

УДК 535.016

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЛОКНИСТЫХ И ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ ПРОВОДЯЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ

В.А. БОГУШ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 4 февраля 2016

Представлены результаты исследования закономерностей взаимодействия электромагнитных волн диапазона длин 400...750 нм с волокнистыми и порошкообразными материалами, содержащими проводящие покрытия (влага, никель, кобальт). Предложено использовать исследованные материалы для разработки спектральных имитаторов природных сред.

Ключевые слова: коэффициент спектральной яркости, оптический диапазон длин волн, полиакрилонитрил, силикагель.

Введение

Для получения материалов с требуемыми оптическими свойствами (значениями коэффициента спектральной яркости (КСЯ) и/или степени поляризации) перспективным представляется использование метода, основанного на формировании на проводящих или диэлектрических поверхностях сверхтонких металлических покрытий и наноразмерных частиц с повышенной стабильностью, содержащих на границах раздела новую фазу. При этом используются реакции, протекающие на границах раздела «водный раствор – твердое тело», а также автокаталитические реакции химического осаждения металлов. Значения КСЯ формируемых в результате этого материалов зависят от типа и длительности выбранной реакции, разновидности осаждаемых наноразмерных частиц, поверхности, на которой формируются покрытия и т.п.

Цель работы заключается в исследовании характеристик КСЯ волокнистых и порошкообразных материалов, содержащих проводящие покрытия (влага, никель, кобальт).

Методика проведения эксперимента

Исследования спектральных характеристик созданных материалов в оптическом диапазоне длин волн электромагнитного излучения (350...1050 нм) проводились на гониометрической установке спектрополяриметром Гемма МС-09 [1] (рис. 1).

Для измерения спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) образцов была применена искусственная подсветка исследуемого материала. В качестве источника света использовалась галогеновая лампа КГМ-250, имеющая максимум СПЭЯ на длине волны порядка 1,1 мкм (световая температура ≈ 3000 К). Угол падения коллимированного пучка света на исследуемый объект составил 45° либо 60° , при углах поляризации 0 , 45 и 90° . Углы наблюдения (β) были выбраны фиксированные: 0 , 50 , 70 , 90 и 100° . Углы наблюдения и падения отсчитывались от нормали к плоскости исследуемого объекта.

Спектральной плотностью энергетической яркости называется предел отношения энергетической яркости, соответствующей узкому участку спектра, к ширине этого участка. Коэффициент спектральной яркости определяется отношением отраженного светового потока к

падающему и является характеристикой рассеяния электромагнитного излучения оптического диапазона длин волн [2].

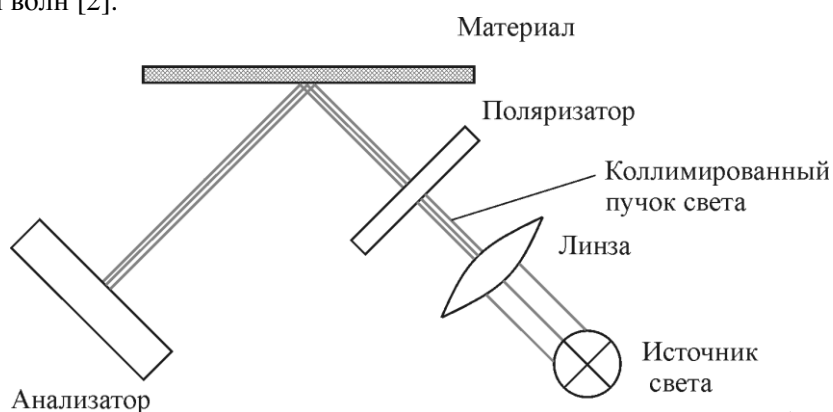


Рис. 1. Схема измерения коэффициента спектральной яркости

Результаты и их обсуждение

Влияние химически сформированных наноструктурированных металлосодержащих покрытий на оптические характеристики материалов с развитой поверхностью исследовалось путем анализа изменения коэффициента спектральной яркости материала площадью $10 \times 10 \text{ см}^2$. Измерения проводили в диапазоне длин волн $400 \dots 750 \text{ нм}$.

Полученные результаты характеризуют взаимодействие электромагнитного излучения с поверхностными слоями синтезированных материалов при формировании отраженного сигнала, что позволяет сделать выводы об изменении строения поверхностных слоев и имеет практическую значимость при разработке материалов со сниженной заметностью в оптическом диапазоне длин волн [3]. Изменения структуры и элементного состава поверхностных слоев при химическом осаждении металлосодержащих покрытий, приводящие к уменьшению коэффициента спектральной яркости материалов во всем диапазоне исследуемых длин волн, наблюдаются как в случае использования волокнистых материалов (рис. 2), так и в случае использования пористой неорганической матрицы силикагеля (рис. 3).

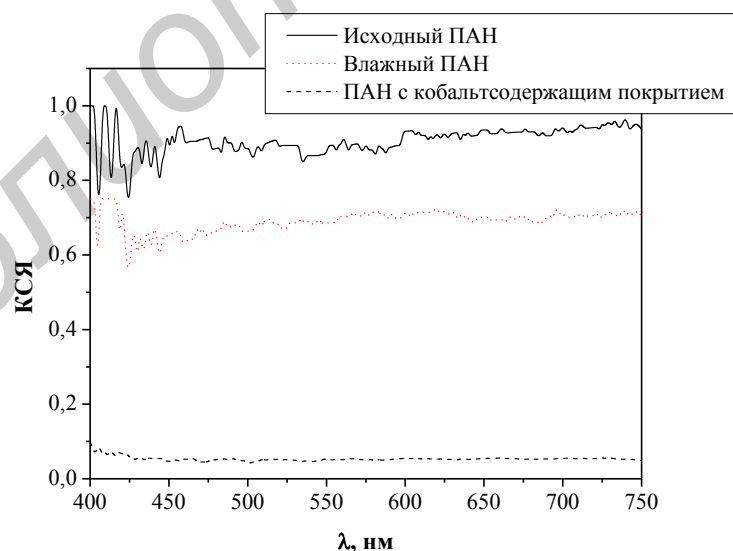


Рис. 2. Зависимость коэффициента спектральной яркости образца волоконистого ПАНа в исходном состоянии, с влагой и кобальтсодержащим покрытием от длины волны (угол визирования 90° , поляризация 0°)

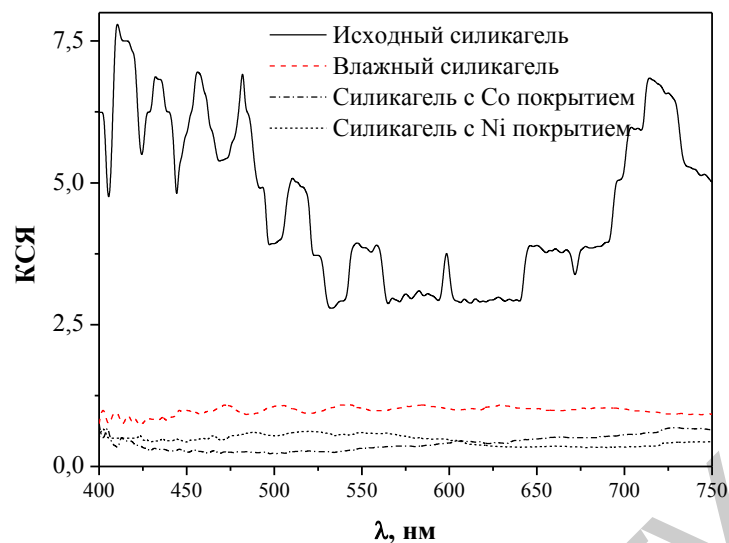


Рис. 3. Зависимость коэффициента спектральной яркости образца силикагеля в исходном состоянии, с влагой, никель- и кобальтсодержащими покрытиями от длины волны (угол визирования 90° , поляризация 0°)

Это снижение оказывается более значительным по сравнению с использованием пропитки материала водой, приводящей к созданию нанометровых гетерогенных структур на поверхности и в объеме матрицы.

При формировании на поверхности волокнистой матрицы ПАН кобальтсодержащего покрытия установлено снижение величины КСЯ на порядок до значений меньших 0,1 в диапазоне длин волн 400...750 нм. Зависимость имеет равномерный характер с незначительным подъемом в области малых длин волн (рис. 4). При этом показано, что КСЯ образцов увеличивается при увеличении угла визирования (рис. 5) и, аналогично СВЧ-диапазону длин волн, не зависит от поляризации излучения (рис. 6).

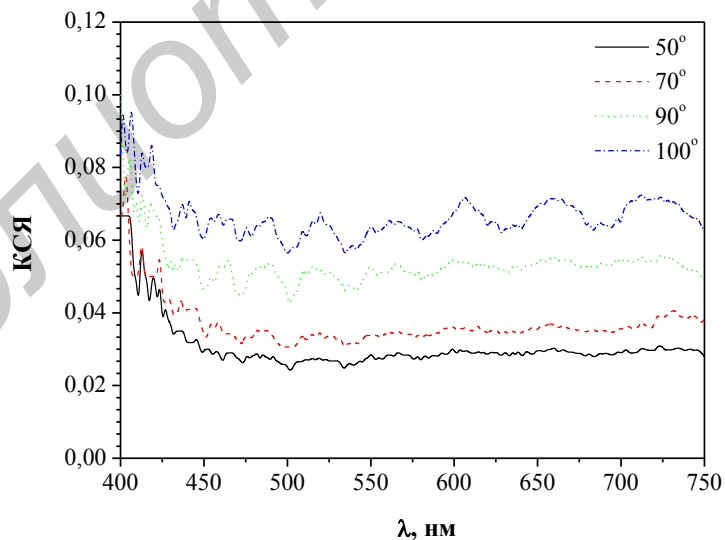


Рис. 4. Зависимость коэффициента спектральной яркости образца волоконистого ПАН с кобальтсодержащим покрытием от длины волны при различных углах визирования

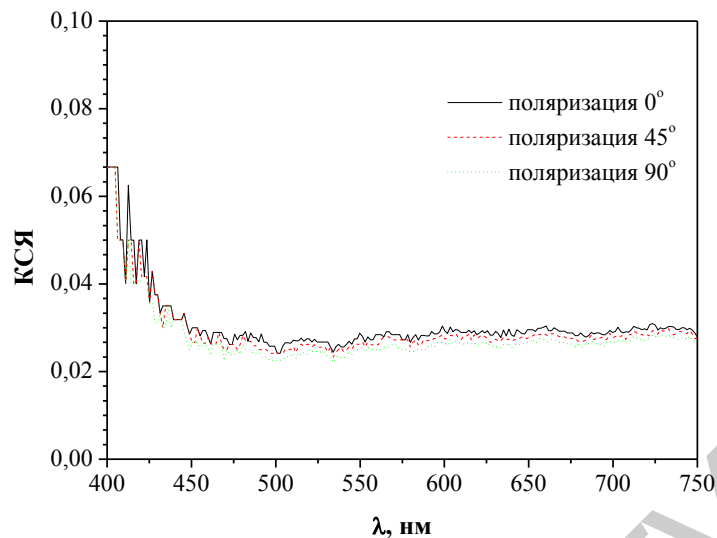
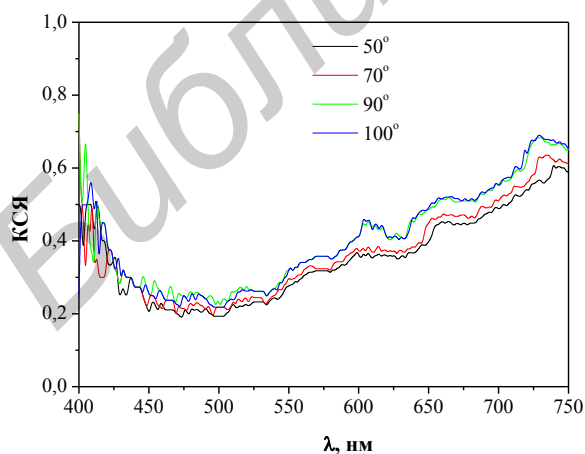


Рис. 5. Зависимость коэффициента спектральной яркости образца волокнистого ПАН с кобальтсодержащим покрытием от длины волны при различной поляризации падающей волны

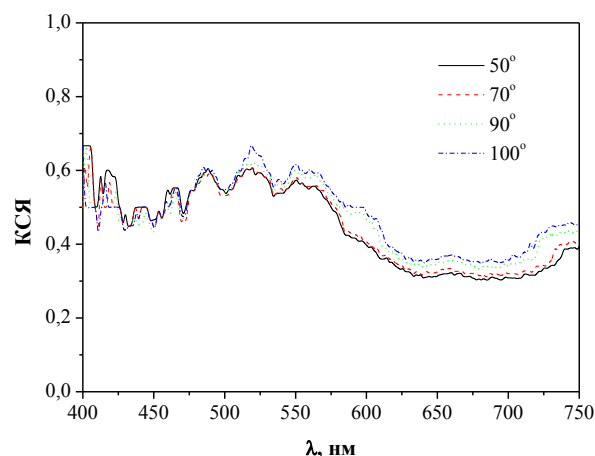
Снижение уровня спектральной яркости связано с формированием на поверхности материала рассеивающих излучение неоднородностей, размеры которых сравнимы с длиной волны излучения (т.е. составляют десятки-сотни нм), а оптические характеристики отличаются от материала подложки. В качестве таких неоднородностей выступают металлосодержащие кластеры, сформированные на поверхности и в порах волокнистой матрицы.

В случае осаждения покрытий на поверхность частиц силикагеля наблюдается снижение КСЯ до уровня 0,2...0,6, при этом частотная зависимость КСЯ слабо изменяется как при изменении угла визирования (рис. 5), так и при изменении поляризации падающего излучения (рис. 7).

Зависимости КСЯ от длины волны характеризуются увеличением значения коэффициента в диапазоне длин волн 650...750 нм для кобальтсодержащих покрытий и в диапазоне 500...600 нм для никельсодержащих, что обусловлено наличием у образцов цветовой окраски, соответствующей цвету раствора соли, из которого производилась сорбция ионов металлов: красноватого для сульфата кобальта и зеленоватого для сернокислого никеля.



a



б

Рис. 6. Зависимость коэффициента спектральной яркости образца силикагеля с кобальт- (*a*) и никельсодержащим (*б*) покрытием от длины волны при различных углах визирования

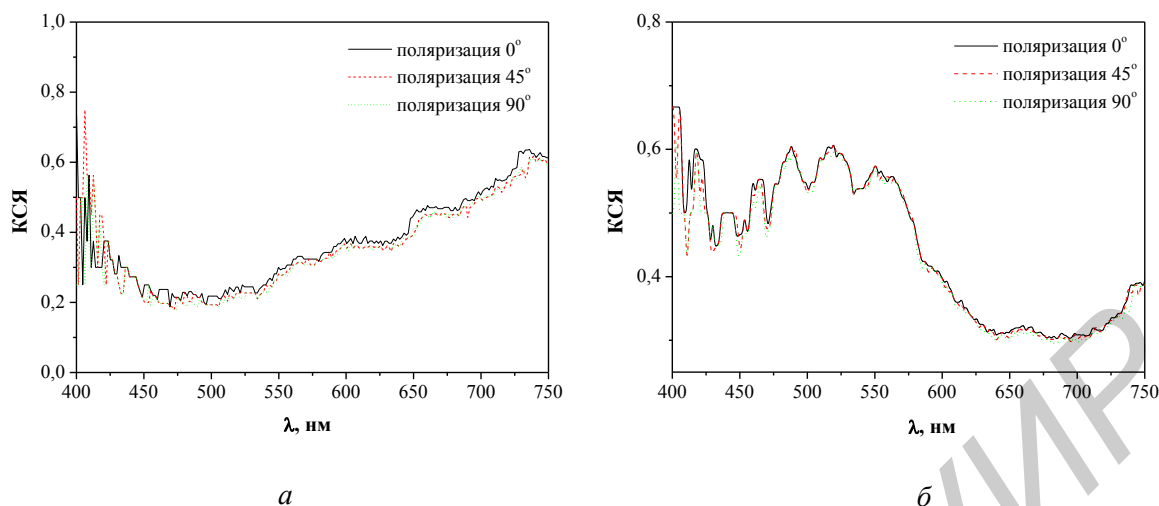


Рис. 7. Зависимость коэффициента спектральной яркости образца силикагеля с кобальт- (а) и никельсодержащим (б) покрытием от длины волны при различной поляризации падающей волны

Заключение

Исследованы оптические свойства материалов с наноструктурированными металлосодержащими покрытиями, полученными путем сорбции ионов металлов с последующим восстановлением в водных растворах. Показано снижение значения коэффициента спектральной яркости волокнистого ПАН более чем в 10 раз при осаждении кобальтсодержащего покрытия. При этом значение КСЯ в диапазоне длин волн 400...750 нм составляет 0,1...0,2, не зависит от поляризации излучения и возрастает при увеличении угла визирования. При осаждении никель- и кобальтсодержащих покрытий на поверхность силикагеля происходит снижение КСЯ в 5–7 раз до величины 0,2...0,6, при этом рассеяние оптического излучения не зависит от поляризации излучения и угла визирования. На основе исследованных материалов могут создаваться спектрально-поляризационные имитаторы природных сред, предназначенные для снижения заметности наземных объектов.

OPTICAL PROPERTIES OF FIBROUS AND POWDERY MATERIALS WITH NANOSTRUCTURED CONDUCTIVE COATINGS

V.A. BOGUSH

Abstract

The investigation results of the interaction laws of electromagnetic wave at length range of 400...750 nm with fibrous and powdery materials containing conductive coatings (moisture, nickel, cobalt) are presented. It is proposed to use the studied material for the development of natural environments spectral simulators.

Keywords: coefficient of spectral brightness, the optical wavelength range, polyacrylonitrile, silica gel.

Список литературы

1. Беляев Б.И., Беляев Ю.В., Чумаков А.В. и др. // Журн. прикл. спектр. 2000. Т 67, № 4. С. 524–529.
2. Беляев Ю.В., Саад Омер Дж., Цикман И.М. // Докл. БГУИР. 2011. № 1 (55). С. 75–79.
3. Саад Омер Дж., Цикман И.М., Беляев Ю.В. // Докл. БГУИР. 2012. № 8 (70). С. 32–36.