖南师范大学	工作单位	湖南师范大学
	代表论文 5-6 的第一作者, 对本项目重要科学发现即发现点 2 做出了创新性贡献。					
	证明材料: 代表性论文 5-6 的第一作者					
曾获得国家科技奖情况: 2011 年度国家自然科学奖二等奖						
第 (3) 完成人	姓名	刘璞	完成单位	中山大学	工作单位	中山大学
	代表论文 2-3 的第一作者, 对本项目重要科学发现即发现点 1 做出了创新性贡献。					
	证明材料: 代表性论文 2-3 的第一作者					
曾获得国家科技奖情况: 无						
第 (4) 完成人	姓名	李红波	完成单位	中山大学	工作单位	中国工程物理研究院
	代表论文 1 的第一作者, 对本项目重要科学发现即发现点 1 做出了创新性贡献。					
	证明材料: 代表性论文 1 的第一作者					
曾获得国家科技奖情况: 无						
第 (5) 完成人	姓名	李心磊	完成单位	中山大学	工作单位	华南师范大学
	代表论文 8 的第一作者, 对本项目重要科学发现即发现点 3 做出了创新性贡献。					
	证明材料: 代表性论文 8 的第一作者					
曾获得国家科技奖情况: 无						
代表性论文专著目录 (不超过 8 篇)						
序号	论文专著名称	刊名	发表时间	通讯作者	第一作者	产权是否归国内所有
1	Amorphous Ni(OH) <sub>2</sub> nanospheres with ultrahigh capacitance and energy density as advanced electrochemical pseudocapacitor	Nature Communications	2013	杨国伟、童叶翔	李红波	是

	materials					
2	A general strategy for fabricating polyoxometalate nanostructures: electrochemistry assisted laser ablation in liquid	ACS Nano	2011	杨国伟	刘璞	是
3	Micro-and nanocubes of carbon with C <sub>8</sub> -like and blue luminescence	Nano Letters	2008	杨国伟	刘璞	是
4	Fabrication of SnO <sub>2</sub> nanowire gas sensor and sensor performance for hydrogen	Journal of Physical Chemistry C	2008	杨国伟	王冰	是
5	Surface energy of nanostructural materials with negatives curvature and related size effects	Chemical Reviews	2009	杨国伟	欧阳钢	是
6	Nanoporous structures: Smaller is Stronger	Small	2008	杨国伟	欧阳钢	是
7	Physical mechanism of surface roughening of radial Ge-core/Si-shell nanowire heterostructure and thermodynamic prediction of surface stability of InAs-core/GaAs-shell nanowire structure/	Nano Letters	2013	杨国伟	曹媛媛	是
8	Growth mechanisms of quantum rings upon droplet epitaxy	Journal of Physical Chemistry C	2008	杨国伟	李心磊	是

#### 完成人合作关系说明

欧阳钢、刘璞、李红波、李心磊均是杨国伟教授的博士，本项目所有重要科学发现即发现点 1-3 均是他们与杨国伟教授合作在其博士论文期间完成的；代表性论文 5 是欧阳钢在博士毕业后对其博士研究课题的延深。

#### 知情同意证明

代表性论文 1 的共同通讯作者童叶翔对本项目采用该论文知情同意；  
代表性论文 4 的第一作者王冰对本项目采用该论文知情同意；  
代表性论文 7 的第一作者曹媛媛对本项目采用该论文知情同意。