

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИОКСИДА ТИТАНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

А.С. КОМАРОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
ak.komarov@gmail.com*

Использование наноструктурированных материалов находит применения во всех сферах нашей жизни. Благодаря своим фотокаталитическим свойствам, диоксид титана является одним из самых перспективных материалов для стерилизации очистки от органических соединений. В данной работе изучены свойства и возможные сферы применения диоксида титана.

Ключевые слова: диоксид титана, фотокаталитические свойства, стерилизация, дезинфекция.

Большое число полупроводниковых материалов, которые используются в качестве фотокаталитических веществ, являются окислами металлов TiO_2 , SnO_2 , Fe_2O_3 , WO_3 , In_2O_3 , ZnO , CdO . Такие материалы используются во многих процессах, в том числе для очистки воды и воздуха от органических загрязнений [1], а также для уничтожения бактерий [2]. Например, для дезинфекции воды традиционно используют ультрафиолетовое (УФ) излучение, а также целый ряд химических средств (хлор- и фенолсодержащие препараты, др.). В то же время перечисленные антимикробные агенты имеют целый ряд недостатков: УФ-излучение характеризуется низкой проникающей способностью, хлор- и фенолсодержащие препараты нестабильны, взаимодействуют с обрабатываемыми материалами, а их длительное использование может привести к искусственному отбору устойчивых форм микроорганизмов.

Диоксид титана выгодно отличается высокой fotocувствительностью и обладает приемлемой шириной запрещенной зоны ($E_g = 3,2$ eV). Поскольку он также является химически и биологически инертным и имеет низкую стоимость, он принадлежит к числу наиболее часто используемых фотокатализаторов.

Появление уникальной фотокаталитической активности у мезопористых образцов диоксида титана было продемонстрировано в 2004 году, что предопределило возросший интерес к получению экологически безопасных фотокатализаторов, способных разрушать практически любые органические соединения. В 2009 г. были получены мезопористые покрытия на основе TiO_2 , которые обладали такими же высокими каталитическими свойствами. Эти свойства проявлялись благодаря толстым стенкам пор и высокой кристалличности [3].

Сейчас диоксид титана все чаще используется в качестве материала для фотокаталитической стерилизации в медицинской и пищевой промышленности, а также для решения экологических проблем [4]. Обработка сочетанием окиси титана с ультрафиолетовым облучением является одной из лучших дезинфекционных технологий, поскольку при этом, в отличие от других дезинфекционных технологий не образуются опасных (канцерогенных, мутагенных, плохо пахнущих) соединений.

TiO_2 обычно существует в виде трех кристаллических структур: рутит, брукит и анатаз. Наименее стабильной фазой является брукит, к тому же его очень трудно получить. Вероятно, по этой причине брукит редко используется в фотокаталитических исследованиях. Большинство таких исследований проводилось для чистого анатаза, чистого рутила или для смеси этих двух фаз. Часто наиболее фотокаталитичной фазой счи-

тают анатаз. Однако смесь анатаза с рутилом проявляет лучшие фотокаталитические свойства для большего числа органических соединений [5].

Процесс фотокаталитического окисления на поверхности TiO_2 происходит только, если пленка облучается светом (или другим источником облучения) с энергией выше ширины запрещенной зоны. На первом этапе процесса под воздействием фотона, в зоне проводимости появляется электрон, оставляющий дырку в валентной зоне. На втором этапе дырки реагируют с адсорбированными частицами с образованием радикалов. Большинство радикалов являются нестабильными объектами, они исчезают, реагируя с другими, частицами или разлагаются. Обычно конечным продуктом являются простые молекулы. Если объектом фотоокисления являются органические соединения, конечными продуктами являются, в основном, CO_2 , вода и малые полярные молекулы. Бактерицидное воздействие TiO_2 под воздействием ультрафиолетового излучения было исследовано на многих опасных бактериях и вирусах, известных в больничной практике. В случае *Escherichia coli*, обработка разрушает как живые ячейки, так и эндотоксин, возникающий при их гибели [6]. Последний эффект особенно важен так, как эндотоксин неблагоприятно влияет на человека даже в сверхнизкой концентрации.

По данным европейского патентного общества получено 4 патента на технологию стерилизации с применением диоксида титана, 3 из которых получены в 2013 году и 1 в 2009. Также зарегистрировано 4 патента, использующих бактерицидный эффект TiO_2 , в 2011 году. И 40 патентов использующие фотокаталитические свойства TiO_2 под воздействием ультрафиолетового излучения. Большая часть патентов приходится на заявителей из Китая и Японии, это связано с необходимостью разработки новых способов очистки воды и дезинфекции в странах с большой плотностью населения.

Таким образом, можно сделать вывод о значимости проведения исследований по изучению фотокаталитических свойств TiO_2 для его дальнейшего применения в устройствах по стерилизации и дезинфекции.

Список литературы

1. *Хороших В.М., Белоус В.А.*, Пленки диоксида титана для фотокатализа и медицины // ФИП. 2009. Т.7, №3, С. 223–238.
2. *Xu M., Huang N., Xiao Z., Lu Z.*, Photoexcited TiO_2 nanoparticles through $^*\text{OH}$ -radicals induced malignant cells to necrosis // *Supramol. Sci.* – 1998. – Vol. 5. – P. 449–451.
3. *Tanaka K., Capule M. F. V., Hisanaga T.* Effect of crystallinity of TiO_2 on its photocatalytic action // *Chem. Phys. Lett.* – 2010. – Vol. 129. – P. 73–78.
4. *Sclafani A., Herrmann J. M.*, Comparison of the photoelectronic and photocatalytic activities of various anatase and rutile forms of titanium in pure liquid organic phases and in aqueous solutions // *J. Phys. Chem.* – 1996. – Vol. 100. – P. 13655–13661.
5. *Guillard C., Disdier J., Herrmann J.-M., Lechaut C., Chopin T., Malato S., Blanco J.*, Comparison of various titanium samples of industrial origin in the solar photocatalytic detoxification of water containing 4-chlorophenol // *Catalysis Today.* – 1999. – Vol. 54. – P. 217–228.
6. *Ibanez J.A., Litter M.I., Pizarro R.A.*, Photocatalytic bactericidal effect of TiO_2 on *Enterobacter cloacae* // *J. Photochem. Photobiol. A Chem.* – 2003. – Vol. 157. – P. 81–85.