

1.5-1.6 мкм. Схема уровней и переходов между ними, учитываемых в математической модели, представлены на рисунке 2.

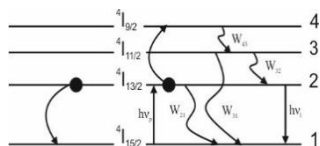


Рисунок 2 – Схема энергетических уровней и переходов между ними, рассматриваемых в модели с учетом ап-конверсионного перехода в области 980 нм

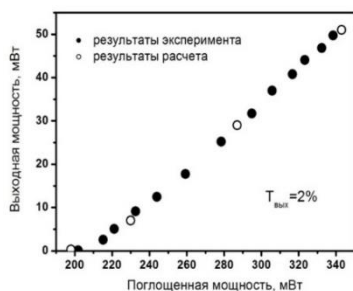


Рисунок 3 – Результаты расчета зависимости выходной мощности от поглощенной мощности накачки лазера на кристалле Er(2 ат.%) :KYW с учетом ап-конверсионного перехода в области 980 нм

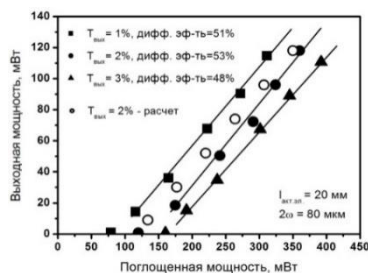


Рисунок 4 – Зависимость выходной мощности лазера на кристалле Er(1 ат.%) :KYW от поглощенной мощности накачки

По результатам моделирования определено, что для коэффициента ап-конверсии равного $1,0 \cdot 10^{-17} \text{ см}^{-3}$ наблюдается хорошее соответствие экспериментальных данных и результатов моде-

лирования для всех выходных зеркал как по порогам генерации, так и по значениям дифференциальной эффективности по поглощенной мощности накачки. Результаты моделирования для выходного зеркала с пропусканием 2 % в сравнении с экспериментальными данными показаны на рисунке 3.

С целью определения условий для повышения выходной мощности лазера на кристалле Er:KYW проведены эксперименты с кристаллом с вдвое уменьшенным содержанием ионов Er^{3+} (0.5 ат.%). В результате уменьшения содержания ионов-активаторов Er^{3+} в кристалле Er:KYW удалось увеличить максимальную выходную мощность и дифференциальную эффективность по поглощенной мощности накачки лазера до 118 мВт и 53 %, соответственно. При этом порог генерации для зеркал с пропусканием 1 % и 2 % понизился до уровня 75 мВт и 120 мВт, соответственно. Длина волны генерации и поляризация излучения соответствовали случаю использования кристалла с концентрацией ионов эрбия 2 ат.%. По результатам моделирования для кристалла Er(1 ат.%) :KYW с учетом определенного ранее коэффициента ап-конверсии наблюдается достаточно хорошее соответствие экспериментальных и теоретических данных. На рисунке 4 показана расчетная зависимость для выходного зеркала с пропусканием 2 %.

Генерационные характеристики лазера на кристалле Er(1 ат.%) :KYW представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Генерационные характеристики кристалла Er(1 ат.%) :KYW

Пропускание выходного зеркала, %	Дифференциальная эффективность, %	Выходная мощность, мВт	Длина волны генерации, нм
1	51	114	1609
2	53	118	
3	48	110	

Литература

1. In-band pumped room-temperature Er:KY(WO₄)₂ laser emitting near 1.6 μm / K.N. Gorbachenya, V.E. Kisel, A.S. Yasukevich, A.A. Pavlyuk, and N.V. Kuleshov // Laser Phys. – 2013. – Vol. 23. 125005.

УДК 621.372.821.1

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ МЕЖДУ ИОНАМИ ТУЛИЯ В КРИСТАЛЛАХ ВОЛЬФРАМАТОВ И МОЛИБДАТОВ

Гусакова Н.В.¹, Ясюкевич А.С.¹, Павлюк А.А.², Кулешов Н.В.¹

¹НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ
Минск, Республика Беларусь

²Институт неорганической химии имени А.В. Николаева, СО РАН
Новосибирск, Российская Федерация

Несмотря на многочисленные работы, посвященные спектроскопическим и генерационным характеристикам кристаллов молибдатов и

вольфраматов активированных ионами тулия, исследование влияния концентрации ионов Tm^{3+} в данных матрицах остается актуальной задачей.

Кристаллы вольфраматов и молибдатов с ионами тулия характеризуются высокими значениями сечений поглощения в области 800 нм и стимулированного испускания в области 1.9 мкм, что делает их перспективными лазерными средами для создания компактных лазерных систем. Кроме того, разупорядоченная структура кристаллов молибдатов обуславливает широкие слабоструктурированные полосы в спектрах усиления, что является перспективным для лазеров, работающих в режиме синхронизации мод.

Ион Tm^{3+} характеризуется развитой структурой уровней, обуславливающей наличие ряда кооперативных процессов. При накачке лазерными диодами в области 800 нм, одним из основных механизмов заселяющих верхний лазерный уровень 3F_4 является процесс кросс-релаксации $^3H_4 + ^3H_6 \rightarrow ^3F_4, ^3F_4$. Поэтому определение и учет параметров переноса энергии, является необходимым при математическом моделировании таких систем.

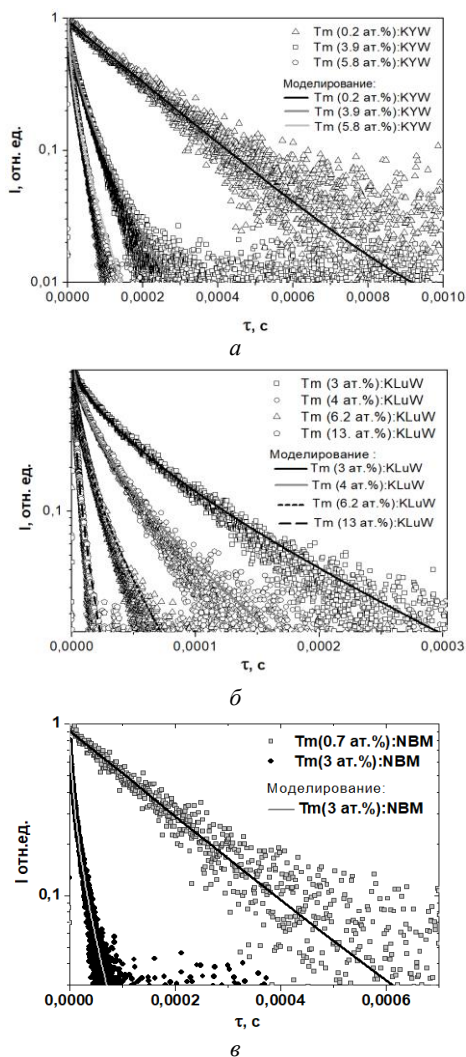


Рисунок 1 – Кинетики затухания люминесценции $^3H_4 \rightarrow ^3F_4$ (а) Tm:KLuW; (б) Tm:KYW (в) Tm:NBM с различным содержанием ионов тулия, при возбуждении в области 800 нм

В настоящей работе исследованы кристаллы $KY(WO_4)_2$ (KYW), $KLu(WO_4)_2$ (KLuW) и $NaBi(MoO_4)_2$ (NBM) с различной концентрацией ионов тулия. Для кристаллов с низким содержанием тулия Tm(0.7 ат.%) :NBM и Tm(0.2 ат.%) :KYW кинетики затухания люминесценции с уровня 3H_4 аппроксимируются моноэкспоненциальной зависимостью с постоянными времени 170 мкс и 190 мкс, соответственно (рис 1). Для остальных образцов наблюдается сокращение времени жизни состояния 3H_4 обусловленное процессом кросс-релаксации. Определение параметра кросс-релаксации (C_{DA}), в данных матрицах, осуществлялось на основе анализа кинетик затухания люминесценции $^3H_4 \rightarrow ^3F_4$ с использованием уравнения Инокути-Хираяма [1] Данный анализ показал наличие диполь-дипольного механизма передачи энергии возбуждения между ионами тулия в исследуемых матрицах, при концентрациях выше 2 ат.%. С ростом концентрации ионов тулия (более 3 ат.%) в кристаллах KLuW и KYW наблюдается сокращение времени жизни уровня 3F_4 обусловленное миграцией энергии между ионами тулия. Для определения параметров переноса C_{DD} , определяющих миграцию возбуждения между состояниями 3H_4 и 3H_6 в кристаллах вольфраматов, была применена теория Декстера [2]. Микро-параметры переноса энергии C_{DD} и C_{DA} , исследуемых кристаллов представлены в таблице 1.

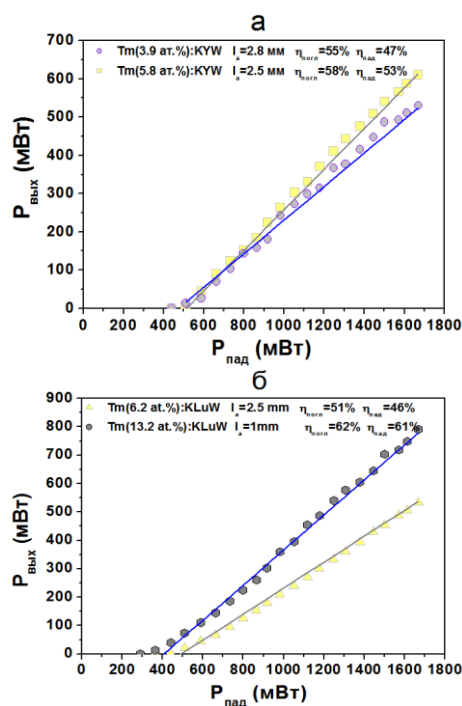


Рисунок 2 – Выходные характеристики микрочип лазеров в зависимости от падающей мощности накачки, на основе кристаллов Tm:KYW (а) и Tm:KLuW (б): точки - экспериментальные данные, линии – математическое моделирование с учетом процесса кросс-релаксации

Таблица 1 – Параметры переноса энергии кристаллов Тm:KLuW и Тm:KYW

Кристалл	C_{DA} , 10^{-38} см ⁶ /с	$C_{DD} (^3H_4)$, 10^{-38} см ⁶ /с	$C_{DD} (^3F_4)$, 10^{-38} см ⁶ /с
Тm:KLuW	1.54	5.49	8.29
Тm:KYW	1.39	3.41	8.29
Тm:NBM	7.03	-	-

Значение параметра переноса определяющего кросс-релаксацию (C_{DA}) для кристалла Тm:KLuW близко к результату полученному в работе [3].

Полученные параметры для кристаллов Тm:KYW и Тm:KLuW были использованы при

математическом моделировании лазеров на основе системы балансных уравнений, учитывающей процесс кросс-релаксации. Результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными (рис. 2.).

Литература

1. Influence of Energy Transfer by the Exchange Mechanism on Donor Luminescence / M. Inokuti, F. Hirayama // J. of Chem. Phys. – 1965 – Vol. 43. – P. 1978–1989.
2. A theory of Sensitized Luminescence in Solids/ D.L. Dexter // J. of Chem. Phys. – 1953. – Vol. 21. – P. 836–850.
3. Thulium doped monoclinic KLu(WO₄)₂ single crystals: growth and spectroscopy / O. Silvestre / Appl. Phys. B – 2007. – Vol. 87. – P. 707–716.

УДК 621.315.592

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА МОДИФИКАЦИИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ПЛЕНОК ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА МЕТОДАМИ ЭПР, ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И РЭМ

Олешкевич А.Н.¹, Оджаев В.Б.¹, Мудрый А.В.², Сернов С.П.³, Самбуу Мунхцэцэг⁴, Лапчук Т.М.¹, Лапчук Н.М.¹

¹Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

²Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»
Минск, Республика Беларусь

³Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

⁴National University of Mongolia
Ulaanbaatar, Mongolia

Среди разнообразных способов модификации полимеров наиболее перспективным в практическом и фундаментальном направлении является обработка их поверхности. Исследование процессов трансформации структуры поверхностного и переходного слоев полимера в процессе модификации позволит разрабатывать технологии получения качественно новых материалов с улучшенными физико-химическими и эксплуатационными свойствами.

В качестве исследуемых образцов использовался полимер – полиэтилентерефталат (ПЭТФ), модифицированный методом ионной имплантации. Преимуществом данной технологии является контролируемое и точно дозируемое количество введённой примеси, использование высокотехнологичного, производительного и стандартного оборудования. Целью работы было комплексное исследование трансформации поверхности пленок ПЭТФ в процессе имплантации в них ионов различной природы с одинаковыми энергиями и дозами. Исследования проводились с использованием метода электронного парамагнитного резонанса, люминесценции и растровой электронной микроскопии.

Объектом исследования были пленки полиэтилентерефталата (ПЭТФ) (C₁₆H₈O₄)_n толщиной 50 мкм, исходные и имплантированные ионами

фосфора и сурьмы с энергией 60 кэВ в диапазоне доз 100–2000 мкКл/см². Выбор параметров имплантации и вида ионов определялся, главным образом, использованием разработанных технологических операций для интегральной схемотехники. Спектры ЭПР имплантированных пленок регистрировались на спектрометре «RadioPan SE/X-2543» с резонатором Н₁₀₂ в X-диапазоне при комнатной температуре. Максимальная мощность сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения в резонаторе – 200 мВт. Частота СВЧ излучения в резонаторе контролировалась частотомером, поляризующее магнитное поле – датчиком ядерного магнитного резонанса. Для контроля добротности измерительного резонатора, настройки фазы модуляции магнитного поля и калибровки магнитной компоненты СВЧ излучения использовался кристалл рубина, закрепленный на стенке резонатора. Эксперименты по люминесценции проводились с использованием в качестве источника возбуждения лазера с длиной волны 325 нм. Структурные исследования полимерных пленок проводились на растровом электронном микроскопе S-4800 (Hitachi) с использованием энергодисперсного рентгеновского микроанализатора с XFlash детектором Quantex 200. Разрешение составляет 1 нм

Особенность имплантации ионов сурьмы в пленки полиэтилентерефталата по результатам