

УДК 378.145
ББК 74.489
ГРНТИ 14.35.09
ВАК 13.00.02

Разработка материалов занятия по оптике нанокompозитных материалов в курсе по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий

К. К. Алтунин , Е. О. Сорокина  ¹

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», 432071, Ульяновск, Россия

Поступила в редакцию 7 апреля 2022 года
После переработки 12 апреля 2022 года
Опубликована 7 июня 2022 года

Аннотация. Разработаны теоретические материалы и материалы контроля знаний для занятия по оптическим свойствам нанокompозитов в курсе оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий, которые готовы к началу использования в учебном процессе бакалавриата педагогического университета с профилем подготовки по физике и математике. Проанализированы результаты педагогического эксперимента по преподаванию учебной дисциплины по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий с использованием технологии смешанного обучения.

Ключевые слова: оптика, покрытие, тонкослойное покрытие, наноструктурное покрытие, оптика покрытий, наноструктура, нанокompозит, бакалавриат, университет, теоретические материалы, материалы контроля знаний, педагогический эксперимент

PACS: 01.40.-d

Введение

Целью исследования является создание материалов занятия по оптическим свойствам нанокompозитов в курсе оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий. Задачей исследования является разработка материалов занятия по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий для добавления новых теоретических сведений по оптическим свойствам нанокompозитов в образовательный процесс в университетах.

Объектом исследования является образовательный процесс по курсу оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий в университетах. Предметом исследования является совокупность материалов занятия по оптическим свойствам нанокompозитов в курсе оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий.

Занятие по оптическим свойствам нанокompозитов в курсе оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий будет содержать новые сведения из оптики наноструктур, нанокompозитов и нанокompозитных покрытий на основе теории смещения для нанокompозитов, находящихся во внешнем поле оптического излучения.

¹E-mail: elena2000sor@mail.ru

Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать материалы занятия по оптическим свойствам нанокompозитов в курсе оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий, то можно повысить познавательный интерес студентов университета к курсу оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий.

В качестве методов исследования используется анализ материалов по оптическим свойствам нанокompозитов в курсе оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий, синтез различных концепций описания гетерогенных нанокompозитных систем на основе формул смешения, проектирование занятия по оптическим свойствам нанокompозитов в курсе оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий.

В качестве материалов исследования используются теоретические материалы по оптическим свойствам нанокompозитов в курсе оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий.

Обзор работ по физическим свойствам нанопокpытий

В статье [1] продемонстрировано, что графеновое покрытие может обеспечить эффективную защиту от окисления, создавая высокоэнергетический барьер на пути атома кислорода, который мог бы проникнуть от верхней части графена к реакционной поверхности под ним. Двухслойный графен, который блокирует диффузию кислорода с относительно более высоким энергетическим барьером, обеспечивает ещё лучшую защиту от окисления. В то время как молекула кислорода слабо связана с оголённой поверхностью графена и, следовательно, становится довольно неактивной, она может легко диссоциировать на два атома кислорода, адсорбированных на низкокоординированных атомах углерода на краях вакансии. Для этих атомов кислорода снижается барьер окисления и, следовательно, ослабляется защита от окисления, обеспечиваемая графеновыми покрытиями. Прогнозы, полученные на основе современных расчётов электронной структуры, фононной плотности состояний и пути реакции, помогут понять, как графен можно использовать в качестве коррозионно-стойкого покрытия, и направят дальнейшие исследования, направленные на разработку более эффективные нанопокpытия.

Металлополимерные нанокompозиты представляют собой гибридные материалы, сочетающие в себе превосходные плазмонные, электрические и термические свойства металлов с хорошей эластичностью и технологичностью полимеров. Это делает металлополимерные нанокompозиты многообещающими кандидатами для применения в качестве проводящих наполнителей и покрытий, где механические свойства связаны опто-термически. В статье [2] изучается взаимодействие наноструктуры, термоплазмоники и эластичных механических свойств нанокompозитов серебро-полистирол с помощью просвечивающей электронной микроскопии, малоуглового рентгеновского рассеяния, бриллюэновского светорассеяния и других дополнительных методов. В статье [2] используется известная архитектура частиц-щёток, чтобы обеспечить однородное и изотропное распределение наночастиц по всему гибриднему материалу. Установлено, что эффективный продольный модуль упругости свежеприготовленных образцов снижается с 5.7 до 4.8 ГПа при увеличении содержания серебра от 0 до 4.4 об.%. Измерения бриллюэновского светорассеяния в зависимости от температуры показывают уникальный вклад локального термоплазмонного нагрева, который зависит от состава наночастиц Ag. Этот термоплазмонный эффект приводит к более низкой кажущейся температуре стеклования (T_g) и более сильной зависимости скорости звука от мощности лазера. Превышение умеренных температур термического отжига ($> 150^\circ\text{C}$) приводит к сильной структурной перестройке внутри однородного нанокompозитного материала со своеобразным эффектом кластеризации-редисперсии, что также приводит к изменению механических свойств. Вызванная отжигом агрегация наночастиц серебра

приводит к ещё более сильному термоплазмонному эффекту. Подтверждены экспериментальные результаты дополнительными термографическими измерениями и моделированием методом конечных элементов. В целом работа [2] демонстрирует комбинированное влияние состава и (обратимой) агрегации на механические и термоплазмонные свойства металлополимерных нанокомпозитов. Это не только углубляет понимание взаимодействия между светом, температурой и механическими свойствами в металлополимерных нанокомпозитах, но также даёт руководство по настройке нанокомпозитов серебро-полистирол для потенциальных применений.

В статье [3] исследован шум потрескивания из-за царапания сверхтвёрдых нанокомпозитных покрытий с использованием простой модели прерывистого скольжения. Оптимальная информация, полученная в результате статистического анализа с точки зрения информационного критерия Акаике, хорошо согласуется с реальными тестами. Когда нанокомпозитное покрытие приближается к оптимальным характеристикам, энергия акустической эмиссии подчиняется степенному закону распределения, и её поведение, вероятно, не зависит от микроскопических и макроскопических деталей. Результаты показывают, что специфическое деформационное поведение из-за конкуренции между различными механизмами деформации, такими как скопления дислокаций в нанокристаллических зёрнах и вращение зёрен скольжения внутри аморфных границ, играет жизненно важную роль в наноструктуре со сверхтвёрдостью.

В статье [4] исследован нанокомпозит из полиакриламида, водорастворимого полимера и нанокристаллического CdS, приготовленный химическим путём. Наблюдение с помощью просвечивающего электронного микроскопа показывает, что частицы прикрепляются через полимерные клубки. Снижение вязкости композита, несмотря на увеличение концентрации, указывает на уменьшение межцепочечного переплетения между клубками композита. Ультратонкие плёнки были изготовлены из нанокомпозита и чистого полиакриламида методом центрифугирования на подложке Si(100) в диапазоне скоростей от 500 до 5000 об/мин. Рентгеновские исследования отражательной способности чистых полимерных и композитных плёнок проводились в вакууме. Толщина композитных плёнок изменяется немонотонно со скоростью вращения и находится в дискретных «полосах» толщины, разделённых «запретными областями». Также было обнаружено, что степенной закон зависимости толщины от скорости вращения для композитных плёнок отличается от полимерных. Для объяснения явления была предложена модель с дискретным количеством слоёв, состоящих из полимерных катушек, прикрепленных к CdS.

Магнитные наноструктуры с нетривиальными трёхмерными формами позволяют создавать сложные конфигурации намагниченности и множество новых явлений. До настоящего времени в качестве нетривиальных трёхмерных наноструктур рассматривались преимущественно магнитные металлы, хотя в металлах магнитный и электронный транспортные отклики переплетаются. В статье [5] сообщается о первом успешном изготовлении магнитного изолятора железо-иттриевого граната ($Y_3Fe_5O_{12}$) методом атомно-слоевого осаждения и показываем, что конформное покрытие трёхмерных объектов возможно. В статье [5] используется подход суперцикла, основанный на сочетании субнанометровых тонких слоёв бинарных систем Fe_2O_3 и Y_2O_3 в правильном атомном соотношении с последующей стадией отжига для изготовления атомно-слоевого осаждения плёнок иттрий-железного граната на подложках $Y_3Al_5O_{12}$. Процесс устойчив к типичным отклонениям, связанным с ростом, обеспечивая хорошую воспроизводимость. Атомно-слоевое осаждение тонких плёнок иттрий-железного граната демонстрирует высокое кристаллическое качество, а также магнитные свойства, сравнимые с образцами, полученными другими методами осаждения. Показано, что атомно-слоевое осаждение тонких плёнок иттрий-железного граната является конформным. Это поз-

воляет создавать трёхмерные наноструктуры иттрий-железного граната после разработки соответствующих немагнитных трёхмерных шаблонов. Такие трёхмерные структуры иттрий-железного граната создают основу для экспериментального исследования вызванных искривлением изменений чисто спиновых токов и эффектов переноса магнов.

В статье [6] исследован лазерный пробой высококачественного зеркала, состоящего из чередующихся $\lambda/4$ слоёв Ta_2O_5 , а также SiO_2 и одна тонкая плёнка толщиной 500 нм из Ta_2O_5 с усиленными и неусиленными фемтосекундными импульсами. Экспериментальные данные могут быть аппроксимированы моделью, учитывающей многофотонное поглощение, ударную ионизацию и локальное усиление интенсивности из-за интерференционных эффектов в плёнках. Инкубационные эффекты наблюдаются при повреждении покрытий многократными импульсами фемтосекундного генератора. Результаты показывают, что современные высококачественные тонкие плёнки демонстрируют поведение при повреждении, аналогичное объемным материалам. Дефекты и примеси играют незначительную роль.

В статье [7] наблюдались огромные сдвиги пика оптического поглощения во время восстановления частиц сульфида золота (Au_2S) до частиц золота. Для синтеза наночастиц используется двухстадийный коллоидный метод. Можно объяснить выводы, предположив, что коллоидные частицы имеют на поверхности золотое покрытие. Это также согласуется с данными просвечивающей электронной микроскопии, показывающими структуру ядро-оболочка, и данными электронной дифракции. Пик оптического поглощения сначала смещается в красную, а затем в синюю сторону. Контролируя начальный размер частиц сульфида золота, сдвиг резонанса коррелирует с теоретической моделью, которая включает как квантовое ограничение, так и резонансные эффекты (так называемый поверхностный плазмонный резонанс). Использование покрытых металлом частиц с неметаллическим материалом ядра дает два преимущества для изучения размерного квантования. Во-первых, частицы изначально большие и обладают большой поляризуемостью и, следовательно, большим поперечным сечением поглощения, а во-вторых, тонкий металлический слой удерживает электрон в одном измерении и может расширяться в двух других измерениях.

Результаты разработки материалов занятия

Курс по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий рассчитан на три зачётные единицы или 108 часов общей трудоёмкости и предназначен для студентов бакалавриата педагогических направлений подготовки с профилем по физике и математике.

Занятие по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий посвящено изучению оптического преломления и поглощения в приближении эффективной среды. Целью занятия является знакомство с определением оптического показателя преломления и поглощения композита с сферическими наночастицами в теории эффективной среды. Задачами занятия являются повторение структуры композитного материала, формирование представления о теории эффективной среды, формирование умения находить эффективный показатель преломления и поглощения, развить навыки самостоятельной работы, развить способность устанавливать связь между ранее изученным материалом и новой темой; развить навыки поиска информации и применения её при решении задач, воспитать активность при работе, воспитать аккуратность и системность при решении задач оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий.

Рассмотрим образовательные результаты данного занятия: студент знает теорию оптических композитных материалов с сферическими наночастицами и имеет представление об эффективном показателе преломления и поглощения композита; студент умеет решать задачи по нахождению эффективного показателя преломления и поглощения

для нанокompозитов с сферическими металлическими включениями; студент владеет способами решения задач по нахождению эффективного показателя преломления и поглощения для нанокompозитов с сферическими металлическими включениями. По плану занятие состоит из повторения, изучения нового материала, решение задачи, закрепления, рефлексии.

Опишем ход занятия по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий.

Первым этапом занятия является повторение.

Определение. Прозрачная среда, содержащая включения из инородных материалов образует оптический композитный материал. Изменяя материал, форму и размер инородных включений можно получать среды с определённым показателем преломления и коэффициентом поглощения. Также это позволяет получать среды с новыми нелинейно-оптическими свойствами и разного цвета.

Применение. Композиты благодаря различным свойствам имеют широкое применение в оптике. Примерами оптических композитов являются стекла, содержащие наночастицы полупроводников или металлов, стеклокерамики, суспензии наночастиц в жидкостях.

Вторым этапом занятия является изучение нового материала.

Расчёт оптических характеристик композитной среды в рамках теории эффективной среды основан на вычислении её эффективной диэлектрической проницаемости. Данная теория предполагает два допущения: размер частиц много меньше длины волны излучения, между частицами отсутствует электромагнитное взаимодействие. Из первого допущения получаем, что светорассеяние в среде пренебрежимо мало. Из второго допущения получаем, что концентрация частиц в среде мала. Применять приближение эффективной среды для нанокompозитной среды можно даже когда один компонент имеет высокий коэффициент поглощения. Примером может служить композит с металлическими наноразмерными включениями. Согласно теории Максвелл-Гарнетта, эффективная диэлектрическая проницаемость двухкомпонентной среды, содержащей сферические наночастицы, определяется выражением:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_h \left(1 - \frac{3f_1 (\varepsilon_h - \varepsilon_p)}{2\varepsilon_h + \varepsilon_p + f_1 (\varepsilon_h - \varepsilon_p)} \right), \quad (1)$$

где ε_p – диэлектрическая проницаемость наночастиц с объёмной концентрацией f_1 , ε_h – диэлектрическая проницаемость матрицы. Определив эффективную диэлектрическую проницаемость композита, можно вычислить его эффективный показатель преломления и эффективный коэффициент поглощения.

$$n'_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\operatorname{Re} \varepsilon_1 + \sqrt{(\operatorname{Re} \varepsilon_1)^2 + (\operatorname{Im} \varepsilon_1)^2}}, \quad (2)$$

$$n''_1 = -\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\operatorname{Re} \varepsilon_1 + \sqrt{(\operatorname{Re} \varepsilon_1)^2 + (\operatorname{Im} \varepsilon_1)^2}}, \quad (3)$$

Квадрат показателя преломления вычисляется по формуле

$$n_1^2 = \varepsilon_1 \mu_1. \quad (4)$$

В оптическом приближении в эффективной среде

$$\mu_1 = 1, \quad (5)$$

тогда получаем:

$$n_1^2 = \varepsilon_1 \quad (6)$$

показатель преломления и диэлектрическая проницаемость являются комплексными переменными

$$n_1 = n'_1 + in''_1 \quad (7)$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1. \quad (8)$$

$$(n'_1 + in''_1)^2 = \varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1, \quad (9)$$

$$n'^2_1 + 2in'_1n''_1 - n''^2_1 = \varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1, \quad (10)$$

$$(n'^2_1 - n''^2_1) + 2in'_1n''_1 = \varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1, \quad (11)$$

$$\varepsilon'_1 = n'^2_1 - n''^2_1 \quad (12)$$

$$\varepsilon''_1 = 2n'_1n''_1. \quad (13)$$

Найдём эффективный показатель преломления, для этого решим систему методом подстановки:

$$n''_1 = \frac{\varepsilon''_1}{2n'_1}. \quad (14)$$

$$n'^2_1 - \frac{\varepsilon''^2_1}{4n'^2_1} = \varepsilon'_1, \quad (15)$$

$$4n'^4_1 - \varepsilon''^2_1 - \varepsilon'_1n'^2_1 = 0. \quad (16)$$

Пусть

$$n'^2_1 = t, \quad (17)$$

тогда

$$4t^2 - 4\varepsilon'_1t - \varepsilon''^2_1 = 0, \quad (18)$$

$$t = \frac{\varepsilon'_1 + \sqrt{\varepsilon'^2_1 + \varepsilon''^2_1}}{2}, \quad (19)$$

учитывая замену, получаем, что эффективный показатель преломления равен

$$n'_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\varepsilon'_1 + \sqrt{\varepsilon'^2_1 + \varepsilon''^2_1}}, \quad (20)$$

при рассмотрении учитываем только положительный корень показателя преломления.

Для метаматериалов имеем:

$$n'_1 = -\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\varepsilon'_1 + \sqrt{\varepsilon'^2_1 + \varepsilon''^2_1}}. \quad (21)$$

$$n'_1 = \frac{\varepsilon''_1}{2n''_1}, \quad (22)$$

$$-n''^2_1 + \frac{\varepsilon''^2_1}{4n''^2_1} = \varepsilon'_1, \quad (23)$$

$$4n''^4_1 + 4\varepsilon'_1n''^2_1 - \varepsilon'^2_1 = 0. \quad (24)$$

Пусть

$$n''^2_1 = t, \quad (25)$$

тогда

$$4t^2 + 4\varepsilon't - \varepsilon''^2 = 0. \quad (26)$$

$$t = \frac{-\varepsilon' + \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}}{2}, \quad (27)$$

учитывая замену, получаем, что эффективный показатель поглощения равен

$$n''_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{-\varepsilon'_1 + \sqrt{\varepsilon'^2_1 + \varepsilon''^2_1}}, \quad (28)$$

при рассмотрении учитываем только положительный корень показателя поглощения. А для метаматериалов получаем выражение:

$$n''_1 = -\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{-\varepsilon'_1 + \sqrt{\varepsilon'^2_1 + \varepsilon''^2_1}}. \quad (29)$$

Амплитудный коэффициент отражения для поляризованной волны

$$r_1^p = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_0 - \sqrt{\varepsilon_1 - \sin^2 \theta_0}}{\sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_0 + \sqrt{\varepsilon_1 - \sin^2 \theta_0}}. \quad (30)$$

Амплитудный коэффициент поглощения для поляризованной волн

$$t_1^p = \frac{2\sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_0}{\sqrt{\varepsilon_1} \cos \theta_0 + \sqrt{\varepsilon_1 - \sin^2 \theta_0}}. \quad (31)$$

Диэлектрическая проницаемость является комплексной функцией

$$r_1^p = \frac{\sqrt{\varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1} \cos \theta_0 - \sqrt{(\varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1) - \sin^2 \theta_0}}{\sqrt{\varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1} \cos \theta_0 + \sqrt{(\varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1) - \sin^2 \theta_0}}, \quad (32)$$

$$t_1^p = \frac{2\sqrt{(\varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1) \cos \theta_0}}{\sqrt{\varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1} \cos \theta_0 + \sqrt{(\varepsilon'_1 + i\varepsilon''_1) - \sin^2 \theta_0}}. \quad (33)$$

Подход к разработке нелинейно-оптических наноструктурных материалов предполагает поиск новых материалов, которые на молекулярном уровне обладают желаемыми нелинейно-оптическими свойствами. Другой альтернативный подход к разработке нелинейно-оптических наноструктурных материалов предполагает объединение известных материалов в нанокompозитный материал. В надлежащих условиях этот композитный материал мог бы сочетать в себе более желательные свойства исходных материалов или, в идеале мог бы обладать свойствами, превосходящими свойства исходных материалов.

Нанокompозиты, состоящие из полимерных матриц и металлических наночастиц, способны изменять свои оптические свойства за счёт геометрической конфигурации и размеров включений в нанокompозитную плёнку под влиянием внешних факторов. Это свойство можно применить для создания микроскопических сенсоров, определяющих интенсивность оптического воздействия за сверхкороткие промежутки времени. Построенные графические зависимости для энергетического коэффициента пропускания от длины волны оптического излучения для нанокompозитных плёнок будут способствовать наглядному изучению темы, связанной с изучением оптических свойств наноструктурных материалов с металлическими наночастицами.

Третьим этапом занятия является решение задачи для закрепления теоретических сведений по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий.

Задача 1. Найдите эффективный показатель преломления и коэффициент поглощения для нанокompозита с матрицей из стекла, содержащей включения в виде наночастиц лития. Диэлектрическая проницаемость стекла равна 7, а действительная и мнимая часть диэлектрической проницаемости лития $\varepsilon_1 = 36.1 + i1.06$. Объёмную концентрацию наночастиц принять за 1%.

Четвёртым этапом занятия является закрепление изученного материала по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий.

Ответить на вопросы:

1. Что такое наноматериал?
2. Что такое нанокompозит?
3. Что такое наносистема?
4. В чём преимущество наноматериалов для оптики?
5. В чём заключается суть теории эффективной среды, применяемой для описания нанокompозитных сред?
6. Что необходимо знать для вычисления оптических характеристик нанокompозитных сред?
7. Как вычисляется эффективная диэлектрическая проницаемость нанокompозита, состоящего из диэлектрической матрицы с металлическими наночастицами?

Пятым этапом занятия является рефлексия по итогам изучения теоретического материала и решения задачи по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий. Проводится рефлексия с использованием педагогического опроса. Под рефлексией понимается размышление человека, направленное на анализ самого себя (самоанализ), своих собственных состояний, своих поступков и прошедших событий. Для того, чтобы подвести итог занятию предлагается рефлексия, состоящая из двух этапов: анализ урока (с точки зрения содержательного материала занятия) и выражение впечатлений от занятия (опора на эмоциональное состояние во время и после занятия). Данная рефлексия содержит опрос из 7 вопросов, где к каждому вопросу предложены разные варианты ответа. В данной рефлексии проводится анализ урока с точки зрения понятности материала урока, эмоций которые испытывал учащийся по время урока, впечатления от урока, анализ своей работы на уроке. Заканчивается опросник одним общим вопросом об отношении к пройденному уроку. Предлагаются вопросы по анализу урока с вопросами о степени активности на занятии, степени удовлетворённости занятием, об ощущении временной продолжительности занятия, об ощущении усталости на занятии, об изменении настроения за время занятия, о степени полезности материала занятия. В результате преподаватель получает результат в виде столбчатых диаграмм и значения полученных результатов в процентах. Также для проведения рефлексии можно воспользоваться опросником рефлексивности Карпова. Данный опросник содержит 27 вопросов с однотипными вариантами ответа: полностью не согласен, не согласен, скорее не согласен, не могу определиться, согласен, полностью согласен. В данном опроснике предложены вопросы об отношении учащегося к предстоящей работе, об процессе принятия решений, об отношении к будущему, конфликтам. Данная рефлексия позволяет определить психологическое состояние человека, способность личности к рефлексивности. Такой вид рефлексии можно проводить после изучения целого раздела или темы. Результатом данной рефлексии оцениваются баллом от 1 до 10.

Результаты педагогического эксперимента

В период с 18 февраля 2022 года по 12 апреля 2022 года осуществлялось преподавание учебной дисциплины “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” на пятом курсе в подгруппе ФМ-17-01. Преподавание учебной дисциплины “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” осуществлялось в рамках блока дисциплин по выбору в подгруппе ФМ-17-01. Трудоёмкость учебной дисциплины “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” составляла две зачётные единицы или 72 часа общей трудоёмкости. Подгруппа ФМ-17-01 состояла из восьми человек. Аудиторные занятия по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” состояли из шести лекций и десяти лабораторных занятий. Аудиторные занятия по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” читались в смешанной форме и состояли из двенадцати часов лекций и двадцати часов лабораторных занятий. По учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” предусмотрена самостоятельная работа в объёме 40 часов. Итоговой формой отчётности по курсу “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” является зачёт.

В результате освоения учебной дисциплины “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” в 2021-2022 учебном году студент 1 (ФМ-17-24) набрал 200 баллов, студент 2 (ФМ-17-10) набрал 200 баллов, студент 3 (ФМ-17-01) набрал 114 баллов, студент 4 (ФМ-17-12) набрал 114 баллов, студент 5 (ФМ-17-26) набрал 101 балл, студент 6 (ФМ-17-30) набрал 128 баллов, студент 7 (ФМ-17-06) набрал 127 баллов, студент 8 (ФМ-17-19) набрал 101 балл из 200 максимально возможных баллов. Средний балл по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” составил 136 баллов из 200 максимально возможных баллов.

Для перевода баллов из рейтинговой системы для двух зачётных единиц трудоёмкости учебной дисциплины используем следующую шкалу: от 181 до 200 баллов соответствует оценке «отлично», от 141 до 180 баллов соответствует оценке «хорошо», от 101 до 141 баллов соответствует оценке «удовлетворительно», от 0 до 100 баллов соответствует оценке «неудовлетворительно» по пятибалльной шкале.

В результате изучения учебной дисциплины “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” в 2021-2022 учебном году по учебной успеваемости были получены следующие результаты: 2 студента получили отметку «отлично», 6 студентов получили отметку «удовлетворительно». Абсолютная успеваемость по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” составила 100 %. Качественная успеваемость по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” составила 25 %. Степень обученности студентов по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” составила 52 %, что соответствует конструктивному уровню обученности студентов.

На занятиях по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” в смешанной форме использовались дистанционный курс в системе управления обучением MOODLE и электронные образовательные ресурсы в виде сайтов с теоретическими материалами и материалами для осуществления планомерного и систематического контроля знаний. Для этого в составе дистанционного курса по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” разработаны тесты по отдельным темам и контрольные тесты по всему курсу. В результате проведения педагогического эксперимента по апробации смешанной технологии обучения по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” показано, что степень обученности студентов по учебной дисциплине “Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий” соответствует конструктивному уровню обученности студентов.

Заключение

Разработаны материалы занятия по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий, которые готовы к началу использования в учебном процессе бакалавриата педагогического университета с профилем подготовки по физике и математике. Проанализированы результаты разработки теоретических материалов и материалов контроля знаний на занятии по оптике нанокompозитных материалов в курсе по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий. Материалы занятия по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий могут быть использованы в развитии методологии преподавания оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий в университете. Разработанные материалы занятия по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий основаны на новых научных сведениях об оптических свойствах нанокompозитных материалов, описываемых в приближении эффективной среды. Разработанные материалы занятия по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий пополняют научную базу учебной дисциплины актуальными теоретическими материалами по оптике нанокompозитных материалов. Разработанные материалы занятия по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий могут быть использованы в качестве теоретических материалов одного занятия и контрольных материалов для контроля знаний на занятии по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий. Применение разработанных материалов занятия по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий открывает новые возможности для обновления курса оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий. Разработанные материалы занятия по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий вносят вклад в теорию преподавания оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий в педагогических университетах.

Гипотеза исследования, состоящая в том, что если использовать материалы занятия по оптическим свойствам нанокompозитов в курсе оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий, то можно повысить познавательный интерес студентов университета к курсу оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий, подтверждена полностью.

Результаты педагогического эксперимента по преподаванию учебной дисциплины по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий с использованием материалов занятия по оптическим свойствам нанокompозитов в курсе оптики тонкослойных и наноструктурных покрытий показали эффективность теоретических материалов и материалов контроля знаний занятия по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий. В ходе педагогического эксперимента на занятиях по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» применялась смешанная форма обучения. В ходе педагогического эксперимента использовались дистанционные образовательные технологии для изучения фундаментальных понятий, законов и процессов оптики нанокompозитных материалов в рамках занятия по оптике тонкослойных и наноструктурных покрытий. Для проведения систематического контроля знаний по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» в дистанционной форме обучения использовался дистанционный курс, созданный в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета. Всего по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» проведено 16 занятий, из которых 9 занятий проведены в дистанционной форме. В ходе педагогического эксперимента проведена систематизация научных сведений по оптике нанокompозитных материалов. На занятиях в дистанционной форме апробированы тесты по отдельным темам и контрольные тесты по всему курсу. В результате проведения педагогического эксперимента по апробации материалов занятия по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» получено, что степень обученности студентов по учебной дисциплине «Оптика тонкослойных и наноструктурных покрытий» соответствует конструктивному уровню обученности студентов.

Список использованных источников

1. Topsakal M., Şahin H., Ciraci S. Graphene coatings: an efficient protection from oxidation // *Physical Review B*. — 2012. — apr. — Vol. 85, no. 15. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.85.155445>.
2. Well-defined metal-polymer nanocomposites: The interplay of structure, thermoplasmonics, and elastic mechanical properties / D. S. Reig [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2018. — dec. — Vol. 2, no. 12. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.2.123605>.
3. Lu Ch., Mai Y.-W., Shen Y.-G. Optimum information in crackling noise // *Physical Review E*. — 2005. — aug. — Vol. 72, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.72.027101>.
4. Singh A., Mukherjee M. Discrete film thickness in polyacrylamide-CdS nanocomposite ultrathin films // *Physical Review E*. — 2004. — nov. — Vol. 70, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.70.051608>.
5. Atomic layer deposition of yttrium iron garnet thin films / M. Lammel [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2022. — apr. — Vol. 6, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.6.044411>.
6. Femtosecond laser pulse induced breakdown in dielectric thin films / J. Jasapara [et al.] // *Physical Review B*. — 2001. — jan. — Vol. 63, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.63.045117>.
7. Controlled synthesis and quantum-size effect in gold-coated nanoparticles / H. S. Zhou [et al.] // *Physical Review B*. — 1994. — oct. — Vol. 50, no. 16. — P. 12052–12056. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.50.12052>.

Сведения об авторах:

Константин Константинович Алтунин — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: kostya_altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

Елена Олеговна Сорокина — студент факультета физико-математического и технологического образования ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», Ульяновск, Россия.

E-mail: elena2000sor@mail.ru, elena2000sor@gmail.com

ORCID iD  0000-0003-3661-9000

Web of Science ResearcherID  AAA-2139-2021

Development of materials for classes on the optics of nanocomposite materials in the course on the optics of thin-layer and nanostructured coatings

K. K. Altunin , E. O. Sorokina 

Ulyanovsk State Pedagogical University, 432071, Ulyanovsk, Russia

Submitted April 7, 2022

Resubmitted April 12, 2022

Published June 7, 2022

Abstract. Theoretical materials and knowledge control materials have been developed for a lesson on the optical properties of nanocomposites in the course of optics of thin-layer and nanostructured coatings, which are ready to be used in the educational process of the bachelor's degree program of the Pedagogical University with a training profile in physics and mathematics. The results of a pedagogical experiment on teaching an academic discipline in the optics of thin-layer and nanostructured coatings using blended learning technology are analyzed.

Keywords: optics, coating, thin layer coating, nanostructured coating, coating optics, nanostructure, nanocomposite, bachelor's degree, university, theoretical materials, knowledge control materials, pedagogical experiment

PACS: 01.40.-d

References

1. Topsakal M., Şahin H., Ciraci S. Graphene coatings: an efficient protection from oxidation // *Physical Review B*. — 2012. — apr. — Vol. 85, no. 15. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.85.155445>.
2. Well-defined metal-polymer nanocomposites: The interplay of structure, thermoplasmonics, and elastic mechanical properties / D. S. Reig [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2018. — dec. — Vol. 2, no. 12. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.2.123605>.
3. Lu Ch., Mai Y.-W., Shen Y.-G. Optimum information in crackling noise // *Physical Review E*. — 2005. — aug. — Vol. 72, no. 2. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.72.027101>.
4. Singh A., Mukherjee M. Discrete film thickness in polyacrylamide-CdS nanocomposite ultrathin films // *Physical Review E*. — 2004. — nov. — Vol. 70, no. 5. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.70.051608>.
5. Atomic layer deposition of yttrium iron garnet thin films / M. Lammel [et al.] // *Physical Review Materials*. — 2022. — apr. — Vol. 6, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.6.044411>.
6. Femtosecond laser pulse induced breakdown in dielectric thin films / J. Jasapara [et al.] // *Physical Review B*. — 2001. — jan. — Vol. 63, no. 4. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.63.045117>.

7. Controlled synthesis and quantum-size effect in gold-coated nanoparticles / H. S. Zhou [et al.] // Physical Review B. — 1994. — oct. — Vol. 50, no. 16. — P. 12052–12056. — URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.50.12052>.

Information about authors:

Konstantin Konstantinovich Altunin – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Technical Disciplines of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ulyanovsk State Pedagogical University”, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: kostya.altunin@mail.ru

ORCID iD  0000-0002-0725-9416

Web of Science ResearcherID  I-5739-2014

SCOPUS ID  57201126207

Elena Olegovna Sorokina — student of the Faculty of Physics, Mathematics and Technological Education of the Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia.

E-mail: elena2000sor@mail.ru, elena2000sor@gmail.com

ORCID iD  0000-0003-3661-9000

Web of Science ResearcherID  AAA-2139-2021