

УДК 621.762

## ИССЛЕДОВАНИЕ БАКТЕРИЦИДНЫХ СВОЙСТВ НАНОПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА

*И.С. Алексеев, Н.И. Миклис, С.С. Клименков*

Загрязнение окружающей среды является самой большой проблемой в настоящее время и будет являться проблемой в ближайшем будущем.

В последнее время получает все более широкое распространение использование нанопокровтий и нанопорошков диоксида титана ( $TiO_2$ ) для фотокаталитического разложения вредных органических примесей в воде и воздухе, а также уничтожения широкой гаммы вредных бактерий и вирусов [1].

Термин *фотокатализ* появился в середине 20-х годов при исследовании фотохимических свойств  $ZnO$ . Также были исследованы фотокаталитические свойства  $TiO_2$  [2].

За эти годы полупроводники с фотокаталитическими свойствами были полностью или частично исследованы, включая  $TiO_2$  (3.2eV),  $SrTiO_3$  (3.4eV),  $Fe_2O_3$  (2.2eV),  $Cd$  (2.5eV),  $WO_3$  (2.8eV),  $ZnS$  (3.6eV),  $FeTiO_3$  (2.8eV),  $ZrO_2$  (5eV),  $V_2O_5$  (2.8eV),  $Nb_2O_5$  (3.4eV),  $SnO_2$  (3.5eV), так же, как и многие другие [3, 4, 5].

Из всех известных полупроводников, обладающих фотокаталитической активностью, наиболее перспективным является диоксид титана  $TiO_2$ , так как  $TiO_2$  является наиболее распространенным веществом, нетоксичным, с большой площадью удельной поверхности, низкой ценой, высокой химической и фотохимической стойкостью, высокой фотокаталитической активностью.

Возможно образование трех модификаций кристаллической решетки диоксида титана (анатаз, рутил, брукит). Тип кристаллической решетки зависит от технологических параметров процесса получения диоксида титана. От типа решетки, а также от наличия посторонних атомов в кристаллической решетке зависит фотокаталитическая активность. Диоксид титана имеет ширину запрещенной зоны 3,2 эВ, что соответствует поглощению длины волны  $\lambda \leq 390$  нм.

Объектом исследования являются фотокаталитические нанопокровтия.

Цель работы – исследование бактерицидных свойств нанопокровтий  $TiO_2$  с фотокаталитическими свойствами.

### МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Для исследования фотокаталитической очистки воздуха от токсичных соединений разработана экспериментальная установка.

На рисунке 1 представлена экспериментальная установка для исследования фотокаталитической очистки воздуха от бактерий.

2. Место проведения испытаний: научная лаборатория кафедры общей гигиены (объемом 50 м куб. при закрытых окнах и двери, наличии аэрации в присутствии 1 человека персонала) УО «Витебский государственный медицинский университет».

3. Используемые материалы:

3.1. Опытные образцы стекол с нанопокровтием из диоксида титана.

3.2. Герметичная камера из оргстекла объемом 0,025 м<sup>3</sup>.

3.3. Ультрафиолетовая лампа (УФ лампа) мощностью 10 Вт.

3.4. Среды бактериологические: среда для контроля стерильности.

3.5. Стандартные тест–культуры микроорганизмов *E.coli* ATCC 25922, *S.aureus* ATCC 25923, *P.aeruginosa* ATCC 27853, *C.albicans* ATCC 10231, *P.mirabilis* ATCC 14153, стандартизованные до 10<sup>9</sup> КОЕ/см<sup>3</sup>.

3.6. Контрольные стекла.

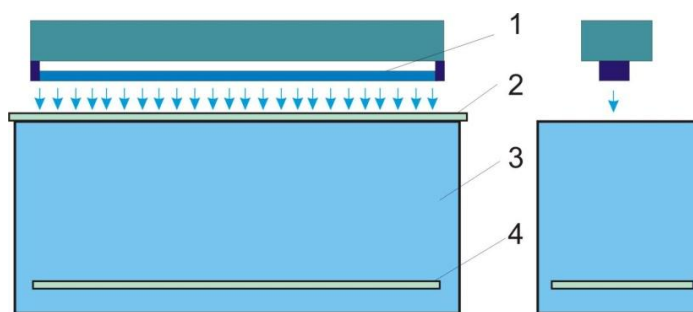


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для исследования фотокаталитической очистки воздуха от бактерий: 1 – лампа УФ излучения; 2 – стекло из метилметакрилата; 3 – стеклянный бокс; 4 – стекло с покрытием  $TiO_2$

4. Исследования проводились согласно инструкции 4.2.10 – 22 – 1 – 2006 «Методы микробиологического контроля санитарно-гигиенического состояния помещений в организациях здравоохранения и стерильности изделий медицинского назначения».

5. Цель исследования: определить антимикробную эффективность образцов с нанопокрытием из диоксида титана.

6. Исследуемый материал – покрытия  $TiO_2$ .

7. Оборудование и средства измерений, применяемые при проведении испытаний, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Применяемое оборудование

Наименование оборудования	Зав. №	Дата очередной проверки (аттестации)
Термостат тип ТС-80М	7197	02.05.2014

8. Проводили эксперимент на рабочем столе на расстоянии 3 м от окна без предварительного облучения стекол УФ лампой (опыт № 1); на подоконнике без предварительного облучения стекол УФ лампой (опыт № 2); на рабочем столе на расстоянии 3 м от окна с предварительным облучением стекол УФ лампой в течение 1 ч в герметичной камере (опыт № 3); на рабочем столе на расстоянии 3 м от окна с предварительным облучением стекол УФ лампой в течение 3 ч в герметичной камере (опыт № 4); при облучении стекол УФ лампой в течение всего эксперимента в герметичной камере (опыт № 5); при облучении УФ лампой в течение всего эксперимента камеры из оргстекла со стеклянным экраном перед экспериментальными поверхностями (опыт № 6); на рабочем столе на расстоянии 3 м от окна (перед стеклами установлен вентилятор, работающий в течение всего эксперимента) с предварительным облучением стекол УФ лампой в течение 3 ч в герметичной камере (опыт № 7); при облучении стекол УФ лампой в течение всего эксперимента в герметичной камере (перед стеклами установлен вентилятор, работающий в течение всего эксперимента) (опыт № 8).

Параллельно с экспериментальными поверхностями изучали антимикробную активность опытных стекол.

8.1. Взятие смывов производили марлевыми салфетками размером  $5 \times 5$  см, простерилизованными в бумажных пакетах. Для увлажнения салфеток в пробирку наливали по  $5 \text{ см}^3$  физиологического раствора. Салфетку захватывали стерильным пинцетом, увлажняли физиологическим раствором, после протирания исследуемой поверхности помещали в пробирку.

8.2. Для выделения микроорганизмов делали посев смывной жидкости непосредственно на чашки Петри со средой для контроля стерильности по  $1 \text{ см}^3$ . Засеянные среды инкубировали в термостате при  $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение 48 часов.

8.3. Производили подсчет выросших колоний бактерий.

9. Результаты исследования опытов 1 – 6 представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание микроорганизмов на опытных стеклах

Опыт	Микроор-	Экспозиция
------	----------	------------

	ганизмы	До экспе- рима- нта	0,5 ч	1 ч	2 ч	2,5 ч	3,5 ч	8 ч	24 ч
№ 1	<i>E.coli</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>S.aureus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>P.aeruginosa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>C.albicans</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>P.mirabilis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
№ 2	<i>E.coli</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>S.aureus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>P.aeruginosa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>C.albicans</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>P.mirabilis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
№ 3	<i>E.coli</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>S.aureus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>P.aeruginosa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>C.albicans</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>P.mirabilis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
№ 4	<i>E.coli</i>	+	+	$2 \times 10^3$	20		-	-	-
	<i>S.aureus</i>	+	+	$2 \times 10^4$	100		-	-	-
	<i>P.aeruginosa</i>	+	+	+	$2 \times 10^2$		-	-	-
	<i>C.albicans</i>	+	+	+	100		-	-	-
	<i>P.mirabilis</i>	+	+	+	$2 \times 10^3$		-	-	-
№ 5	<i>E.coli</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>S.aureus</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>P.aeruginosa</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>C.albicans</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>P.mirabilis</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
№ 6	<i>E.coli</i>	+	+	-	-	-	-	-	-
	<i>S.aureus</i>	+	+	-	-	-	-	-	-
	<i>P.aeruginosa</i>	+	+	-	-	-	-	-	-
	<i>C.albicans</i>	+	+	-	-	-	-	-	-
	<i>P.mirabilis</i>	+	+	-	-	-	-	-	-
№ 7	<i>E.coli</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>S.aureus</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>P.aeruginosa</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>C.albicans</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>P.mirabilis</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
№ 8	<i>E.coli</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>S.aureus</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>P.aeruginosa</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>C.albicans</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
	<i>P.mirabilis</i>	+	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: «+» – сплошной рост; «-» – отсутствие роста.

9.1. В контроле без облучения УФ лампой и с предварительным облучением УФ лампой в течение всего эксперимента на обычных стеклах наблюдался сплошной рост всех микроорганизмов.

9.2. В контроле при облучении УФ лампой обычных стекол наблюдалось подавление роста всех микроорганизмов до единичных колоний.

## 10. ВЫВОДЫ

10.1. При предварительном 3-часовом облучении опытных поверхностей в течение 3 часов после экспозиции через 0,5, 1 и 2 часа отмечен рост всех музейных штаммов микроорганизмов, а спустя 3 ч после экспозиции – отсутствие роста.

10.2. При предварительном 3-часовом облучении опытных поверхностей в течение 3 часов и движении воздуха от вентилятора после экспозиции через 0,5, 1, 2, 2,5, 3,5 и 8 ч выявлено отсутствие роста всех тест-культур микроорганизмов.

10.3. При непрерывном облучении УФ лампой в течение 0,5, 1, 2, 2,5, 3,5, 8 и 24 ч опытных поверхностей с нанопокрытием из диоксида титана наблюдалось отсутствие роста всех исследуемых тест-культур микроорганизмов.

10.4. При непрерывном облучении УФ лампой опытных поверхностей через стеклянный экран в течение 1 часа выявлено отсутствие роста всех музейных штаммов микроорганизмов.

10.5. При непрерывном облучении УФ лампой опытных поверхностей с нанопокрытием из диоксида титана и движении воздуха от вентилятора в течение 0, 5, 1, 2, 2, 5, 3,5 и 8 ч наблюдалось отсутствие роста всех тест-культур микроорганизмов.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Опытные поверхности с нанопокрытием из диоксида титана при непрерывном облучении их ультрафиолетовой лампой обладают антимикробной активностью в отношении музейных штаммов *E.coli* ATCC 25922, *S.aureus* ATCC 25923, *P.aeruginosa* ATCC 27853, *C.albicans* ATCC 10231, *P.mirabilis* ATCC 14153.

#### Список использованных источников

1. Carp O., Huisman C.L., Reller A. 2004. Induced reactivity of titanium dioxide. *Progress in Solid State Chemistry*, 32: 33-177
2. Yoshiya K., Shin-ya M., Hiroshi K., Bunsho O. 2002. Design, preparation and characterization of highly active metal oxide photocatalysts. In: *Photocatalysis: science and technology*. Kaneko M., Okura I. (eds.). Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag:29-4
3. Brinker C. J., Scherer G. W. 1990. *Sol-gel science. The physics and chemistry of sol-gel processing*. London, Academic Press
4. P. Sigmund, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* (1987). «Mechanisms and theory of physical sputtering by particle impact». *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B Beam Interactions with Materials and Atoms*
5. *Sputtering by Particle bombardment: Experiments and Computer Calculations from Threshold to Mev Energies.* — Springer, Berlin, 2007.

*Статья поступила в редакцию 14.10.2012*