

Для выяснения причины было проведено моделирование волноводов разработанных для УЗП на резонансную частоту ~ 100 кГц в среде САПР Comsol Multiphysics. Результаты моделирования показывают, что при разнице резонансных частот пьезоэлектрического излучателя и собственной частоты волновода более 1,4 кГц возникают различные моды колебаний в районе зажима рабочего инструмента- изгибные, крутильные (рис. 3). При разнице резонансных частот менее 1 кГц мода колебаний- продольная (рис.4). Форма мод колебаний волновода также зависит от геометрии самого волновода. Поэтому, целесообразно в процессе проектирования волновода проводить моделирование в вышеуказанном САПР или аналогичном для анализа спектра собственных колебаний волновода.

Из рис. 3 видно также значительное изменение распределения узлов и пучностей вдоль оси волновода от места стыковки с пьезоэлектрическим излучателем до точки зажима рабочего инструмента в торце волновода по сравнению с рис.4. Эти негативные явления обычно отражаются на диаграмме по рис.2 в виде небольших пиков на кривой импеданса, что может сигнализировать о необходимости более тщательной диагностики и настройке собранного УЗП.

Технологические испытания проводились на установке присоединения выводов ЭМ-4341-1[1] методом «клин-клин» в режиме сборки реальных приборов алюминиевой проволокой диаметром 50 мкм. Текущая прочность выводов составила 21–23 г. При этом использовался волновод с раз-

личными излучателями с резонансными частотами 92,4 кГц, 94 кГц, 99,8 кГц и 100,3 кГц. Наилучшие результаты (по выходу годных изделий) достигнуты с пьезоэлектрическими излучателями 99,8 кГц и 100,3 кГц.

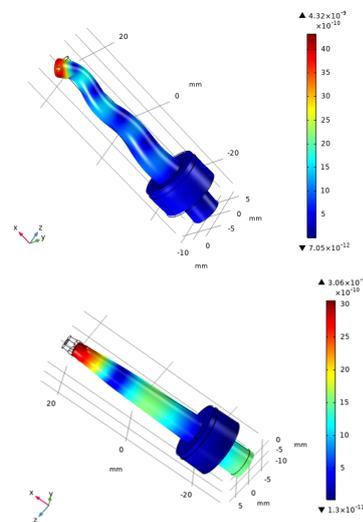


Рисунок 4 – Продольные колебания в разработанном волноводе на частоте резонанса 100,26 кГц

Литература

1. Петухов, И. Б. Автоматическая установка клинового монтажа проволочных межсоединений малого диаметра 2,5D электронных модулей / И. Б. Петухов. – Электроника: наука, технология, бизнес. – 2022. – № 5. – С. 66–72.

УДК 621

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕНСИВНОСТИ ДЛЯ Nd-СОДЕРЖАЩИХ СТЕКОЛ НА ОСНОВЕ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

Прусова И.В., Прихач Н.К.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. На примере алюмосиликатного неодимового стекла определены параметры интенсивности Ω_2 , Ω_4 и Ω_6 двумя различными методами: путем усреднения по семи основным абсорбционным переходам ионов Nd^{3+} и путем первоначального исключения сверхчувствительного перехода, а затем, используя полученные значения Ω_4 и Ω_6 , определения Ω_2 . Установлено, что различия полученных таким образом значений параметров интенсивности практически не выходят за пределы ошибки эксперимента.

Ключевые слова: абсорбционные переходы, параметры интенсивности, сверхчувствительный переход, неодимовое стекло.

DETERMINATION OF INTENSITY PARAMETERS FOR Nd-CONTAINING GLASSES BASED ON $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

Prusova I., Prikhach N.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Using neodymium aluminosilicate glass as an example, the intensity parameters Ω_2 , Ω_4 , and Ω_6 were determined by two different methods: by averaging over seven main absorption transitions of Nd^{3+} ions and by initially eliminating the supersensitive transition and then, using the obtained values of Ω_4 and Ω_6 , determining Ω_2 . It has been established that the differences in the values of the intensity parameters obtained in this way practically do not go beyond the limits of the experimental error.

Key words: absorption transitions, intensity parameters, supersensitive transition, neodymium glass.

Адрес для переписки: Прусова И.В., пр. Независимости, 65, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: bntu@bntu.by

При необходимости ускоренного выяснения пригодности легированных лантаноидами материалов в качестве активных элементов лазеров бывает достаточно определить параметры интенсивности Ω_2 , Ω_4 и Ω_6 (параметры Джадда) [1] и с помощью хорошо известных формул оценить основные люминесцентные характеристики вещества, не проводя его полного спектрально-люминесцентного исследования. При этом, параметр Ω_2 определяет в основном лишь интенсивность «сверхчувствительных» переходов. Поэтому существует определенная неоднозначность в методике определения данного параметра: путем усреднения по всем доступным абсорбционным полосам, либо вначале исключить сверхчувствительные переходы из рассмотрения и определить Ω_4 и Ω_6 , а затем с использованием последних определить Ω_2 . В настоящей работе предпринята попытка оценить, насколько велико расхождение значений параметров интенсивности, полученных обоими способами на примере Nd-содержащих стекол, которые находят достаточно широкое использование в лазерной технике [2].

Стекла для исследования были синтезированы методом плавления, шихта готовилась по технологии, аналогичной описанной в [3] из реактивов квалификации не хуже ЧДА. Плотность ρ определялась методом гидростатического взвешивания, а показатель преломления n_D – иммерсионным. Концентрация ингредиентов в стеклах определялась с помощью нейтронно-активационного анализа с ошибкой $\pm 3\%$. Объемная концентрация ионов Nd^{3+} вычислялась по формуле:

$$N = 0,02 N_A \rho C_n / M, \quad (1)$$

где N_A – число Авогадро; C , n_x и M – масс % оксида, количество искоемых элементов в формуле оксида и его молярная масса, соответственно.

Спектры поглощения исследованных стекол регистрировались на спектрофотометре Cary-500. Поглощение активатора, обусловленное соответствующим электронным переходом, определялось как разность измеренных значений $k(\lambda)$ в области полосы поглощения и на ближайшем участке, где поглощение активатора отсутствует.

Ω_t – параметры интенсивности оптических переходов РЗИ внутри 4f-оболочки (параметры Джадда), определялись методом сингулярного разложения [4] системы уравнений, описывающих спектры поглощения:

$$\int k_{ji}(\lambda) d\lambda = \frac{8\pi^3 e^2 \bar{\lambda}_{ji} N_{Ln}}{3ch(2J+1)} \frac{(n^2+2)^2}{9n} \times \sum_{t=2,4,6} \Omega_t \left| \left\langle (S, L) J \left\| U^{(t)} \right\| (S', L') J' \right\rangle \right|^2$$

Здесь e – заряд электрона; h – постоянная Планка; c – скорость света; $\bar{\lambda}$ – длина волны,

соответствующая барицентру спектральной полосы; n полагалось равным n_D ; $\langle (S, L) J \left\| U^{(t)} \right\| (S', L') J' \rangle$ – матричные элементы тензорного оператора ранга t для переходов из состояния с квантовыми числами S, L, J в состояние S', L', J' , которые почти не зависят от вида основы, взяты из [5]. Для расчета удельных интенсивностей поглощения ионов Nd^{3+} использовались следующие полосы:

$${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}, {}^4I_{15/2}, {}^4F_{3/2}, {}^4F_{5/2} + {}^2H_{9/2}, {}^4F_{7/2} + {}^4S_{3/2}, {}^4G_{5/2} + {}^2G_{7/2}, {}^2K_{15/2} + {}^4G_{7/2} + {}^4G_{9/2}.$$

Состав, плотность, показатель преломления, абсорбционные характеристики стекол и параметры интенсивности представлены в табл. 1.

Таблица 1. Состав, плотность, показатель преломления, абсорбционные характеристики стекол и параметры интенсивности

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|--|----------------------|-------------|-------------|-------------|---------|
| $\rho, \frac{g}{cm^3}$ | 3,81 | 3,88 | 3,49 | 3,89 | |
| $N, 10^{20}$ ионов/ cm^3 $\delta = \pm 3\%$ | Si | 61 | 74 | 72 | 56 |
| | Al | 112 | 90 | 125 | 120 |
| | La | 80 | 81 | 50 | 58 |
| | Nd | 1,25 | 5,95 | 10,5 | 26 |
| n_D | 1,69 (0) | 1,69 (2) | 1,69 (6) | 1,69 (2) | |
| | I_{Nd} | 10^{-19} | 360±13 | 389±9 | 338±8 |
| \bar{I}_{Nd} | см | 157±4 | 178±4 | 169±3 | 151±4 |
| Ω_2 | 10^{-20} cm^2 | 4,0±0,2 | 4,7±0,2 | 4,4±0,1 | 3,6±0,2 |
| | | 3,8±0,2 | 4,4±0,2 | 4,3±0,1 | 3,7±0,2 |
| | | 3,2±0,2 | 3,7±0,1 | 3,5±0,1 | 3,3±0,1 |
| | | 3,3±0,2 | 3,8±0,1 | 3,6±0,1 | 3,4±0,1 |
| Ω_4 | 10^{-20} cm^2 | 4,4±0,2 | 4,5±0,1 | 3,9±0,1 | 3,7±0,1 |
| | | 4,5±0,2 | 4,7±0,1 | 3,9±0,1 | 3,6±0,1 |
| | | 4,4±0,2 | 4,5±0,1 | 3,9±0,1 | 3,7±0,1 |
| | | 4,5±0,2 | 4,7±0,1 | 3,9±0,1 | 3,6±0,1 |

Здесь I_{Nd} – удельное поглощение ионов Nd^{3+} , \bar{I}_{Nd} – парциальное удельное поглощение, обусловленное переходом ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4G_{5/2} + {}^2G_{7/2}$; верхнее значение параметров интенсивности получено при первоначальном исключении из расчета сверхчувствительного перехода ${}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4G_{5/2} + {}^2G_{7/2}$, нижнее – без исключения последнего. Относительная ошибка эксперимента определялась в соответствии с [6].

Как видно, в случае ионов Nd^{3+} различия полученных значений параметров интенсивности практически не выходят за пределы ошибки эксперимента, однако это не означает, что для других ионов, например Er^{3+} , ситуация будет аналогичной.

Благодарности. Авторы выражают признательность Малашкевичу Г.Е. за любезно предоставленные для выполнения этой работы образцы стекол.

Литература

1. Judd B. R. Optical absorption intensities of rare-earth ions / B. R. Judd // *Phys. Rev.* – 1962. – Vol. 127, № 3. – С. 750–761.
2. Справочник по лазерам / Под ред. А.М. Прохорова. – М.: Советское радио, 1978. – Т. 1. – С. 259–282.
3. Черчес, Х. А. О взаимодействии хлорида неодима с силикатом натрия / Х. А. Черчес, Н. И. Ближнюк, Л. Г. Дашинский // *Стекло, ситаллы и силикатные*

- материалы: Сб. ст. / – Минск: Вышэйшая школа, 1980. – № 9. – С. 99–102.
4. Форсайт, Дж. Машинные методы математических вычислений / Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулер. – М.: Мир, 1980. – С. 810–821.
 5. Carnal, W. T. Electronic energy levels in the trivalent lanthanide aquo ions / W. T. Carnal, P. R. Fields, K. Rajnak // *J. Chem. Phys.* – 1968. – V. 49, №. 10. – P. 4424–4442.
 6. Zaidel, A. N. Errors of Measurements of Physical Quantities / A.N. Zaidel // *Nauka, Leningrad.* – 1985.

УДК 517.958

ЗАДАЧА О ПРОДОЛЬНОМ УДАРЕ ПО УПРУГОМУ СТЕРЖНЮ С УПРУГИМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ОДНОГО ИЗ КОНЦОВ
Корзюк В.И.^{1,2}, Рудзько Я.В.³

¹*Институт математики Национальной академии наук Беларуси*
²*Белорусский государственный университет,*
³*ООО «Открытые информационные системы»,*
 Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Настоящая работа посвящена решению краевой задачи о продольном ударе по однородному упругому стержню постоянного поперечного сечения в случае, когда один из их концов жестко закреплен, а второй конец соединен пружиной с неподвижной опорой и подвергся удару некоторым грузом.

Ключевые слова: продольный удар, волновое уравнение, смешанная задача, метод контурного интеграла, обобщенное решение.

THE PROBLEM OF A LONGITUDINAL IMPACT ON AN ELASTIC BAR WITH AN ELASTIC ATTACHMENT OF ONE OF ITS ENDS
Korzyuk V.^{1,2}, Rudzko J.³

¹*Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus*
²*Belarusian State University,*
³*Open Information Systems LLC,*
 Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The present work is devoted to solving the boundary value problem of longitudinal impact on a homogeneous elastic bar of a constant cross-section. One of the bar's ends is rigidly fixed, and the other end is connected by a spring to a fixed support and was subjected to an impact by some load.

Key words: longitudinal impact, wave equation, mixed problem, method of contour integral, generalized solution.

Адрес для переписки: Рудзько Я.В., ул. В. Гастинец, 143Б, к. 579, Молодечно 222310, Республика Беларусь
e-mail: janyucz@yahoo.com

Постановка задачи. Пусть в начальный момент времени $t = 0$ однородный упругий стержень $0 \leq x \leq l$ постоянного поперечного сечения, конец которого $x = 0$ жестко закреплен, а конец $x = l$ соединен пружиной с неподвижной опорой, подвергся удару некоторым грузом по концу $x = l$, причем в дальнейшем груз остается в соприкосновении со стержнем. Тогда, пренебрегая весом стержня как силы и его возможными вертикальными отклонениями, для определения смещений $u(t, x)$ сечений стержня нужно найти решение уравнения

$$(\partial_t^2 - a^2 \partial_x^2)u(t, x) = 0, 0 < t < \infty, 0 < x < l, \quad (1)$$

при начальных условиях

$$u(0, x) = 0, 0 \leq x \leq l, \partial_t u(0, x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < l, \\ v, & x = l, \end{cases} \quad (2)$$

и граничных условиях

$$u(t, 0) = 0, (h + k \partial_x + m \partial_t^2)u(t, l) = 0, 0 \leq t < \infty. \quad (3)$$

В задаче (1) – (3) $a^2 = E/\rho$, E – модуль упругости стержня, ρ – плотность материала стержня, $h > 0$, $k > 0$, $m > 0$ – физические постоянные, характеризующие закрепление конца $x = l$ стержня и $v \in \mathbb{R}$ – физическая постоянная, характеризующая скорость ударившего груза.

Отметим, что значения производных в условиях (2) и (3) задачи (1) – (3) следует понимать не в смысле предельного перехода, а в смысле их значений в точках соответствующих отрезков.