

с незначительными особенностями, что имеет место при ремонте оборудования, создании сложных конструкций, в медицине при протезировании, замене органов. В настоящее время аддитивные технологии эффективно применяются в дополнение к традиционным.

Литература

1. Фролова, А. Б. История, текущее состояние и перспективы развития аддитивных технологий / А. Б. Фролова, А. И. Шигапов // Научные известия. – 2022. – № 29. – С. 198–202.
2. Сорокин, И. 7 необычных материалов для 3D-печати / И. Сорокин. – URL: <https://kolomo.ua/blog/3d-tehnologii/kreativnye-materialy-dlya-3d-pechati-samy-neveroynatn> (дата обращения: 07.11.24).

УДК 546.284-31:544.722.13

**ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ
ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ
ПОРОШКОВ ИТТРИЙ-АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА,
ЛЕГИРОВАННОГО ИОНАМИ ЦЕРИЯ**

**О. В. Давыдова, Е. Н. Подденежный, А. И. Кравченко,
Н. Е. Дробышевская, А. Д. Лёвкина**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Разработаны составы и методика формования композиционных покрытий из пленкообразующих растворов, содержащих поливиниловый спирт (ПВС), тетраэтоксисилан (ТЭОС) и наноструктурированные порошки иттрий-алюминиевого граната, легированные ионами церия YAG : Ce. Пленочные покрытия были нанесены методом полива на подложки из стекла, обработанные изопропиловым спиртом. Адгезионную прочность исследуемых композиционных материалов определяли в соответствии с ГОСТ 31149-2014 методом решетчатых надрезов. Установлено, что покрытия, полученные без добавления ТЭОС, отслаиваются от подложки, в то время как покрытия с введением ТЭОС в пленкообразующий раствор демонстрируют удовлетворительную адгезию. Спектры люминесценции покрытий, полученных с введением YAG : Ce, показали, что наибольшая интенсивность люминесценции наблюдается для покрытий с содержанием люминофора 20 мас. %. При увеличении количества порошка наблюдается эффект концентрационного тушения.

Ключевые слова: покрытия, люминесценция, поливиниловый спирт, иттрий алюминиевый гранат, ионы, церий.

**LUMINESCENT COATINGS BASED ON POLYVINYL ALCOHOL
AND NANOSTRUCTURED POWDERS OF YTTRIUM-ALUMINUM
GARNET DOPED WITH CERIUM IONS**

**O. V. Davydova, E. N. Poddenezhny, A. I. Kravchenko,
N. E. Drobyshevskaya, A. D. Levkina**

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Compositions and methods of forming composite coatings from film-forming solutions containing polyvinyl alcohol (PVA), tetraethoxysilane (TEOS) and nanostructured yttrium-aluminum garnet powders doped with cerium ions YAG : Ce have been developed. The film coatings were applied by irrigation to a glass substrate treated with isopropyl alcohol. The adhesive strength of the studied composite materials was determined in accordance with GOST 31149-2014 by the method of lattice incisions. It was found that coatings obtained without the addition of TEOS peel off from the substrate, while coatings with the introduction of TEOS into the film-forming

solution demonstrate satisfactory adhesion. Luminescence spectra of coatings obtained with the introduction of YAG : Ce showed that the highest luminescence intensity is observed for coatings with a phosphor content of 20 wt. %. With an increase in the amount of powder, the effect of concentration quenching is observed.

Keywords: coatings, luminescence, polyvinyl alcohol, yttrium-aluminum garnet, ions, cerium.

Светодиодные светильники широко применяются ввиду своей экономичности, энергоэффективности по сравнению с лампами накаливания и отличаются длительным сроком службы [1]. Наиболее распространенным способом получения белых светодиодов (СД) является применение микрокристаллических люминофоров, преобразующих излучение чипов синего цвета в широкий спектр, соответствующий солнечному спектру с использованием микрокристаллических люминофоров, изготовляемых на основе иттрий-алюминиевого граната, активированного ионами церия (YAG : Ce³⁺) [2]. Известно несколько работ, в которых предлагается удалить люминофор от чипа, что позволило бы уменьшить термическую деградацию, увеличить срок службы, а также повысить однородность излучения. Такой преобразователь может быть изготовлен в виде люминесцентного покрытия на прозрачной подложке [3].

Целью настоящей работы является разработка составов люминофорной композиции на основе полимерной матрицы и люминофора – иттрий-алюминиевого граната, активированного ионами церия. В качестве подложек для нанесения покрытий применяли пластины прозрачного строительного стекла СТБ ЕН 572-1-2007 толщиной 2 мм. Порошок граната получали методом термохимических реакций окисления – восстановления соответствующих азотнокислых солей в карбамиде [4]. Композиционные покрытия на основе поливинилового спирта (ПВС) наносили из пленкообразующих растворов методом полива. Состав пленкообразующего раствора: H₂O – 100 мл, ПВС – 6 г, тетраэтоксисилан (ТЭОС) – 10 мл, поверхностно-активное вещество (ПАВ) – полисорбат Твин-80, используемое для стабилизации системы и предотвращения оседания частиц SiO₂ – 3 капли, NH₄OH (до pH = 9). Наноструктурированные частицы люминофора вводят после формирования пленкообразующего раствора непосредственно перед нанесением покрытия. В 100 мл горячей воды ($T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$) засыпаем порошковый ПВС небольшими порциями, ставим на мешалку и растворяем ПВС до состояния прозрачного раствора. Затем по каплям добавляем Твин-80, доводим pH раствора до 9 ед. с помощью раствора аммиака, перемешиваем в течение 30 мин. В стакане образуется стабильная суспензия, содержащая частицы SiO₂. Заливаем ТЭОС при перемешивании. Остужаем стакан с суспензией, отбираем 10 мл пленкообразующего раствора, добавляем в него порошок YAG : Ce с концентрацией от 10 до 30 мас. % относительно общей массы покрытия. Далее следует термическая обработка полученного покрытия в сушильном шкафу при температуре 60 °C в течение 6 часов. Для сравнения адгезионной прочности покрытий часть образцов изготавливали без введения в раствор добавки ТЭОС.

Адгезионную прочность исследуемых композиционных материалов определяли в соответствии с ГОСТ 31149-2014 методом решетчатых надрезов. За результат испытания принимали значение адгезии в баллах, соответствующее большинству совпадающих значений по стандартной классификации.

Экспериментально установлено, что при нанесении сетки надрезов покрытия, полученные без добавления ТЭОС, отслаиваются, в то время как покрытия с введением ТЭОС в пленкообразующий раствор демонстрируют удовлетворительную адгезию за счет химических связей материала пленки с поверхностью стеклянной подложки (рис. 1).

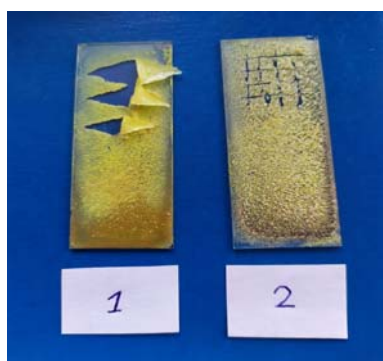


Рис. 1. Адгезия покрытий, содержащих YAG : Ce на стеклянных подложках, полученных методом полива без добавления (1) и с введением ТЭОС в пленкообразующий раствор (2)

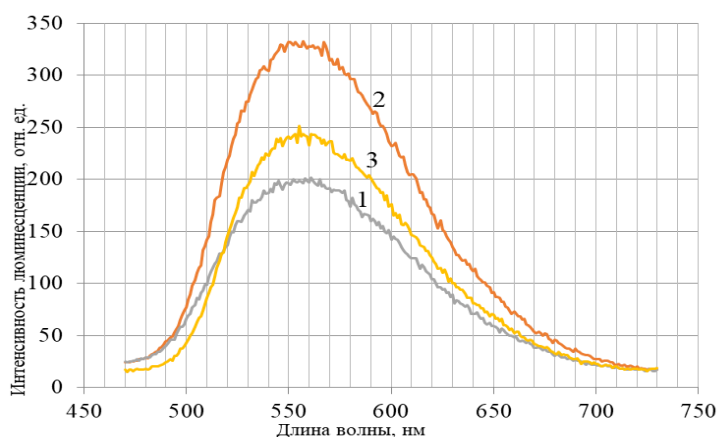


Рис. 2. Спектры люминесценции покрытий, содержащих YAG : Ce, мас. %:
1 – 10; 2 – 20; 3 – 30 ($\lambda_{\text{возб.}} = 370 \text{ нм}$)

Спектры люминесценции покрытий, полученных с введением YAG : Ce' разной концентрации, показали, что наибольшая интенсивность наблюдается для покрытий с содержанием люминофора 20 мас. %, однако при увеличении количества порошка наблюдается эффект концентрационного тушения (рис. 2).

Л и т е р а т у р а

1. Solid-State Lighting R&D Opportunities / M. Pattison, M. Hansen, G. Thomson [et al.]. – 2022. – DOI 10.13140/RG.2.2.16101.47844
2. Synthesis design of $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} : \text{Ce}^{3+}$ phosphor for fabrication of ceramic converter in automotive application / S. B. Kwon, S. H. Choi, J. H. Yoo [et al.] // Optical Materials (Amsterdam). – 2018. – N 80. – P. 265–270. – DOI 10.1016/J.OPTMAT.2018.04.03
3. Luminescent phosphor-in-glass composite for white light-emitting diodes / M. A. Kistankina, V. A. Aseev, J. V. Tuzova [et al.] // Journal of Optoelectronics Engineering. – 2017. – N 5/1. – P. 7–9. – DOI 10.12691/JOE-5-1-2
4. Давыдова, О. В. Синтез иттрий-алюминиевого граната, активированного ионами церия, термохимическим методом / О. В. Давыдова, Н. Е. Дробышевская, Е. Н. Подденежный // Труды БГТУ. Серия 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2018. – № 2 (211). – С. 106–112.