2021年招生计划

三、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1.博士论文研究方向： 高耐久性和可控润湿性超疏油/超亲水微纳复合结构功能表面的研究

选题类别：■基础性研究　□应用性研究　□工程技术攻关研究
□新开辟的研究方向　■已有研究方向的继续　□其他

2.博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

通过构造具有特殊润湿性的功能表面来实现对液体的选择性吸收或排斥已逐渐成为目前的研究热点。近年来研究环境保护和工业生产等领域中的油水分离问题已日趋重要，而目前研究较多的超亲油/超疏水表面在实际应用过程中表面很容易被油或其他杂质吸附，这些污染会导致表面功能失效[40-42]。而采用相反思路，研究制备超疏油/超亲水表面则会避免上述缺点。

超疏油/超亲水表面对油的粘附力极低，可以制作成抗污、低耗和高效的特殊润湿性表面，应用前景更为广泛。但理论上无法同时使单一材料表面具有超疏油和超亲水性，因此很难制备[43]。而目前相关文献研究的超亲水/水下超疏油表面需要先用水来浸润，过程复杂使其应用受限。因此，研究自然状态下超疏油/超亲水表面的润湿机理及制备方法已成为该领域的研究热点和发展方向。

对表面的润湿性控制也逐渐引起学者们的注意，具有润湿性可控的特殊功能表面势必会给智能材料、微纳流体系统研发等领域带来创新和进步，但目前相关控制技术尚刚刚开始，急需在理论和实验上研究特殊润湿表面的影响因素，揭示其影响机理和规律，探索利用外电场强度和紫外光照控制表面特殊润湿性的方法，进而实现可控油水分离。

此外，超疏油/超亲水微纳复合结构功能表面的液下稳定性及机械耐久度是持久保持表面润湿性，达到或接近实际应用的重要指标，目前鲜有关于这方面的深入研究，通过研究表面形成机理，提高特殊润湿性表面的制备工艺水平，具有重要的实用价值。

具体研究内容如下：

（1）新型微纳复合结构超疏油/超亲水表面制备方法和其“反常”润湿性形成机理的研究

设计一种具备微纳米级形貌的基于含氟表面活性剂的超疏油/超亲水表面的构造方法。分析不同参数选择，如氟链长短、氟链形态、溶液配制比例、溶液浓度等对涂层疏油性和亲水性的影响规律。对制备的表面微纳复合结构的微纳米级特殊形貌进行测量并建立其表征体系，测量涂层表面活性剂在纳米尺度上的分布特征，分析所制备表面对油和水的润湿性，进而分析探索所构建的特定功能表面的微观特征对超疏油/超亲水性的影响机理和规律，掌握产生超疏油/超亲水这一特殊润湿性的机理。

（2）提高超疏油/超亲水微纳复合结构表面液下稳定性及机械耐久性方法的研究

利用表面物理化学相关理论，研究无机亲水基团及有机聚合物亲水基团对表面亲水性能的影响。利用时间演化及连续工作实验等，探究具有高液下稳定性的表面物化结构方案。利用微纳尺度下摩擦理论和仿真分析的方法研究微纳复合结构涂层与基底间的结合力，并通过纳米压痕实验和刮擦实验等手段，研究影响超疏油/超亲水微纳复合结构功能表面的机械耐久性的因素。通过改进制备工艺，构造合理分布结构，提高微纳复合结构涂层与基底结合力和涂层自身强度，提高超疏油/超亲水微纳复合结构功能表面的机械耐久性。

（3）研究电场和紫外光照等外部刺激对超疏油/超亲水表面润湿性的影响规律

实验研究超疏油/超亲水涂层在外加电场影响下具有的润湿性的应激变化规律。通过引入TiO_2、硅烷等光敏材料构造微纳形貌，实现超疏油/超亲水表面在紫外光照下的可逆润湿性变化，并利用表面物理化学理论分析其演变机理。最终实现多种手段下超疏油/超亲水涂层的可控润湿性。

（4）超疏油/超亲水表面在可控油水分离上的应用研究

将涂层涂覆在多孔网状基底上构建具有油水分离功能的网膜，研究不同宏观结构，如网孔大小、线径和目数等参数对油水分离效率的影响，分别分析在电场和紫外光照下油对网膜的润湿/渗透特性，并设计实验进行验证，实现油水混合物的可控分离。

3.该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

高耐久性和可控润湿性超疏油/超亲水微纳复合结构功能表面的研究，国家自然科学基金面上项目，2019-2021。经费60万。

2021年招生计划

三、预计招收博士生的课题研究方向和研究工作简介

1.博士论文研究方向： 新冠肺炎标志物 IL-6 的石墨烯纳米生化电学传感器的研发

选题类别：☐基础性研究 ■应用性研究 ☐工程技术攻关研究

☐新开辟的研究方向 ■已有研究方向的继续 ☐其他

2.博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

2020年初，新型冠状病毒肺炎疫情席卷全球，对人民生命健康形成巨大威胁，给国民经济也造成了重大损失。新冠病毒利用血管紧张素转化酶-2作为受体蛋白进入肺组织细胞，促使肺部免疫细胞过度活化，产生大量炎症因子，典型如白细胞介素-6（Interleukin-6, IL-6），通过正反馈循环的机制形成细胞因子释放综合征（Cytokine release syndrome, CRS），即炎症风暴。由此可见，IL-6是诱发炎症风暴的重要通路，目前新冠肺炎采用的病毒核酸检测方法准确率仅有30~50%，如果能够实现IL-6的精准检测将为新冠肺炎的早期诊断提供一个新选择，具有重要的理论意义和实用价值。

传统的IL-6检测手段如免疫荧光试验（Immunofluorescence assay, IFA）、酶联免疫吸附和酶联免疫吸附法（Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA）、放射性免疫试验（Radio-immunoassay, RIA）等检测周期过长（4~8 小时），非常不利于快速确诊患者与及时控制疫情蔓延速度。

本课题拟利用二维纳米材料石墨烯连接漏源极的场效应晶体管（Graphene field effect transistor，GFET）具有响应快速（<5 min）、灵敏度高的优点，通过在石墨烯表面修饰单链脱氧核糖核酸（Single-stranded deoxyribonucleic acid, ssDNA）纳米探针分子可以实现对IL-6的检测。具体研究内容如下：

（1）提出h-BN栅介质埋栅型ssDNA-GFET结构

课题采用化学气相沉积法（Chemical vapor deposition, CVD）合成的单层（Monolayer）或多层（Multilayer）六方氮化硼（h-BN）作为栅介质代替SiO2和Al2O3等传统介电材料， h-BN具有优异的机械性能、电学及化学稳定性，它与石墨烯结构十分相似，都是六角形蜂窝状晶格结构，其表面平整无悬键，是已知最好的绝缘体二维纳米材料之一。

（2）提高ssDNA探针密度（决定捕获电荷密度）增强ssDNA-GFET对IL-6响应信号

通常ssDNA探针通过含有芳香环结构的1-芘丁酸N-羟基琥珀酰亚胺（1-Pyrenebutyric acid N-hydroxysuccinimide ester, PASE）锚固在石墨烯表面。当待测液中的带电IL-6分子被石墨烯表面的ssDNA探针捕获时，松散、线状的ssDNA探针会产生形态变化并蜷缩成稳定、紧凑的二级结构，将与石墨烯表面距离较远的IL-6分子携带到石墨烯表面仅几个nm的区间内，使得石墨烯的固-液接触界面电荷分布数量产生变化。

（3）缩短被捕获电荷与石墨烯表面距离增强ssDNA-GFET对IL-6响应信号

传统的ssDNA探针修饰方法中，ssDNA探针上可以与PASE分子结合的氨基基团被修饰在了探针的末端5端。当ssDNA探针捕获目标分子后，在转变形成稳定紧凑的二级构型过程中，由于一般的ssDNA探针链长过大，不但引入石墨烯表面静电感应有效区的电荷数量有限，而且引入有效区内的电荷与石墨烯表面之间距离也较远。倘若在相同检测浓度下，可以将更多电荷引入有效区，且使得电荷在ssDNA探针构型变化过程中更靠近石墨烯表面，则会使得石墨烯内部感应出更多的可移动载流子，增大石墨烯导电率，即漏-源电流变化幅度，从而有效增强传感器的响应信号。

（4）构建纳米隔离层提高ssDNA-GFET血液检测稳定性方法的研究

通过配制生理盐溶液模拟人体血液环境，定性、定量的类比分析人体血液中离子浓度变化和酸碱度（pH）变化对ssDNA-GFET的标志物分子响应稳定性的影响，总结归纳其规律，以期在研制过程中通过对传感器进行标定从而最大程度减小甚至消除相应环境条件变化引入的干扰。

采用石墨烯表面化学修饰或者物理沉积保护层等方法，将石墨烯表面与血液中的生物小分子有效隔离，三种隔离方法具体方案如下：

1)基于范德华力吸附的Tween分子纳米隔离层

2)基于化学共价键结合的PEG分子纳米隔离层

3)利用ALD或Sputter在石墨烯表面加工出的纳米级氧化物隔离层

3.该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

博士后创新人才支持项目，2020-2023,63万。