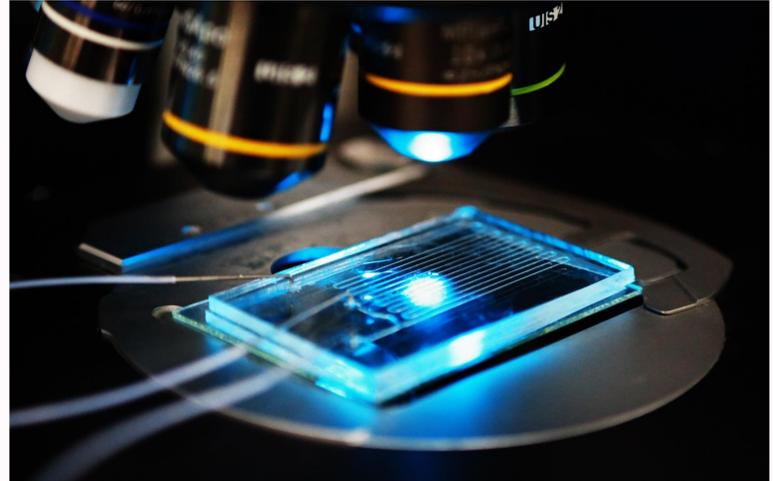




## 微尺度传输及界面现象实验室

微尺度传输及界面现象实验室是以能源、环境、精细化工及生化工程等为背景，研究其中关键的微尺度流动与传输问题以及微尺度界面现象，以自主微加工、先进观测技术、多相热质传输机理和分析为优势特色的科研实验室。

目前微尺度传输及界面现象主要研究工作包括微尺度热质传输机理及界面现象、多相催化反应过程流固耦合机制及物质传输、新型微反应器设计及优化等。实验室拥有光刻机、激光微加工中心等微加工设备； $\mu$ -PIV显微粒子成像测速仪、倒置/正置荧光显微镜、高速摄影仪等光学观测设备；红外及可见激光器、MFCS微压力源流体控制系统、高精度注射泵、光学平台及光学器件等实验设备。形成了微流控芯片设计加工-可视化观测-现象处理及机理分析的完整科研系统。



微尺度传输及界面现象实验室现有教授3名、特聘研究员1名，目前在读博士研究生12名，在读硕士研究生22名。近年来承担了包括国家杰出青年基金项目、国家优秀青年基金项目、国家自然科学基金重点国际合作研究项目、国家自然科学基金面上项目等国家和省部级项目10余项，近五年发表SCI论文50余篇，授权发明专利14项。

## 主要研究方向

气-液-固三相微反应器中两相流动传质及转化特性，光微流体技术中的两相流动及传热特性，太阳能光化学利用系统中的能质传递及转化特性，微流体燃料电池多相能质传递及产电特性，高效微流体反应器及系统构建等。

## 主要科研项目

- 国家杰出青年基金项目 (NO.51325602)：微流器件内多相反应流传热传质
- 国家优秀青年基金项目 (NO.51222603)：光微流体多相流传热传质
- 国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目 (NO.51620105011)：无膜微流体燃料电池内多相反应流传输和转化特性及强化方法
- 教育部新世纪优秀人才支持计划 (NO.NECT-12-0591)：光流体化学分离过程中的两相流动与热质传输特性
- 国家自然科学基金面上项目 (NO.50876119)：具有可渗透边界和气体逸出的微小槽道内气液两相流动行为及特性研究
  
- 国家自然科学基金面上项目 (NO.51276208)：具有催化反应边界的微小非圆截面通道内气-液-固三相反应流的流动及传递特性
- 国家自然科学基金面上项目 (NO.51376203)：层流型微流体微生物燃料电池内生物电化学及多组分传输特性
- 国家自然科学基金面上项目 (NO.51576021)：具有自呼吸光/电/化学催化反应边界的微小槽道内传递和转化特性
- 国家自然科学基金面上项目 (NO.51776026)：柔性线基被动式微流体燃料电池内两相传递及电化学转化特性
- 国家自然科学基金青年项目 (NO.51106188)：微小槽道内光热致气-液界面相变驱动的液体运动机理及特性研究
- 重庆市自然科学基金面上项目 (NO.CSTC,2011BB4071)：微通道内光控相变驱动微流体的运动机理及特性研究





# 气-液-固三相微反应器中两相流动传质及转化特性

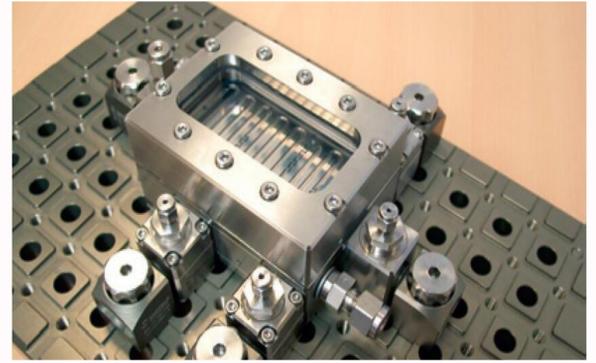
## 一、微反应器简介

微反应器是指采用微加工或精密加工技术加工、内部流道的特征尺寸一般在10-1000 $\mu\text{m}$ 之间、比表面积达到10000-50000  $\text{m}^2/\text{m}^3$  的微型反应器。微反应器具有比表面积大、传递速率高、副产物少、安全性高等突出优势，在化工、医药、生物等多个领域均有广泛应用。

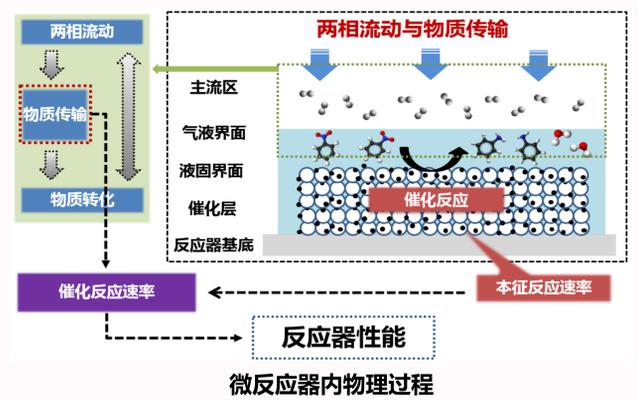
## 二、微反应器内多相反应流及物质传输转化

本课题组重点研究气-液-固三相微反应器内的两相流动、物质传输和反应转化问题。选择工业应用中常见的液相硝基苯与氢气在钯催化剂的作用下合成苯胺作为代表性气-液-固三相反应，针对钯催化剂在微通道内壁面的固定化开展研究，开发具有高催化活性及稳定性的催化层制备工艺；分析微反应器内耦合多相催化反应的气液两相流动行为、传输过程及对目标产物得率的影响规律；提出催化层和反应器结构的优化设计方案，为微反应器技术在化工、医药和环境工程领域内的应用和发展奠定理论基础。

## 三、主要研究进展



微反应器技术



### 1. 高性能催化层制备

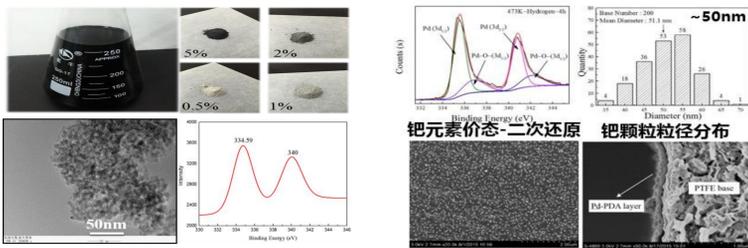


图1 催化剂形貌及钯元素价态分析  
图2 催化层形貌及价态分析

无电沉积方法简化制备工艺及催化活性提升

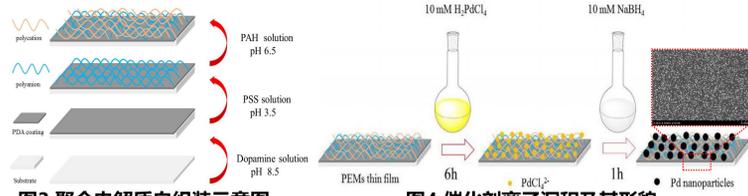


图3 聚合电解质自组装示意图

聚合电解质层层自组装制备高性能催化剂

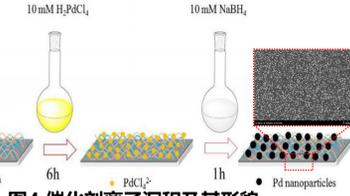


图4 催化剂离子沉积及其形貌

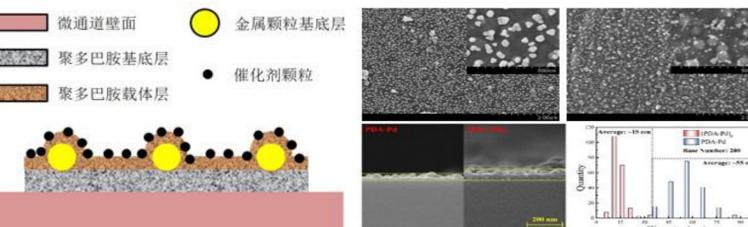


图5 多层复合结构催化层示意图

多层复合结构催化层提高催化剂分散性

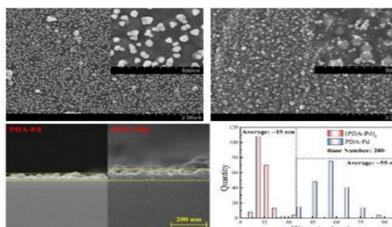


图6 催化层形貌及粒径分布

### 2. 微反应器内气-液两相流动及物质传输



图7 微通道加工流程及实物图

蛇形通道微反应器内两相流动



图9 反应器示意图

螺旋盘管式催化微反应器二次流强化传质及转化率

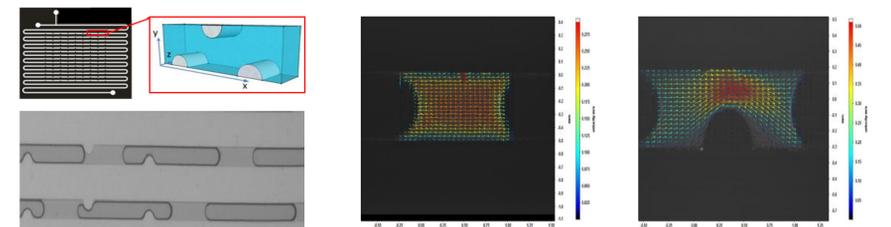


图11 带扰流柱结构的微通道

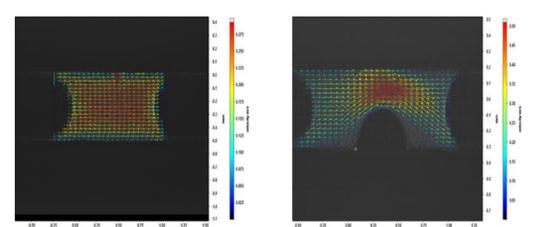


图12 有/无扰流柱结构微通道内速度场分布

### 3. 多孔结构整体式微反应器

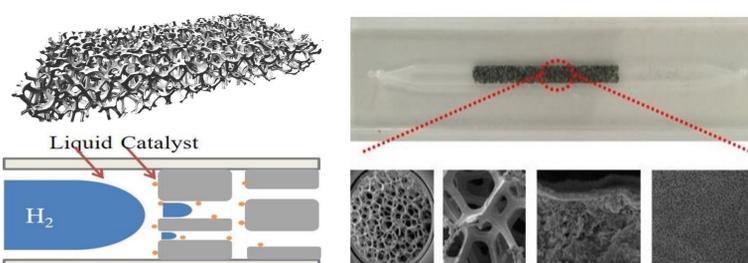


图13 多孔层内相分布示意图

多孔结构整体式微反应器提高催化剂负载面积及强化物质传输

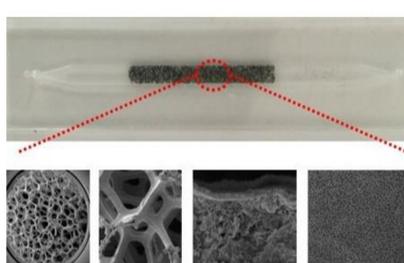


图14 整体式多孔反应器实物图及内部孔道结构

### 4. 高性能催化膜微反应器

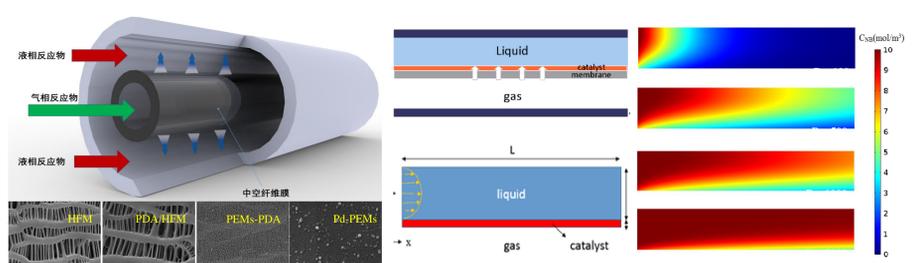


图15 催化膜式微反应器示意图及膜结构

催化膜微反应器提升反应物传输及转化率

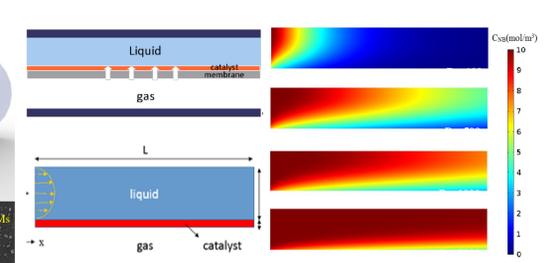


图16 模型计算区域及浓度分布



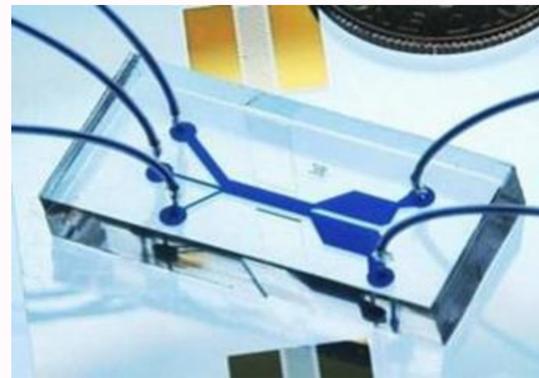
Welcome to CQU



# 光微流体技术中的两相流动及传热特性

## 一、光微流体技术简介

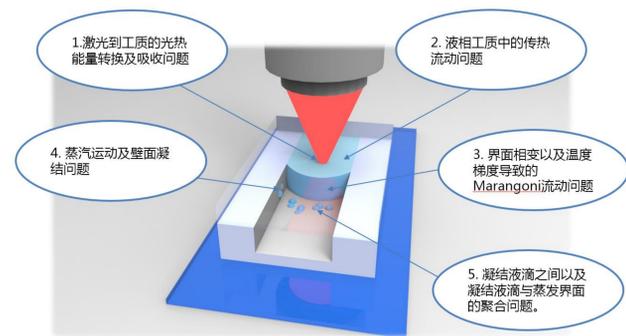
光微流体技术是指将光学技术应用到微流控技术中，利用光与流体之间的相互作用实现流体物理或化学性质的变化，从而达到光对流体操控的目的。光微流体技术不仅具有传统微流控技术精确、高效的优点，同时具有光学技术的优点，如灵活，精确及非接触式操控等。光微流体技术在生化分析、医学检测等领域有着重要的应用前景。研究光微流体技术中的能质传输机制及相变特性可以促进光微流体技术的发展，并指导新型光微流控芯片的设计。



光微流体技术

## 二、光控微流体流动及热质传输特性

本课题组重点研究光热效应诱导液体相变特性以及相变过程中的微观界面行为。针对封闭式光微流体技术，研究微通道内液体的光热效应致相变特性，实现了光热效应对微通道内流体的操控；针对开放式微流控芯片技术，组结合表面微结构，研究了光热效应下液滴的定向迁移，微液滴冷凝及运动特性等。相关成果为新型光微流体器件的设计及开发提供了新思路和新方法。



光热效应致流体相变物理过程

## 三、主要研究进展

### 1. 光热效应致相变特性

#### 光热效应致微通道内流体相变

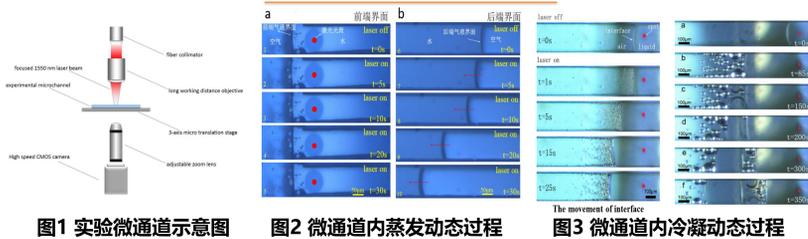


图1 实验微通道示意图

图2 微通道内蒸发动态过程

图3 微通道内冷凝动态过程

#### 光热效应致平面液滴相变

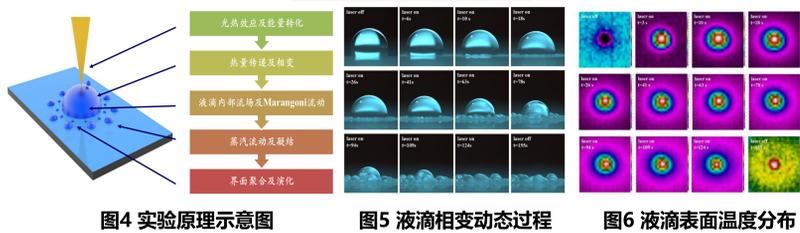


图4 实验原理示意图

图5 液滴相变动态过程

图6 液滴表面温度分布

### 2. 光热效应操控微通道内流体运动

#### 光热效应操控微通道内液滴运动

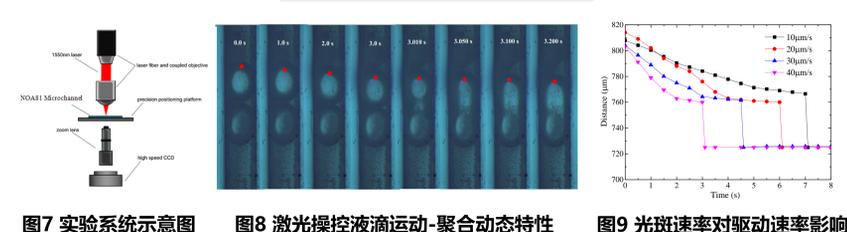


图7 实验系统示意图

图8 激光操控液滴运动-聚合动态特性

图9 光斑速率对驱动速率影响

#### 光热相变驱动微通道内流体脉冲运动

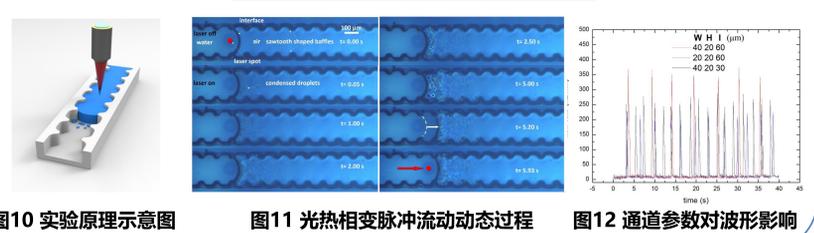


图10 实验原理示意图

图11 光热相变脉冲流动动态过程

图12 通道参数对波形影响

### 3. 光热效应操控平面液滴运动

#### 光控悬浮液滴生成及运动特性

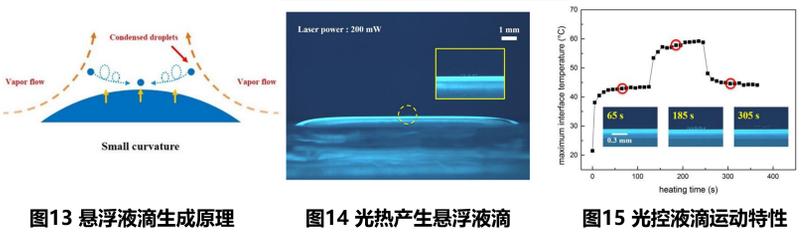


图13 悬浮液滴生成原理

图14 光热产生悬浮液滴

图15 光控液滴运动特性

#### 光热相变驱动超疏水基底上液滴聚合

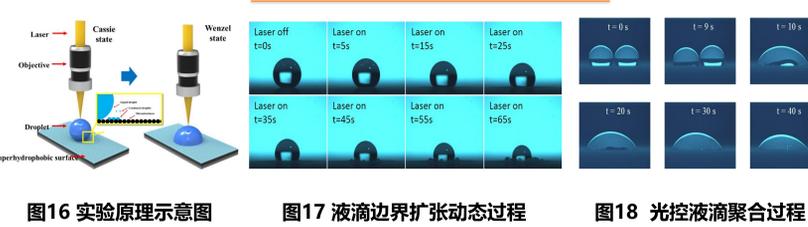


图16 实验原理示意图

图17 液滴边界扩张动态过程

图18 光控液滴聚合过程

### 4. 光热效应致两相流动传热模拟研究

#### 光热效应致液柱稳态蒸发特性模拟研究

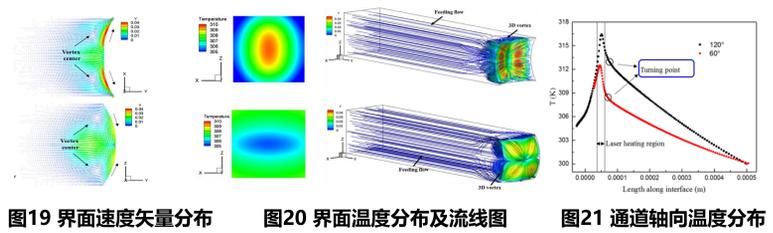


图19 界面速度矢量分布

图20 界面温度分布及流线图

图21 通道轴向温度分布

#### 光热致非等温液滴聚合特性模拟研究

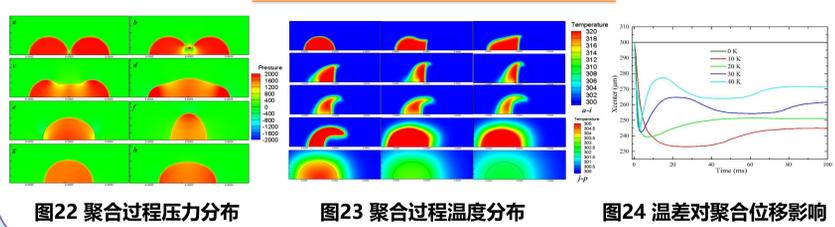


图22 聚合过程压力分布

图23 聚合过程温度分布

图24 温差对聚合位移影响



Welcome to CQU



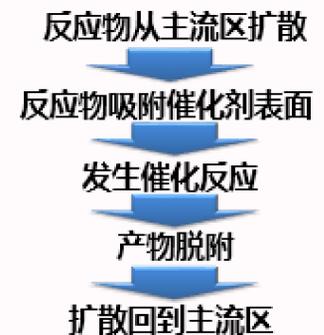
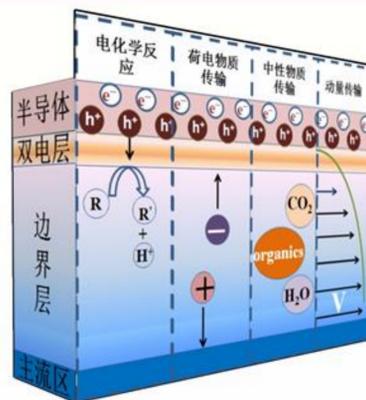
# 太阳能光化学利用系统中的能质传递及转化特性

## 一、太阳能光化学技术简介

太阳能光化学技术主要利用廉价的半导体作为催化剂，在太阳光激发下产生电子和空穴来促进光催化反应的进行，从而实现能量转化的技术。光催化具有成本低、操作简单等优点，可以应用于太阳能降解废水、光催化燃料电池产电、光解水制氢、二氧化碳还原等领域，在解决环境污染和能源危机等方面具有广泛的应用前景。

## 二、含光化学反应的能质传递物理过程

本课题组主要研究光催化反应系统（光催化燃料电池、光催化还原CO<sub>2</sub>等）。当光照射到光催化剂表面后，激发产生电子-空穴对，在光催化剂表面发生反应。其物理过程主要包括：光的吸收；载荷的传输；反应物及产物的传输；光电化学反应和电化学反应。本课题组主要研究各个物理过程间的相互影响关系。



光催化反应系统内物理过程

## 三、主要研究进展

### 1. 高性能催化层制备

#### CdS-SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>复合光阳极

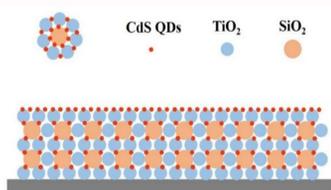


图1 CdS-SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>复合结构示意图

抑制电子与空穴的复合，强化物理吸附，提高光能利用率

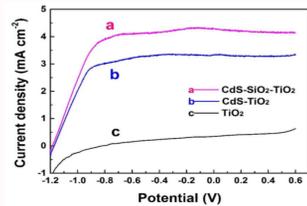


图2 LSV曲线

#### 梯度孔结构光阳极

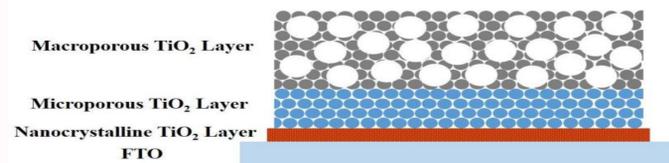


图3 梯度孔光阳极结构示意图

强化电子及物质传输，提升光能利用率

### 2. 新型光催化燃料电池

#### 自呼吸阴极可见光响应PFC

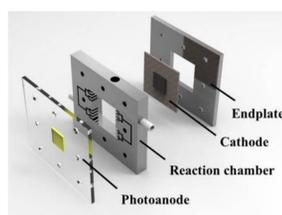


图4 PFC示意图

提升光能利用率和物质传输，结构简单

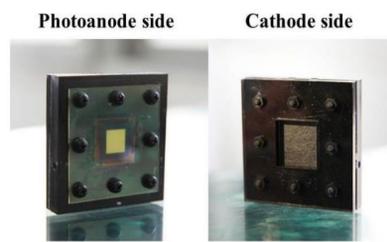


图5 PFC实物图

#### 膜电极可见光响应PFC

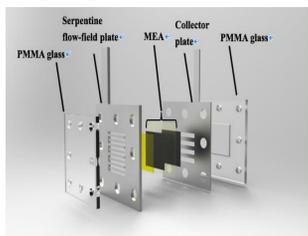


图6 膜电极可见光响应PFC

结构紧凑，强化氧传输

#### 平铺式微型无膜PFC

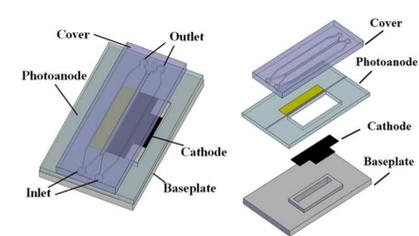


图7 平铺式无膜微型PFC

无膜，易集成

#### 光微流体PFC

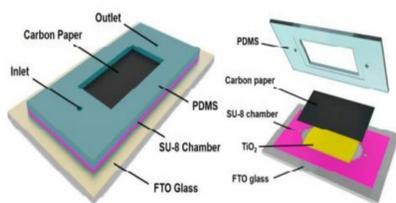


图8 光微流体PFC

增大比表面积，增强光传输与质量传输

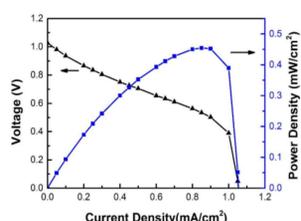


图9 极化曲线和功率密度曲线

### 3. 新型光催化微反应器

#### 内置玻璃纤维丝光微流反应器降解有机物

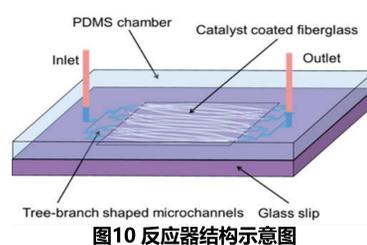


图10 反应器结构示意图

增大传质效率，提升降解性能

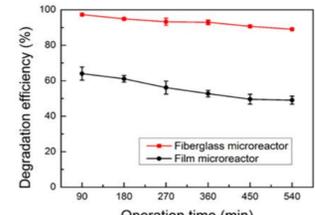


图11 反应器有机物降解性能

#### 臭氧辅助光微流体膜反应器降解有机物

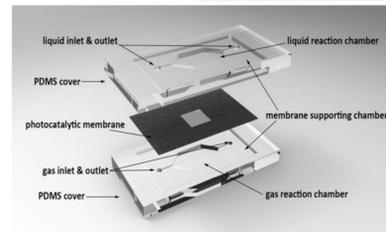


图12 反应器结构示意图

减小气相传质阻力，通过光催化臭氧化过程提升降解性能

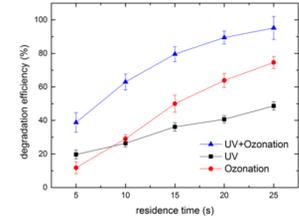


图13 反应器有机物降解性能

#### 光微流体膜反应器还原CO<sub>2</sub>

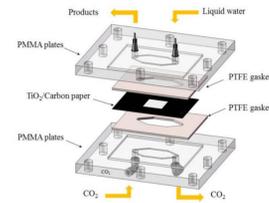


图14 膜式光微流反应器设计图

光催化CO<sub>2</sub>还原为燃料，实现CO<sub>2</sub>资源化利用

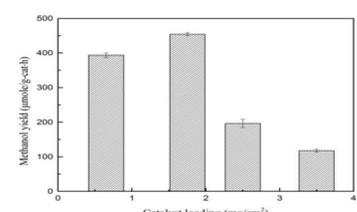


图15 催化剂载量对还原CO<sub>2</sub>影响



Welcome to CQU

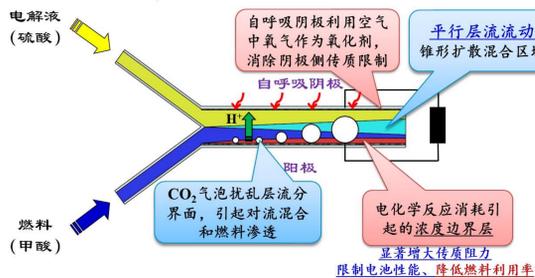


# 微流体燃料电池中多相能质传递及产电特性

## 一、微流体燃料电池简介

微流体燃料电池又称为基于层流流动的燃料电池或无膜燃料电池，是一种将反应物输送与排出、反应区域和电极结构都包含在一个微流体通道中的燃料电池。微流体燃料电池利用微通道内平行层流流动分隔氧化剂和燃料，去除了质子交换膜，消除了膜老化降解难题，简化了结构，降低了电池内阻。具有反应比表面积大、强化物质传输等特点，是便携式电子设备和微型传感器理想的微型电源。

## 二、微流体燃料电池中多相反应流传输及转化特性和强化方法



微流体燃料电池工作原理示意图

本课题组主要研究基于无膜微流体燃料电池内两相流动、物质传输和电化学反应之间的耦合特性。通过强化反应物的传输并构建高性能的催化层，强化反应物的转化来提升微流体燃料电池的性能。针对所构建的微流体燃料电池内的两相流动问题，通过实验和理论研究获得两相流动对电池内物质传输及转化的影响规律以及微槽道内的相分布规律。同时构建了新型被动式微流体燃料电池。所得相关成果对微流体燃料电池技术的发展奠定理论基础。

## 三、主要研究进展

### 1. 具有可渗透阳极的自呼吸微流体燃料电池

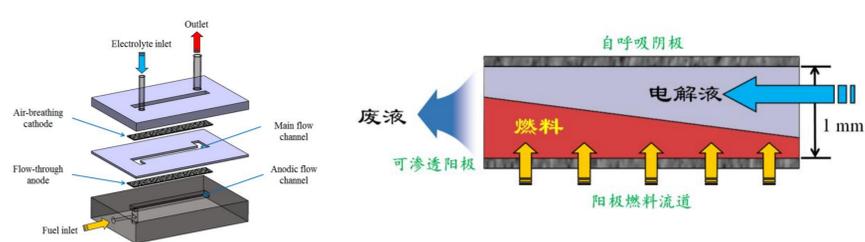


图1 电池结构示意图

图2 电池内的流动示意图

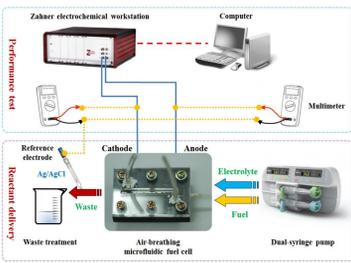


图3 实验系统示意图

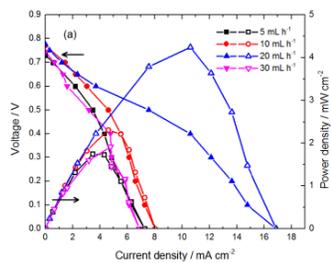


图4 电池性能特性

具有可渗透阳极强化燃料传输，自呼吸阴极消除氧传输限制

### 2. 微流体燃料电池内的两相流动及相分布规律

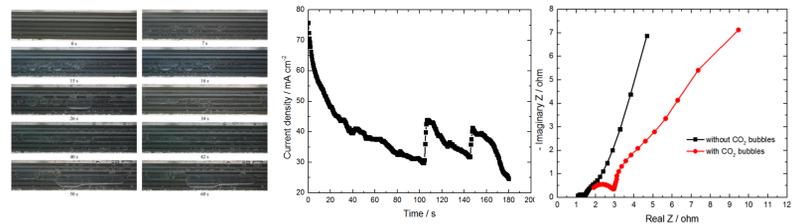


图5 CO<sub>2</sub>气泡的动态行为特性

图6 CO<sub>2</sub>气泡的动态行为对电池性能的影响

### 三维阳极自呼吸微流体燃料电池内气泡动态行为及其对电池性能的影响规律

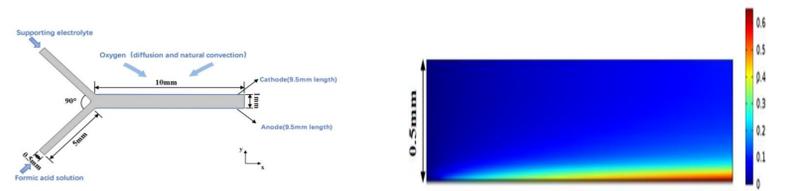


图7 计算模型

图8 阳极表面CO<sub>2</sub>体积分数云图

可渗透阳极自呼吸微流体燃料电池数学模型及阳极表面的气相分布规律

### 3. 具有容积式三维阵列阳极的自呼吸微流体燃料电池

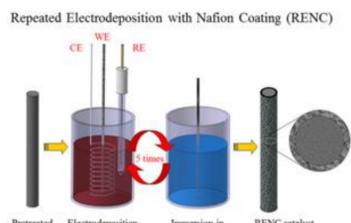


图9 曲面电极催化剂层制备方法

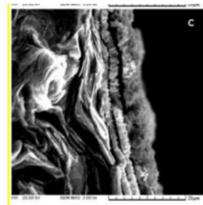


图10 催化剂层横截面形貌

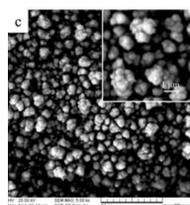


图11 催化剂层微观形貌

提出了一种新型的反复沉积浸渍法制备曲面电极催化层

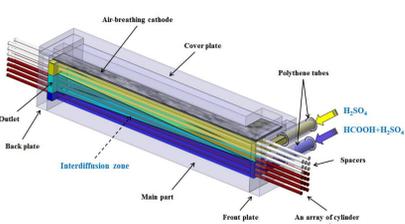


图12 电池结构示意图

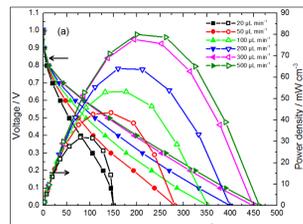


图13 电池性能特性

构建容积式三维阵列阳极的自呼吸微流体燃料电池，有效扩展反应面积、强化燃料传输

### 4. 电池动态响应与新型电池构型

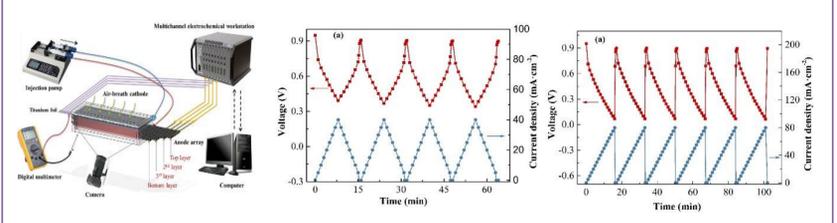


图14 测试系统图

图15 碱性电解液持续加载/持续(瞬间)卸载时电池的动态响应

构建三维阳极自呼吸无膜微流体燃料电池，获得电池对负载变化的响应特性

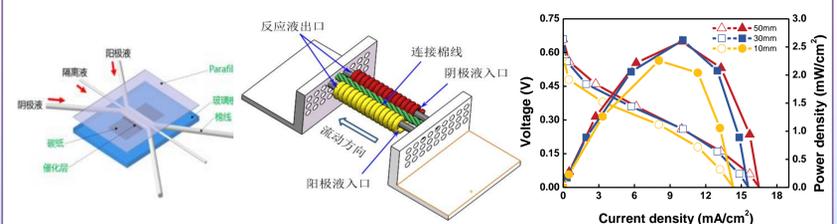


图16 电池结构示意图

图17 电池的性能特性

构建线基微流体燃料电池，获得棉线的输运特性对其电池性能的影响规律



Welcome to CQU