

УДК 535.3

## МИКРОКАНАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ С ФОТОАКТИВНЫМ ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА

**Матросова А.С.** (Акционерное общество «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», Университет ИТМО),

**Демидов В.В.** (Акционерное общество «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова»)

**Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор  
Никоноров Н.В.** (Университет ИТМО)

Изучены спектрально-люминесцентные свойства оксидных покрытий, содержащих наночастицы оксида цинка (ZnO) и магния (MgO) и различные структурные формы серебра (Ag), а также процессы генерации в них синглетного кислорода. Разработана микроканальная мембрана на основе кварцевого стекла, на внутреннюю поверхность полостей которой нанесено фотоактивное покрытие с упомянутыми наночастицами. Показано, что исследуемый оптический элемент характеризуется высокой эффективностью генерации синглетного кислорода под действием ультрафиолетового (УФ) излучения и фиолетового света.

**Введение.** В настоящее время фотокаталитические и бактерицидные оксидные полупроводниковые материалы являются объектом интенсивных исследований и находят широкое практическое применение. Композиционные материалы на основе ZnO считаются одними из наиболее перспективных для использования в качестве фотокатализаторов и обладают высокими антибактериальными свойствами. При этом установлено, что добавки Ag существенно усиливают рассматриваемые свойства ZnO.

Химические активные соединения кислорода (reactive oxygen species, ROS) играют важную роль в фотокаталитических процессах и антибактериальной активности материалов. Особый интерес представляет разработка элементов устройств, обеспечивающих формирование ROS в газовых потоках и в системах очистки воды. Использование микроканальных мембран из прозрачного кварцевого стекла может обеспечить, с одной стороны, высокую прозрачность такого элемента для эффективной генерации ROS под действием оптического излучения, а с другой, значительную площадь контакта газового потока со стенками каналов с нанесенным фотоактивным покрытием.

Целью настоящей работы было исследование процессов генерации синглетного кислорода в микроканальных мембранах, содержащих наночастицы ZnO, MgO и Ag.

**Основная часть.** Для формирования покрытия с содержанием наночастиц ZnO, MgO и Ag применялся полимерно-солевой метод, суть которого заключается в использовании растворов на основе термически разлагаемых солей металлов и растворимого органического полимера. Приготовление пленкообразующего раствора осуществлялось путем смешивания водных растворов нитратов цинка, магния и серебра с поливинилпирролидоном (ПВП). Полости мембраны из кварцевого стекла (внешний диаметр – 3 мм, диаметр воздушных каналов – 0,07-0,25 мм, длина – 70 мм) заполнялись раствором, после чего оптический элемент высушивался при комнатной температуре в течение 24 часов и подвергался термической обработке в электрической печи при температуре 550 °С в течение 2 часов.

Исследование спектрально-люминесцентных свойств полученного раствора на основе  $Zn(NO_3)_2/Mg(NO_3)_2/AgNO_3/ПВП$  и изготовленного из него покрытия, нанесенного на поверхность пластины из щелочно-силикатного стекла, производилось путем измерения спектров их поглощения на спектрофотометре Lambda 900 (Perkin Elmer) в спектральном диапазоне от 200 до 900 нм. Способность покрытия к генерации синглетного кислорода устанавливалась в результате измерения спектра его фотолюминесценции в ближней инфракрасной области спектра. Для возбуждения фотолюминесценции материала

использовалось излучение светодиода HPR40E-50UV с максимумом полосы генерации на длине волны 370 нм. Спектры люминесценции исследовались на спектрометре SDH-IV (SOLAR Laser Systems).

Как было установлено, для спектров поглощения пленкообразующего раствора на основе  $Zn(NO_3)_2/Mg(NO_3)_2/AgNO_3/ПВП$  характерно наличие полос поглощения с максимумами на длинах волн 305 и 425 нм. Возникновение первой полосы обусловлено наличием в растворе нитратов серебра и других металлов. Полоса поглощения вблизи длины волны 425 нм связана с плазмонным поверхностным резонансом наночастиц Ag, образование которых происходит при восстановлении ионов Ag ПВП. Временная выдержка раствора приводит к снижению его прозрачности, что может объясняться формированием в нем агрегатов наночастиц.

Результаты исследований показали, что полученные на поверхности стеклянных пластин тонкие композиционные покрытия на основе наночастиц ZnO, MgO и Ag характеризуются высокой прозрачностью в видимой части спектра. Наличие в спектре покрытий полосы плазмонного поглощения наночастиц Ag свидетельствует об их практически неизменном размере после удаления растворителя в процессе термической обработки.

Известно, что люминесцентные свойства Ag-содержащих материалов в видимой части спектра существенно зависят от структурного состояния Ag (ионы, молекулярные кластеры, наночастицы), его концентрации и свойств окружающей среды. В спектре фотолюминесценции синтезированного покрытия наблюдается достаточно интенсивная полоса с максимумом вблизи длины волны 600 нм. Интенсивность полосы и положение ее спектрального максимума изменяются при варьировании длины волны возбуждающего излучения. Этот факт является следствием формирования в структуре композиционного материала молекулярных кластеров  $Ag_n$  ( $n < 5$ ), состоящих не более чем из пяти атомов или ионов Ag.

Наличие в спектре фотолюминесценции микроканальной мембраны с синтезированным на внутренней поверхности полостей покрытием полосы с максимумом вблизи длины волны 1270 нм свидетельствует об эффективной генерации покрытием синглетного кислорода, играющего важную роль в фотокаталитических процессах. Эффективность генерации кислорода с поверхности полученного покрытия превышает аналогичный параметр для покрытий на основе ZnO за счет включения в его состав наночастиц Ag.

**Выводы.** Фотоактивные покрытия на основе ZnO-MgO-Ag сформированы на внутренней поверхности полостей прозрачных микроканальных мембран из кварцевого стекла. Для синтеза покрытий использовались растворы, содержащие термические разлагаемые нитраты цинка, магния и серебра и органический растворитель (поливинилпирролидон), что обеспечивало образование прозрачных и однородных покрытий с наночастицами Ag. Экспериментально показана высокая эффективность генерации синглетного кислорода покрытиями и микроканальными мембранами под действием УФ излучения (370 нм) и фиолетового света (405 нм).