

04,09

Структура, фазовый состав и спектрально-люминесцентные свойства кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония, легированных ионами Yb^{3+}

© М.А. Борик¹, Е.Е. Ломонова¹, А.В. Кулебякин¹, В.А. Мызина¹, П.А. Рябочкина²,
Н.В. Сидорова², Н.Ю. Табачкова³, А.Н. Чабушкин²

¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,
Москва, Россия

² Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Саранск, Россия

³ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, Россия

E-mail: ryabochkina@freemail.mrsu.ru

(Поступила в Редакцию 11 января 2016 г.)

При исследовании кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония составов $97.2 \text{ mol. \% ZrO}_2 - 1.0 \text{ mol. \% Y}_2\text{O}_3 - 1.8 \text{ mol. \% Yb}_2\text{O}_3$, $97.2 \text{ mol. \% ZrO}_2 - 2.0 \text{ mol. \% Y}_2\text{O}_3 - 0.8 \text{ mol. \% Yb}_2\text{O}_3$, $97.2 \text{ mol. \% ZrO}_2 - 2.5 \text{ mol. \% Y}_2\text{O}_3 - 0.3 \text{ mol. \% Yb}_2\text{O}_3$ и $96.3 \text{ mol. \% ZrO}_2 - 3.4 \text{ mol. \% Y}_2\text{O}_3 - 0.3 \text{ mol. \% Yb}_2\text{O}_3$ методом просвечивающей электронной микроскопии в них обнаружена развитая двойниковая структура.

Результаты рентгенофазового анализа для данных кристаллов свидетельствуют о наличии в них двух тетрагональных фаз: трансформируемой (t) и нетрансформируемой (t').

С помощью экспериментов по оптической спектроскопии кристаллов $\text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3 - \text{Yb}_2\text{O}_3$ с тетрагональной и кубической структурой выявлено, что в кристаллах частично стабилизированного диоксида циркония, легированных ионами Yb^{3+} , образуются оптические центры ионов Yb^{3+} , аналогичные по кристаллическому строению оптическим центрам в кристаллах кубического диоксида циркония.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ офи_м (проект № 13-02-051) и государственного задания № 0708 0210059 611 („Организация проведения научных исследований“).

1. Введение

Уникальность физико-химических свойств материалов на основе диоксида циркония обеспечивает их широкое практическое применение в приборостроении, авиакосмической, химической и электротехнической промышленности, энергетике, медицине. Несмотря на достигнутые успехи в области разработки технологии получения и исследования свойств этих материалов, задачи по поиску и получению новых составов материалов на основе диоксида циркония с заданными свойствами являются по-прежнему актуальными.

Для практики представляют интерес стабилизированные высокотемпературные фазы ZrO_2 с кубической либо тетрагональной кристаллической структурой [1–3]. Для кристаллов стабилизированного диоксида циркония содержание стабилизирующего оксида составляет 12–14 mol.%. В кристаллах частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСДЦ) содержание стабилизирующего оксида составляет 2–5 mol.%.

Значительный интерес исследователей вызывают кристаллы стабилизированного и частично стабилизированного диоксида циркония, легированные редкоземельными ионами (Nd^{3+} , Eu^{3+} , Er^{3+} , Yb^{3+}). С научной точки зрения этот интерес обусловлен выявлением фундаментальных основ влияния оксидов редкоземельных (РЗ)

ионов на структуру и свойства материалов на основе диоксида циркония. С практической стороны представляют интерес разработка и оптимизация технологии получения материалов на основе диоксида циркония с заданными свойствами.

Ранее нами выполнены исследования структуры, фазового состава и особенностей формирования оптических центров Nd^{3+} , Er^{3+} в материалах на основе диоксида циркония с различным содержанием Y_2O_3 , легированных оксидами Nd_2O_3 и Er_2O_3 соответственно. Результаты этих исследований представлены в [4–6]. В этих работах также отражены особенности формирования в кристаллах частично стабилизированного диоксида циркония оптических центров ионов Nd^{3+} и Er^{3+} , соответствующих началу и концу лантаноидного ряда.

Целью настоящей работы является исследование структуры и фазового состава кристаллов ЧСДЦ, легированных ионами Yb^{3+} , а также выявление особенностей формирования оптических центров ионов Yb^{3+} в данных кристаллах.

2. Характеристика объектов и методов исследования

В качестве объектов исследования в настоящей работе были выбраны: кристаллы ЧСДЦ составов

Составы исследованных кристаллов на основе диоксида циркония и соответствующие им обозначения

№ п/п	Состав кристалла	Обозначение
1	97.2 mol.% ZrO ₂ – 1.0 mol.% Y ₂ O ₃ – 1.8 mol.% Yb ₂ O ₃	1.8Yb–1.0Y–97.2Zr
2	97.2 mol.% ZrO ₂ – 2.0 mol.% Y ₂ O ₃ – 0.8 mol.% Yb ₂ O ₃	0.8Yb–2.0Y–97.2Zr
3	97.2 mol.% ZrO ₂ – 2.5 mol.% Y ₂ O ₃ – 0.3 mol.% Yb ₂ O ₃	0.3Yb–2.5Y–97.2Zr
4	96.3 mol.% ZrO ₂ – 3.4 mol.% Y ₂ O ₃ – 0.3 mol.% Yb ₂ O ₃	0.3Yb–3.4Y–96.3Zr
5	86 mol.% ZrO ₂ – 10 mol.% Y ₂ O ₃ – 4.0 mol.% Yb ₂ O ₃	4.0Yb–10.0Y–86.0Zr

97.2 mol. % ZrO₂ – 1.0 mol. % Y₂O₃ – 1.8 mol. % Yb₂O₃, 97.2 mol. % ZrO₂ – 2.0 mol. % Y₂O₃ – 0.8 mol. % Yb₂O₃, 97.2 mol. % ZrO₂ – 2.5 mol. % Y₂O₃ – 0.3 mol. % Yb₂O₃ и 96.3 mol. % ZrO₂ – 3.4 mol. % Y₂O₃ – 0.3 mol. % Yb₂O₃, а также кристалл стабилизированного диоксида циркония 86 mol. % ZrO₂ – 10 mol. % Y₂O₃ – 4 mol. % Yb₂O₃. Составы кристаллов на основе диоксида циркония, легированные ионами Yb³⁺, и соответствующие им обозначения, используемые в дальнейшем в работе, представлены в таблице.

Выращивание кристаллов, выбранных для проведения исследований, осуществлялось на установке „Кристалл-407“ методом направленной кристаллизации расплава с использованием прямого индуцированного нагрева в холодном тигле диаметром 130 mm при скорости роста 10 mm/h. Рабочей атмосферой являлся воздух. В качестве исходных материалов использовались оксиды циркония, иттрия, иттербия, эрбия квалификации осч.

Эксперименты по изучению структуры кристаллов ZrO₂ с различным содержанием Y₂O₃, активированных ионами Yb³⁺, были выполнены методом просвечивающей электронной микроскопии с помощью микроскопа JEM-2100 при ускоряющем напряжении 200 kV. Для подготовки исследуемых образцов из кристаллов были вырезаны пластины толщиной 200 μm с последующим формированием лунки и утонением с помощью ионного травления.

Исследования фазового состава и структуры кристаллов выполнены на кристаллических образцах с помощью рентгенодифрактометрического анализа на установке Bruker D8. Для исследования были изготовлены образцы, ориентированные по плоскости (100).

Спектры комбинационного рассеяния света (КРС) для кристаллов на основе диоксида циркония, легированных ионами Yb³⁺, были зарегистрированы с помощью рамановского микроскопа-спектрометра Renishaw in Via. Спектры люминесценции зарегистрированы с помощью спектрометра Horiba FHR 1000. В качестве приемника оптического излучения использовался InGaAs-фотодиод.

Спектры люминесценции с уровня ⁴F_{5/2} ионов Yb³⁺ возбуждались излучением лазера Al₂O₃:Ti с длиной волны 907 nm и длительностью импульса 10 ns. Временное окно регистрации спектров люминесценции составлялось с помощью бокскар-интегратора SR 250 и составляло 15 μs.

С целью исключения эффекта реабсорбции образцы для регистрации спектров люминесценции представляли

собой отполированные пластинки толщиной 100 μm для кристаллов 4.0Yb–10.0Y–86.0Zr, 1.8Yb–1.0Y–97.2Zr, 0.8Yb–2.0Y–97.2Zr, 0.3Yb–2.5Y–97.2Zr, 0.3Yb–3.4Y–96.3Zr. Регистрация спектров люминесценции для всех исследованных образцов осуществлялась в геометрии, близкой к 180°.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Исследования методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) образцов кристаллов ЧСДЦ составов 1.8Yb–1.0Y–97.2Zr, 0.8Yb–2.0Y–97.2Zr, 0.3Yb–2.5Y–97.2Zr, 0.3Yb–3.4Y–96.3Zr показали наличие в них развитой двойниковой структуры (рис. 1, *a–d*).

Ранее при исследовании кристаллов ЧСДЦ, не содержащих примесь РЗ-ионов (ZrO₂–Y₂O₃), а также легированных ионами Nd³⁺ (ZrO₂–Y₂O₃–Nd₂O₃) и Er³⁺ (ZrO₂–Y₂O₃–Er₂O₃), нами было выявлено, что увеличение суммарной концентрации стабилизирующих оксидов (оксид РЗ-иона является стабилизирующим так же, как и оксид иттрия) приводит к более однородному характеру морфологии двойниковой структуры и уменьшению размера двойников [4,6,7].

Интересным фактом, выявленным в ходе нашего исследования, является различие характера двойниковой доменной структуры для кристаллов 0.3Yb–3.4Y–96.3Zr и 0.3Er–3.4Y–96.3Zr с одинаковой суммарной концентрацией стабилизирующих оксидов и одинаковой концентрацией Y₂O₃. Из анализа изображений ПЭМ (рис. 2, *a*) следует, что морфология структуры кристаллов 0.3Er–3.4Y–96.3Zr представлена в основном мелкими доменами. При этом изображение ПЭМ для кристаллов 0.3Yb–3.4Y–96.3Zr (рис. 2, *b*) свидетельствует о присутствии доменов более крупных размеров по сравнению с кристаллами 0.3Er–3.4Y–96.3Zr (рис. 2, *a*).

В работах [8–11] показано, что эффективным методом определения фазового состава кристаллов на основе диоксида циркония является метод КРС.

Спектры КРС, полученные в ходе выполнения настоящей работы для кристаллов 1.8Yb–1.0Y–97.2Zr, 0.8Yb–2.0Y–97.2Zr, 0.3Yb–2.5Y–97.2Zr, 0.3Yb–3.4Y–96.3Zr, 4.0Yb–10.0Y–86.0Zr, показаны на рис. 3.

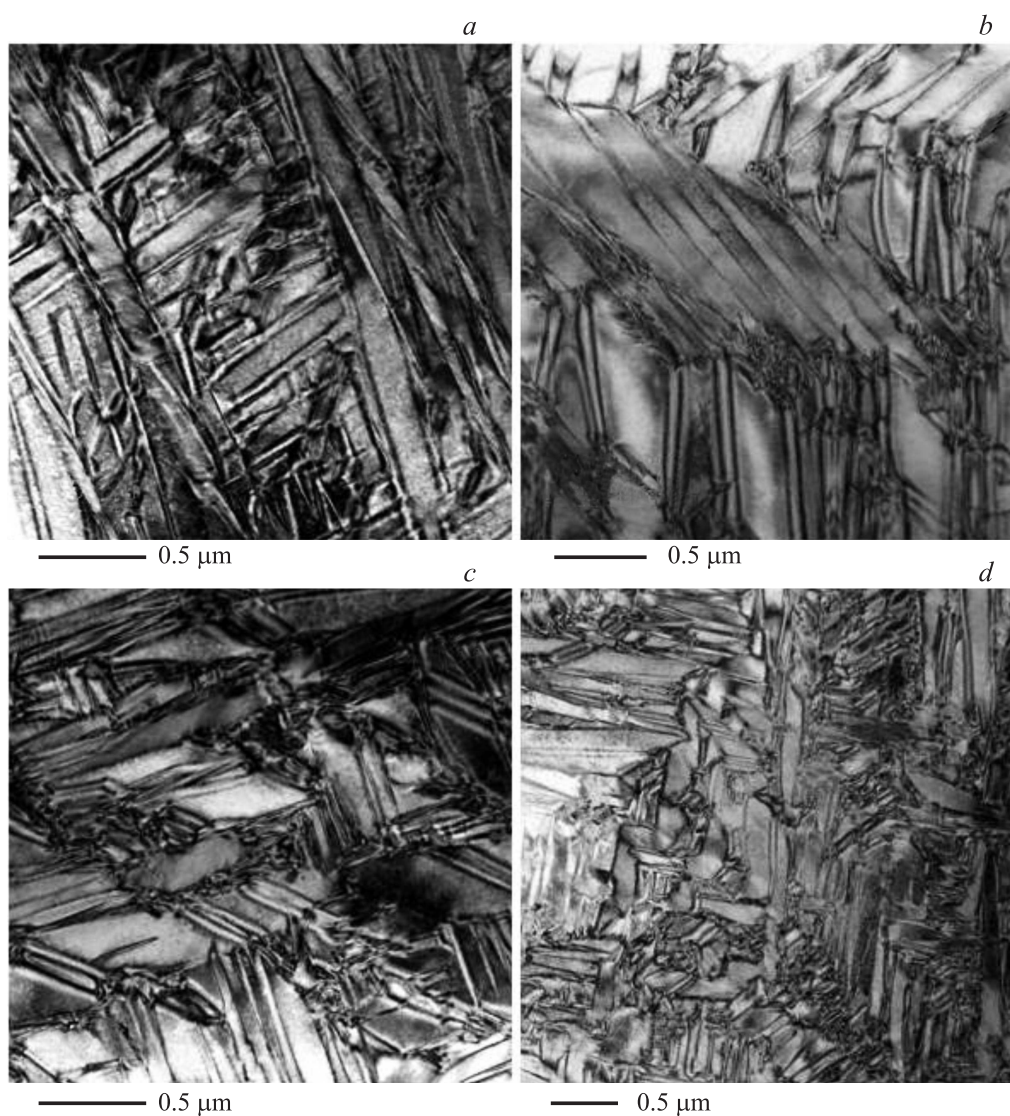


Рис. 1. Фотографии структуры, полученные методом ПЭМ для образцов кристаллов ЧСДЦ различных составов. *a* — 1.8Yb–1.0Y–97.2Zr, *b* — 0.8Yb–2.0Y–97.2Zr, *c* — 0.3Yb–2.5Y–97.2Zr, *d* — 0.3Yb–3.4Y–96.3Zr.

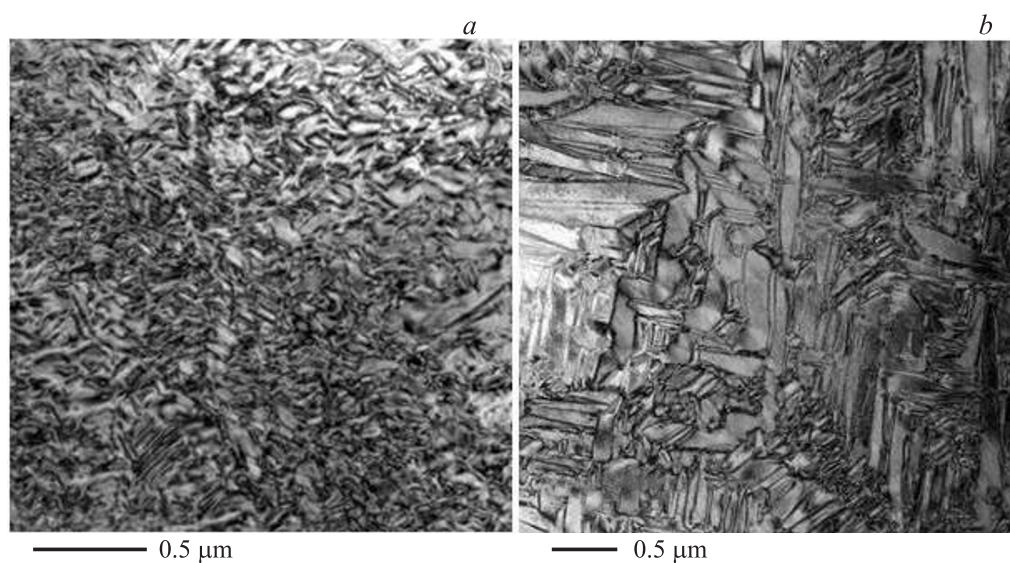


Рис. 2. Фотографии структуры, полученные методом ПЭМ для различных кристаллов. *a* — 0.3Er–3.4Y–96.3Zr, *b* — 0.3Yb–3.4Y–96.3Zr.

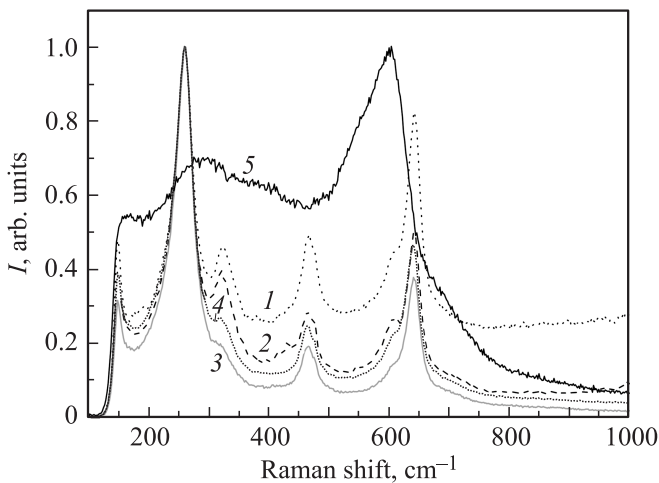


Рис. 3. Спектры КРС для кристаллов $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$ (1), $0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$ (2), $0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$ (3), $0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$ (4), $4.0\text{Yb}-10.0\text{Y}-86.0\text{Zr}$ (5).

Из рис. 3 следует, что спектры кристаллов $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$ имеют одинаковую форму, а положение соответствующих пиков в этих спектрах свидетельствует о том, что доминирующей фазой в исследованных кристаллах ЧСДЦ является тетрагональная фаза [8]. Спектр КРС кристалла $4.0\text{Yb}-10.0\text{Y}-86.0\text{Zr}$ соответствует спектру кубической фазы стабилизированного диоксида циркония [8].

В работах [9–11] отмечалось, что характерной особенностью кристаллов ЧСДЦ является наличие в них двух тетрагональных фаз с разной степенью тетрагональности: трансформируемой фазы (t), которая при воздействии механических напряжений может подвергаться мартенситному переходу в моноклинную фазу, и нетрансформируемой фазы (t'), которая не превращается в моноклинную фазу даже при интенсивном механическом воздействии на образец.

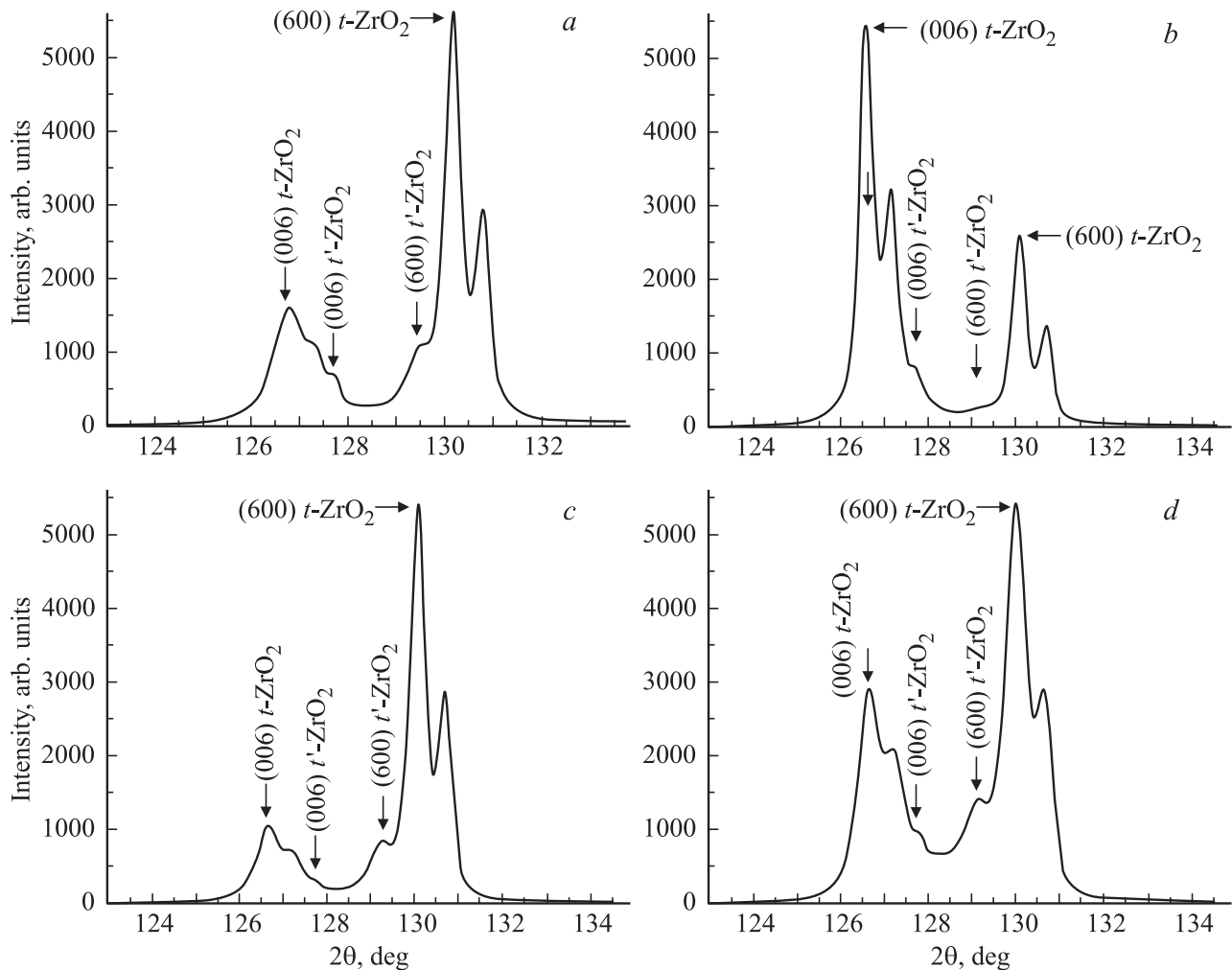


Рис. 4. Участки дифрактограмм в области рефлексов от плоскостей (006) и (600) в $\text{CuK}\alpha$ -излучении для различных кристаллов. $a - 1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $b - 0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $c - 0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $d - 0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$.

Выявить наличие тетрагональных фаз t и t' в кристаллах ЧСДЦ позволяют результаты рентгенофазового анализа (РФА). На рис. 4, $a-d$ представлены участки дифрактограмм в области рефлексов от плоскостей (006) и (600) в $\text{CuK}\alpha$ -излучении для кристаллов ЧСДЦ составов $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$.

Присутствие на дифрактограмме одновременно отражений от плоскостей (001) и (100) связано с наличием двойников в этих кристаллах. Кроме того, из дифрактограмм, приведенных на рис. 4, $a-d$, видно, что для всех исследованных кристаллов характерно наличие как трансформируемой, так и нетрансформируемой тетрагональной фазы.

В работе [6] нами было показано, что фазовые составы кристаллов ЧСДЦ могут существенно различаться при одних и тех же суммарных концентрациях иттрия и легирующих добавок. Например, в кристаллах ЧСДЦ $\text{ZrO}_2-1 \text{ mol.}\% \text{Y}_2\text{O}_3$ дополнительное введение $1.8 \text{ mol.}\% \text{Er}_2\text{O}_3$ позволяет стабилизировать только трансформируемую фазу [6], а при введении оксида неодима в том же количестве в кристаллах $1.8\text{Nd}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$ сохраняется моноклинная фаза [4]. Результаты настоящей работы подтверждают вывод о том, что при одних и тех же значениях легирующего и стабилизирующего оксидов их фазовые составы могут различаться. Так, результаты РФА, полученные в настоящей работе для кристаллов $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, свидетельствуют о наличии в них как трансформируемой (t), так и нетрансформируемой (t') тетрагональной фазы.

Ранее при исследовании кристаллов ЧСДЦ, легированных ионами Nd^{3+} , а также кристаллов ЧСДЦ, легированных ионами Nd^{3+} и Ce^{3+} , нами были получены характерные спектры люминесценции оптических центров ионов Nd^{3+} , занимающих позиции в t - и t' -фазах соответственно [4].

При исследовании спектрально-люминесцентных характеристик кристаллов ЧСДЦ, легированных ионами Er^{3+} , характерные спектры ионов Er^{3+} , занимающих позиции в трансформируемой и нетрансформируемой фазах не выявлены. В работе [6] был сделан вывод о том, что доминирующим фактором, влияющим на формирование оптических центров ионов Er^{3+} как в кристаллах ЧСДЦ, так и в кристаллах стабилизированного диоксида циркония, является наличие или, наоборот, отсутствие структурных дефектов в окружении РЗ-иона.

В ходе выполнения настоящей работы представлялось интересным выявить закономерности формирования оптических центров ионов Yb^{3+} в кристаллах ЧСДЦ, легированных ионами Yb^{3+} .

Исследованию спектрально-люминесцентных свойств кристаллов стабилизированного иттрием диоксида циркония, легированных ионами Yb^{3+} , посвящена работа [12]. Авторы данной работы выделили в спектрах кристаллов стабилизированного диоксида циркония, легированного ионами Yb^{3+} , характерные линии в спектрах поглощения и люминесценции, обозначенные ими

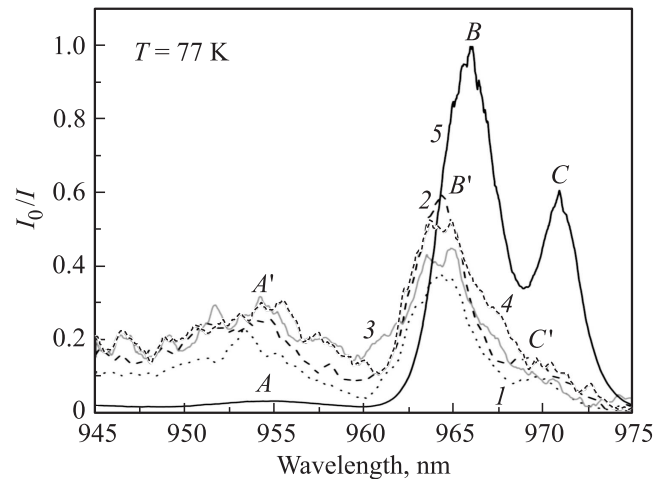


Рис. 5. Спектры поглощения для кристаллов $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$ (1), $0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$ (2), $0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$ (3), $0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$ (4), $4.0\text{Yb}-10.0\text{Y}-86.0\text{Zr}$ (5), обусловленные переходом между нижними компонентами электронных уровней $2F_{5/2}$ и $2F_{7/2}$ ионов Yb^{3+} .

как A, B и C. Линия A соответствует ионам Yb^{3+} , занимающим позиции в центре кислородного восьмивершинника. Линия B отвечает ионам Yb^{3+} , находящимся в центре восьмивершинника и имеющим вакансию во второй координационной сфере. Линия C относится к ионам Yb^{3+} , занимающим позиции в центре семивершинника, образованного ионами кислорода.

На рис. 5 показаны спектры поглощения, зарегистрированные в настоящей работе для кристаллов $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$, $4.0\text{Yb}-10.0\text{Y}-86.0\text{Zr}$ при $T = 77 \text{ K}$, обусловленные переходом между нижними компонентами электронных уровней $2F_{5/2}$ и $2F_{7/2}$ ионов Yb^{3+} . Линии в спектре поглощения кристалла $4.0\text{Yb}-10.0\text{Y}-86.0\text{Zr}$ обозначены в соответствии с [12] как A, B и C. Из рис. 5 видно, что в спектрах поглощения кристаллов ЧСДЦ с Yb^{3+} , как и в кристаллах $4.0\text{Yb}-10.0\text{Y}-86.0\text{Zr}$, также можно выделить три характерные неоднородно уширенные спектральные линии. При этом полосы в кристаллах ЧСДЦ с Yb^{3+} несколько отличаются от соответствующих линий A, B и C в кристаллах стабилизированного иттрием диоксида циркония, легированных ионами Yb^{3+} , по положению максимумов и отношению интенсивностей линий. Максимумы соответствующих спектральных линий в кристаллах ЧСДЦ с Yb^{3+} обозначены нами как A', B', C'.

На рис. 6 приведены спектры люминесценции для перехода $2F_{5/2} \rightarrow 2F_{7/2}$ ионов Yb^{3+} в кристаллах $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$, $4.0\text{Yb}-10.0\text{Y}-86.0\text{Zr}$, зарегистрированные при возбуждении лазером $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}$ с $\lambda_{\text{ex}} = 907 \text{ nm}$. Полосы в спектрах люминесценции для кристаллов стабилизированного диоксида циркония обозначены как A, B, C, а соответствующие полосы для кристаллов ЧСДЦ с Yb^{3+} — как A', B', C'.

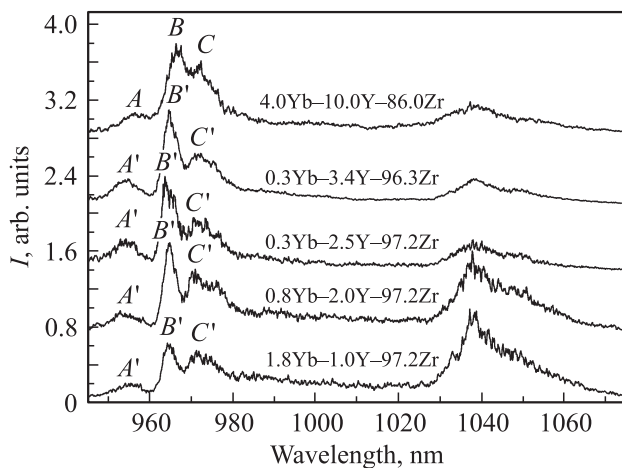


Рис. 6. Спектры люминесценции кристаллов $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$, $4.0\text{Yb}-10.0\text{Y}-86.0\text{Zr}$ для перехода ${}^2F_{5/2} \rightarrow {}^2F_{7/2}$ ионов Yb^{3+} . $\lambda_{\text{ex}} = 907 \text{ nm}$, $T = 300 \text{ K}$.

Сравнительный анализ спектров люминесценции кристаллов ЧСДЦ с Yb^{3+} составов $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$ и кристалла стабилизированного диоксида циркония $4.0\text{Yb}-10.0\text{Y}-86.0\text{Zr}$ показывает, что их контуры по форме близки друг другу, но в то же время наблюдаются и некоторые различия. Спектральные полосы A' и B' в кристаллах ЧСДЦ, легированных ионами Yb^{3+} , значительно неоднородно уширены и смещены относительно полос A и B в кристаллах стабилизированного диоксида циркония в более коротковолновую область спектра. Полоса C' в указанных выше кристаллах ЧСДЦ с Yb^{3+} имеет сложный контур и, как минимум, состоит из двух неоднородно уширенных линий.

Из сравнительного анализа спектров поглощения и люминесценции кристаллов $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$ и $4.0\text{Yb}-10.0\text{Y}-86.0\text{Zr}$ и результатов РФА, из которых следует, что указанные выше кристаллы ЧСДЦ с Yb^{3+} содержат как трансформируемую, так и нетрансформируемую тетрагональную фазу, можно заключить следующее. Как в t -, так и в t' -фазе указанных выше кристаллов ЧСДЦ с Yb^{3+} формируются оптические центры, описанные ранее в работе [12], а именно: 1) занимающие позиции в центре кислородного восьмигранника; 2) имеющие вакансию во второй координационной сфере; 3) расположенные в центрах кислородных семигранников. В соответствии с этим приведенные спектры поглощения (рис. 5) и спектры люминесценции (рис. 6) представляют собой суперпозицию спектральных линий указанных центров, занимающих кристаллические позиции в t - и t' -фазах в кристаллах $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$.

Увеличение концентрации стабилизирующего оксида в кристаллах $4.0\text{Yb}-10.0\text{Y}-86.0\text{Zr}$ приводит к росту в

них числа анионных вакансий и образованию оптических центров Yb^{3+} , обусловленных наличием вакансий не только в первой и второй, но и следующих за ними координационных сферах. Это приводит к значительному неоднородному уширению и перекрытию линий в спектре люминесценции данных кристаллов.

4. Заключение

Таким образом, в настоящей работе изучены морфология структуры и фазовый состав кристаллов $1.8\text{Yb}-1.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.8\text{Yb}-2.0\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-2.5\text{Y}-97.2\text{Zr}$, $0.3\text{Yb}-3.4\text{Y}-96.3\text{Zr}$. Во всех исследованных кристаллах ЧСДЦ выявлена развитая двойниковая доменная структура.

При исследовании указанных выше кристаллов ЧСДЦ с Yb^{3+} методом РФА в них выявлено наличие двух тетрагональных фаз: трансформируемой (t) и нетрансформируемой (t').

Полученные в работе спектры поглощения и люминесценции ионов Yb^{3+} в кристаллах частично стабилизированного диоксида циркония представляют собой суперпозицию спектральных линий оптических центров Yb^{3+} , занимающих кристаллические позиции в t - и t' -фазах.

Список литературы

- [1] O. Ruff, F. Ebert. Z. Anorg. Allgem. Chem. **180**, 1, 19 (1929).
- [2] G.M. Wollten. J. Am. Ceram. Soc. **46**, 9, 418 (1963).
- [3] V.I. Aleksandrov, V.V. Osiko, A.M. Prochorov, V.M. Tatarintsev. Current Top. Mater. Sci. **1**, 421 (1978).
- [4] M.A. Borik, T.V. Volkova, A.V. Kulebyakin, E.E. Lomonova, F.O. Milovich, V.A. Myzina, V.V. Osiko, P.A. Ryabochkina, N.Yu. Tabachkova, M.A. Uslamina, S.N. Ushakov, A.N. Chabushkin. J. Alloys Comp. **621**, 295 (2015).
- [5] М.А. Борик, Т.В. Волкова, А.Н. Кулебякин, Е.Е. Ломонова, Ф.О. Милович, В.А. Мызина, П.А. Рябочкина, Н.Ю. Табачкова, А.Н. Чабушкин. Опт. и спектр. **118**, 69 (2015).
- [6] П.А. Рябочкина, М.А. Борик, Е.Е. Ломонова, А.В. Кулебякин, Ф.О. Милович, В.А. Мызина, Н.Ю. Табачкова, Н.В. Сидорова, А.Н. Чабушкин. ФТТ **57**, 8, 1549 (2015).
- [7] М.А. Борик, В.Т. Бублик, А.В. Кулебякин, Е.Е. Ломонова, Ф.О. Милович, В.А. Мызина, В.В. Осико, С.В. Серяков, Н.Ю. Табачкова. ФТТ **55**, 8, 1578 (2013).
- [8] В.И. Александров, Ю.К. Воронько, Б.В. Игнатьев, Е.Е. Ломонова, В.В. Осико, А.А. Соболев. ФТТ **20**, 2, 528 (1978).
- [9] R.H.J. Hannink, P.V. Kelly, V.C. Muddle. J. Am. Ceram. Soc. **83**, 3, 461 (2000).
- [10] A.H. Heuer. J. Am. Ceram. Soc. **70**, 10, 689 (1987).
- [11] Ф.О. Милович. Структура и механические свойства кристаллов ZrO_2 , частично стабилизированных Y_2O_3 . Автореф. канд. дис. НИТУ „МИСиС“, М. (2013). 24 с.
- [12] Ю.К. Воронько, М.А. Вишнякова, Е.Е. Ломонова, А.В. Попов, А.А. Соболев, С.Н. Ушаков, В.Е. Шукшин. Неорган. материалы **40**, 5, 585 (2004).