УДК 628.16, 697.941

Матульская Елизавета Игоревна, м.н.с.
(ИФПМ СО РАН, г. Томск)
Elizaveta I. Matulskaya, research assistant
(ISPMS SB RAS, Tomsk)

СОЗДАНИЕ ПОРИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ TIO_2/AG ДЛЯ ФОТОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ И ВОЗДУХА

CREATION OF POROUS COMPOSITE MATERIALS TIO_2/AG FOR PHOTOCHEMICAL TREATMENT OF WATER AND AIR

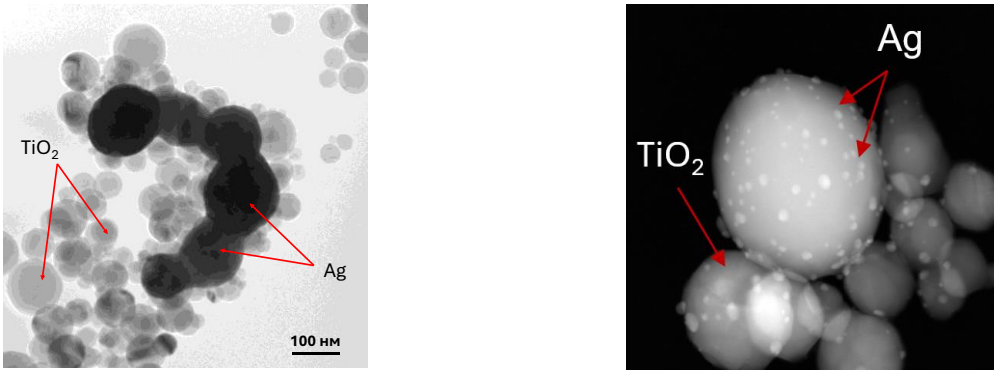
Аннотация. В работе представлены результаты исследований, направленные на разработку пористых композиционных материалов TiO_2/Ag для фотохимической очистки воды и воздуха. Для получения материала использован обнаруженный авторами эффект термической фрагментации частиц серебра, синтезированных электрическим взрывом проволоки. Показано, что термическая фрагментация серебра в присутствии TiO_2 приводит к повышению антибактериальной и фотохимической активности, в отличие от TiO_2, который самостоятельно не разлагает модельный краситель и не проявляет антибактериальную активность в отношении бактериальных штаммов.

Annotation. The paper presents the results of research aimed at developing porous TiO_2/Ag composite materials for the photochemical purification of water and air. To obtain the material, the authors used the effect of thermal fragmentation of silver particles synthesized by electrical wire explosion, which they discovered. It has been shown that thermal fragmentation of silver in the presence of TiO_2 leads to an increase in antibacterial and photochemical activity, unlike TiO_2, which does not decompose the model dye on its own and does not exhibit antibacterial activity against bacterial strains.

Наночастицы металлов обладают уникальными физическими, химическими и биологическими свойствами [1]. Значительный интерес представляют наночастицы Ag, которые могут быть использованы для модификации различных материалов с целью повышения их антибактериальной [2] и фотохимической [3] активности. Фотокатализаторы, содержащие наночастицы серебра, например, TiO_2 после модификации наночастицами Ag, эффективнее разлагают органические загрязнители на CO_2 и H_2O под действием видимого света [4].

Коллективом авторов разработан новый способ модификации пористых материалов путем термической фрагментации частиц Ag, полученных электрическим взрывом проволоки [5]. В работе [5] было

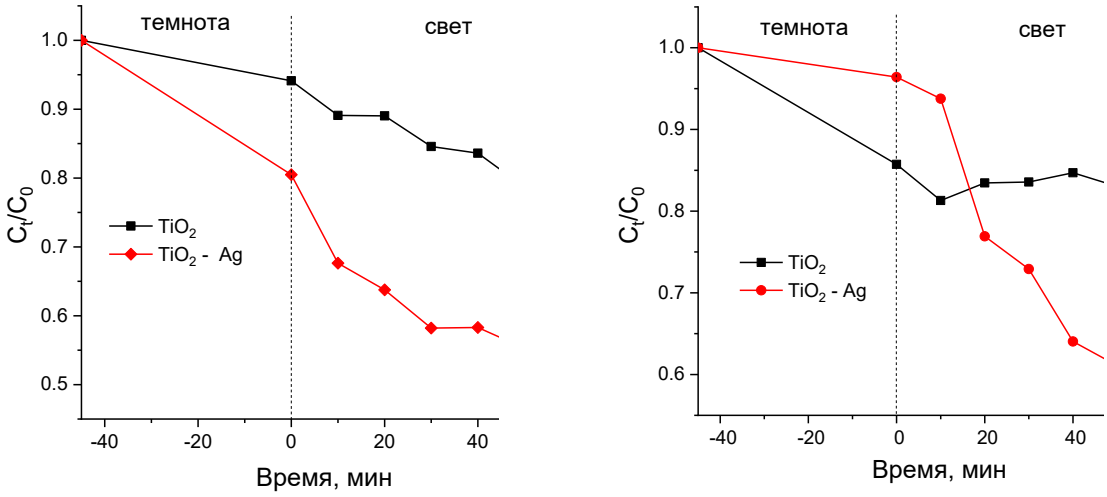
установлено, что при нагревании смеси порошков TiO_2 и Ag, происходит коалесценция агломерированных частиц серебра с последующей фрагментацией, которая сопровождается выбросом множества наночастиц Ag, покрывающих поверхность частиц TiO_2 (рис. 1 а, б).



а б

Рисунок 1. Светлопольное ПЭМ изображение смеси частиц TiO_2 и Ag до термической обработки (а), темнопольное СПЭМ изображение частиц TiO_2, покрытых наночастицами Ag, после термической обработки (б)

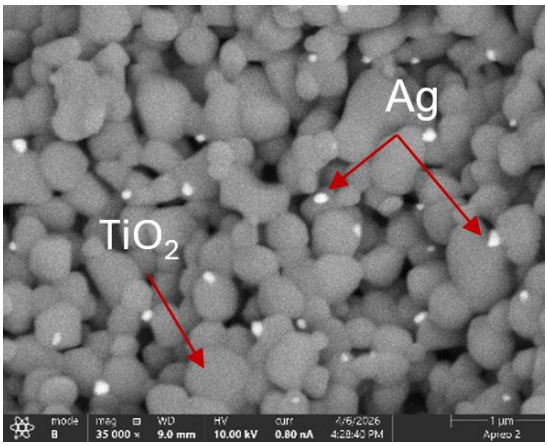
Полученные композиты проявили фотохимическую активность при облучении видимым светом в реакции разложения органических красителей в воде. Суспензии красителей с наночастицами облучали видимым излучением (480–520 нм), генерируемым ксеноновой лампой (ОЛКс-150М). Степень деградации Метиленового синего (МС) за 60 минут контакта с частицами TiO_2/Ag составила около 36 % (рис. 2 а). В случае Конго красного (КК) – 38 % (рис. 2 б). Оксид титана не оказал существенного разложения обоих красителей при облучении.



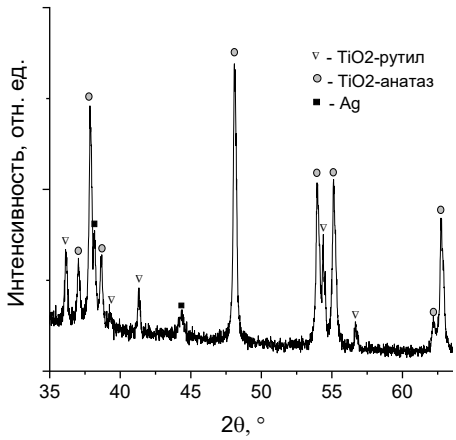
а б

Рисунок 2. Кинетические кривые деколоризации МС (а) и КК (б) в присутствии наночастиц

Использование мелкодисперсных порошков в технологиях очистки воды и воздуха достаточно затруднительно, наиболее целесообразно использовать компактные материалы в виде волокон или губчатых структур. В связи с этим, проводили термическую фрагментацию частиц серебра, предварительно иммобилизованных на поверхности пористой TiO_2 керамики. Установлено, что в результате нагрева до 400 °С, поверхность оксида покрывается наночастицами Ag размером 20–80 нм (рис. 3 а). По данным рентгенофазового анализа состав композита представлен фазой рутила, анатаза и серебра (рис. 3б).



а

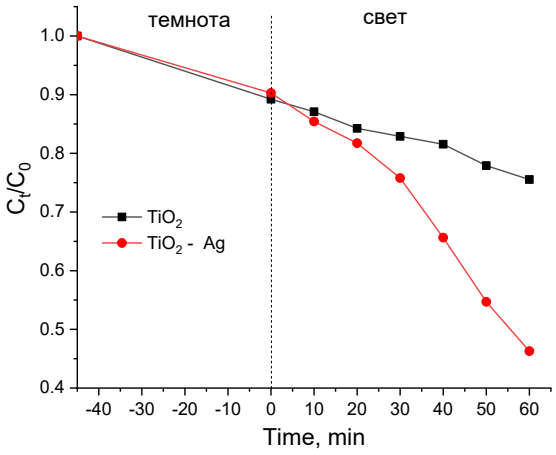


б

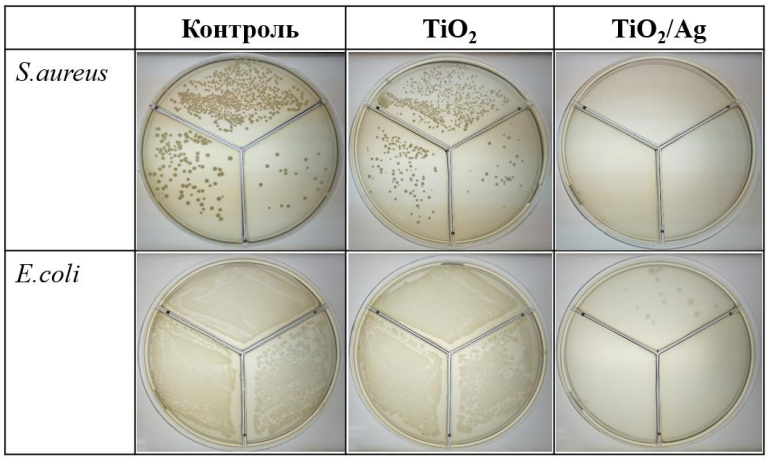
Рисунок 3.

Пористый композиционный материал также показал фотохимическую активность при разложении МС при облучении видимым светом (рис. 4 а). Эффективность разложения после модификации серебром выросла почти в 3 раза по сравнению с не модифицированным образцом и составила 45 % за 60 минут контакта.

По результатам экспериментов на антибактериальную активность (рис. 4 б) для культур *Staphylococcus aureus* АТСС 25923 и *Escherichia coli* АТСС 25922 на пористых TiO_2 и TiO_2/Ag видно, что композит TiO_2/Ag значительно угнетает бактериальный рост (эффективность составила 100 % для *S. aureus* и 93,57 % – для *E. coli*), по сравнению с контролем. Пористый TiO_2 не оказывает влияния на рост микроорганизмов в аналогичных условиях.



а



б

Рисунок 4. Кинетические кривые деколоризации МС в присутствии пористой TiO_2 керамики, модифицированной наночастицами Ag (а), и антибактериальная активность TiO_2 и TiO_2/Ag до и после модификации (б)

Таким образом, было показано, что пористый TiO_2, модифицированный путем термической фрагментации наночастиц Ag на его поверхности, приобретает улучшенные фотокаталитические и антибактериальные свойства. Описанные результаты могут быть использованы для создания фотохимически активных сменных элементов рециркуляторов, предназначенных для очистки воды и воздуха.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 25-19-00598, https://rscf.ru/project/25-19-00598.

Список литературы

1. Beyene H. D. et al. Synthesis paradigm and applications of silver nanoparticles (AgNPs), a review // Sustainable materials and technologies. – 2017. – Т. 13. – С. 18-23.
2. Adochiţe C. Ş. et al. Synthesis and investigation of antibacterial activity of thin films based on TiO_2-Ag and SiO_2-Ag with potential applications in medical environment // Nanomaterials. – 2022. – Т. 12. – №. 6. – С. 902.
3. Lettieri S. et al. Charge carrier processes and optical properties in TiO_2 and TiO_2-based heterojunction photocatalysts: A review // Materials. – 2021. – Т. 14. – №. 7. – С. 1645.
4. Abbasi R. et al. Structural parameters of nanoparticles affecting their toxicity for biomedical applications: a review // Journal of Nanoparticle Research. – 2023. – Т. 25. – №. 3. – С. 43.
5. Matulskaya E. I. et al. Effect of thermal fragmentation of Ag particles // Applied Physics A. – 2026. – Т. 132. – №. 9. – С. 886.