

# 基于化学反应的多功能光子晶体体系的研究

姓名: 田天

导师: 李广涛教授

专业: 化学

方向: 物理化学



2015 年 5 月 26 日

# 报告内容

## 1 课题背景及选题意义

## 2 研究内容

- 基于马来酰亚胺的光子晶体乙酰胆碱酯酶活性检测的研究
- 基于光敏高分子的三维光子晶体图案化的研究
- 基于刻蚀 - 反应的光子晶体微球复杂功能体系的研究

## 3 结论

# 报告内容

## 1 课题背景及选题意义

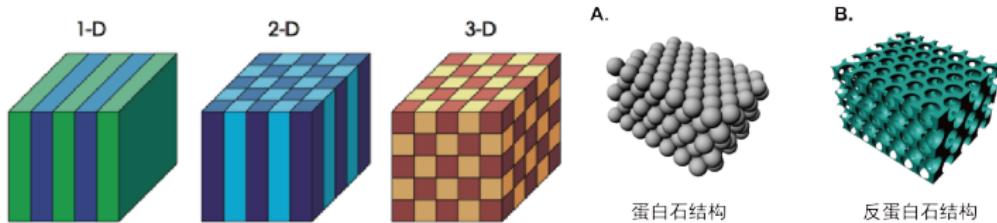
## 2 研究内容

- 基于马来酰亚胺的光子晶体乙酰胆碱酯酶活性检测的研究
- 基于光敏高分子的三维光子晶体图案化的研究
- 基于刻蚀 - 反应的光子晶体微球复杂功能体系的研究

## 3 结论

# 光子晶体简介

光子晶体：具有周期性介电常数结构的材料



光子禁带：光子晶体结构对特定频域内的光的调制（传播受限）

# 光子晶体原理

光子晶体禁带性质：

$$m\lambda = 2d \sqrt{\sum_i n_i^2 f_i - \sin^2 \theta}$$

# 光子晶体原理

光子晶体禁带性质：

$$m\lambda = 2d \sqrt{\sum_i n_i^2 f_i - \sin^2 \theta}$$

- $\lambda$ : 光子禁带的中心波长
- $d$ : 光子晶体晶格常数
- $n_i$ : 光子晶体各组分折射率
- $\theta$ : 入射光角度

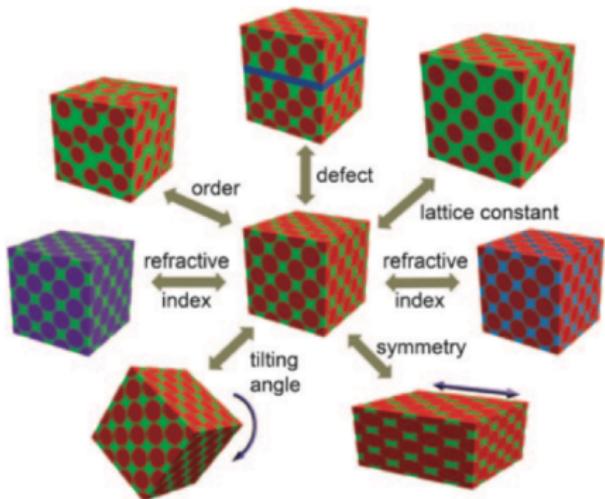
# 光子晶体原理

光子晶体禁带性质：

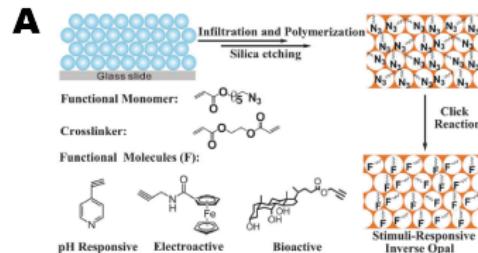
$$m\lambda = 2d \sqrt{\sum_i n_i^2 f_i - \sin^2 \theta}$$

- $\lambda$ : 光子禁带的中心波长
- $d$ : 光子晶体晶格常数
- $n_i$ : 光子晶体各组分折射率
- $\theta$ : 入射光角度

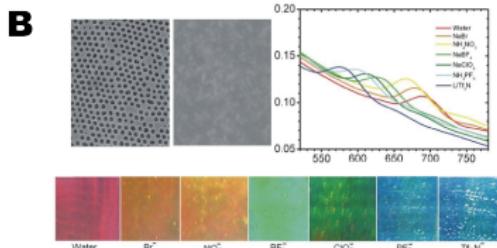
光子禁带的调制



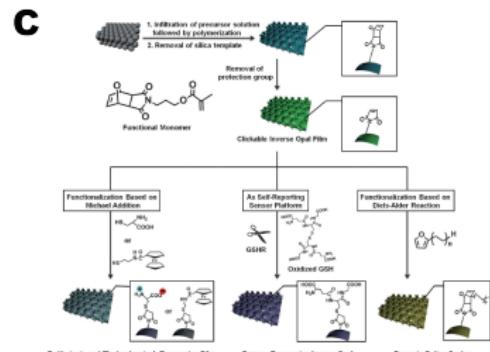
# 基于化学反应的光子晶体材料



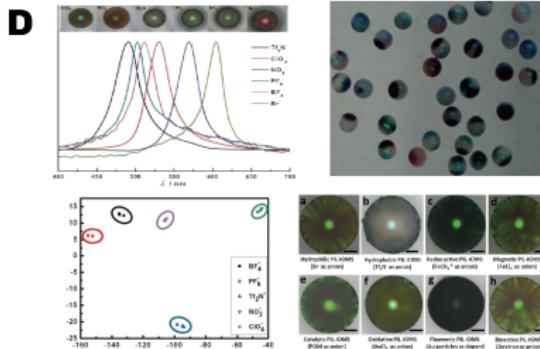
Li G, et al. Chem. Commun. 2012, 48:3494–3496.



Li G, et al. Chem. Commun. 2010, 46:4103–4105.



Li G, et al. J. Chem. Mater. C. 2013, 1:6120–6128.



Li G, et al. Angew. Chem. 2013, 53:3844–3848.

# 光子晶体：机遇与挑战

# 光子晶体：机遇与挑战

## 光子晶体材料的优势

- 信号自表达、操作简便

# 光子晶体：机遇与挑战

## 光子晶体材料的优势

- 信号自表达、操作简便
- 材料多样性

# 光子晶体：机遇与挑战

## 光子晶体材料的优势

- 信号自表达、操作简便
- 材料多样性
- 多孔内部结构、响应快速

# 光子晶体：机遇与挑战

## 光子晶体材料的优势

- 信号自表达、操作简便
- 材料多样性
- 多孔内部结构、响应快速

# 光子晶体：机遇与挑战

## 光子晶体材料的优势

- 信号自表达、操作简便
- 材料多样性
- 多孔内部结构、响应快速

## 光子晶体材料的挑战

- 功能材料的设计与参数优化

# 光子晶体：机遇与挑战

## 光子晶体材料的优势

- 信号自表达、操作简便
- 材料多样性
- 多孔内部结构、响应快速

## 光子晶体材料的挑战

- 功能材料的设计与参数优化
- 光子晶体拓展性

# 光子晶体：机遇与挑战

## 光子晶体材料的优势

- 信号自表达、操作简便
- 材料多样性
- 多孔内部结构、响应快速

## 光子晶体材料的挑战

- 功能材料的设计与参数优化
- 光子晶体拓展性
- 复杂、层次化光子晶体材料制备

# 本工作研究目标

① 研究不同化学反应在光子晶体传感、修饰中的应用

# 本工作研究目标

- 1 研究不同化学反应在光子晶体传感、修饰中的应用
- 2 通过化学反应修饰，拓展光子晶体多样性

# 本工作研究目标

- 1 研究不同化学反应在光子晶体传感、修饰中的应用
- 2 通过化学反应修饰，拓展光子晶体多样性
- 3 基于化学反应制备具有复杂结构与化学组分的光子晶体材料

# 报告内容

## 1 课题背景及选题意义

## 2 研究内容

- 基于马来酰亚胺的光子晶体乙酰胆碱酯酶活性检测的研究
- 基于光敏高分子的三维光子晶体图案化的研究
- 基于刻蚀 - 反应的光子晶体微球复杂功能体系的研究

## 3 结论

# 报告内容

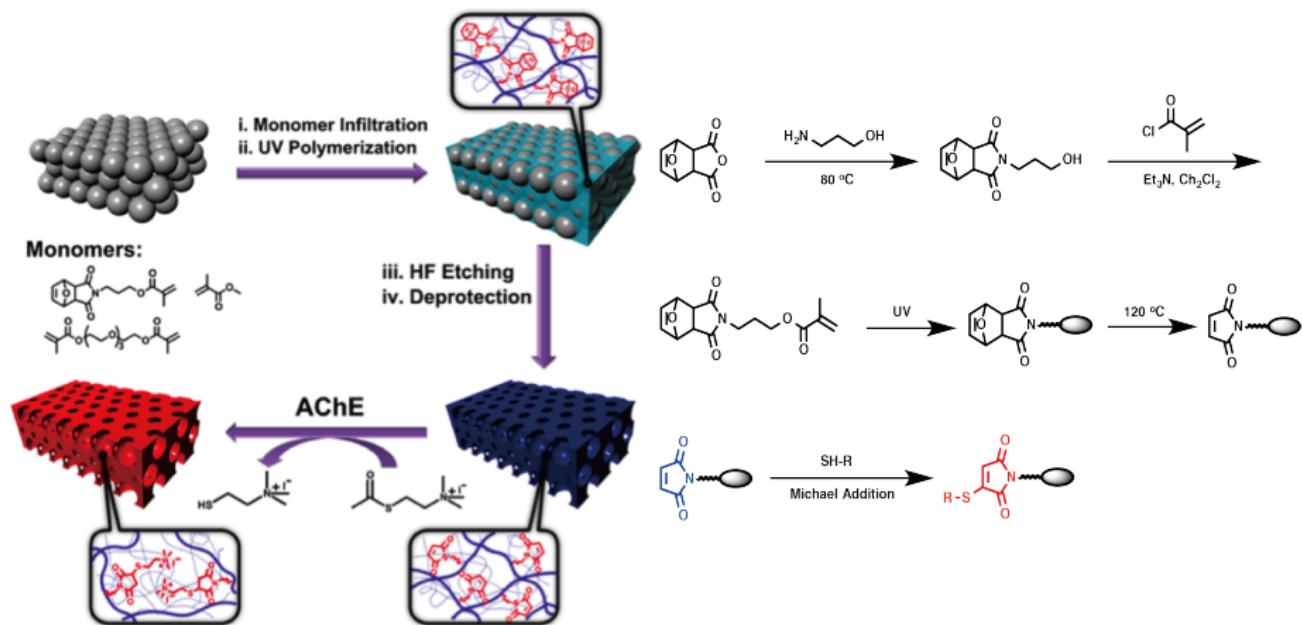
## 1 课题背景及选题意义

## 2 研究内容

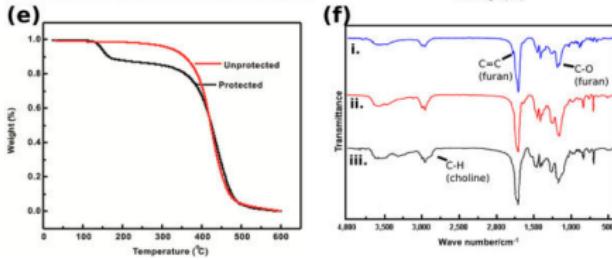
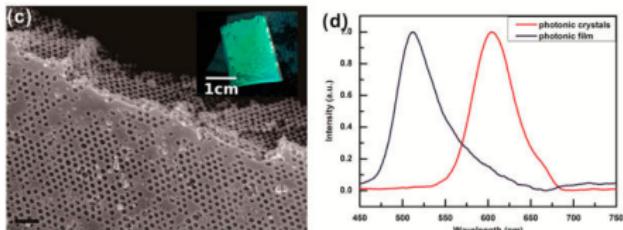
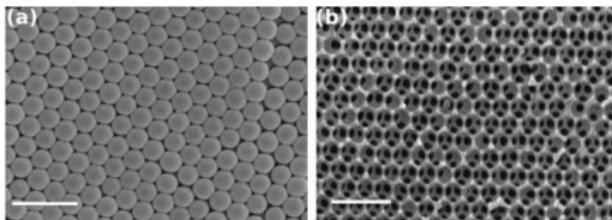
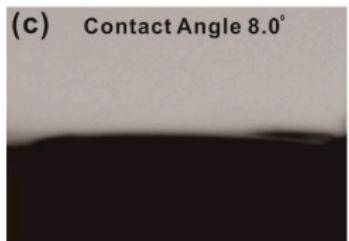
- 基于马来酰亚胺的光子晶体乙酰胆碱酯酶活性检测的研究
- 基于光敏高分子的三维光子晶体图案化的研究
- 基于刻蚀 - 反应的光子晶体微球复杂功能体系的研究

## 3 结论

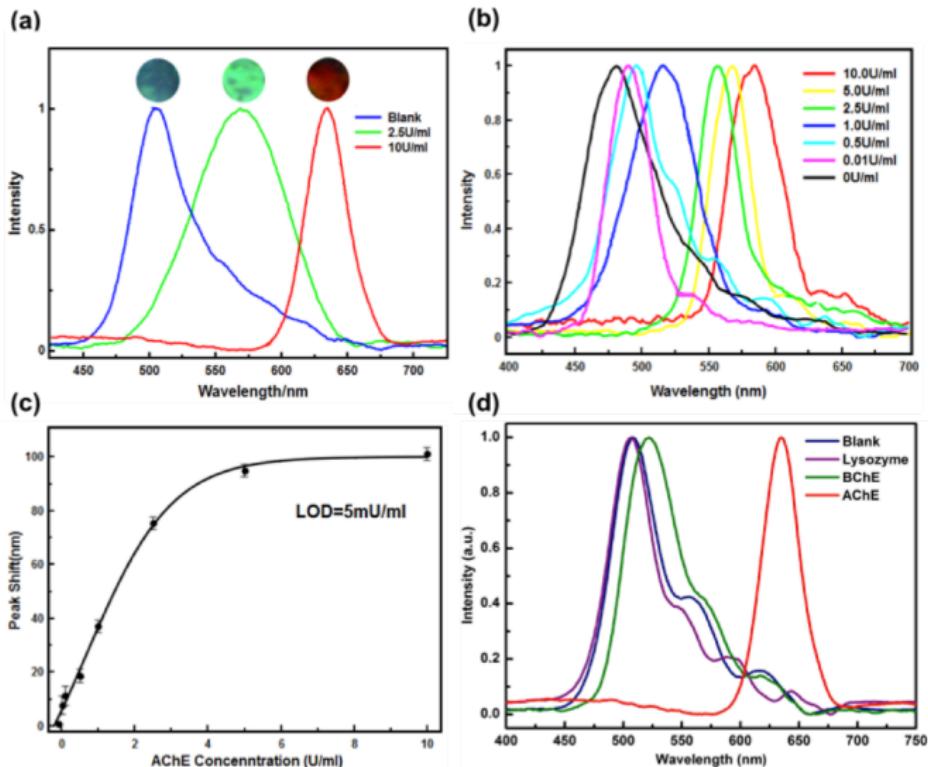
# 实验原理



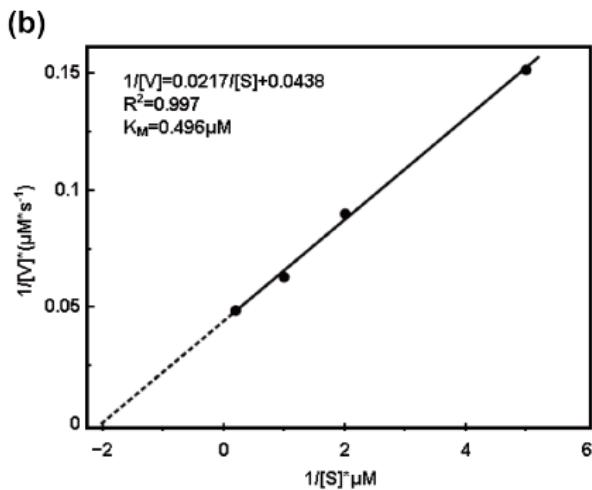
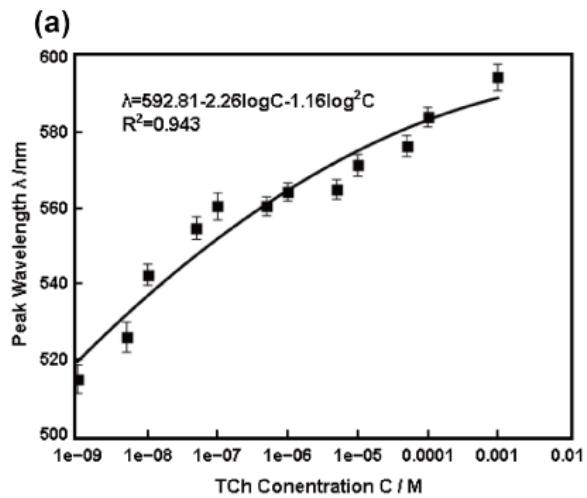
# 材料制备与表征



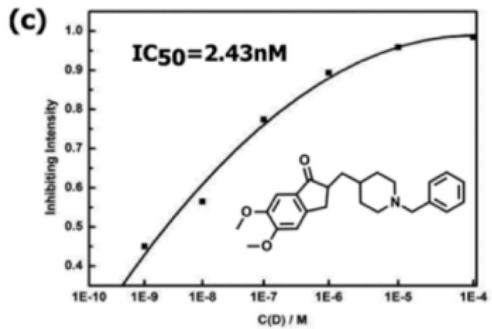
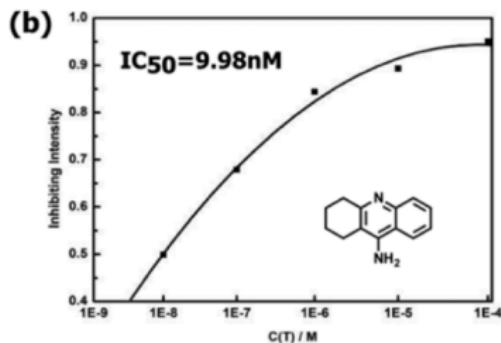
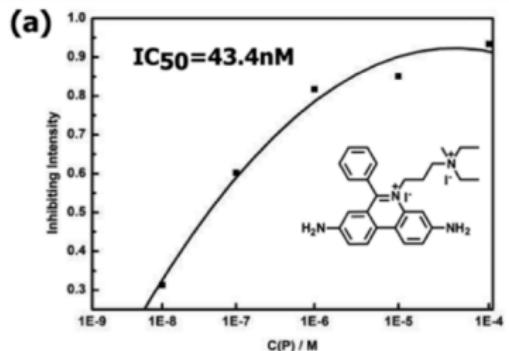
# 对酶活性检测的灵敏性



# 对酶动力学参数的检测



# 对乙酰胆碱酯酶抑制剂的筛选



## 本章小结

- 基于马来酰亚胺 - 硫基反应制备了反蛋白石光子晶体材料，并用于乙酰胆碱酯酶活性检测；

## 本章小结

- 基于马来酰亚胺 - 硫基反应制备了反蛋白石光子晶体材料，并用于乙酰胆碱酯酶活性检测；
- 乙酰胆碱酯酶的检测灵敏度达到  $5 \text{ mU/mL}$ ，在现有方法中处于前列；

## 本章小结

- 基于马来酰亚胺 - 疏基反应制备了反蛋白石光子晶体材料，并用于乙酰胆碱酯酶活性检测；
- 乙酰胆碱酯酶的检测灵敏度达到  $5 \text{ mU/mL}$ ，在现有方法中处于前列；
- 检测材料不依赖于液相，操作简便，信号自表达；

## 本章小结

- 基于马来酰亚胺 - 疏基反应制备了反蛋白石光子晶体材料，并用于乙酰胆碱酯酶活性检测；
- 乙酰胆碱酯酶的检测灵敏度达到  $5 \text{ mU/mL}$ ，在现有方法中处于前列；
- 检测材料不依赖于液相，操作简便，信号自表达；
- 适用于活性检测、酶动力学测量、抑制剂筛选等多场合应用。

# 报告内容

## 1 课题背景及选题意义

## 2 研究内容

- 基于马来酰亚胺的光子晶体乙酰胆碱酯酶活性检测的研究
- 基于光敏高分子的三维光子晶体图案化的研究
- 基于刻蚀 - 反应的光子晶体微球复杂功能体系的研究

## 3 结论

# 平面反蛋白石光子晶体的图案化？

## 反蛋白石光子晶体图案化的难点

- 反蛋白石结构一体性使逐步聚合或物理刻蚀法较难实现；

# 平面反蛋白石光子晶体的图案化？

## 反蛋白石光子晶体图案化的难点

- 反蛋白石结构一体性使逐步聚合或物理刻蚀法较难实现；
- 孔道结构促进了液体在内部的扩散，使压印或喷墨打印法受到限制；

# 平面反蛋白石光子晶体的图案化？

## 反蛋白石光子晶体图案化的难点

- 反蛋白石结构一体性使逐步聚合或物理刻蚀法较难实现；
- 孔道结构促进了液体在内部的扩散，使压印或喷墨打印法受到限制；
- 如何在光子晶体中形成复杂的空间化学组分？

# 平面反蛋白石光子晶体的图案化？

## 反蛋白石光子晶体图案化的难点

- 反蛋白石结构一体性使逐步聚合或物理刻蚀法较难实现；
- 孔道结构促进了液体在内部的扩散，使压印或喷墨打印法受到限制；
- 如何在光子晶体中形成复杂的空间化学组分？

# 平面反蛋白石光子晶体的图案化？

## 反蛋白石光子晶体图案化的难点

- 反蛋白石结构一体性使逐步聚合或物理刻蚀法较难实现；
- 孔道结构促进了液体在内部的扩散，使压印或喷墨打印法受到限制；
- 如何在光子晶体中形成复杂的空间化学组分？

## 可能的解决方案：

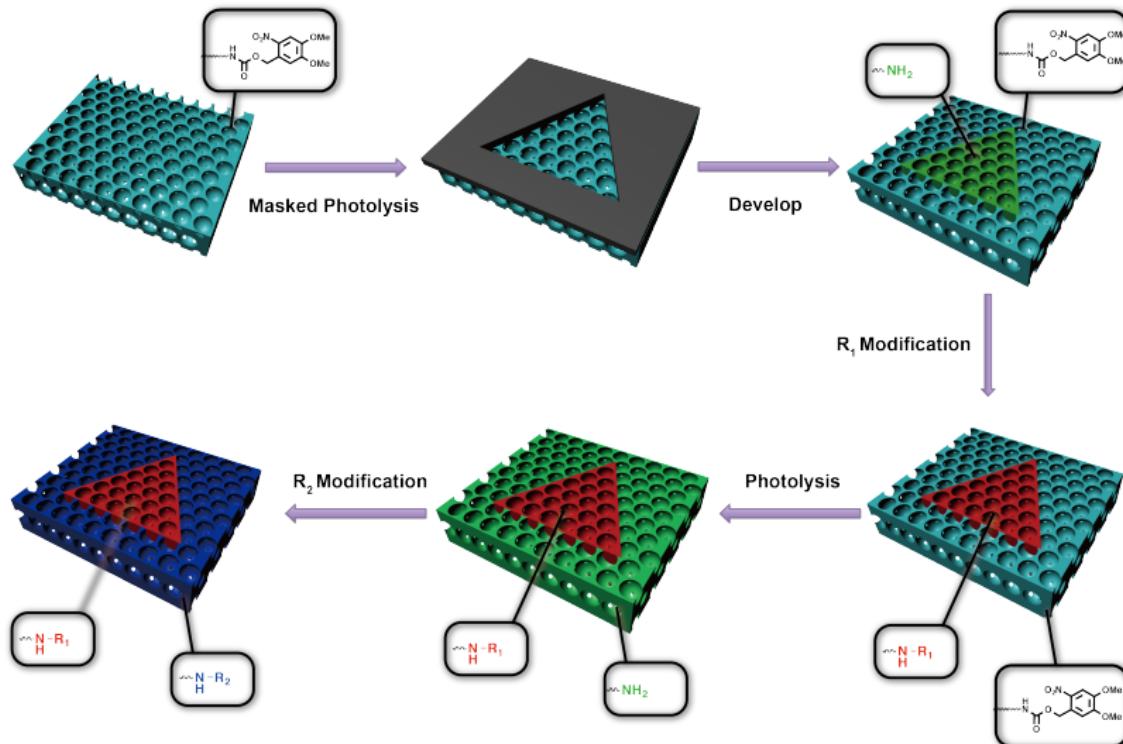
# 平面反蛋白石光子晶体的图案化？

## 反蛋白石光子晶体图案化的难点

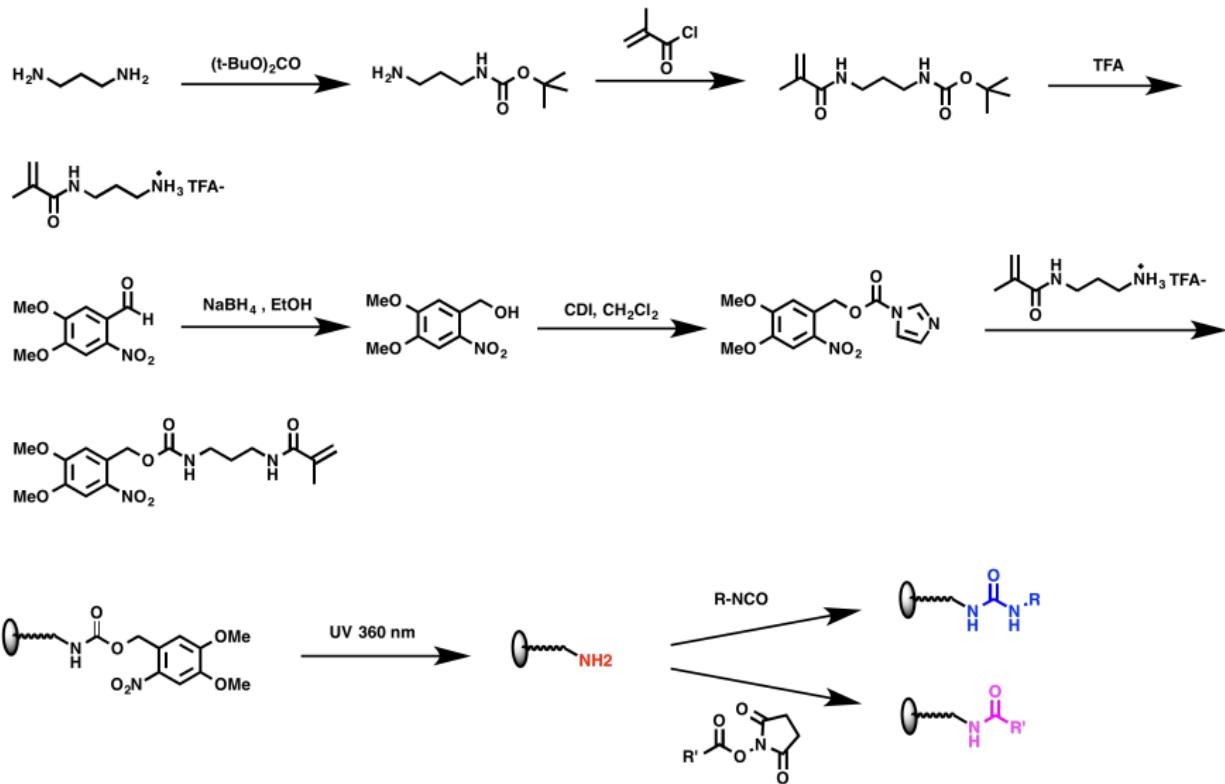
- 反蛋白石结构一体性使逐步聚合或物理刻蚀法较难实现；
- 孔道结构促进了液体在内部的扩散，使压印或喷墨打印法受到限制；
- 如何在光子晶体中形成复杂的空间化学组分？

可能的解决方案：光敏高分子 + 选择性化学修饰

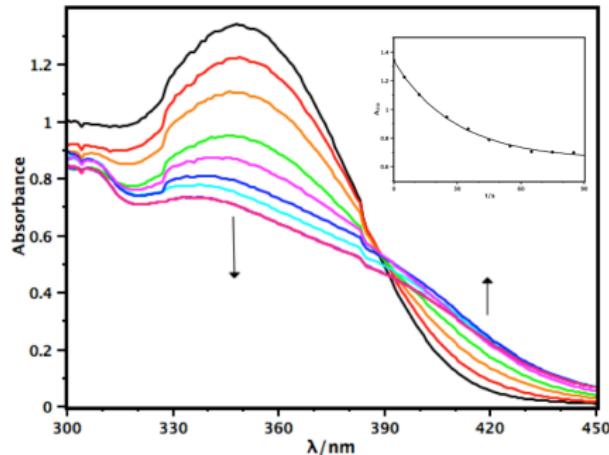
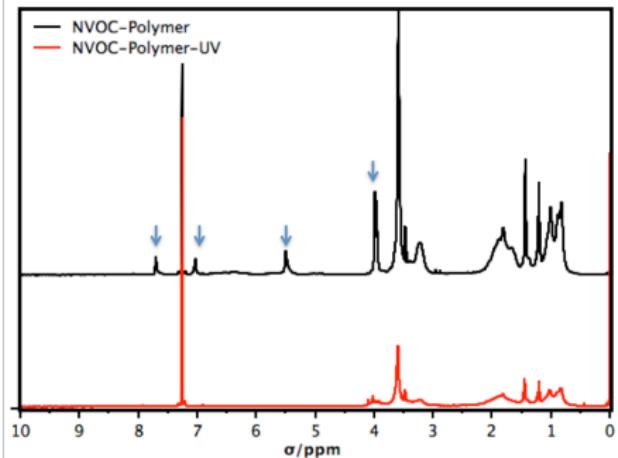
# 实验原理



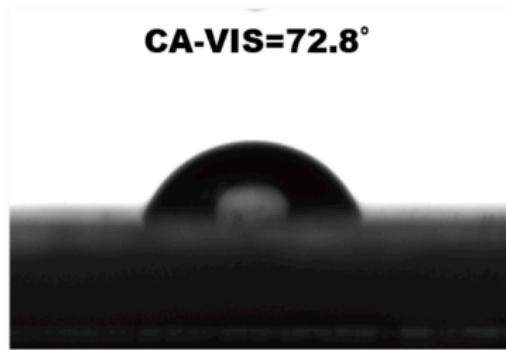
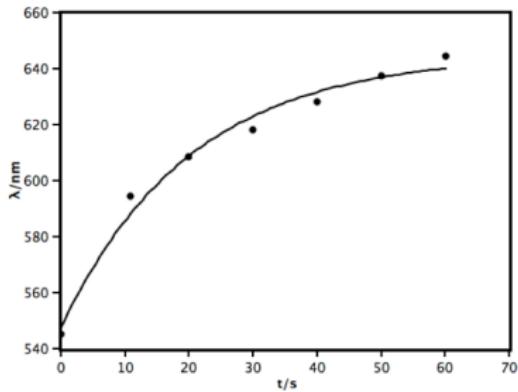
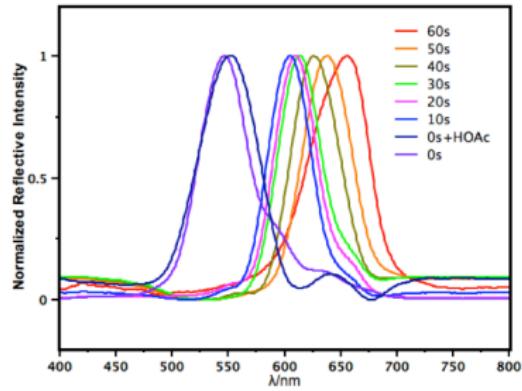
# 功能单体合成与机理



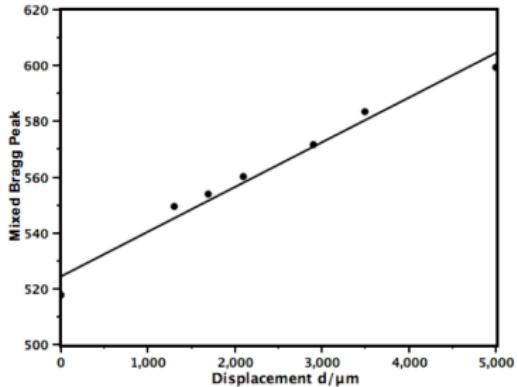
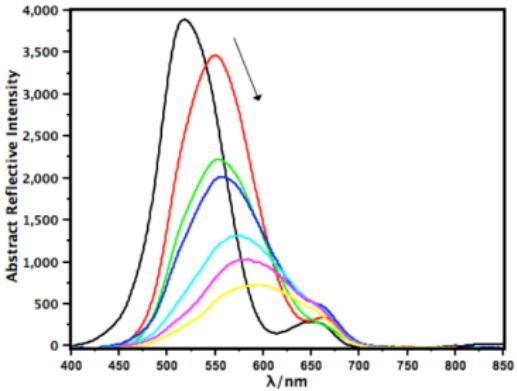
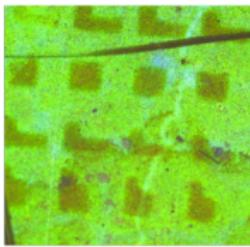
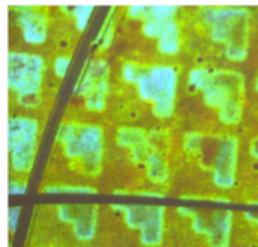
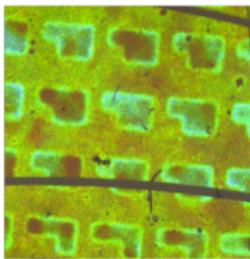
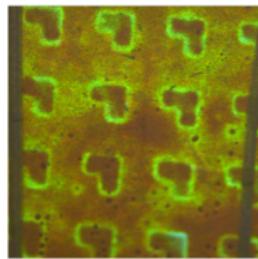
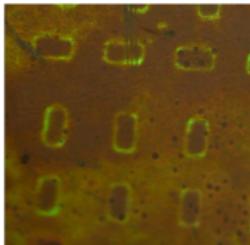
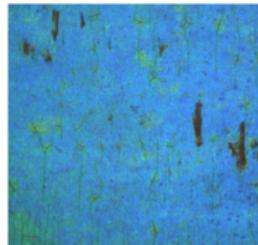
# 材料表征



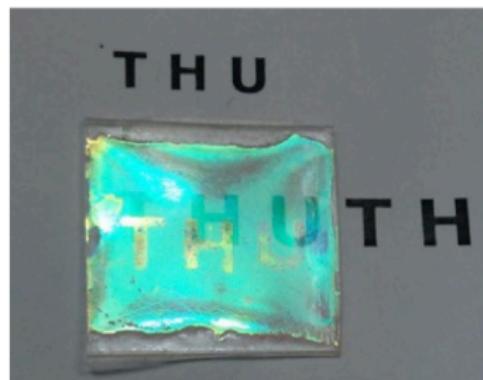
# 材料表征



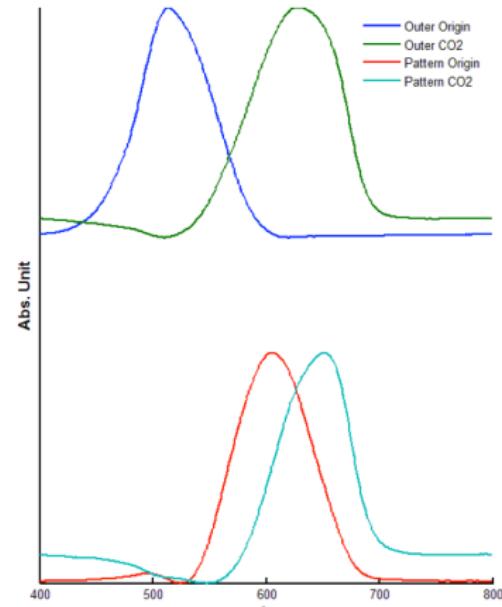
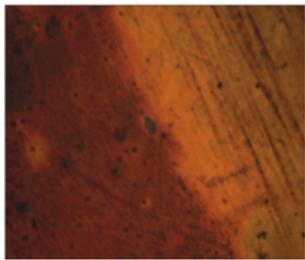
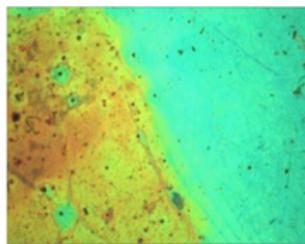
# 光子晶体二维亲疏水梯度的实现



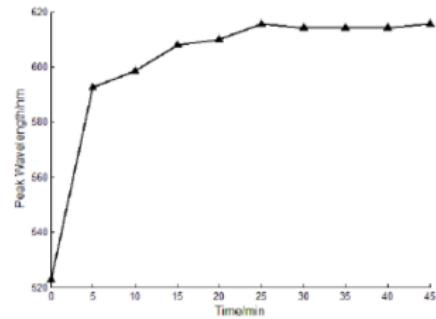
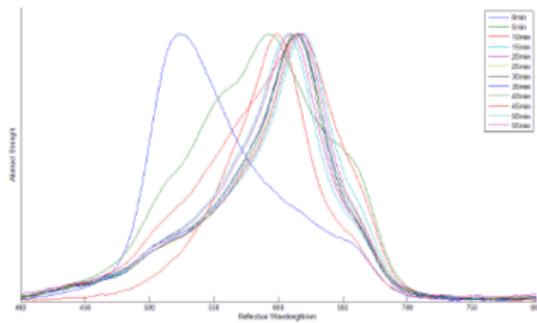
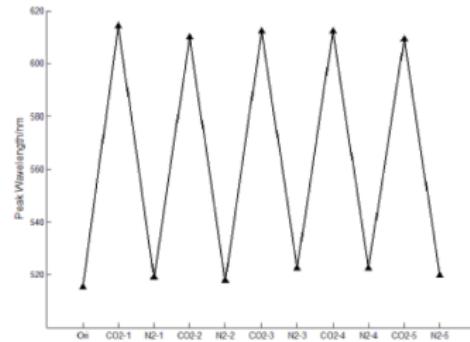
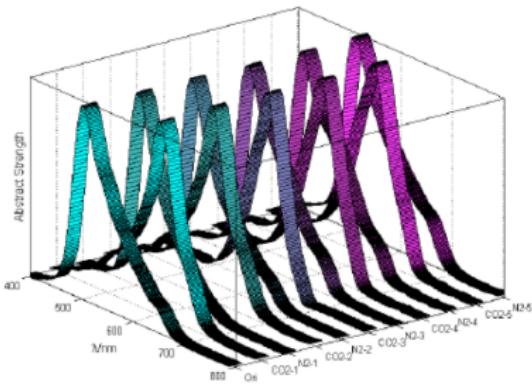
# 图案化光子晶体的制备



# 图案化光子晶体的响应



# 图案化光子晶体的响应



## 本章小结

- 基于光敏高分子实现了平面反蛋白石光子晶体的图案化与复杂化学组成修饰；

## 本章小结

- 基于光敏高分子实现了平面反蛋白石光子晶体的图案化与复杂化学组成修饰；
- 光子晶体修饰方法简便，通过反应后修饰赋予了光子晶体很大的拓展性；

## 本章小结

- 基于光敏高分子实现了平面反蛋白石光子晶体的图案化与复杂化学组成修饰；
- 光子晶体修饰方法简便，通过反应后修饰赋予了光子晶体很大的拓展性；
- 基于选择性光反应 - 修饰法制备了光子晶体亲疏水梯度图案

## 本章小结

- 基于光敏高分子实现了平面反蛋白石光子晶体的图案化与复杂化学组成修饰；
- 光子晶体修饰方法简便，通过反应后修饰赋予了光子晶体很大的拓展性；
- 基于选择性光反应 - 修饰法制备了光子晶体亲疏水梯度图案
- 基于选择性光反应 - 修饰法制备动态调节的图案化光子晶体

# 报告内容

## 1 课题背景及选题意义

## 2 研究内容

- 基于马来酰亚胺的光子晶体乙酰胆碱酯酶活性检测的研究
- 基于光敏高分子的三维光子晶体图案化的研究
- 基于刻蚀 - 反应的光子晶体微球复杂功能体系的研究

## 3 结论

# 图案化 / 复杂功能化： 2D->3D?

## 光子晶体三维功能化的难点与潜力

- 选择性光反应 - 修饰只适用于平面型光子晶体材料；

# 图案化 / 复杂功能化： 2D->3D?

## 光子晶体三维功能化的难点与潜力

- 选择性光反应 - 修饰只适用于平面型光子晶体材料；
- 空间上的复杂化学 / 光学性质具有很大潜在研究与应用价值；

# 图案化 / 复杂功能化： 2D->3D?

## 光子晶体三维功能化的难点与潜力

- 选择性光反应 - 修饰只适用于平面型光子晶体材料；
- 空间上的复杂化学 / 光学性质具有很大潜在研究与应用价值；
- 光子晶体光学特性、孔道结构、复杂化学组成协同作用体系。

# 图案化 / 复杂功能化： 2D->3D?

## 光子晶体三维功能化的难点与潜力

- 选择性光反应 - 修饰只适用于平面型光子晶体材料；
- 空间上的复杂化学 / 光学性质具有很大潜在研究与应用价值；
- 光子晶体光学特性、孔道结构、复杂化学组成协同作用体系。

# 图案化 / 复杂功能化： 2D->3D?

## 光子晶体三维功能化的难点与潜力

- 选择性光反应 - 修饰只适用于平面型光子晶体材料；
- 空间上的复杂化学 / 光学性质具有很大潜在研究与应用价值；
- 光子晶体光学特性、孔道结构、复杂化学组成协同作用体系。

## 可能的解决方案：

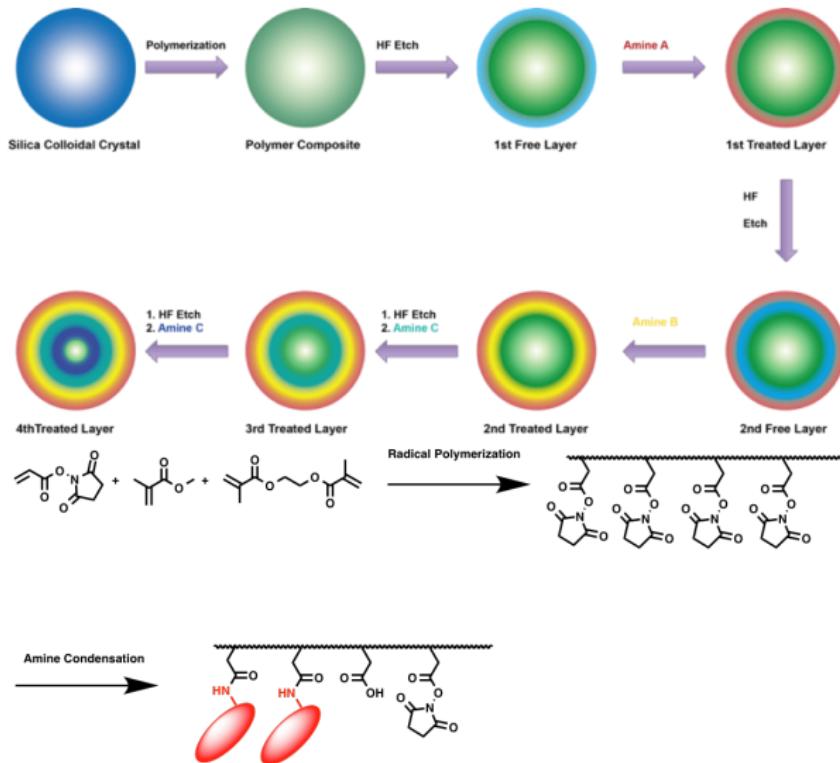
# 图案化/复杂功能化：2D->3D?

## 光子晶体三维功能化的难点与潜力

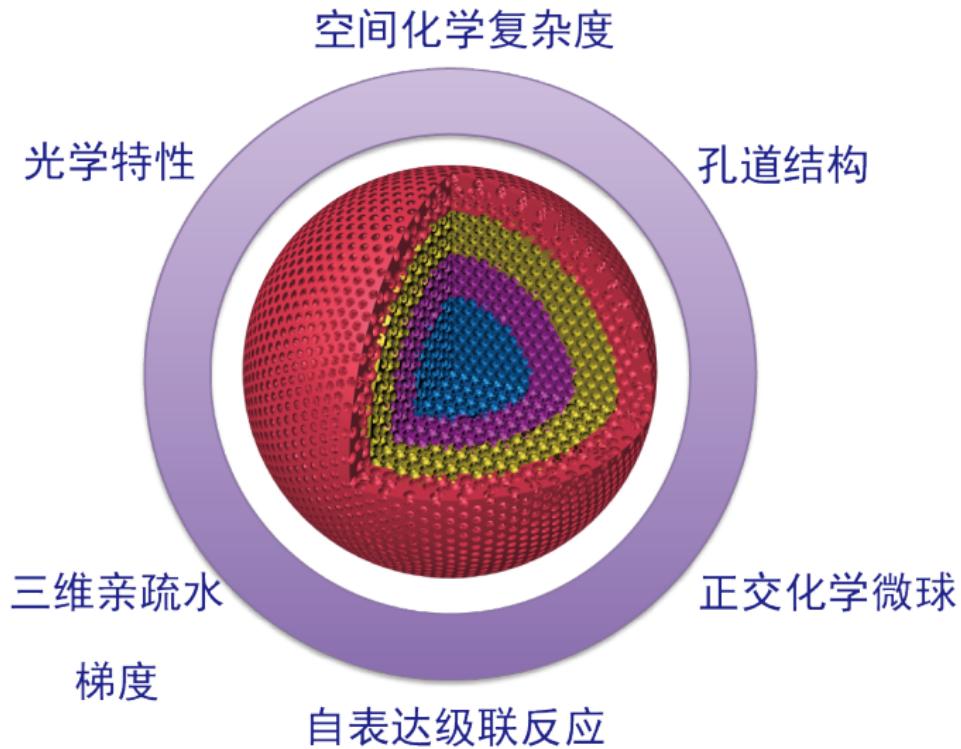
- 选择性光反应 - 修饰只适用于平面型光子晶体材料；
- 空间上的复杂化学 / 光学性质具有很大潜在研究与应用价值；
- 光子晶体光学特性、孔道结构、复杂化学组成协同作用体系。

可能的解决方案：光子晶体微球 + 选择性刻蚀 - 反应

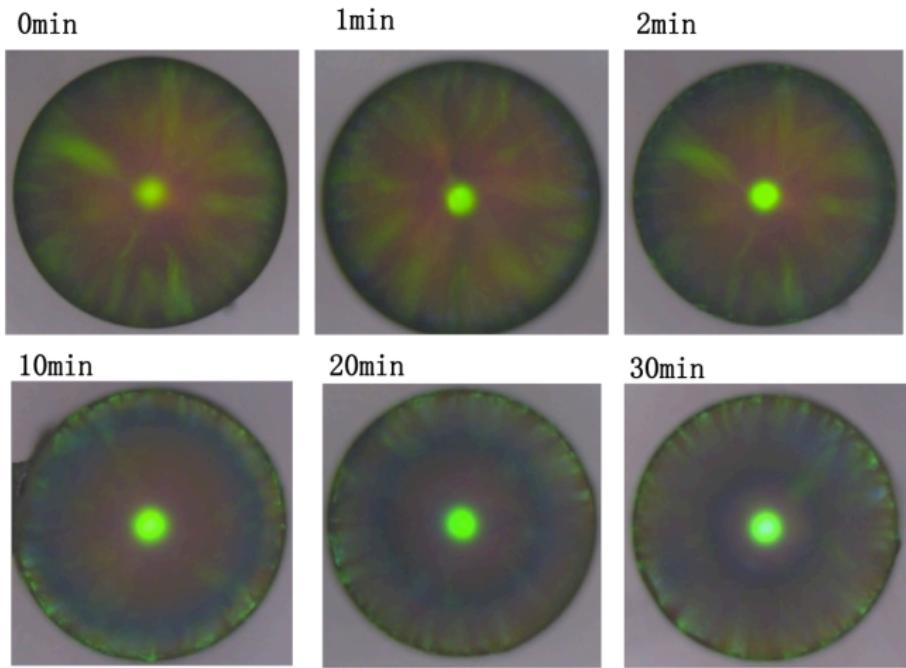
# 实验原理



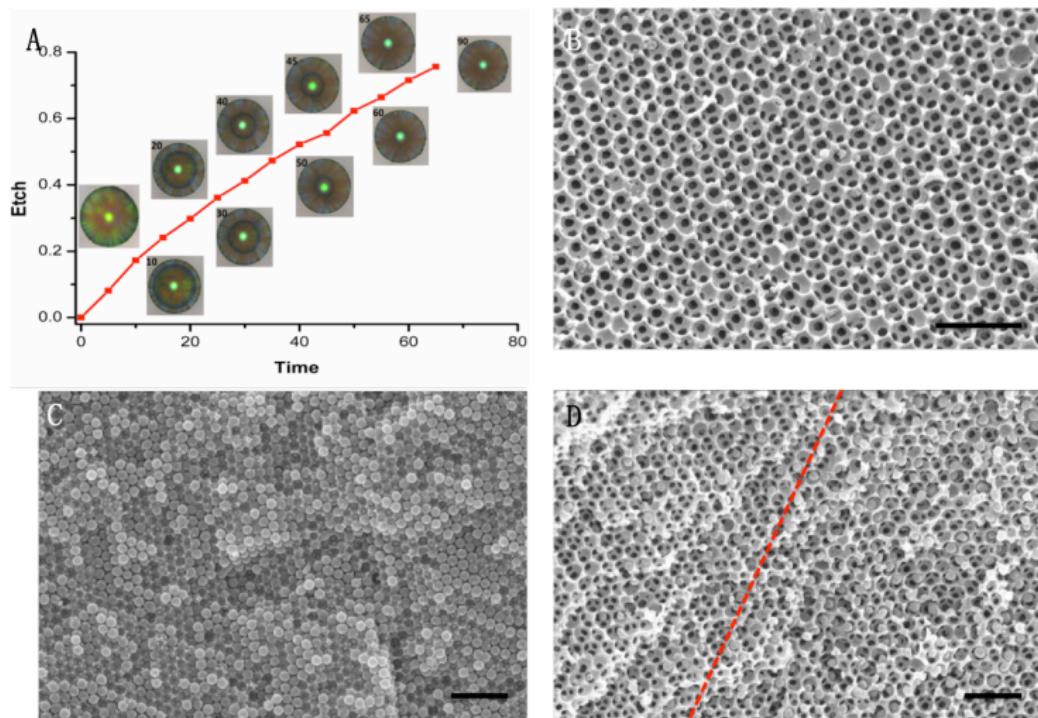
# 实验原理



# 原理验证

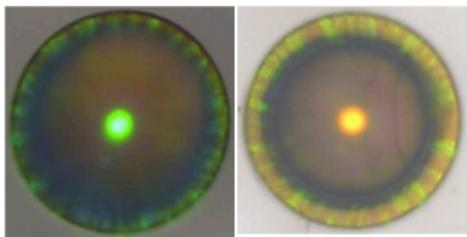


# 原理验证

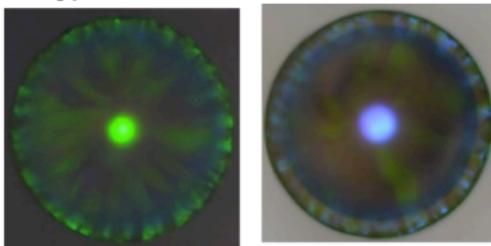


# 原理验证

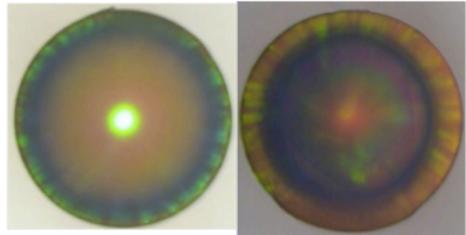
Ammonia



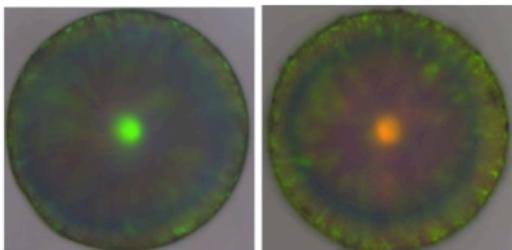
Propylamine



N,N-dimethylethylene diamine

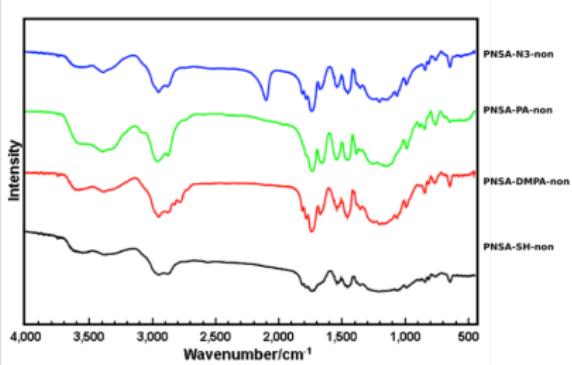


Aminopropanol

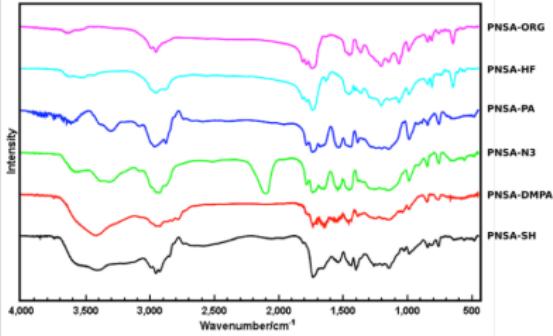


# 原理验证

A

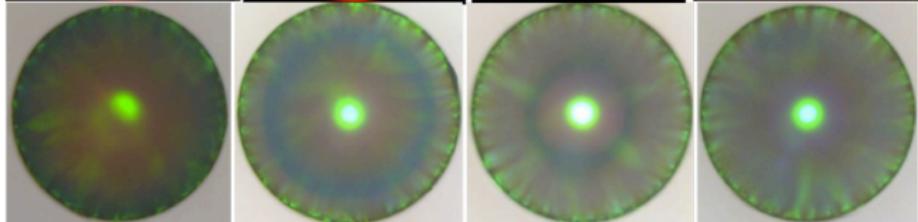
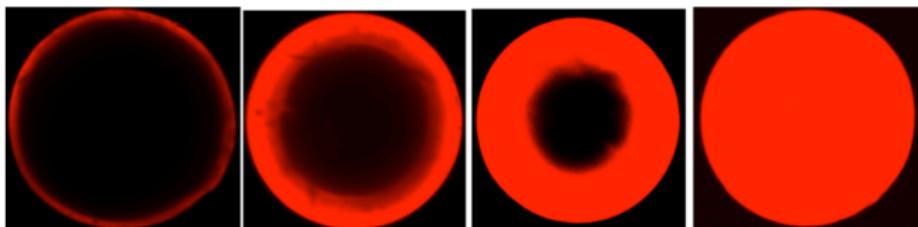


B

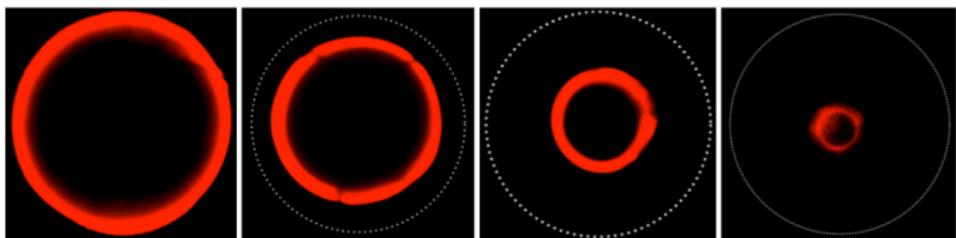


# 原理验证

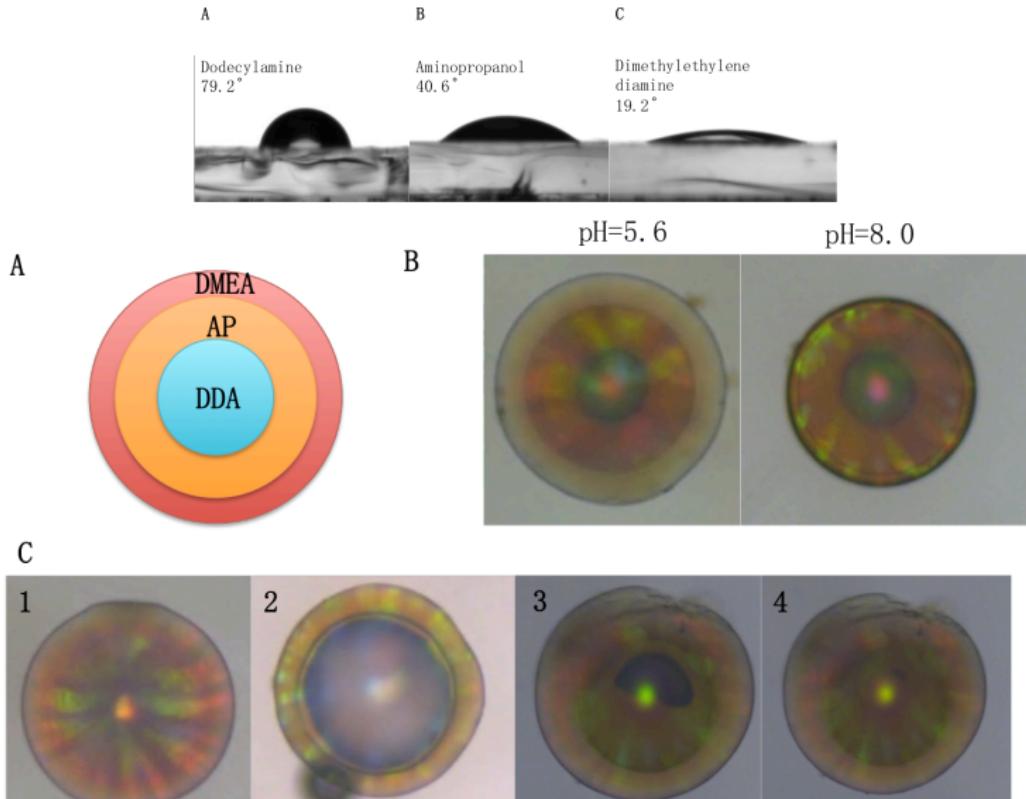
A



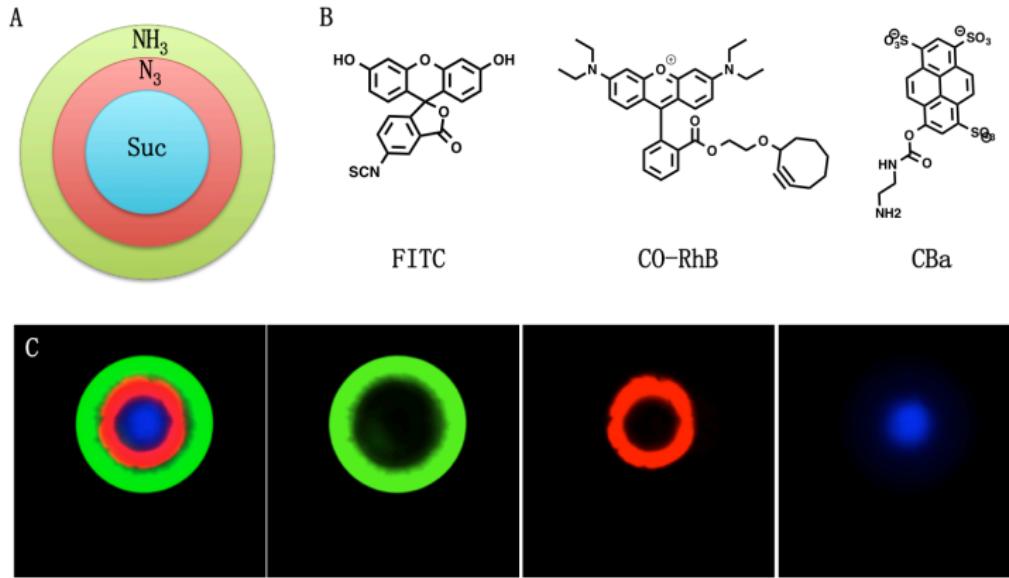
B



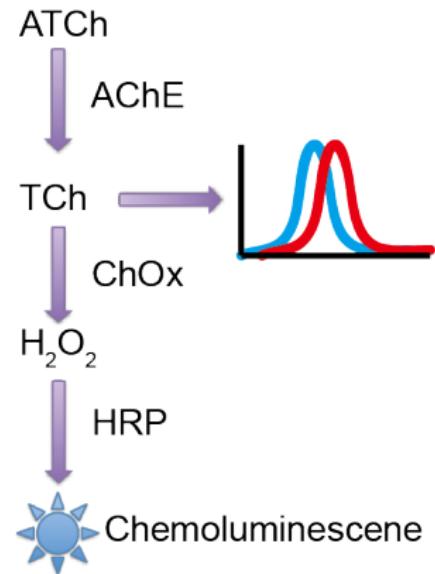
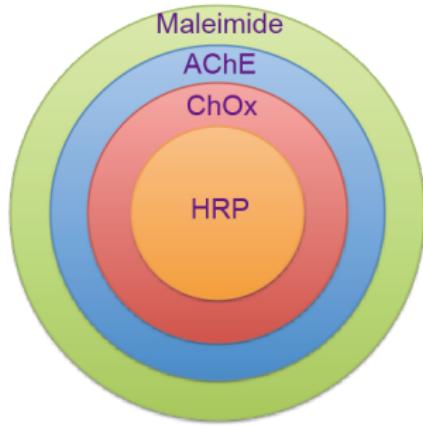
### 三维亲疏水梯度体系



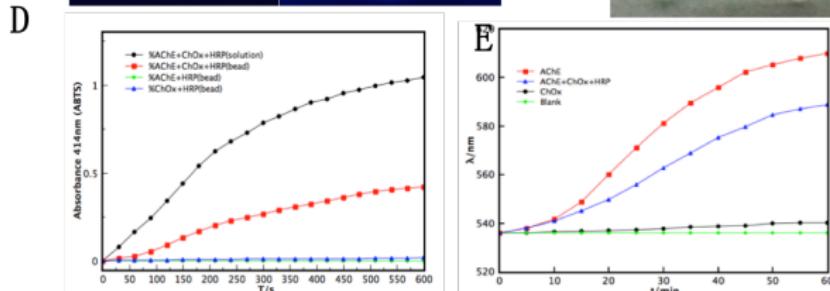
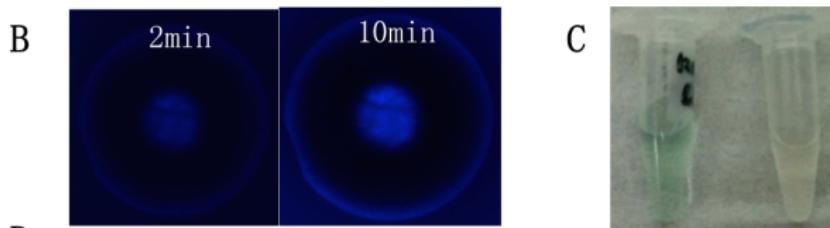
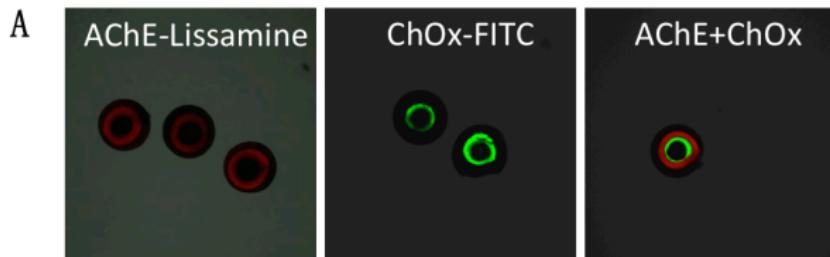
# 正交化学反应微球



# 自表达级联反应体系



# 自表达级联反应体系



## 本章小结

- 基于选择性刻蚀 - 反应成功实现了在光子晶体微球上的三维化学修饰与功能化；具有可调节的层数、组分及比例

## 本章小结

- 基于选择性刻蚀 - 反应成功实现了在光子晶体微球上的三维化学修饰与功能化；具有可调节的层数、组分及比例
- 光子晶体光学特性、孔道特性与三维复杂化学组成的有机整合使光子晶体具有极大的拓展性；

## 本章小结

- 基于选择性刻蚀 - 反应成功实现了在光子晶体微球上的三维化学修饰与功能化；具有可调节的层数、组分及比例
- 光子晶体光学特性、孔道特性与三维复杂化学组成的有机整合使光子晶体具有极大的拓展性；
- 基于选择性刻蚀 - 反应实现了三维尺度上的亲疏水梯度、正交化学反应微球、自表达级联反应体系等应用；

# 报告内容

## 1 课题背景及选题意义

## 2 研究内容

- 基于马来酰亚胺的光子晶体乙酰胆碱酯酶活性检测的研究
- 基于光敏高分子的三维光子晶体图案化的研究
- 基于刻蚀 - 反应的光子晶体微球复杂功能体系的研究

## 3 结论

# 总结

- 化学反应的多样性赋予了光子晶体材料充分的可调节性与可拓展性；

# 总结

- 化学反应的多样性赋予了光子晶体材料充分的可调节性与可拓展性；
- 通过马来酰亚胺 - 硫基反应发展了信号自表达的乙酰胆碱酯酶活性传感光子晶体材料；

# 总结

- 化学反应的多样性赋予了光子晶体材料充分的可调节性与可拓展性；
- 通过马来酰亚胺 - 硫基反应发展了信号自表达的乙酰胆碱酯酶活性传感光子晶体材料；
- 基于光敏高分子与选择性化学修饰实现了平面反蛋白石光子晶体的图案化与功能化，有利于光子晶体的实际应用；

# 总结

- 化学反应的多样性赋予了光子晶体材料充分的可调节性与可拓展性；
- 通过马来酰亚胺 - 硫基反应发展了信号自表达的乙酰胆碱酯酶活性传感光子晶体材料；
- 基于光敏高分子与选择性化学修饰实现了平面反蛋白石光子晶体的图案化与功能化，有利于光子晶体的实际应用；
- 结合选择性刻蚀 - 反应方法与光子晶体微球，实现了光子晶体材料三维尺度上的功能化；基于光子晶体光学性质、孔洞结构及三维复杂化学组成的协同作用发展了一种可拓展的光子晶体平台。

# 在读期间发表的学术论文

1. Tian T, Li X, Cui J, Li J, Lan Y, Wang C, Zhang M, Wang H, Li G. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2014, 6:15456–15465.
2. Li W, Tian T, Zhu W, Cui J, Ju Y, Li G. *Polym. Chem.*, 2013, 4:3057–3068.
3. Yang H, Li X, Lan Y, Tian T, Cui J, Zhu T, Shen D, Li G. *J. Mater. Chem. C*, 2013, 1:6120–6128.
4. Xu D, Zhu W, Wang C, Tian T, Li J, Lan Y, Zhang G, Zhang D, Li G. *Chem. Commun.*, 2014, 50:14133–14136.
5. Xu D, Zhu W, Wang C, Tian T, Cui J, Li J, Wang H, Li G. *Chem. Eur. J.*, 2014, 20:16620–16625.
6. Zhu T, Xu D, Wu Y, Li J, Zhou M, Tian T, Jiang Y, Li F, Li G. *J. Mater. Chem. B*, 2013, 1:6449–6458.
7. Wang C, Zhu W, Lan Y, Zhang M, Tian T, Wang H, Li G. *J. Phys. Chem. C*, 2014, 118:10754–10763.

# 致谢

- 感谢我的导师李广涛教授在基础知识、科研素养、科研洞察力上对我的悉心指导！他的培养使我终身受益。
- 感谢实验室全体同仁在平时实验及科研交流方面给予我的无私帮助！
- 感谢我的家人在平时对我的生活与学习上的帮助！
- 感谢国家自然科学基金及中德重大合作项目（TRR61）的资金支持，特此致谢！

Thank You !