

МОНОКРИСТАЛЛЫ $\text{YAlO}_3:\text{Er}$ ДЛЯ ЛАЗЕРОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1.6 мкм

М.В. ДЕРЗЯН^{1*}, К.Л. ОВАНЕСЯН¹, А.В. ЕГАНЫАН¹, И.А. ГАМБАРЯН¹,
Г.Р. БАДАЛЯН¹, К.Н. ГОРБАЧЕНЯ², В.Э. КИСЕЛЬ²,
Н.В. КУЛЕШОВ², А.Г. ПЕТРОСЯН¹

¹Институт физических исследований НАН Армении, Аштарак, Армения

²НИЦ оптических материалов и технологий, Белорусский национальный
технический университет, Минск, Беларусь

*e-mail: mderdzyan@gmail.com

(Поступила в редакцию 6 апреля 2023 г.)

Методом Бриджмена выращены монокристаллы $\text{YAlO}_3\text{:Er}$ (YAP:Er) из расплавов с разным соотношением Y/Al . Сравниваются структурные дефекты и центры окраски при $\text{Y/Al} = 1$ и $\text{Y/Al} > 1$, а также образующиеся в кристаллах в результате гамма-облучения и термообработки. На основе полученных данных определены условия выращивания кристаллов YAP:Er , свободных от центров окраски и двойников. Исследованы спектрально-люминесцентные свойства кристаллов: зарегистрированы спектры поглощения и люминесценции в поляризованном свете, исследована кинетика люминесценции и определено время жизни уровня $^4I_{13/2}$ иона Er^{3+} .

1. Введение

Эрбиевые лазеры, излучающие в спектральной области 1.5–1.6 мкм на переходе $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} , представляют интерес для применений в оптической локации, космической связи, зондирования атмосферы, медицине. Лазерная генерация ионов Er^{3+} на этом переходе исследована во многих оксидных и фторидных кристаллах [1–8]. Среди них, особый интерес представляют кристаллы алюмината иттрия $\text{YAlO}_3\text{:Er}$ (YAP:Er) со структурой перовскита, которые сочетают высокие тепловые, механические, оптические и спектроскопические свойств [9]. YAP имеет орторомбическую структуру (пр. гр. $D_{2h}^{16} - \text{Pbnm}$). Ионы Y^{3+} занимают додекаэдрические позиции решетки, а ионы Al^{3+} – октаэдрические. Теплопроводность YAP в зависимости от ориентации лежит в области 10–13.3 Вт/(мК) и сохраняется достаточно высокой при введении активаторных ионов.

На кристалле YAP:Er в режиме модулированной добротности достигнута генерация импульсов длительностью 200 нс на длине волны 1.66 мкм [5]. В работе [4] при резонансной накачке кристалла YAP:Er (1 ат%) максимальная выходная энергия на 1.623 мкм составила 20 мДж при энергии накачки 640 мДж (порог генерации 26.3 мДж), которая в два раза ниже, чем выходная энергия в кристалле

$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Er}$ (0.5 ат%). Несмотря на достигнутый уровень, повышение совершенства и оптимизация концентрации ионов Er^{3+} в кристаллах $\text{YAP}:\text{Er}$ остаются актуальными задачами.

В перовскитах образуются разнообразные дефекты, ведущие к оптическим потерям, увеличению тепловой нагрузки и снижению излучательного времени. Включения и двойники ведут к рассеянию, отражению и преломлению лазерного луча. Вакансии, анти-сайт дефекты (катионы не на своих местах) и остаточные примеси, ведут к появлению в кристаллах паразитного поглощения. Анти-сайт дефекты Y_{Al} (Y^{3+} на местах Al^{3+}) и Al_{Y} (Al^{3+} на местах Y^{3+}) ввиду различия в размерах ионов Y^{3+} ($r = 0.9 \text{ \AA}$) и Al^{3+} ($r = 0.535 \text{ \AA}$) ведут и к локальному расширению или сжатию решетки.

Одним из важных технологических параметров, определяющим качество кристаллов, является отношение Y/Al в исходных расплавах [10–14]. Исследования в этом направлении выполнены в основном на кристаллах, полученных методом Чохральского. По данным [10] (метод Чохральского) кристаллы YAP с избытком Y_2O_3 ($\text{Y}/\text{Al} > 1.005$) имеют желтую окраску, обусловленную интенсивными полосами поглощения в области ниже 500 нм, природа которых отнесена к O^- центрам, связанным с образованием анти-сайт дефектов (Y_{Al}); при избытке Al_2O_3 кристаллы имеют зелено-голубую окраску, связанную с образованием F-центров. В работе [11] (метод Чохральского) показано, что избыток Y_2O_3 (до 2%), в отличие от результатов [10], не сильно сказывается на качестве кристаллов; при избытке Y в исходном материале ($\text{Y}/\text{Al} = 1.007\text{--}1.020$) кристаллы содержат избыток Y ($\text{Y}/\text{Al} = 1.001\text{--}1.002$) и свободны от дефектов; при стехиометрическом исходном составе ($\text{Y}/\text{Al} = 1$) кристалл содержит избыток Al и имеет рассеяние. По данным [12] (метод Чохральского) при начальном составе $\text{Y}/\text{Al} = 1$ кристаллы имеют коричнево-красный оттенок, а состав по результатам электронно-зондового рентгеновского анализа (EPMA) содержит избыток иттрия ($\text{Y}/\text{Al} = 1.08\text{--}1.12$), что отнесено к испарению Al_2O_3 . В работе [13] (метод Чохральского) кристаллы содержат избыток иттрия ($\text{Y}/\text{Al} = 1.083\text{--}1.107$), а интенсивность центров окраски возрастает с увеличением отношения Y/Al при последовательном выращивании кристаллов из одного тигля, что также отнесено к испарению Al_2O_3 . В работе [14] кристаллы, свободные от центров окраски, были получены методом зонной плавки из расплавов с избытком иттрия ($\text{Y}_{1.02}\text{AlO}_3:\text{Yb}$). Результаты этих работ и, в ряде случаев, их несовпадение, показывают, что оптимальное отношение Y/Al зависит от используемого метода, условий выращивания и примесного состава кристаллов. В наших прежних работах кристаллы перовскитов $\text{YAP}:\text{Yb}$ и $\text{LuAlO}_3:\text{Yb}$, свободные от центров окраски и структурных дефектов, были получены методом Бриджмена, на основе которых были созданы лазеры, работающие в различных режимах генерации в спектральной области $\sim 1 \text{ мкм}$ [15, 16].

Целью настоящей работы является получение оптически совершенных кристаллов YAP , активированных ионами Er^{3+} . Для исследований свойств кристаллов, выращенных из расплавов различного состава, а также подвергнутых гамма-облучению и термообработке, использованы рентгеновские, оптические и спектроскопические методы. В результате оптимизации получены кристаллы $\text{YAP}:\text{Er}$, свободные от центров окраски, рассеяния и двойников.

2. Экспериментальные методы

Для выращивания кристаллов YAP:Er использован модифицированный метод Бриджмена, разработанный Х.С. Багдасаровым [17–19]. В качестве исходных материалов использованы оксиды Y_2O_3 , Er_2O_3 и кристаллический сапфир Al_2O_3 с чистотой не менее 99.99% и затравки, ориентированные вдоль оси $\langle b \rangle$. Выращивание проводилось в молибденовых контейнерах диаметром 14 мм в атмосфере Ar/H_2 (10%) при скоростях 2.0–3.0 мм/час. Получены кристаллы YAP и YAP:Er (0.5 ат%) из расплавов с формульным составом $YAlO_3$ и $Y_{0.995}Er_{0.005}AlO_3$, а также YAP:Er (0.5 ат%) из расплава с избытком Y_2O_3 ($Y_{1.015}Er_{0.005}AlO_3$). Фазовый состав контролировался на рентгеновском дифрактометре ДРФ-2.0. Реальный состав кристаллов определялся энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (EDX) на установке INCA Energy 300 System. Облучение кристаллов проводилось с использованием источника гамма-излучения ^{60}Co (1.25 МэВ, мощность дозы 468 Гр/час) до величины поглощенной дозы 1 кГр. Термический отжиг кристаллов проводился на воздухе (1100°C, 6 час). Для оптических измерений были изготовлены ориентированные пластины толщиной 1.5 мм. Спектры поглощения в спектральном диапазоне 190–1100 нм измерялись на спектрофотометре SPECORD200 PLUS, а для измерений в диапазоне 1350–1700 нм ($d = 1.5 \pm 0.5$ мм) использовался двухлучевой спектрофотометр Varian CARY 5000.

Для измерения спектров люминесценции использовалась лабораторная установка, схема которой приведена на рис.1. Возбуждение люминесценции осуществлялось лазерным диодом InGaAs, излучающим на длине волны 975 нм. Излучение лазерного диода фокусировалось с помощью линзы на поверхность исследуемого образца. Возбуждаемое излучение люминесценции, промодулированное механическим модулятором светового потока с частотой ~650 Гц, собиралось с помощью широкоапертурной линзы на входной щели монохроматора МДР-23. Излучение люминесценции регистрировалось фотоприемником (Hamamatsu G5851). Сигнал с фотоприемника обрабатывался синхронным усилителем (Stanford Research Systems SR810), на который также подавался опорный

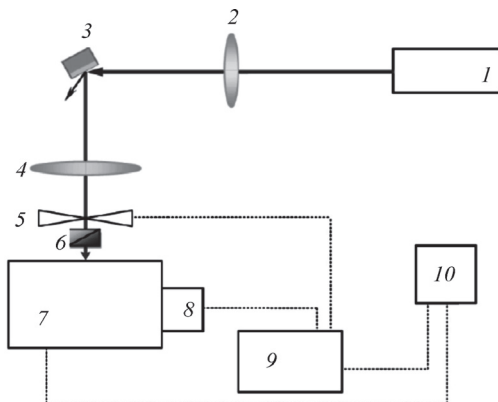


Рис.1. Схема экспериментальной установки для измерения спектров люминесценции: 1 – лазерный диод, 2 – фокусирующая линза, 3 – исследуемый образец, 4 – широкоапертурная линза, 5 – механический модулятор, 6 – поляризатор, 7 – монохроматор, 8 – фотоприемник, 9 – синхронный усилитель, 10 – компьютер.

сигнал от модулятора. Для записи спектров в поляризованном свете перед входной щелью монохроматора помещалась поляризационная призма Глана–Тейлора. Измерения проводились при комнатной температуре.

Для изучения кинетики затухания люминесценции и определения времени жизни уровня $^4I_{13/2}$ ионов Er^{3+} используется лабораторная установка, принципиальная схема которой представлена на рис.2.

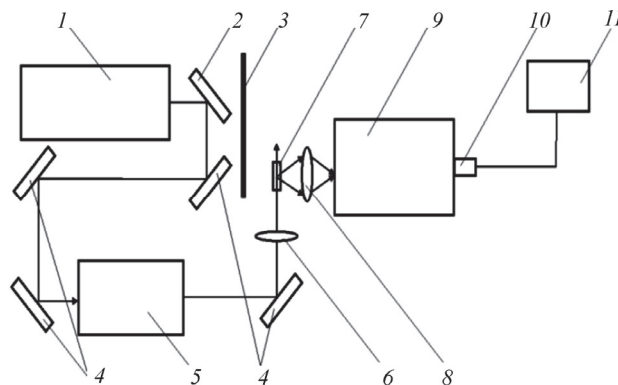


Рис.2. Схема экспериментальной установки для исследования кинетики люминесценции возбужденных состояний ионов-активаторов: 1 – лазер на кристалле Nd:YAG; 2 – сепарирующее зеркало; 3 – экран; 4 – набор поворотных зеркал; 5 – параметрический генератор света; 6, 8 – объективы; 7 – исследуемый образец; 9 – монохроматор; 10 – фотоприемник; 11 – осциллограф цифровой.

Излучение третьей гармоники импульсного YAG:Nd лазера 1 (LOTIS TII LS-2137 с длительностью импульсов излучения 16–18 нс, энергией 145 мДж на длине волны 355 нм и частотой следования 10 Гц) при помощи сепарирующего зеркала 2 с высоким коэффициентом отражения на длине волны 355 нм и высоким коэффициентом пропускания на длине волны 1064 нм и набора поворотных зеркал 4 с высоким коэффициентом отражения на длине волны 355 нм направлялось в параметрический генератор света (ПГС) на основе кристалла ВВО 5 (LOTIS TII LT-2214 со спектральным диапазоном перестройки длины волны 715–2300 нм), который использовался в качестве источника возбуждения люминесценции. Экран 3 использовался для препятствия распространению излучения с длиной волны 1064 нм. Лазерное излучение ПГС с помощью поворотного зеркала 4 фокусировалось объективом 6 в исследуемый образец 7. Излучение люминесценции собиралось объективом 8 с поверхности исследуемого образца и фокусировалось на входную щель монохроматора 9 (МДР-12). Регистрация сигнала люминесценции выполнялась фотоприемником 10 (InGaAs фотодиод Hamamatsu Photonics G5854 с временем отклика менее 10 нс и спектральным диапазоном чувствительности 800–1900 нм) и цифровым осциллографом 12 (TektronixTDS 3052B с полосой пропускания 500 МГц).

3. Результаты и их обсуждение

На рис.3 приведены рентгеновские дифракционные спектры кристаллов. Рентгенограмма на рис.3а соответствует кристаллу YAP:Er (0.5 ат%), выращенному из расплава с формульным составом $\text{Y}_{0.995}\text{Er}_{0.005}\text{AlO}_3$. Кристалл имеет

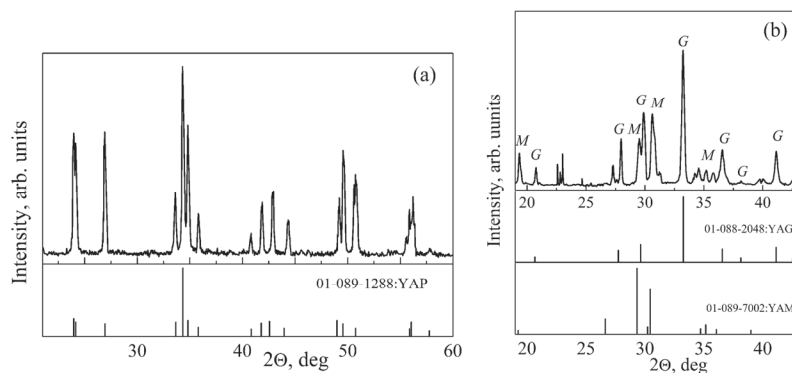


Рис.3. Рентгенограммы кристаллов (a) YAP:Er и (b) конечных участков YAP:Er с избытком Y_2O_3 (*G* – фаза граната, *M* – моноклинная фаза).

светло-розовую окраску, обусловленную полосами поглощения ионов Er^{3+} . Узкие дифракционные пики и их хорошее совпадение с пиками стандартного спектра YAP указывает на то, что кристалл структурно однороден, не содержит посторонних фаз и соответствует орторомбической симметрии $Pbnm$. Кристалл, выращенный из расплава с избытком оксида иттрия ($Y_{1.015}Er_{0.005}AlO_3$), имеет более темную розовую окраску, содержит рассеивающие включения, двойники и неоднородности на поверхности, а последние участки многофазны и непрозрачны. На рис.3b приведена рентгенограмма образца, взятого из конечных участков кристалла. Сравнение со стандартами $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) и $Y_4Al_2O_9$ (YAM) показывает присутствие фазы граната (*G*) и моноклинной фазы (*M*). Можно предположить, что усиление окраски и появление дефектов связано с сегрегацией иттрия, который вытесняется с образованием моноклинной фазы, которая в свою очередь, в силу нестабильности, начинает распадаться на фазу граната и неизвестную фазу [20]. Таким образом, оптимальным для данной геометрии роста является состав расплава, соответствующий формуле $YAlO_3$. В полученных кристаллах двойники и светорассеивающие включения, а также центры окраски, связанные с O^- и F-центрами сведены к минимуму.

Результаты рентгеновского микроанализа (EDX) на многих образцах воспроизводимо показали, что в кристаллах, выращенных из расплавов с составом $YAlO_3$, $Y_{0.995}Er_{0.005}AlO_3$, а также из расплава с избытком иттрия ($Y_{1.015}Er_{0.005}AlO_3$) имеет место избыток алюминия: $Al/Y = 1.05–1.06$. Ввиду дефицита иттрия можно предположить, что анти-сайт дефекты Y_{Al} в исследованных кристаллах отсутствуют, либо их концентрация мала, а избыточный Al замещает узлы Y, т.е. образует анти-сайт дефекты Al_Y . Для сравнения был проведен анализ и ранее полученного изоструктурного аналога $LuAlO_3$, результаты которого показали наличие в кристалле избытка Lu ($Lu/Al = 1.03$). Причиной может быть потеря расплавом Al_2O_3 в процессе выращивания кристалла, так как схема получения $LuAlO_3$, в отличие от $YAlO_3$, предусматривает стадию перегрева [19]. Анти-сайт дефекты Al_Y в перовскитах на сегодняшний день не обнаружены, хотя, согласно расчетам [21, 22], Al в $YAlO_3$ может занимать позиции Y. Вместе с тем анти-сайт позиции ионов иттрия в кристаллах перовскита $YAlO_3$ (Y_{Al}) были однозначно идентифицированы по спектрам ЯМР ^{89}Y [23]. Концентрация анти-сайт дефектов достаточно мала (в гранатах с тем же элементным составом концентрация Y_{Al} по

результатам ЭПР исследований составляет $\sim 0.6\%$ [24], а по спектроскопическим данным 1.5% [25]), поэтому для окончательных выводов необходимы дополнительные измерения другими методами.

На рис.4а приведены спектры поглощения кристаллов, полученных из расплава состава $Y_{0.995}Er_{0.005}AlO_3$, а также из расплава с избытком иттрия ($Y_{1.015}Er_{0.005}AlO_3$). Избыток иттрия в расплаве ведет к увеличению в кристалле поглощения в области 300–600 нм. На рис.4б и 4с показаны соответственно эффекты гамма-облучения и термообработки на спектры поглощения кристаллов, полученных из расплавов с формульным составом $Y_{0.995}Er_{0.005}AlO_3$. Гамма-облучение и термообработка ведут к увеличению поглощения соответственно в областях 220–600 нм и 225–400 нм.

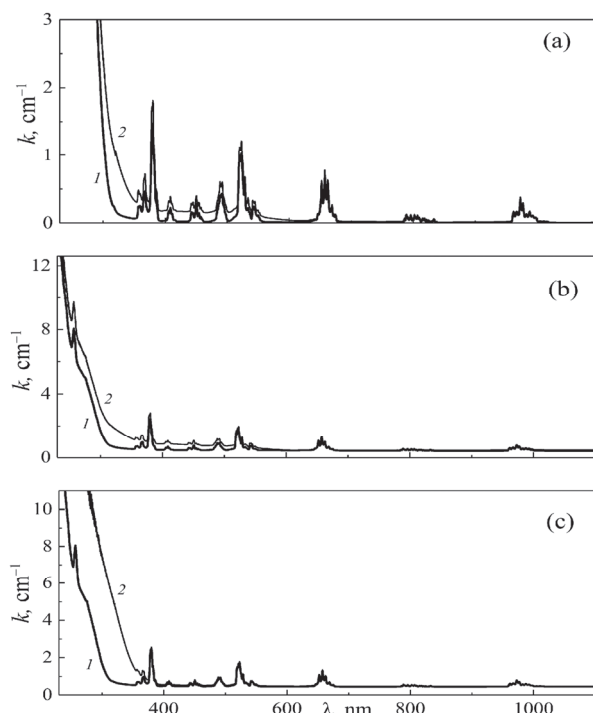


Рис.4. Спектры поглощения кристаллов YAP:Er, (а) полученных из расплавов с составом $Y_{0.995}Er_{0.005}AlO_3$, (1) и $Y_{1.015}Er_{0.005}AlO_3$ (2); (б) до (1) и после (2) гамма-облучения и (с) до (1) и после (2) окислительной термообработки.

На разностных спектрах поглощения (рис.5) выделяются полосы на 240 нм (F-центр [26]), ~ 253 нм (Fe^{3+} [13]), широкие полосы с максимумами на ~ 300 нм и 336 нм (F и F- Y_{Al} центры [10]), полосы в области 400–470 нм (V_c-F^+ центры [27]) и в области 470–650 нм (F^+ центры [28]), которые с разной интенсивностью присутствуют на всех спектрах. Поглощение, наведенное гамма-излучением (< 2 см $^{-1}$, кривая 2), являясь индикатором точечных дефектов, участвующих в формировании центров окраски, такого же порядка, как и в кристалле YAP:Yb [29].

Термообработка эффективна для снятия напряжений и снижает вероятность растрескивания и двойниковогоания в процессе механической обработки кристал-

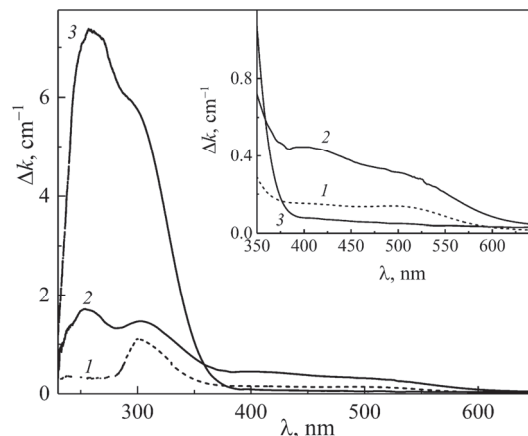


Рис.5. Спектры дополнительного поглощения кристаллов YAP:Er: (1) при введении избытка Y_2O_3 , (2) наведенное гамма-излучением и (3) окислительной термообработкой. На вставке приведена область спектра в диапазоне 350–600 нм в увеличенном масштабе.

лов. Дополнительное поглощение в YAP:Er после окислительной термообработки (рис.5, кривая 3) появляется лишь в УФ области, а в области более длинных волн оно незначительно ($< 0.07 \text{ см}^{-1}$). Поэтому для кристаллов, выращиваемых методом Бриджмена, такая термообработка может быть использована в практических целях.

На рис.6 представлены спектры поглощения кристалла YAP:Er (0.5 ат%) в спектральной области 1425–1600 нм (переход $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ ионов Er^{3+}). В спектре наблюдаются интенсивные узкие полосы поглощения в области 1450–1590 нм с максимумом поглощения на длине волны 1514 нм для поляризации $E \parallel a$. На длине волны 1550 нм, на которой излучает твердотельный лазер на основе кристалла Er,Yb:YAB, используемый в качестве источника накачки при исследовании генерационных характеристик кристаллов Er:YAP [6], коэффициент поглощения составляет 1.8 см^{-1} для поляризации $E \parallel a$.

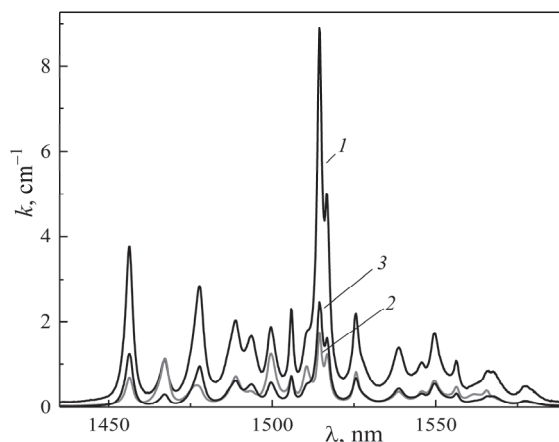


Рис.6. Спектры поглощения кристалла YAP:Er, зарегистрированные в поляризованном свете: 1 – $E \parallel a$, 2 – $E \parallel b$, 3 – $E \parallel c$.

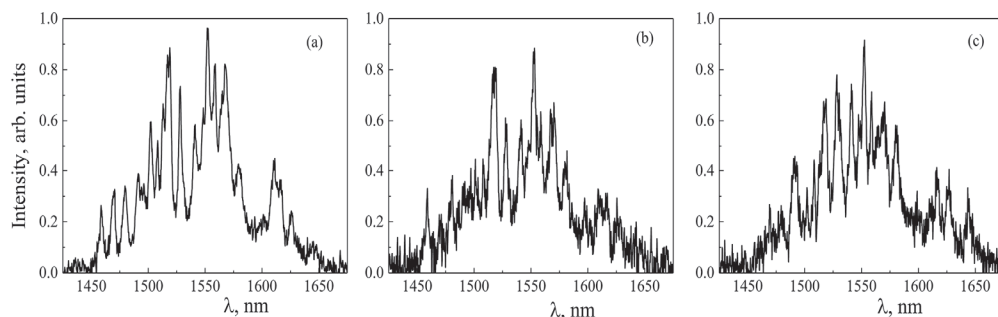


Рис.7. Спектры люминесценции кристалла YAP:Er, зарегистрированные в поляризованном свете: (a) – $E||a$, (b) – $E||b$, (c) – $E||c$.

На рис.7 представлены спектры люминесценции для трех поляризаций, зарегистрированные при комнатной температуре в спектральной области 1425–1625 нм (переход $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+}). Следует отметить наличие достаточно интенсивных полос люминесценции в длинноволновой области спектра около 1.6 мкм с пиком на длине волны 1610 нм для поляризации $E||a$.

Затухание люминесценции с уровня $^4I_{13/2}$ носило моноэкспоненциальный характер. Результаты изучения кинетики затухания представлены на рис.8. Обработка данных показала, что время жизни возбуждённого состояния $^4I_{13/2}$ ионов эрбия в кристалле Er:YAP составляет 8.5 ± 0.5 мсек.

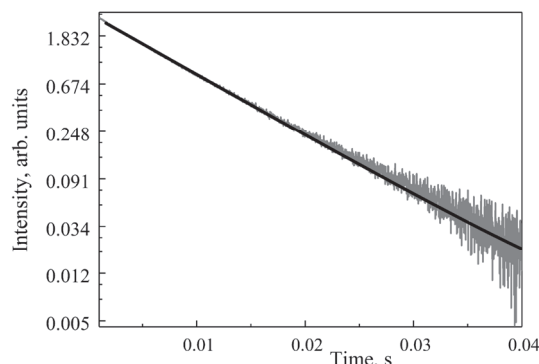


Рис.8. Кинетика затухания люминесценции с уровня $^4I_{13/2}$ ионов эрбия.

4. Заключение

В работе определено, что оптимальный состав расплава при выращивании кристаллов перовскита YAP методом Бриджмена соответствует отношению $Y/Al = 1$. Получены кристаллы YAP, активированные ионами Er^{3+} , свободные от центров окраски, двойников и рассеяния. Изучены изменения оптических свойств кристаллов при воздействии гамма-излучения и окислительной термообработки. В спектре поглощения кристалла YAP:Er наблюдаются интенсивные узкие полосы с максимумом на длине волны 1514 нм для поляризации $E||a$. В спектрах люминесценции наблюдались интенсивные полосы в длинноволновой области спектра с пиком на длине волны 1610 нм для поляризации $E||a$. Измеренное время жизни возбуждённого состояния $^4I_{13/2}$ ионов эрбия составляет 8.5 ± 0.5 мс.

Настоящая работа выполнена при поддержке Госкомитета по науке Республики Армения (проект 21SC-BRFFR-1C002) и Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований (проект BRFFR F21ARM-004).

ЛИТЕРАТУРА

1. **D.Y. Shen, J.K. Sahu, W.A. Clarkson.** Optics Lett., **31**, 754 (2006).
2. **F. Yang, Y. Wang, D.Y. Shen, T. Zhao, X.D. Xu, D.H. Zhou, J. Xu.** Laser Phys. Lett., **9**, 131 (2012).
3. **B.I. Galagan, B.I. Denker, S.E. Sverchkov, N.V. Kuleshov, V.E. Kisel', V.I. Levchenko.** Quantum Electronics, **37**, 351 (2007).
4. **H. Jelinkova, M. Nemec, J. Sulc, K. Nejezchleb, V. Skoda.** Proceedings of SPIE, **7193**, 71930 (2009).
5. **F. Moglia, C. Brandt, G. Huber.** Advanced Solid-State Photonics 2012 (29 January–1 February 2012) San Diego, Cal.: OSA, AM4A.22 (2012).
6. **K.N. Gorbachenya, S.V. Kurilchik, V.E. Kisel, A.S. Yasukevich, N.V. Kuleshov, A.S. Nizamutdinov, S.L. Korableva, V.V. Semashko.** Quantum Electronics, **46**, 95 (2016).
7. **C. Brandt, V. Matrosov, K. Petermann, G. Huber.** Optics Lett., **36**, 1188 (2011).
8. **K.N. Gorbachenya, V.E. Kisel, R.V. Deineka, A.S. Yasukevich, N.V. Kuleshov, V.V. Maltsev, D.D. Mitina, E.A. Volkova, N.I. Leonyuk.** Devices and Methods of Measurements, **10**, 301 (2019).
9. **A.A. Kaminskii.** Laser Crystals: Their Physics and Properties. Berlin, Springer-Verlag, 1990.
10. **J. Kvapil, J. Kvapil, B. Perner, B. Manek, K. Blazek, Z. Hendrich.** Cryst. Res. Technol., **20**, 478 (1985).
11. **L. Gansheng, G. Xibin, L. Jian, S. Zhengzhu, W. Jinhua, C. Ying, C. Jinfeng.** J. Crystal Growth, **118**, 371 (1992).
12. **D.I. Savvitskii, L.O. Vasylechko, A.O. Matkovskii, I.M. Solskii, A. Suchocki, D.Yu. Sugak, F. Wallrafen.** J. Crystal Growth, **209**, 874 (2000).
13. **D. Sugak, A. Matkovskii, D. Savitskii, A. Durygin, A. Suchocki, Y. Zhydachevskii, I. Solskii, I. Stefaniuk, F. Wallrafen.** Phys. Status Solidi A, **184**, 239 (2001).
14. **P.-O. Petit, J. Petit, P. Goldner, B. Viana.** J. Lumin., **129**, 1586 (2009).
15. **A.C. Руденков, В.Э. Кисель, А.С. Ясюкевич, К.Л. Ованесян, А.Г. Петросян, Н.В. Кулешов.** Приборы и методы измерений, **11**, 179 (2020).
16. **A. Rudenkov, V. Kisel, A. Yasukevich, K. Hovhannesian, A. Petrosyan, N. Kuleshov.** Optics Lett., **42**, 2415 (2017).
17. **A.A. Chernov, E.I. Givargizov, Kh.S. Bagdasarov, V.A. Kuznetsov, L.N. Demianets, A.N. Lobachev.** Modern Crystallography III. Crystal Growth. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York–Tokyo, 1984.
18. **Х.С. Багдасаров.** Высокотемпературная кристаллизация из расплава. Москва, Физматлит, 2004.
19. **A.G. Petrosyan.** J. Crystal Growth, **139**, 372 (1994).
20. **J.S. Abell, I.R. Harris, B. Cockayne, B. Lent.** J. Mater. Sci., **9**, 527 (1974).
21. **M.M. Kuklja.** J. Phys.: Condens. Matter, **12**, 2953 (2000).
22. **A.P. Patel, C.R. Stanek, R.W. Grimes.** Phys. Status Solidi B, **250**, 1624 (2013).

23. V. Babin, V. Gorbenko, I. Kondakova, T. Karner, V.V. Laguta, M. Nikl, S. Zazubovich, Yu. Zorenko. J. Phys. D: Appl. Phys., **44**, 315402 (2011).
24. H.R. Asatryan. Armenian J. Phys., **15**, 125 (2022).
25. Ю.К. Воронько, А.А. Соболев. Академия Наук СССР, Труды Физического Института им. П.Н. Лебедева, **98**, 41 (1977).
26. Yu.V. Zorenko, A.S. Voloshinovskii, I.V. Konstankevych. Opt. Spectrosc., **96**, 532 (2004).
27. Y. Dong, J. Xu, G. Zhou, G. Zhao, L. Su, X. Xu, H. Li, J. Si. Phys. Status Solidi A, **204**, 608 (2007).
28. J.A. Mares, N. Cechova, M. Nikl, J. Kvapil, R. Kratky, J. Pospisil. J. Alloys and Compounds, **275**, 200 (1998).
29. K.L. Hovhannesian, M.V. Derdzyan, A.V. Eganyan, V.E. Kisel, A.S. Rudenkov, N.V. Kuleshov, A.G. Petrosyan. J. Contemp. Phys., **55**, 131 (2020).

YAlO₃:Er ՄԻԱԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐԸ 1.6 մկմ
ՄՊԵԿՏՐԱԼ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԼԱԶԵՐՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Մ.Վ. ԴԵՐԶՅԱՆ, Կ.Լ. ՀՈՎՀԱՆՆԵՍՅԱՆ, Ա.Վ. ԵԳԱՆՅԱՆ, Ի. ՂԱՍԲԱՐՅԱՆ,
Գ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Կ.Ն. ԳՈՐԲԱԶԵՆՅԱՆ, Վ.Ե. ԿԻՍԵԼ,
Ն.Վ. ԿՈՒԼԵՇՈՎ, Ա.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

YAlO₃-Er (YAP:Er) միաբյուրեղները աճեցվել են Բրիջմանի եղանակով հալույթներից տարբեր Y/Al հարաբերակցությամբ: Համեմատվել է բյուրեղներում կառուցվածքային արատների և գունավորման կենտրոնների ձևավորումը Y/Al = 1 և Y/Al > 1 համար, ինչպես նաև գամմա- ճառագայթման և ջերմային մշակման դեպքում: Ստացված արդյունքների հիման վրա որոշվել են գունավորման կենտրոններից և կրկնակներից գերծ YAP:Er բյուրեղների աճեցման պայմանները: Հետազոտվել են բյուրեղների սպեկտրալ-լյումինեսցենցիային հատկությունները՝ գրանցվել են բևեռացած լույսում կլանման և լյումինեսցենցիայի սպեկտրերը, հետազոտվել է լյումինեսցենցիայի կինետիկան և որոշվել է Er³⁺ իոնի ⁴I_{3/2} մակարդակի կյանքի տևողությունը:

SINGLE CRYSTALS OF YAlO₃:Er FOR 1.6 μm SPECTRAL RANGE LASERS

M.V. DERDZYAN, K.L. HOVHANNESYAN, A.V. YEGANYAN,
I. GHAMBARYAN, G. BADALYAN, K.N. GORBACHENYA,
V.E. KISEL, N.V. KULESHOV, A.G. PETROSYAN

Single crystals of YAlO₃-Er (YAP:Er) are grown by the Bridgman method from melts with different Y/Al ratio. The structural defects and color centers are compared for Y/Al = 1 и Y/Al > 1, as well as formed in the processes of gamma-irradiation and thermal treatment. Based on the obtained data, growth conditions of YAP:Er crystals free of color centers and twins are determined. Spectral-luminescent properties of crystals are investigated, i.e., the polarized absorption and luminescent spectra are registered, the luminescence kinetics is investigated and the lifetime of the ⁴I_{3/2} level of Er³⁺ ion is determined.