**项目公示信息**

项目名称：仿生多功能三维超浸润渐变纳米结构的可控制备

与性能研究

主要完成单位：陕西师范大学，中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所，西安邮电大学

主要完成人：李娟，高雪峰，张智颖，任卫，马英俊，冯晨晨，黄靖波，苟彤，李雨欣，刘婷

项目简介：纳米仿生学已经成为各个工业发达国家的高度重视发展的学科方向，纳米仿生与各个领域结合促成了多种新兴技术和材料的诞生。近日，国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)公布的2021年度化学领域十大新兴技术榜单中，受荷叶启发的超浸润技术入选2021年度化学领域十大新兴技术。我国早在二十一世纪伊始，就将纳米仿生学的研究提高到了战略高度，在这个领域开源头创新竞争，引领产业发展，为国家和地方经济发展服务。面对中华民族伟大复兴的历史使命，发展低成本大面积纳米制造技术，将纳米仿生学原理应用于高性能材料开发和产品性能提升已成为我们研究的重中之重。

固体材料界面光反射和灰尘粒子附着清洁难是一个普遍存在的技术问题，也是近年来纳米仿生功能材料研究领域的国际热点。纳米仿生研究的最新成果表明：昆虫复眼以及蝉翼表面覆盖有三维纳米渐变突起阵列结构，该结构使得折射率自上而下逐渐变化从而能够大大的减少光的反射；其顶部极小的固液接触面积使得冷凝微滴可以通过融合释放的表面能而自驱动弹离，从而实现了湿气自清洁的性能，并且有望进一步实现器件的防雾防霜和高效换热功能；另外，理论上，由于纳米突起同样也极大减小了与固体灰尘的接触面积，灰尘很难在其上停留，因此天然就具有防污的性能；最后，纳米渐变突起部极小的曲率半径能够形成极高的激发局域场强，从而产生理想的拉曼信号增强效果，成为表面增强拉曼基底用于化学分子的检测。

然而这种结构在人工仿制上却举步维艰。传统的刻蚀（如光刻、小球自掩模刻蚀）加工工艺需要昂贵的大型仪器，成本高昂，且难以实现厘米尺度样品的制备，并且这种加工方式也不适于高聚物表面结构的制备。基于生物模板的纳米压印是在高聚物表面制备功能结构的常用的方法，但是以生物体作为模板，所得的结构往往具有随机性，性能难以保证，并且受生物的尺寸和周期所限，生物模板也难以真正应用到实际生产当中。另外，这些方法通常也无法同时实现仿生结构的多种功能，因此，如何通过简便易得的方法可控得到仿生三维渐变纳米突起并进一步通过优化结构参数使其同时具有多种功能就成为关键。

面对现有的技术瓶颈，项目组在国家重点研究发展计划（973），国家重大研究计划培育项目，国家自然科学基金项目以及陕西省自然科学基金面上项目等资助下，历时十一年时间，开展“仿生多功能三维超浸润渐变纳米结构的可控制备与性能研究”。首次提出高电场阳极氧化-腐蚀预图案与温和阳极氧化-腐蚀扩孔复合电化学工艺，实现了具有不同周期（60-1300 nm）和轮廓的复杂梯度渐变自有序纳米孔（倒锥形、带螺纹的倒锥形、铅笔形、漏斗形、抛物线形和喇叭形）阵列结构的快速定制；基于此利用纳米压印技术实现了高聚物以及玻璃表面仿生三维渐变纳米突起的可控制备，并系统研究了纳米结构参数（周期、高度、尖端尺寸）对宽谱（400-1000 nm）广角（30-60º）减反和超疏水冷凝微滴自驱离性能的影响，揭示了结构与功能关系，通过优化结构参数得到了同时具有超透（可见光波段>98%）防雾防污防霜湿气自清洁性能的玻璃，进一步，将纳米渐变突起与微米结构结合，在保证以上多功能的同时又实现了高雾度(>90%)扩散板，而微纳复合结构的冷凝传热性能也在研究中；另外，基于纳米渐变突起结构，设计制备了超亲水超疏水杂化表面增强拉曼基底，在提高拉曼信号的同时实现待检物质的定点均匀吸附,农药福美双的检测极限可达10-7M。

 该项目开发的结构参数可定制的氧化铝模板，成本低廉，与现有的电化学工艺兼容，可以作为普适性模板，用于聚合物、金属等表面纳米结构的可控制备；开发的超透防雾防污防霜湿气自清洁玻璃以及高透高雾度扩散板可广泛用于汽车挡风玻璃、高层建筑玻璃幕墙、太阳能电池封装玻璃、各种眼镜、LED等光学材料领域，不仅实现年产数亿元的高附加值，而且每年全国可节省数百亿的清洁费，节省大量的宝贵水电资源；研制的表面增强拉曼基底可以用于痕量物质（如农残，毒素）的快速检测。目前，我们正积极联系相关企业，探讨合适的技术方案，以实现这些产品的生产并应用到实际生活中。

主要知识产权目录(8篇代表作及专利、软件著作权等)：

**主要论文专著目录（限8条）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文专著名称 | 刊名 | 第一完成单位 | 作者 | 年卷页码（xx年xx卷xx页） | 发表时间 | 通讯作者 | 第一作者 |
| 1 | Facile fabrication of biomimetic films with the microdome and tapered nanonipple hierarchical structure possessing high haze, high transmittance, anti-fouling and moisture self-cleaning functions | *Chem. Eng. J.* | 陕西师范大学 | Yingjun Ma（马英俊），Tong Gou（苟彤），Chenchen Feng（冯晨晨），Juan Li（李娟），Ying Li（李颖），Jingbo Huang（黄靖波），Runmei Li（李润梅），Zhongyue Zhang（张中月），Xuefeng Gao（高雪峰） | 2021, 404, 127101 | 2020年9月 | 李娟，高雪峰 | 马英俊，苟彤，冯晨晨 |
| 2 | Superhydrophobic-superhydrophilic hybrid surface with highly ordered tip-capped nanopore arrays for surface-enhanced Raman scattering spectroscopy | *ACS Appl. Mater. Interfaces* | 陕西师范大学 | Jingbo Huang（黄靖波），Yihao Wen（文一豪），Juan Li（李娟），Ying Li（李颖），Tong Gou（苟彤），Yingjun Ma（马英俊），Yu Qu（屈瑜），Zhongyue Zhang（张中月），Wei Ren（任卫），Zhiying Zhang（张智颖），Ting Liu（刘婷），Runguang Sun（孙润广） | 2020, 12, 37499-37505 | 2020年8月 | 李娟，任卫 | 黄靖波 |
| 3 | A bioinspired, highly transparent surface with dry-style antifogging, antifrosting, antifouling, and moisture self-cleaning properties | *Macromol. Rapid Commun.* | 陕西师范大学 | Chenchen Feng（冯晨晨），Zhiying zhang（张智颖），Juan Li（李娟），Yu Qu（屈瑜），Danan Xing（邢丹丹），Xuefeng Gao（高雪峰），Zhongyue Zhang（张中月），Yihao Wen（文一豪），Yingjun Ma（马英俊），Jinjin Ye（叶锦锦），Runguang Sun（孙润广） | 2019, 40, 1800708 | 2018年11月 | 李娟，高雪峰，孙润广 | 冯晨晨，张智颖 |
| 4 | Fabrication of self-ordered alumina films with large interpore distance by Janus anodization in citric acid | *Sci. Rep.* | 陕西师范大学 | Yingjun Ma（马英俊），Yihao Wen（文一豪），Juan Li（李娟），Yuxin Li（李雨欣），Zhiying Zhang（张智颖），Chenchen Feng（冯晨晨），Runguang Sun（孙润广） | 2016, 6, 39165 | 2016年12月 | 李娟，孙润广 | 马英俊 |
| 5 | Self-organization process of aluminum oxide during hard anodization | *Electrochim. Acta* | 陕西师范大学 | Juan Li（李娟），Zhiying Zhang（张智颖），Yuxin Li（李雨欣），Yingjun Ma（马英俊）， Lin Chen（陈琳），Zhongyue Zhang（张中月），Runguang Sun（孙润广） | 2016, 213, 14-20 | 2016年9月 | 李娟，孙润广 | 李娟 |
| 6 | Facile fabrication of superhydrophobic hybrid nanotip and nanopore arrays as surface-enhanced Raman spectroscopy substrates | *Appl. Surf. Sci.* | 陕西师范大学 | Yuxin Li（李雨欣），Juan Li（李娟），Tiankun Wang（王天堃），Zhongyue Zhang（张中月），Yu Bai（白瑜），Changchun Hao（郝长春），Chenchen Feng（冯晨晨），Yingjun Ma（马英俊），Runguang Sun（孙润广） | 2018, 443, 138-144 | 2018年6月 | 李娟，孙润广 | 李雨欣 |
| 7 | Bio-inspired high-performance antireflection and antifogging polymer films | *Small* | 中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所 | Juan Li（李娟），Jie Zhu（朱杰），Xuefeng Gao（高雪峰） | 2014, 10, 2578-2582 | 2014年5月 | 高雪峰 | 李娟 |
| 8 | Facile method for modulating the profiles and periods of self-ordered three-dimensional alumina taper-nanopores | *ACS Appl. Mater. Interfaces* | 中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所 | Juan Li（李娟），Congshan Li（李从姗），Cheng Chen（陈诚），Qingli Hao（郝箐丽），Jie Zhu（朱杰），Xuefeng Gao（高雪峰） | 2012, 4, 5678-5683 | 2012年9月 | 高雪峰 | 李娟 |

**主要知识产权证明目录（限10条）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家  （地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 发明专利 | 氧化铝纳米纳米针及其与孔复合阵列结构的制备方法及应用 | 中国 | ZL201610042802.8 | 2019年02月26日 | 3268355 | 陕西师范大学 | 李娟，孙润广，李雨欣，张中月 |
| 发明专利 | 一种有序超大孔间距氧化铝膜的制备方法 | 中国 | ZL201610909822.0 | 2019年06月07日 | 3403674 | 陕西师范大学 | 李娟，马英俊，文一豪，孙润广 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

[请11月13日前报送项目公示信息及8篇代表作pdf](mailto:请3月21日前报送项目公示信息及15篇代表作pdf发送至chwang@snnu.edu.cn)，公示后的项目信息不能再变。