

Tubular Elements of Ground Heat Exchangers // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2015, Vol. 88, No 3. – P. 676-680.

5. Kusaiynov K., Shuyushbayeva N. N., Shaimerdenova K. M., B.R Nusupbekov/ Technical Physics. Pleiades Publishing, 2017. – V.62. – №6. – P. 867-870.

СИНТЕЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ НАНОСТЕРЖНЕЙ ДИОКСИДА ТИТАНА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Садықова А.Е., Сериков Т.М., Омарова Г.С.,

Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова,
г.Караганда, Казахстан, sadikova-aigul@mail.ru

В статье описывается гидротермальный синтез наностержней диоксида титана при температуре 160°C. Приведены результаты СЭМ изображения и спектр поглощения. Также исследованы спектры люминесценции пленок TiO₂ структуры анатаз, образованных из наностержней диоксида титана. Показано, что при охлаждении пленок до T=77 K в интервале длин волн 400 – 800 нм регистрируется широкая полоса свечения с максимумами на 460 и 570 нм.

Ключевые слова: наностержни диоксида титана, фотокатализ, гидротермальный синтез

Солнечный свет и вода – два неисчерпаемых, постоянно восполняемых источника энергии, которые природа щедро предоставляет нашей планете. Солнце, как гигантский термоядерный реактор, излучает колоссальное количество электромагнитных волн, представляя собой практически неиссякаемый резервуар энергии. Использование этой энергии – одна из главных задач современной альтернативной энергетики, важность которой трудно переоценить в контексте глобальных климатических изменений и истощения традиционных топливных ресурсов. Ученые всего мира активно работают над созданием эффективных и экономичных способов преобразования солнечной энергии в другие, более удобные для использования формы. Вода, в свою очередь, представляет собой не просто источник жизни, но и потенциально неисчерпаемый источник водорода – экологически чистого и высокоэффективного топлива. Разложение молекул воды на водород и кислород – процесс, который может быть осуществлен с помощью энергии света. Сре-

ди различных методов получения водорода из воды, фотокаталитическое расщепление молекул воды под действием солнечного света является наиболее перспективным. Этот метод, в отличие от электролиза, не требует затрат электрической энергии и может осуществляться непосредственно под воздействием солнечной радиации. Одним из наиболее изученных и применяемых фотокатализаторов является диоксид титана (TiO_2). Его привлекательность обусловлена несколькими факторами: высокая химическая инертность – он не вступает в реакции с большинством веществ, что обеспечивает его долговечность и безопасность; отсутствие токсичности – он не вредит окружающей среде и здоровью человека; низкая стоимость – TiO_2 является относительно недорогим материалом, что делает его масштабное применение экономически целесообразным. Однако у TiO_2 есть и существенные недостатки, которые сдерживают его широкое использование в качестве эффективного фотокатализатора. Главная проблема заключается в низкой квантовой эффективности процесса фотокаталитического разложения воды. Это связано со слабым разделением электронно-дырочных пар, образующихся в TiO_2 под действием света. Электроны и дырки быстро рекомбинируют, не успев принять участие в реакциях разложения воды. Другой важный недостаток – ограниченный спектр поглощения TiO_2 , который находится преимущественно в ультрафиолетовой области спектра. Солнечный свет содержит значительно больше энергии в видимой и инфракрасной областях, которые TiO_2 практически не поглощает. Это резко снижает эффективность использования солнечной энергии. Для решения этих проблем учёные по всему миру ведут интенсивные исследования. Одной из наиболее перспективных стратегий является модификация TiO_2 различными добавками – металлами, неметаллами и органическими соединениями. Внесение примесей в кристаллическую решетку TiO_2 может существенно изменить его оптические и электронные свойства, улучшив квантовую эффективность и расширив спектр поглощения. Однако, введение добавок – это тонкий процесс, требующий тщательного исследования. Неправильный выбор добавки или её концентрации может привести к ухудшению, а не улучшению фотокаталитических свойств TiO_2 . Поэтому изучение влияния различных добавок на оптические и фотокаталитические характеристики TiO_2 – это критически важная задача, стоящая перед современной наукой. Необходимо детально исследовать влияние каждой добавки на такие параметры, как ширина запрещённой зоны, скорость рекомбинации электронно-дырочных пар, поверхностные свойства, стабильность материала и многое другое. Только комплексный подход, включающий синтез новых материалов, исследование их свойств с помощью современных физико-

химических методов и разработку оптимальных условий фотокаталитического процесса, позволит создать высокоэффективные и практически применимые фотокатализаторы на основе TiO_2 для массового производства водорода из воды с использованием солнечной энергии. Это является залогом создания экологически чистого и неисчерпаемого источника энергии для будущего [1-3].

В настоящей работе синтезированы наноструктурированные пленки на основе наностержней (НС) диоксида титана и исследованы их оптические свойства.

Процесс создания наноструктурированных пленок диоксида титана (TiO_2) начался с подготовки раствора для синтеза. В автоклаве из нержавеющей стали, объемом 100 мл и оснащенный фторопластовой вставкой, смешали 35 мл деионизованной воды, 35 мл 36,5%-ной соляной кислоты (поставщик Sigma-Aldrich) и 0,25 мл бутилата титана $\text{C}_{16}\text{H}_{36}\text{O}_4\text{Ti}$ (также от Sigma-Aldrich, чистота 97%). Эта смесь – основа для формирования наноструктурированного TiO_2 . Перед началом синтеза, стеклянные подложки с проводящим слоем FTO (с сопротивлением 8 Ом/см²) тщательно очищались. Процесс очистки осуществлялся в ультразвуковой ванне, где подложки выдерживались в течение 30 минут в смеси деионизованной воды, ацетона и 2-пропанола в объемном соотношении 1:1:1. Это необходимо для удаления с поверхности любых загрязнений, которые могли бы повлиять на рост наноструктур TiO_2 и, следовательно, на свойства полученных пленок. После очистки подложки с проводящей стороной вниз помещались в автоклав, в котором и происходил процесс гидротермального синтеза. Для получения пленок TiO_2 с различной морфологией, определяемой размерами и расположением наночастиц, менялись два параметра: температура и время синтеза. Температура варьировалась от 160°C, а время – 6 часов. После завершения синтеза автоклав медленно остужался до комнатной температуры естественным путем, что предотвращало резкие температурные перепады и потенциальное повреждение формирующихся пленок. Затем полученные пленки тщательно промывались изопропиловым спиртом, затем деионизованной водой для удаления остатков реагентов и растворителей. После промывки пленки оставлялись для высыхания на воздухе.

Морфология поверхности синтезированных пленок, образованных НС TiO_2 , приведена на рисунке 1.

Край полосы поглощения наностержней приходится на 370 нм (рисунке 1б). Как показано в работах [4-6], батохромный сдвиг края полосы поглощения является результатом уменьшения его ширины запрещенной зоны. Уменьшение ширины запрещенной зоны способствует

более высокой фотокаталитической активности. Диоксид титана имеет широкую запрещенную зону (band gap) примерно 3,2 эВ (для анестезированного TiO_2 , а для рутиловой формы — около 3,0 эВ), что означает, что он эффективно поглощает только ультрафиолетовый свет. Это ограничивает его активность при видимом свете, поскольку энергия фотонов в видимой области спектра слишком мала для того, чтобы возбуждать электроны через эту широкую запрещенную зону.

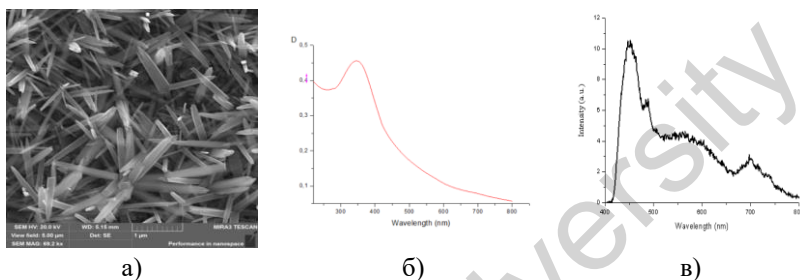


Рисунок 1 – СЭМ изображения пленок (а) Спектры поглощения (а) и спектр флуоресценции (б) НС TiO_2

По краю собственного поглощения УФ спектров была оценена ширина запрещенной зоны НС TiO_2 , что составила для НС (77 K) – 3,17 эВ. Увеличение температуры обработки приводит к изменению положения максимума спектра поглощения. Для НС (анатаз) диоксида титана ширина запрещенной зоны составила 3,18 эВ.

На рисунке 1 в приведены спектры люминесценции пленок структуры анатаз, образованных НС диоксида титана.

При охлаждении пленок до $T=77\text{ K}$ в интервале длин волн 400 – 800 нм регистрируется широкая полоса свечения с максимумами на 460 и 570 нм. При понижении температуры подложки вплоть до 77 К интенсивность свечений увеличивается. Природа этого свечения связана с дефектами, расположенными в приповерхностной области кристаллитов.

Исследование, объединившее анализ фотолюминесценции и микроструктуры тонких пленок диоксида титана (TiO_2) в рутильной модификации, выявило существенную корреляцию между излучательными характеристиками материала и размером кристаллитов. Экспериментально подтверждена прямая зависимость интенсивности фотолюминесценции от размера зерен в ориентированных пленках рутила. Наблюдалось значительное, приблизительно тридцатикратное, умень-

шение интенсивности излучения в ближней инфракрасной области спектра (с максимумом излучения около 700 нанометров), характерного для рутила, при переходе от субмикрористаллической структуры к нанокристаллической. Это говорит о том, что размер кристаллитов играет определяющую роль в эффективности излучательной рекомбинации электронно-дырочных пар в диоксиде титана. Более того, исследование указало на тесную связь между фотолюминесценцией и наличием кислородных вакансий в кристаллической решетке TiO₂. Эти вакансии, представляющие собой дефекты структуры, действуют как центры локализации носителей заряда, влияя на процессы рекомбинации и, следовательно, на интенсивность люминесценции. Внесение примесей азота и никеля в структуру диоксида титана привело к перераспределению интенсивности излучения в видимой области спектра. Наблюдалось изменение интенсивности пиков люминесценции с максимумами приблизительно 450 нм и 555-565 нм. Это явление можно интерпретировать как изменение концентрации центров локализации носителей заряда, а также количества центров безызлучательной рекомбинации, то есть центров, где энергия возбужденных электронов переходит в тепловую энергию, а не излучается в виде фотонов. Таким образом, легирование диоксида титана азотом и никелем существенно модифицирует его оптические свойства, изменяя баланс между излучательными и безызлучательными процессами рекомбинации. Полученные результаты важны для понимания фундаментальных процессов, происходящих в наноматериалах на основе диоксида титана, и могут быть использованы для целенаправленного управления оптическими свойствами TiO₂ в различных приложениях, таких как фотокатализ, сенсорика и оптоэлектроника. Дальнейшие исследования в этом направлении могут привести к разработке новых материалов с улучшенными функциональными характеристиками.

*Данное исследование финансируется Комитетом науки
Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан
(грант № AP19680241).*

Литература

1. Ahmad H., Kamaruddin S.K., Hydrogen from photo-catalytic water splitting process: A review // Renewable & Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Т. 43, С. 599-610.
2. Walter M.G. et al. Solar Water Splitting Cells // Chemical reviews. – 2010. – Т. 110, № 11. – Р. 6446-6473.

3. Maeda K. Photocatalytic water splitting using semiconductors for particles: History

4. W. Zhou, H. Liu, R.I. Boughton, G. Du, J. Lin, J. Wang, et al., One-dimensional single-crystalline TiO₂ based nanostructures: properties, synthesis, modifications and applications, J. Mater. Chem. 20 (2010) 5993e6008.

5. N. Singh, J. Prakash, M. Misra, A. Sharma, R.K. Gupta, Dual functional Ta-doped electrospun TiO₂ nanofibers with enhanced photocatalysis and SERS detection for organic compounds, ACS Appl. Mater. Interfaces 9 (2017) 28495e28507.

6. P. Jai, A. Tripathi, V. Rigato, J.C. Pivin, T. Jalaj, C. Keun Hwa, et al., Synthesis of Au nanoparticles at the surface and embedded in carbonaceous matrix by 150keV Ar ion irradiation, J. Phys. Appl. Phys. 44 (2011) 125302.

ӘР ТҮРЛІ ТИПТЕГІ ЖЕЛ ТУРБИНАЛАРЫН МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСТЕРІ

И.О. Саржанова¹, А.Н. Дюсембаева², А.Р. Мұхамедрахим³

¹Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, 1 курс докторанты, Қарағанды, Қазақстан, indirasar@mail.ru

²Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Ж.С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физикасы кафедрасы, қауымдастырылған профессор, Қарағанды, Қазақстан, aikabesoba88@mail.ru

³Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, 4 курс студенті, Қарағанды, Қазақстан, almatmuhamedrahim@gmail.com

Мақалада жел энергетикалық қондырғыларда қолданылатын ауа ағынындағы айнымалы цилиндрлердің аэродинамикасының математикалық модельдеу сұрақтарын қарастырады. Навье-Стокс теңдеуін қолдана отырып турбулентті ағыстардың сандық модельдеуіне және соңғы көлемдер әдісіне аса мән беріледі. Қазақстанға сай төмен жылдамдықтағы жел жағдайларында жел қондырғылары жұмысының тиімділігін арттыру үшін әр түрлі құрылымдық шешімдерді салыстыру жасалған. Есептік әдістер мен ANSYS Fluent бағдарламалық кешенін қолдана отырып цилиндрлік қалақшалардың геометриялық параметрлерін оңтайландырудың заманауи әдістері қарастырылған. Зерттелетін құрылымдардың аэродинамикалық сипаттамаларын бағалауға мүмкіндік беретін сандық эксперименттің нәтижелері көрсетілген. Жасалған сараптама