

При положительной динамике $\Delta_1 > 0$ и $\Delta_2 > 0$, значит $\text{sgn}(\Delta_1) = 1$ и $\text{sgn}(\Delta_2) = 1$. В сумме получается 2. Если одно из значений Δ_1 или Δ_2 равно нулю, то в сумме получится 1. При любом исходном значении уровня успеваемости наблюдается ее повышение.

Достоинством такого подхода является простота вычисления функционала, быстрота получения результата динамики успеваемости.

Основным недостатком такого подхода является невозможность проанализировать отдельно динамику в первом и втором семестре, поскольку используется операция суммирования. Также такой функционал позволяет только зафиксировать изменение динамики, но не ее количественную характеристику.

Рассмотрим результаты двух сессий одной группы технической специальности, изучающих математику в течение этих семестров. Результаты по математике представлены в табл. 3.

Положительная динамика учебной деятельности в данной группе обучающихся наблюдается в

4 случаях, падение эффективности учебной деятельности зафиксировано в 2 случаях, а в остальных случаях требуется дополнительное исследование. Метод дает оценку степени динамики учебной деятельности по результатам успеваемости в двух и более семестрах.

Для оценки качества результатов деятельности студентов при изучении математических дисциплин необходимо определить уровень сформированности значимых умений математической компетенции. Этот уровень также является важным критерием эффективности учебной деятельности студента.

Литература

1. Канашевич, Т.Н., Математические методы в оценивании эффективности учебной деятельности студента / Т.Н. Канашевич, М.А. Гундина, Н.А. Кондратьева // «Адукацыя і выхаванне». – Минск, 2019. – С. 44–53.

2. Стась, Н.Ф. Критерий эффективности учебного процесса в вузе / Н.Ф. Стась // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5.

УДК 53

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ИОНОВ САМАРИЯ В КВАРЦЕВЫХ ГЕЛЬ-СТЕКЛАХ

Малашкевич Г.Е.¹, Корниенко А.А.², Прусова И.В.³, Прихач Н.К.³

¹ Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

² Витебский государственный технологический университет

Витебск, Республика Беларусь

³ Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Переходы из метастабильных состояний ${}^4G_{5/2}$ и 5D_0 [1–4] позволяют стеклам с ионами Sm^{2+} и Sm^{3+} проявлять интенсивную люминесценцию в видимой области. В свою очередь ионы Sm^{3+} характеризуются интенсивными абсорбционными переходами в области 1030–1610 нм, отсутствием наведенного поглощения из состояния ${}^4G_{5/2}$ и способностью восстанавливаться во многих матрицах под действием рентгеновского, γ , β и лазерного излучения. Выжигание стабильных спектральных провалов [5] возможно, т.к. ионы Sm^{2+} обладают свойством относительно легко фотонизироваться. Подобные свойства Sm -содержащих стекол открывают определенные перспективы их использования в квантовой электронике, дозиметрии, системах светодиодного освещения и других областях.

Был проведен эксперимент – синтез образцов производился прямым золь-методом, более подробно описанным в [6]. Результаты проведения эксперимента и обработка полученных данных представлена в [5], где было исследовано влияние щелочноземельных модификаторов структурного каркаса, в частности, бария на спектрально-

люминесцентные свойства активатора в кварцевом стекле. Дополнительно определены положения $4f$ -состояний ионов самария в исследуемом стекле, информация о которых в литературе также отсутствует. Данная работа посвящена определению положения $4f$ -состояний ионов самария в кварцевых гель-стеклах с использованием полиномов Лежандра.

Образцами исследования были выбраны кварцевые гель-стекла, полученные остекло-вываиванием на воздухе или в газовой смеси $H_2:Ar$ ксерогелей, легированных Sm , Al и Ba . Спектры люминесценции экспериментально исследованных стекол приведены на рис. 1.

На полосы ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{5/2}$ ($\lambda_{\max} \approx 570$ нм), ${}^6H_{7/2}$ (≈ 605 нм) и ${}^6H_{9/2}$ (≈ 650 нм) ионов Sm^{3+} (рис. 1, а, кривая 1) приходится подавляющая доля излучения в спектре остеклованного на воздухе однокристаллического стекла ($\lambda_{\text{возб}} = 402$ нм). Меньшим коэффициентом ветвления люминесценции в «сверхчувствительной» полосе ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{9/2}$ ионов Sm^{3+} и небольшим (~ 2 нм) коротковолновым смещением максимумов этой полосы и ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$ (ср. кривые 1 и 2) отличается спектр $Sm-Al$

содержащего стекла, которое было получено аналогичным образом. Переходы $^5D_0 \rightarrow ^7F_j$ ионов Sm^{2+} (рис. 1, б, кривые 2 и 3) обуславливают появление новых полос в красной и ближней ИК областях спектра для $Sm-Al$ - и $Sm-Al-Ba$ -содержащих стекол при $\lambda_{возб}=350$ нм. Межконфигурационные $4f^6 5d^1 \rightarrow 4f^6$ переходы ионов Sm^{2+} объясняют широкий пьедестал под этими полосами.

На рис. 1, б видно изменение (уменьшение) при введении Ba относительной интенсивности люминесценции в межконфигурационном переходе ионов Sm^{2+} и практически полное совпадение положения $f-f$ -полос ионов Sm^{2+} для обоих стекол, а также значительное ослабление внутриконфигурационных переходов ионов Sm^{3+} . Положения энергетических состояний ионов Sm^{3+} и Sm^{2+} можно определить, используя спектр люминесценции образца 2 (рис. 1, б).

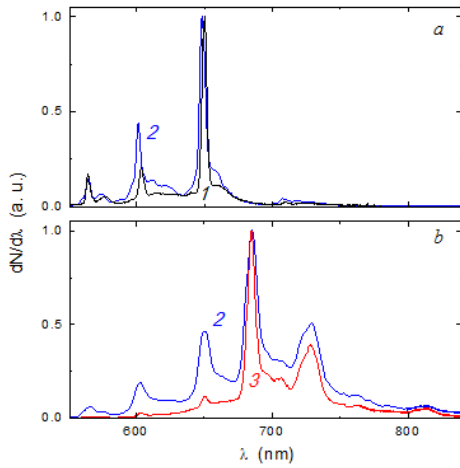


Рисунок 1 – Спектры люминесценции стекол, остеклованных на воздухе (а) и в смеси $H_2:Ag$ (б). λ_{exc} , нм: 402 (а) и 350 (б). $\Delta\lambda_{rec} = 2$ нм, $\Delta\lambda_{exc} = 4$ нм.

Для этого с помощью гамильтониана (самосопряженного оператора) были вычислены энергии мультиплетов данных ионов самария в приближении свободного иона:

$$\hat{H} = \hat{H}_e + \hat{H}_{SO} + \hat{H}' \quad (1)$$

Электростатическое взаимодействие электронов с ядром и друг с другом здесь описывает \hat{H}_e .

Полиномы Лежандра – это многочлены, которые в наименьшей степени (в смысле среднего квадратического) отклоняются от нуля. С их помощью производится разложение электростатического взаимодействия, что позволяет разделить угловую и радиальную части.

В результате матричные элементы \hat{H}_e можно записать через параметры E_0, E_1, E_2, E_3 :

$$H_e = \sum_{k=0}^3 e^k E^k \quad (2)$$

Вычисление матричных элементов гамильтониана спин-орбитального взаимодействия \hat{H}_{SO} производится в соответствии с формулой (3).

$$\begin{aligned} < l^N \gamma SLJM | \hat{H}_{SO} | l^N \gamma' S' L' J' M' > \geq \zeta_l (-1)^{S'+L+J} \times \\ & \times \delta(JJ') \delta(M') \begin{Bmatrix} S & S' & 1 \\ L & L' & J \end{Bmatrix} \sqrt{l(l+1)(2l+1)} \times \\ & \times < l^N \gamma SLJ || V^{11} || l^N \gamma' S' L' J' > \end{aligned} \quad (3)$$

Воздействие возбужденных конфигураций учитывает гамильтониан \hat{H}' :

$$\hat{H}' = \alpha L(L+1) + \beta G(G_2) + \gamma G(R_7) \quad (4)$$

где α, β, γ – линейные комбинации интегралов, которые трактуются как варьируемые параметры;

$G(G_2)$ и $G(R_7)$ – собственные значения операторов Казимира для групп G_2 и R_7 .

В таблице 1 представлены результаты расчетов с параметрами гамильтониана (1)–(3) $E_1 = 4896.19$ cm^{-1} , $E_2 = 25.634$ cm^{-1} , $E_3 = 495.232$ cm^{-1} и $\zeta = 1073$ cm^{-1} для Sm^{2+} и $E_1 = 5496.9$ cm^{-1} , $E_2 = 25.809$ cm^{-1} , $E_3 = 556.40$ cm^{-1} и $\zeta = 1157.3$ cm^{-1} для Sm^{3+} .

Таблица 1 – Вычисленные с помощью гамильтонианов (1)–(3) энергии мультиплетов ионов Sm^{3+} и Sm^{2+}

Sm^{2+}		Sm^{3+}	
Мультиплет	Энергия, cm^{-1}	Мультиплет	
7F_0	0	$^6H_{5/2}$	0
7F_1	299	$^6H_{7/2}$	1038
7F_2	828	$^6H_{9/2}$	2253
7F_3	1517	$^6H_{11/2}$	3592
7F_4	2310	$^6H_{13/2}$	5014
7F_5	3169	$^6F_{1/2}$	6376
7F_6	4067	$^6H_{15/2}$	6485
5D_0	14604	$^6F_{3/2}$	6620
5D_1	15928	$^6F_{5/2}$	7112
5D_2	17888	$^6F_{7/2}$	7960
5L_6	20098	$^6F_{9/2}$	9121
5D_3	20238	$^6F_{11/2}$	10506
5L_7	20934	$^4G_{5/2}$	17889
5L_8	21690	$^4F_{3/2}$	18853
3P_2	21997	$^4G_{7/2}$	19992
5G_3	22101	$^4I_{9/2}$	20491
5G_4	22133	$^4M_{15/2}$	20604
5G_5	22138	$^4I_{11/2}$	21071
5L_9	22327	$^4F_{5/2}$	22090
$^5L_{10}$	22777	$^4M_{17/2}$	22354
5G_4	22929	$^4G_{9/2}$	22696
5H_3	25228	$^4I_{15/2}$	22952
5H_7	25471	$^4M_{19/2}$	23890

Как видно из табл. 1, эффективному переносу возбуждений способствует метастабильное состояние $^4G_{5/2}$ ионов Sm^{3+} , которое находится в резонансе с состоянием 5D_2 ионов Sm^{2+} .

На основании данных расчетов также была произведена интерпретация спектра люминесценции для более однозначного соотношения межмультиплетных переходов и полос излучения [5].

Литература

1. Г.Е. Малашкевич, Е.Н. Подденежный, И.М. Мельниченко, А.В. Семченко. Спектрально-люминесцентные свойства Sm- и Ce-Sm-содержащих кварцевых гель-стекол. ФТТ 40, 3, 458–465 (1998).

2. V.C. Costa, Y. Shen, A.M.M. Santos, K.L. Bray. Luminescence measurements on Sm²⁺-doped sol-gel glasses. J. Non-Cryst. Solids 304 (2002) 238–243.

3. Малашкевич Г.Е., Семченко А.В., Суходола А.А., Ступак А.П., Суходолов А.В., Плющ Б.В., Сидский В.Б., Денисенко Г.А. Влияние серебра на люминесценцию Sm³⁺ в «аэросильных» кварцевых стеклах. ФТТ, 2008. – Т. 50. – № 8. – С. 1408–1415.

4. G.E. Malashkevich, V.N. Sigaev, N.V. Golubev, E.Kh. Mamadzhanova, A.A. Sukhodola, A. Paleari,

P.D. Sarkisov, A.N. Shimko. Spectroscopic properties of Sm-containing yttrium-aluminoborate glasses and analogous huntite-like polycrystals // Materials Chemistry and Physics, 2012. – V. 137. – P. 48–54.

5. Малашкевич Г.Е., Шимко А.Н., Ступак А.П., Прусова И.В., Нищев К.Н., Корниенко А.А., Дунина Е.Б., Семченко А.В., Сергеев И.И. Особенности вхождения самария в кварцевые гель-стекла, легированные алюминием и барием. Журнал прикладной спектроскопии. – Т. 86. – № 4 (2019). – С. 524–530.

6. Gueguen, Y., Houizot, P., Célerié, F., Chen, M., Hirata, A., Tan, Y., Allix, M., Chenu, S., Roux-Langlois, C., Rouxel, T. Structure and viscosity of phase-separated BaO–SiO₂ glasses // Journal of the American Ceramic Society Volume 100, Issue 5, 1 May 2017, Pages 1982–1993.

УДК 681.2.082

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЛОЕВ In₂O₃-SnO₂ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ

Реутская О.Г.¹, Денисюк С.В.², Куданович О.Н.², Мухуров Н.И.², Лугин В.Г.³, Таратын И.А.⁴

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»
Минск, Республика Беларусь

³Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

⁴ОАО «Минский НИИ радиоматериалов»
Минск, Республика Беларусь

Одним из методов формирования газочувствительных слоев является использование золь-гель материалов, что обусловлено возможностью получения материалов с заданными свойствами, перспективными в качестве основы для полупроводниковых сенсоров и мультисенсорных систем [1, 2]. В настоящей работе представлены результаты исследований морфологии тонких пленок на основе In₂O₃-SnO₂, сформированных золь-гель методом на подложках из анодного оксида алюминия с использованием двух различных методик нанесения и термической обработки.

Методика эксперимента. Подложки Al₂O₃ толщиной 40 мкм были изготовлены методом анодного окисления алюминиевой фольги в растворе щавелевой кислоты с последующим удалением металлической основы и отжигом при температуре 860 °С для обеспечения долговременной стабильности при нагреве до 800 °С. Приготовление коллоидного раствора золь-гель пасты в составе (In₂O₃ (95,0 масс.%) – SnO₂ (5,0 масс.%) осуществлялось по общеизвестной методике.

При изготовлении образцов пленок In₂O₃-SnO₂ использовались две методики формирования. Согласно первой (образец №1) капля приготовленного коллоидного раствора наносилась на поверхность подложки с последующей сушкой и отжигом в муфельной печи при температуре 700 °С в течение 4 часов. Вторая методика (образец №2) заключается в формировании многослойной пленки In₂O₃-SnO₂. Первый слой формировался

путем нанесения капли приготовленного коллоидного раствора на подложку с последующей сушкой и отжигом образца при температуре 600 °С в течение 30 минут. Второй и третий слой наносился аналогичным образом поверх первого. Следующие восемь слоев наносились при отжиге с температурой 100 °С в течение 30 минут. Затем полученная структура отжигалась при температуре 600 °С в течение 30 минут.

Исследование морфологии образцов осуществлялось с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6510LV, оснащенного блоком энерго-дисперсионной спектроскопии для определения химического состава образцов.

Результаты и обсуждение. Микрофотографии образца №1 (рисунок 1) демонстрируют образование неоднородной по толщине несплошной пленки. При этом наблюдаются области с «пятнами», которые обусловлены включением фаз других веществ.

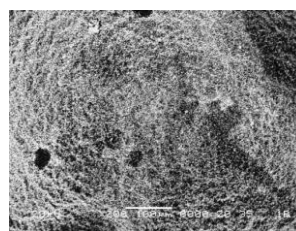


Рисунок 1 – СЭМ-изображение образца №1