

Определение нелинейных составляющих показателя преломления композита РсРб при пикосекундном возбуждении

В. Юз. Курстак¹⁾, С. С. Ануфрик¹⁾, Л. М. Колдунов²⁾

¹⁾ Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь,

e-mail: vkurst@tut.by anufrikk@grsu.by

²⁾ Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия,

e-mail: lenia-laboratory@yandex.ru

Экспериментально исследовано изменение рефракции нанопористого стекла с полимером и красителем – фталоцианином свинца – при пикосекундной длительности возбуждения. Определены составляющие изменения показателя преломления, пропорциональные первой и второй степени интенсивности возбуждающего излучения.

Ключевые слова: нанопористое стекло с полимером; фталоцианин свинца; пикосекундная накачка; нелинейные параметры.

Determination of nonlinear components of the refractive index of PcPb composite under picosecond excitation

V. Yuz. Kurstak¹⁾, S. S. Anufrikk¹⁾, L. M. Koldunov²⁾

¹⁾ Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Belarus,

e-mail: vkurst@grsu.by, anufrikk@grsu.by

²⁾ Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny, Russia,

e-mail: lenia-laboratory@yandex.ru

The change in refraction of nanoporous glass with a polymer and a dye – lead phthalocyanine – at a picosecond excitation duration was experimentally studied. The components of the change in the refractive index, proportional to the first and second degrees of the intensity of the exciting radiation, are determined.

Keywords: nanoporous glass with polymer; lead phthalocyanine; picosecond pumping; nonlinear parameters.

Введение

Создание новых эффективных лазерных сред на основе нанопористого стекла с полимером (НПСР) и красителем предполагает изучение их нелинейных свойств, позволяющих определять границы интенсивностей излучений в пределах которых соответствующие среды и используемые в них активные наполнители обеспечивают стабильность своих характеристик в установленных условиях их эксплуатации [1]. Для активных лазерных сред важно, чтобы указанные нелинейные свойства проявлялись при возможно больших интенсивностях излучения [2]. Наряду с этим, изучение нелинейных свойств новых сред актуально при их применении в качестве устройств, используемых для управления и модуляции излучения. В данном случае важно, чтобы соответствующие нелинейные свойства проявлялись при возможно меньших интенсивностях излучения. В условиях высокой интенсив-

ности излучения, когда проявляется изменения оптических свойств, важно знать характер изменения указанных свойств в диапазоне используемых интенсивностей излучения [3]. В этой связи актуальными являются исследования нелинейных зависимостей изменения оптических свойств лазерных материалов при высоких интенсивностях излучения.

1. Результаты экспериментальных исследований

Выполнены экспериментальные исследования нелинейно-оптических свойств образца НПСП и красителем, фталоцианином свинца (PcPb), при импульсном пикосекундном возбуждении излучением второй гармоники Nd³⁺: YAG лазера (длительность импульса – 70 пс, энергия импульса до 15 мДж).

Исследования проводились методом z-сканирования, позволяющим определить, как наведенное поглощение, так и величину нелинейной рефракции исследуемого образца [4]. Исследования были выполнены на экспериментальной установке, блок-схема которой приведена на рис. 1.

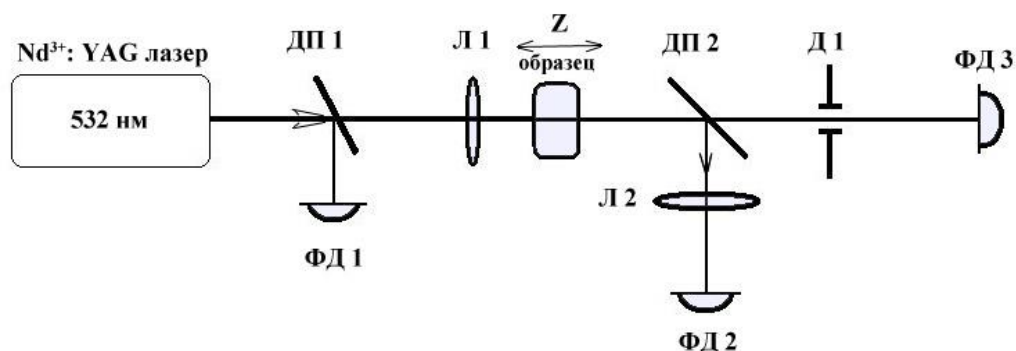


Рис. 1. Схема установки для исследования нелинейной рефракции методом z-сканирования: Д1 - диафрагма Ø6 мм, Л1, Л2 - линзы, ФД1, ФД2 и ФД3 – фотоприемники, ДП1 и ДП2 – светоделительные пластинки

Измерение энергии лазерного импульса выполнялось фотоприемниками, изготовленными на основе фотодиода ФД-24 и калиброванными с точностью $\pm 2\%$. Энергия лазерного импульса измерялась приемником ФД1, а энергия импульса прошедшего сквозь образец – фотоприемником ФД2 в режиме широкой апертуры и ФД3 в режиме узкой апертуры. Перед приемником ФД3 располагалась диафрагма диаметром 6 мм, вырезающая приосевую область пучка. Пропускание $T(z)$ (где z – координата положения образца вдоль оси пучка излучения) вычислялось как отношение сигналов, полученных от фотоприемников ФД2 и ФД1 (режим широкой апертуры) и ФД3 и ФД1 (режим узкой апертуры).

Измеренная расходимость излучения лазера α составляла $0,45 \cdot 10^{-3}$ рад. Диаметр пучка излучения в фокальной плоскости линзы составлял 0,045 мм.

Перемещение образца из начального положения к области перетяжки пучка связано с увеличением интенсивности излучения более чем в 10^4 раз.

При использованных условиях эксперимента минимальная плотность мощности лазерного излучения в фокальной плоскости линзы была $9 \cdot 10^4$ МВт/см².

Зарегистрированная зависимость пропускания T от z координаты при различных значениях нормированной интенсивности излучения приведена на рис. 2.

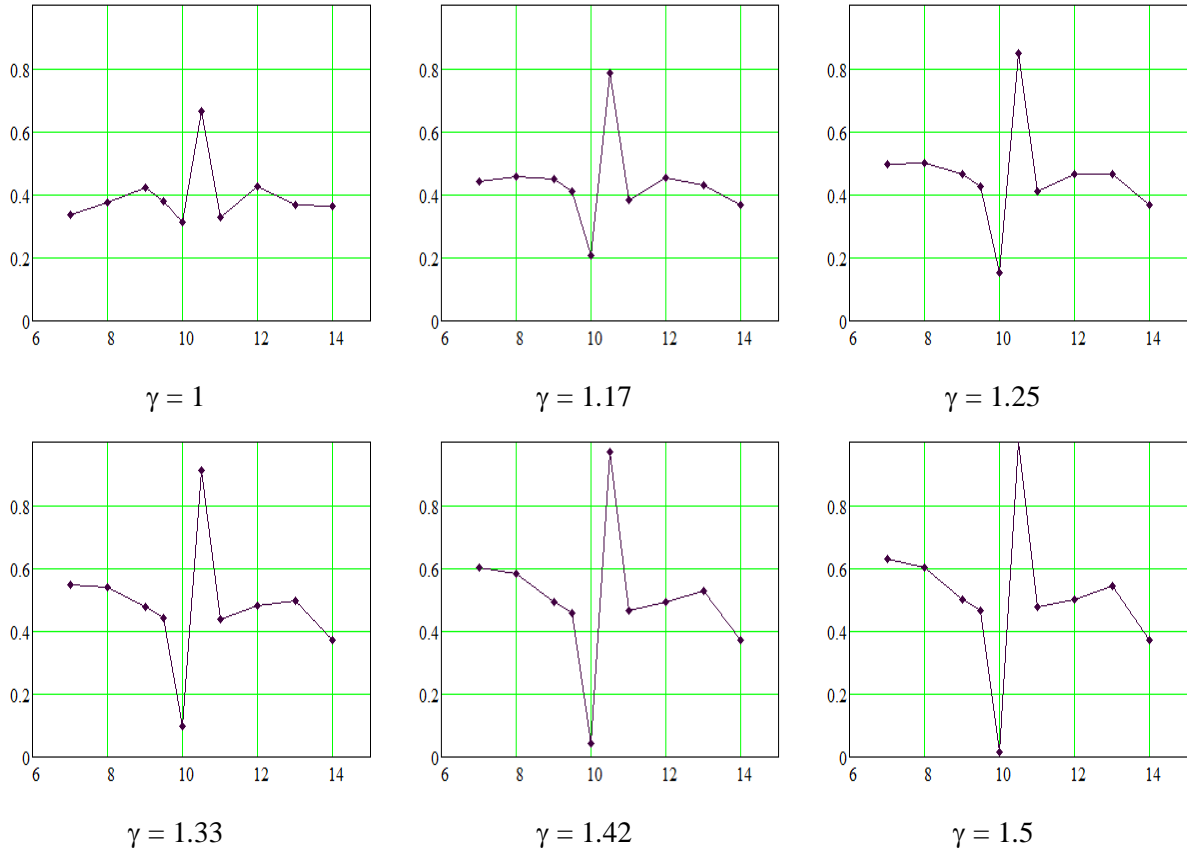


Рис. 2. Зависимость пропускания T от z координаты при различных значениях нормированной интенсивности

Обработка приведенных зависимостей позволяет определить такие параметры образца, как максимальное пропускание T_{\max} , минимальное пропускание T_{\min} и изменение пропускания ΔT . Определив изменение фазы волны на выходе образца $\Delta\Phi$, было найдено изменение показателя преломления Δn .

Отмеченные изменения Δn , соответствующие указанным изменениям величины фазы $\Delta\Phi$, также увеличиваются с ростом интенсивности излучения, что видно из рис. 3. Увеличение Δn достаточно большое, почти в три раза, которое достигается при возрастании интенсивности излучения в 1,8 раза (величина интенсивности в фокальной плоскости линзы I_0 составляла в данном случае достаточно высокое значение – $9 \cdot 10^4$ МВт/см²). Полученная зависимость пропускания образца НПСР, измеренная методом z -сканирования с диафрагмой обнаружила несимметричный характер (рис. 3), что указало на наличие более сложной, чем кубическая, нелинейности по полю излучения.

Для выяснения величины изменения показателя преломления в поле лазерного излучения высокой интенсивности Δn была представлена состоящей из двух составляющих, зависящих от интенсивности:

$$\Delta n = \Delta n_1 + \Delta n_2 = \gamma_1 I + \gamma_2 I^2 \quad (1)$$

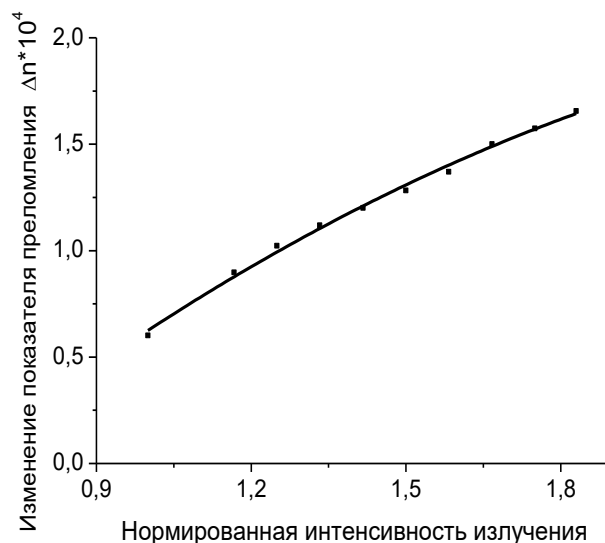


Рис. 3. Зависимость изменения Δn от нормированной интенсивности излучения

Из зарегистрированного изменения пропускания образца НПСП были определены величины изменения пропускания при двух значениях интенсивности ΔT_1 и ΔT_2 . Фазовые изменения пропускания образца однозначно связаны с изменением показателя преломления Δn соотношением:

$$\Delta\Phi = k\Delta n(I)L_{эфф} \quad (2)$$

где k – волновое число, $L_{эфф}$ – эффективная длина кристалла, которая зависит от толщины поглощающего слоя L и величины линейного поглощения α как $L_{эфф} = (1 - \exp(-\alpha L)) / \alpha$.

Исходя из выражения (2), учитывая соотношения (1), была записана система линейных алгебраических уравнений относительно величин γ_1 и γ_2 ,

$$\begin{aligned} \Delta\Phi_1 &= k(\gamma_1 I_1 + \gamma_2 I_1^2)L_{эфф} \\ \Delta\Phi_2 &= k(\gamma_1 I_2 + \gamma_2 I_2^2)L_{эфф}, \end{aligned} \quad (3)$$

что позволяло определить составляющие изменения показателя преломления Δn . Изменения фазы световой волны, прошедшей образец $\Delta\Phi_1$ и $\Delta\Phi_2$ связаны с величиной изменения пропускания следующим соотношением

$$\Delta T = 0,406(1 - S)^{0,25} |\Delta\Phi| \quad (4)$$

где S – величина апертуры пучка излучения. Фокусное расстояние фокусирующей пучок линзы составляло 100 мм.

Численное решение системы уравнений (3) позволило определить составляющие Δn_1 и Δn_2 , зависимости которых от интенсивности излучения приведены на рис. 4.

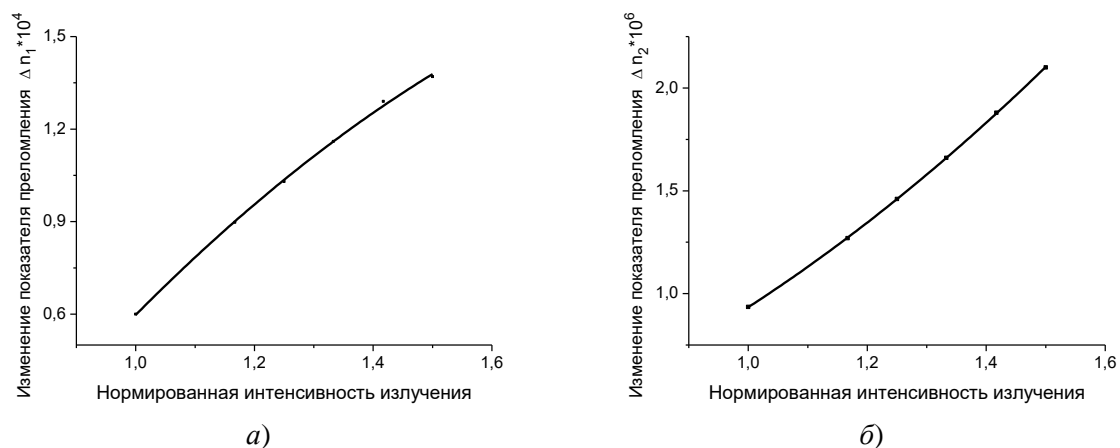


Рис. 4. Зависимости: а) изменения составляющей Δn_1 от нормированной интенсивности излучения; б) Зависимость изменения составляющей Δn_2 от нормированной интенсивности излучения

Изменение величин Δn_1 и Δn_2 увеличивается с ростом интенсивности, однако скорость нарастания Δn_1 с ростом интенсивности уменьшается, в то время как скорость нарастания Δn_2 – увеличивается. Составляющая Δn_2 значительно меньше составляющей Δn_1 (примерно в 70 раз).

Заключение

Выполнены экспериментальные исследования нелинейных свойств образца композита НПСП, активированного красителем фталоцианином свинца (PcPb), методом Z-сканирования. В результате проведения исследований установлено:

1. Величина нелинейного изменения Δn увеличивается почти в три раза с ростом интенсивности излучения от I_0 до $1,8 I_0$ (величина I_0 составляла в данном случае $9 \cdot 10^4$ МВт/см²). Скорость нарастания Δn при увеличении интенсивности уменьшается.

2. Составляющие Δn , величины Δn_1 и Δn_2 возрастают с увеличением интенсивности излучения. Величина Δn_2 в ~ 70 раз меньше Δn_1 . Хотя при использованных интенсивностях $\Delta n_1 \gg \Delta n_2$, однако в условиях значительно больших интенсивностей их различия будут сокращаться.

Библиографические ссылки

1. Шен И. Р. Принципы нелинейной оптики: Пер. с англ./ Под ред. С.А. Ахманова. М.: Наука, 1989. 560 с.
2. Тарковский В. В. Влияние наведенных потерь на спектральную зависимость эффективности генерации родамина 6Ж при микросекундной когерентной накачке / В. В. Тарковский, С. С. Ануфрик, В. Ю. Курстак // Квантовая электроника. 2021. Т. 51. № 6. С. 525–532.
3. Колдунов М. Ф., Колдунов Л. М. Показатели качества наведенного поглощения оптического излучения в органических соединениях // Прикладная физика. 2015. № 5. С. 5–11.
4. Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam / Sheik-Bahae M. [et al.] // IEEE Journal of Quantum Electronics. 1990. Vol. 26. №. 4. P. 760–769.