

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Республиканский конкурс научных работ студентов
высших учебных заведений Республики Беларусь

Секция № 18

Познание продолжается!..

**ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЛАНТАНИДОВ В КСЕРОГЕЛЯХ,
СФОРМИРОВАННЫХ В ПОРИСТОМ АНОДНОМ ОКСИДЕ АЛЮМИНИЯ**

*Хорошко Людмила Сергеевна,
магистрантка кафедры
радиоэлектронных средств БГУИР*

*Науч. рук. Гапоненко Николай Васильевич,
зав. НИЛ 4.5 «Нанофотоника» БГУИР,
докт. физ.-мат. наук; доцент
Позняк Александр Анатольевич,
доцент кафедры химии БГУИР,
канд. физ.-мат. наук, доцент*

Минск 2011

РЕФЕРАТ

Работа 31 с., 5 ч., 12 рис., 1 табл., 47 источников.

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЛАНТАНИДОВ В КСЕРОГЕЛЯХ, СФОРМИРОВАННЫХ В ПОРИСТОМ АНОДНОМ ОКСИДЕ АЛЮМИНИЯ

Объектом исследования являются люминесцирующие структуры на основе пористого анодного оксида алюминия, содержащего III-валентные ионы тербия в каналах пор.

Цель работы - разработка основ технологии синтеза люминесцентных структур формированием ксерогелей, содержащих ионы редкоземельных элементов, на поверхности пористого анодного оксида алюминия.

В процессе работы произведена оценка влияния условий формирования пористого анодного оксида алюминия на интенсивность и направленность фотолюминесценции ионов тербия, инкорпорированных осаждением из растворов солей в оксидные пленки; рассмотрена возможность изменения люминесцентных свойств образцов при комбинации осаждения и золь-гель технологии.

В результате исследования установлено влияние собственной фотолюминесценции пористого анодного оксида алюминия, выращенного в электролите на основе органической кислоты, на фотолюминесценцию ионов тербия, осажденных из солевого раствора, проанализировано влияние морфологии пористого анодного оксида алюминия на интенсивность и направленность фотолюминесценции ионов тербия, проанализированы результаты исследования люминесцентных свойств образцов при комбинации технологий.

Эффективность методики заключается в возможности использования стандартного оборудования микроэлектроники, разрабатываемая технология в сочетании с фотолитографией может применяться для защиты хозяйственных объектов в качестве люминесцентных меток с заданным рисунком и при создании пленочных конвертеров излучения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень условных обозначений.....	4
Введение.....	5
1 Общая характеристика лантанидов и физико-химические свойства материалов, содержащих лантаниды	6
2 Обзор применения существующей технологии.....	9
2.1 Патент RU 2249504 С2. Комбинация защитных признаков для ценных документов.....	9
2.2 Патент RU 2258109 С2. Защищенная от подделки бумага, снабженная кодировкой из люминесцирующих меланжевых волокон.....	10
2.3 Патент RU 2174173 С1. Состав для скрытой графической знаковой записи информации на документах и изделиях и способ ее считывания.....	10
3 Особенности формирования и свойства пористого анодного оксида алюминия	12
3.1 Электролюминесценция анодного оксида алюминия	14
3.2 Формирование высокоупорядоченных матриц пористого анодного оксида алюминия	15
4 Методика исследований оптических свойств образцов	17
5 Экспериментальная часть	19
5.1 Методика приготовления образцов.....	19
5.2 Анализ полученных результатов.....	21
Выводы.....	27
Список использованных источников	28

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Сокращение	Расшифровка
АОА	анодный оксид алюминия
АОП	анодная оксидная пленка (то же мн. ч.)
БС	барьерный слой (то же мн. ч.)
ОЯ	оксидная ячейка (то же мн. ч.)
ПАОА	пористый анодный оксид алюминия
ФЛ	фотолюминесценция

ВВЕДЕНИЕ

Процессы электрохимического анодирования алюминия, известные уже более 100 лет, в основном использовались для получения защитных, антикоррозионных и декоративных покрытий на основе его анодных оксидных пленок (АОП). Функциональные возможности АОП обусловлены уникальной регулярной ячеисто-пористой структурой и соответствующими электрофизическими и оптическими свойствами пленок АОА, а также возможностью их целенаправленного и воспроизводимого варьирования в процессе формирования.

Известно, что в структурах на основе пористого анодного оксида алюминия (ПАОА), содержащих легированную лантанидами плёнку (ксерогель), наблюдается интенсивная фотолюминесценция (ФЛ) лантанидов [1]. Также ФЛ наблюдается в структурах, не содержащих плёнок ксерогеля, но содержащих ионы лантанидов, осаждённые из растворов солей [2]. Кроме того, ПАОА, выращенный в определенных электролитах (например, в щавелевой кислоте), также проявляет видимую ФЛ. Широкое применение находят люминесцирующие структуры, содержащие трехвалентные ионы тербия. Материалы, содержащие трехвалентные ионы тербия, находят применение в качестве люминофоров в светоизлучающих диодах и твердотельных лазерах, работающих в зеленой области спектра благодаря сильной эмиссии в диапазоне 540...550 нм. Использование в качестве несущих матриц для наночастиц пленок ПАОА [3] позволяет добиться анизотропии распространения света внутри такой структуры при его высокой упорядоченности и обеспечивает увеличение интенсивности люминесценции встроенных в каналы пор люминофоров в направлении вдоль каналов пор.

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛАНТАНИДОВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ ЛАНТАНИДЫ

Группа лантанидов характеризуется заполнением 4f оболочки, начиная от Ce (атомный номер $Z=58$), до Lu ($Z=71$). Термин «редкоземельные элементы», применяемый достаточно часто в отношении лантанидов, по сути, является не совсем корректным, т. к. за исключением Pm они достаточно распространены. В таблице 1.1 приведено предполагаемое содержание лантанидов в составе земной коры, где лантаниды расположены в порядке возрастания их атомного веса. Причем явно прослеживается четно-нечетная зависимость содержания лантанидов от их атомного номера, в которой элемент с четным номером более распространен, чем его нечетные соседи (так называемое правило Оддо-Харкинса).

Таблица 1.1 – Содержание лантанидов в земной коре (в промилле) в зависимости от их атомного номера (Z)

Элемент	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Z	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
ppm	30	60	8.2	28	0	6.0	1.2	5.4	0.9	3.0	1.2	2.8	0.5	3.0	0.5

В ионах лантанидов 4f электроны сильно локализованы и их оптические переходы не зависят от внешнего окружения иона. Такие свойства ионов обусловлены тем, что наиболее низкоэнергетичные 4f электроны не являются наиболее удаленными от центра ядра и экранированы от окружающей матрицы внешними заполненными 5p и 5s электронными оболочками. Это предотвращает их прямое взаимодействие, и характер поведения 4f электронов иона лантанида в какой-либо матрице является таким же, как и в свободном ионе.

Ионы лантанидов в растворах существуют преимущественно в трехвалентном состоянии. Координационное число трехвалентных ионов лантанидов в большинстве соединений составляет 8 или 9. Ионы лантанидов склонны к образованию координационных связей с атомами O и N, причем молекулы воды и OH-группы являются наиболее сильными лигандами по отношению к лантанидам.

Характерной особенностью ионов лантанидов и их соединений является то, что некоторые из них интенсивно люминесцируют при возбуждении УФ излучением [1]. Спектры поглощения и люминесценции ионов лантанидов обусловлены *ff*-переходами внутри 4f-оболочки (типичные оптические переходы европия и тербия показаны на рисунке 1.1), экранированной внешними 6s электронами. Вследствие этого, положение полос спектров люминесценции и поглощения иона лантанида незначительно зависит от координационного окружения иона.

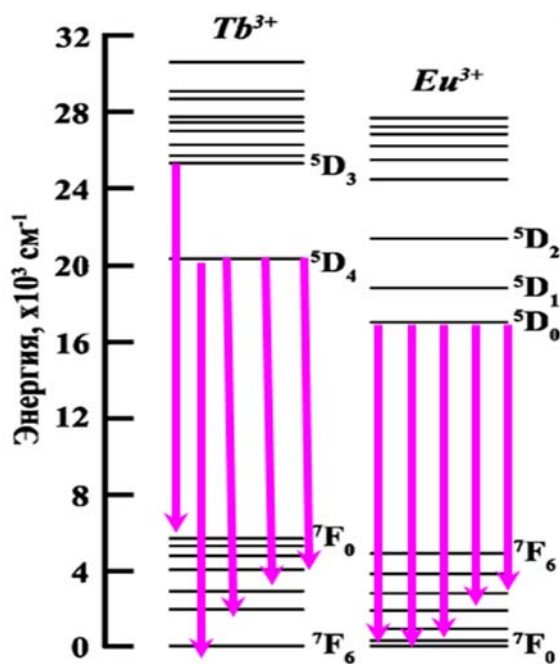


Рис. 1.1 – Типичные оптические переходы лантанидов на примере тербия и европия

ff-люминесценция лантанидов наблюдается в УФ (Gd³⁺), видимой (Ce³⁺, Tb³⁺, Eu³⁺) и инфракрасной (Yb³⁺, Nd³⁺, Er³⁺) областях спектра. Спектр люминесценции является характерным для каждого лантанида, позволяя определять один ион лантанида в присутствии другого. Время жизни возбужденных *ff*-состояний (люминесценции) иона лантанида вследствие запрещенности *ff*-переходов имеет большую длительность, вплоть до миллисекунд.

ff-люминесценция лантанидов в твердых телах может наблюдаться с нескольких возбужденных уровней. В жидкости люминесценция большинства ионов лан-

танидов обычно наблюдается только с резонансного уровня, т. е. выполняется закон Вавилова.

ff-люминесценция ионов лантанидов наблюдается при возбуждении внутри 4f-оболочки *ff*-переходов поглощения. Однако малая интенсивность собственного *ff*-поглощения ионов лантанидов не позволяет достичь полного поглощения возбуждающего света и, соответственно, высокой интенсивности люминесценции. Поэтому для «накачки» люминесценции лантанидов часто используют молекулы (доноры), которые обладают интенсивным поглощением в УФ и видимой области. Возбуждение молекулы донора и последующая передача энергии с донора на уровень иона лантанида приводит к люминесценции лантанида. Поскольку эффективность переноса энергии от донора экспоненциально уменьшается с увеличением расстояния донор – ион лантанида, желательно, чтобы донор энергии являлся комплексообразователем и образовывал устойчивый комплекс с ионом лантанида.

Поскольку переходы между электронными состояниями экранированных 4f электронов являются источником излучательных переходов, материалы, содержащие ионы лантанидов обладают рядом интересных оптических свойств, например:

- время жизни возбужденных состояний может представлять собой значительную величину, превышающую 10 мс;

- ионы лантанидов могут обладать эффективной люминесценцией с высоким квантовым выходом и очень низкой энергией, затрачиваемой на эмиссию фононов;

- когерентность времен жизни переходов может приближаться к фундаментальному ограничению этой величины, равному нескольким миллисекундам при температуре в несколько Кельвин;

- энергии переходов очень слабо подвержены влиянию кристаллической решетки, что позволяет целенаправленно изменять оптические свойства материалов при помощи лантанидов, исходя из структуры их энергетических уровней.

Эти свойства позволили использовать лантаниды не только в технологиях оптоэлектроники, но и для изучения фундаментальных физических явлений с высокой степенью точности.

2 ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

В настоящее время в ряде стран действует стандарт защиты автотранспорта от угона. Частью этой защиты являются невидимые в видимом диапазоне длин волн и люминесцирующие, например, при возбуждении ультрафиолетовым излучением коды, нанесенные на детали машин. Защитой от подделок в виде скрытых кодов обеспечивают и денежные купюры, документы, произведения искусств, изделия радиоэлектроники, оптической, часовой и других отраслей промышленности.

Рассмотрим некоторые патенты, предлагающие различные способы реализации подобной защиты [4, 5, 6].

2.1 Патент RU 2249504 С2. Комбинация защитных признаков для ценных документов

Ценный документ, прежде всего банкнота или удостоверение личности, характеризуется наличием неразрывно связанных с ним, по меньшей мере, двух люминофоров, люминесцентные свойства которых поддаются автоматическому контролю в одном и том же месте независимо друг от друга.

В этой комбинации веществ первый люминофор является нестабильным органическим люминофором, в предпочтительном варианте метиленовым синим или $ZnS:CuCl$, и необратимо теряет свои свойства при первой температуре, которая превышает собственную температуру горения ценного документа. Второй термостабильный неорганический люминофор необратимо теряет свои свойства при второй температуре, превышающей температуру уничтожения ценного документа, например в высокотемпературных печах, в соответствии с изобретением содержит кристаллические вещества, в решетке матрицы которого присутствуют легирующие примеси редкоземельных элементов, предпочтительно $Y_3Al_5O_{12}:Tb$, и таким образом позволяет подтвердить образование пепла в условиях, отличных от нормальных атмосферных.

Это позволяет однозначно идентифицировать ценный документ как по нему самому, так и по оставшемуся от него пеплу и исключает возможность нелегального регенерирования предназначенных для защиты от подделок материалов с целью изготовления дубликатов ценных бумаг.

Вводятся люминофоры могут различными путями. Вещество можно равномерно примешивать к бумажной массе, пластику или полимерному материалу, надпечатывать на определенные участки готового бумажного полотна, вводить в материал меланжевых волокон или пластинок, использующихся в качестве защитных нитей. Также подобные вещества могут содержаться в полимерных пленках и печатных красках, предназначенных для любого метода печати.

2.2 Патент RU 2258109 С2. Защищенная от подделки бумага, снабженная кодировкой из люминесцирующих меланжевых волокон

Рассматривается способ защиты бумаг от подделки, при котором в ценный документ вводятся меланжевые волокна, по крайней мере, двух типов, различающиеся по своим люминесцентным свойствам и образующие кодировку или кодовую комбинацию в виде отдельных не перекрывающихся участков, на каждом из которых присутствуют меланжевые волокна только одного типа. Эти участки для образования кодировки либо определено геометрически расположены, например, в форме полосок шириной от 5 до 30 мм, либо отличаются наличием или отсутствием меланжевых волокон определенного типа.

Люминофор имеет при этом узкую спектральную полосу излучения, лежащего вне видимой области спектра. Меланжевые волокна могут быть окрашены люминофором или содержать его в своем объеме.

В защищенную от подделки бумагу меланжевые волокна заделываются в процессе ее производства таким образом, чтобы они частично образовывали сетчатую структуру с волокнистым материалом бумаги и перекрывались на поверхности бумаги ее волокнами. Плотность расположения меланжевых волокон на отдельных участках составляет от 2 до 20 меланжевых волокон на сантиметр.

Чтобы добиться максимальной степени неприметности для предложенного способа защиты и не нарушить эстетических свойств бумаги можно использовать меланжевые волокна из прозрачного полимерного материала.

2.3 Патент RU 2174173 С1. Состав для скрытой графической знаковой записи информации на документах и изделиях и способ ее считывания

Предлагается решение для применения состава для скрытой графической знаковой записи информации на документах и изделиях, содержащего светочувстви-

тельный компонент, выполненный на основе чувствительного к инфракрасному излучению кооперативного люминофора, излучающего в видимой части спектра, и пленкообразующий компонент.

При этом кооперативный люминофор содержит порошкообразную матрицу на основе стеклокерамики, преимущественно, фторидных или фторидногалатных стекол, легированных фторидами редкоземельных элементов: эрбия – в качестве активатора и иттербия – сенсбилизатора.

Считывание знаков происходит путем облучения лучом полупроводникового лазера с выходной мощностью 0,25-1,0 Вт и длиной волны 960-990 нм, изготовленного в виде компактного устройства.

Очевидно, что приведенные способы защиты документов и изделий с применением люминофоров являются трудоемкими и дорогостоящими. Также как и в случае защиты качественных товаров от подделок снабжением их голографическим товарным знаком, изготавливаемым по сложной многоэтапной дорогостоящей технологии, при применении упомянутых способов должно быть использовано специфическое оборудование.

В данной работе предлагается не менее эффективный, способ защиты изделий с помощью фотолюминесцентных структур, сформированных на поверхности алюминиевой фольги. Показана возможность получения люминесцентных структур на основе пропитки и анодирования алюминия без привлечения недоступных отечественным производителям технологий, на стандартном оборудовании микроэлектроники. Такие люминесцентные структуры могут быть использованы для недорогих товарных знаков, защищающих промышленные товары от подделок, что также делает их доступными предприятиям малого бизнеса.

3 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

В последние десятилетия интерес к анодному оксиду алюминия (АОА), формируемому электрохимическим анодированием, значительно возрос в связи с перспективами использования этого материала в новых и современных областях науки и техники: приборостроении, электронике и оптике, микро- и наноэлектронике и интегральной оптике. Весьма актуальным направлением является разработка технологии формирования АОП [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] алюминия (и/или его сплавов) с заданными оптическими и электрофизическими параметрами, для чего необходимо тщательное изучение структуры, состава, электрических и спектрально-люминесцентных свойств формируемых при этом анодно-оксидных слоев. Интенсивно исследуется влияние условий анодирования на параметры ячеисто-пористой структуры и свойства АОА, поскольку проводящие, изолирующие и оптические структуры могут быть сформированы из алюминия и/или его сплавов (в том числе листового проката), а также многослойных композиций различных металлов путем электрохимического преобразования его поверхностного слоя (или всего материала) в анодный оксид (АО) Al_2O_3 , обладающий соответствующими диэлектрическими, оптическими и в т. ч. люминесцентными свойствами, а также требуемыми морфологическими параметрами [14].

Наличие регулярной ячеисто-пористой структуры в АОА из расположенных перпендикулярно поверхности цилиндрических пор, расположенных по оси, как правило, практически правильных шестигранников, образующих сотоподобную структуру, позволяет внедрять в них вещества, эффективно используя АОП в качестве прозрачной матрицы, обладающие собственными люминесцентными свойствами, например, органические красители, узкозонные полупроводники, диэлектрики, углеродные нанотрубки и другие образования, способные люминесцировать под воздействием ультрафиолетового, инфракрасного, рентгеновского излучения и других факторов, эмиттировать электроны при невысоких потенциалах и т. д. При этом обычно подразумевается приготовление активных покрытий или наноразмерных массивов, как правило, в два или более этапов:

- изготовление матрицы АОП с необходимыми морфологическими параметрами, подлежащей последующей обработке;
- модификация ПАОА [14], например, путем порозаполнения, т. е. собствен-

но приготовление светоизлучающего или другого активного покрытия или элемента;

— в ряде случаев последующее селективное удаление исходной матрицы ПАОА.

Современные устройства отображения информации обладают рядом принципиальных недостатков, таких, как большие габариты и низкая надежность (электронно-лучевые трубки), высокая инерционность и пассивность при работе (ЖК-индикаторы), высокое энергопотребление (светодиоды), что существенно ограничивает их применение в перспективных моделях вычислительной техники. Известные в настоящее время люминесцентные вещества представляют собой, во-первых, естественные или синтетические органические соединения сложного состава, во-вторых, природные, а чаще синтетические неорганические материалы (сульфиды, вольфраматы, силикаты и др.) и, в-третьих, неорганические кристаллы и стекла, также чаще всего активированные неорганическими примесями (например, ионами редкоземельных элементов, Sr или Mn) [15, 16, 17]. Однако большинство люминесцирующих веществ быстро деградируют под действием возбуждающего излучения (особенно электронной бомбардировки) вследствие происходящих структурных и/или химических превращений. Высокие требования к составу материала (чистота, точность соотношения компонентов), малый срок службы, дефицитность, высокая стоимость, низкая технологичность и экологическая опасность большинства применяемых люминофоров требует активного поиска новых материалов и технологий, которые привели бы к созданию люминофоров, не имеющих перечисленных недостатков.

Обращают на себя внимание публикации американских и японских ученых, в которых сообщается о работах по изучению оптических свойств модифицированного АОА с целью создания на его основе различных оптических элементов, таких, как тонкопленочные лазеры, светофильтры, световоды, оптические диски, светоизлучающие структуры и плоские активные устройства отображения информации.

Интенсивно разрабатываются как варианты вышеупомянутого метода модификации исходного материала, а также активно исследуются методы формирования АО и способы легирования данного материала ионами редкоземельных или переходных металлов непосредственно в процессе изготовления (анодирования) для создания в структуре АО центров люминесценции с различными длинами волн эмиссии в видимой области спектра.

Обнаружение эффекта электролюминесценции АОП алюминия и некоторых его сплавов открывает перспективу создания тонкопленочных светоизлучающих

структур, возбуждаемых постоянным или переменным электрическим полем. Перспективность данного направления доказывает также и то, что известно широкое применение подобных структур на основе других материалов: активированных органическими люминофорами микропористых и золь-гельных стекол в качестве лазерных активных элементов [18], люминесцентных солнечных концентраторов [19] и т. д. При этом изучается геометрия распределения молекул [20], аннигиляция триплетных молекул ароматических углеводов [21] и их фосфоресценция [22], начато активное исследование активированного люминофорами пористого кремния [23]. Сочетание органических соединений с диэлектрической и полупроводниковой матрицами позволяет осуществлять оптическое заряджение матрицы [24]. В неорганических матрицах удается достичь очень высоких концентраций молекул [25] без заметного тушения флуоресценции, что позволяет исследовать межмолекулярные взаимодействия в условиях существенного подавления столкновительных процессов. Кроме того, оказалось, что низкоразмерное структурирование приводит к увеличению световой эффективности электролюминесцентных устройств [26].

Интересным и весьма актуальным направлением, бурно развивающимся в настоящее время, является создание высокоупорядоченных наноразмерных структур и композитных материалов с использованием ПАОА в качестве матрицы или шаблона [27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38], что является возможным именно благодаря уникальной ячеисто-пористой структуре, поддающейся управляемой модификации, диэлектрическим и оптическим свойствам и возможности их воспроизводимого варьирования.

В связи с этим исключительный интерес представляет разработка концепции получения новых тонкопленочных наноразмерных структур на основе АОА путем его обработки и модификации различными физико-химическими методами для получения плоских оптически активных микроэлементов и устройств отображения информации, источников электромагнитного излучения, создания изделий микроэлектровacuумной техники и т. д.

3.1 Электролюминесценция анодного оксида алюминия

Известно, что для АОА характерна как ЭЛ, наблюдаемая непосредственно в ходе электрохимической обработки, в том числе и в «экзотических» электролитах [39, 40], так и свечение специально изготовленных на основе АОП алюминия тестовых структур и устройств. На характер (интенсивность, спектральные характеристики

ки) излучения большое влияние оказывают: природа электролита, характер примесного иона и электрические режимы анодирования.

В работе [41] было высказано и обосновано предположение о том, что люминесценция АОП в процессе анодирования в водных электролитах объясняется не неизбежным присутствием даже в высокочистой бездефектной исходной металлической пленке примесей (Si, Fe и Cu), а связана с наличием внедренных в пленку карбоксилат-анионов. По мнению автора упомянутой работы, следующие экспериментальные факты доказывают это:

— При формировании АОП на высокочистом бездефектном алюминии (99,99 % и 99,999 %) люминесценция регистрируется только в водных растворах алифатических карбоновых кислот (щавелевой, лимонной, винной, малоновой, малеиновой и др.) и некоторых их солей, в том числе в цитратах и тартратах аммония, которые содержат карбоксилат-анионы. В то же время при анодировании в растворах неорганических солей аммония, например, борате аммония, свечения не наблюдается.

— Факторами, приводящими к усилению интенсивности ФЛ, являются: снижение температуры анодирования и повышение плотности тока и, кроме того, факторы, вызывающие как увеличение внедрения анионов, так и увеличение напряженности электрического поля в барьерном слое (БС).

— ФЛ АОП на алюминии, присущая пленкам, сформированным в электролите, содержащем алифатические карбоновые кислоты, но не присущая неорганическим электролитам, имеет место благодаря карбоксилатным ионам, внедренным в аморфную и трехмерную структурную решетку, и взаимодействию с ОН-группами из связанной воды или общей массы оксида алюминия.

3.2 Формирование высокоупорядоченных матриц пористого анодного оксида алюминия

С учетом новых применений АООА возникла необходимость создания высокоупорядоченного ПАОА, а также ПАОА с необычными морфологическими параметрами. Приемы и методы создания ПАОА с высокой регулярностью или необычными морфологическими параметрами ячеисто-пористой структуры также можно рассматривать как способы модификации пленок АООА. В настоящее время существует несколько подходов к созданию высокоупорядоченных матриц ПАОА. Сравнительно простыми являются способы формирования высокоупорядоченных пористых анодно-оксидных структур на алюминии, предполагающие анодирование металла

в несколько этапов [31]. Схематически основные стадии процесса создания высокоупорядоченного АОА и наноструктуры, созданной в нем, показаны на рисунке 3.1.



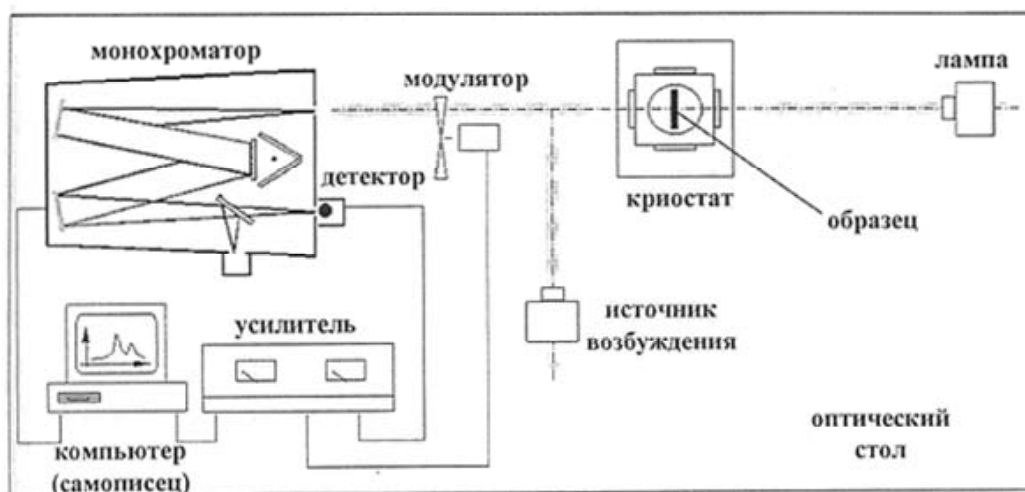
Рис. 3.1 – Основные стадии процесса создания высокоупорядоченного анодного оксида алюминия

Известно, что зарождение оксидных ячеек и пор в первые моменты после подачи анодного напряжения на анодируемый образец происходит случайным образом и совершенная структура ПАОА формируется лишь спустя некоторое время с начала процесса анодного оксидирования. Если на этом моменте остановить процесс анодирования, образовавшийся АОА селективно стравить, то на поверхности слоя алюминия останутся регулярно расположенные отпечатки ОЯ. При повторном анодировании в тех же условиях, что и в первом случае, эти отпечатки будут служить зародышами пор, которые на этот раз будут сразу расположены регулярно, и верхний слой ПАОА не будет разупорядочен. После анодирования алюминия на всю его оставшуюся толщину и удаления БС, в случае наличия проводящего подслоя между подложкой и ПАОА или проводящей подложки можно осадить в поры наночастицы золота и/или других материалов, затем возможно удалить матрицу Al_2O_3 анодного и получить свободно стоящий упорядоченный наномассив.

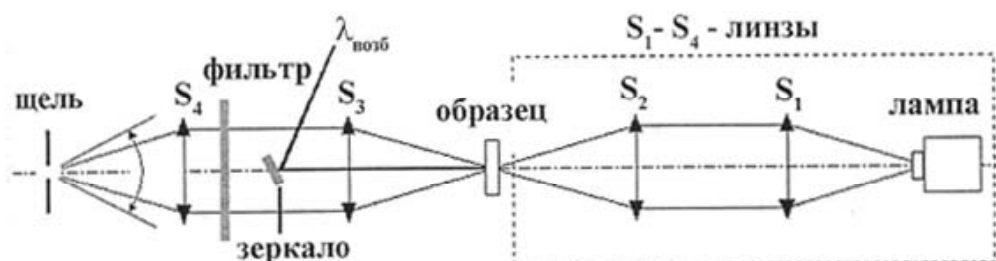
Несомненным достоинством данного подхода является простота аппаратного оформления, отсутствие необходимости создания шаблона для текстурирования анодируемой поверхности. Недостатком является невозможность получения ПАОА с нетрадиционными формами ОЯ.

4 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ

В последующих разделах проводится исследование и анализ спектров и индикатрис ФЛ экспериментальных образцов. Регистрация этих данных производилась нижеописанными способами.



а



б

Рис. 4.1 – Схема установки для проведения люминесцентных измерений:

а – общая структурная схема,

б – схема регистрации спектров фотолюминесценции

Спектры ФЛ. Общая схема проведения измерения ФЛ представлена на рисунке 4.1 (а) и состоит из следующих основных компонентов: источника возбуждающего излучения, галогенной лампы, используемой для юстировки оптической системы, модулятора при проведении измерений по методике с модуляцией сигнала, монохроматора с детектором, усилителя и устройства для отображения спектра (самописец или компьютер). Упрощенная оптическая

схема исследования спектров ФЛ показана на рисунке 4.1 (б).

Измерение индикатрис ФЛ. Для исследования угловых зависимостей спектров ФЛ, связанных с особенностями прохождения света через пористую структуру анодного оксида алюминия, обеспечивалось вращение детектора или источника возбуждения вдоль оси, перпендикулярной плоскости образца (рис. 4.2). В качестве источника возбуждения использовался твердотельный Nd (неодимовый) лазер, работающий на длине 337 нм, площадь сфокусированного на поверхности образца светового пятна была около 1 мм^2 .

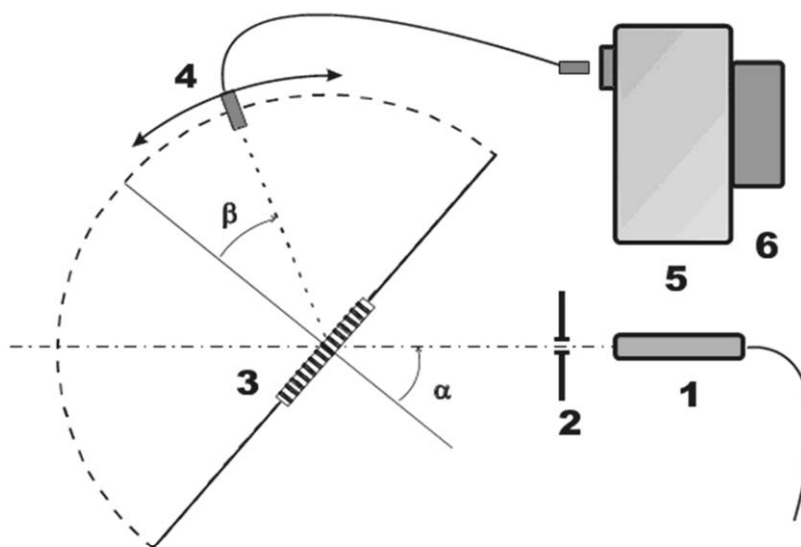


Рис. 4.2 – Схема установки для исследования угловых зависимостей спектров фотолюминесценции:
1 – неодимовый лазер (337 нм); 2 – диафрагма;
3 – образец; 4 – волновод; 5 – спектрограф; 6 – камера

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Как отмечалось ранее, в структурах на основе ПАОА, содержащих легированную лантанидами пленку (ксерогель), наблюдается интенсивная ФЛ лантанидов. ФЛ наблюдается и для структур ПАОА, содержащих ионы лантанидов, осажденные из растворов солей. Известно, что ксерогели различного состава, легированные тербием, европием или эрбием, синтезированные в пористом анодном оксиде алюминия, демонстрируют интенсивную фотолюминесценцию (ФЛ) лантаноидов [1]. Люминесценция тербия и европия видна невооруженным глазом при комнатной температуре при возбуждении ксеноновой лампой и лазерными источниками в ультрафиолетовом диапазоне, что представляет практический интерес. При этом степень заполнения пор ксерогелем и морфология структуры ксерогель/пористый анодный оксид алюминия зависят от состава золя. Кроме того, ПАОА, полученный в электролитах органических кислот (щавелевой, винной, сульфосалициловой, сульфаминовой), проявляет видимую ФЛ, обусловленную кислородными вакансиями и остатками органических соединений [42, 43]. Широкое применение находят люминесцентные структуры, содержащие трехвалентные ионы лантанидов. Тербий используется для создания люминесцентных источников в зеленой области спектра, благодаря сильной эмиссии в диапазоне 540...555 нм. Использование пленок ПАОА в качестве упорядоченных структур для оптических активных центров позволяет добиться анизотропии люминесценции и увеличения ее интенсивности. В данной работе в зависимости от режимов формирования ПАОА исследованы интенсивности и формы индикатрисы ФЛ ионов тербия, инкорпорированных в ПАОА осаждением из водных растворов азотнокислых солей, проведена оценка влияния диаметра пор и толщины пленки ПАОА на интенсивность и направленность ФЛ тербия. Проанализирована возможность усиления ФЛ при использовании комбинации пропитки и золь-гель технологии.

5.1 Методика приготовления образцов

Для оценки влияния собственной люминесценции ПАОА на ФЛ тербия синтезированы образцы первой серии: пленки ПАОА толщиной ~17 мкм анодированием

алюминиевой фольги в электролитах на основе щавелевой (3,6%) и ортофосфорной (10%) кислот. В полученные пленочные структуры ПАОА осаждались ионы тербия методом погружения ПАОА в течение трех суток в водный раствор азотнокислого тербия с концентрацией 30 мг/мл. После сушки при температуре 60 °С в течение 30 мин образцы отжигались в течение 30 мин при температуре 200 °С.

Для исследования влияния толщины оксидной пленки на ФЛ ионов тербия пленочные структуры ПАОА (вторая серия) формировались анодированием электрохимически полированной алюминиевой фольги марки А99 толщиной 0,3 мм в фосфорнокислых электролитах. Анодирование проводилось в две стадии в потенциостатическом режиме. После первого анодирования “мокрый” оксид алюминия толщиной 20-30 мкм удалялся травлением в растворе на основе ортофосфорной кислоты (30%) и хромового ангидрида (10%) при температуре 90 °С в течение 5 мин. Для получения люминесцентных структур полученные пленки ПАОА окунали в водный раствор нитрата тербия с концентрацией 30 мг/мл. Окончательный отжиг проводился на воздухе при температуре 200-600 °С в течение 30 мин. Увеличение диаметра пор проводилось травлением в растворе ортофосфорной кислоты (1:1) при комнатной температуре.

Пленки ПАОА третьей серии для оценки эффективности комбинации технологий были синтезированы двухстадийным анодированием электрохимически полированной алюминиевой фольги в растворе 1,2 М ортофосфорной кислоты в потенциостатическом режиме при напряжении 130 В и плотности тока не более 1 мА/см². Увеличение диаметра пор проводилось травлением в растворе ортофосфорной кислоты (1:1) при комнатной температуре в течение 30 мин, скорость травления по данным проведенных ранее исследований составляла порядка 1 нм/мин. В полученные пленочные структуры осаждались ионы тербия методом погружения ПАОА в раствор азотнокислого тербия с концентрацией 30 мг/мл. После сушки при температуре 60 °С в течение 10 мин образцы отжигались при температуре 200 °С в течение 30 мин. Затем на один из образцов методом центрифугирования со скоростью 3000 об/мин наносилась пленка ксерогеля 30% Tb₂O₃–70% Al₂O₃ (масс.%), состоящая из пяти слоев. Золь для формиро-

вания ксерогеля оксида алюминия готовился из изопророксида алюминия по методике, изложенной в [44]. После нанесения каждого слоя золя центрифугированием производилась сушка образца при 200 °С в течение 10 мин, затем производилось центрифугирование последующего слоя. Окончательная термообработка образца, содержащего пятислойную пленку, проводилась при температуре 200 °С в течение 30 мин.

Для исследования ФЛ в качестве источника возбуждения использовался твердотельный Nd лазер, работающий на длине 337 нм и азотный лазер с длиной волны 329 нм.

5.2 Анализ полученных результатов

Для пленочных структур ПАОА первой серии, полученных анодированием в щавелевой и ортофосфорной кислотах с осажденными ионами тербия методом окунания исследованы спектры ФЛ [45] (рис. 5.1). Структуры, сформированные в электролите на основе щавелевой кислоты, имеют интенсивную полосу ФЛ в области 440...480 нм, что соответствует собственной люминесценции ПАОА. Голубая люминесценция ПАОА хорошо различима на фоне ФЛ тербия (рис. 5.2).

Исследованы спектры ФЛ и индикатрисы ФЛ тербия, осажденного методом окунания, в пленки ПАОА второй серии толщиной 3, 10, 20, 30, 50 мкм, сформированного анодированием в 1,2 М растворе H_3PO_4 при напряжении 130 В (рис. 5.3 и 5.4). Наблюдается рост интенсивности фотолюминесценции с увеличением толщины структур ПАОА. Обнаружено, что с увеличением толщины пленки ПАОА изменяется форма индикатрисы люминесценции: направленность излучаемого света вдоль каналов пор для толщины 10 мкм наибольшая.

Для исследования влияния диаметра пор на интенсивность и направленность ФЛ использовались пленки ПАОА толщиной 10 мкм, полученные анодированием в 1,2 М растворе ортофосфорной кислоты при напряжении 130 В.

Для получения структур с различным диаметром пор образцы пленок ПАОА подвергались травлению в водном растворе H_3PO_4 (1:1) в течение 15, 30, 60 мин. После сушки в течении 10 мин при температуре 60 °С образцы окунались на 72 часа в раствор нитрата тербия. Отжиг образцов производился при температуре 200 °С в течение 30 мин.

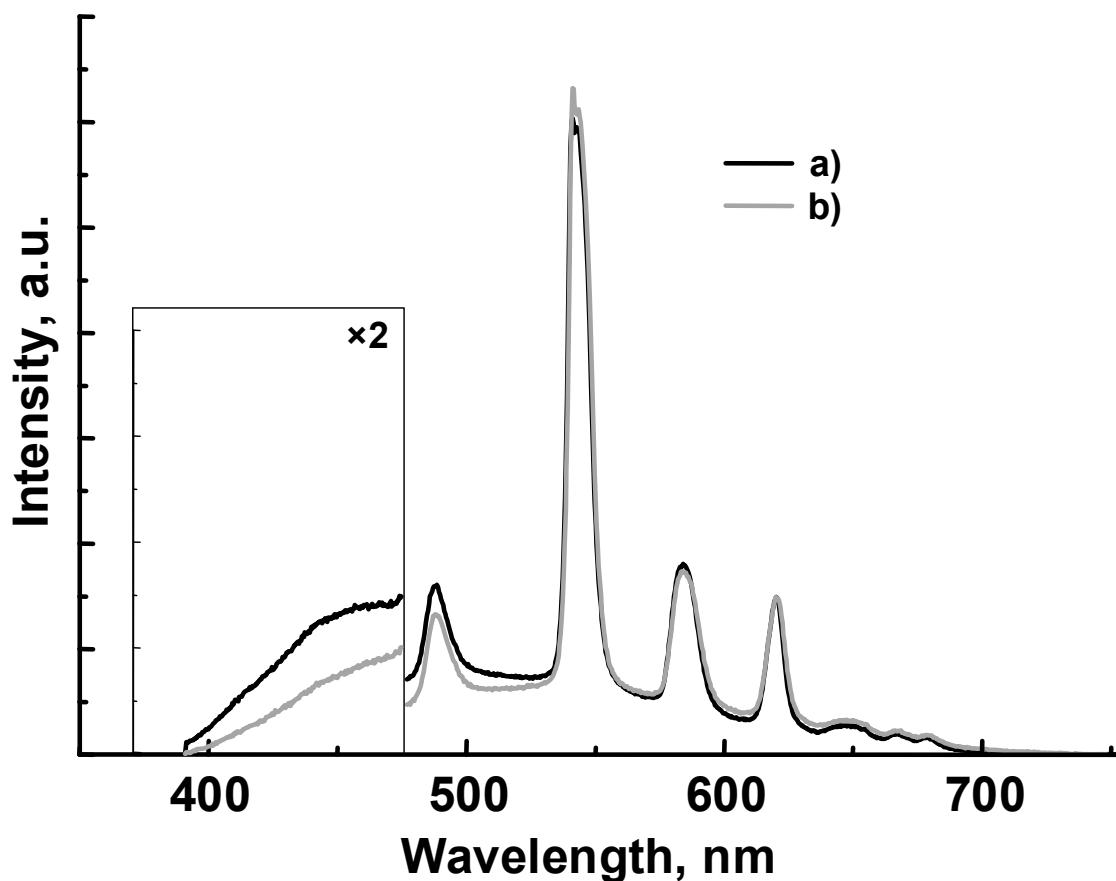


Рис. 5.1 – Спектры ФЛ, полученные при $\lambda_{\text{возб}}=337$ нм для пленочных структур ПАОА с осажденными ионами тербия, сформированных в 3,6% растворе $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ при напряжении 60 V (а) и в 10% растворе H_3PO_4 при напряжении 130 V (б).

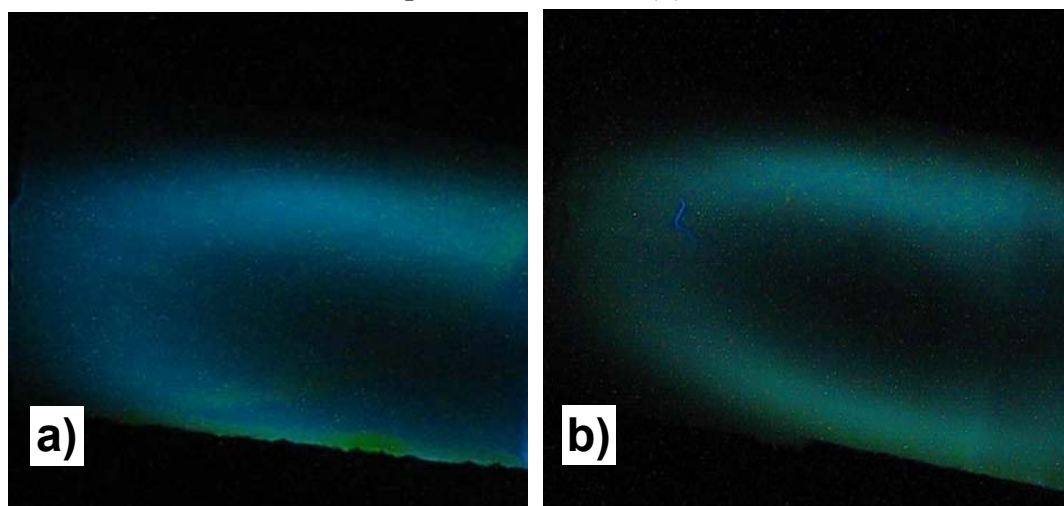


Рис. 5.2 – Фотоснимки ФЛ, полученные при $\lambda_{\text{возб}}=337$ нм для пленочных структур пористого анодного оксида алюминия с осажденными ионами тербия, сформированных в 5% растворе $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ при напряжении 60 V (а) и в 10% растворе H_3PO_4 при напряжении 130 V (б)

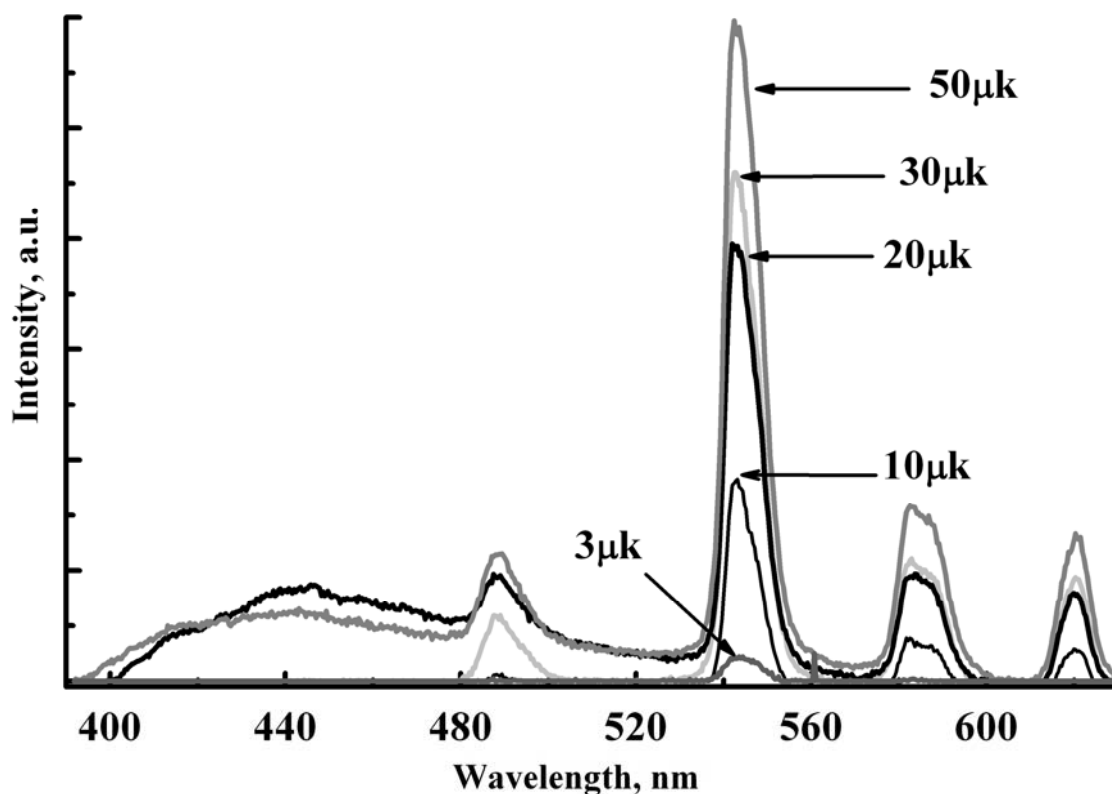


Рис.5.3 – Зависимость фотолюминесценции тербия при $\lambda_{\text{возб}}=329$ нм, осажденного в пленочные структуры ПАОА толщиной 3, 10, 20, 30, 50 мкм, сформированного анодированием в 1,2 моль/л H_3PO_4 при напряжении 130 В

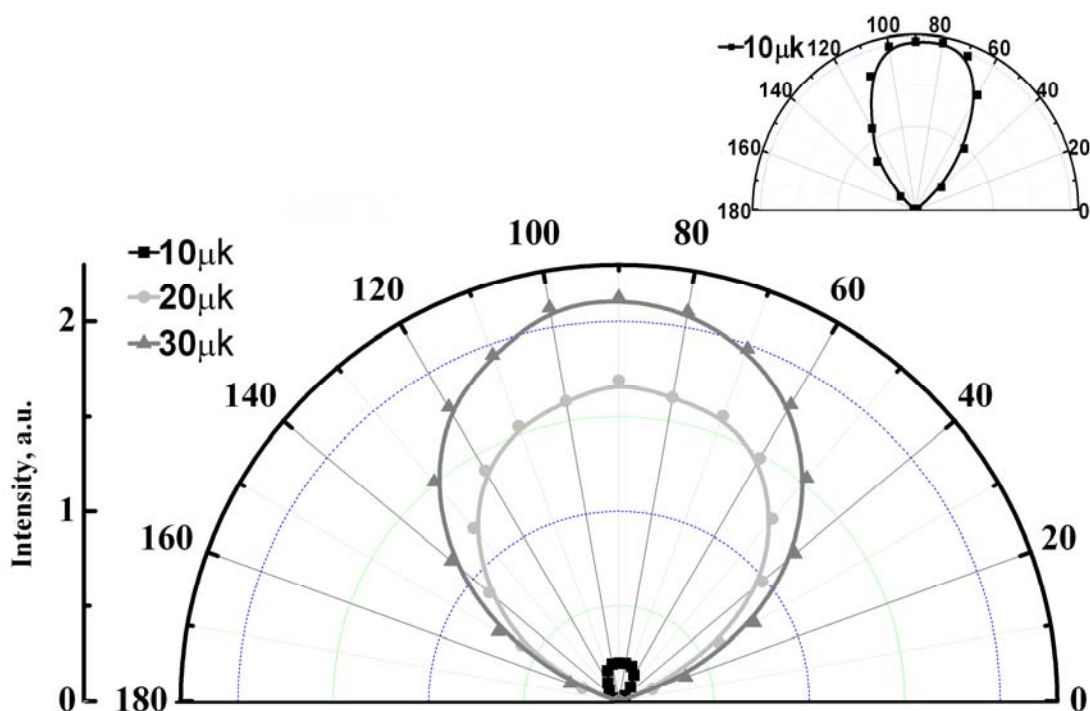


Рис.5.4 – Индикатрисы люминесценции тербия для длины волны 543 нм, полученная на образцах ПАОА толщиной 30 (1), 20 (2), и 10 (3) мкм. На вставке – индикатриса люминесценции для толщины 10 мкм

Исследованы спектры и индикатрисы ФЛ (рис. 5.5 и 5.6). В спектрах ФЛ, полученных для обоих образцов, наблюдаются четкие полосы, которые соответствуют оптическим переходам трехвалентных ионов тербия $^5D_4-^7F_j$ ($j=3,4,5,6$) (490 нм (переход $^5D_4 \rightarrow ^7F_6$), 543 нм ($^5D_4 \rightarrow ^7F_5$), 583 нм, 620 нм). Максимум наблюдается в области 543 нм (зеленая область), что также характерно для тербия. Очевидно, что увеличение диаметра пор не дает видимого эффекта усиления ФЛ тербия и мало влияет на направленность излучения.

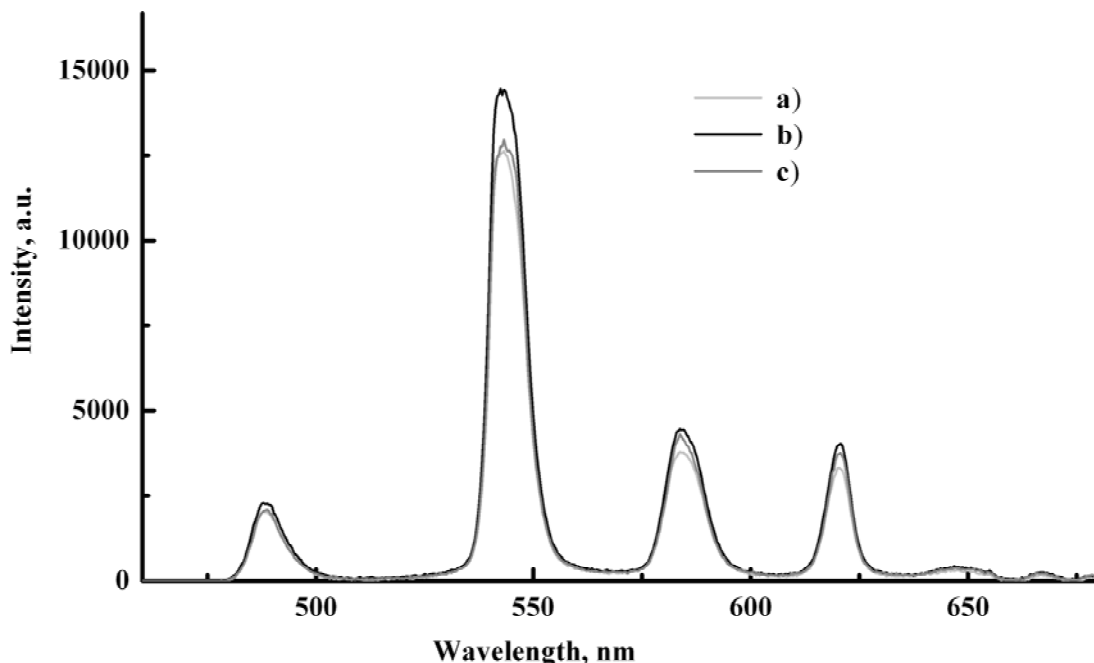


Рис. 5.5 – Спектры ФЛ тербия, полученные при $\lambda_{\text{возб}}=337$ нм для пленок ПАОА с разным диаметром пор, полученных травлением в растворе ортофосфорной кислоты в течение 15 мин (а); в течение 30 мин (б); в течение 60 мин (в)

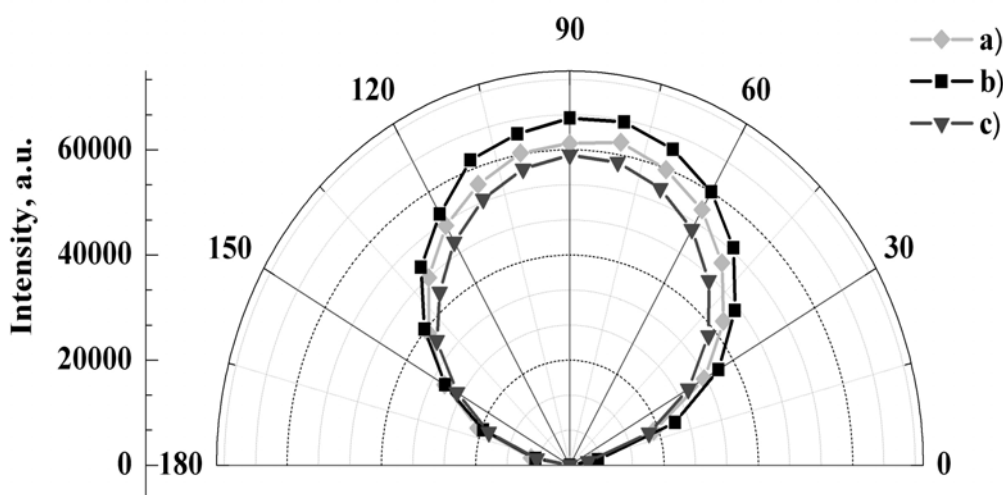


Рис.5.6 – Индикатрисы люминесценции тербия для длины волны 543 нм при $\lambda_{\text{возб}}=337$ нм, полученные для пленок ПАОА с разным диаметром пор, полученных травлением в растворе ортофосфорной кислоты в течение 15 мин (а); в течение 30 мин (б); в течение 60 мин (в)

В спектрах ФЛ пленок третьей серии, содержащих тербий, осажденный из раствора нитрата тербия, после сушки при температуре 200 °С обнаружены четкие полосы, соответствующие оптическим переходам трехвалентных ионов тербия (рис. 5.7, график 1): 490 нм (переход $^5D_4 \rightarrow ^7F_6$), 543 нм (переход $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$), 592 нм (переход $^5D_4 \rightarrow ^7F_4$), 628 нм (переход $^5D_4 \rightarrow ^7F_3$).

Дальнейшее увеличение интенсивности ФЛ для пленочных структур на основе ПАОА, содержащих тербий, осажденный из раствора нитрата тербия, было достигнуто при последующем заполнении пор такой структуры ксерогелем Al_2O_3 , легированным тербием. На рисунке 5.7 (график 2) показано увеличение интенсивности ФЛ тербия, осажденного из раствора нитрата тербия, с последующим заполнением ксерогелем оксида алюминия, легированным тербием. Как видно из данных рисунка, нанесение нескольких слоев ксерогеля приводит к четырехкратному увеличению интенсивности ФЛ тербия по сравнению с исходным образцом, пропитанным нитратом тербия.

Исследованы спектры возбуждения люминесценции образцов третьей серии (рис. 5.8). Оба образца имеют наиболее интенсивную полосу в спектре возбуждения ФЛ при 310...330 нм. Для образцов, не содержащих ксерогель оксида алюминия, в спектре возбуждения люминесценции присутствуют дополнительные менее интенсивные полосы при 274, 290, 300, 364, 382, 440 нм.

Формирование люминесцентных структур в ПАОА осаждением ионов тербия из растворов позволяет получить сравнительно интенсивную люминесценцию, что дает возможность использовать этот метод для создания люминесцентных изображений [46, 47]. Собственная ФЛ ПАОА, сформированного в электролитах на основе органических кислот, визуальна различима на фоне ФЛ тербия. С увеличением толщины пленки ПАОА наблюдается значительный рост интенсивности ФЛ тербия, при этом, согласно анализу индикатрис ФЛ, направленность излучаемого света вдоль каналов пор наибольшая для толщины 10 мкм. Увеличение диаметра пор матрицы ПАОА толщиной 10 мкм практически не влияет на интенсивность ФЛ тербия, при этом форма индикатрисы люминесценции становится более изотропной.

Нанесение алюмогеля на образцы, содержащие в порах осажденные из растворов солей ионы тербия, приводит не только к усилению интенсивности фотолюминесценции, но и модифицирует спектральное распределение вероятности возбуждения люминесценции.

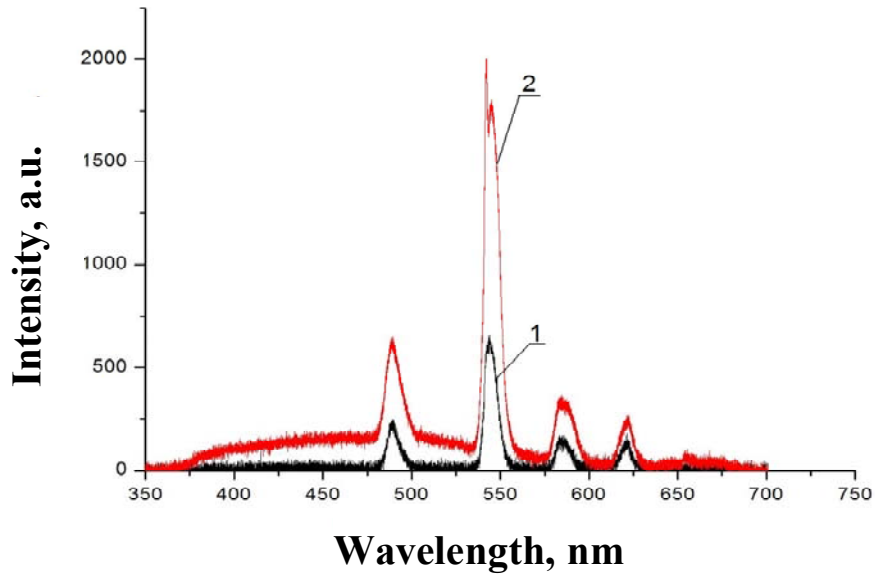


Рис. 5.7 – Спектры ФЛ тербия в ПАОА толщиной 10 мкм, измеренные при $\lambda_{\text{возб}}=330$ нм, 1 – осаждение пропиткой спиртового раствора нитрата тербия в течение 24 ч, термообработка при 200 °С в течение 10 мин, затем при 200 °С в течение 30 мин; 2 – то же и нанесение 5 слоев ксерогеля состава 30% Tb_2O_3 –70% Al_2O_3 центрифугированием; отжиг: 200 °С, 30 мин

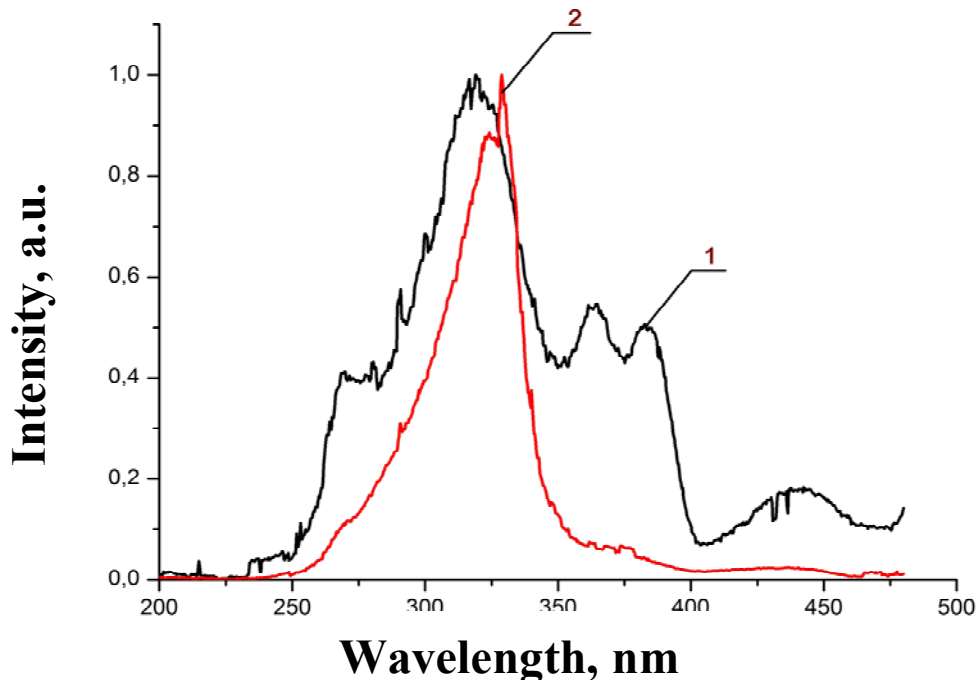


Рис. 5.8 – Нормированные спектры возбуждения люминесценции, зарегистрированные на длине волны $\lambda_{\text{дет}}=542$ нм для пленочных структур ПАОА с осажденными ионами тербия, сформированных в 1,2 М растворе H_3PO_4 при напряжении $U=130$ V (1), и с 5-слойной пленкой 30% Tb_2O_3 –70% Al_2O_3 (2)

ВЫВОДЫ

В структурах ПАОА, содержащих ионы лантанидов, осажденные из растворов солей, наблюдается интенсивная ФЛ лантанидов. ПАОА, полученный в электролитах на основе органических кислот, проявляет видимую ФЛ, обусловленную кислородными вакансиями и остатками органических соединений.

В данной работе оценено влияние собственной люминесценции ПАОА, выращенного в щавелевой кислоте, на ФЛ ионов тербия, осажденных из солевого раствора. Пленки ПАОА использовались в качестве структур для люминесцентных наночастиц и ионов с целью добиться анизотропии распространения света в структуре и обеспечить увеличение интенсивности ФЛ встроенных в каналы пор люминофоров в направлении вдоль каналов пор. Установлено, что спектр ФЛ образца, сформированного в электролите на основе щавелевой кислоты, имеет выраженную полосу собственной люминесценции в синем диапазоне в области 440...480 нм. В синтезированных образцах при облучении ультрафиолетовым излучением голубая люминесценция ПАОА хорошо различима одновременно с зеленой ФЛ тербия. Проанализировано влияние диаметра пор и толщины пленки ПАОА на интенсивность и направленность ФЛ ионов тербия. Анализ спектров и индикатрис ФЛ показывает, что направленность излучаемого света вдоль каналов пор для толщины 10 мкм наибольшая и убывает с увеличением толщины пленки, при этом интенсивность ФЛ возрастает. Увеличение диаметра пор не дает видимого эффекта усиления ФЛ тербия и мало влияет на направленность излучения. В отличие от европия голубая ФЛ пористого анодного оксида алюминия не препятствует одновременно возбуждению ФЛ тербия, осажденного из раствора соли на стенки пор. Нанесение алюмогеля на образцы, содержащие в порах осажденные из растворов солей ионы тербия, приводит не только к усилению интенсивности фотолюминесценции, но и модифицирует спектральное распределение вероятности возбуждения люминесценции.

Таким образом, разрабатываемая технология в сочетании с фотолитографией может применяться для защиты хозяйственных объектов в качестве люминесцентных меток с заданным рисунком.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гапоненко, Н.В. Пленки, сформированные золь-гель методом на полупроводниках и в мезопористых матрицах / Н.В. Гапоненко – Минск: Беларуская навука. – 2003 – 136 стр.
2. Gaponenko, N.V. Room-temperature photoluminescence from porous anodic alumina films with embedded terbium and europium species / N.V. Gaponenko, Y.V. Hluzd, G.K. Maliarevich, I.S. Molchan [et al.] // Materials Letters – 2009. – Vol. 6. – P.621-624.
3. Позняк, А.А. Модифицированный пористый анодный оксид алюминия и композитные материалы на его основе / А.А. Позняк – Минск: Издательский центр БГУ. 2007 – 252 стр.
4. Патент RU 2249504 С2. Комбинация защитных признаков для ценных документов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru-patent.info/22/45-49/2249504.html>
- 5 Патент RU 2258109 С2. Защищенная от подделки бумага, снабженная кодировкой из люминесцирующих меланжевых волокон. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru-patent.info/22/55-59/2258109.html>
6. Патент RU 2174173 С1. Состав для скрытой графической знаковой записи информации на документах и изделиях и способ ее считывания [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://ru-patent.info/21/70-74/2174173.html>
7. Goad David, G.W. Colloidal metal in aluminium-oxide / G.W. Goad David, M. Moskovits // J. Appl. Phys. – 1978. – Vol. 49, № 5. – P. 2929-2934.
8. Sörensen, K. Mechanismen bei der anodischen Oxidation von Aluminium in saurer Lösung / K. Sörensen, P. Moller, L. Alting // Galvanotechnik. – 1990. – Bd. 81, № 9. – S. 3106-3111.
9. Bohler, H. Organisch gefärbte anodisch erzeugte Oxidschichten / H. Bohler // Galvanotechnik. – 1991. – Bd. 82, № 9. – S. 3048-3052.
10. Läser, L. Chemisches und elektrolytisches Glänzen von Aluminium und Aluminiumlegierungen und deren Anwendungen / L. Läser, E. Knaak // Galvanotechnik. – 1992. – Bd. 83, № 2. – S. 449-453.
11. Moriyama, T. Recent Aluminium Alloys for Natural Colour Anodizing in Architectu-

- ral Use / T. Moriyama, S. Tsuchida // Sumitomo Light Metal Technical Reports. – 1992. – Vol. 33, № 4. – P. 268-278.
12. Nussbaum, Th. Hartanodische Oxidschichten – Verschleiß- und Korrosionsschutz für Aluminium / Th. Nussbaum // Aluminium. – 1992. – № 9. – S. 762-765.
 13. Anwendungen von plasmachemisch oxidierten Leichtmetalloberflächen / U. Bauer, J. Schmidt, Th. Schwarz, J. Schreckenbach // Galvanotechnik. – 1993. – Bd. 84, № 6. – S. 1898-1901.
 14. Люминесцентные свойства анодных оксидных пленок алюминия с внедренными в поры органическими люминофорами / В.В. Грузинский, А.В. Кухто, А.М. Мозалев, В.Ф. Сурганов // Журн. прикл. спектроскопии. – 1997. – Т. 64, № 4. – С. 483-488.
 15. Тимофеев, Ю.П. Кристаллофосфоры / Ю.П. Тимофеев // Химическая энциклопедия. – М., 1990. – Т. 2. – С. 535-536.
 16. Сенсбилизация люминесценции в системе разнозарядных ионов церия в кварцевых гель-стеклах / Г.Е. Малашкевич [и др.] // Оптика и спектроскопия. – 1995. – Т. 78, № 1. – С. 84-87.
 17. Спектрально-люминесцентные свойства иона Cr^{3+} в щелочно-фосфатных стеклах $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Me}_2\text{O-MeO}$ / И.М. Батяев, И.В. Голодова, С.В. Левшин, С.Б. Суханов // Оптика и спектроскопия. – 1995. – Т. 78, № 2. – С. 257-259.
 18. Оптические и генерационные характеристики микропористого кварцевого стекла с внедренным в него активированным красителем эпоксиполимером / Т.Б. Бермас [и др.] // Квантовая электроника. – 1994. – Т. 21, № 1 (259). – С. 29-31.
 19. The spectroscopic behaviour of rhodamine 6G in polar and non-polar solvents and in thin glass and PMMA films / R. Reisfeld, R. Zusman, Y. Cohen, M. Eyal // Chemical Physics Letters. – 1988. – Vol. 147, № 2, 3. – P. 142-147.
 20. Бегер, В.Н. Особенности концентрационного тушения флуоресценции молекул красителей, адсорбированных неоднородной поверхностью диоксида кремния / В.Н. Бегер, Ю.Л. Колесников, А.В. Сечкарев // Оптика и спектроскопия. – 1995. – Т. 78, № 1. – С. 249-253.
 21. Исследование фотофизических процессов на поверхности твердого тела /

- В.В. Брюханов, А.С. Кусенова, В.Ч. Лауринас, В.К. Рунов // Изв. АН СССР. Сер. физическая. – 1990. – Т. 54, № 3. – С. 496-501.
22. Фосфоресценция ароматических соединений в пористой матрице натриево-боросиликатного стекла и их взаимодействие со стенками пор / С.А. Багнич, В.Н. Богомолов, Д.А. Курдюков, П.П. Першукевич // Физика твердого тела. – 1995. – Т. 37, № 10. – С. 2979-2986.
23. Polarization of porous silicon luminescence / S.V. Gaponenko [et al.] // Appl. Phys. Lett. – 1995. – Vol. 67, № 20. – P. 3019-3021.
24. Левшин, Л.В. Перенос энергии электронного возбуждения между адсорбированными молекулами красителя / Л.В. Левшин, А.М. Салецкий // Журн. прикл. спектроскопии. – 1987. – Т. 46, № 6. – С. 1011-1014.
25. Бегер, В.Н. Особенности концентрационного тушения флуоресценции молекул красителей, адсорбированных неоднородной поверхностью диоксида кремния / В.Н. Бергер, Ю.Л. Колесников, А.В. Сечкарев // Оптика и спектроскопия. – 1995. – Т.78, № 1. – С. 294-253.
26. Brennan, K.F. The variably spaced superlattice electroluminescent display: A new high efficiency electroluminescence scheme / K.F. Brennan, C.J. Summers // J. Appl. Phys. – 1987. – Vol. 61, № 12. – P. 5410-5418.
27. Characterization of nanoscale metal structures obtained by template synthesis / F. Schlottig [et al.] // Fresenius Journal of Analytical Chemistry. – 1998. – Vol. 361, № 6–7. – P. 684-686.
28. Photoluminescence of ZnO nanoparticles in alumina membrane with ordered pore arrays / G. Shi, C.M. Mo, W.L. Cai, L.D. Zhang // Solid State Communications. – 2000. – Vol. 115, № 5. – P. 253-256.
29. Electrodeposited Metal Sulfide Semiconductor Films with Ordered Nanohole Array Structures / K. Jiang [et al.] // Langmuir. – 2001. – Vol. 17, № 12. – P. 3635–3638.
30. Square and Triangular Nanohole Array Architectures in Anodic Alumina / H. Masuda [et al.] // Advanced Materials. – 2001. – Vol. 13, № 3. – P. 189-192.
31. Sander, M.S. Nanoparticles Arrays on Surfaces Fabricated Using anodic Alumina Films as Templates / M.S. Sander, L.-S. Tan // Advanced Functional Materials. –

2003. – Vol. 13, № 5. – P. 393-397.
32. Fabrication and characterization of highly ordered zirconia nanowire arrays by sol–gel template method / H. Xu, D.-H. Qin, Z. Yang, H.-L. Li // *Materials Chemistry and Physics*. – 2003. – Vol. 80, № 2. – P. 524-528.
33. Shingubara, S. Fabrication of nanomaterials using porous alumina templates / S. Shingubara // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2003. – Vol. 5, № 1–2. – P. 17-30.
34. Synthesis of germanium nanodots on silicon using an anodic alumina membrane mask / Z. Chen [et al.] // *Journal of Crystal Growth*. – 2004. – Vol. 268, № 3–4. – P. 560-563.
35. Peng, X. Electrochemical fabrication of novel nanostructures based on anodic alumina / X. Peng, A. Chen // *Nanotechnology*. – 2004. – Vol. 5, № 7. – P. 743-748.
36. Врублевский, И.А. Формирование трехмерных пористых структур анодного оксида алюминия с использованием отжига и химического растворения / И.А. Врублевский, В.М. Паркун, А.А. Радионов // *Изв. Белорус. инженер. акад.* – 2005. – № 1 (19)/5. – С. 39-41.
37. Формирование анодного оксида алюминия с упорядоченной морфологией методом трехступенчатого анодирования / Д.В. Соловей [и др.] // *Изв. Белорус. инженер. акад.* – 2005. – № 1 (19)/5. – С. 46-48.
38. Сокол, В.А. Матричные автоэмиссионные катоды на основе пористого анодного оксида алюминия / В.А. Сокол, С.А. Волчек // *Изв. Белорус. инженер. акад.* – 2005. – № 1 (19)/5. – С. 53-55.
39. Ikonopisov, S. Galvanoluminescence of Aluminium in an Aprotic Electrolyte / S. Ikonopisov // *Electrochimica Acta*. – 1975. – Vol. 20, № 7. – P. 795-797.
40. Galvanoluminescence of Aluminium during Anodization in Non-dissolving Electrolytes / S. Ikonopisov, N. Elenkov, E. Klein, L. Andreeva // *Electrochimica Acta*. – 1978. – Vol. 23, № 11. – P. 1209-1214.
41. Shimizu, K. Electroluminescence of Al/Anodic Alumina/Electrolyte System and Non Destructive Electronic Avalanche / K. Shimizu // *Electrochimica Acta*. – 1978. – Vol. 23. – P. 295-298.

42. Wu, J.H. Strong ultraviolet and violet photoluminescence from Si-based anodic porous alumina films. / J.H. Wu, X.L. Wu, N. Tang, et. al. // Applied Physics A – 2001. – Vol.72. – P.735-737.
43. Du, Y. Preparation and photoluminescence of alumina membranes with ordered pore arrays / Y. Du, W.L. Cai, C.M. Mo, J. Chen // Applied Physics Letters. – 1999. – Vol. 74, No. 20. – P. 2951–2953.
- 44 Гапоненко Н.В., Кортюв В.С., Ореховская Т.И., Николаенко И.А., Пустоваров В.А., Звонарев С.В., Слесарев А.И., Прислопский С.Я. Люминесценция тербия в ксерогеле оксида алюминия, сформированном в матрице пористого анодного оксида алюминия, при различных видах возбуждения // Физика и техника полупроводников. – 2011 - в печати.
45. Степанова, Л.С. Люминесценция тербия, осажденного в пленки пористого анодного оксида алюминия из раствора нитрата тербия / Л.С. Степанова, Т.И. Ореховская, Н.В. Гапоненко, С.Я. Прислопский // Доклады БГУИР. – 2010, №6(52). – С. 85-89.
46. Степанова, Л.С. Люминесцентные структуры на основе пористого анодного оксида алюминия / Л.С. Степанова, С.Я. Прислопский, Т.И. Ореховская, Н.В. Гапоненко // Технические средства защиты информации: тез. докл. VIII белорусско-российской науч.-техн. конф., Браслав, 24-26 мая 2010 г./ БГУИР. – Минск, 2010. – С. 79.
47. Николаенко, И.А. Люминесценция и спектроскопия возбуждения в структурах, сформированных на основе пористого анодного оксида алюминия // И.А. Николаенко, Т.И. Ореховская, Л.С. Степанова [и др.]. Доклады БГУИР. – 2011. – №3(57). – С. 92-97.

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Сборник материалов

47-ой НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
АСПИРАНТОВ, МАГИСТРАНТОВ И СТУДЕНТОВ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНОЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

25-29 апреля 2011 года

**МИНСК
БГУИР 2011**

Редакционная коллегия сборника

Батура М.П.	– ректор университета, д-р техн. наук, профессор
Кузнецов А.П.	– проректор по научной работе, д-р техн. наук, профессор
Хмыль А.А.	– проректор по учебной работе и социальным вопросам, д-р техн. наук, профессор
Дик С.К.	– декан факультета компьютерного проектирования, канд. физ.-мат. наук, доцент – председатель комиссии по проведению конференции «Моделирование, компьютерное проектирование и технология производства электронных средств»;
Лихачевский Д.В.	– начальник управления подготовки научных кадров высшей квалификации, канд. техн. наук
Боднарь И.В.	– д-р хим. наук, профессор – заведующий кафедрой химии
Достанко А.П.	– д-р техн. наук, профессор – заведующий кафедрой электронной техники и технологий
Кирвель И.И.	– д-р геогр. наук, профессор – заведующий кафедрой экологии
Петровский А.А.	– д-р техн. наук, профессор – профессор кафедры электронных вычислительных средств
Цырельчук И.Н.	– канд. техн. наук, доцент – заведующий кафедрой радиоэлектронных средств
Яшин К. Д.	– канд. техн. наук, доцент – заведующий кафедрой инженерной психологии и эргономики
Столер В.А.	– канд. техн. наук, доцент – заведующий кафедрой инженерной графики
Шелягова Т. Г.	– канд. филол. наук, доцент – заведующая кафедрой иностранных языков №1

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЛАНТАНИДОВ В КСЕРОГЕЛЯХ, СФОРМИРОВАННЫХ В ПОРИСТОМ АНОДНОМ ОКСИДЕ АЛЮМИНИЯ

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Минск, Республика Беларусь

Степанова Л. С.

Гапоненко Н. В. – докт. физ.-мат. наук, зав. НИЛ «Нанофотоника»,
Позняк А. А. – канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент каф. химии

Получены люминесцентные структуры на основе пористого анодного оксида алюминия, содержащие трехвалентные ионы тербия, осажденные из водных растворов азотнокислых солей, и при использовании золь-гель технологии. Исследована фотолюминесценция и спектры возбуждения полученных структур. Установлено, что нанесение ксерогеля ведет к повышению интенсивности фотолюминесценции; возбуждение тербия в структурах ксерогель/пористый анодный оксид алюминия/алюминий осуществляется в диапазоне 270...285 нм, что соответствует поглощению излучения электронной конфигурацией f-d трехвалентного тербия.

Разработка технологии формирования эффективных люминофоров представляет значительный интерес как для развития оптоэлектроники и дисплейных технологий, так и, в сочетании с фотолитографией, для защиты хозяйственных объектов в качестве люминесцентных меток с заданным рисунком [1]. Известно, что ксерогели различного состава, легированные тербием, европием и эрбием, синтезированные в пористом анодном оксиде алюминия, демонстрируют интенсивную фотолюминесценцию (ФЛ) лантаноидов [2]. Люминесценция тербия и европия видна невооруженным глазом при комнатной температуре при возбуждении ксеноновой лампой и лазерными источниками в ультрафиолетовом диапазоне, что представляет практический интерес [2,3]. В данной работе представлены результаты синтеза и люминесценции ксерогеля оксида алюминия, легированного тербием, в пористом анодном оксиде алюминия (ПАОА), и проведено сравнение ФЛ сформированных золь-гель методом структур с пленками ПАОА, содержащими тербий, осажденный из раствора нитрата тербия.

Пленки ПАОА первой серии были синтезированы двухстадийным анодированием электрохимически полированной алюминиевой фольги в растворе 1,2 М ортофосфорной кислоты в потенциостатическом режиме при напряжении 130 В. Плотность тока не превышала при этом 1 мА/см². Увеличение диаметра пор проводилось травлением в растворе ортофосфорной кислоты (1:1) при комнатной температуре в течение 30 минут, скорость травления по данным проведенных ранее исследований составляла порядка 1 нм/мин. В полученные пленочные структуры осаждались ионы тербия методом погружения ПАОА в раствор азотнокислого тербия с концентрацией 30 мг/мл. После сушки при температуре 60°C в течение 10 мин образцы отжигались при температуре 200°C в течение 30 мин. Затем на один из образцов методом центрифугирования со скоростью 3000 об/мин наносилась пленка ксерогеля 30% Tb₂O₃ – 70% Al₂O₃ (масс.%), состоящая из пяти слоев. После нанесения каждого слоя центрифугированием золь производилась сушка образца на воздухе при 200°C в течение 10 минут, затем производилось центрифугирование следующей пленки. Окончательная термообработка образца, содержащего пятислойную пленку, проводилась при температуре 200°C в течение 30 мин.

Для полученных образцов исследованы спектры ФЛ и возбуждения ФЛ. В спектрах ФЛ структур, содержащих тербий, осажденный из раствора нитрата тербия, после сушки при температуре 200°C обнаружены четкие полосы, соответствующие оптическим переходам трехвалентных ионов тербия: 490 нм (переход ⁵D₄ → ⁷F₆), 543 нм (переход ⁵D₄ → ⁷F₅), 592 нм (переход ⁵D₄ → ⁷F₄), 628 нм (переход ⁵D₄ → ⁷F₃).

Дальнейшее увеличение интенсивности ФЛ для пленочных структур на основе пористого анодного оксида алюминия, содержащих тербий, осажденный из раствора его нитрата, было достигнуто при последующем заполнении пор такой структуры ксерогелем Al₂O₃, легированным тербием. Сравнение спектров люминесценции образцов позволяет установить, что нанесение нескольких слоев ксерогеля приводит к увеличению в несколько раз интенсивности ФЛ тербия по сравнению с исходным образцом, пропитанным нитратом тербия.

Для описанных образцов исследованы спектры возбуждения люминесценции. Оба образца имеют наиболее интенсивную полосу в спектре возбуждения ФЛ при 310...330 нм. Для образцов, не содержащих ксерогель оксида алюминия, в спектре возбуждения люминесценции присутствуют дополнительные менее интенсивные полосы при 274, 290, 300, 364, 382, 440 нм.

Нанесение алюмогеля на образцы, содержащие в порах осажденные из растворов солей ионы тербия, приводит не только к усилению интенсивности фотолюминесценции, но и модифицирует спектральное распределение вероятности возбуждения люминесценции.

Список литературы

1. Степанова, Л. С. Люминесцентные структуры на основе пористого анодного оксида алюминия / Л. С. Степанова, С. Я. Прислопский, Т. И. Ореховская, Н. В. Гапоненко // Технические средства защиты информации: тез. докл. VIII белорусско-российской науч.-техн. конф., Браслав, 24-26 мая 2010 г. / БГУИР. – Минск, 2010. – С. 79.
2. Гапоненко, Н. В. Пленки, сформированные золь-гель методом на полупроводниках и в мезопористых матрицах / Н. В. Гапоненко – Минск: Беларуская навука. – 2003 – 136 стр.
3. Gaponenko, N. V. Room-temperature photoluminescence from porous anodic alumina films with embedded terbium and europium species // N. V. Gaponenko [et al.] / Materials Letters. – 2009. № 63. – P. 621-624.
4. Степанова, Л. С. Люминесценция тербия, осажденного в пленки пористого анодного оксида алюминия из раствора нитрата тербия / Л. С. Степанова, Т. И. Ореховская, Н. В. Гапоненко, С. Я. Прислопский // Доклады БГУИР. – 2010, № 5 (51) – С. 87.



КрымМуКо 2011 CriMiCo

**21-я Международная Крымская конференция
СВЧ-техника
и телекоммуникационные технологии
Материалы конференции
12—16 сентября 2011 г.
Севастополь, Крым, Украина**

2011 21st International Crimean Conference
Microwave &
Telecommunication Technology
Conference Proceedings
September 12—16, 2011
Sevastopol, Crimea, Ukraine



Moscow • Kiev • Minsk • Sevastopol
2011

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32я431
С255

Организаторы и спонсоры:

Севастопольский национальный технический университет
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (Минск)
НИИ телекоммуникаций НТУУ «КПИ» (Киев)
Институт телекоммуникационных систем НТУУ «КПИ» (Киев)
Академия инженерных наук Украины, Отделение радиоэлектроники и средств связи
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Радиоастрономический институт НАН Украины (Харьков)
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
ОАО «Сатурн» (Киев)
НП ОАО «Фаза» (Ростов-на-Дону)
ФГУП НПП «Исток» (Фрязино)
ЗАО «Микроволновые системы» (Москва)
Компания «Наноэлектроника ТД» (Москва)
ОАО «Российские космические системы» (Москва)
National Instruments (Москва)
Rohde & Schwarz (Москва)
Абрис RCM group (Санкт-Петербург)
Таврический национальный университет им. проф. В. И. Вернадского (Симферополь)
НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» (Кацивели)
Крымский научно-технологический центр им. проф. А. С. Попова (Севастополь)

Техническая и информационная поддержка:

IEEE Electron Devices Society
IEEE/ED/MTT/CPMT/SSCS/ComSoc Central Ukraine joint Chapter
IEEE AP Chapter, Russia Section
Журнал «Технология и конструирование в электронной аппаратуре» (Одесса)
Журнал «Техника и приборы СВЧ» (Киев)

Organized and Sponsored by:

Sevastopol National Technical University (Ukraine)
Belarus State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk)
NTUU KPI, SRI of Telecommunications (Kiev, Ukraine)
NTUU KPI, Institute of Telecommunication Systems (Kiev, Ukraine)
Academy of Engineering Sciences of Ukraine, Radioelectronics & Communication Systems Section
Kharkov National University of Radio Electronics (Ukraine)
Institute of Radio Astronomy of NAS of Ukraine (Kharkov, Ukraine)
Moscow Aviation Institute — National Research University (Russia)
OJS SPE «Saturn» (Kiev, Ukraine)
Faza Co. (Rostov-on-Don, Russia)
SSPE «Istok» (Fryazino, Russia)
Microwave Systems Co. (Moscow, Russia)
Nanoelektronika TD Co. (Moscow, Russia)
JSC «Russian Space Systems» (Moscow)
National Instruments (Moscow, Russia)
Rohde & Schwarz (Moscow, Russia)
Абрис RCM group (Saint-Petersburg, Russia)
Tavrida National University after prof. V. I. Vernadsky (Simferopol, Ukraine)
SRI «Crimean Astrophysical Observatory» (Katsiveli, Ukraine)
Popov Crimean Scientific and Technological Center (Sevastopol, Ukraine)

Technical Co-Sponsorship:

IEEE Electron Devices Society
IEEE/ED/MTT/CPMT/SSCS/ComSoc Central Ukraine joint Chapter
IEEE AP Chapter, Russia Section
«Technology & Designing in Electronic Equipment» Magazine (Odessa, Ukraine)
«Microwave Devices & Components» Magazine (Odessa, Ukraine)

21-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные С255 технологии» (КрыМиКо'2011). Севастополь, 12—16 сентября 2011 г. : материалы конф. — Севастополь : Вебер, 2011. — 59 с. (I—LIX) + 1131 с. (1—1131) + 30 с. (A—CC) : ил.

ISBN 978-966-335-355-5.

В сборник материалов включены 477 прошедших рецензирование докладов, которые будут представлены на секциях: Усилители мощности СВЧ, Транзисторы и интегральные схемы СВЧ, Устройства приема, обработки и генерации СВЧ-сигналов, Методы моделирования систем и устройств, Методы моделирования полупроводниковых приборов, Общие вопросы электроники СВЧ, Приборы СВЧ О-типа, Гироприборы и приборы СВЧ М-типа, Общие вопросы телекоммуникационных сетей, Системы спутниковой, радиорелейной и волоконно-оптической связи, Методы и средства передачи и обработки сигналов в ТКС, Программные среды и технологии предоставления услуг в телекоммуникационных сетях, Методы и средства передачи и обработки информации в телекоммуникационных сетях, Антенные решетки, Антенные элементы, Слабонаправленные антенны, Селективные устройства, Ферритовые и квазиоптические устройства, Физические основы, методы контроля элементов и структур СВЧ, Технология структур, элементов и приборов СВЧ, Материалы элементов и структур СВЧ, Нанотехнологии, Наноматериалы, Квантовые приборы, СВЧ-электроника сверхбольших мощностей и эффекты, СВЧ-измерения параметров сигналов и цепей, СВЧ-измерения параметров антенн, материалов и объектов, Прикладные аспекты СВЧ-техники, Исследование свойств воды и биоматериалов, Прикладные технологии в биологии и медицине, Радиоастрономия и дистанционное зондирование, Распространение радиоволн в околосферном пространстве, Радиотехнические системы, Общие вопросы и история развития радиотехнологий и телекоммуникаций (Федотовские чтения), а также на семинаре «Массовая технология проектирования интеллектуальных систем для научных исследований». Авторами докладов являются 1086 ученых и специалистов из 177 университетов и предприятий 17 стран: Беларуси, Бразилии, Великобритании, Вьетнама, Германии, Грузии, Италии, Китая, Молдовы, Нидерланд, Польши, России, США, Турции, Украины, Чехии и ЮАР.

Материалы конференции изданы также в двух томах на бумаге и на двух компакт-диске с оболочкой на английском языке.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области СВЧ-техники и телекоммуникационных технологий. Сборник также будет полезен студентам и аспирантам телекоммуникационных, радиотехнических и радиофизических факультетов вузов.

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32я431

IEEE Catalog Number CFP11788-PRT
ISBN 978-966-335-356-2 (CD, обол. — англ.)
ISBN 978-966-335-351-7 (комплект, 2 тома)
ISBN 978-966-335-353-1 (том 2)
ISBN 978-966-335-352-4 (том 1)
ISBN 978-966-335-355-5

© Оргкомитет КрыМиКо'2011
CriMiCo'2011 Organizing Committee
© КНТЦ им. Попова, 2011
CrSTC, 2011

Организационный комитет конференции

к. т. н. Ермолов П. П., СевНТУ, КНТЦ им. Попова, Севастополь, Украина (председатель)
к. т. н. Лукьянчук А. Г., СевНТУ, Севастополь, Украина (заместитель председателя)

д. т. н. Алыбин В. Г., ОАО «Российские космические системы», Москва, Россия
д. т. н. Афонин И. Л., СевНТУ, Севастополь, Украина
проф. Батура М. П., БГУИР, Минск, Беларусь
к. т. н. Ветров И. Л., СевНТУ, Севастополь, Украина
д. ф.-м. н. Вольвач А. Е., НИИ «КрАО», Кацивели, Украина
к. ф.-м. н. Галдецкий А. В., ФГУП «НПП Исток», Фрязино, Россия
проф. Гимпилевич Ю. Б., СевНТУ, Севастополь, Украина
Гладков М. Н., National Instruments, Киев, Украина
проф. Гордиенко Ю. Е., ХНУРЭ, Харьков, Украина
к. т. н. Гюнтер В. Я., НПФ «Микран», Томск, Россия
чл.-корр. НАН Украины, проф. Ильченко М. Е., НТУУ «КПИ», Киев
к. т. н. Кищинский А. А., ЗАО «Микроволновые системы», Москва, Россия
к. т. н. Михайлюк Ю. П., СевНТУ, Севастополь, Украина
к. ф.-м. н. Обухов И. А., Компания «Нанoeлектроника ТД», Москва, Россия
проф. Обуховец В. А., ТТУ ЮФУ, Таганрог, Россия
Просыпкин С. Е., Rohde & Schwarz, Москва, Россия
Ржевцева Н. Л., СевНТУ, Севастополь, Украина
проф. Слипченко Н. И., ХНУРЭ, Харьков, Украина
д. ф.-м. н. Старостенко В. В., ТНУ им. В. И. Вернадского, Симферополь, Украина
Чечетин А. В., НП ОАО «Фаза», Ростов-на-Дону, Россия
к. т. н. Чмиль В. М., ОАО «НПП Сатурн», Киев, Украина
проф. Чурюмов Г. И., ХНУРЭ, Харьков, Украина
Шведов С. В., НПО «Интеграл», НТЦ «Белмикросистемы», Минск, Беларусь
Шихов С. В., Абрис RCM group, Санкт-Петербурге, Россия
проф. Шокало В. М., ХНУРЭ, Харьков, Украина
акад. НАН Украины, проф. Шульга В. М., РИ НАН Украины, Харьков

Административная группа

Байбарина Т. Г., КНТЦ им. Попова
Войченко В. Г., КНТЦ им. Попова
Иськив В. М., СевНТУ
Миняйло С. Н., КНТЦ им. Попова
к. т. н. Редькина Е. А., СевНТУ
к. т. н. Савочкин А. А., СевНТУ

Свиридова Е. И., КНТЦ им. Попова
Третьяков А. А., КНТЦ им. Попова
к. т. н. Троицкий А. В., СевНТУ
к. т. н. Трушкин А. Н., СевНТУ
Тыщук Ю. Н., СевНТУ
Юрасов П. С., КНТЦ им. Попова

Программный комитет конференции и редакционный совет сборника материалов

д. т. н., проф. Батура М. П., БГУИР, Минск, Беларусь (сопредседатель)
д. т. н., чл.-корр. НАН Украины, проф. Ильченко М. Е., НТУУ «КПИ», Киев, Украина (сопредседатель)
д. т. н., проф. Шевцов В. А., МАИ (ТУ), Москва, Россия (сопредседатель)
д. т. н., проф. Братчиков А. Н., МАИ (ТУ), Москва, Россия (зам. сопредседателя)
д. ф.-м. н., проф. Кураев А. А., БГУИР, Минск, Беларусь (зам. сопредседателя)
д. т. н., проф. Сундучков К. С., ИТС НТУУ «КПИ», Киев, Украина (зам. сопредседателя)
к. т. н. Ермолов П. П., СевНТУ, КНТЦ им. Попова, Украина (координатор)

д. ф.-м. н., проф. Абрамов И. И., БГУИР, Минск, Беларусь
д. т. н. Алыбин В. Г., ОАО «Российские космические системы», Москва, Россия
д. ф.-м. н., проф. Бецкий О. В., ИРЭ РАН, Москва, Россия
д. т. н., проф. Бржезинский В. А., СевНТУ, СНУЯЭиП, Севастополь, Украина
д. ф.-м. н. Вольвач А. Е., НИИ «КраО», Кацивели, Украина
д. т. н., проф. Воскресенский Д. И., МАИ (ТУ), Москва, Россия
к. ф.-м. н. Галдецкий А. В., ФГУП НПП «Исток», Фрязино, Россия
д. т. н., проф. Гимпилевич Ю. Б., СевНТУ, Севастополь, Украина
д. т. н., проф. Глоба Л. С., ИТС НТУУ «КПИ», Киев, Украина
д. т. н., проф. Громов Д. В., ОАО «СПЭЛС», Москва, Россия
д. т. н. Демченко А. И., НПО «Интеграл», Минск, Беларусь
к. ф.-м. н. Ерёмка В. Д., ИРЭ НАН Украины, Харьков
к. т. н. Карушкин Н. Ф., НИИ «Орион», Киев, Украина
д. т. н., проф. Касьянов А. О., ТТУ ЮФУ, Таганрог, Россия
к. т. н. Кишинский А. А., ЗАО «Микроволновые системы», Москва, Россия
dr. Kees Van't Klooster, European Space Agency (ESA), The Netherlands
д. т. н., чл.-корр. НАН Беларуси, проф. Коршунов Ф. П., ИФТТИП НАН Беларуси, Минск
к. т. н., проф. Липатов А. А., НЦ связи и информатизации ВС Украины, Киев
д. т. н., проф. Лобкова Л. М., СевНТУ, Севастополь, Украина
д. ф.-м. н., проф. Магда И. И., ННЦ «ХФТИ», Харьков, Украина
д. т. н., проф. Манойлов В. Ф., ЖГТУ, Житомир, Украина
к. т. н., проф. Нарытник Т. Н., ИЭС УАННП, Киев, Украина
д. т. н., проф. Нечаев Е. Е., МГТУГА, Москва, Россия
к. ф.-м. н. Обухов И. А., Компания «Нанозлектроника ТД», Москва, Россия
д. т. н., проф. Пестриков В. М., СПбГУСЭ, Санкт-Петербург, Россия
д. ф.-м. н. Плаксин С. В., ИТСТ НАН Украины «Трансмаг», Днепропетровск, Украина
к. т. н. Пойгина М. И., БЦКТ «Микротек», Киев, Украина
д. ф.-м. н., проф. Поплавко Ю. М., НТУУ «КПИ», Киев, Украина
к. ф.-м. н. Пустовойтенко В. В., МГИ НАН Украины, Севастополь
д. т. н., проф. Сазонов Д. М., МЭИ (ТУ), Москва, Россия
д. ф.-м. н., проф. Слипченко Н. И., ХНУРЭ, Харьков, Украина
д. т. н., проф. Смольский С. М., МЭИ (ТУ), Москва, Россия
д. т. н., проф. Совлуков А. С., Институт проблем управления РАН, Москва, Россия
д. ф.-м. н., проф. Храмов А. Е., Саратовский государственный университет, Россия
к. т. н. Шелковников Б. Н., НТУУ «КПИ», Киев, Украина
к. т. н. Широков И. Б., СевНТУ, Севастополь, Украина
д. т. н., проф. Яненко А. Ф., НТУУ «КПИ», Киев, Украина

Organizing Committee

P. P. Yermolov, C.Sc., *Popov Crimean Scientific and Technological Center, Sevastopol National Technical University, Sevastopol, Ukraine (chairman)*

A. G. Lukyanchuk, C.Sc., *Sevastopol National Technical University, Ukraine (vice-chairman)*

I. L. Afonin, D.Sc., *SevNTU, Sevastopol, Ukraine*

V. G. Alybin, D.Sc., *OJS «Russian Space Systems», Moscow, Russia*

M. P. Batura, Professor, *BSUIR, Minsk, Belarus*

I. L. Vetrov, C.Sc., *SevNTU, Sevastopol, Ukraine*

A. Ye. Volvach, D.Sc., *SRI «Crimean Astrophysical Observatory», Katsiveli, Ukraine*

A. V. Galdetsky, C.Sc., *SRI «Istok», Fryazino, Russia*

Yu. B. Gimpilevich, Professor, *SevNTU, Sevastopol, Ukraine*

M. N. Gladkov, National Instruments, *Moscow, Russia*

Yu. Ye. Gordiyenko, Professor, *KhNURE, Kharkov, Ukraine*

V. Ya. Gyunter, C.Sc., *Micran Co., Tomsk, Russia*

M. Ye. Ilchenko, Corr. Member of NAS of Ukraine, Professor, *NTUU «KPI», Kiev, Ukraine*

A. A. Kistchinsky, C.Sc., *«Microwave systems» Close Corporation, Moscow, Russia*

Yu. P. Mihayluk, C.Sc., *SevNTU, Sevastopol, Ukraine*

I. A. Obukhov, C.Sc., *Nanoelectronics TD, Korolyov, Moscow region, Russia*

V. A. Obukhovets, Professor, *TTU of Southern Federal University, Taganrog, Russia*

S. Ye. Prosyppkin, Rohde & Schwarz, *Moscow, Russia*

N. L. Rzhentseva, *Sevastopol National Technical University, Ukraine*

N. I. Slipchenko, Professor, *KhNURE, Kharkov, Ukraine*

V. V. Starostenko, D.Sc., *TNU, Simferopol, Ukraine*

A. V. Chechetin, Faza Co., *Rostov-on-Don, Russia*

V. M. Chmil, C.Sc., *Saturn Co., Kiev, Ukraine*

G. I. Churyumov, Professor, *KhNURE, Kharkov, Ukraine*

S. V. Shvedov, STC «Belmikrosistemy», R&P corporation «Integral» (Minsk, Belarus)

S. V. Shikhov, Abris RCM group, *St. Petersburg, Russia*

V. M. Shokalo, Professor, *KhNURE, Kharkov, Ukraine*

V. M. Shulga, Member of NAS of Ukraine, Professor, *Institute of Radio Astronomy of NAS of Ukraine, Kharkov*

Managerial Group

Baybarina T. G. *CrSTC*

Voichenko V. G. *CrSTC*

Iskiv V. M., *SevNTU*

Minyaylo S. N. *CrSTC*

Redkina Ye. A., *C.Sc. SevNTU*

Savochkin A. A., *C.Sc. SevNTU*

Sviridova Ye. I. *CrSTC*

Tretyakov A. A. *CrSTC*

Troitsky A. V., *C.Sc. SevNTU*

Trushkin A. N., *C.Sc. SevNTU*

Tyshchuk Yu. N. *SevNTU*

Yurasov P. S. *CrSTC*

Technical Program Committee

- M. P. Batura, Professor, BSUIR, Minsk, Belarus (co-chairman)**
M. Ye. Ilchenko, Corr. Member of NAS of Ukraine, Professor, NTUU «KPI», Kiev, Ukraine (co-chairman)
V. A. Shevtsov, Professor, Moscow State Aviation Institute, Moscow, Russia (co-chairman)
A. N. Bratchikov, Professor, Moscow State Aviation Institute, Moscow, Russia (deputy co-chairman)
A. A. Kurayev, Professor, BSUIR, Minsk, Belarus (deputy co-chairman)
K. S. Sunduchkov, Professor, NTUU «KPI», Kiev, Ukraine (deputy co-chairman)
P. P. Yermolov, C.Sc., SevNTU, CrSTC, Sevastopol, Ukraine (co-ordinator)
- I. I. Abramov, Professor, BSUIR, Minsk, Belarus**
V. G. Alybin, D.Sc., OJS «Russian Space Systems», Moscow, Russia
O. V. Betskii, Professor, IRE of RAS, Moscow, Russia
V. A. Brzhezinsky, Professor, SevNTU, Sevastopol National University of Nuclear Energy & Industry, Ukraine
A. Ye. Volvach, D.Sc., SRI «Crimean Astrophysical Observatory», Katsiveli, Ukraine
D. I. Voskresensky, Professor, Moscow State Aviation Institute, Moscow, Russia
A. V. Galdetsky, C.Sc., SRI «Istok», Fryazino, Russia
Yu. B. Gimpilevich, Professor, SevNTU, Sevastopol, Ukraine
L. S. Globa, Professor, NTUU «KPI», Kiev, Ukraine
D. V. Gromov, D. Sc., JSC «SPELS», Moscow, Russia
A. I. Demchenko, D.Sc., R&P corporation «Integral» (Minsk, Belarus)
V. D. Yeryomka, C.Sc., IRE of NAS of Ukraine, Kharkov
N. F. Karushkin, C.Sc., SRI «Orion», Kiev, Ukraine
A. O. Kasyanov, Professor, TTU of Southern Federal University, Taganrog, Russia
A. A. Kistchinsky, C.Sc., «Microwave systems» Close Corporation, Moscow, Russia
Kees Van 't Klooster, European Space Agency (ESA), The Netherlands
F. P. Korshunov, Corr. Member of NAS of Belarus, Professor, United Institute of Solid State and Semiconductor Physics of NAS of Belarus, Minsk
A. A. Lipatov, Professor, NTUU «KPI», Kiev, Ukraine
L. M. Lobkova, Professor, SevNTU, Sevastopol, Ukraine
I. I. Magda, Professor, NSC «KhIPT», Kharkov, Ukraine
V. F. Manoylov, Professor, Zhitomir State Technological University, Zhitomir, Ukraine
T. N. Narytnik, Professor, IEC of ASU UANSP, Kiev, Ukraine
Ye. Ye. Nechayev, Professor, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Russia
I. A. Obukhov, C.Sc., Nanoelectronics TD, Korolyov, Moscow region, Russia
V. M. Pestrikov, Professor, St. Petersburg State University of Service and Economics Russia
S. V. Plaksin, D.Sc., «Transmag» Institute of NAS of Ukraine, Dnepropetrovs'k
M. I. Poygina, C.Sc., MIKROTEK Co., Kiev, Ukraine
Yu. M. Poplavko, Professor, NTUU «KPI», Kiev, Ukraine
V. V. Pustovoytenko, MGI NAS of Ukraine, Sevastopol
D. M. Sazonov, Professor, MPEI, Moscow, Russia
N. I. Slipchenko, Professor, KhNURE, Kharkov, Ukraine
S. M. Smolskiy, Professor, MPEI, Moscow, Russia
A. S. Sovlukov, Professor, Institute of Control Sciences Moscow, Russia
A. Ye. Hramov, Professor, Saratov State University, Russia
B. N. Shelkovnikov, C.Sc., NTUU «KPI», Kiev, Ukraine
I. B. Shirokov, C.Sc., SevNTU, Sevastopol, Ukraine
A. F. Yanenko, Professor, NTUU «KPI», Kiev, Ukraine

Содержание, том 2

СЕКЦИЯ 4/1. АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ

4.1	ЦИФРОВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БОРТОВОЙ РЛС Воскресенский Д. И., Добычина Е. М.	525
4.2	РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ ДВУХЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ПОЛОСКОВЫХ РЕШЕТОК Касьянов А. О., Обуховец В. А., Саплин П. П.	527
4.3	МОНОИМПУЛЬСНАЯ РУПОРНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ БОРТОВОЙ РЛС Овчинникова Е. В., Кондратьева С. Г.	529
4.4	МОНОИМПУЛЬСНЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМЫ С ЦИФРОВЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ ПРИЕМНЫХ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ Русов Ю. С., Голубцов М. Е., Крючков И. В., Овечкин В. С.	531
4.5	ШИРОКОПОЛОСНАЯ УЗКОНАПРАВЛЕННАЯ АНТЕННА X-ДИАПАЗОНА Попов Д. А., Буянов Ю. И., Хлусов В. А., Клинюшин Е. А.	533
4.6p	НЕНАПРАВЛЕННАЯ ЩЕЛЕВАЯ АНТЕННА X-ДИАПАЗОНА С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ Меджитов Р. Д., Панасенко П. В., Князев К. И., Кондратьев А. В.	535
4.7p	ПЕЧАТНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА X-ДИАПАЗОНА С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ Меджитов Р. Д., Панасенко П. В., Кондратьев А. В., Князев К. И.	537
4.8p	НЕНАПРАВЛЕННЫЕ ПЕЧАТНЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЁТКИ X-ДИАПАЗОНА С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ Семенов С. Н., Меджитов Р. Д., Панасенко П. В., Князев К. И., Евстифеев С. Ф.	539
4.9p	ФАЗИРОВАННЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ ИЗ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОАКСИАЛЬНО-СЕКТОРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ Антоненко Ю. В., Грибовский А. В., Резник И. И.	541
4.10p	ОСОБЕННОСТИ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ АНТЕНН Скорикова Ю. В., Лучанинов А. И.	543
4.11p	МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ КОАКСИАЛЬНО-ЩЕЛЕВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ Катрич В. А., Лященко В. А., Медведев Н. В.	545
4.12p	К ВОПРОСУ О СОГЛАСОВАНИИ В АНТЕННО-ФИДЕРНОМ ТРАКТЕ ЗЕМНЫХ СПУТНИКОВЫХ СТАНЦИЙ Горбач И. В.	547
4.13p	ДВУХДИАПАЗОННАЯ МИКРОПОЛОСКОВАЯ АНТЕННА КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В СИСТЕМАХ ГЛОНАСС/GPS Чуфаров М. В., Львова Л. А., Бабушкин А. В., Юрченко О. В.	549

СЕКЦИЯ 4/2. АНТЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

4.14	ДВУХЧАСТОТНАЯ ДВУХПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЁТКА С ШИРОКОУГОЛЬНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ Цветков В. А., Разина И. В., Васильев А. А.	553
4.15	ИЗЛУЧАТЕЛЬ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ С РЕБРИСТОЙ АНИЗОТРОПНОЙ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СТРУКТУРОЙ Карпенко А. А., Лепих Я. И.	555
4.16	АНАЛИЗ ПЛОСКИХ СПИРАЛЬНЫХ АНТЕНН МЕТОДОМ ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ Демидчик В. И., Корнев Р. В., Семенчик В. Г.	557
4.17	ПЕЧАТНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЁТКА САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН Литун В. И., Прохорова В. В., Русов Ю. С., Фадеева Н. Ю.	559

5b.2	ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СТРУКТУР, СОДЕРЖАЩИХ МЕЗОПОРИСТЫЙ КСЕРОГЕЛЬ ОКСИДА ТИТАНА Линник О. П., Жуковский М. А., Смирнова Н. П., Ореховская Т. И., Николаенко И. А., Ашариф А. М., Гапоненко Н. В., Борисенко В. Е.	733
5b.3	ВЛИЯНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ МЕЗО-ЗАМЕЩЕННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНА НА НАДМОЛЕКУЛЯРНУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ В ОБЪЕМЕ И ТОНКИХ ПЛЕНКАХ Казак А. В., Усольцева Н. В., Быкова В. В., Юдин С. Г., Дембо К. А., Семейкин А. С.	735
5b.4	НАНОРАЗМЕРНЫЙ СИЛИЦИД ТИТАНА, ПОЛУЧЕННЫЙ КОМБИНИРОВАНИЕМ МЕХАНОАКТИВАЦИИ И САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА Ковалевский А. А., Строгова А. С., Шевченко А. А., Строгова Н. С.	737
5b.5	ЭЛЕКТРОПРОВОДИЩИЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ CoSb_x(30 нм)/SiO₂(100 нм)/Si(001) – ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕРМОЭЛЕКТРИКИ Макогон Ю. Н., Альбрехт М., Беддис Г., Павлова Е. П., Сидоренко С. И., Вербицкая Т. И., Даниель М., Шкарбань Р. А.	739
5b.6	ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ПОДВИЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ Черных А. Г., Тымощик А. С., Котов Д. А., Ясюнас А. А.	741
5b.7p	ОБРАЗОВАНИЕ НАНОКЛАСТЕРОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК Ковалевский А. А., Строгова А. С., Борисевич В. М., Строгова Н. С.	743
5b.8p	ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ РАСПЫЛЕНИЕМ ПРИ ФАЗОВОМ РАВНОВЕСИИ Олемской А. И., Ющенко О. В., Жиленко Т. И.	745
5b.9p	ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ НАНОСТРУКТУР СУЛЬФИДА ЦИНКА Курбатов Д. И., Опанасюк А. С., Софронов Д. С., Данильченко С. Н., Проценко И. Е.	747

СЕКЦИЯ 5b/2. НАНОМАТЕРИАЛЫ

5b.10	НАНОКОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОЛИМЕР-УГЛЕРОД Борисова А. В., Мачулянский А. В., Татарчук Д. Д., Якименко Ю. И.	751
5b.11	ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ СЛОЕВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ Смынтына В. А., Кулинич О. А., Яцунский И. Р., Марчук И. А., Павленко Н. Н.	753
5b.12	ВЛИЯНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ Ag НА ФОРМИРОВАНИЕ ФАЗЫ L1₀(FePt) В НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ Fe₅₀Pt₅₀/Ag/Fe₅₀Pt₅₀ НА ОКИСЛЕННЫХ ПОДЛОЖКАХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ Макогон Ю. Н., Альбрехт М., Беддис Г., Павлова Е. П., Сидоренко С. И., Вербицкая Т. И., Владимирский И. А.	755
5b.13	ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ФЕРРИТА БАРИЯ И МУНТ В СИЛИКОНОВОЙ МАТРИЦЕ Суляев В. И., Доценко О. А., Кочеткова О. А.	757
5b.14	ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ Степанова Л. С., Николаенко И. А., Кочев А. С., Ореховская Т. И., Гапоненко Н. В.	759
5b.15	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ В МЭМС Лазарук С. К., Долбик А. В., Лабунув В. А.	761
5b.16p	ЭКСИТОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В МНОГОСЛОЙНОЙ СВЕРХРЕШЕТКЕ Пашенко А. Г., Ванцан В. М.	763
5b.17p	АНИЗОТРОПИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ Кацуба П. С., Лазарук С. К., Лешок А. А., Борисенко В. Е., Высоцкий В. Б., Шведов С. В.	765
5b.18p	ФОРМИРОВАНИЕ ПОРИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ С ТРУБЧАТОЙ СТРУКТУРОЙ Лазарук С. К., Ореховская Т. И., Купреева О. В., Борисенко В. Е.	767
5b.19p	ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНОГО ГИДРОГЕНИЗИРОВАННОГО КРЕМНИЯ Сологуб О. Ю.	769

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Степанова Л. С., Николаенко И. А., Кочев А. С., Ореховская Т. И., Гапоненко Н. В.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь
Тел: +375 -172 -93-88-69, факс: +375-172- 93-23-33, e-mail: nik@nano.bsuir.edu.by

Аннотация — В работе исследована люминесценция оксида алюминия, синтезированного в виде порошков и пленок ксерогелей, легированных тербием, пористого анодного оксида алюминия, содержащего ионы тербия, осажденного из растворов солей, в зависимости от температуры термообработки и концентрации тербия.

I. Введение

Известно, что ксерогели различного состава, легированные лантаноидами, показывают видимую невооруженным глазом люминесценцию [1]. Пористый анодный оксид алюминия (ПАОА), полученный в электролитах органических кислот, проявляет видимую фотолюминесценцию (ФЛ), обусловленную кислородными вакансиями и остатками органических соединений [2, 3]. В данной работе осуществлен синтез структур ПАОА, содержащих ксерогели оксида алюминия, легированные тербием с различной концентрацией, а также образцы ПАОА, содержащие ионы тербия, осажденные из растворов солей, исследована люминесценция этих структур, а также пленок ПАОА, сформированных в щавелевой кислоте и порошка оксида алюминия, приготовленного золь-гель методом.

II. Результаты испытаний

Для формирования структур, люминесцирующих в зеленом диапазоне, были синтезированы образцы пористого анодного оксида алюминия, содержащие в порах трехвалентные ионы тербия, осажденные пропиткой в растворе азотнокислого тербия с концентрацией 30 мг/мл, или с помощью золь-гель синтеза. Золь для формирования ксерогеля оксида алюминия с различной концентрацией тербия (масс.%) готовился по методике [4]. Окончательная термообработка образцов с пленками ксерогелей проводилась при температуре 1000 °С в течение 30 мин (для образцов ПАОА на кремниевых пластинах) и 200 °С в течении 30 мин (для образцов ПАОА на фольге). Для исследования собственной ФЛ ПАОА, сформированного в электролитах органических кислот, анодированием в растворе 3,6% щавелевой кислоты были синтезированы пленки ПАОА с толщиной пористого оксида 20 мкм. Полученные образцы после сушки отжигались на воздухе при температуре 200 °С и 500 °С в течение 30 минут. Для наблюдения влияния температуры отжига на ФЛ порошка Al_2O_3 последний подвергался последовательному отжигу на воздухе при температурах 600, 700 и 800 °С.

Для полученных образцов исследованы спектры фотолюминесценции (ФЛ) и возбуждения ФЛ, приведенные на рис.1 и 2. Спектры фотолюминесценции регистрировались при $\lambda_{возб}=330$ нм, время регистрации 1мс. Спектры возбуждения регистрировались на длине волны 542 нм. Все измерения проводились при комнатной температуре.

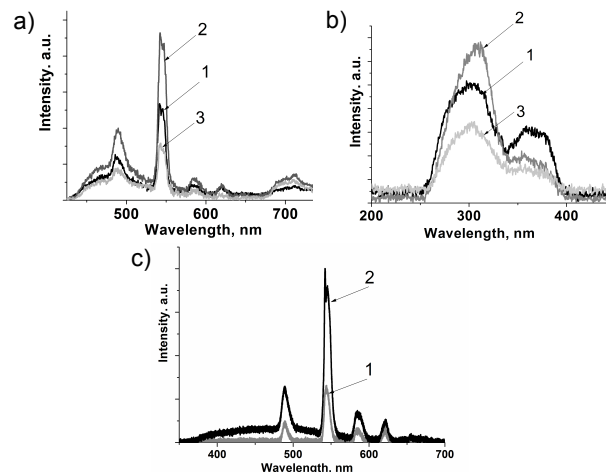


Рис. 1. Спектры ФЛ (а, с) и возбуждения люминесценции (b) содержащих тербий образцов ПАОА на кремнии с пленкой ксерогеля $Tb_2O_3-Al_2O_3$ с концентрацией тербия (масс.%) (а, b): 40% $Tb_2O_3 - 60\% Al_2O_3$, 50% $Tb_2O_3 - 50\% Al_2O_3$, 60% $Tb_2O_3 - 40\% Al_2O_3$; образцов ПАОА на фольге, содержащих ионы Tb^{3+} , осажденные из раствора нитрата тербия (с-1) и с дополнительно сформированной пятислойной пленкой ксерогеля 30% $Tb_2O_3 - 70\% Al_2O_3$ (с-2).

Fig. 1. PL (a, c) and PLE (b) spectra of Tb-containing samples of PAA on silicon with xerogel film $Tb_2O_3-Al_2O_3$ with terbium concentration (wt.%) (a, b): 40% $Tb_2O_3 - 60\% Al_2O_3$, 50% $Tb_2O_3 - 50\% Al_2O_3$, 60% $Tb_2O_3 - 40\% Al_2O_3$; samples of porous anodic alumina on foil with Tb^{3+} ions deposited from terbium nitrate solution and with additionally build-up film with 5 layers of xerogel 30% $Tb_2O_3 - 70\% Al_2O_3$ (c-2)

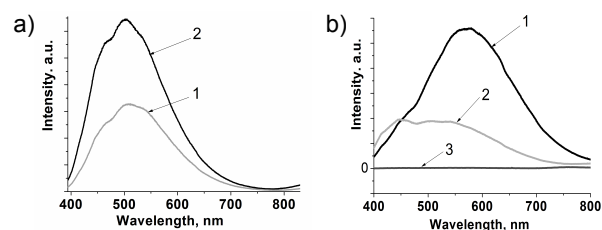


Рис. 2. Спектры ФЛ оксида алюминия: пленок ПАОА, выращенных в электролите щавелевой кислоты (а), порошков ксерогеля (b): отжиг при 200 (а-1), 500 (а-2), 600 (b-1), 700 (b-2) и 800 °С (b-3).

Fig. 2. PL spectra of aluminum oxide: porous anodic alumina films grown in oxalic acid electrolyte (a), xerogel powders (b): annealing at 200 (a-1), 500 (a-2), 600 (b-1), 700 (b-2) and 800 °С (b-3)

III. Интерпретация результатов испытаний

Пленки ксерогелей демонстрируют ФЛ тербия при комнатной температуре с полосами в диапазоне 450 - 650 нм, соответствующими термам ионов Tb^{3+} :

$^5D_4 \rightarrow ^7F_J$, $J=3,4,5,6$. Образцы показывают наибольшую полосу в спектре возбуждения ФЛ на 290-330 нм, что также характерно для тербия [5]. Наибольшая интенсивность ФЛ достигнута для ксерогеля 50% Tb_2O_3 – 50% Al_2O_3 . В спектрах ФЛ структур, содержащих тербий, осажденный из раствора нитрата тербия, также обнаружены четкие полосы, соответствующие оптическим переходам трехвалентных ионов тербия (рисунок 2 (в)). Как видно из данных рисунка, нанесение нескольких слоев ксерогеля приводит к четырехкратному увеличению интенсивности ФЛ тербия по сравнению с исходным образцом.

Образцы, изготовленные в электролите щавелевой кислоты, имеют интенсивную полосу ФЛ в области 410...550 нм, что соответствует собственной люминесценции ПАОА [2, 3]. ФЛ пленок ПАОА заметна невооруженным глазом. При этом, отмечается высокая интенсивность ФЛ, которая возрастает для образца, отожженного при более высокой температуре. Кроме того, ФЛ таких структур является стабильной, поскольку спектры, зарегистрированные через год после синтеза образцов, идентичны спектрам, зарегистрированным непосредственно после изготовления пленок ПАОА.

ФЛ порошка алюминия убывает по мере увеличения температуры отжига и исчезает полностью после отжига при температуре 800 °C (рис. 2b).

IV. Заключение

Все синтезированные в данной работе структуры на основе ПАОА, содержащие ионы тербия, демонстрируют ФЛ в зеленом. Изменение концентрации тербия в ксерогеле Tb_2O_3 – Al_2O_3 ведет к изменению интенсивности ФЛ. Нанесение ксерогеля, содержащего ионы тербия, на образцы ПАОА, ранее пропитанные раствором нитрата тербия, позволяет добиться увеличения интенсивности ФЛ тербия. Порошок оксида алюминия показывает видимую невооруженным глазом ФЛ, которая исчезает при температуре отжига 800 °C. Изготовление люминесцентных структур анодированием алюминиевой фольги в щавелевой кислоте позволяет получить сравнительно интенсивную и более стабильную по сравнению с порошком ксерогеля Al_2O_3 люминесценцию.

V. Литература

- [1] *Gaponenko N. V.* Luminescence of lanthanides from xerogels embedded in mesoporous matrices // *Acta Physica Polonica*. 2007. Vol. 112. P 737 – 749.
- [2] *Strong* ultraviolet and violet photoluminescence from Si-based anodic porous alumina films. / J.H. Wu et al. // *Applied Physics A* – 2001. – Vol.72. – P.735-737.
- [3] *Preparation* and photoluminescence of alumina membranes with ordered pore arrays / Y. Du et al. // *Applied Physics Letters*. – 1999. – Vol. 74, No. 20. – P. 2951–2953.
- [4] *Люминесценция* тербия в ксерогеле оксида алюминия, сформированном в матрице пористого анодного оксида алюминия, при различных видах возбуждения / Галоненко Н.В. и др. // *Физика и техника полупроводников*. – 2011 – Т.45, вып.7, стр. 980-983
- [5] *Influence* of the annealing on excitation of terbium luminescence in $YAlO_3$ films deposited onto porous anodic alumina / Podhorodecki A. et al. // *Journal of the Electrochemical Society*. 2010. Vol. 157. No 6. P. H628-H632.

LUMINESCENCE STRUCTURES ON THE BASIS OF POROUS ANODIC ALUMINA

Stepanova L. S., Nikolaenko I. A., Kochev A. S.,
Orekhovskaya T. I., Gaponenko N. V.
*Belarusian State University of Informatics
and Radioelectronics*

P. Browka St. 6, Minsk, 220013, Belarus
Ph.: +375-17-2938869, e-mail: nik@nano.bsuir.edu.by

Abstract — In the present paper luminescence from aluminum oxide synthesized in a form of xerogel powders and films doped with terbium, porous anodic alumina with terbium ions deposited from the solution of salt, depending on annealing temperature and terbium concentration is investigated.

II, III. Main Part

Diverse xerogels doped with lanthanides reveal the luminescence visible to the naked eye [1]. Porous anodic alumina, fabricated in electrolytes on the basis of organic salts exhibit visible photoluminescence (PL) associated with the oxygen vacancies and residuals of the organic salts [2, 3]. In this work the synthesis of the porous anodic alumina structures with alumina xerogels doped with terbium, as well as porous anodic alumina containing terbium deposited from solution of salt is developed. Luminescence from porous anodic alumina films fabricated in an oxalic acid electrolyte as well as sol-gel derived porous anodic alumina is investigated.

Terbium ions were deposited in porous anodic alumina (PAA) from the terbium nitrate solution [4] or by using the sol-gel synthesis for observation of photoluminescence (PL) in a green range. Samples comprising xerogel/PAA/silicon and xerogel/PAA/foil were annealed at 500 and 200 °C for 30 minutes accordingly. PAA films, showing luminescence were obtained through anodization of aluminum foil in 3.6% oxalic acid and were annealed in air at 200 and 500 °C for 30 minutes. The thickness of PAA films was 20 μ m. Al_2O_3 powder was annealed in air at 600, 700 and 800 °C. The photoluminescence spectra of described structures were recorded at room temperature for the excitation wavelength 330 nm and the excitation spectra were recorded for the emission wavelength 542 nm (Fig.1). The xerogel films with different concentrations of terbium ions exhibit terbium PL with the bands in the range 450 - 650 nm, corresponding to $5D_4 \rightarrow 7F_J$, $J = 3,4,5,6$. The samples are found tube typical for terbium band at 290-330 nm in the excitation spectrum [5]. An increase of luminescence is observed for the samples with a ratio of components 50% Tb_2O_3 - 50% Al_2O_3 . Deposition of several xerogel layers leads to a fourfold increase of terbium PL intensity as compared with the initial sample (Figure 2 (c)). Samples produced in the electrolyte of oxalic acid, have an intense PL band in the range 410 ... 550 nm corresponding to the intrinsic PL of PAA [2, 3]. PL intensity is greater for the sample annealed at a higher temperature.

IV. Conclusion

All of the synthesized structures comprising porous anodic alumina with terbium ions reveal PL in the green range. Generation of terbium doped xerogel with terbium ions deposited previously from the salt solution results in an increase of Tb PL from porous anodic alumina. Undoped xerogel alumina powder are visible to the naked eye PL which vanishes after annealing at 800 °C. Porous anodic alumina structures fabricated in the electrolyte of oxalic acid exhibit intensive PL which is more stable as compared to the alumina xerogel powder.

Научное издание

Наукове видання

21-я Международная
Крымская конференция «СВЧ-техника
и телекоммуникационные технологии»:
Материалы конференции
(на русском и английском языках,
обложка — на русском)

21-ша Міжнародна
Кримська конференція «Мікрохвильова
техніка та телекомунікаційні технології»:
Матеріали конференції
(російською та англійською мовами
оболонка — російською)

Ответственный за издание
П. П. Ермолов

Відповідальний за видання
П. П. Єрмолов

Помощник отв. за издание
С. Н. Миняйло

Помічник відп. за видання
С. М. Міняйло

Компьютерная верстка и обложка CD
С. Н. Миняйло, Е. А. Редькина

Комп'ютерна верстка та оболонка CD:
С. М. Міняйло, О. А. Редькіна

Редактирование текста
на английском языке
С. В. Павлов
В. И. Сорока
А. А. Левина

Редагування тексту
англійською мовою:
С. В. Павлов
В. І. Сорока
А. А. Левіна

Подписано к публикации 31.05.2011
Формат А4
Уч.-изд. л. 148,1
Зак. 5-355

Издательское предприятие «Вебер»
А/я 10, г. Севастополь, 99057
E-mail: 10.99057@gmail.com
Свидетельство ДК № 193 от 20.09.2000

Підписано до публікації 31.05.2011
Формат А4
Обл.-видавн. арк. 148,1
Зам. 5-355

Видавниче підприємство «Вебер»
А/с 10, м. Севастополь, 99057
E-mail: 10.99057@gmail.com
Свідоцтво ДК № 193 від 20.09.2000



СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

**РЕСПУБЛИКАНСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

«НИРС–2011»

18 октября 2011 г., Минск



Белорусский государственный университет
Белорусский национальный технический университет

Учреждения образования:

- «Белорусский государственный аграрный технический университет»
- «Белорусский государственный технологический университет»
- «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
- «Белорусский государственный университет культуры и искусств»
- «Витебский государственный технологический университет»

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ
Республиканской научной конференции
студентов и аспирантов Республики Беларусь
«НИРС-2011»

18 октября 2011 г., Минск

УДК 082
ББК 94
С23

Редакционная коллегия:

С.В. Абламейко, А.А. Андриц, М.А. Беспалая, Т.В. Борботько, В.Е. Борисенко, С.М. Босяков, С.В. Буга, Д.А. Войтович, Е.С. Воропай, Н.В. Гагина, Г.И. Гануш, В.Я. Груданов, А.С. Гурин, Т.А. Дик, С.И. Дыдышко, С.А. Захаркевич, А.Г. Захаров, Н.А. Зубченко, Д.Л. Иванов, О.А. Ивашкевич, Л.В. Игнатович, Н.В. Казаровец, И.М. Кимленко, А.Г. Коган, Н.Г. Королевич, К.Н. Коростик, П.Г. Космач, В.Г. Кротов, А.В. Крутов, Э.Т. Крутько, Т.А. Кулагова, А.А. Легчилин, М.Г. Лукашевич, Л.М. Лыньков, О.Ф. Малашенкова, В.И. Малюгин, В.Н. Марцуль, А.И. Махнач, Г.И. Михасев, Т.А. Новгородский, И.И. Пирожник, А.П. Побегайло, С.С. Полоник, М.А. Прищепов, В.П. Прокопцова, О.Г. Прокопчук, А.А. Пушкин, П.П. Ракецкий, Л.А. Расолько, К.И. Ремишевский, Р.Х. Садыхов, А.И. Смолик, И.О. Соколов, Г.Ф. Стельмах, М.А. Титок, И.Г. Томашева, В.М. Трепачко, А.К. Тявловский, Б.В. Фалейчик, В.А. Федосик, А.К. Федотов, В.Г. Шепелевич, В.Е. Ямный

Сборник тезисов докладов Республиканской научной конференции студентов С23 и аспирантов Республики Беларусь «НИРС-2011», 18 окт. 2011 г., Минск / редкол. : С. В. Абламейко [и др.]. — Минск : Изд. центр БГУ, 2011. — 637 с. ISBN 978-985-476-959-2.

Сборник включает тезисы докладов Республиканской научной конференции студентов и аспирантов Республики Беларусь «НИРС-2011». Статьи рекомендованы к опубликованию редакционной коллегией и печатаются в виде, предоставленном авторами, без дополнительного редактирования.

УДК 082
ББК 94

СЕКЦИЯ «ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КОАКСИАЛЬНОЙ ЗАПИСИ-СЧИТЫВАНИЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Е. С. АКСЕНОВ (студ. 3 к.), Ю. В. РАЗВИН (к. ф.-м. н.), БНТУ

Проблематика. При работе с носителями информации типа оптических дисков (CD, DVD и др.), используется принцип записи последовательности битов на плоскую спиральную дорожку диска. Совершенствование таких систем памяти определяется, прежде всего, изменением параметров самих носителей и их приводов: уменьшение ширины дорожки и размеров битов при переводе процесса записи-считывания в синюю область спектра. Дальнейшее увеличение объема и скорости обработки оптической информации связано с разработкой принципиально новых технологий. Одним из решений данной проблемы является голографический принцип записи-считывания информации.

Цель работы. Целью данной работы являются моделирование и исследование схем коаксиальной записи информации в системе голографической памяти (запись-считывание на голографические диски).

Объект исследования. В работе подробно проанализированы особенности построения оптических схем голографической обработки бинарной информации методом коаксиальной записи.

Использованные методики. В исследуемой схеме использовался метод записи Фурье-голограмм. Компьютерное моделирование выполнено с применением пакетов прикладных программ Autocad и Delphi.

Научная новизна. Реализация поставленной задачи достигается при наиболее полной совместимости функциональных элементов исследуемой системы с аналогичными элементами приводов оптических дисков, используемых в современных компьютерных системах.

Полученные научные результаты и выводы. Достоинством системы голографической памяти является параллельная запись-считывание информации. Показано, что в такой схеме можно выделить функциональные участки, техническое решение которых может быть реализовано на известных принципах построения приводов обычных оптических дисков. Прежде всего, это относится к схемам фокусировки и ориентации информационного и считывающего лучей относительно матричного фотоприемника, а так же к оптическим схемам автоматического слежения и контроля записи, формирующим командные импульсы управления привода голографического диска. В работе проведено макетирование процесса считывания в прошедшем луче бинарной информации с голографического носителя (фотопластинка). Показано, что в таких схемах требуется высокая точность установки носителя относительно источника излучения (лазерного диода).

Практическое применение полученных результатов. Перспективы использования голографических систем памяти определяют актуальность проводимых исследований.

МОДОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С ПОЛОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ

О. А. БЕЛЬСКАЯ (асп.), УО «МогГУ им. А. А. Кулешова»

Проблематика. В работе исследуются синтетические микроструктурные оптические волокна с поллой сердцевинной (СМОВПС), оболочка которых представляет собой двумерный фотонный кристалл. В данных волокнах передача световой энергии осуществляется поллой сердцевинной волокна. Это позволяет избежать существенного поглощения света полимером. Характерной особенностью рассматриваемых волокон является наличие фотонных запрещенных зон. Хорошо известно, что в распространенных кварцевых микроструктурных волокнах с образующими воздушными каналами кругового сечения существование указанных зон предполагает использование волокон с высоким содержанием воздуха в оболочке (80% и выше). Эта особенность приводит к деформации воздушных каналов в ходе вытяжки волокна, которая нарушает строгую периодичность фотонного кристалла, и, как следствие, вызывает сильную утечку энергии излучения из сердцевины волокна. В случае изготовления СМОВСП из полимерных материалов указанный дефект выражен еще в большей степени.

Цель работы. Цель работы состоит в отыскании новых конфигураций оболочки СМОВСП, позволяющих уменьшить процентный состав воздуха в оболочке волокна и улучшить его модовые характеристики, а также в исследовании структурной окраски СМОВСП при поперечном освещении неполяризованным светом.

Объект исследования. Синтетические микроструктурные оптические волокна с поллой сердцевинной.

Использованные методики. Анализ модовых характеристик СМОВСП проводится методом математического моделирования с использованием строгих методов функции Грина и интегральных уравнений.

Научная новизна. Предлагаются новые структуры СМОВСП, позволяющие существенно улучшить его модовые характеристики. Впервые исследован эффект структурной окраски СМОВСП при поперечном освещении волокна неполяризованным светом.

Полученные научные результаты и выводы. Предложены и исследованы две новых конфигурации СМОВСП, позволяющие существенно улучшить пропускание волокна. Показано, что исследованные волокна могут приобретать структурную окраску при освещении их неполяризованным светом.

записанной дифракционной структурой. В работе определены основные зависимости параметров записи от геометрии взаимодействующих лучей и показателя преломления оптической среды.

Практическое применение полученных результатов. Полученные результаты могут быть полезными при разработке многослойных голографических носителей информации и представляют интерес для специалистов в области обработки оптической информации.

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЛАНТАНИДОВ В КСЕРОГЕЛЯХ, СФОРМИРОВАННЫХ В ПОРИСТОМ АНОДНОМ ОКСИДЕ АЛЮМИНИЯ

Л. С. СТЕПАНОВА (студ. 5 к.), Н. В. ГАПОНЕНКО, А. А. ПОЗНЯК, УО «БГУИР»

Проблематика. Представлены результаты синтеза и люминесценции ксерогеля оксида алюминия, легированного тербием, в пористом анодном оксиде алюминия (ПАОА), и проведено сравнение фотолюминесценции (ФЛ) сформированных золь-гель методом структур с пленками ПАОА, содержащими тербий, осажденный из раствора нитрата тербия.

Цель работы. Оценить изменение интенсивности ФЛ и спектрального распределения вероятности возбуждения люминесценции при нанесении алюмогеля на образцы ПАОА, содержащие в порах осажденные из растворов солей ионы тербия Tb^{3+} .

Объект исследования. Люминесцентные свойства пленок ПАОА, содержащих ионы Tb^{3+} , внедренные пропиткой и посредством золь-гель технологии.

Использованные методики. Анодное оксидирование; золь-гель метод синтеза легированных ксерогелей оксидов металлов; легирование ПАОА ионами Tb^{3+} путём его пропитки в растворе нитрата тербия; регистрация спектров ФЛ и спектров возбуждения ФЛ.

Научная новизна. Приведено сравнение интенсивности ФЛ в структурах на основе ПАОА, содержащих трехвалентные ионы лантанидов, осажденные из растворов солей и при использовании золь-гель синтеза.

Полученные научные результаты и выводы. Получены люминесцентные структуры на основе ПАОА, содержащие ионы Tb^{3+} , осажденные из водных растворов его азотнокислой соли, и при использовании золь-гель технологии. Исследована ФЛ и спектры возбуждения полученных структур. Установлено, что нанесение ксерогеля на образцы, уже содержащие в порах ионы Tb^{3+} , осажденные из растворов солей, ведет к повышению интенсивности ФЛ; возбуждение тербия в структурах ксерогель/ПАОА/алюминий осуществляется в диапазоне 270...285 нм, что соответствует поглощению излучения электронной конфигурацией f-d трехвалентного тербия.

Практическое применение полученных результатов. Полученные и исследованные люминесцентные структуры могут найти применение в различных оптоэлектронных приборах и системах, дисплейных технологиях; полученная сравнительно интенсивная люминесценция позволяет использовать разрабатываемую технологию в сочетании с фотолитографией для формирования люминесцентных изображений, в т. ч. и для защиты хозяйственных объектов путём создания люминесцентных меток.

ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРИКАРБОЦИАНИНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ С НАПРАВЛЕННОЙ ДОСТАВКОЙ В ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫЕ ОПУХОЛИ

Д. С. ТАРАСОВ (маг.), Л. С. ЛЯШЕНКО (асп.), БГУ

Проблематика. Проведен поиск наноструктурированных форм конъюгатов полиметиновых красителей с направленной доставкой в злокачественные новообразования и исследованы их фотофизические свойства.

Цель работы. Провести исследования фотофизических свойств конъюгатов полиметиновых красителей в органических растворителях и воде.

Объект исследования. Модифицированный индотрикарбоцианиновый краситель с полиэтиленгликолем.

Использованные методики. Абсорбционная и люминесцентная спектроскопия.

Научная новизна. Разработка водорастворимых биологически фотоактивных индотрикарбоцианиновых красителей.

Полученные результаты и выводы. Наличие в молекуле заместителей полиэтиленгликолем обеспечивает хорошую растворимость в воде модифицированных индотрикарбоцианиновых красителей. Максимум полосы поглощения в воде при высокой концентрации расположен на $\lambda=647$ нм, при разбавлении на $\lambda=709$ нм. Повышение температуры раствора приводит к падению поглощения в коротковолновом максимуме поглощения и росту длинноволнового, для высококонцентрированных растворов наблюдается увеличение интенсивности флуоресценции. При этом положение и форма спектров флуоресценции красителя в воде при любой концентрации не зависит от длины волны возбуждения. На основании полученных результатов сделано заключение, что в водном растворе исследуемого красителя присутствуют мономеры и димеры молекул. При концентрациях выше 10^{-4} М возможно существование ассоциатов более высоких порядков, и характерные признаки двухкомпонентности не обнаруживаются. По температурным закономерностям в спектрах поглощения оценены энергии связи димеров. Проведены эксперименты на клеточной культуре и подопытных животных и установлено, что новые соединения обладают высоким контрастом накоплением в раковых клетках.

Практическое применение полученных результатов. Параметры исследованных в данной работе индотрикарбоцианиновых красителей позволят в перспективе разработать на их основе лекарственные формы фотосенсибилизаторов для фототерапии рака.

СОДЕРЖАНИЕ

БИОФИЗИКА.....	3
ГЕОЭКОИНФОРМАТИКА.....	8
ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ.....	13
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.....	19
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ.....	23
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ.....	30
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ.....	34
КОМПЬЮТЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	39
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЭКОНОМИКЕ.....	59
ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА.....	68
МАТЕМАТИКА.....	79
МЕХАНИКА.....	88
БИОРАЗНООБРАЗИЕ, БИОЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ПРИРОДЫ.....	93
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ.....	101
ГЕОГРАФИЯ. НАУКИ О ЗЕМЛЕ.....	121
ХИМИЯ: ИДЕИ, ВЕЩЕСТВА, МАТЕРИАЛЫ.....	143
СТРОИТЕЛЬСТВО.....	154
МАШИНОСТРОЕНИЕ.....	171
МЕТАЛЛУРГИЯ.....	185
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. ЭНЕРГЕТИКА.....	191
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.....	235
РАДИОТЕХНИКА, РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, СВЯЗЬ.....	254
АГРОИНЖЕНЕРИЯ.....	268
ВЕТЕРИНАРИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО.....	285
ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ С/Х ПРОДУКЦИИ.....	293
ЭКОНОМИКА АПК.....	302
ЛЕГКАЯ И ТЕКСТИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ.....	310
ЛЕСНОЕ И ОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСОЗАЩИТА.....	343
ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ.....	351
ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ПОЛИГРАФИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	359
ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	371
ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ.....	388
ПЕДАГОГИКА. ПСИХОЛОГИЯ.....	406
СОВРЕМЕННЫЕ СМИ В ПРОЦЕССЕ СИСТЕМНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ.....	411
ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ.....	439

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ОТНОШЕНИЯ.....	485
МОЛОДЫЕ ЭКОНОМИСТЫ – НАРОДНОМУ ХОЗЯЙСТВУ	495
ВСЕОБЩАЯ ИСТОРИЯ	559
ИСТОРИЯ БЕЛАРУСИ.....	567
ИСТОРИЯ ИСКУССТВ.....	581
КУЛЬТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ. ТУРИЗМ.....	587
ИСКУССТВО, ХУДОЖЕСТВЕННЫЕ И ЭТНОКУЛЬТУРНЫЕ ТРАДИ- ЦИИ БЕЛАРУСИ.....	596
КУЛЬТУРОЛОГИЯ. МУЗЕОЛОГИЯ.....	608
ФИЛОСОФИЯ. СОЦИОЛОГИЯ.....	625

Научное издание

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ
Республиканской научной конференции
студентов и аспирантов Республики Беларусь
«НИРС-2011»

18 октября 2011 г., Минск

Ответственный за выпуск *А. В. Матюшко*

Подписано в печать 12.10.2011. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 74,16. Уч.-изд. л. 73,4.
Тираж 100 экз. Заказ 601.

Республиканское унитарное предприятие
«Издательский центр Белорусского государственного университета».
ЛП № 02330/0494361 от 16.03.2009. Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.

Отпечатано с оригинала-макета заказчика
в республиканском унитарном предприятии
«Издательский центр Белорусского государственного университета».
ЛП № 02330/0494178 от 03.04.2009. Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.