

УДК 535.34

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОШКА ОКСИДА ЦИНКА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДА МАГНИЯ

© 2024 г. М. М. Михайлов^а, В. В. Нещименко^б, С. А. Юрьев^а, А. Н. Лапин^а,
В. А. Горончко^а, А. Н. Дудин^б, В. Ю. Юрина^{а, *}

^аТомский государственный университет управления и радиоэлектроники, Томск, 634050 Россия

^бАмурский государственный университет, Благовещенск, 675027 Россия

*e-mail: viktoriy-09@mail.ru

Поступила в редакцию 30.09.2023 г.

После доработки 26.12.2023 г.

Принята к публикации 26.12.2023 г.

Исследовали влияние модифицирования наночастицами MgO (концентрацией 0.1–10 мас. %) на спектры диффузного отражения порошками ZnO излучения с длиной волны 0.2–2.5 мкм до и после облучения электронами с энергией 30 кэВ. Модифицирование порошка ZnO осуществляли нанопорошком MgO при концентрациях от 0.1 до 10 мас. % твердотельным способом при температуре прогрева 650°C. Рентгенофазовый анализ показал, что при таком способе модифицирования образование дополнительных фаз отсутствует. Установлено, что оксид цинка имеет структуру, симметрия которой относится к пространственной группе $R\bar{6}_{3mc}$, оксид магния — к пространственной группе $Fm\bar{3}m$. Коэффициент диффузного отражения таких порошков в видимой области свыше 90%. При облучении электронами с энергией 30 кэВ исходного и модифицированного порошков ZnO, а также нанопорошка MgO, регистрировали уменьшение их отражательной способности во всей исследуемой области спектра излучения. Установлено, что модифицирование порошка наночастицами MgO при концентрации 3 мас. % приводит к увеличению радиационной стойкости в 1.32 раза по сравнению с немодифицированными образцами. Этот эффект определяется стоком радиационных дефектов на развитой удельной поверхности наночастиц.

Ключевые слова: оксид цинка, оксид магния, оптические свойства, облучение, электроны.

DOI: 10.31857/S1028096024050087, **EDN:** FTWUMA

ВВЕДЕНИЕ

Оксид цинка является широко используемым пигментом для покрытий класса “солнечные отражатели”, что обусловлено его высокой стойкостью к действию заряженных частиц и солнечному ультрафиолетовому (УФ) излучению [1–4]. В процессе эксплуатации в этих материалах образуются центры поглощения, приводящие к поглощению в УФ-, видимой и ближней инфракрасной (ИК) областях спектра и снижающих коэффициент диффузного отражения. Для устранения проблемы и повышения стойкости пигмента к воздействию ионизирующего излучения в космосе требуется разработка инновационных методов.

Ранее для повышения фото- и радиационной стойкости оксидных порошков, в том числе и порошков оксида цинка, применяли следующие методы [5–9]: модифицирование микропорошков оксидами редкоземельных элементов; обогащение оксидных микропорошков кислородом путем добавок кислородосодержащих соединений типа тетраборатов натрия и калия; фторирование оксидных микропорошков; оптимизация размеров частиц и удельной поверхности микропорошков; создание на поверхности микропорошков защитных слоев из диоксида кремния методом микрокапсулирования.

Одним из перспективных способов решения этой проблемы может быть модифицирование

пигментов белыми оксидными нанопорошками, поскольку наночастицы, обладая большой удельной поверхностью, способствуют релаксации дефектов, образующихся при облучении. Исследования по влиянию модифицирования нанопорошками на фото- и радиационную стойкость пигментов показали высокую эффективность данного метода [10–15].

Целью настоящего исследования являлся сравнительный анализ спектров диффузного отражения и спектров наведенного поглощения после облучения электронами порошков оксида цинка, модифицированных наночастицами MgO с концентрацией 0.1–10 мас. %.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектом исследования служили промышленно производимые микропорошки оксида цинка квалификации ОСЧ 14-2. Для модифицирования использован нанопорошок оксида магния. Модифицирование осуществляли твердотельным способом при температуре прогрева смесей микро- и нанопорошков 650°C в течение 2 ч. Рентгенограммы получали с помощью дифрактометра XRD-6100 (Shimadzu, Япония). Спектры диффузного отражения в ИК-диапазоне (от 400 до 4000 см⁻¹) записывали с помощью ИК Фурье спектрометра Shimadzu IRTracer-100 с приставкой диффузного отражения DRS-8000A. Размер частиц оценивали на лазерном анализаторе частиц SALD-2300.

Регистрацию спектров диффузного отражения (ρ_λ) в области 0.2–2.5 мкм в вакууме на месте облучения (*in situ*) и облучение образцов осуществляли

в установке-имитаторе условий космического пространства “Спектр” [16]. Расчет интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения (a_s) осуществляли по методике Джонсона [17] в соответствии с международными стандартами [18, 19]. Облучение образцов осуществляли электронами с энергией 30 кэВ, флуенсом 2×10^{16} см⁻² при плотности потока 4×10^{12} см⁻²·с⁻¹.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исходном микропорошке ZnO содержатся частицы и гранулы размером от 0.1 до 60 мкм (рис. 1.), средний размер составляет 3.83 мкм. В распределении частиц по размеру зарегистрированы 3 максимума при 0.17, 2.25 и 9.4 мкм. В нанопорошке MgO (*n*MgO) обнаружены частицы с размерами от 0.17 нм (граница чувствительности лазерного анализатора частиц SALD-2300) до 350 нм, средний размер частиц составляет 48 нм. Максимум распределения почти соответствует этому значению и регистрируется при 47 нм. Полученные данные соответствуют размерам нанопорошка оксида магния, заявленным производителем (40–60 нм). При модифицировании микропорошка ZnO наночастицами MgO происходит разрушение крупных гранул и спекание мелких частиц. В итоге получается распределение с одним максимумом при 2.27 мкм (рис. 1, кривая 2), средний размер частиц модифицированного порошка ZnO + 3% *n*MgO составляет 2.1 мкм, диапазон размеров частиц и гранул – от 0.3 до 12 мкм.

На рис. 2 представлены рентгенограммы исходного и модифицированного микропорошка

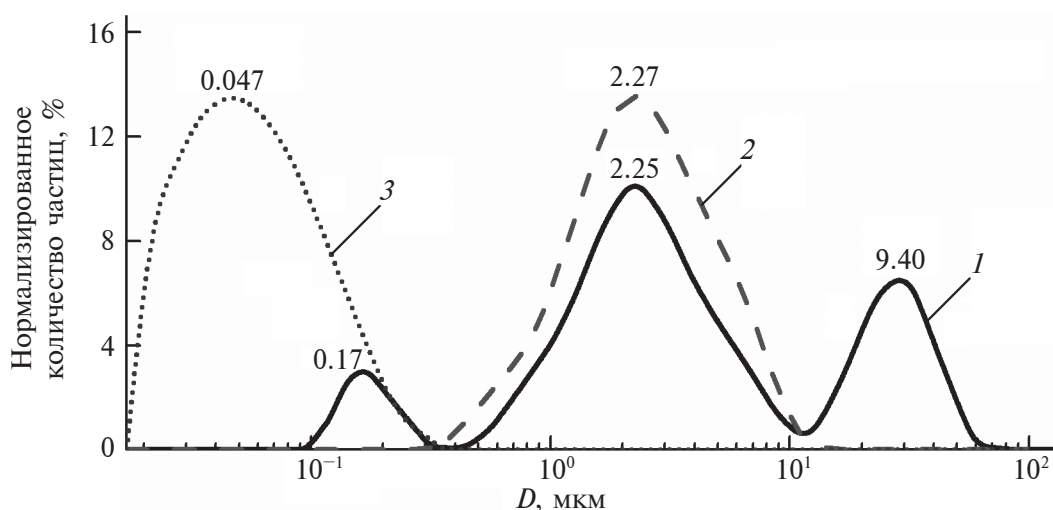


Рис. 1. Гранулометрический состав исходного микропорошка ZnO (1), и модифицированного 3 мас. % наночастиц *n*MgO (2) и нанопорошка *n*MgO (3).

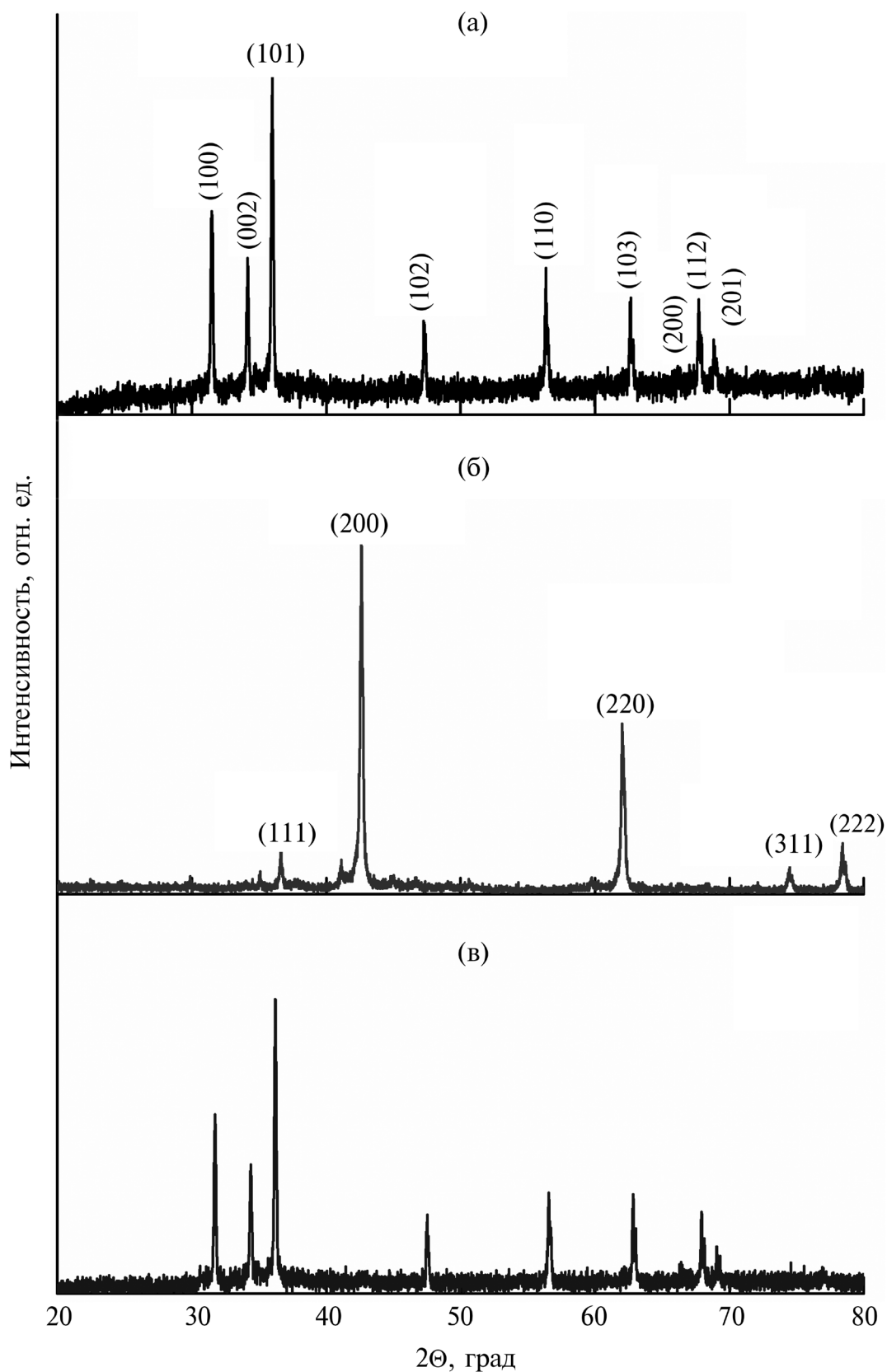


Рис. 2. Рентгенограммы исходного микропорошка ZnO (а), нанопорошка *n*MgO (б) и модифицированного порошка ZnO + 10% *n*MgO (в).

оксида цинка, а также нанопорошка оксида магния с обозначенными индексами Миллера. Из рентгенограмм следует, что при модифицировании новых фаз не образуется. Исходный и модифицированный порошки оксида цинка имеют структуру вюрцита, пространственная группа $R\bar{6}_{3mc}$. Нанопорошок оксида магния имеет кубическую флюоритовую структуру, пространственная группа $Fm\bar{3}m$.

Из спектров диффузного отражения (рис. 3.) следует, что отражательная способность порошка ZnO при модифицировании наночастицами MgO снижается в области длин волн от 400 до 2500 нм. При максимальной концентрации оксида магния уменьшение коэффициента отражения составляет 5% в видимой области спектра и до 3% в ближней ИК-области. Коэффициент отражения порошка MgO в диапазоне длин волн от 420 до 2500 нм существенно ниже, чем у порошка ZnO, и не превышает 88%. В спектре диффузного отражения оксида магния регистрируются полосы поглощения с максимумами при 274, 1395, 1960, 2340 и 2485 нм [20]. Край основного поглощения излучения регистрировали в точке пересечения со шкалой длин волн нулевого значения коэффи-

циента диффузного отражения, полученного экстраполяцией прямой [21]. Для исходного порошка оксида цинка он регистрируется при 375 нм, что соответствует значению ширины запрещенной зоны 3.3 эВ. При модифицировании наночастицами MgO край основного поглощения не изменяется, так как оксид магния является более широкозонным соединением ($E_g = 7.8$ эВ) [22, 23].

В ИК-спектре исходного порошка ZnO (рис. 4.) зарегистрированы характерные полосы поглощения при 452, 515 и 695, которые относят к симметричным валентным колебаниям связи Zn–O [24–26]. Полосу при 880 см^{-1} относят к колебаниям Zn, находящегося в тетраэдрической координации [27]. ИК-спектр модифицированного порошка ZnO + 3% nMgO содержит аналогичные полосы поглощения, с разницей в том, что в области от 680 до 1350 см^{-1} интенсивность поглощения незначительно снижена [28, 29]. В спектре оксида магния зарегистрирована полоса поглощения при 605 см^{-1} , которая имеет сложную форму и включает в себя валентные и деформационные колебания связей Mg–O [30]. Широкая полоса поглощения при 1485 см^{-1} может быть обусловлена деформа-

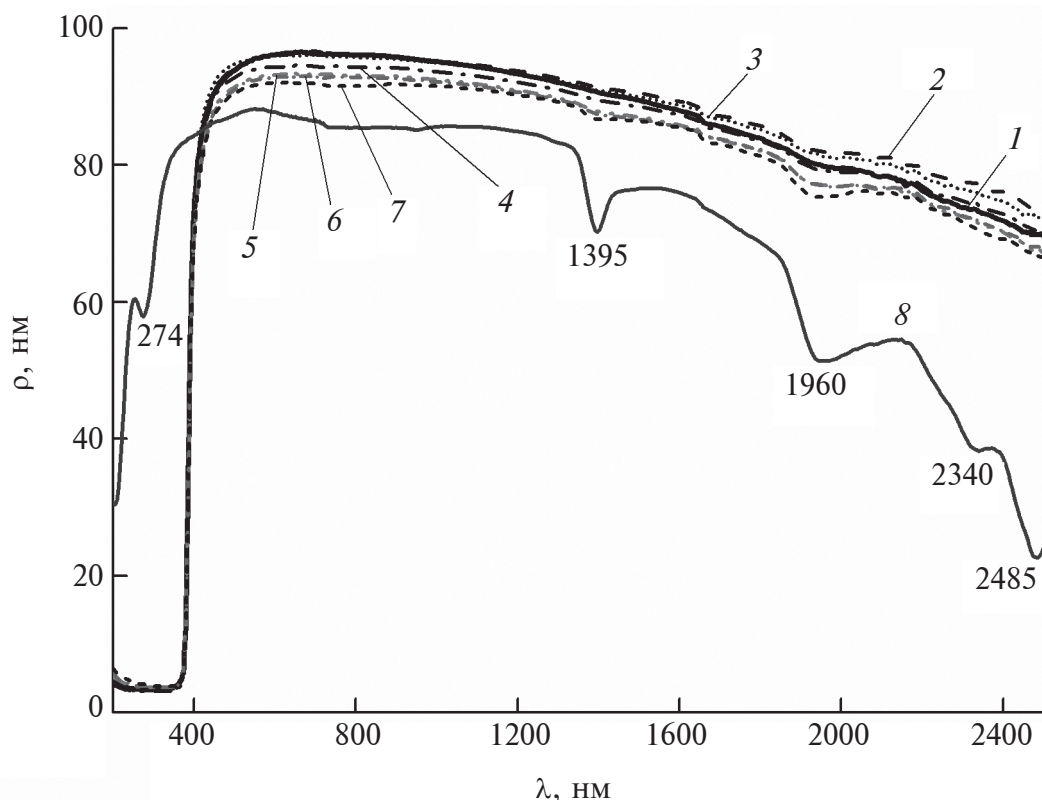


Рис. 3. Спектры диффузного отражения исходного (1), прогретого (2), модифицированного порошка ZnO с процентным содержанием наночастиц nMgO: 0.1 (3), 1 (4), 3 (5), 5 (6), 10 (7) мас. % и нанопорошка MgO (8).

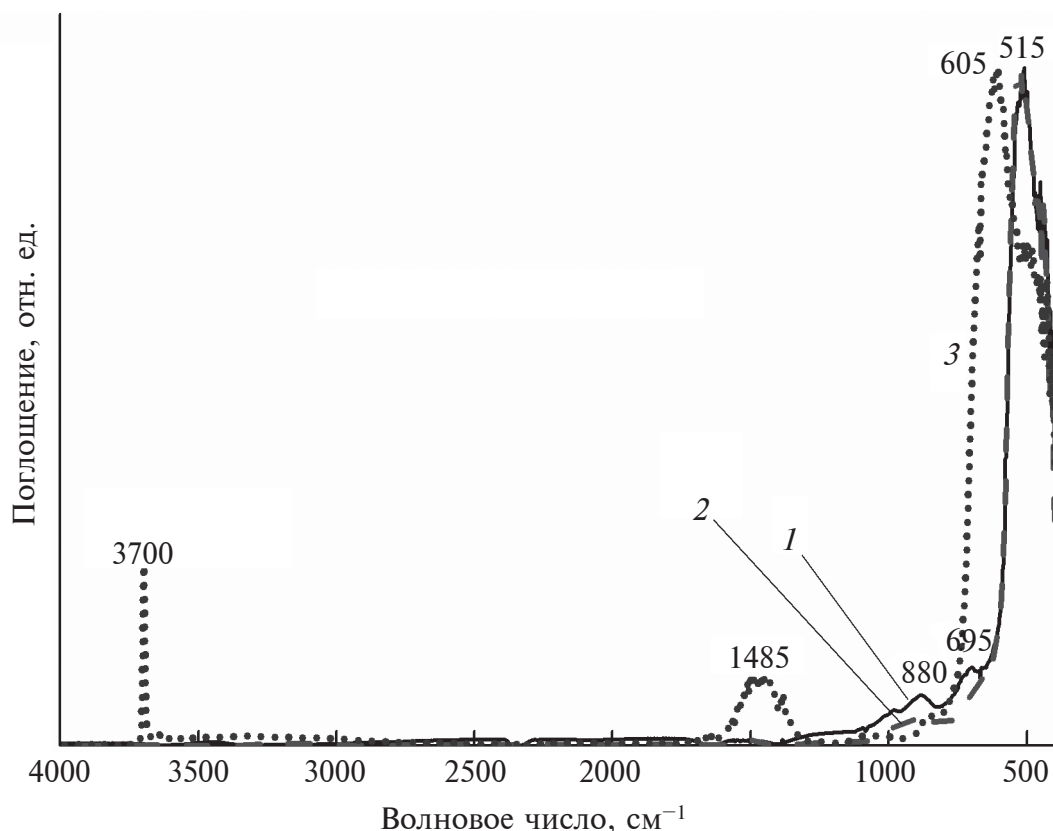


Рис. 4. ИК-спектры исходного порошка ZnO (1), модифицированного порошка ZnO + 3% nMgO (2) и нанопорошка nMgO (3).

ционными колебаниями молекул H_2O , сорбированных на поверхности нанопорошка [31]. Широкая полоса с острым пиком при 3700 см^{-1} может быть связана с наличием гидроксильных групп на поверхности нанопорошка [32] или обусловлена взаимодействием частиц нанопорошка с окружающей средой при приготовлении образца.

При облучении исходного и модифицированного порошков ZnO, а также нанопорошка MgO наблюдали уменьшение их отражательной способности во всей исследуемой области спектра излучения — от 200 до 2500 нм. Разностные спектры диффузного отражения (рис. 5.) получены вычитанием спектров диффузного отражения облученного ускоренными электронами образца из спектров этих же образцов до облучения. Наибольшие изменения при флуенсе $2 \times 10^{16}\text{ см}^{-2}$ в исходном и модифицированных порошках наблюдали при длине волны 2500 нм и достигают значения 18%. В видимой области наибольшие значения $\Delta\rho$, достигающие 7%, характерны для модифицированного порошка с максимальной концентрацией наночастиц MgO. Наименьшие значения $\Delta\rho$ практически во всей исследуемой области спектров зарегистрированы у порошка ZnO + 3% nMgO.

Качественно спектры $\Delta\rho_\lambda$ всех модифицированных порошков одинаковы. Они включают две области. Область полосы поглощения от 360 до 700 и область увеличивающегося с ростом длины волны поглощения от 700 до 2500 нм (исключение составляет порошок оксида цинка модифицированный при максимальной концентрации наночастиц MgO). Полоса в первой области определяется собственными точечными дефектами в оксиде цинка и их комбинациями. Такими дефектами являются анионные и катионные вакансии в различном зарядовом состоянии, междоузельные атомы, ионы цинка и кислорода, комплексы из этих дефектов [33]. В ближней ИК-области коэффициент поглощения (значения $\Delta\rho$) увеличивается с ростом длины волны по степенному закону и определяется распределением свободных электронов в зоне проводимости по энергии [34].

Основные изменения коэффициента отражения нанопорошка MgO происходят при длинах волн от 230 до 1000 нм. Регистрируются полосы наведенного поглощения при 250, 370, 505 и 845 нм. Наибольшее изменение коэффициента отражения наблюдается при длине волны 370 нм и составляет 17%.

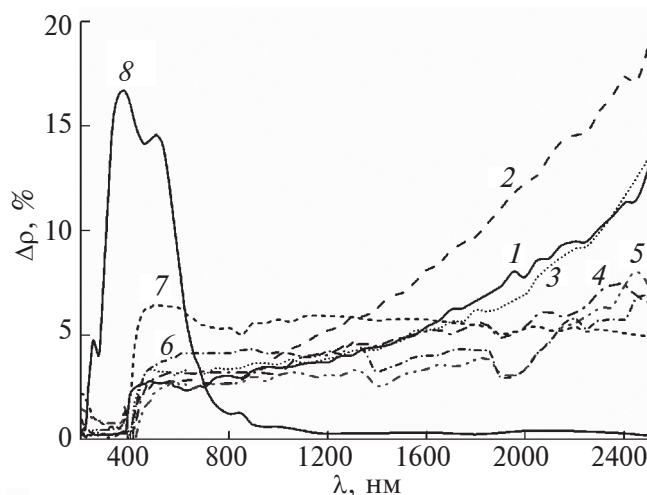


Рис. 5. Разностные спектры диффузного отражения исходного (1), прогретого (2), модифицированного порошка ZnO с процентным содержанием наночастиц $n\text{MgO}$: 0.1 (3), 1 (4), 3 (5), 5 (6), 10 (7) мас. % и нанопорошка MgO (8) после облучения ускоренными электронами с энергией 30 кэВ флуенсом $2 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

Полосы поглощения в УФ, видимой и ближней ИК-областях спектра оксида магния обусловлены собственными дефектами, образованными в процессе облучения. Поглощение в коротковолновой области при 250 нм может быть обусловлено центрами фотоконверсии F и F^+ , образованными при облучении, а полосы при 370 и 845 нм их комплексами – F_2 -центрами [35, 36]. Полосу с максимумом около 505 нм соотносят с поглощением центров V -типа [37].

Расчет значений интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения (a_s) показал, что a_s увеличивается с увеличением концентрации нанопорошков оксида магния (табл. 1). Прогрев порошка оксида цинка при температуре 650°C приводит к снижению интегрального коэффициента поглощения до значений 0.144, тогда как для исходного порошка $a_s = 0.146$.

Из рис. 6 следует, что наименьшее изменение интегрального коэффициента поглощения, рав-

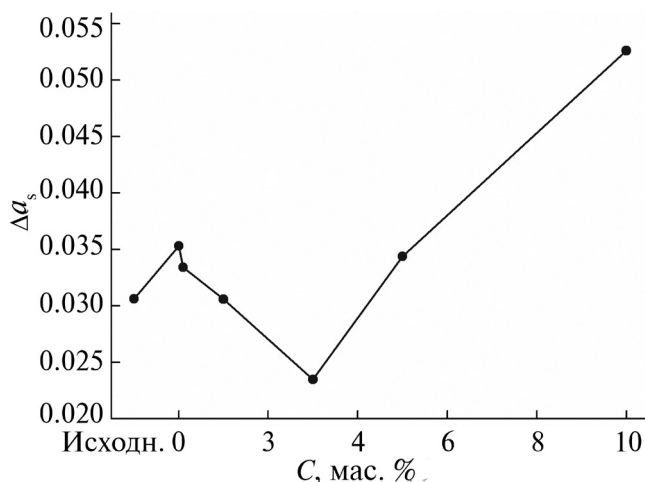


Рис. 6. Зависимость изменений коэффициента поглощения Δa_s после облучения электронами с энергией 30 кэВ флуенсом $2 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ исходного, прогретого и модифицированного наночастицами $n\text{MgO}$ различной концентрации порошка ZnO.

ное $\Delta a_s = 0.0235$, происходит при концентрации наночастиц MgO 3 мас. %. Такая концентрация является оптимальной для модифицирования. Наибольшие изменения Δa_s при облучении электронами флуенсом $2 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ характерны для максимальной концентрации наночастиц оксида магния равной 10%. Следует отметить, что прогрев при температуре 650°C ведет к ухудшению радиационной стойкости, но несмотря на это при оптимальной концентрации наночастиц наблюдается повышение радиационной стойкости более, чем на 30%. Такое повышение может определяться наличием наночастиц на поверхности зерен микропорошка, выступающих в роли стоков радиационных дефектов. Этот эффект регистрировали ранее на различных материалах [7, 38, 39].

Если сравнивать значения Δa_s для исходного микропорошка ZnO, нанопорошка MgO и модифицированного при оптимальной концентрации наночастиц микропорошка оксида цинка (рис. 7),

Таблица 1. Значения интегрального коэффициента поглощения солнечного излучения (a_s) и его изменения (Δa_s) после облучения ускоренными электронами с энергией 30 кэВ флуенсом $2 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ для исходного, прогретого и модифицированного порошка ZnO при процентном содержании наночастиц $n\text{MgO}$ от 0.1 до 10 мас. %

Тип порошка	Исходный ZnO	Прогретый при 650°C ZnO	ZnO + 0.1 мас. % $n\text{MgO}$	ZnO + 1% $n\text{MgO}$	ZnO + 3% $n\text{MgO}$	ZnO + 5% $n\text{MgO}$	ZnO + 10% $n\text{MgO}$
a_s	0.146	0.144	0.144	0.159	0.171	0.174	0.18
Δa_s	0.031	0.0353	0.0334	0.0306	0.0235	0.0344	0.0526

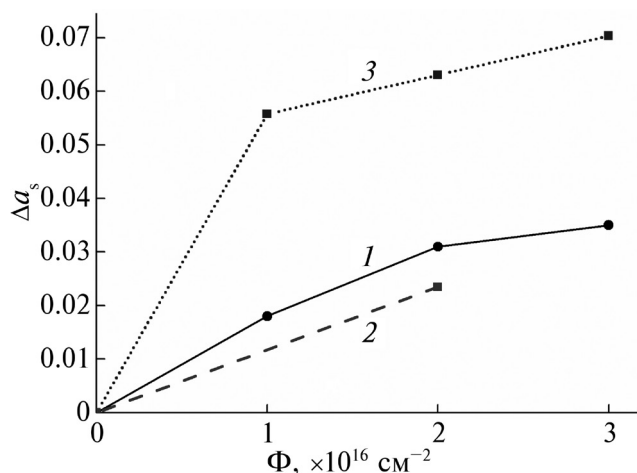


Рис. 7. Зависимость изменений коэффициента поглощения $\Delta\alpha_s$ исходного порошка ZnO (1), модифицированного порошка ZnO + 3% nMgO (2) и нанопорошка nMgO (3) от флуенса электронов с энергией 30 кэВ.

то можно сделать вывод о том, что наименьшей радиационной стойкостью обладают наночастицы оксида магния. Их стойкость при флуенсе электронов $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ в три раза хуже, чем у исходного оксида цинка. Но их добавление в качестве модифицирующей добавки позволяет существенно повысить радиационную стойкость этого микропорошка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, что отражательная способность порошков оксида цинка, модифицированных наночастицами MgO, с концентрацией 0.1–10 мас. % во всей области спектра от 200 до 2500 нм меньше, чем у микропорошков. Причиной уменьшения отражательной способности являются распределенные на поверхности поликристаллов оксида цинка наночастицы оксида магния, которые приводят к увеличению концентрации ненасыщенных связей и поверхностных дефектов, которые ведут себя как центры фотонного поглощения.

Установлено, что модифицированные порошки оксида цинка обладают большей радиационной стойкостью к воздействию электронов по сравнению с немодифицированными. Оптимальной является концентрация наночастиц MgO в 3 мас. %, при котором изменения интегрального коэффициента поглощения составляют 0.0235, тогда как у исходного порошка оксида цинка $\Delta\alpha_s = 0.031$.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Госзадание), № 122082600014-6 (FZMU-2022-0007) и № FEWM-2023-0012.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tribble A.C., Lukins R., Watts E., Naumov S.F., Sergeev V.K. // J. Spacecraft Rockets. 1996. V. 33. № 1. P. 160. <https://www.doi.org/10.2514/3.55722>
2. Lv J., Li X. // Phys. Chem. Chem. Phys. 2018. V. 20. P. 11882. <https://www.doi.org/10.1039/C8CP01855C>
3. Sokolovskiy A., Plis E., Hoffmann R., Bengtson M., Ferguson D. // Surf. Coat. Technol. 2022. V. 451. P. 129030. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.129030>
4. Kiomarsipour N., Razavi R.S., Ghani K. // Dyes Pigments. 2013. V. 96. № 2. P. 403. <https://www.doi.org/10.1016/j.dyepig.2012.08.019>
5. Михайлов М.М., Соколовский А.Н. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2006. № 5. С. 72.
6. Михайлов М.М., Нецименко В.В., Скрипка Н.Г., Хохлов Р.Н. // РАН Перспективные материалы. 2010. № 3. С. 14.
7. Mikhailov M.M. Optical properties and radiation stability of Metal Oxide Powders modified with Nanoparticles. Volume 6. / Publishing house of Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics. 2019. 312 p.
8. Mikhailov M.M. // J. Surf. Invest.: X-Ray, Synchrotron Neutron Tech. 2013. V. 7. P. 133. <https://www.doi.org/10.1134/S102745101301028X>
9. Михайлов М.М., Власов В.А. // Известия ВУЗов. Физика. 1998. № 12. С. 52.
10. Mikhailov M.M., Neshchimenko V.V., He Shiyu, Chundong L. // J. Spacecraft Rocket. 2011. V. 48. № 5. P. 891. <https://www.doi.org/10.2514/1.42974>
11. Михайлов М.М., Нецименко В.В., Дедов Н.В., Чундун Л., Шийю Х. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2011. № 12. С. 29–39.
12. Mikhailov M.M., Neshchimenko V.V., Chundong L. // Radiation Effects and Defects in Solids. 2012. V. 167. № 1. P. 26–36. <https://www.doi.org/10.1080/10420150.2011.588231>
13. Mikhailov M.M., Neshchimenko V. V., Chundong L. // Dyes Pigments. 2016. V. 131. P. 256. <https://www.doi.org/10.1016/j.dyepig.2016.04.012>
14. Tanji K., Mrabet I.E., Fahoul Y., Soussi A., Belghiti M., Jellal I., Naciri Y., Gaidoumi A.E., Kherbeche A. // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. 2023. V. 136. P. 1125. <https://www.doi.org/10.1007/s11144-023-02385-0>
15. Gupta D., Chauhan V., Koratkar N., Singh F., Kumar A., Kumar S., Kumar R. // Vacuum. 2021. V. 192. P. 110435. <https://www.doi.org/10.1016/j.vacuum.2021.110435>
16. Косицын Л.Г., Михайлов М.М., Кузнецов Н.Я., Дворецкий М.И. // Приборы и техника эксперимента. 1985. № 4. С. 176.
17. Johnson F.S. // J. Meteorological. 1954. V. 11. № 6. P. 431.

18. ASTM E490 – 00a Standard Solar Constant and Zero Air Mass Solar Spectral Irradiance Tables. – 2019.
19. ASTM E903 – 96 Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. – 2005.
20. Burns D.A., Ciurczak E.W. Handbook of near-infrared analysis / CRC Press. 2001. P. 814.
<https://www.doi.org/10.1201/9781420007374>
21. Reyes-Coronado D., Rodríguez-Gattorno G., Espinosa-Pesqueira M.E., Cab C., de Coss R., Oskam G. // Nanotechnology. 2008. V. 19. P. 145605.
<https://www.doi.org/10.1088/0957-4484/19/14/145605>
22. Nourozi B., Aminian A., Fili N., Zangeneh Y., Boochani A., Darabi P. // Results Phys. 2019. V. 12. P. 2038.
<https://www.doi.org/10.1016/j.rinp.2019.02.054>
23. Roessler D.M., Walker W.C. // Phys. Rev. 1996. V. 159. № 3. P. 733.
<https://www.doi.org/10.1103/physrev.159.733>
24. Achehboune M., Khenfouch M., Boukhoubza I., Leon-tie L., Doroftei C., Carlescu A., Bulai G., Mothudi B., Zorkani I., Jorio A. // Materials Today: Proc. 2022. V. 53. P. 319.
<https://www.doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.144>
25. Ahmad F., Maqsood A. // Mater. Sci. Engineer.: B. 2021. V. 273. P. 115431.
<https://www.doi.org/10.1016/j.mseb.2021.115431>
26. Inamuddin, Shakeel N., Ahamed M.I., Kanchi S., Kashmery H.A. // Sci. Rep. 2020. V. 10. P. 5052.
<https://www.doi.org/10.1038/s41598-020-61831-4>
27. Sagar Raut D.P., Thorat R.T. // Int. J. Sci. Res. 2015. V. 4. P. 1225.
28. Buchholz M., Yu X., Yang C., Heißler S., Nefedov A., Wang Y., Wöll C. // Surf. Sci. 2016. V. 652. P. 247.
<https://www.doi.org/10.1016/j.susc.2015.12.029>
29. Fan Y., Zheng W., Zhu S., Cheng L., Qi H., Li L., Huang F. // J. Luminescence. 2021. V. 239. P. 118365.
<https://www.doi.org/10.1016/j.jlumin.2021.118365>
30. Jawwad M.A.S., Murti R.H.A., Ya-Fen Wang, You S.-J. // Nusantara Sci. Technol. Proc. 2020. P. 72.
<https://www.doi.org/10.11594/nstsp.2020.0510>
31. Stomp M., Huisman J., Stal L.J., Matthijs H.C.P. // ISME J. 2007. V. 1. P. 271.
<https://www.doi.org/10.1038/ismej.2007.59>
32. Polovka M., Polovková J., Vizárová K., Kirschnerová S., Bieliková L., Vrška M. // Vibrational Spectroscopy. 2006. V. 41. P. 112.
<https://www.doi.org/10.1016/j.vibspec.2006.01.010>
33. Neshchimenko V., Li C., Mikhailov M., Lv J. // Nanoscale. 2018. V. 10. P. 22335.
<https://www.doi.org/10.1039/C8NR04455D>
34. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергия. 1976. С. 416.
35. Skvortsova V., Trinkler L. The Optical Properties of Magnesium Oxide Containing Transition Metal Ions and Defects Produced by Fast Neutron Irradiation // 3rd WSEAS International Conference on Sensors and Signals, SENSIG'10, 3rd WSEAS International Conference on Materials Science, MATERIALS'10. University of Algarve, Faro, Portugal, November 3-5, 2010. P. 150.
36. Kappers L.A., Kroes R.L., Hensley E.B. // Phys. Rev. B. 1970. V. 1. P. 4151.
37. Schirmer O.F. // Z. Physik B. 1976. B. 24. S. 235.
<https://www.doi.org/10.1007/BF01360892>
38. Zhang X., Hattar K., Chen Y., Shao L., Li J., Sun C., Yu K., Li N., Taheri M.L., Wang H., Wang J., Nastasi M. // Prog. Mater. Sci. 2018. V. 96. P. 217.
<https://www.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.03.002>
39. Andrievski R.A. // Rev. Adv. Mater. Sci. 2011. V. 29. P. 54.

Effect of Electron Irradiation on the Optical Properties of Zinc Oxide Powder Modified by Magnesium Oxide Nanoparticles

M. M. Mikhailov¹, V. V. Neshchimenko², S. A. Yuriev¹, A. N. Lapin¹, V. A. Goronchko¹,
A. N. Dudin², V. Yu. Yurina^{2,*}

¹Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, 634050 Russia

²Amur State University, Blagoveshchensk, 675027 Russia

*e-mail: viktoriay-09@mail.ru

The effect of modifying ZnO powders with MgO nanoparticles (with a concentration of 0.1–10 wt. %) on their diffuse reflectance spectra in the region of 0.2–2.5 μm before and after irradiation with 30 keV electrons was studied. Modification of ZnO powder was carried out by MgO nanopowder with concentrations from 0.1 to 10 wt. % using a solid-state method at 650°C heating temperature. X-ray diffraction analysis showed that this method of modification there is no formation of additional phases. It has been established that zinc oxide structure symmetry belongs to the $P6_{3mc}$ space group, magnesium oxide – to the $Fm-3m$ space group. The spectral reflectance of such powders in the visible region is over 90%. Under irradiating by 30 keV electrons of initial and modified ZnO powders, as well as MgO nanopowder, a decrease in their reflectance recorded in the entire studied region of the spectrum. It has been established that modification with MgO nanoparticles at a concentration of 3 wt. % leads to an increase in radiation resistance by a factor of 1.32 compared to unmodified samples. This effect is determined by the sink of radiation defects on the large specific surface area of nanoparticles.

Keywords: zinc oxide, magnesium oxide, optical properties, irradiation, electrons.