

# Research on the application of silicone hydrophobic membrane preparation in antibacterial aspects

Ruize Luan

Xuzhou Medical University, Xuzhou, Jiangsu, 221004, China

## Abstract

In response to the increasing emphasis on public health issues, a highly effective antibacterial silicone hydrophobic composite film containing bactericidal components was prepared using the dip-coating method. Tests were conducted on contact angle, color difference, and antibacterial properties. The results demonstrated that the prepared film exhibited excellent hydrophobicity, with a contact angle of  $141^\circ$  and an antibacterial rate against *Escherichia coli* exceeding 90%.

## Keywords

Silicone film; Hydrophobicity; Antibacterial properties

# 有机硅疏水膜的制备在抗菌方面的应用研究

栾睿泽

徐州医科大学, 中国 · 江苏 徐州 221004

## 摘要

针对越来越重视公共环境的健康问题, 采用浸涂法制备了抗菌效果良好的含有杀菌组分的有机硅疏水复合膜, 采用接触角、色差和抗菌性测试。结果表明, 制备得到的膜具有良好的疏水性, 接触角为  $141^\circ$ , 对大肠杆菌的抗菌率大于 90%。

## 关键词

有机硅膜; 疏水性; 抗菌性

## 1 引言

随着病原微生物体传的播引起疾病新冠疫情结束, 人们越来越关注公共卫生的健康问题, 尤其是公共场所的病原病菌的大范围存在问题。伴随对于新冠病毒的认识逐步深入, 意识到在有毒细菌感染后“治”之前的更为重要的是“防”, 只有懂得“防”才能更有利于个人健康。有毒细菌的生存条件离不开适宜的温度和湿度, 如大肠杆菌和金黄色葡萄球菌等有毒细菌(以下简称细菌)的最适生长温度均在  $37^\circ\text{C}$  左右, 还需要依赖于存在的潮湿环境, 也就是让物体表面疏远水的是抗菌途径之一<sup>[1]</sup>。

近年来在纳米技术快速发展的推动下, 许多无机氧化物纳米粒子作为抗菌组分广泛应用于建筑材料、纺织品和医疗卫生等领域, 特别像目前鳞次栉比的一幢幢大楼都采用的玻璃材料, 污渍或细菌的液滴极易粘附在其表面, 形成污染, 采用价廉的具有纳米级氧化锌、十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)与有机硅材料复合制备的复合膜抗菌效果理应更好<sup>[2]</sup>。

【作者简介】栾睿泽(2005—), 男, 中国山东烟台人, 在读本科, 从事预防医学材料的基础研究。

## 2 材料及实验

材料和设备 环氧改性有机硅树脂(RE611)购于湖北隆胜四海新材料股份有限公司; 疏水纳米二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )粒径为  $5\text{ nm}\sim 50\text{ nm}$ , 购自潍坊三佳化工有限公司; 全氟十七氟癸基三甲氧基硅烷(FAS-17)由凯越化学试剂店提供; 高纯超细纳米氧化锌(粒径大小  $20\text{ nm}$ )购自中科中研有限公司; 无水乙二醇(AR)购自西陇试剂有限公司; 乙酸乙酯(AR)购自德州森特化工有限公司; 环氧固化剂(B210)购自昆山久力美电子材料有限公司; 人工汗液(CF-001)购自东莞市创峰自动化科技公司; 玻璃片(BK9)大小为  $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ , 购自深圳西普科电子有限公司。数显磁力搅拌器(HJ-1)购自常州市金坛友联仪器研究所; 超声波清洗机(AK-100), 深圳市钰洁清洗设备有限公司; 接触角测量仪(致佳 ZJ-6900), 深圳市致佳仪器设备有限公司。

膜的制备 纳米疏水  $\text{SiO}_2$  颗粒改性: 取  $5\text{ mL}$  FAS-17, 加入  $45\text{ mL}$  无水乙二醇, 超声分散, 充分搅拌, 配制成体积比为 10% 的疏水氟硅烷液, 随后加入疏水纳米  $\text{SiO}_2$ , 制备得到的液体简称为 FS 液。再取  $100\text{ g}$  乙酸乙酯, 搅拌过程中分别加入上述制备的 FS 液 0、2、4、6 和  $8\text{ mL}$ , 边搅拌边加入  $5\text{ g}$  环氧改性有机硅树脂、固化剂 1 克、 $0.1\text{ g}$  CTAB

和 0.05g 高纯超细纳米氧化高纯超细纳米氧化锌于直径大小 200mm 的培养皿中,用塑料镊子取干净的玻璃片于上述溶液中,浸泡 1min 后翻面再浸泡 1min 后取出平放在烧杯口上直到膜干为止。

性能测试 疏水性通过接触角大小的变化来判断疏水程度;色差采用高精度色差仪(DS-200)测试;抗菌性能参照国家卫生健康委员会发布的抗菌或抑菌评价方法 WS/T 650-2019 进行测试。

### 3 实验结果

#### 3.1 润湿性

制备的膜层疏水性通过接触角大小的变化来进行判断,通常接触角大于 90° 被认为膜层的润湿性较差,疏水性较好,各种细菌赖以生存的基础物质水难以留存,这样可以大幅减小细菌的残留,见图 1。

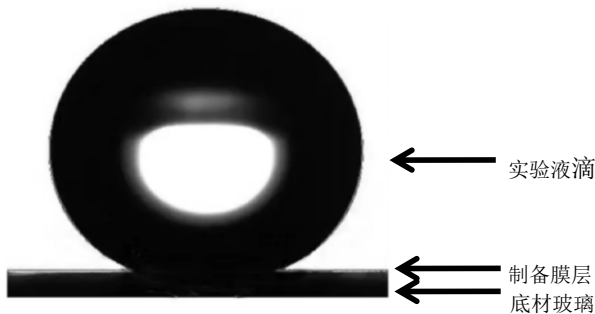


图 1 制备有机硅膜润湿性示意图

实验结果表明随着 FS 加入量的增大,接触角从开始的 90.72° 逐步显著增加到 141.23°,说明膜层变得越来越疏水了,继续增加疏水成分,接触角的数值变化不大,说明添加 FS 的最佳值就在 4mL 左右<sup>[3]</sup>。

表 1 疏水组分 FS 加入量对应的接触角变化关系

FS 添加量 (mL)	0	2	4	6	8
接触角大小 (°)	90.72	128.19	141.23	141.53	141.72

#### 3.2 膜的耐腐蚀性能测试

医院、电梯按钮、自助餐厅、自助值机设备和网吧等这类公共场所往往是细菌残留的主要区域,这些长期暴露或直接接触室外大气或稍显频繁接触的环境,如果浸涂一层抗菌的疏水膜,阻断或杀灭了部分细菌,既不影响美观和使用性能,又能有效地预防的各种有毒细菌的传播,这样对公共健康有益。膜层的颜色的变化在显示中展示得最为直观,有无颜色的变化一眼就可以看出,通过下列公式可以计算出来颜色的变化。

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta A^2 + \Delta B^2}$$

其中  $\Delta E$  代表的是色差值,  $\Delta L$  代表的是明暗度的变化值,  $\Delta A$  代表的是红绿变化值,  $\Delta B$  代表的黄蓝变化值,其中  $\Delta E$  大于 3.0 颜色变化肉眼容易识别出来<sup>[4]</sup>。

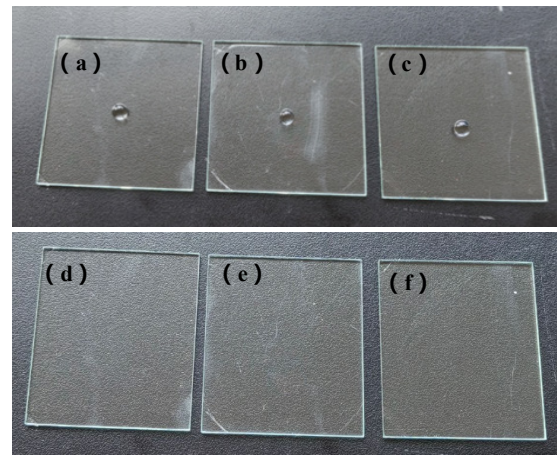


图 2 制备有机硅膜各种测试前后照片

采用玻璃片浸涂制备膜层后滴加测试 5% 的碳酸氢钠(图 2 a)、3% 的硼酸水溶液(图 2 b)、人工汗液(图 2 c)测试膜层的耐腐蚀性能,直到蒸发干燥为止,碳酸氢钠溶液挥发干后膜(图 2 d),硼酸水溶液挥发干后(图 2 e),人工汗液膜(图 2 e),测试后色差值均小于 3.0,显示玻璃片上的膜抗腐蚀性较好,对膜的外观和膜没有太大的影响。

表 2 各种腐蚀介质对膜的色差测试结果

腐蚀介质	5% 的碳酸氢钠	3% 的硼酸	人工汗液
色差 $\Delta E$	1.53	1.17	0.86

#### 3.3 膜的抗菌性能测试

膜的抗菌率是判断制备的膜抗菌或抑菌性能好坏的标志,基于本人测试抗菌结果基础上,外送专业检测机构确认,结果采用抗菌率来表示。通常抗菌率大于 90% 具有较好的抗菌效果,60-90% 之间具有抑菌效果<sup>[5]</sup>,本文选用两种细菌进行抗菌效果评价,图 3 为制备用于抗菌检测的有机硅膜的照片,并送往德检科技服务(青岛)有限公司进行检测。

从外送检测结果看,有机硅疏水膜层对大肠杆菌具有较好的抗菌效果(如图 4),其中金黄色葡萄球菌抗菌(图 4 a 为对对照,图 4 c 抗菌样)和大肠杆菌的抗菌(图 4 b 为对对照,图 4 d 抗菌样)检测后部分样品照片。具体测试结果显示制备的含有抗菌组分疏水有机硅膜对大肠杆菌抗菌率达到 91.11% 以上和金黄色葡萄球菌抗菌率达到 81.25% 以上,对这两种常见的细菌具有良好的抗菌效果,见表 3。

制备的疏水有机硅膜除了具有疏水功能外,还具有了抗菌效果,原因主要在于如下三个方面。一是有机硅膜的疏水性,这样细菌存活的基本物质条件水难以润湿玻璃表面,因此相当于去除了细菌赖以生长繁殖的基础。二是纳米级锌离子和季铵盐都显示出正电,凭借库仑静电引力牢固吸附于带负电的细菌外膜的脂多糖表面,膜层内低浓度锌离子形成了寡动力效应,参与了如铁离子等金属离子竞争结合,锌离子的渗入胞壁进入内部抑制革兰氏阴性大肠杆菌生长,破坏微生物金属稳态系统;季铵盐也通过静电引力季铵盐对金黄色葡萄球菌的细胞壁磷壁酸及膜磷脂等靶点部位结合,直接

引起革兰氏阳性菌的金黄色葡萄球菌细胞壁塌陷、破裂成碎片，胞内物质大量外泻。这样在锌离子和季铵盐的协同作用展现出良好的抗菌活性。三是有机硅疏水膜呈现出多孔结构，大肠杆菌的长度大小在2微米左右，而金黄色葡萄球菌的大小在1微米左右，大量的水分子因为疏水性被挡在膜层外

围，极少数通过毛细管效应渗入细菌液中大肠杆菌深入膜层中孔道内几率稍大，在锌离子和季铵盐的共同消杀作用下抗菌效果对大肠杆菌更好<sup>[6]</sup>。总之，静电吸附+膜破坏的"物理攻击"的方式起到了去污与杀菌一体化，清洁同时消灭细菌的目的。



图3 制备有机硅膜用于检测大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌效果玻璃片照片

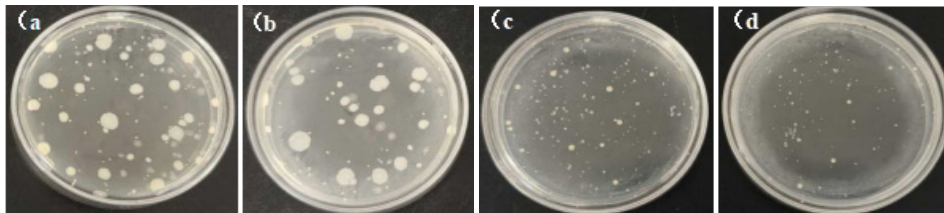


图4 制备有机硅膜的金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抗菌效果照片

表3 制备的有机硅疏水膜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌效果表

实验菌株	对照片接种活菌数 (CFU/片)	24h 对照样活菌数 (CFU/片)	24h 抗菌样品活菌数 (CFU/片)	抗菌率
大肠杆菌	$3.7 \times 10^5$	$9.5 \times 10^6$	$7.9 \times 10^5$	92.02
	$4.0 \times 10^5$	$9.0 \times 10^6$	$8.0 \times 10^5$	91.11
	$4.4 \times 10^5$	$9.7 \times 10^6$	$8.1 \times 10^5$	91.65
金黄色葡萄球菌	$2.0 \times 10^5$	$1.6 \times 10^6$	$2.9 \times 10^5$	81.88
	$2.2 \times 10^5$	$1.6 \times 10^6$	$3.0 \times 10^5$	81.25
	$2.2 \times 10^5$	$1.6 \times 10^6$	$2.8 \times 10^5$	82.50

## 4 结语

本研究成功通过浸涂法将疏水的纳米二氧化硅与环氧树脂相结合，辅助抗菌剂氧化锌和十六烷基溴化铵联合在玻璃片表面制备具有抗菌超疏水抗菌复合膜，得到了以下结论：

(1) 加入少量的疏水组分FS就可以制备获得接触角在140°左右的疏水膜，制备的膜层透明，可以抵御普通的腐蚀介质的侵蚀。

(2) 制备的有机硅疏水膜对大肠杆菌的抗菌率高达90%以上，对于金黄色葡萄球菌的抑菌率也超过了80%，表明在抗菌剂锌离子和季铵盐的协同作用下对革兰氏阳性菌、阴性菌均有较好的抗菌效果。

## 参考文献

[1] 张淑琪, 黄佳, 马鑫, 等. 乌鲁木齐市健康人群携带沙门菌

的耐药情况 及基因组特征分析, 中国预防医学杂志, 2025,26 (5): 584-588.

[2] 厉斌, 韩竞峰, 陶绍渠, 等. 改性纳米二氧化钛/壳聚糖季铵盐疏水抗菌纸的制备及性能研究, 中国造纸学报, 2025,40 (3): 85-93.

[3] 王凯, 王德武, 侯得印, 等. 自组装法制备PVDF-SiO<sub>2</sub>/PVSQ超疏水复合膜及膜蒸馏抗污染性能, 化工学报, 2019,70 (1): 298-308.

[4] 郭明, 王秀丽. 镀膜玻璃色差的调控技巧, 国外建材科技, 2008,29 (2): 67-74.

[5] Sui Siyao, Ma Jiajia, Lu Haoqian, et al. Characterizations and preservative effect of anti-fogging films prepared with nano-TiO<sub>2</sub>, 农业工程学报, 2019,35 (5): 302-310.

[6] 于慧, 张梦, 宋杰, 等. 膜抗菌性评价方法概述, 膜科学与技术, 2015,35 (4): 123-129.